

Maître d'ouvrage



Direction Régionale de l'Environnement
RÉUNION

Maîtres d'œuvre



Phase pilote d'extension du RNO à La Réunion

Résultats des trois années de suivi (2002-2005)



Pascale CUET, Jean TURQUET, Jean-François CHIFFOLEAU

Octobre 2006



Maître d'ouvrage : DIREN	Dossier n° : A 133
Phase pilote d'extension du RNO à La Réunion Résultats des trois années de suivi (2002-2005)	Nb pages : 93 Nb figures : 69 Nb cartes : 2 Nb tableaux : 25
Date Octobre 2006	
Auteurs : Pascale CUET, Jean TURQUET, Jean-François CHIFFOLEAU	Diffusion <ul style="list-style-type: none">• Libre <input checked="" type="checkbox"/>• Restreinte <input type="checkbox"/>• Confidentielle <input type="checkbox"/>

Participants:

Coordination générale :	Jean Pascal QUOD (ARVAM)
Responsable scientifique :	Pascale CUET (ECOMAR/UR)
Responsables opérationnel :	Rémi GARNIER (ARVAM) 2002 à 2004 Jean TURQUET (ARVAM) 2005
Techniciens préleveurs et analystes :	Clémentine ESBELIN (ARVAM) 2002 Marc TOUCHARD (ARVAM) 2003 à 2005
Moyens à la mer :	Charles DELMAS (CHARLES IV)
Assistants agents préleveurs :	Eric TURPIN (ARVAM), Jean Benoit NICET (PARETO)
Analyse des données :	Laetitia Soulisse (ECOMAR/UR)
Assistance à la Maîtrise d'Ouvrage :	Jean-François CHIFFOLEAU

Coordonnées :

Maître d'ouvrage : Direction Régionale de l'Environnement de la Réunion
23, rue de Paris, 97400, Saint-Denis, La Réunion
Tél : 02 62 94 72 50, Fax : 02 62 94 72 55

Maîtres d'œuvre : ARVAM (Agence pour la Recherche et la Valorisation Marines)
Rodrigues II, Technopole de La Réunion,
3, rue Henri Cornu, 97490 Sainte-Clotilde,
Tél : 02 62 28 39 08, Fax : 02 62 28 08 81, E-mail : arvam@arvam.com

Laboratoire ECOMAR, Université de la Réunion,
15 avenue René Cassin, BP 7151, 97415 St Denis Messag cedex 9

Assistance à la maîtrise d'ouvrage : IFREMER
Rue Jean Bertho, BP 60, 97822, Le Port Cédex
Tél : 02 62 42 03 40, Fax : 02 62 43 36 84

Sommaire

1	INTRODUCTION - CONTEXTE	3
2	L'ETUDE PILOTE	4
2.1	Les stations	4
2.2	Les paramètres	4
2.3	Les méthodes d'analyses	6
2.4	L'assurance Qualité.	9
3	LES STATIONS COTIERES	10
3.1	La température	10
3.2	La salinité	12
3.3	Le pourcentage de saturation en oxygène dissous	15
3.4	Le silicium	18
3.5	Les nitrates + nitrites	24
3.6	Les phosphates	32
3.7	L'ammonium	38
3.8	La turbidité	41
3.9	Carbone organique particulaire	44
3.10	Chlorophylle a	47
3.11	Phéopigments	52
3.12	La station de la Rivière des Pluies	56
3.13	Analyses multivariées	59
3.14	Conclusions	65
4	LES STATIONS RECIFALES	69
4.1	Température	69
4.2	Salinité	70
4.3	Pourcentage de saturation en oxygène dissous	71
4.4	Silicium	73
4.5	Nitrates + nitrites	75
4.6	Phosphates	79
4.7	Turbidité	82
4.8	Carbone organique particulaire	83
4.9	Chlorophylle a et phéopigments	84
4.10	Analyse multivariée	86
4.11	Conclusion	89
5	SYNTHESE DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	90
6	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	92

ANNEXES

- Liste des tableaux
- Liste des figures

1 INTRODUCTION - CONTEXTE

Le Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO) a été mis en place sur le littoral métropolitain par le Ministère chargé de l'Environnement avec, pour objectif, l'évaluation des niveaux et des tendances des contaminants et des paramètres généraux de la qualité du milieu. Il s'appuie à la fois sur :

- (i) le suivi dans l'eau des apports terrestres en nutriments et leurs effets (eutrophisation),
- (ii) le suivi dans les mollusques et les sédiments des contaminants chimiques,
- (iii) le suivi des effets biologiques de certains contaminants (organiques notamment) sur l'écosystème littoral.

Quel que soit le support d'analyse, les prélèvements sont réalisés autant que possible à bonne distance des rejets ponctuels connus, de manière à refléter un niveau moyen de qualité d'un secteur et non les plus fortes valeurs possibles pour ce secteur.

Pour La Réunion, cette extension se déroule en plusieurs phases, la première de celle-ci étant la mise en place par la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) d'un réseau « hydrologie », avec une étude de définition et de faisabilité opérationnelle à travers une étude pilote d'une durée de 3 ans. En parallèle, est réalisée la mise au point du RNO « matière vivante », expertise confiée à l'ARVAM en partenariat avec l'IFREMER « programme modiole ».

L'étude pilote initiée par la DIREN en 2002 a été menée par le groupement ARVAM-ECOMAR/UR. Elle ne porte que sur les masses d'eaux, et s'est attachée à les décrire au mieux par un plan d'échantillonnage basé sur des campagnes mensuelles et des prélèvements sur l'ensemble de la colonne d'eau.

Le marché a été découpé en 3 tranches :

1. une tranche ferme de novembre 2002 à octobre 2003 (12 campagnes mensuelles)
2. une tranche conditionnelle 1 de novembre 2003 à novembre 2004 (12 campagnes mensuelles)
3. et deux tranches conditionnelles (2 et 3) de janvier 2005 à décembre 2005 (6 campagnes).

Les données obtenues lors des deux premières années ont d'ores et déjà été en partie valorisées au travers du bulletin du RNO 2005 (Chiffolleau *et al.*, 2005).

Le présent rapport vise avant tout à présenter une analyse des données obtenues au cours de ces trois années de suivi (30 campagnes).

2 L'ETUDE PILOTE

La surveillance des eaux marines concerne les sites les plus sensibles aux apports d'origine terrestre, soit par l'importance des apports d'eau continentale (principaux estuaires, résurgences marines), soit par leur configuration géographique (baies). Elle doit permettre de quantifier les apports en nutriments et leurs effets et d'en évaluer la tendance au cours du temps. A la différence de la métropole, la stratégie Réunion intègre la sensibilité des lagons à la charge minérale et organique de l'eau. Le suivi des paramètres généraux de qualité de l'eau concerne donc aussi ces secteurs fragiles, classés en zones sensibles au titre de la loi sur l'Eau.

2.1 Les stations

Dix-sept zones homogènes à surveiller avaient été identifiées, ce qui a conduit au choix de 11 points de prélèvement dont **8 côtiers** et **3 lagunaires** (Figure 1). Au début du programme, les stations non lagunaires étaient dites « océaniques ». Ce changement de terminologie est motivé par les exigences de la DCE, il n'est pas le fruit d'un repositionnement des stations de prélèvements.

Le positionnement des stations côtières par rapport à la côte a été choisi en fonction de la bathymétrie (75 m de fond) plutôt que de la distance à la côte. Trois profondeurs sont échantillonnées (surface, 35 m, 70 m). En l'absence de données sur la variabilité des apports, une fréquence d'échantillonnage mensuelle a été adoptée au cours de la première phase de l'étude.

La stratégie d'échantillonnage a subi en 2005 quelques modifications en vue de son adaptation aux exigences de la DCE :

- Déplacement de 2 points, cf. Figure 1,
- La profondeur 70 m a été supprimée, car peu informative,
- La fréquence des prélèvements a été ramenée à 6 campagnes par an.

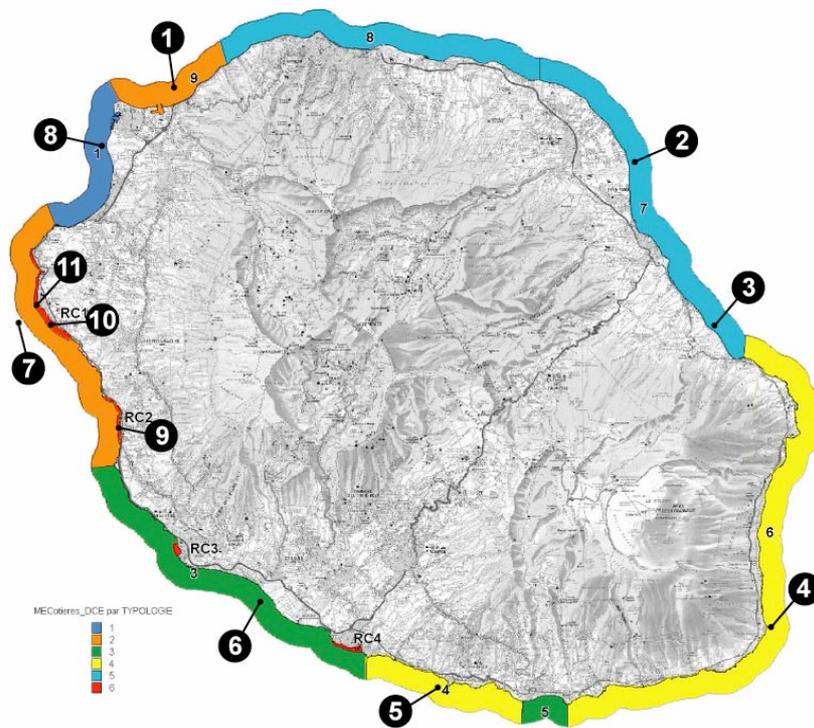
Les prélèvements sont effectués à partir d'un bateau de pêche affrété à cet effet pour les stations côtières. Dans les masses d'eau récifale, les prélèvements sont effectués à pied.

2.2 Les paramètres

Les 11 paramètres retenus dans cette phase pilote sont les suivants :

- température,
- salinité,
- oxygène dissous,
- nutriments (nitrate + nitrite, ammonium, phosphate, silicate),
- chlorophylle a + phéopigments,
- matières en suspension (MES),
- carbone organique particulaire (COP).

Les matières en suspension (MES) et le carbone organique particulaire (COP) ont été abandonnés respectivement en novembre 2003 et en 2005, car peu informatifs. En effet, ces paramètres sont très coûteux en termes de temps d'échantillonnage (filtration de 2 x 3 litres d'échantillon), pour un résultat le plus souvent inférieur à la limite de détection analytique dans le cas des MES. Ce paramètre a été remplacé par la turbidité dès novembre 2003.



Position des stations de
septembre 2002 à
septembre 2004

- 1 : La Possession
- 2 : Rivière du Mât
- 3 : Rivière de l'Est
- 4 : Pointe de la Table
- 5 : Grande Anse
- 6 : Rivière Saint-Etienne
- 7 : Hermitage
- 8 : Rivière des Galets
- 9 : Lagon Saint-Leu
- 10 : Lagon Saline ("Planch'Alizés")
- 11 : Lagon Saline ("Toboggan")

Position des stations de
février 2005 à
décembre 2005

- 1 : La Possession
- 2 : Rivière du Mât
- 3 b : Rivière des Pluies
- 4 : Pointe de la Table
- 5 : Grande Anse
- 6 : Rivière Saint-Etienne
- 7 : Hermitage
- 8 : Rivière des Galets
- 9 : Lagon Saint-Leu
- 10 : Lagon Saline ("Planch'Alizés")
- 11 b : Lagon Saint-Pierre

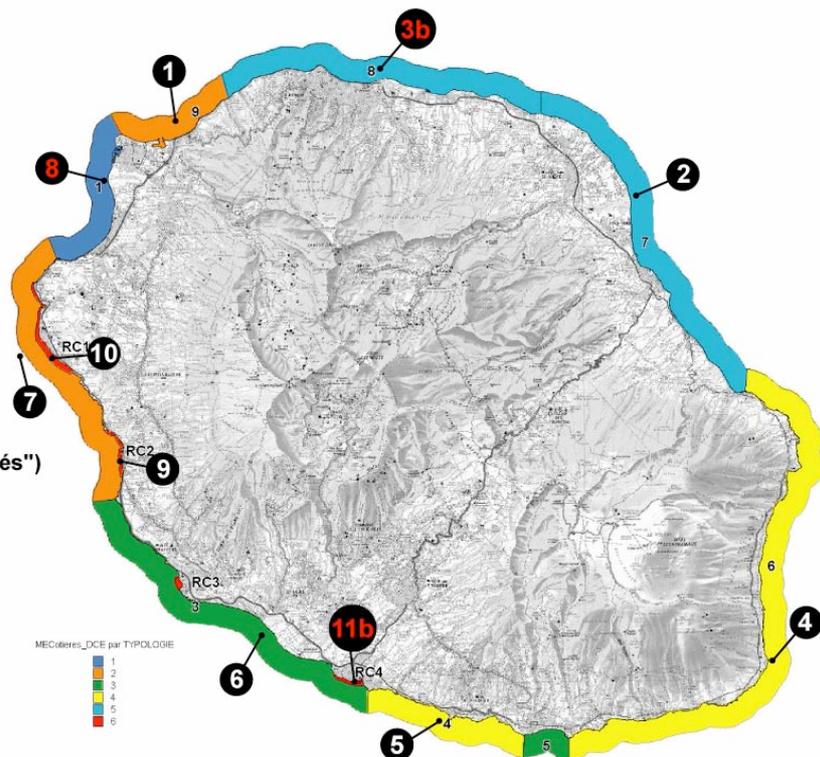


Figure 1 : Position des stations. (A) phase pilote de 2002 à 2004. (B) en 2005, les stations 3 et 11 ont été modifiées, la station 8 repositionnée dans le panache.

2.3 Les méthodes d'analyses

2.3.1 Principes généraux

SALINITE

La salinité des échantillons a été déterminée par la méthode conductimétrique, en mesurant le rapport de conductivité entre l'eau de mer à analyser et une Eau de Mer Normale à 35 de salinité (OCEAN SCIENTIFIC INTERNATIONAL) à l'aide d'un salinomètre YEO-KAL Mark IV.

La salinité des échantillons a été calculée à l'aide de la relation donnée par les Tables Océanographiques Internationales (1981). La précision de l'analyse est estimée par le constructeur à $\pm 0,003$ de salinité.

OXYGENE DISSOUS

L'oxygène dissous a été dosé à l'aide de la méthode chimique classique (méthode de Winkler), optimisée par Carpenter (1965) et Carritt et Carpenter (1966), et telle que décrite par Aminot (1983a).

Sur le terrain, l'oxygène dissous est fixé par un précipité de $Mn^{II}(OH)_2$, avec passage du manganèse à des degrés d'oxydation supérieurs (III et IV). Au laboratoire, le précipité est dissous par adjonction d'acide, et le manganèse repasse au degré d'oxydation II en oxydant des ions iodures. Le diiode formé est alors dosé par du thiosulfate de sodium préalablement étalonné à l'aide d'iodate de potassium.

La précision de l'analyse est de l'ordre de $0,03 \text{ mL.L}^{-1}$.

ELEMENTS NUTRITIFS

Les éléments nutritifs ont été analysés par colorimétrie (mesure de l'absorbance, à une longueur d'onde donnée, du composé coloré obtenu ici par transformation chimique de l'espèce à analyser), à l'aide des méthodes standard en eau de mer brièvement présentées ci-dessous.

- AZOTE AMMONIACAL

L'azote ammoniacal a été analysé selon la méthode manuelle décrite par Aminot (1983b). Les mesures ont été effectuées en cuves de 10 cm de trajet optique à l'aide d'un spectrophotomètre UVIKON 922.

La méthode utilisée, basée sur la méthode de Koroleff (1969), permet la mesure de la totalité des deux formes d'azote ammoniacal présentes en solution, l'ammoniac NH_3 et l'ammonium NH_4^+ .

Dans un premier temps, l'azote ammoniacal forme une monochloramine avec l'hypochlorite en milieu basique. Cette dernière réagit avec le phénol en présence d'un excès d'hypochlorite pour former le bleu d'indophénol absorbant à 630 nm.

La précision des mesures est estimée à $\pm 0,05 \mu\text{mole.L}^{-1}$.

- NITRATES + NITRITES, PHOSPHATES, SILICATES

Ces éléments nutritifs ont été analysés sur une chaîne d'analyses automatique (AUTOANALYSEUR II Bran + Luebbe), à l'aide des méthodes mises au point par Tréguer et Le Corre (1975).

1. *Nitrates + nitrites*

La méthode de dosage est fondée sur le dosage colorimétrique des ions nitrites obtenus par réduction quantitative des ions nitrates : cette réduction s'effectue en passant l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre, selon la technique de Wood *et al.* (1967) modifiée par Strickland et Parsons (1972). On mesure donc la somme des concentrations des ions nitrates et nitrites.

La méthode de dosage des ions nitrites est fondée sur la réaction de Griess, et a été appliquée à l'eau de mer par Bendschneider et Robinson (1952). En milieu acide, les ions nitrites forment un diazoïque avec la sulfanilamide, et le diazoïque réagit avec le N-naphtyl-éthylènediamine pour former un colorant rose qui absorbe à 543 nm.

La précision des mesures est estimée à $\pm 0,05 \mu\text{mole.L}^{-1}$.

2. *Phosphore minéral dissous*

Le phosphore minéral dissous est présent dans l'eau de mer sous la forme majoritaire orthophosphate.

Les ions orthophosphate réagissent avec un réactif acide contenant du molybdate d'ammonium, un réducteur, l'acide ascorbique, et un catalyseur (antimoine III), pour former un complexe de coloration bleue qui a un maximum d'absorption à 885 nm (Murphy et Riley, 1962).

La précision des mesures est estimée à $\pm 0,02 \mu\text{mole.L}^{-1}$.

3. *Silicium réactif*

Au pH de l'eau de mer, le silicium minéral dissous se trouve à 95% sous la forme d'acide orthosilicique Si(OH)_4 .

L'analyse est effectuée selon la méthode de Mullin et Riley (1955), adaptée par Strickland et Parsons (1972) : les ions silicates mono- et dimères réagissent en milieu acide avec des ions molybdate pour former un complexe silicomolybdique, réduit en bleu de molybdène par une solution de métol-sulfite. La densité optique du complexe est mesurée à 810 nm.

La précision des mesures est estimée à $\pm 0,05 \mu\text{mole.L}^{-1}$.

CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE

Le carbone organique particulaire a été dosé, sous la forme d'équivalents en carbone de glucose, à l'aide de la méthode de Johnson (1949) modifiée par Strickland et Parsons (1968), et telle que décrite par Le Corre (1983).

Après pré-filtration à 200 μm , la matière organique contenue dans 3 L d'eau de mer est recueillie sur un filtre Whatmann GF/F (compte tenu de la dominance du picoplancton, de taille inférieure à 3 μm , dans les eaux tropicales), et oxydée par le mélange sulfochromique. L'oxydant en excès est dosé par une solution de Fe(II) (sel de Mohr) préalablement étalonnée à l'aide d'une solution de glucose.

TURBIDITE

La turbidité est une mesure néphélométrique réalisée avec un turbidimètre ORBECO HELLIGE 966-01 (anciennes spécifications).

Après pré-filtration à 200 μm , l'échantillon est analysé le jour même.

CHLOROPHYLLE A ET PHEOPIGMENTS

La méthode utilisée est la méthode fluorimétrique de Lorenzen (1966), telle que décrite par Neveux (1983).

Après pré-filtration à 200 μm , la matière organique contenue dans 300 mL d'eau de mer est recueillie sur un filtre Whatmann GF/F (compte tenu de la dominance du picoplancton, de taille inférieure à 3 μm , dans les eaux tropicales) de 25 mm de diamètre, et l'extraction des pigments réalisée à l'aide d'acétone à 90%. La fluorescence de l'extrait acétonique est

mesurée avant et après acidification à l'aide d'une fluorimètre TURNER DESIGNS TD 700 , la différence de fluorescence observée étant en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle a + phéophytine a. L'étalonnage est réalisé à l'aide de chlorophylle a du commerce (SIGMA) préalablement dosée par spectrophotométrie (UVIKON 922) à 664 nm selon Jeffrey et Humphrey (1975).

Paramètres	Méthodes et appareillages	Ref . Normes
Température	Thermomètre numérique (WTW)	
Salinité	Méthode conductimétrique Salinomètre YEO-KAL Mark IV	Aminot (1983a)
Oxygène dissous	Méthode de Winkler	Aminot (1983a)
MES (abandon en novembre 2003 au profit de la turbidité)	Pesée à $\pm 0,1$ mg des MES récoltées sur filtre Whatmann GF/F	Aminot (1983c)
COP	Oxydation de la matière organique récoltée sur filtre Whatmann GF/F (mélange sulfochromique) et dosage de l'excès d'oxydant	Le Corre (1983)
Turbidité	Lumière polychromatique, turbidimètre ORBECO HELLIGE 966-01	Aminot et Kérouel, 2004
Azote ammoniacal	Colorimétrie (méthode manuelle au bleu d'indophénol) Spectrophotomètre KONTRON Uvikon 922	Aminot (1983b)
Phosphate	Colorimétrie (méthode de Murphy et Riley, 1962) Auto Analyseur II Bran + Luebbe	Tréguer et Le Corre (1975)
Silicate	Colorimétrie (méthode de Mullin et Riley, 1955) Auto Analyseur II Bran + Luebbe	Tréguer et Le Corre (1975)
Nitrate+Nitrite	Réduction des NO_3^- sur colonne de cadmium et dosage colorimétrique des NO_2^- (réaction de Griess) Auto Analyseur II Bran + Luebbe	Tréguer et Le Corre (1975)
Chlorophylle a et phéopigments	Extraction acétonique des pigments récoltés sur filtre Whatmann GF/F et méthode fluorimétrique (Lorenzen, 1966) Fluorimètre TURNER DESIGNS TD 700	Neveux (1983)

Tableau 1 : Méthodes utilisées au cours de la première phase de l'étude, de septembre 2002 à septembre 2004.

2.3.2 Modifications apportées à compter de février 2005.

A compter de février 2005, les phosphates ont été analysés selon la méthode manuelle décrite par Aminot et Kérouel (2004). Les mesures ont été effectuées en cuves de 10 cm de trajet optique à l'aide d'un spectrophotomètre JENWAY, également utilisé pour les mesures d'azote ammoniacal.

Les nitrates + nitrites ont été analysés par le Laboratoire de Rouen (NF EN ISO 13395, modifiée RNO-CNEXO).

La conservation des échantillons pour l'expédition a été assurée par pasteurisation, 5h à 85°C (Aminot et Kérouel, 1998).

Pour les autres paramètres, aucune modification aux méthodes n'ont été apportées.

Paramètre	Méthodes et appareillage	Ref . Normes
Azote ammoniacal	Colorimétrie (méthode manuelle au bleu d'indophénol) Spectrophotomètre JENWAY	Aminot (1983b)
Phosphate	Colorimétrie (méthode manuelle au bleu phosphomolybdique), spectrophotomètre JENWAY	NF EN 1189 modifié Aminot et Kérouel, 2004
Nitrate+Nitrite	Sous-traités au Laboratoire de ROUEN, pasteurisation avant transfert.	NF EN ISO 13395 modifié RNO-CNEXO

Tableau 2 : Paramètres dont les méthodes ont été modifiées à partir de février 2005.

2.4 L'assurance Qualité.

Les éléments pour l'assurance Qualité suivent les recommandations émises par les différentes méthodes listées ci-dessus et celles de l'ouvrage de référence (Aminot et Kérouel 2004).

Ils portent en particulier sur :

- La mise en œuvre par du personnel formé,
- La mise en place d'un cahier de station,
- Une organisation des prélèvements identique à chaque campagne (rotation autour de l'île dans le même sens, ...),
- La mise en place d'un manuel Qualité,
- L'utilisation de matériaux références pour les différentes analyses,
- La participation annuelle aux exercices d'inter comparaison de laboratoire QUASIMEME.

3 LES STATIONS COTIERES

3.1 La température

On observe sur l'ensemble des stations une évolution saisonnière des températures, avec des valeurs maximales durant la saison chaude (janvier, février et mars) et des températures minimales en saison fraîche (juin, juillet, août).

La moyenne des températures pour les stations de surface varie de $25,2 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ (Rivière Saint Etienne) à $26,3 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ (Rivière des Galets), avec une température moyenne pour l'ensemble des stations de $25,8 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$.

La moyenne des températures à -35m varie de $24,5 \pm 1,6^{\circ}\text{C}$ (Rivière Saint Etienne) à $25,8 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$ (Rivière des Galets), avec une température moyenne pour l'ensemble des stations de $25,2 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$.

La moyenne des températures pour les stations de fond varie de $23,6 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ (Rivière Saint Etienne) à $25,0 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$ (Baie de la Possession et Rivière des Galets), avec une température moyenne pour l'ensemble des stations de $24,4 \pm 1,4^{\circ}\text{C}$.

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 2 à 24 incluses¹, la couche d'eau est homogène jusqu'à -35 m de profondeur ($p = 0,15$). A -70 m, la température est plus faible (surface : $p = 0,000$; -35m : $p = 0,000$). La couche homogène correspond à la zone de brassage qui est épaisse d'environ 50 m l'été et d'environ 100 m l'hiver.

Par ailleurs, face à la Rivière Saint Etienne, la température est inférieure à celle des autres stations de la côte Ouest (Baie de la Possession : $p = 0,013$; Passe de l'Hermitage : $p = 0,037$; Rivière des Galets : $p = 0,006$). Cependant, ce résultat ne reflète pas nécessairement une réalité de terrain, car la station « Rivière Saint Etienne » est la première station échantillonnée le matin, avant que les eaux marines superficielles ne se réchauffent sous l'effet du soleil.

Sur les trois années, pour les eaux de surface, on observe les plus fortes amplitudes de températures dans la Baie de la Possession ($7,3^{\circ}\text{C}$) et à Grande Anse ($7,4^{\circ}\text{C}$), ce qui correspond aux stations échantillonnées en fin de journée. La station qui présente la plus faible amplitude de températures, toujours en surface, est localisée face à la Rivière de l'Est ($5,4^{\circ}\text{C}$). Comme précédemment, ce résultat ne reflète pas nécessairement une réalité de terrain, car la station n'a pas été échantillonnée la troisième année. Or, de manière générale, les maxima des valeurs de surface sont plus élevés au cours de la troisième année qu'au cours des deux années précédentes.

¹ Les données pour les stations 4, 5 et 6 sont manquantes en campagne 1.

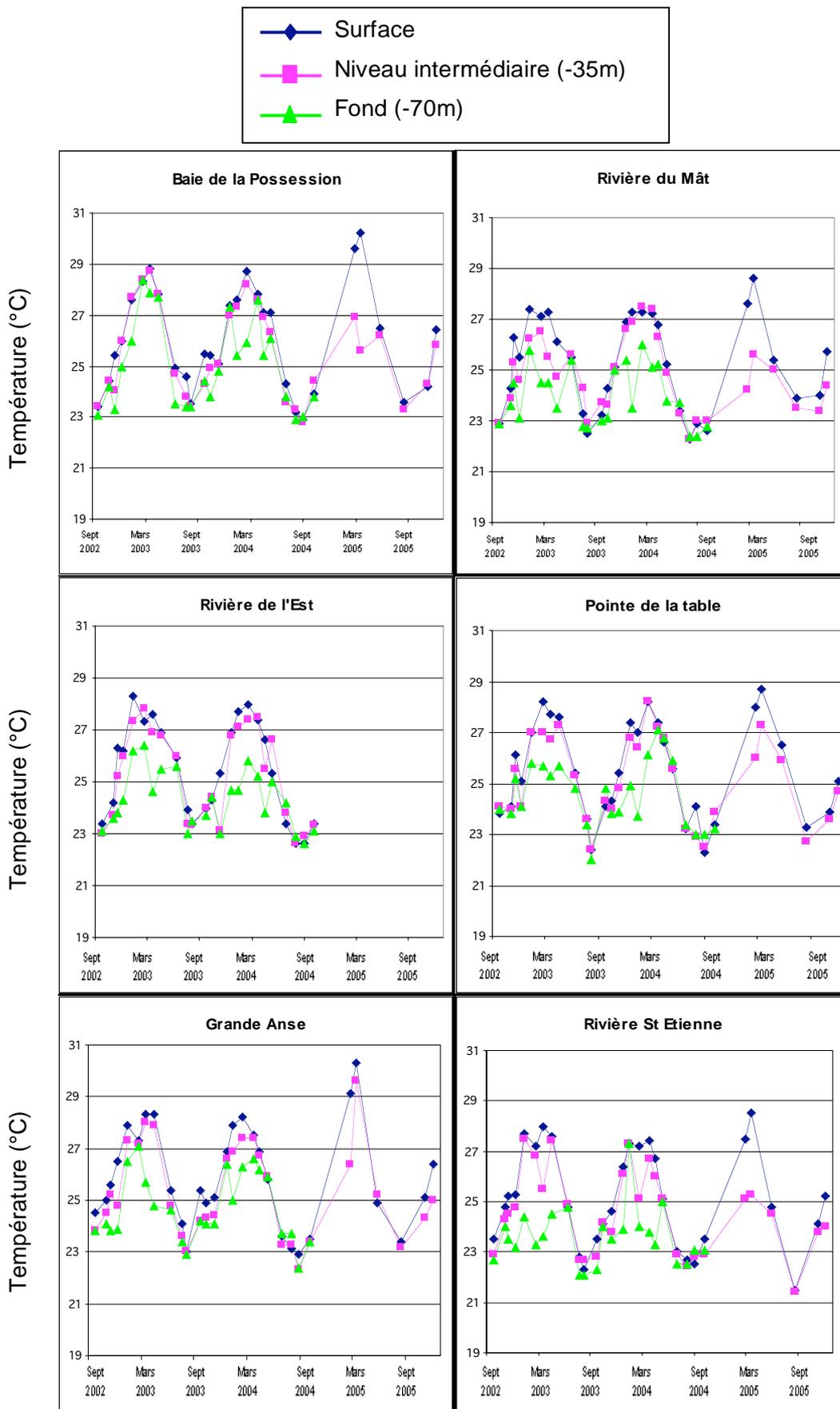


Figure 2 : Evolution temporelle de la température sur les stations côtières (1)

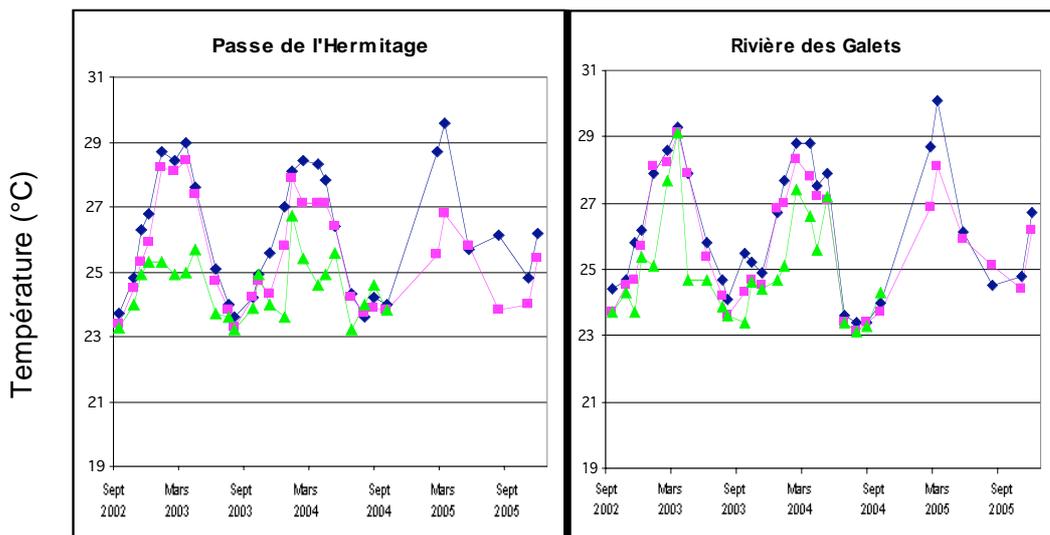


Figure 3 : Evolution temporelle de la température sur les stations côtières (2)

3.2 La salinité

Toutes données confondues (hormis la station « Rivière des Pluies », échantillonnée seulement en année 3), la salinité moyenne des eaux océaniques au cours des trois années d'étude est de $34,90 \pm 0,48$.

Les salinités du niveau intermédiaire (-35 m) et de fond (-70 m) sont extrêmement stables, avec une moyenne pour l'ensemble des stations de $35,01 \pm 0,10$ à -35 m, et de $35,08 \pm 0,11$ à -70 m. D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, la salinité est un peu plus élevée à -70 m qu'à -35 m², en raison d'une influence modérée de la dessalure de la couche de surface sur la couche intermédiaire.

Les stations présentant les salinités les plus fortes, aux profondeurs -35 m et -70 m confondues, sont la Rivière du Mât ($35,07 \pm 0,12$) et la Rivière Saint Etienne ($35,07 \pm 0,11$). Ces deux stations s'opposent à la Baie de la Possession ($35,00 \pm 0,08$) et à la Rivière de l'Est ($35,00 \pm 0,12$). Les autres stations présentent un comportement intermédiaire (test *a posteriori*). Il n'y a donc pas de localisation géographique particulière des maxima et minima de salinité. La différence maximale entre les stations est extrêmement faible ($< 0,1$).

Aucune régularité temporelle n'existe pour les stations de surface. De fortes dessalures y sont observées. La moyenne des données de surface au cours des trois années d'étude s'établit à $34,63 \pm 0,73$.

Les moyennes de surface les moins élevées, associées à une forte variabilité des données (tableau ci-dessous), sont relevées sur les stations situées aux embouchures des rivières pérennes de l'Est de l'île (Rivière du Mât et Rivière de l'Est). On observe aussi une dessalure importante à la Pointe de la Table, en raison de la résurgence de la lentille d'eau douce associée au Piton de la Fournaise.

Face aux rivières pérennes de la côte Ouest (Rivière Saint Etienne, Rivière des Galets), les dessalures sont moins importantes, et / ou plus ponctuelles dans le temps. La Baie de la Possession et Grande Anse ne sont dessalées qu'en une ou deux occasions durant les trois années d'étude. La Passe de l'Hermitage est la station la plus stable au cours du temps.

² Anova à 2 facteurs (campagne 1 à 24 incluses) : station ($p = 0,00$) ; profondeur ($p = 0,00$) ; interaction non significative.

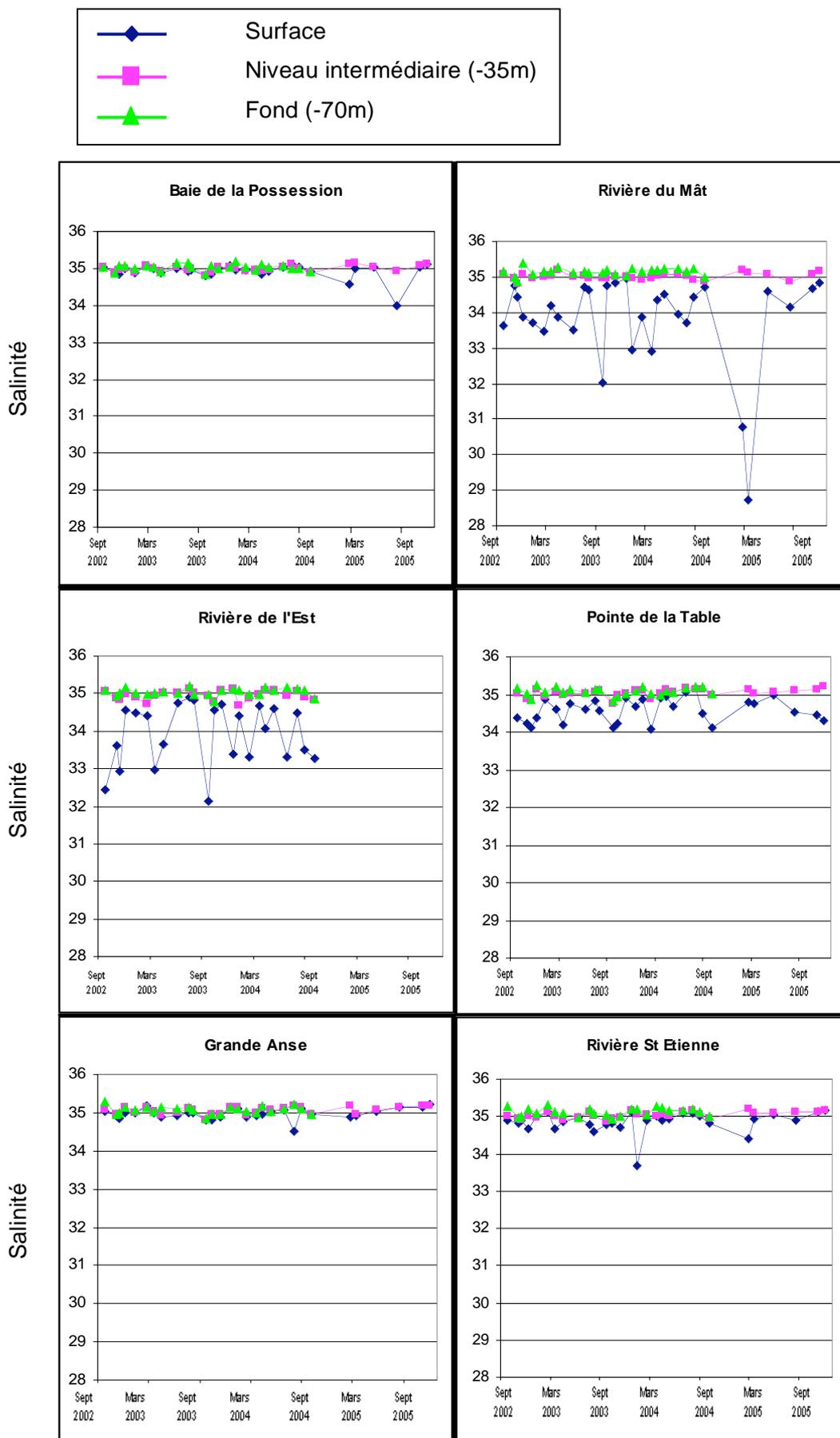


Figure 4 : Evolution temporelle de la salinité sur les stations côtières (1)

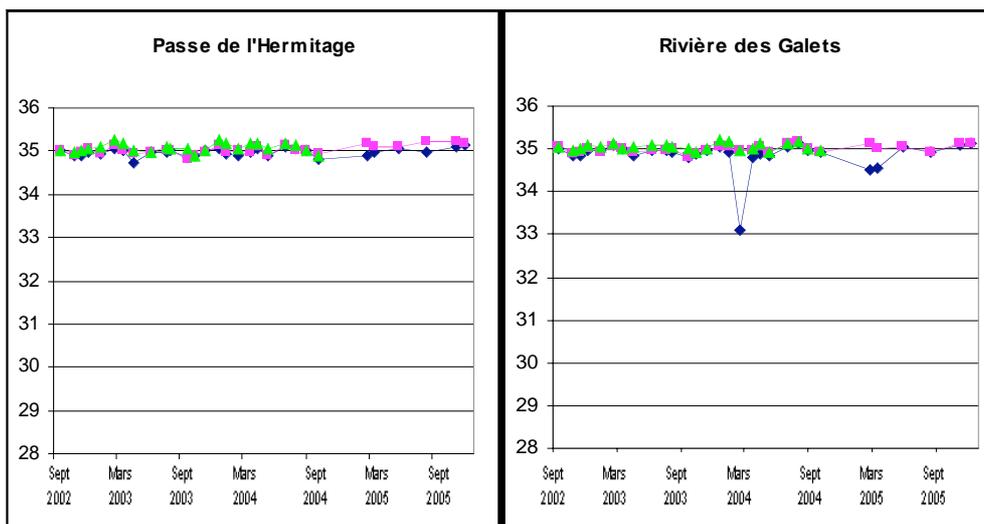


Figure 5 : Evolution temporelle de la salinité sur les stations côtières (2)

D'un point de vue statistique on distingue trois groupes de stations de surface³ :

Rivière du Mât 33,82± 1,32	Rivière de l'Est 33,92± 0,81	Pointe de la Table 34,59± 0,32	Rivière Saint Etienne 34,85± 0,28	Rivière des Galets 34,86± 0,36	Baie de la Possession 34,92± 0,21	Passe de l'Hermitage 34,97± 0,09	Grande Anse 34,98± 0,14
Rivières pérennes Côte Est		Lentille d'eau du Piton de la Fournaise et Rivière Saint Etienne		Quart nord-ouest de l'île et Grande Anse (dont Rivière des Galets)			

Tableau 3 : Salinités moyennes de surface (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (années 1 et 2 uniquement dans le cas de la Rivière de l'Est). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

Les stations localisés face aux rivières pérennes de la côte Est (Rivière du Mât et Rivière de l'Est) s'opposent aux stations localisées dans le quart nord-ouest de l'île (dont Rivière des Galets), ainsi qu'à Grande Anse, au sud. Les stations de la Pointe de la Table et de la Rivière Saint Etienne présentent un comportement intermédiaire.

³ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$. Il y a une donnée manquante pour la station de surface Rivière des Galets (campagne 2). Cette donnée a été remplacée par la moyenne des 23 valeurs existantes lors du traitement statistique.

3.3 Le pourcentage de saturation en oxygène dissous

Le jeu de données présente un certain nombre de valeurs aberrantes. Dans un milieu océanique ouvert, comme l'est le milieu côtier à la Réunion, il est totalement inconcevable d'observer des sur-saturations élevées en oxygène dissous (jusqu'à 170% à la Rivière de l'Est en début d'année 2003 !), et, *a contrario*, des sous-saturations trop importantes (de l'ordre de 60 à 70% à plusieurs reprises).

Ces valeurs proviennent sans aucun doute de problèmes à l'échantillonnage : flacons non hermétiques pour les fortes sur-saturations, vraisemblablement adjonction des réactifs en quantité trop faible pour piéger la totalité de l'oxygène dissous dans la cas des fortes sous-saturations.

Pour corriger au mieux ces anomalies, il a été décidé d'éliminer toutes les valeurs supérieures ou inférieures à deux fois l'écart-type des moyennes calculées par station et par profondeur (valeurs entourées en rouge sur les graphiques).

Dans ces conditions, le pourcentage de saturation moyen en oxygène dissous au cours des trois années d'étude est de $102,0 \pm 5,8\%$, avec une moyenne de surface de $102,2 \pm 7,9\%$, à -35 m de $102,2 \pm 3,9\%$ et à -70 m de $101,4 \pm 4,6\%$.

On peut donc considérer que la teneur en oxygène dissous des eaux océaniques est proche de la saturation à toutes les profondeurs, ce qui s'explique aisément par le brassage du milieu sous l'effet du vent et de la houle. A ce titre, la surveillance de ce paramètre apparaît très peu pertinente à la Réunion.

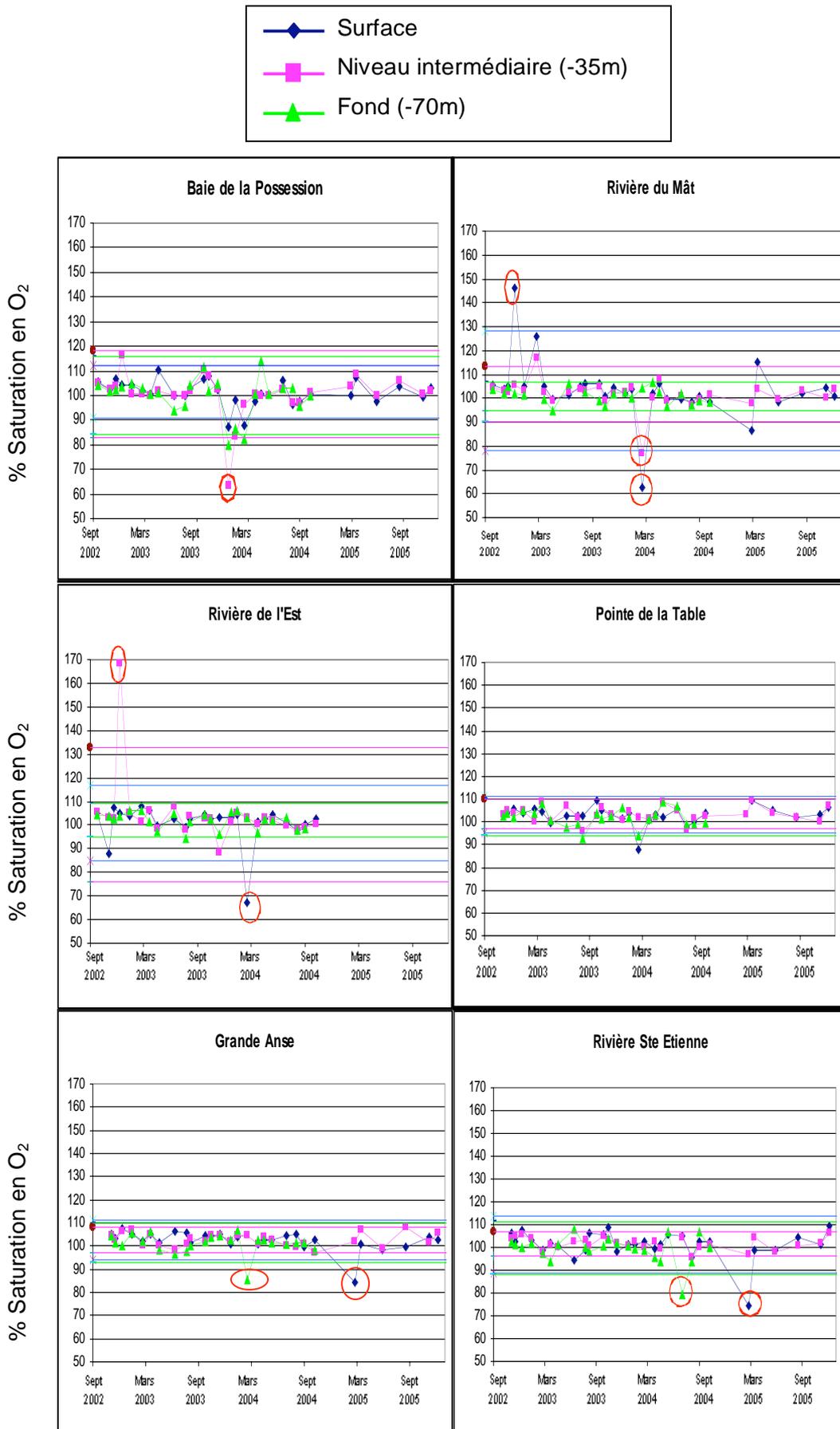


Figure 6 : Evolution temporelle du pourcentage de saturation en O₂ dissous sur les stations côtières (1)

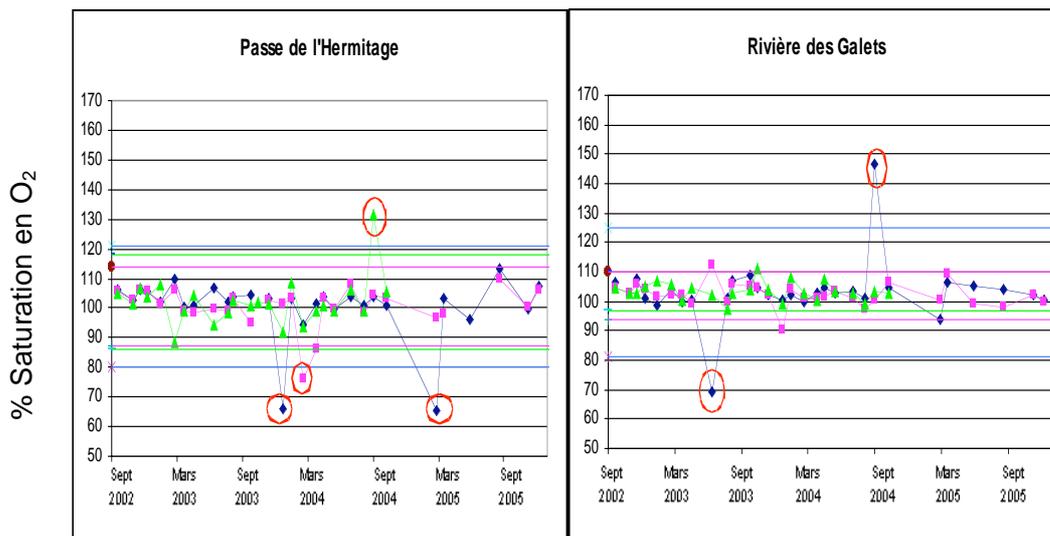


Figure 7 : Evolution temporelle du pourcentage de saturation en O₂ dissous sur les stations côtières (2).

3.4 Le silicium

Toutes données confondues (sauf station Rivière des Pluies), la concentration moyenne en silicium est de $4,4 \pm 6,1 \mu\text{M}$ au cours des trois années d'étude. Cet écart-type important témoigne d'une forte variabilité des données.

Aucune régularité temporelle n'existe pour les stations de surface, responsables de l'essentiel de la variabilité observée. Leur concentration moyenne en silicium est de $7,5 \pm 9,4 \mu\text{M}$.

Les moyennes les plus élevées (tableau ci-dessous) sont observées sur les stations situées à l'embouchure des rivières pérennes de la côte Est (Rivière du Mât et Rivière de l'Est), ainsi qu'à la Pointe de la Table, ceci en raison de la résurgence de la lentille d'eau douce associée au Piton de la Fournaise.

Face aux rivières pérennes de la côte Ouest (Rivière Saint Etienne et Rivière des Galets), les pics de concentration sont moins importants et / ou plus ponctuels dans le temps. Un seul pic de concentration est observé à Grande Anse au cours des trois années d'étude.

La Baie de la Possession et la Passe de l'Hermitage sont extrêmement stables dans le temps.

D'un point de vue statistique, on distingue deux grands groupes de stations de surface⁴: les stations localisées à l'embouchure des rivières pérennes de la côte Est et la Pointe de la Table présentent des teneurs en silicium homogènes, et s'opposent à toutes les autres stations. A l'intérieur de ce second groupe, la Rivière Saint Etienne présente la concentration moyenne en silicium la plus élevée, et s'oppose à la Passe de l'Hermitage.

Rivière de l'Est 17,4±11,8 μM	Rivière du Mât 15,4±15,1 μM	Pointe de la Table 12,7±7,4 μM	Rivière Saint Etienne 4,4±3,3 μM	Rivière des Galets 4,1±4,7 μM	Grande Anse 3,2±3,0 μM	Baie de la Possession 2,6±0,6 μM	Passe de l'Hermitage 2,1±0,3 μM
Rivières pérennes côté Est et la lentille d'eau du Piton de la Fournaise			Impact Rivière St Etienne	Quart nord ouest de l'île et Grande Anse		Hermitage	

Tableau 4 : Concentrations moyennes de surface en silicium (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (années 1 et 2 uniquement dans le cas de la Rivière de l'Est). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

⁴ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) $p = 0,00$.

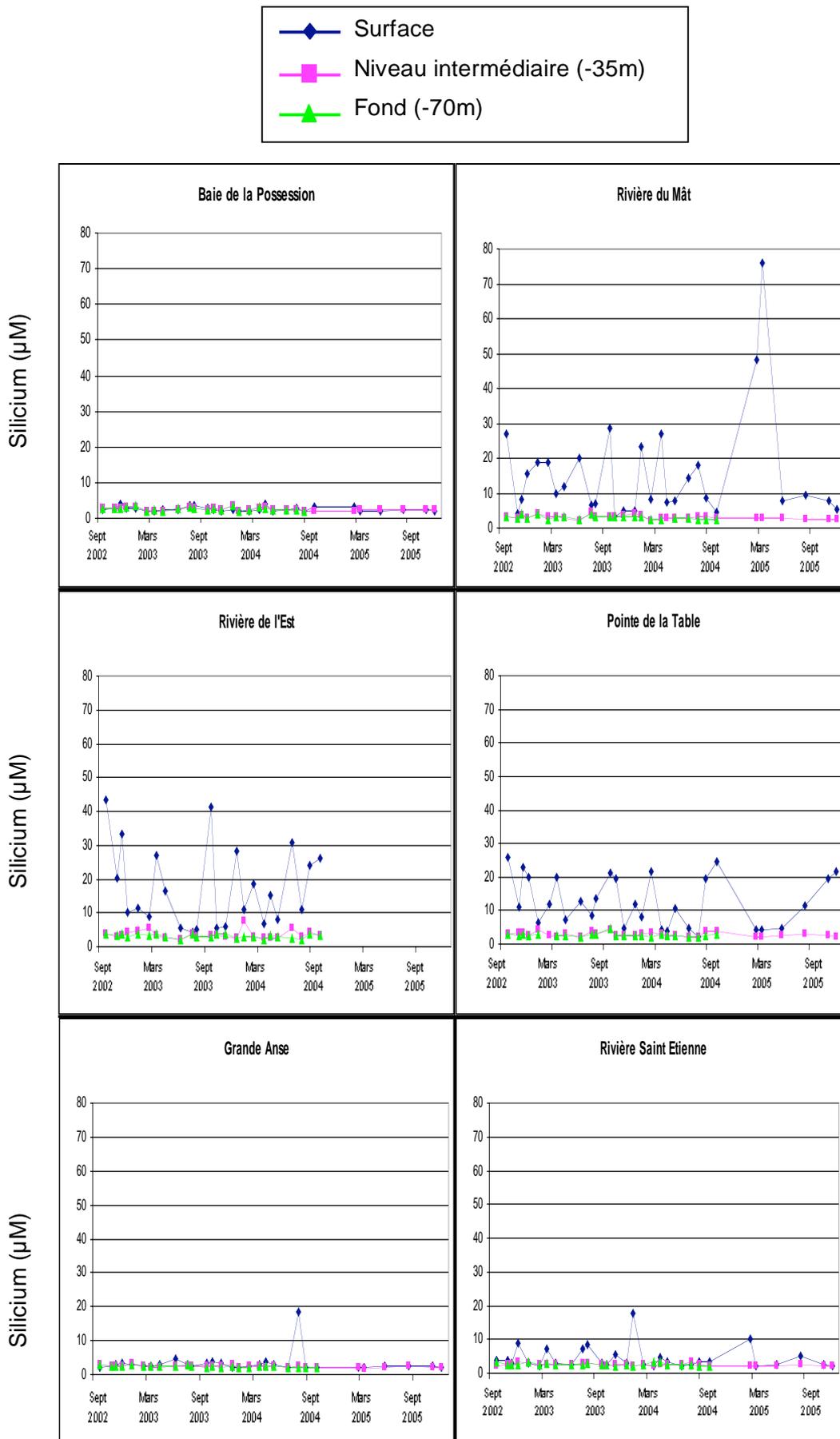


Figure 8 : Evolution temporelle des teneurs en silicium sur les stations côtières (1).

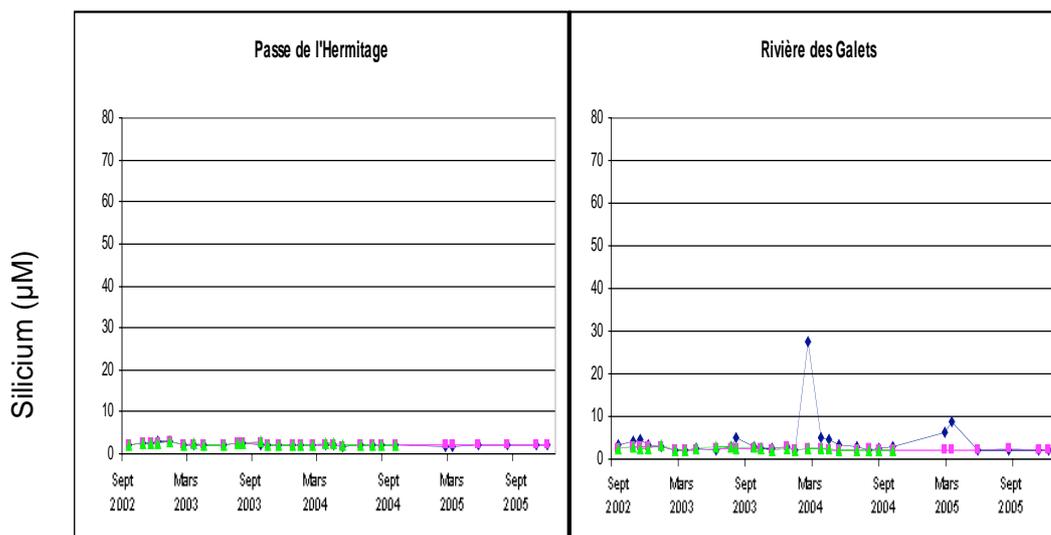


Figure 9 : Evolution temporelle des teneurs en silicium sur les stations côtières (2).

A -35 m et -70 m, les concentrations en silicium sont beaucoup plus stables qu'en surface. Sur les trois années d'étude, les moyennes s'établissent à $2,6 \pm 0,6 \mu\text{M}$ à -35m, et à $2,7 \pm 0,5 \mu\text{M}$ à -70 m pour l'ensemble des stations (sauf Rivière des Pluies). D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, il n'y a pas de différence entre le niveau intermédiaire (-35 m) et le fond (-70 m)⁵.

La couche d'eau est donc homogène à partir de -35 m de profondeur.

La station la plus riche en silicium, aux profondeurs -35 m et -70 m confondues, est Rivière de l'Est (tableau ci-dessous), qui s'oppose à la Passe de l'Hermitage. Les autres stations présentent un comportement intermédiaire⁶. La situation est donc beaucoup moins tranchée qu'en surface.

Néanmoins, les stations se classent plus ou moins dans le même ordre qu'en ce qui concerne les eaux de surface (stations les plus riches en silicium sur la côte Est). La Rivière de l'Est, qui présente la teneur en silicium la plus élevée, est aussi l'une des deux stations où la salinité est la moins élevée. On y observe donc vraisemblablement un phénomène de mélange avec la couche de surface.

⁵ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) $p > 0,05$. Deux valeurs manquantes (station 2F campagne 19 et station 4F campagne 6) ont été remplacées par la moyenne de la station à la profondeur correspondante.

⁶ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) $p = 0,00$

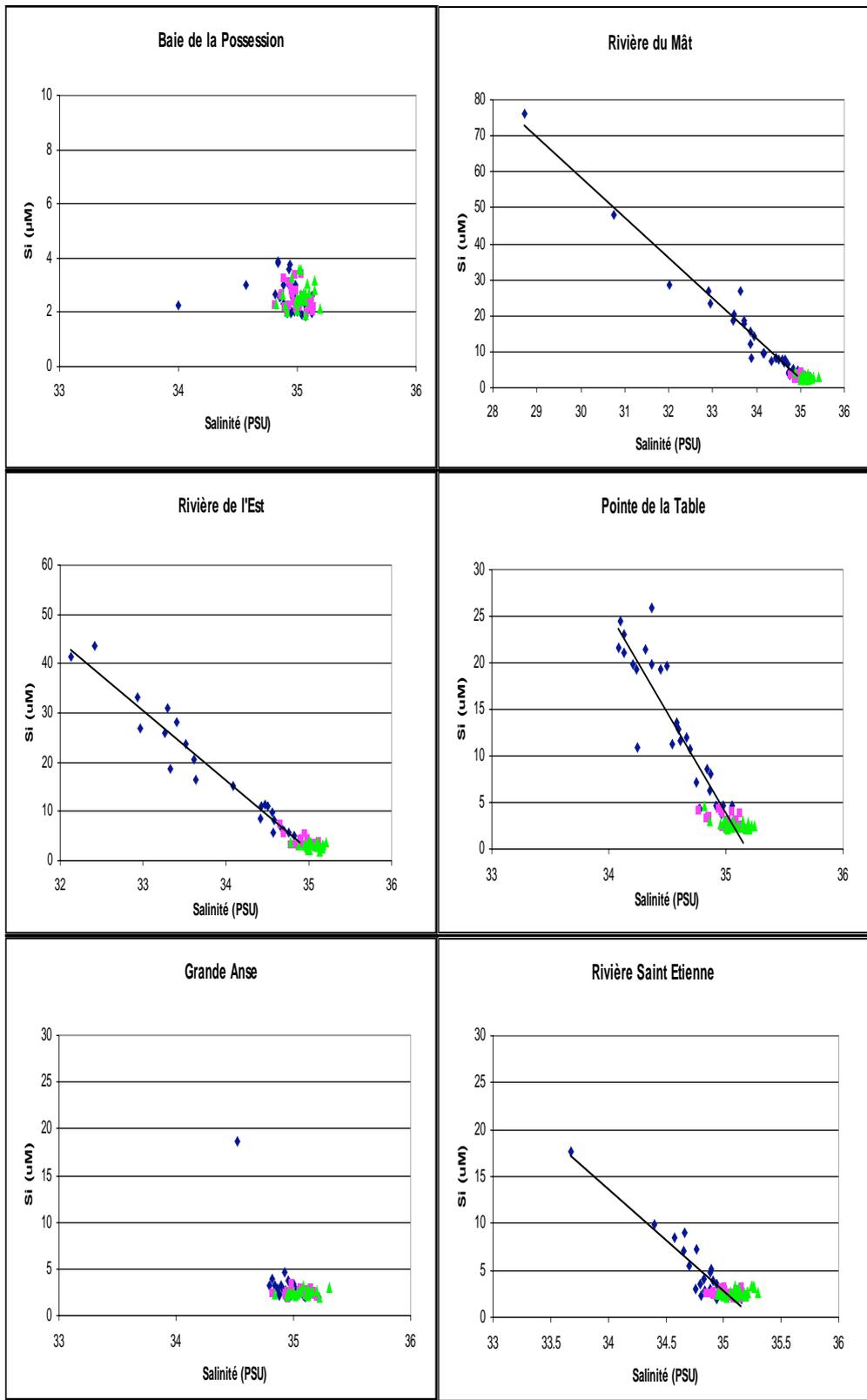
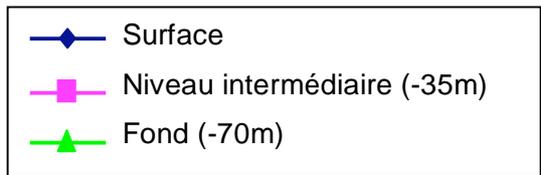


Figure 10 : Diagrammes de mélange Silicium - Salinité (1).

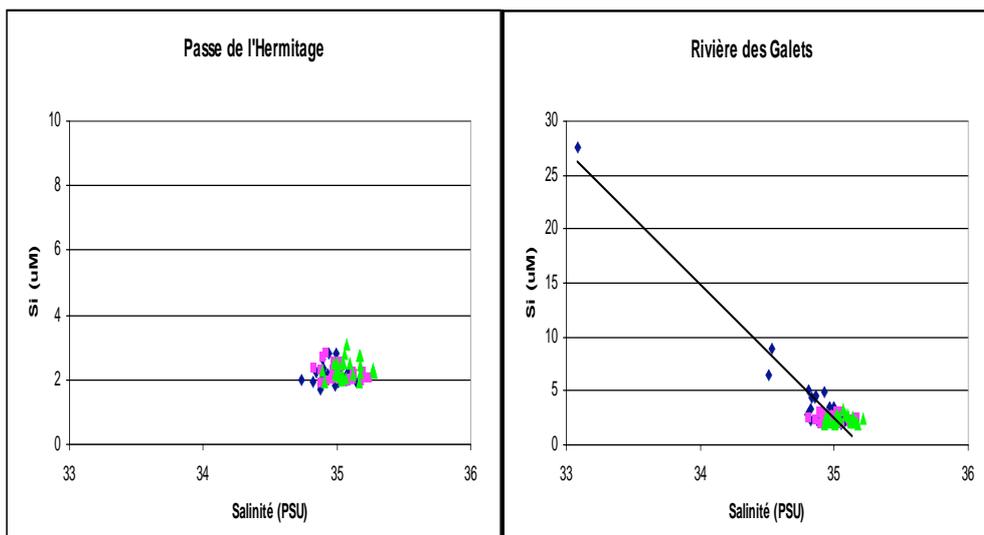


Figure 11 : Diagrammes de mélange Silicium - Salinité (2).

Si l'on suppose que le silicium se comporte de manière conservative, l'ordonnée à l'origine des droites de régression représente une valeur approchée de la teneur en silicium des eaux douces qui se mélangent avec les eaux marines.

Les eaux de la lentille d'eau douce issue du Piton de la Fournaise présentent la teneur en silicium la plus élevée⁸. Les eaux de surface sont moins riches en silicium, avec des concentrations quelque peu variables selon la rivière (de 370 µM pour la rivière du Mât, à 480 µM pour la rivière de l'Est).

Rivière du Mât	Rivière Saint Etienne	Rivière des Galets	Rivière de l'Est	Pointe de la Table
371,06	402,50	443,29	476,29	802,69

Tableau 7 : Valeurs estimées de la teneur en silicium des eaux douces se mélangeant avec les eaux marines sur les différentes stations. Un trait unissant deux stations signifie que les eaux douces y présentent une concentration en silicium similaire.

A Grande Anse, le seul pic de silicium observé en surface correspond à une influence exceptionnelle de la lentille d'eau douce issue du Piton de la Fournaise (l'échantillon correspondant se place sur la droite de mélange Silicium – Salinité tracée pour la Pointe de la Table).

En revanche, en Baie de la Possession, les dessalures observées en surface à deux reprises au cours de l'année 2005 ne se traduisent par aucun enrichissement en silicium. En mars 2005, les fortes pluies responsables de cette dessalure avaient été suivies d'un blanchissement corallien (Guillaume et al., 2005).

⁸ Comparaison de la pente et de l'ordonnée à l'origine de deux axes majeurs réduits (Scherrer, 1984 : Biostatistique ; p.686)

3.5 Les nitrates + nitrites

A l'issue du traitement des données, il est apparu que quelques valeurs initialement validées résultaient vraisemblablement d'erreurs de mesure, ou de problèmes à l'échantillonnage. Ces valeurs⁹ ont été écartées des représentations graphiques, et du calcul des moyennes.

Toutes données confondues (sauf station Rivière des pluies), la concentration moyenne en nitrates + nitrites est de $0,18 \pm 0,38 \mu\text{M}$. au cours des trois années d'étude. On n'observe de régularité temporelle sur aucune des stations. Comme dans le cas du silicium, l'écart-type important témoigne d'une forte variabilité des données, qui affecte essentiellement les eaux de surface, mais également, dans une moindre mesure, les eaux localisées à -70 m de profondeur.

Les concentrations les plus faibles, et les plus stables dans le temps, sont relevées à -35 m ($0,08 \pm 0,11 \mu\text{M}$), par comparaison avec les concentrations moyennes en surface ($0,24 \pm 0,57 \mu\text{M}$) et au fond ($0,22 \pm 0,27 \mu\text{M}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, les concentrations sont similaires en surface et à -70 m. Des apports de nitrates sont donc à la fois observés en surface (apports terrigènes) et au fond (nitrification au niveau des sédiments et / ou remontée d'eaux plus profondes ?). La couche intermédiaire (-35m), quasiment épuisée en nitrates, se différencie bien des deux autres¹⁰.

Les valeurs de surface les plus élevées sont enregistrées à la Rivière du Mât (tableau ci-dessous). Cette station s'oppose à la Baie de la Possession et à la Passe de l'Hermitage, où les concentrations moyennes avoisinent le seuil de détection analytique. Les autres stations ont un comportement intermédiaire¹¹.

Rivière du Mât	Rivière de l'Est	Rivière Saint Etienne	Pointe de la Table	Grande Anse	Rivière des Galets	Baie de la Possession
$0,90 \pm 1,32 \mu\text{M}$	$0,31 \pm 0,19 \mu\text{M}$	$0,20 \pm 0,20 \mu\text{M}$	$0,11 \pm 0,07 \mu\text{M}$	$0,13 \pm 0,07 \mu\text{M}$	$0,09 \pm 0,09 \mu\text{M}$	$0,05 \pm 0,06 \mu\text{M}$
						Passe de l'Hermitage
						$0,05 \pm 0,07 \mu\text{M}$

Tableau 8 : Concentrations moyennes de surface en nitrates + nitrites (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

⁹ Rivière de l'Est, campagne 24, -70 m = $2,51 \mu\text{M}$
 Pointe de la Table, campagne 19, surface = $0,84 \mu\text{M}$
 Pointe de la Table, campagne 24, surface = $9,57 \mu\text{M}$
 Grande Anse, campagne 10, -70 m = $6,32 \mu\text{M}$
 Grande Anse, campagne 24, -70 m = $8,78 \mu\text{M}$
 Passe de l'Hermitage, campagne 23, -35 m = $1,19 \mu\text{M}$

¹⁰ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses), comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes : $p = 0,00$

¹¹ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

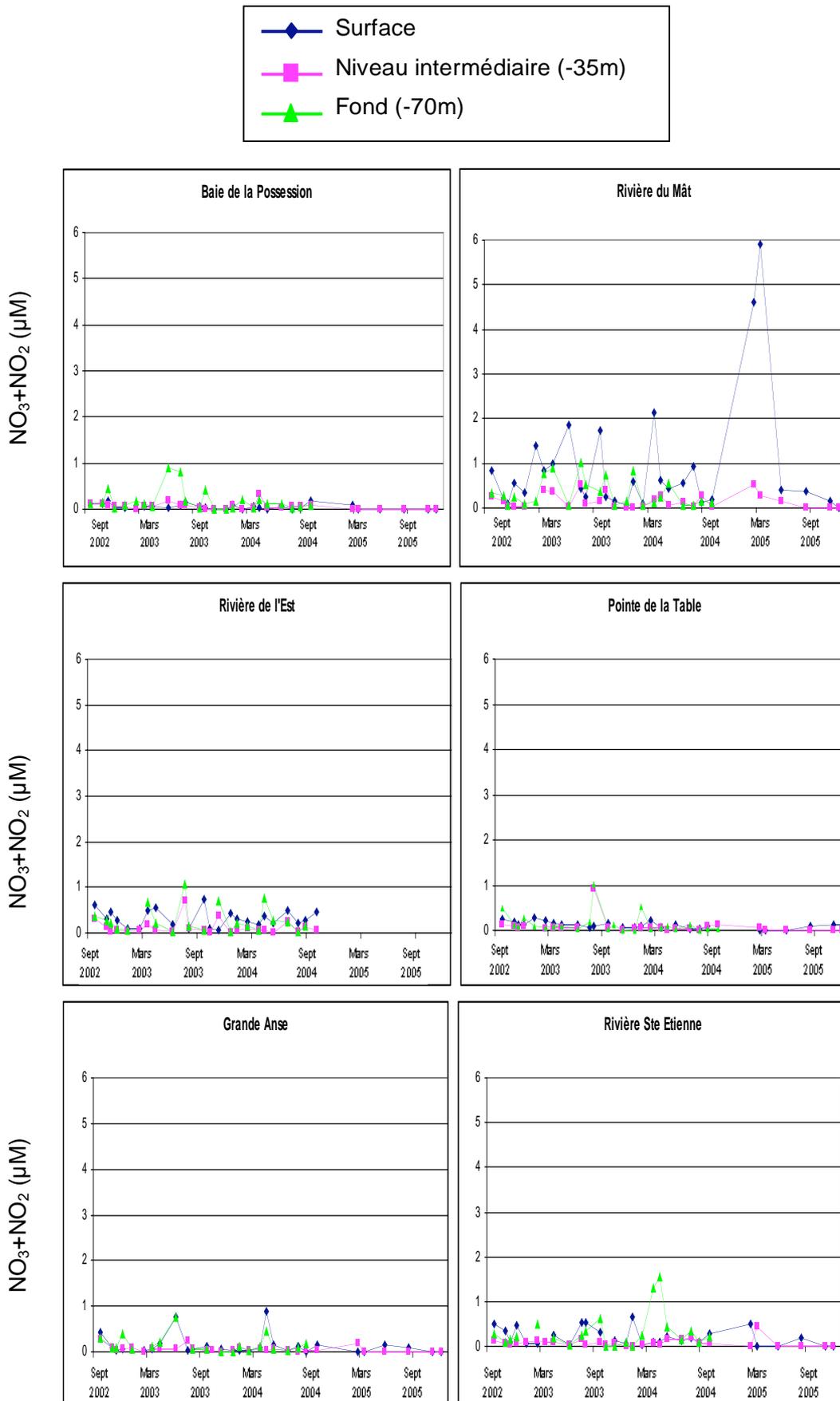


Figure 12 : Evolution temporelle des teneurs en nitrates + nitrites sur les stations côtières (1).

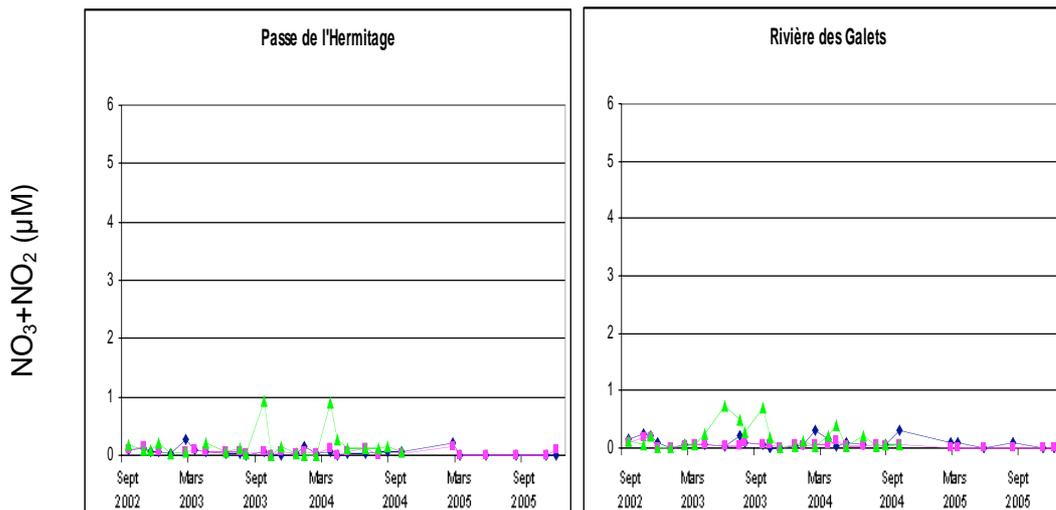


Figure 13 : Evolution temporelle des teneurs en nitrates + nitrites sur les stations côtières (2).

A -35 m, on ne détecte aucune différence entre les stations¹². Il en est de même à -70 m : les moyennes ne diffèrent pas de manière statistique, mais il peut être intéressant de signaler que les valeurs sont un peu plus importantes sur les stations dont les concentrations de surface en nitrates sont les plus élevées (figure ci-dessous).

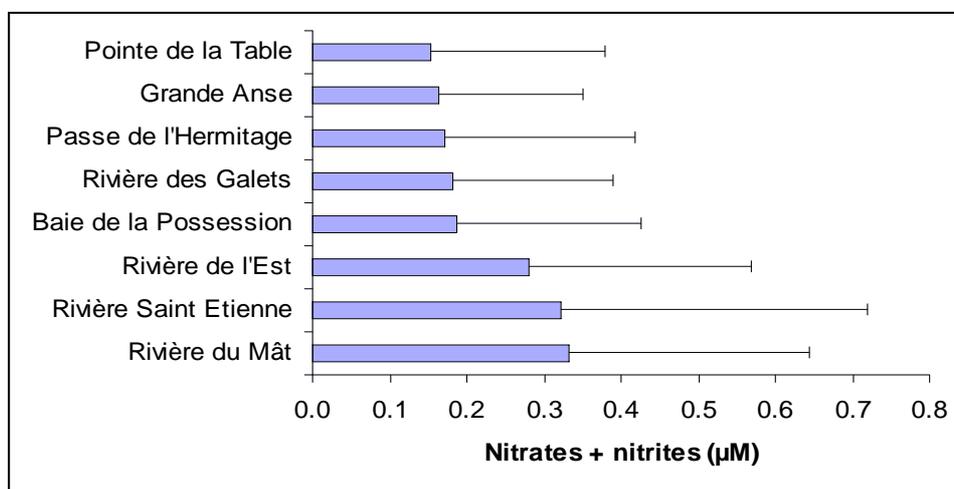


Figure 14 : Concentrations moyennes en nitrates + nitrites (± écart-type) à la profondeur de -70 m au cours des trois années d'étude.

¹² Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p > 0,05$

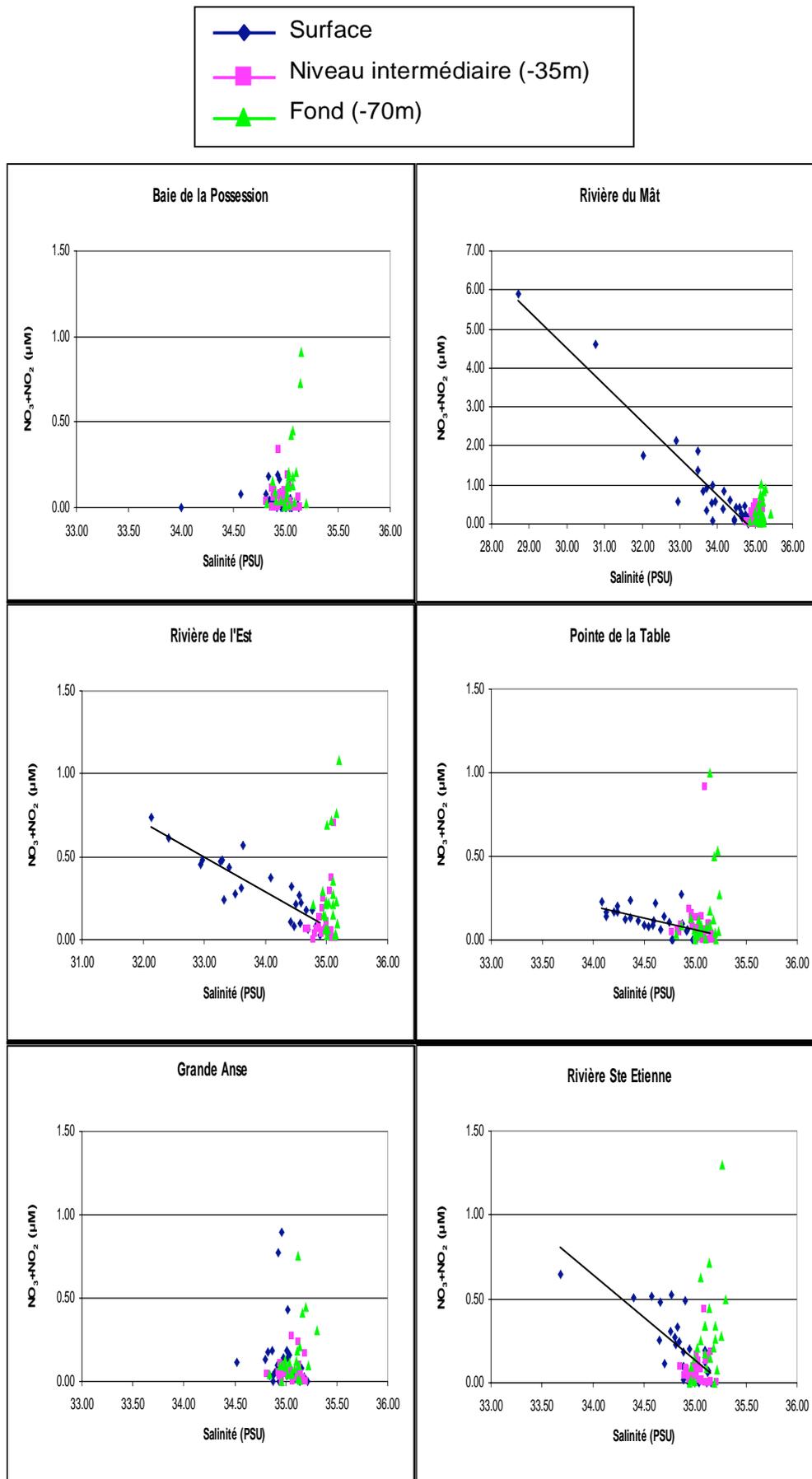


Figure 15 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Salinité (1).

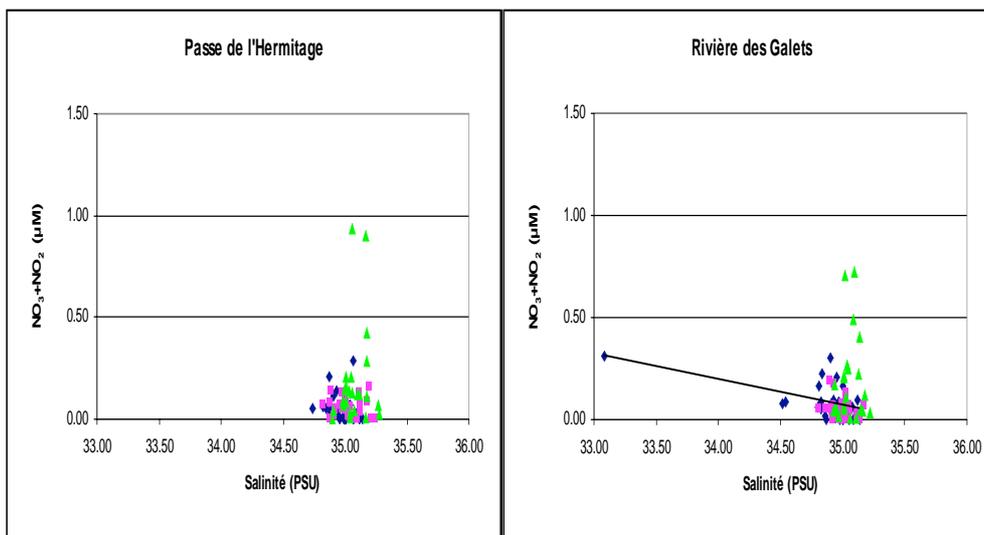


Figure 16 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Salinité (2).

Par ailleurs, on observe des corrélations Nitrates + nitrites - Salinité¹³, excepté dans la Baie de la Possession, à Grande Anse et à la Passe de l'Hermitage.

Le tableau ci-dessous présente pour chacune des stations concernées le coefficient de corrélation, la valeur de la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression.

Station	R ²	Pente	Ordonnée à l'origine
Rivière du Mât	0.90	-0.99 ± 0.06	34.52
Rivière de l'Est	0.78	-0.24 ± 0.02	8.37
Pointe de la Table	0.31	-0.23 ± 0.04	7.95
Rivière Saint-Etienne	0.58	-0.66 ± 0.08	23.31
Rivière des Galets	0.27	-0.25 ± 0.04	8.71

Tableau 9 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Nitrates + nitrites – Salinité tracées pour les stations de surface.

D'un point de vue statistique, les droites de régression sont similaires à la Rivière de l'Est, à la Pointe de la Table et à la Rivière des Galets¹⁴ : le regroupement de ces différentes stations permet d'évaluer la teneur moyenne en nitrates + nitrites des eaux douces affectant ces trois secteurs (figure ci-dessous). Celle-ci est très faible (de l'ordre de 8 µM), car ces eaux sont issues des zones les moins peuplées de l'île (cirque de Mafate, « Sud sauvage »).

La Rivière Saint-Etienne et la Rivière du Mât traversent des terres agricoles, et présentent en conséquence des concentrations significativement plus élevées (et différentes l'une de

¹³ Test R modèle complet : $p < 0,01$ pour les cinq stations

¹⁴ Comparaison de la pente et de l'ordonnée à l'origine de deux axes majeurs réduits (Scherrer, 1984 : Biostatistique ; p.686).

l'autre). Respectivement égales à 23 et 35 µM, ces concentrations demeurent extrêmement faibles pour des eaux superficielles.

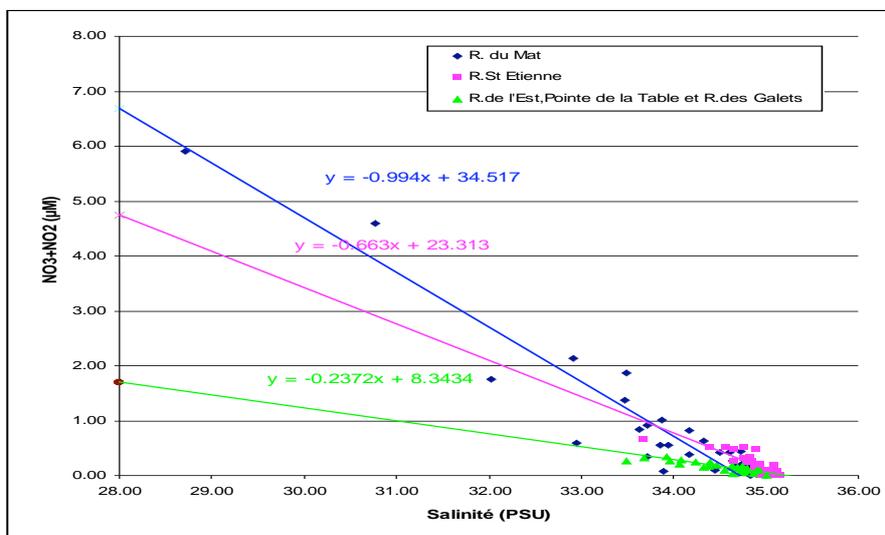


Figure 17 : Tracé des trois droites de mélange Nitrates + nitrites – Salinité obtenues, après regroupement des stations Rivière de l'Est, Pointe de la Table et Rivière des Galets.

On observe également des corrélations Nitrates + nitrites - Silicium en surface¹⁵, sauf à Grande Anse et à la Passe de l'Hermitage (tableau ci-dessous).

Station	R ²	Pente	Ordonnée à l'origine
Baie de la Possession	0.34	0.096 ± 0.015	-0.19
Rivière du Mât	0.90	0.087 ± 0.005	-0.44
Rivière de l'Est	0.77	0.016 ± 0.002	0.02
Pointe de la Table	0.29	0.010 ± 0.002	-0.01
Rivière Saint Etienne	0.62	0.057 ± 0.007	-0.04
Rivière des Galets	0.28	0.019 ± 0.003	0.01

Tableau 10 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Nitrates + nitrites – Silicium tracées pour les stations de surface.

Les droites de régression sont similaires pour la Baie de la Possession et la Rivière du Mât, d'une part, et pour la Rivière de l'Est et la Rivière des Galets, d'autre part¹⁶.

Comme précédemment, quatre droites de régression peuvent donc finalement être tracées, en regroupant la Baie de la Possession et la Rivière du Mât, d'une part, et la Rivière de l'Est et la Rivière des Galets, d'autre part (figure ci-dessous).

¹⁵ Test R modèle complet : $p < 0,01$ pour les cinq stations

¹⁶ Comparaison de la pente et de l'ordonnée à l'origine de deux axes majeurs réduits (Scherrer, 1984 : Biostatistique ; p.686).

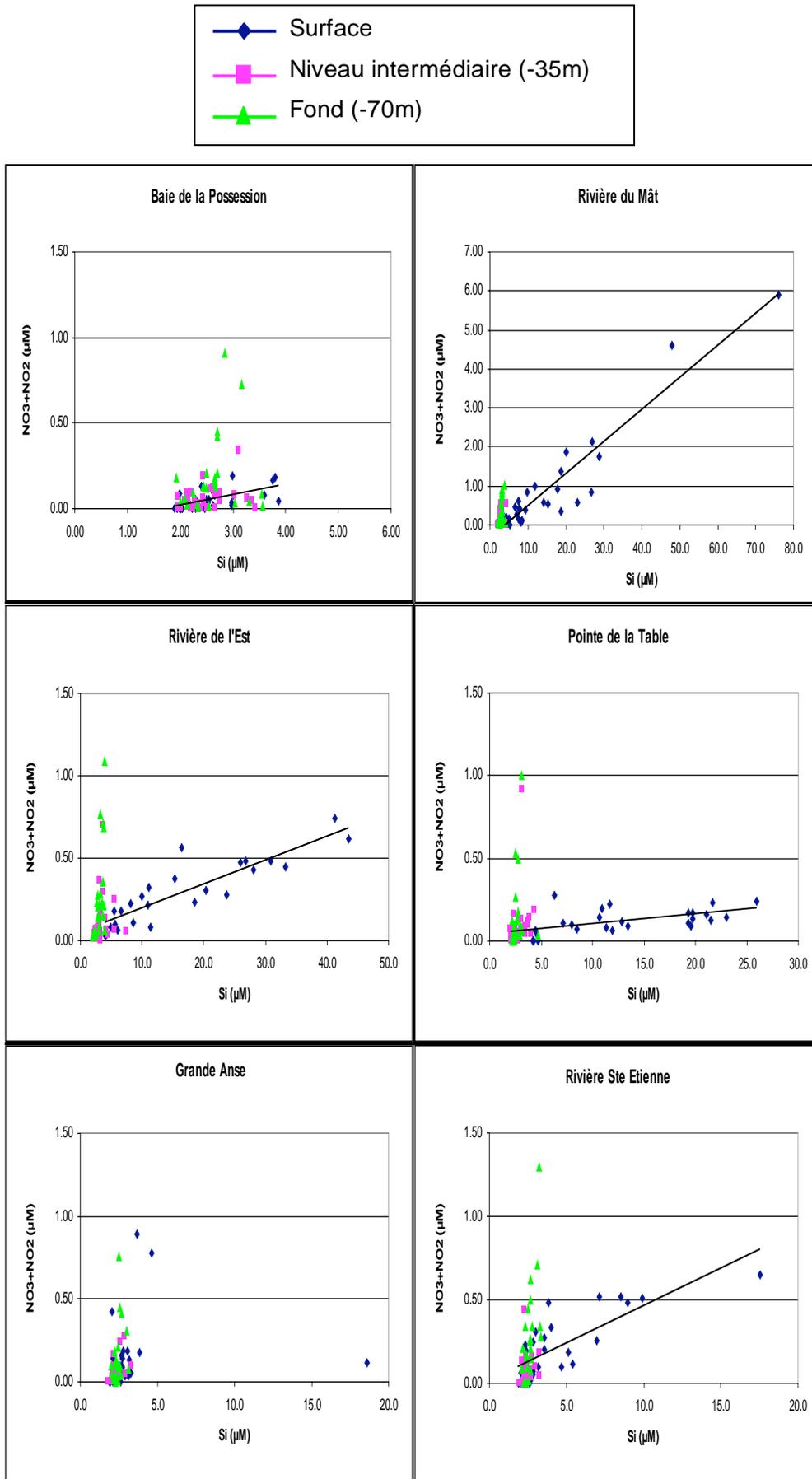


Figure 18 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Silicium (1).

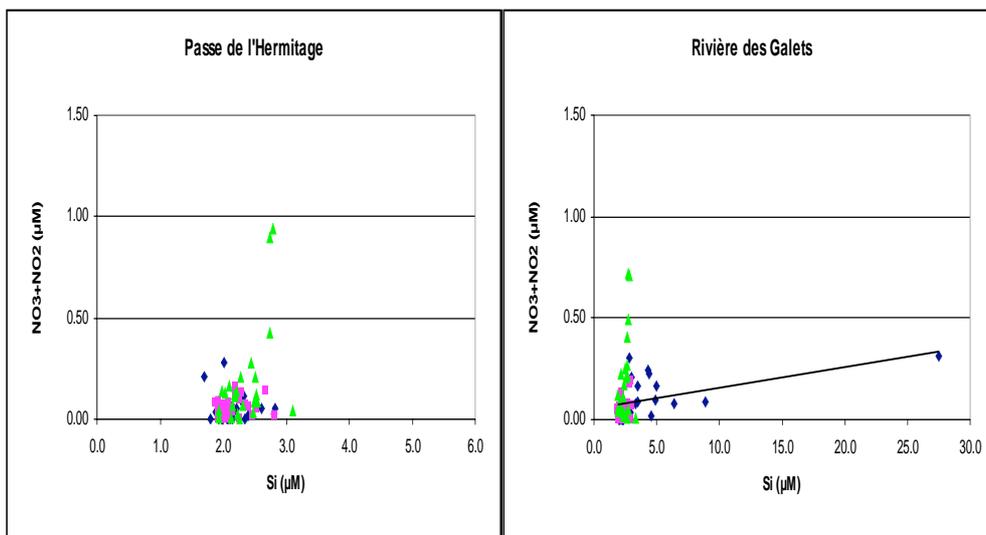


Figure 19 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Silicium (2).

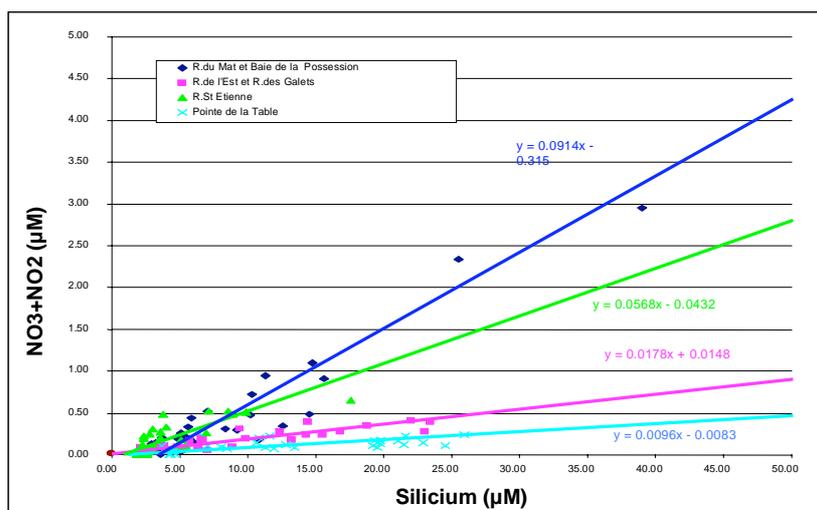


Figure 20 : Tracé des quatre droites de mélange Nitrates + nitrites – Silicium obtenues, après regroupement des stations Rivière du Mât et Baie de la Possession, d'une part, et Rivière de l'Est et Rivière des Galets, d'autre part.

3.6 Les phosphates

Toutes données confondues (sauf station Rivière des Pluies), la concentration moyenne en phosphates est de $0,12 \pm 0,04 \mu\text{M}$ au cours des trois années d'étude.

Les valeurs moyennes sont un peu plus faibles à -35 m ($0,11 \pm 0,03 \mu\text{M}$) qu'en surface ($0,12 \pm 0,04 \mu\text{M}$) et à -70 m ($0,12 \pm 0,04 \mu\text{M}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, il n'y a pas de différence entre la surface et -70 m. La couche intermédiaire (-35 m) se différencie des deux autres¹⁷. Comme dans le cas des nitrates, des apports de phosphates sont donc à la fois observés en surface (apports terrigènes) et au fond (minéralisation au niveau des sédiments et / ou remontée d'eaux plus profondes ?).

Toutefois, la différence moyenne observée entre les trois profondeurs est minime. L'épuisement de la couche intermédiaire en nitrates ne s'accompagne que de l'utilisation d'une faible partie des phosphates disponibles, car le rapport N :P du phytoplancton est élevé (classiquement considéré comme égal à 16).

Toutes profondeurs confondues, c'est la station de la Rivière de l'Est qui présente la plus forte teneur en phosphates (tableau ci-dessous).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, cette station s'oppose à la Baie de la Possession et à la Rivière des Galets¹⁸. Cependant, les différences spatiales observées demeurent très peu importantes.

Rivière de l'Est $0,13 \pm 0,05 \mu\text{M}$	Rivière du Mât $0,12 \pm 0,03 \mu\text{M}$	Pointe de la Table $0,12 \pm 0,05 \mu\text{M}$	Rivière Saint Etienne $0,11 \pm 0,03 \mu\text{M}$	Passe de l'Hermitage $0,11 \pm 0,03 \mu\text{M}$	Grande Anse $0,11 \pm 0,03 \mu\text{M}$	Rivière des Galets $0,11 \pm 0,03 \mu\text{M}$	Baie de la Possession $0,10 \pm 0,03 \mu\text{M}$
Côté Est de l'île	Stations intermédiaires				Quart Nord Ouest de l'île		

Tableau 11 : Concentrations moyennes en phosphates (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

La situation est un peu plus tranchée en surface (tableau ci-dessous). La Rivière de l'Est, et dans une moindre mesure la Pointe de la Table, s'opposent aux stations localisées en dehors de l'influence des rivières pérennes (Grande Anse, Baie de la Possession, Passe de l'Hermitage)¹⁹.

On voit donc apparaître une source de variabilité spatiale différente de l'influence anthropique invoquée dans le cas des nitrates. Les stations de surface les plus riches en phosphates sont localisées à proximité des secteurs les moins peuplés de l'île, et les phosphates y ont donc une origine naturelle.

¹⁷ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

¹⁸ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

¹⁹ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

Rivière de l'Est	Pointe de la Table	Rivière du Mât	Rivière Saint Etienne	Grande Anse
0,17 ± 0,06 µM	0,15 ± 0,06 µM	0,13 ± 0,04 µM	0,11 ± 0,02 µM	0,10 ± 0,03 µM
			Rivière Des Galets	Baie de la Possession
			0,11 ± 0,03 µM	0,10 ± 0,03 µM
				Passé de l'Hermitage
				0,10 ± 0,02 µM

Tableau 12 : Concentrations moyennes de surface en phosphates (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

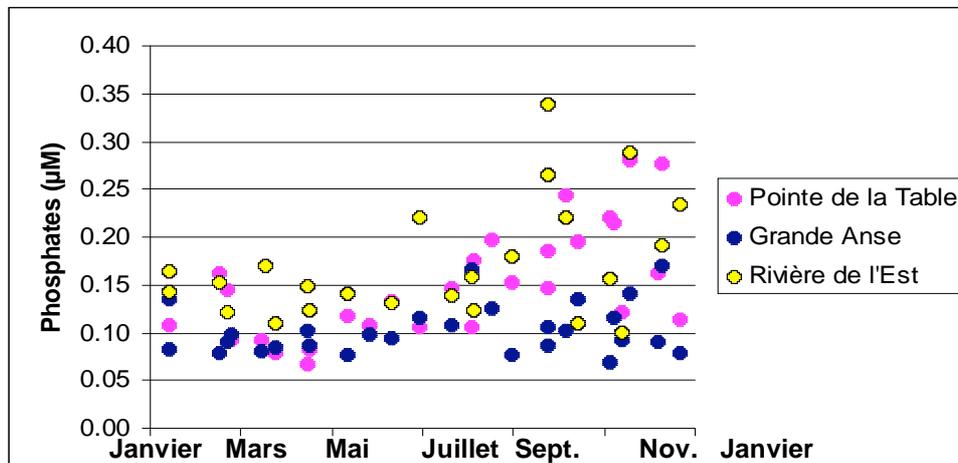


Figure 21 : Variations saisonnières de la concentration en phosphates dans les eaux de surface des stations du Sud et Sud-Est.

Sur les stations du Sud et du Sud Est de l'île affectées par les apports terrigènes (Rivière de l'Est et Pointe de la Table), on observe par ailleurs une variabilité élevée des concentrations d'octobre à décembre environ, ce qui correspond au début de la saison des pluies. On peut supposer que le lessivage des phosphates se produit essentiellement à cette période de l'année, avec pour conséquence une certaine variabilité des concentrations dans les eaux douces superficielles et souterraines.

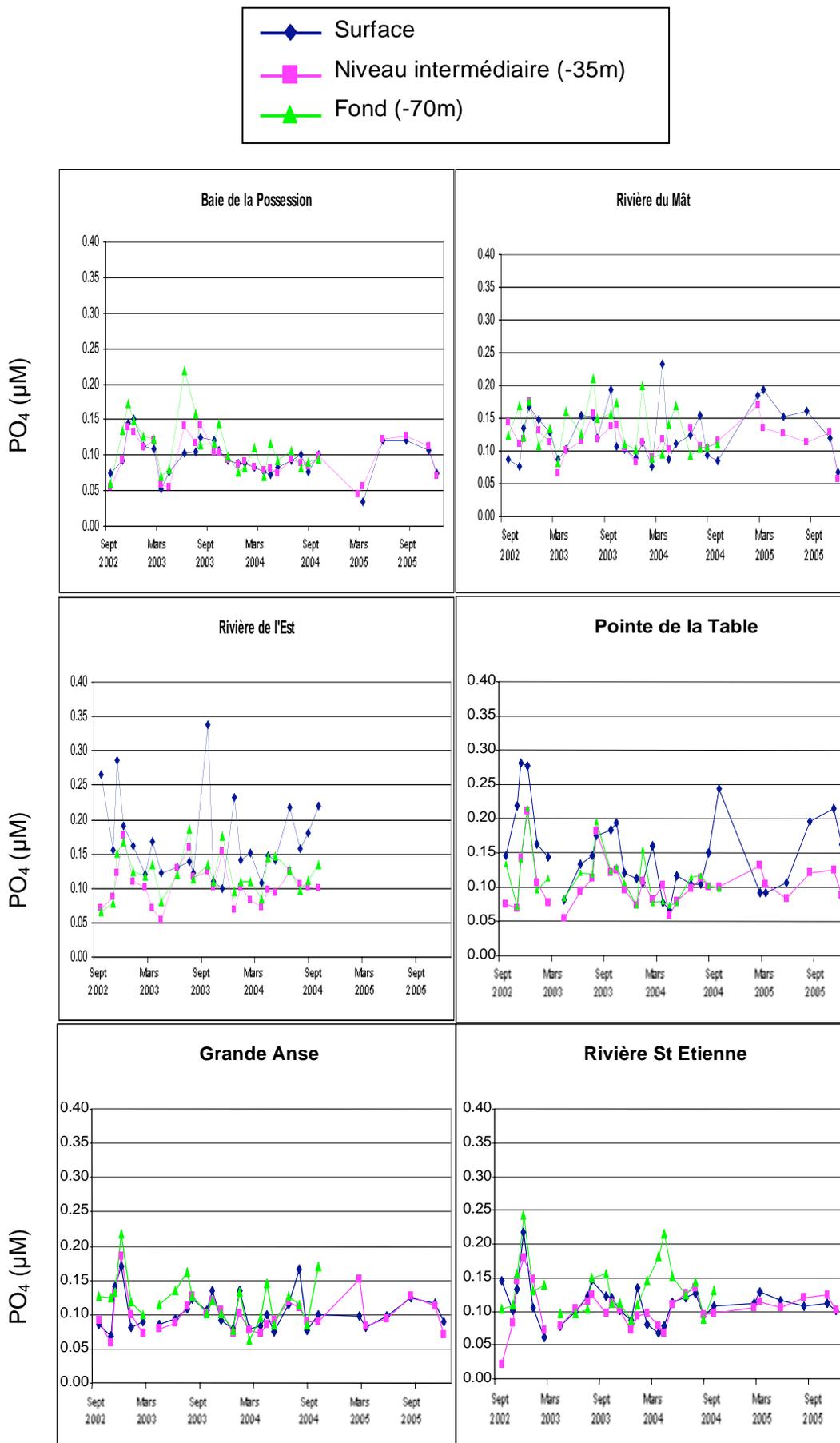


Figure 22 : Evolution temporelle des teneurs en phosphates sur les stations côtières (1).

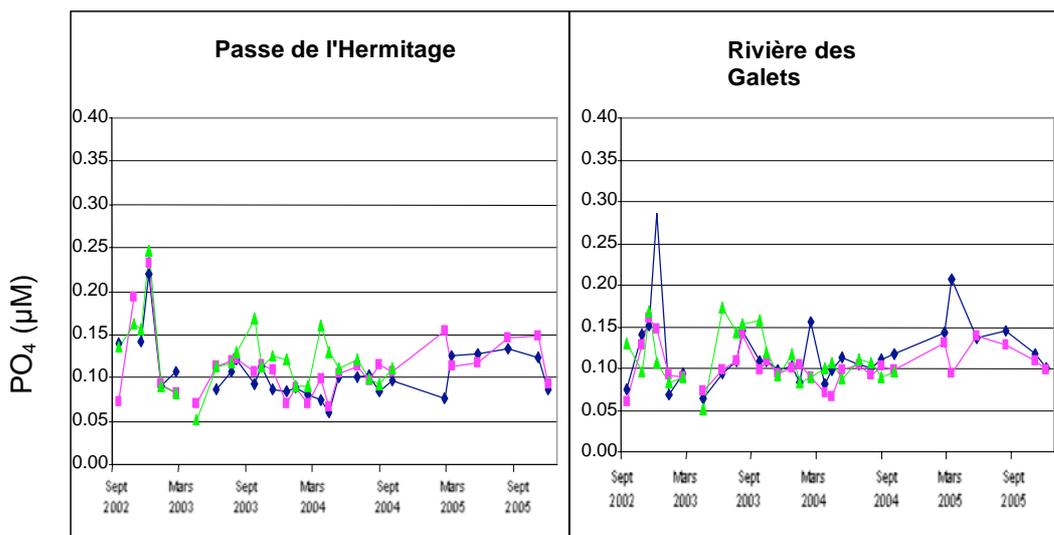


Figure 23 : Evolution temporelle des teneurs en phosphates sur les stations côtières (2).

On observe cependant de bonnes corrélations²⁰ Phosphates - Salinité pour les eaux de surface de la Rivière de l'Est et de la Pointe de la Table, ainsi qu'une corrélation moins marquée pour la Rivière du Mât.

Le tableau ci-dessous rassemble les coefficients de corrélation, et la valeur de la pente et de l'ordonnée à l'origine pour chacune des droites de régression correspondantes.

Station	R ²	Pente	Ordonnée à l'origine
Rivière du Mât	0.38	-0.031 ± 0.005	1.19
Rivière de l'Est	0.68	-0.075 ± 0.009	2.71
Pointe de la Table	0.56	-0.178 ± 0.022	6.32

Tableau 13 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Phosphates – Salinité tracées pour les stations de surface.

En supposant que les phosphates se comportent de manière conservative, l'ordonnée à l'origine des droites de régression permet d'évaluer la teneur moyenne en phosphates des eaux douces affectant ces différents secteurs. Les valeurs calculées sont significativement différentes²¹, et augmentent lorsque l'on passe du nord (Rivière du Mât : de l'ordre de 1,2 µM) au sud de l'île (lentille d'eau douce issue du Piton de la Fournaise : de l'ordre de 6,3 µM).

²⁰ Test R modèle complet : $p < 0,01$ pour les trois stations

²¹ Comparaison de la pente et de l'ordonnée à l'origine de deux axes majeurs réduits (Scherrer, 1984 : Biostatistique ; p.686).

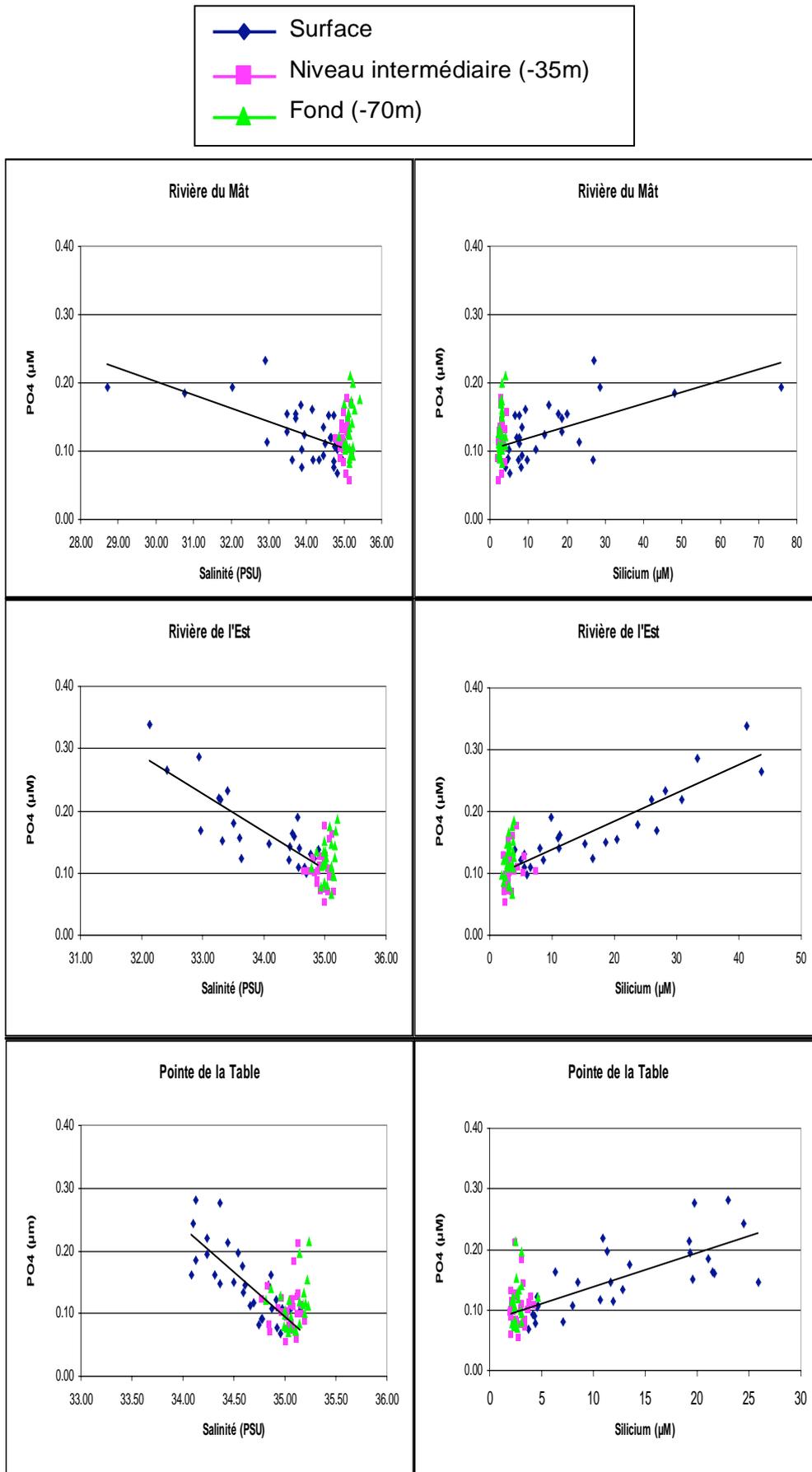


Figure 24 : Diagrammes de mélange Phosphates – Salinité et Phosphates – Silicium pour les trois stations Rivière du Mât, Rivière de l'Est et Pointe de la Table.

On observe également des corrélations Phosphates - Silicium en surface²² pour la Rivière de l'Est et la Pointe de la Table, et dans une moindre mesure, la Rivière du Mât. Le tableau ci-dessous rassemble les coefficients de corrélation, et la valeur de la pente et de l'ordonnée à l'origine pour chacune des droites de régression correspondantes.

Station	R ²	Pente	Ordonnée à l'origine
Rivière du Mât	0.38	0.0027 ± 0.0004	0.08
Rivière de l'Est	0.79	0.0051 ± 0.0005	0.08
Pointe de la Table	0.52	0.0076 ± 0.0010	0.05

Tableau 14 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Phosphates – Silicium tracées pour les stations de surface.

Les trois droites de corrélation obtenues sont significativement différentes²³.

²² Test R modèle complet : $p < 0,01$ pour les trois stations

²³ Comparaison de la pente et de l'ordonnée à l'origine de deux axes majeurs réduits (Scherrer, 1984 : Biostatistique ; p.686).

3.7 L'ammonium

Toutes données confondues (sauf station Rivière des Pluies), la teneur moyenne en ammonium est de $0,15 \pm 0,14 \mu\text{M}$ au cours des trois années d'étude. On n'observe de régularité temporelle sur aucune des stations. Les concentrations présentent une forte variabilité, sans excéder $1 \mu\text{M}$ de manière ponctuelle.

Les concentrations sont similaires quelle que soit la profondeur, avec une moyenne pour l'ensemble des stations de $0,15 \pm 0,12 \mu\text{M}$ en surface, de $0,15 \pm 0,15 \mu\text{M}$ à -35 m , et de $0,16 \pm 0,15 \mu\text{M}$ à -70 m ²⁴. On ne met donc en évidence aucun apport terrigène en ammonium.

Des corrélations Ammonium – Salinité et Ammonium – Silicium sont observées pour la Rivière du Mât et la Rivière Saint Etienne, mais les coefficients de corrélation sont extrêmement faibles (R^2 compris entre $0,14$ à $0,21$).

Toutes profondeurs confondues, la station de la Rivière Saint Etienne présente la plus faible teneur en ammonium (tableau ci-dessous). D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, cette station s'oppose à l'ensemble des autres stations.

Parmi les sept stations restantes, la Rivière de l'Est, qui présente la teneur moyenne en ammonium la plus élevée, s'oppose à différentes stations sans localisation géographique particulière (Rivière du Mât, Grande Anse et Passe de l'Hermitage)²⁵.

Rivière de l'Est $0,21 \pm 0,14 \mu\text{M}$	Pointe de la Table $0,20 \pm 0,20 \mu\text{M}$	Rivière des Galets $0,18 \pm 0,14 \mu\text{M}$	Baie de la Possession $0,17 \pm 0,08 \mu\text{M}$	Rivière du Mât $0,14 \pm 0,09 \mu\text{M}$	Passe de l'Hermitage $0,13 \pm 0,11 \mu\text{M}$	Grande Anse $0,13 \pm 0,10 \mu\text{M}$	Rivière Saint Etienne $0,08 \pm 0,05 \mu\text{M}$
---	---	---	--	---	---	--	--

Tableau 15 : Concentrations moyennes en ammonium (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

²⁴ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p > 0,05$

²⁵ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

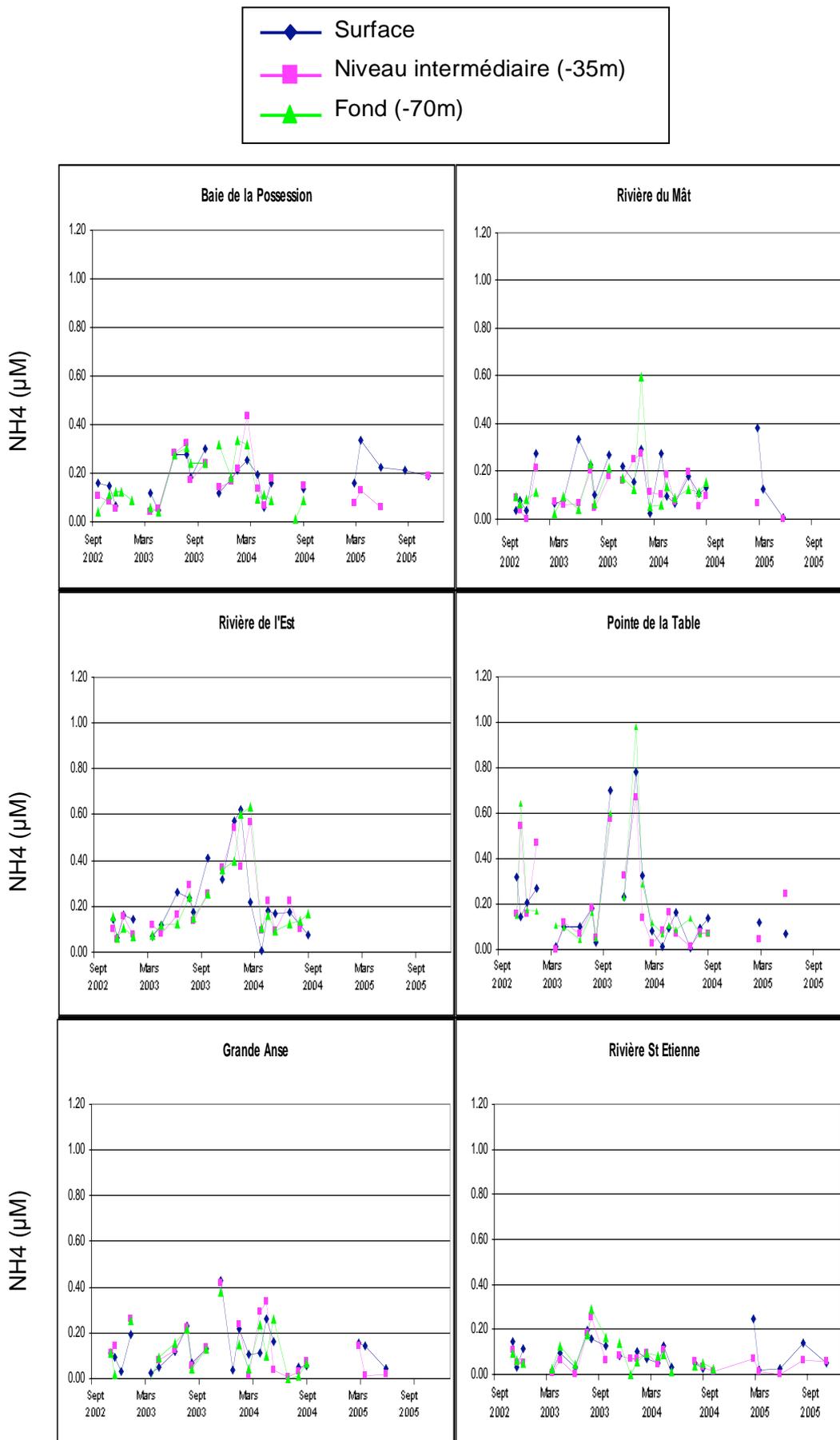


Figure 25 : Evolution temporelle des teneurs en ammonium sur les stations côtières (1).

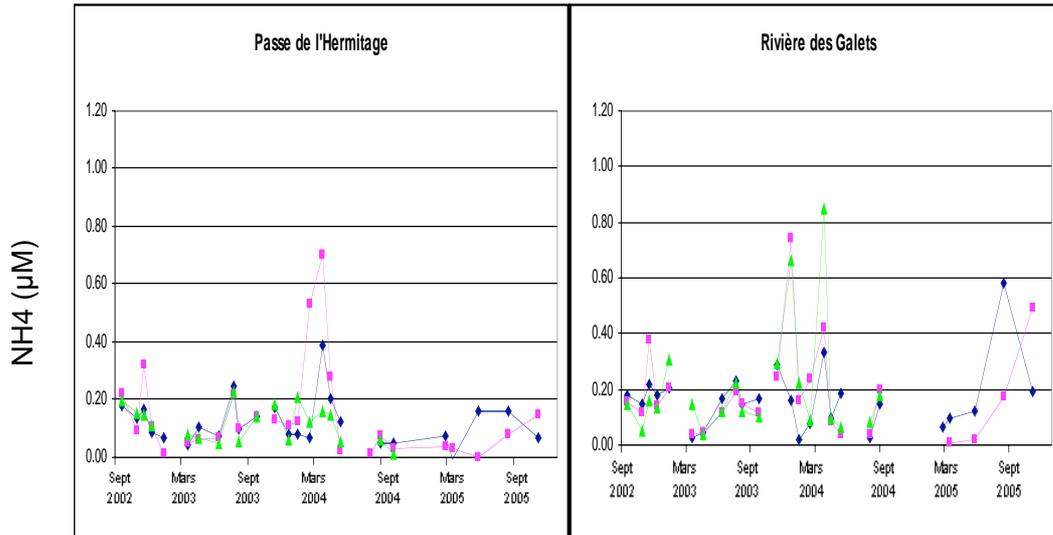


Figure 26 : Evolution temporelle des teneurs en ammonium sur les stations côtières (2).

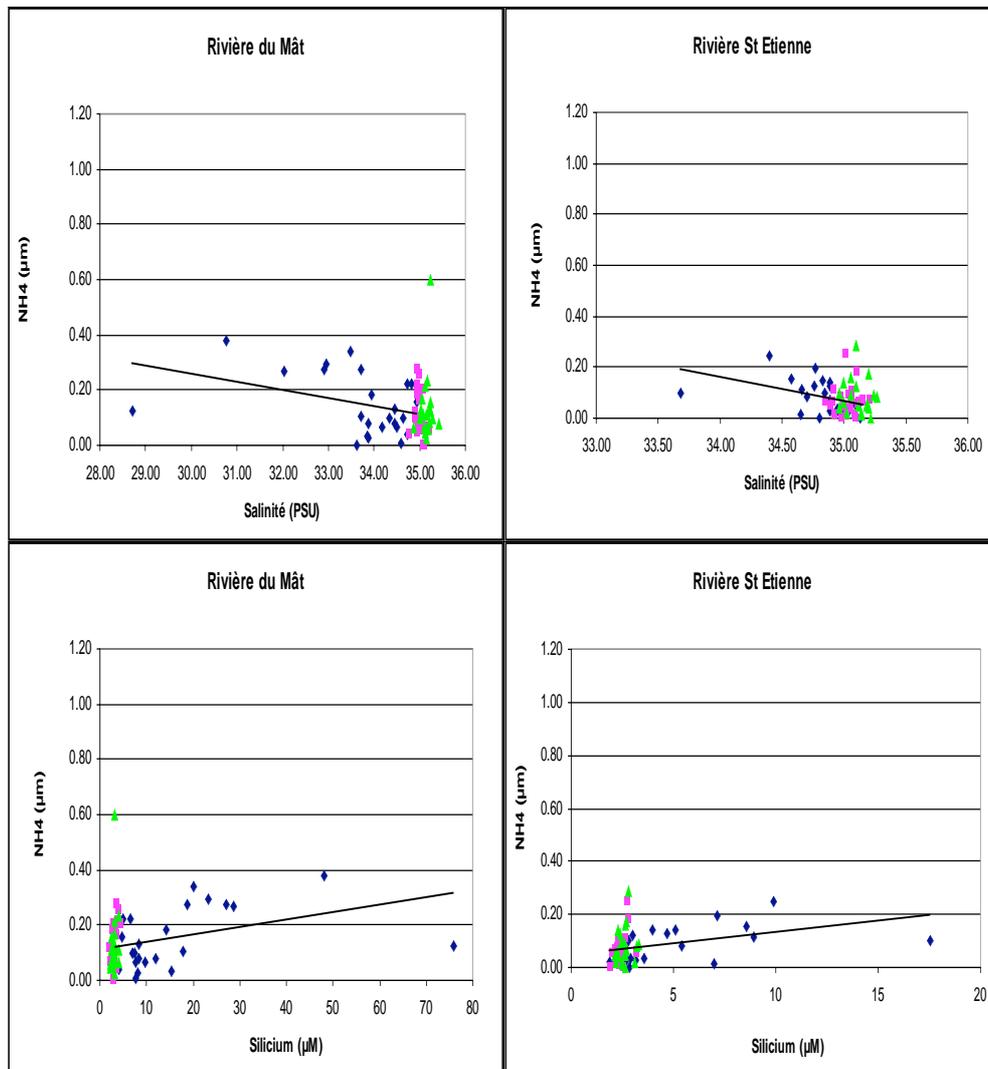


Figure 27 : Diagrammes de mélange Ammonium – Salinité et Ammonium – Silicium pour les deux stations Rivière du Mât et Rivière Saint Etienne.

3.8 La turbidité

Toutes données confondues (hormis la station « Rivière des Pluies », échantillonnée seulement en année 3), la turbidité moyenne des eaux océaniques, mesurée de la campagne 14 à la campagne 30 incluses, est de $0,38 \pm 0,39$ NTU.

Les turbidités du niveau intermédiaire (-35 m) et de fond (-70 m) sont stables dans l'ensemble, avec des valeurs tout au plus de l'ordre de 1 NTU.

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 14 à 24 incluses, la turbidité est un peu plus élevée à -70 m qu'à -35 m²⁶, mais les moyennes demeurent extrêmement proches à ces deux profondeurs (respectivement $0,32 \pm 0,15$ et $0,28 \pm 0,15$ NTU, soit une valeur approchée commune de $0,30 \pm 0,15$ NTU).

La station présentant la turbidité la plus forte²⁷, aux profondeurs -35 m et -70 m confondues, est la Rivière du Mât ($0,36 \pm 0,19$ NTU), qui s'oppose à la Passe de l'Hermitage ($0,23 \pm 0,12$ NTU). Les autres stations présentent des valeurs intermédiaires.

La moyenne des données de surface, de la campagne 14 à la campagne 30 incluses, s'établit à $0,52 \pm 0,59$ NTU.

Aucune régularité temporelle n'existe pour les stations de surface, où la variabilité temporelle est plus élevée qu'en profondeur. Des valeurs ponctuellement supérieures à 1 NTU peuvent être observées face aux rivières pérennes, ainsi qu'à Grande Anse, et principalement à la Rivière du Mât (jusqu'à 5,2 NTU).

Les moyennes de surface les moins élevées²⁸ sont observées sur les différentes stations localisées en dehors de la zone d'influence du panache des rivières (de $0,35 \pm 0,20$ NTU à la Passe de l'Hermitage, à la Pointe de la Table et dans la Baie de la Possession, à $0,41 \pm 0,37$ NTU à Grande Anse). Ces quatre stations s'opposent à la Rivière du Mât ($1,1 \pm 1,3$ NTU). Face aux rivières pérennes de la côte Ouest, la turbidité est intermédiaire (de $0,48 \pm 0,46$ NTU à la Rivière Saint Etienne, à $0,55 \pm 0,40$ NTU à la Rivière des Galets).

²⁶ Test U de Mann-Whitney, $p < 0,04$

²⁷ Test de Kruskal-Wallis ($p = 0,000$) suivi d'une comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes (au seuil $p < 0,05$)

²⁸ Test de Kruskal-Wallis ($p = 0,002$) suivi d'une comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes (au seuil $p < 0,05$) ; campagnes 14 à 30 incluses, station de la Rivière de l'Est exclue

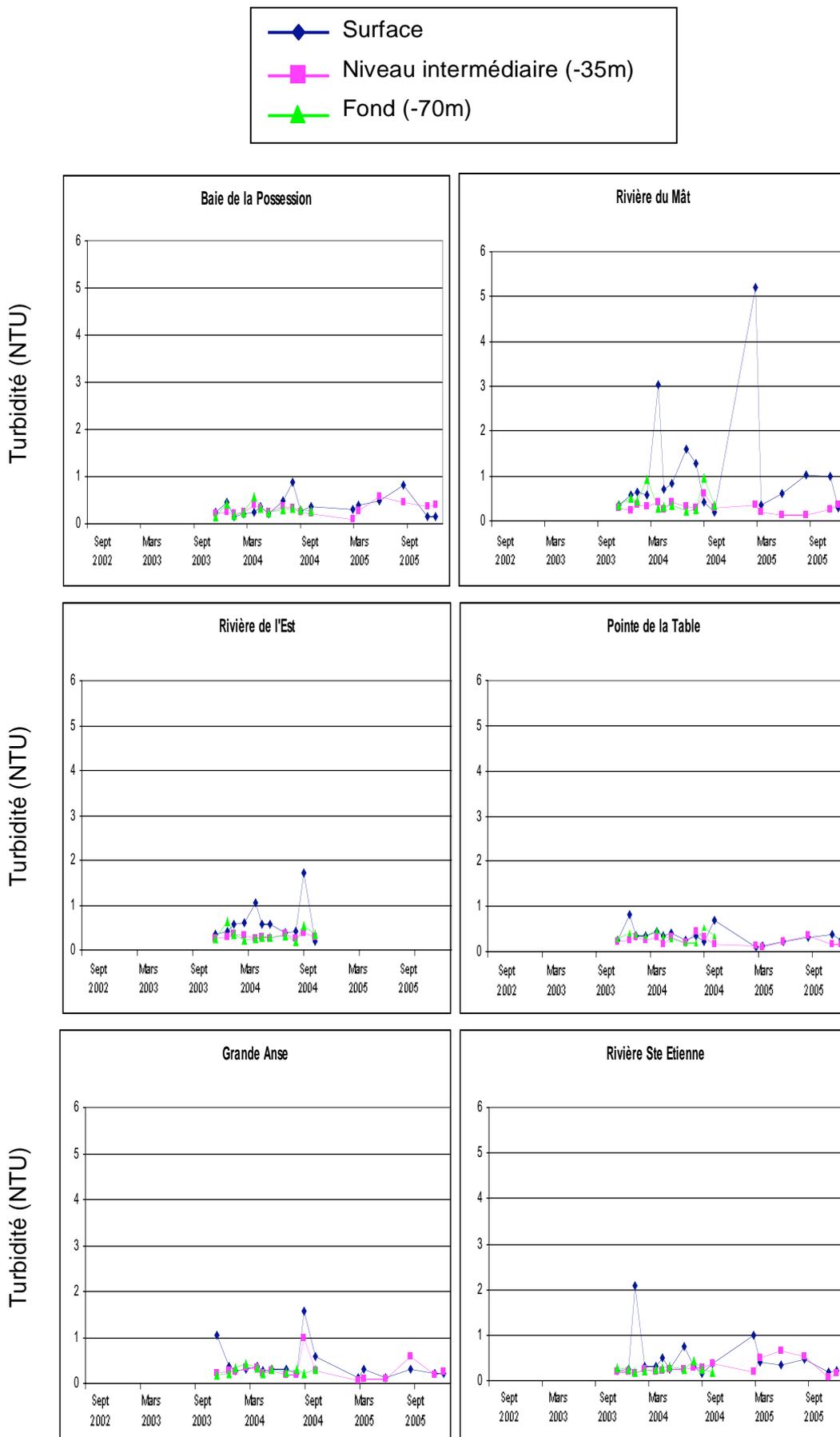


Figure 28 : Evolution temporelle des turbidités sur les stations côtières (1).

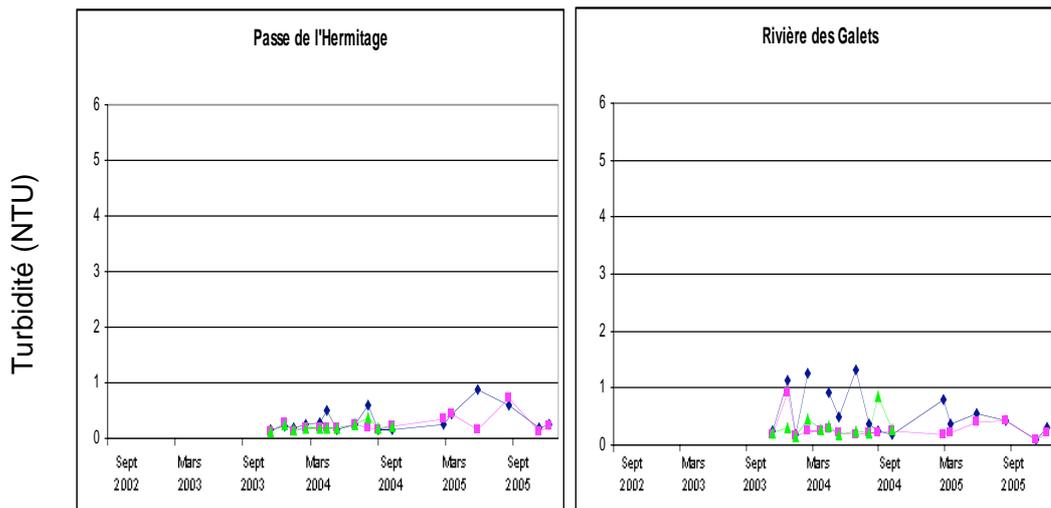


Figure 29 : Evolution temporelle des turbidités sur les stations côtières (2).

3.9 Carbone organique particulaire

Toutes données confondues, la concentration moyenne en carbone organique particulaire est de 188 ± 109 $\mu\text{g/L}$ au cours des deux premières années d'étude.

On n'observe aucune régularité temporelle, et les concentrations moyennes sont similaires en surface (196 ± 116 $\mu\text{g/L}$), à -35 m (183 ± 98 $\mu\text{g/L}$) et à -70 m (187 ± 113 $\mu\text{g/L}$)²⁹.

Toutes profondeurs confondues, on observe les plus fortes teneurs en carbone organique particulaire face aux rivières pérennes de la côte Est, et les concentrations les plus faibles sur la côte Ouest (tableau ci-dessous).

D'un point de vue statistique, la Rivière du Mât s'oppose à la Passe de l'Hermitage³⁰. Les autres stations présentent des concentrations intermédiaires.

Rivière du Mât 266 ± 178 $\mu\text{g/L}$	Rivière de l'Est 213 ± 112 $\mu\text{g/L}$	Grande Anse 190 ± 104 $\mu\text{g/L}$	Pointe de la Table 190 ± 106 $\mu\text{g/L}$	Baie de la Possession n 173 ± 64 $\mu\text{g/L}$	Rivière Saint Etienne 161 ± 68 $\mu\text{g/L}$	Rivière des Galets 158 ± 78 $\mu\text{g/L}$	Passe de l'Hermitage 153 ± 67 $\mu\text{g/L}$
<hr/>		<hr/>				<hr/>	
Est		Sud			Ouest		

Tableau 16 : Concentrations moyennes en carbone organique particulaire (\pm écart-type) au cours des deux premières années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes.

Si l'influence terrigène est sans doute importante face aux rivières pérennes de la côte Est (Rivière du Mât, Rivière de l'Est), les valeurs intermédiaires relevées sur la côte Sud (Grande Anse, Pointe de la Table) reflètent vraisemblablement l'agitation du milieu.

²⁹ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p > 0,05$. Pour l'étude statistique, les valeurs manquantes ont été remplacées par la moyenne des valeurs de la station à la profondeur considérée.

³⁰ Test de Kruskal-Wallis ($p = 0,00$), et comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes.

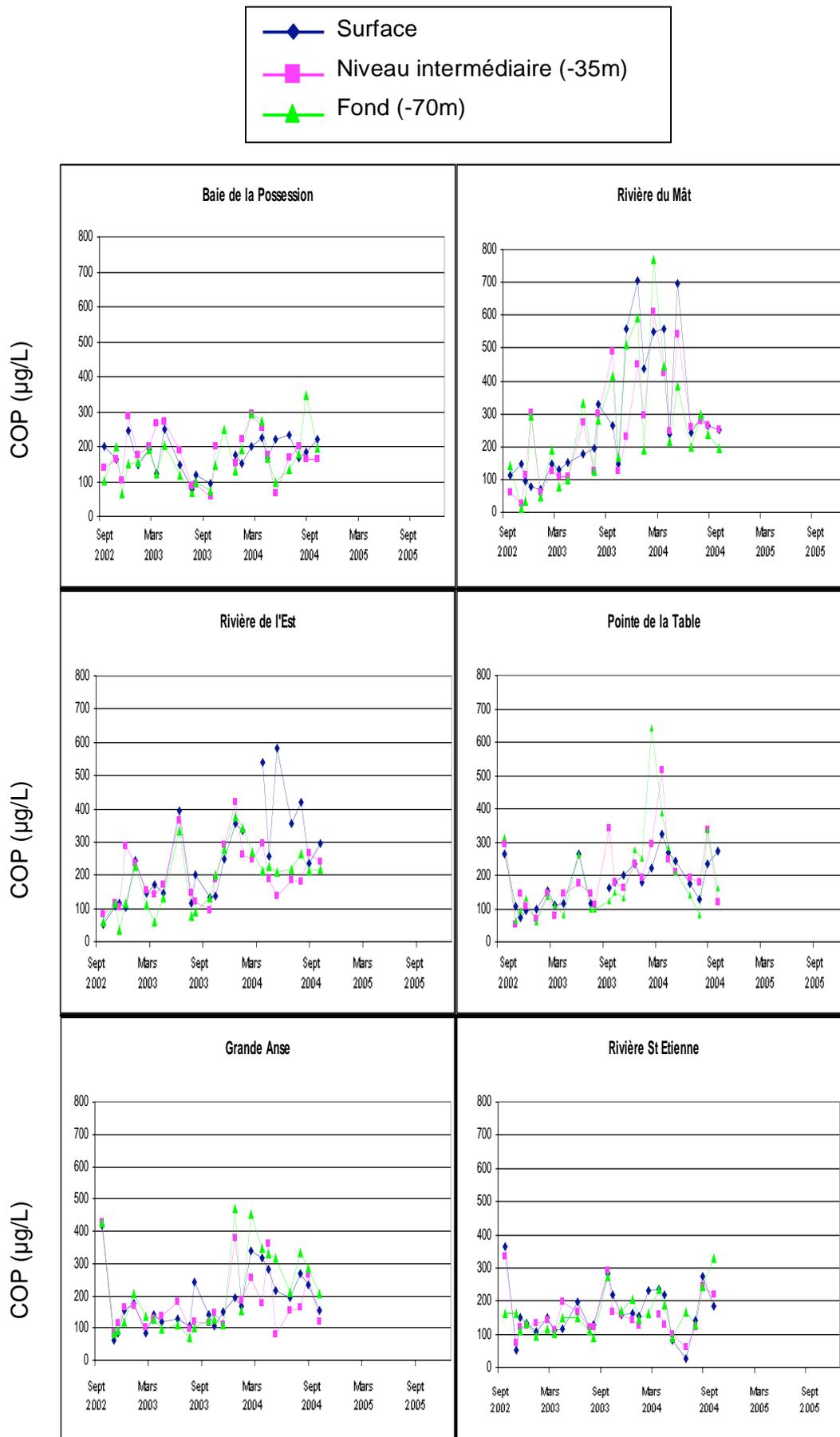


Figure 30 : Evolution temporelle des teneurs en carbone organique particulaire sur les stations côtières (1).

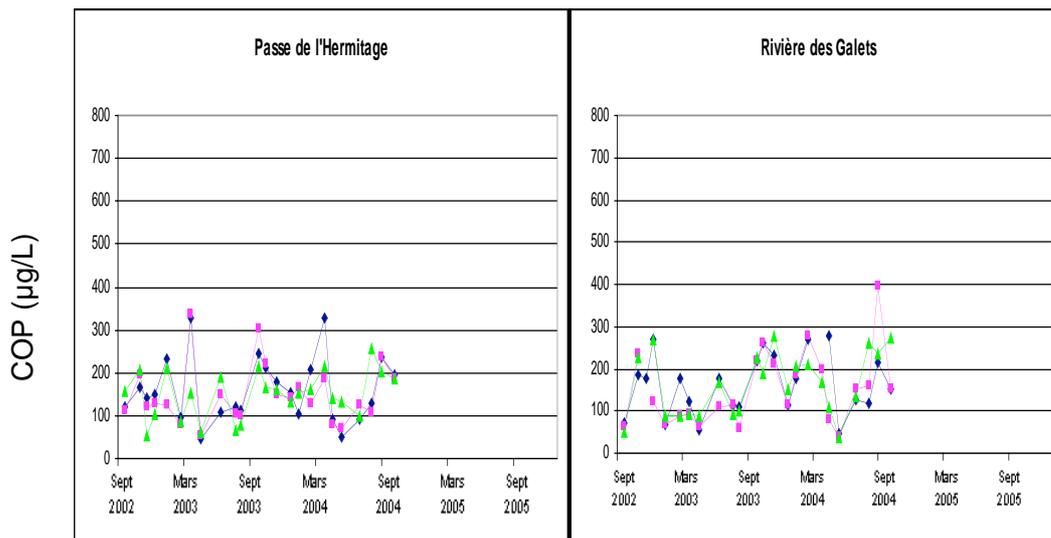


Figure 31 : Evolution temporelle des teneurs en carbone organique particulaire sur les stations côtières (2).

3.10 Chlorophylle a

Toutes données confondues (sauf station Rivière des Pluies), la concentration moyenne en chlorophylle a est de $0,25 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$ au cours des trois années d'étude.

A -70 m, la concentration en chlorophylle a est plus élevée ($0,28 \pm 0,12 \mu\text{g/L}$ toutes stations confondues, sauf Rivière des Pluies) qu'en surface ($0,23 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$) ou à -35 m ($0,25 \pm 0,13 \mu\text{g/L}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, la concentration n'est pas significativement différente en surface et à -35 m. La couche inférieure (-70 m) se différencie des deux autres par une teneur plus élevée en chlorophylle a³¹, sans doute du fait de la sédimentation.

Toutes profondeurs confondues, c'est à Grande Anse que la teneur en chlorophylle a est la plus élevée ($0,29 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$), et à la Passe de l'Hermitage qu'elle est la plus faible ($0,20 \pm 0,10 \mu\text{g/L}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, Grande Anse ($0,30 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$) s'oppose à la Passe de l'Hermitage ($0,21 \pm 0,10 \mu\text{g/L}$) et à la Rivière des Galets ($0,22 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$)³². Les autres stations ne sont pas significativement différentes entre elles, et ne diffèrent pas non plus des trois stations précédentes.

Grande Anse	Pointe de la Table	Rivière Saint Etienne	Baie de la Possession	Rivière des Galets	Passe de l'Hermitage
$0,29 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$	$0,27 \pm 0,15 \mu\text{g/L}$	$0,26 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$	$0,25 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$	$0,22 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$	$0,20 \pm 0,10 \mu\text{g/L}$
	Rivière de l'Est	Rivière du Mât			
	$0,27 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$	$0,26 \pm 0,15 \mu\text{g/L}$			

Tableau 17 : Concentrations moyennes en chlorophylle a (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

Les résultats sont différents lorsque l'on considère uniquement la couche de surface. La Passe de l'Hermitage ($0,16 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$ au cours des deux premières années d'étude) s'oppose alors à la Rivière du Mât ($0,34 \pm 0,18 \mu\text{g/L}$) et à la Rivière Saint Etienne ($0,27 \pm 0,13 \mu\text{g/L}$)³³. On peut sans doute y voir l'influence des apports terrigènes de nitrates sur la productivité.

³¹ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,000$. Comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes : $p = 0,006$ pour -35 m ; $p = 0,0003$ pour la surface. Pour l'étude statistique, les valeurs manquantes ont été remplacées par la moyenne des valeurs de la station à la profondeur considérée.

³² Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,001$. Comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes : $p = 0,02$ pour la Passe de l'Hermitage ; $p = 0,04$ pour la Rivière des Galets.

³³ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,000$. Comparaison multiple des rangs moyens de tous les groupes : $p = 0,0005$ pour la Rivière de Mât ; $p = 0,03$ pour la Rivière Saint Etienne.

Rivière du Mât	Rivière Saint Etienne	Rivière de l'Est	Pointe de la Table	Baie de la Possession	Rivière des Galets	Passe de l'Hermitage
0,32 ± 0,17 µg/L	0,25 ± 0,12 µg/L	0,27 ± 0,15 µg/L	0,24 ± 0,14 µg/L	0,21 ± 0,14 µg/L	0,20 ± 0,10 µg/L	0,15 ± 0,08 µg/L
			Grande Anse			
			0,24 ± 0,16 µg/L			

Tableau 18 : Concentrations moyennes de surface en chlorophylle a (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

On n'observe pas de régularité temporelle, sauf en surface, dans la Baie de la Possession, où les teneurs en chlorophylle a semblent augmenter au cours de la saison fraîche. Un pic supplémentaire, en février 2005, est associé à une période de fortes pluies (figure ci-dessous).

Le phénomène est beaucoup moins marqué sur les autres stations de la côte Ouest : peu sensible à la Passe de l'Hermitage, il est masqué à la Rivière des Galets, et surtout à la Rivière Saint Etienne, par différents pics de chlorophylle a observés en saison des pluies.

Sur les stations du Sud (Grande Anse, Pointe de la Table) et de l'Est (Rivière de l'Est, Rivière du Mât), l'absence de régularité temporelle est encore plus flagrante.

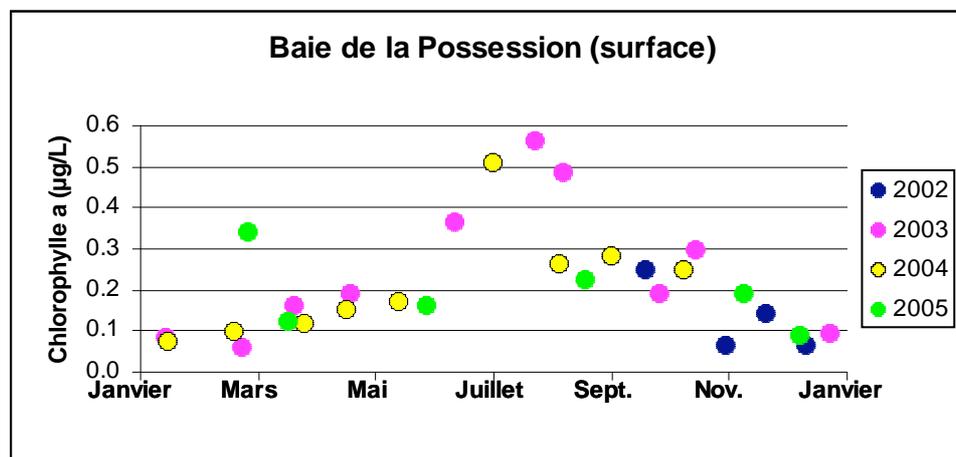


Figure 32 : Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface de la Baie de la Possession.

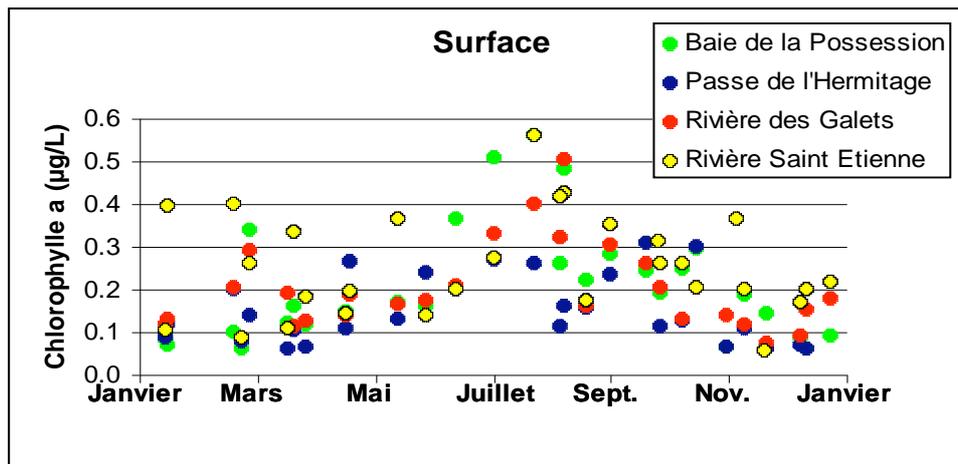


Figure 33 : Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface de la côte Ouest.

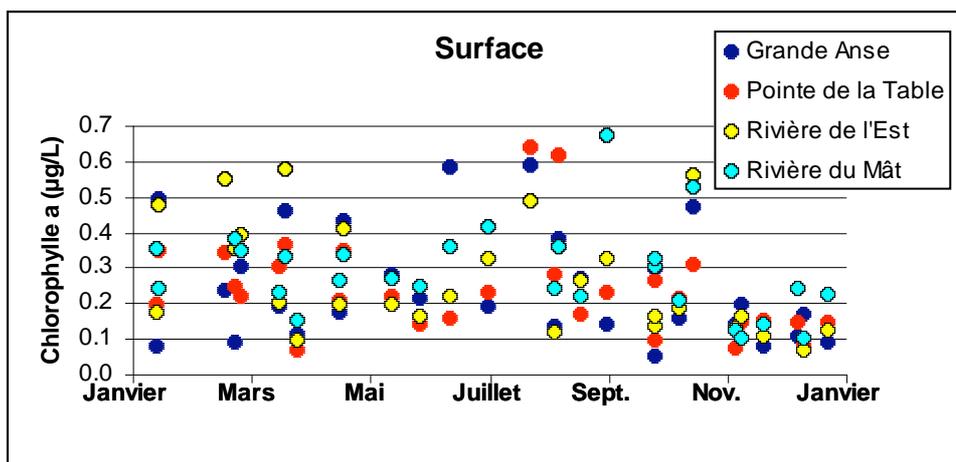


Figure 34 : Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface des côtes Sud et Est.

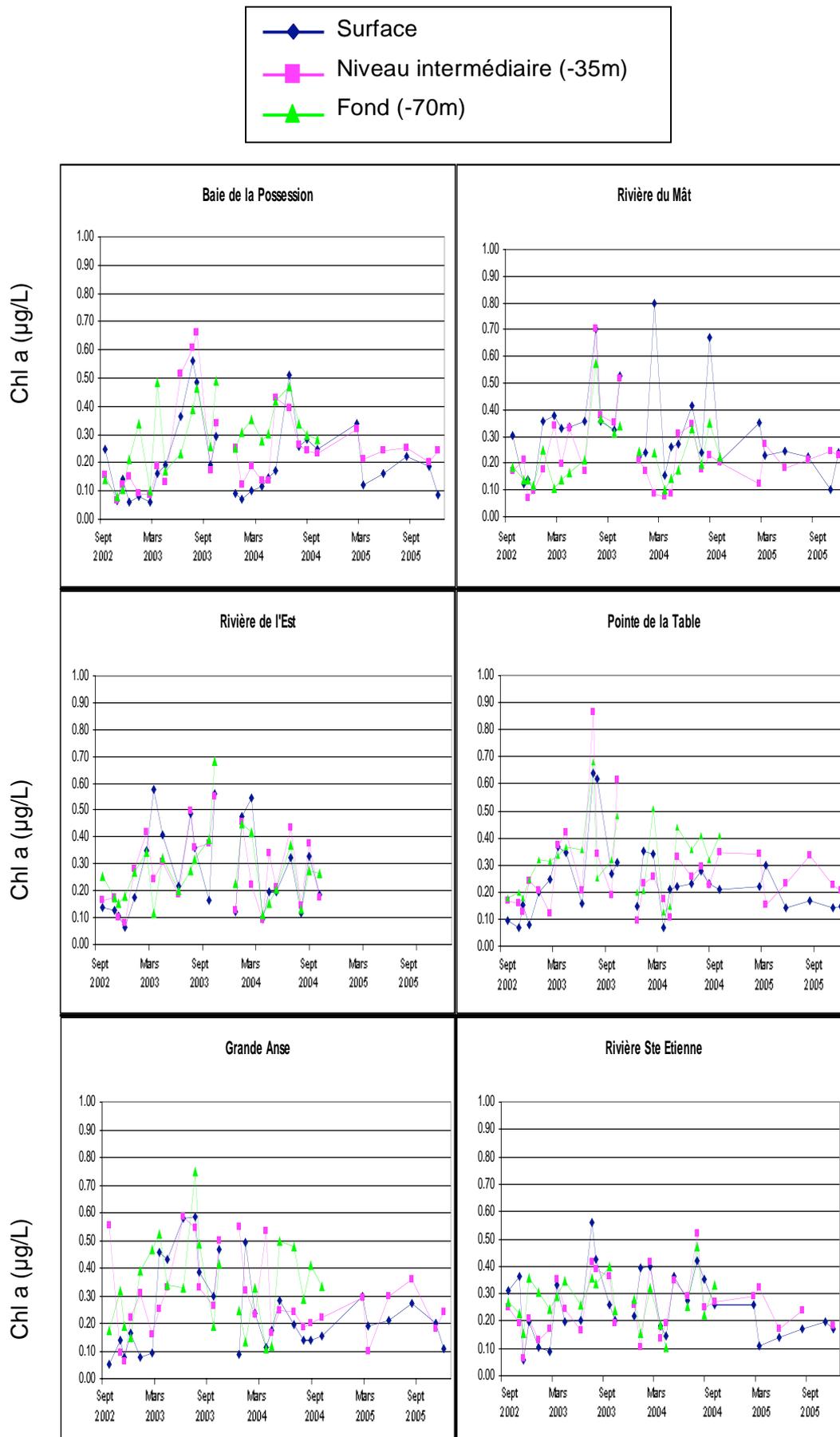


Figure 35 : Evolution temporelle des teneurs en chlorophylle a sur les stations côtières (1).

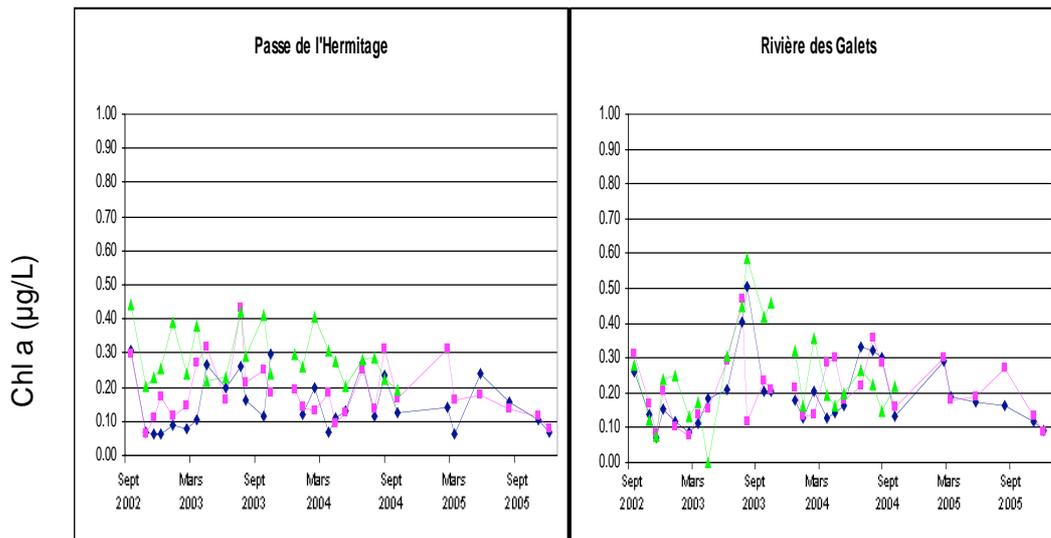


Figure 36 : Evolution temporelle des teneurs en chlorophylle a sur les stations côtières (2).

3.11 Phéopigments

Toutes données confondues (sauf station Rivière des Pluies), la concentration moyenne en phéopigments est de $0,35 \pm 0,31 \mu\text{g/L}$ au cours des trois années d'étude. On n'observe de régularité temporelle sur aucune des stations.

La concentration à -70 m est la plus forte ($0,49 \pm 0,34 \mu\text{g/L}$ en moyenne), par rapport aux concentrations moyennes de surface ($0,27 \pm 0,22 \mu\text{g/L}$) et à -35m ($0,33 \pm 0,30 \mu\text{g/L}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, la concentration est similaire à la surface et à -35 m. La couche inférieure (-70 m) s'oppose aux deux autres³⁴.

Par ailleurs, la corrélation entre la chlorophylle a et les phéopigments est très nette (figure ci-dessous). L'accroissement des teneurs en phéopigments en profondeur semble donc, comme celui de la chlorophylle a, lié à la sédimentation.

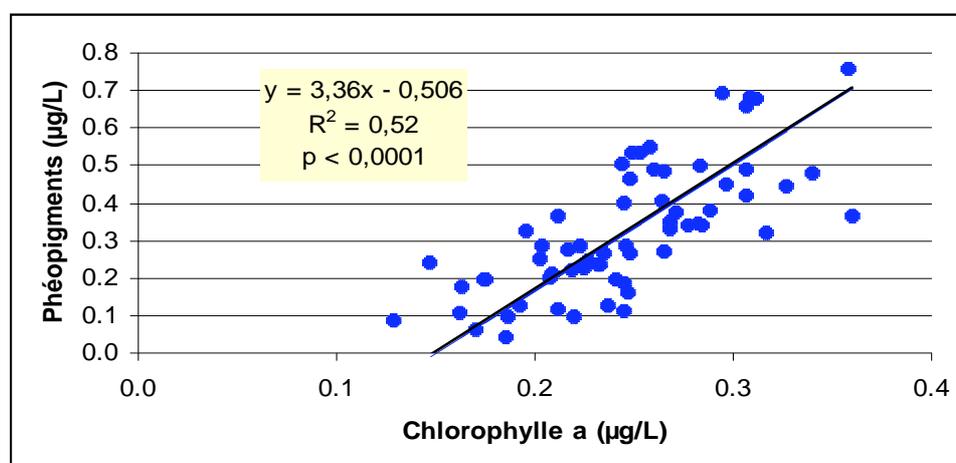


Figure 37 : Tracé de la droite de régression (modèle II) phéopigments – chlorophylle a. Chaque point (n = 64) représente la moyenne obtenue pour une station et une profondeur données au cours d'une année de campagne.

Rivière Saint Etienne	Rivière de l'Est	Rivière du Mât	Pointe de la Table	Rivière des Galets	Baie de la Possession	Passé de l'Hermitage
$0,41 \pm 0,34 \mu\text{g/L}$	$0,37 \pm 0,23 \mu\text{g/L}$	$0,32 \pm 0,17 \mu\text{g/L}$	$0,26 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$	$0,23 \pm 0,20 \mu\text{g/L}$	$0,20 \pm 0,17 \mu\text{g/L}$	$0,18 \pm 0,19 \mu\text{g/L}$
			Grande Anse			
			$0,26 \pm 0,20 \mu\text{g/L}$			

Tableau 19 : Concentrations moyennes de surface en phéopigments (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

³⁴ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$. Pour l'étude statistique, les valeurs manquantes ont été remplacées par la moyenne des valeurs de la station à la profondeur considérée.

On observe en surface une opposition³⁵ entre trois des rivières pérennes (Rivière Saint Etienne, Rivière de l'Est, Rivière du Mât ; rappelons qu'au cours des deux premières années d'étude, la station « Rivière des Galets n'était pas positionnée dans le panache de la rivière), et les stations de la côte Ouest les moins affectées par les apports terrigènes (tableau ci-dessus).

Il semble donc possible qu'une partie des phéopigments présents en surface provienne directement des apports terrigènes.

Toutes profondeurs confondues, c'est la Rivière Saint Etienne qui présente la plus forte teneur en phéopigments (tableau ci-dessous).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, cette station s'oppose à la Rivière du Mât. Les autres stations ont un comportement intermédiaire³⁶.

Rivière Saint Etienne	Grande Anse	Rivière de l'Est	Pointe de la Table	Baie de la Possession	Passe de l'Hermitage	Rivière des Galets	Rivière du Mât
0,45 ± 0,32 µg/L	0,44 ± 0,43 µg/L	0,42 ± 0,28 µg/L	0,37 ± 0,28 µg/L	0,31 ± 0,26 µg/L	0,30 ± 0,35 µg/L	0,29 ± 0,25 µg/L	0,26 ± 0,15 µg/L

Tableau 20 : Concentrations moyennes en phéopigments (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24).

³⁵ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

³⁶ Test de Kruskal-Wallis (campagne 1 à 24 incluses) : $p = 0,00$

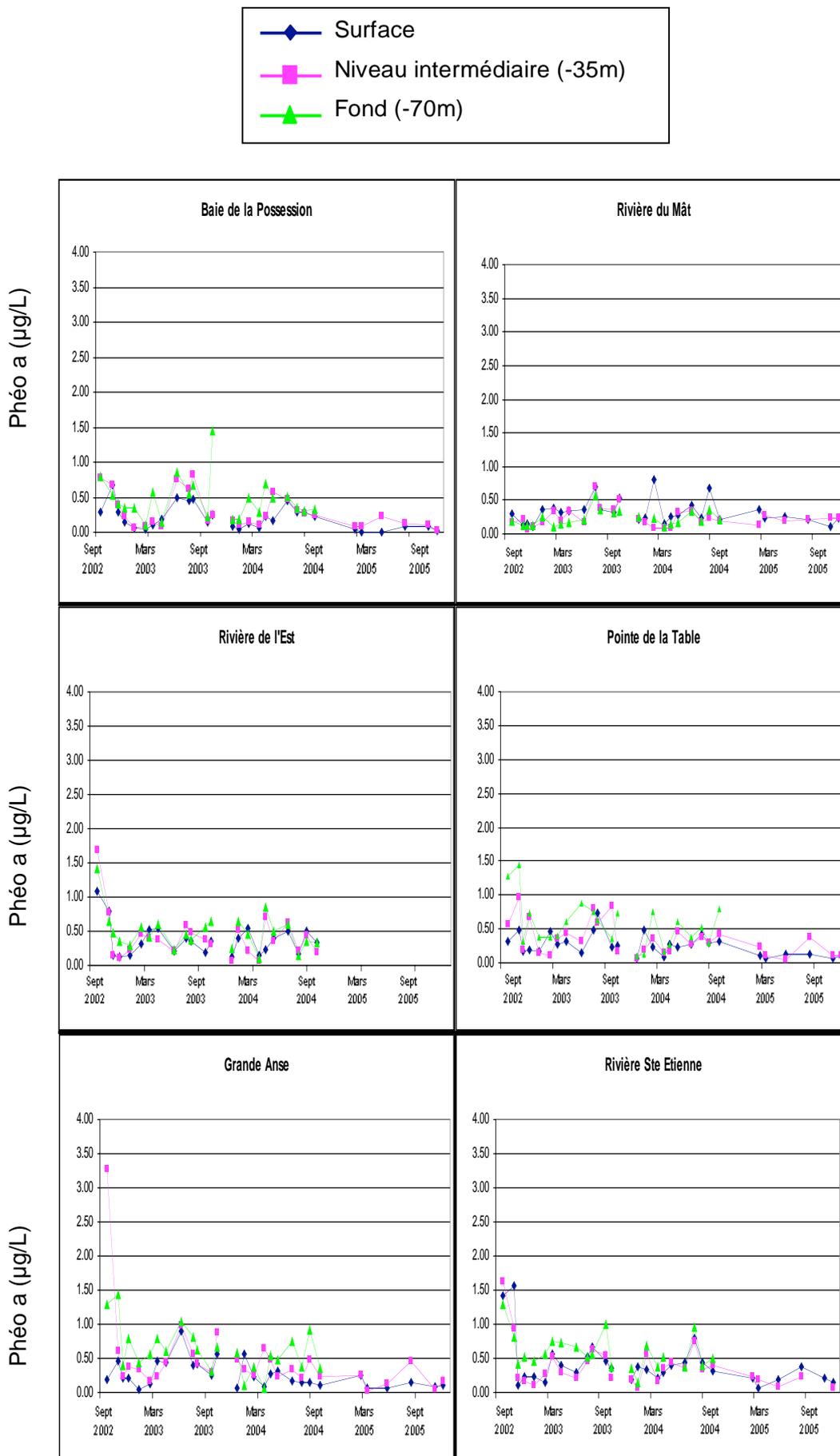


Figure 38 : Evolution temporelle des teneurs en phéopigments sur les stations côtières (1).

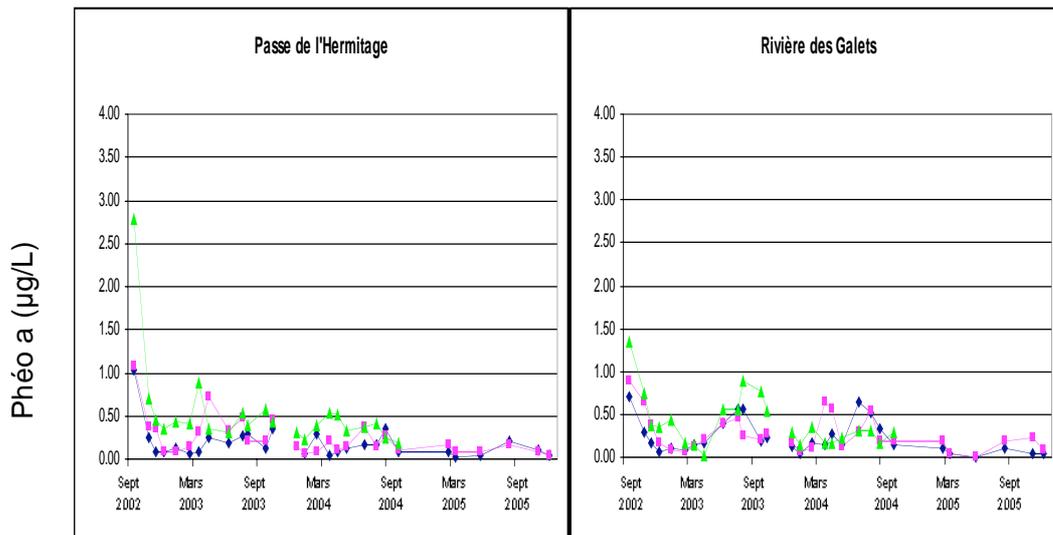


Figure 39 : Evolution temporelle des teneurs en phéopigments sur les stations côtières (2).

3.12 La station de la Rivière des Pluies

La station de la Rivière des Pluies n'a été échantillonnée qu'à 6 reprises au cours de la troisième année d'étude.

A titre indicatif, la moyenne des différents paramètres mesurés en 2005 est donnée dans le tableau ci-dessous.

	Surface	-35 m
Température (°C)	25.5 ± 2.2	25.0 ± 1.3
Salinité	34.74 ± 0.35	35.04 ± 0.09
Silicium (µM)	4.6 ± 3.1	3.0 ± 0.6
NO3 + NO2 (µM)	0.28 ± 0.56	0.06 ± 0.14
Phosphates (µM)	0.10 ± 0.05	0.11 ± 0.04
Ammonium (µM)	0.10 ± 0.08	0.04 ± 0.04
Chl a (µg/L)	0.24 ± 0.09	0.22 ± 0.05
Phéo (µg/L)	0.13 ± 0.09	0.09 ± 0.05
Turbidité NTU	0,53 ± 0,27	0,29± 0,09

Tableau 21 : Moyenne (± écart-type) des différents paramètres mesurés en 2005 à la Rivière des Pluies (n = 6)

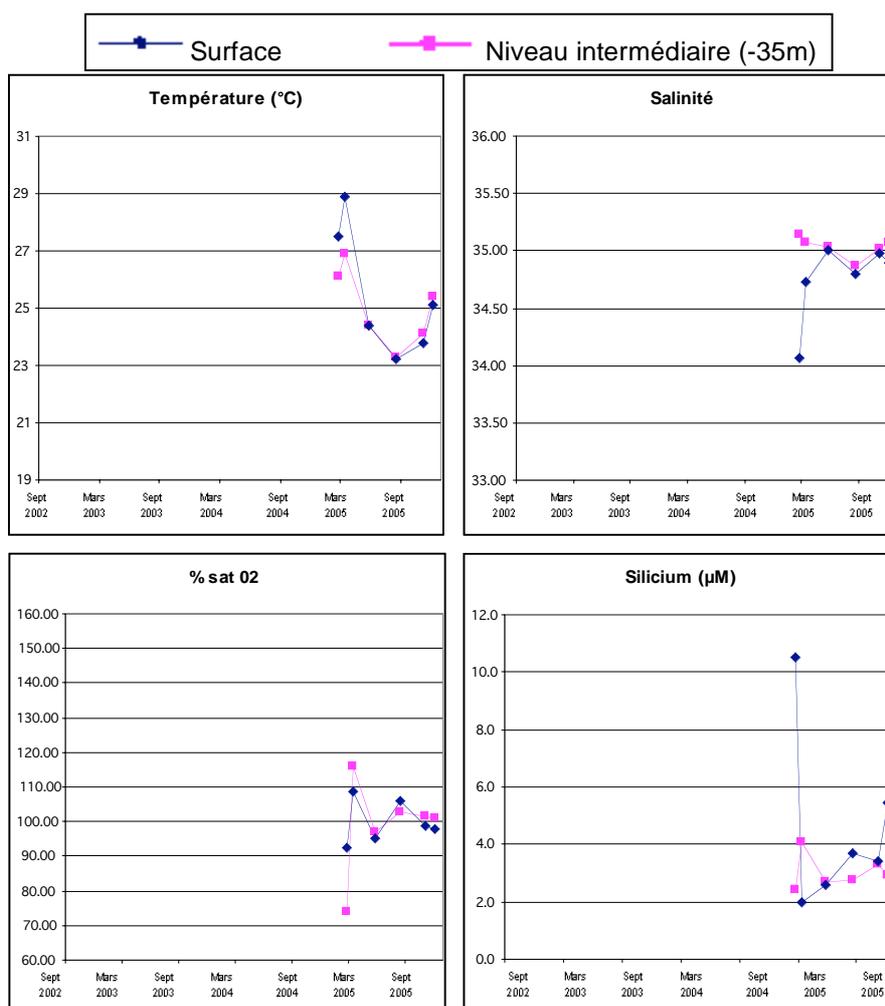


Figure 40 : Evolution temporelle des différents paramètres mesurés à la Rivière des Pluies (1).

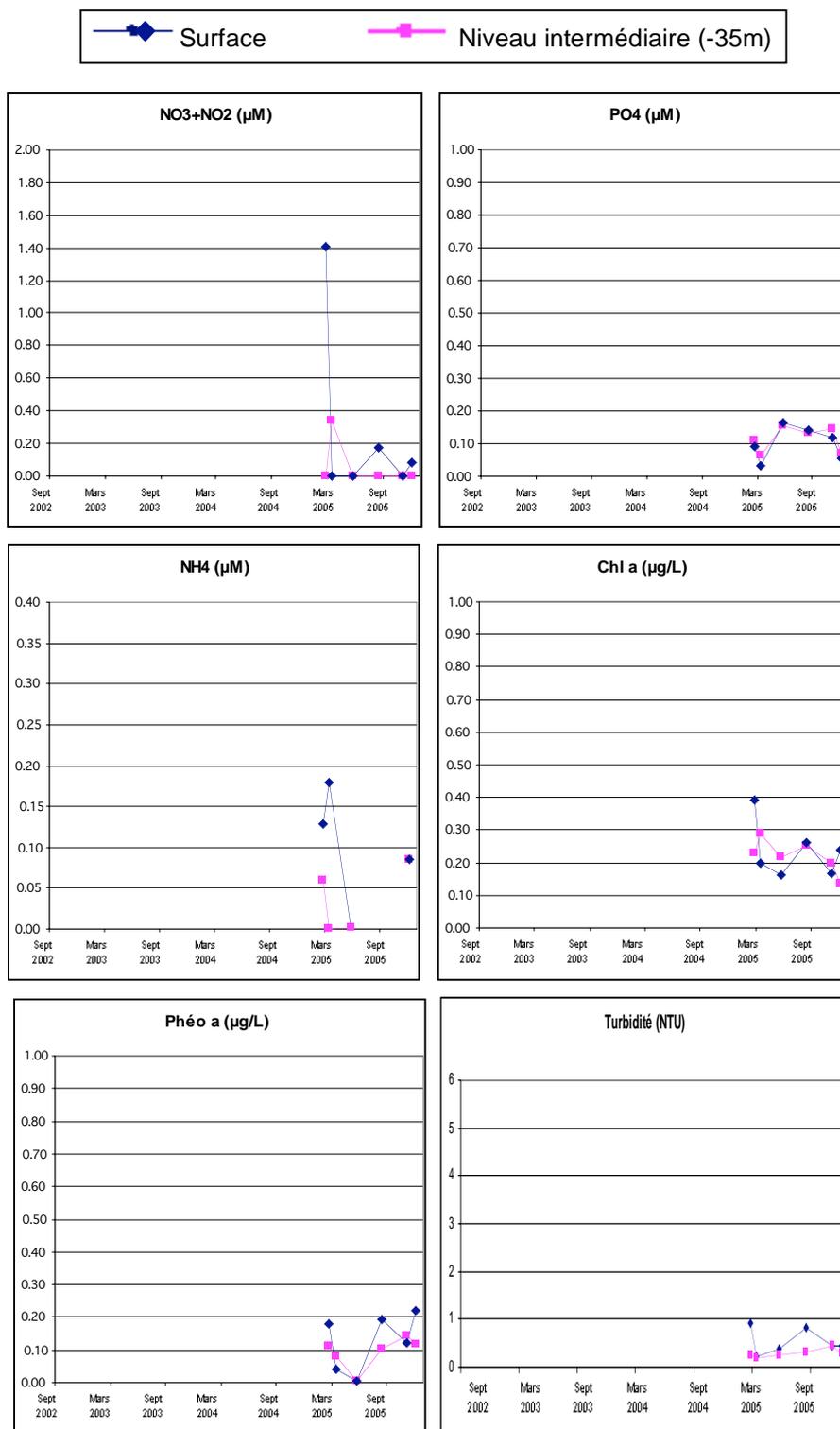


Figure 41 : Evolution temporelle des différents paramètres mesurés à la Rivière des Pluies (2).

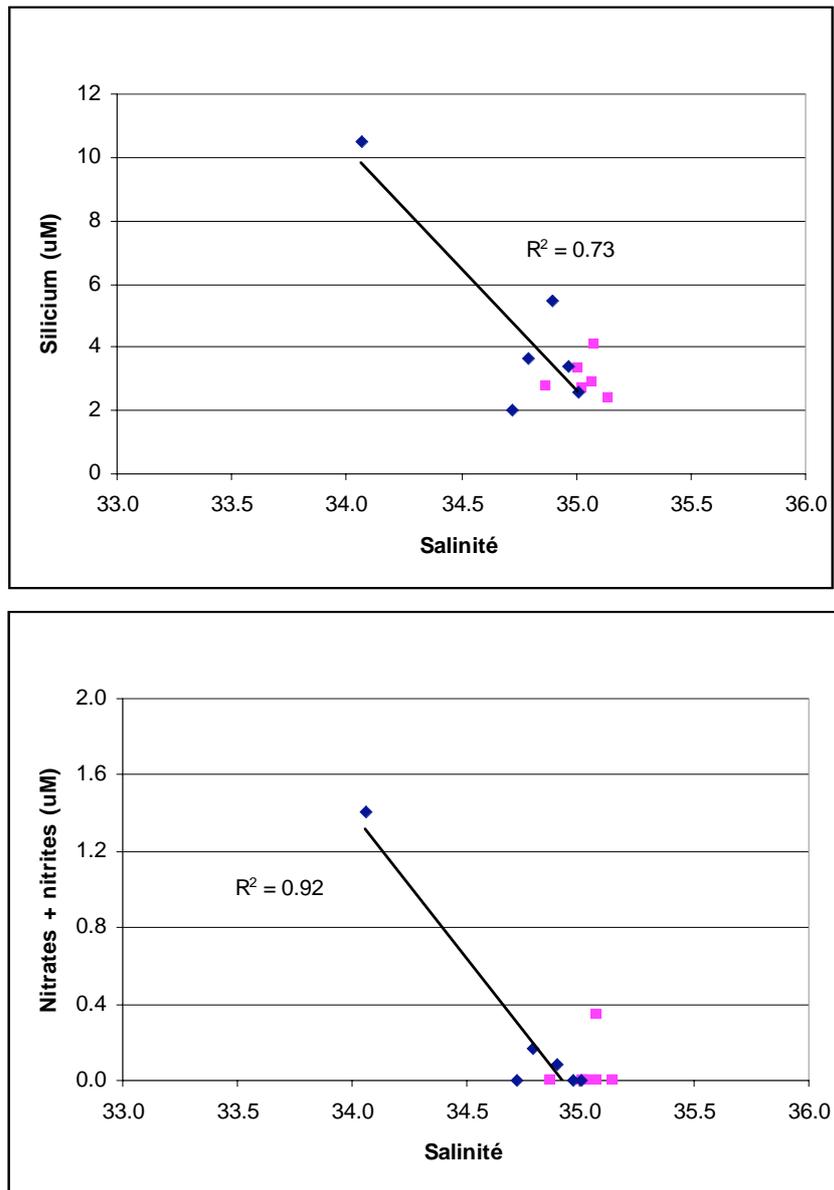


Figure 42 : Diagrammes de mélange Silicium – Salinité et Nitrates + nitrites – Salinité à la Rivière des Pluies.

3.13 Analyses multivariées

Seuls ont été conservés pour cette analyse les paramètres échantillonnés sur l'ensemble des stations au cours des trois années d'étude. Les matières en suspension et le carbone organique particulaire n'y sont donc pas pris en compte, non plus que le pourcentage de saturation en oxygène dissous, du fait des problèmes d'échantillonnage rencontrés au cours de la première année, et évoqués précédemment.

Pour caractériser les stations, il a été choisi de procéder principalement à des ACP intra-groupe (ADE 4 within group normalized PCA). La méthode permet d'éliminer la variabilité inter-annuelle, pour ne représenter que la variabilité spatiale. Elle a été appliquée aux valeurs moyennes obtenues au cours des années 1, 2, et 3 respectivement. Les stations 3 – Rivière de l'Est, et 3bis – Rivière des Pluies ne sont donc pas intégrées à l'analyse, de même que les échantillons prélevés à -70 m au cours des deux premières années d'étude.

En complément, des ACP « classiques » appliquées aux valeurs moyennes obtenues au cours des années 1 et 2 ont été réalisées pour caractériser la station de la Rivière de l'Est, et les échantillons prélevés à -70 m.

3.13.1 Caractérisation des sept stations principales (surface et -35 m)

Les deux premiers facteurs de l'ACP intra-groupe (ADE 4 Within group normalized PCA) expliquent 70,6% de la variabilité spatiale des données. Tous les paramètres sont bien représentés dans le plan 1-2, à l'exception de l'ammonium.

La salinité, les nitrates + nitrites, le silicium et, dans une moindre mesure, les phosphates sont bien corrélés au premier facteur. La salinité est inversement corrélée au silicium. Ce premier facteur représente donc l'influence terrigène.

Il oppose, en surface uniquement, la Rivière du Mât à la Passe de l'Hermitage, ainsi qu'aux autres stations peu affectées par les apports terrigènes (Baie de la Possession, Rivière des Galets et Grande Anse). La Rivière Saint Etienne, et surtout la Pointe de la Table présentent des caractéristiques intermédiaires. La Rivière du Mât se caractérise essentiellement par des teneurs en nitrates + nitrites élevées, et la Pointe de la Table par de fortes concentrations en phosphates.

On confirme que l'influence terrigène se limite pour l'essentiel à la couche de surface.

La température, les teneurs en chlorophylle a et en phéopigments, ainsi que l'ammonium dans une moindre mesure, sont corrélés au second facteur. Ce sont là tous les paramètres pour lesquels l'analyse statistique classique met en évidence une forte homogénéité de la couche d'eau de la surface à -35 m.

Néanmoins, la projection des individus (station x profondeur) sur le plan factoriel 1-2 met en évidence une influence de la profondeur de mesure sur ces différents paramètres : pour une station donnée, le point représentatif des échantillons prélevés à -35 m se place systématiquement au dessous du point représentatif des échantillons prélevés en surface. A -35 m, l'eau est donc plus froide, plus riche en chlorophylle a et en phéopigments, et plus pauvre en ammonium que la couche de surface. La variabilité spatiale des données masque ce phénomène lors de l'analyse statistique classique.

Ce second facteur permet également de caractériser ce qui différencie les stations, en dehors de l'influence terrigène sur la couche de surface.

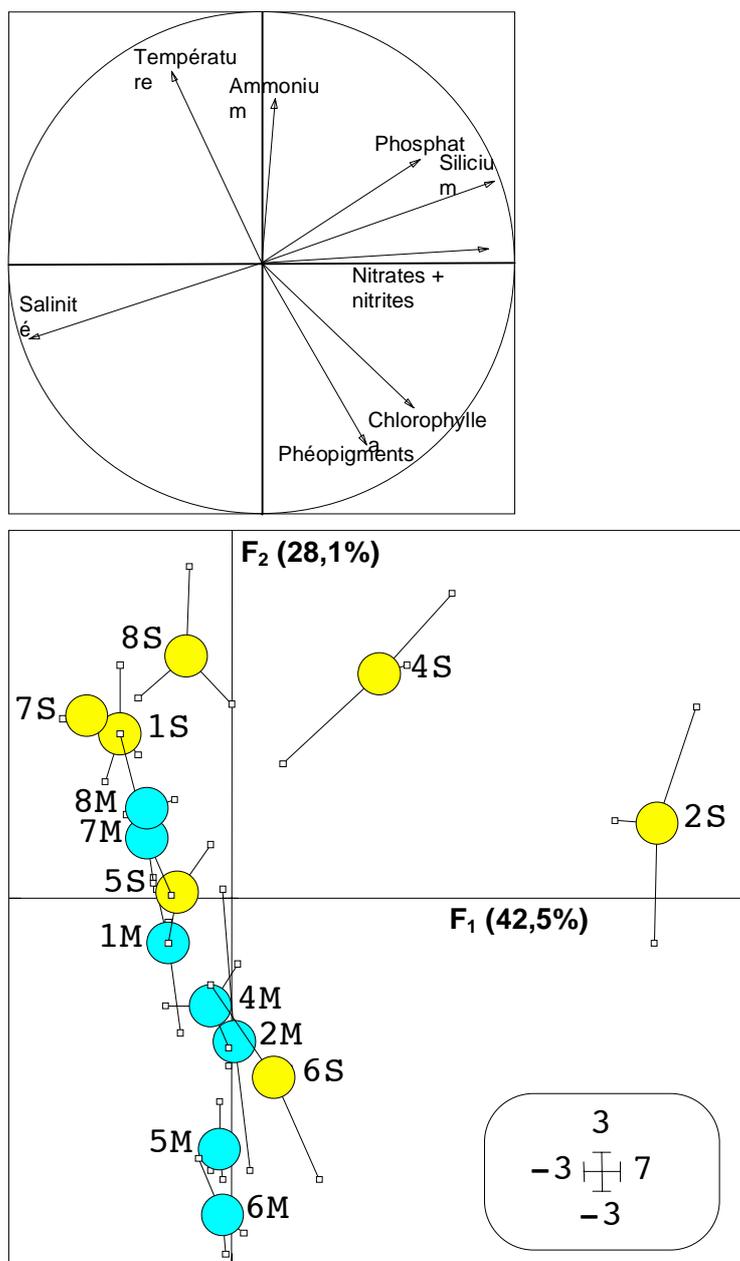


Figure 43 : Résultats de l'ACP intra-groupe (ADE 4 within group normalized PCA) réalisée sur les moyennes obtenues au cours des années 1, 2, et 3 respectivement, en surface (en jaune) et à -35 m (en bleu). Pour une station et une profondeur données, les trois moyennes annuelles (petits carrés) sont reliées par un trait au cercle qui représente les caractéristiques moyennes de la station à la profondeur considérée (barycentre des données).

Le long de l'axe 2, la Rivière Saint Etienne s'oppose aux trois autres stations de la côte Ouest (Baie de la Possession, Passe de l'Hermitage, Rivière des Galets), et présente en surface toutes les caractéristiques d'une eau localisée par -35 m de fond.

Il peut s'agir d'un artefact, lié à une variation journalière des caractéristiques de la colonne d'eau. La Rivière Saint Etienne est en effet la première station échantillonnée très tôt le matin.

Grande Anse, pourtant échantillonnée en milieu d'après-midi, s'oppose également sur l'axe 2 aux trois stations de la côte Ouest peu affectées, comme elle-même, par les apports terrigènes (Baie de la Possession, Rivière des Galets et Passe de l'Hermitage).

On manque de données océanographiques de base pour interpréter ces observations. Compte-tenu de la localisation géographique de la station, il semble néanmoins assez vraisemblable que l'exposition de Grande Anse aux vents d'Alizés y favorise la remontée d'eaux plus profondes.

Une seconde ACP intra-groupe a été réalisée sur les données de surface uniquement. Les deux premiers facteurs expliquent 79,9% de la variabilité spatiale des données. Tous les paramètres sont bien représentés dans le plan 1-2.

La répartition des stations sur le plan factoriel 1-2 est peu affectée par rapport à l'analyse précédente. En revanche, la température est maintenant corrélée au premier facteur de l'ACP. Malgré une influence sensible de l'ordre d'échantillonnage, on note une certaine opposition entre les stations « au vent », et les stations plus abritées de la côte Ouest.

Par ailleurs, et c'est le point le plus intéressant, la chlorophylle a est également corrélée au premier facteur de l'ACP. On met ainsi en évidence un impact des apports terrigènes (sans doute de nitrates, très bien corrélés à la chlorophylle a dans le plan de représentation 1-2) sur la productivité, plus particulièrement sensible à la Rivière du Mât.

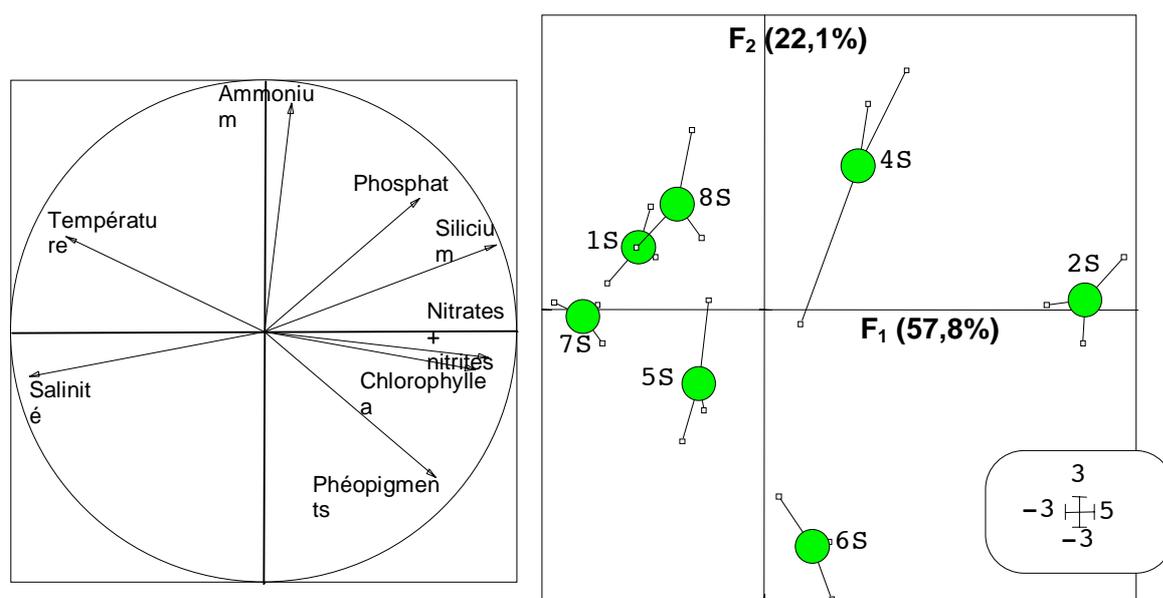


Figure 44 : Résultats de l'ACP intra-groupe (ADE 4 within group normalized PCA) réalisée sur les moyennes de surface obtenues au cours des années 1, 2, et 3 respectivement. Pour une station donnée, les trois moyennes annuelles (petits carrés) sont reliées par un trait au barycentre qui représente la station (cercle vert).

3.13.2 Caractérisation de la couche de fond (-75 m), Rivière de l'Est

La Rivière de l'Est se classe parmi les stations sous influence terrigène forte (du côté positif de l'axe 1 en année 1, du côté négatif de l'axe 1 en année 2).

Au cours de la première année d'échantillonnage, l'influence de la profondeur de prélèvement est visible uniquement sur le deuxième axe de l'ACP (28,5% de la variabilité des données) : du côté négatif de l'axe 1 (absence d'influence terrigène), les stations de surface et à -35 m s'opposent (du côté positif de l'axe 2) aux stations à -70 m (du côté négatif de l'axe 2).

Seules la température, et les teneurs en chlorophylle a et en phéopigments sont corrélées à ce second facteur.

Les résultats sont un peu différents au cours de la deuxième année d'échantillonnage.

Les stations de surface affectées par les apports terrigènes (Rivière du Mât, Rivière de l'Est, Pointe de la Table) et les échantillons prélevés à -70 m se placent tous du côté négatif de l'axe 1, qui traduit essentiellement un enrichissement du milieu en nitrates + nitrites et en phosphates.

Ces deux groupes de stations s'opposent le long de l'axe 2, qui permet de distinguer deux origines à cet enrichissement en éléments nutritifs : les apports terrigènes, du côté positif de l'axe 2 (eaux peu salées et riches en silicium), et les apports par le fond (retour dans la colonne d'eau d'éléments nutritifs régénérés et / ou remontée d'eaux plus profondes), du côté négatif de l'axe 2 (eaux riches en chlorophylle a et en phéopigments issus de la sédimentation des particules phytoplanctoniques).

On met donc en évidence une forte variabilité du comportement de la couche de fond, et son importance probable en tant que source d'éléments nutritifs pour la couche intermédiaire (-35 m), quant à elle pratiquement épuisée en nitrates + nitrites.

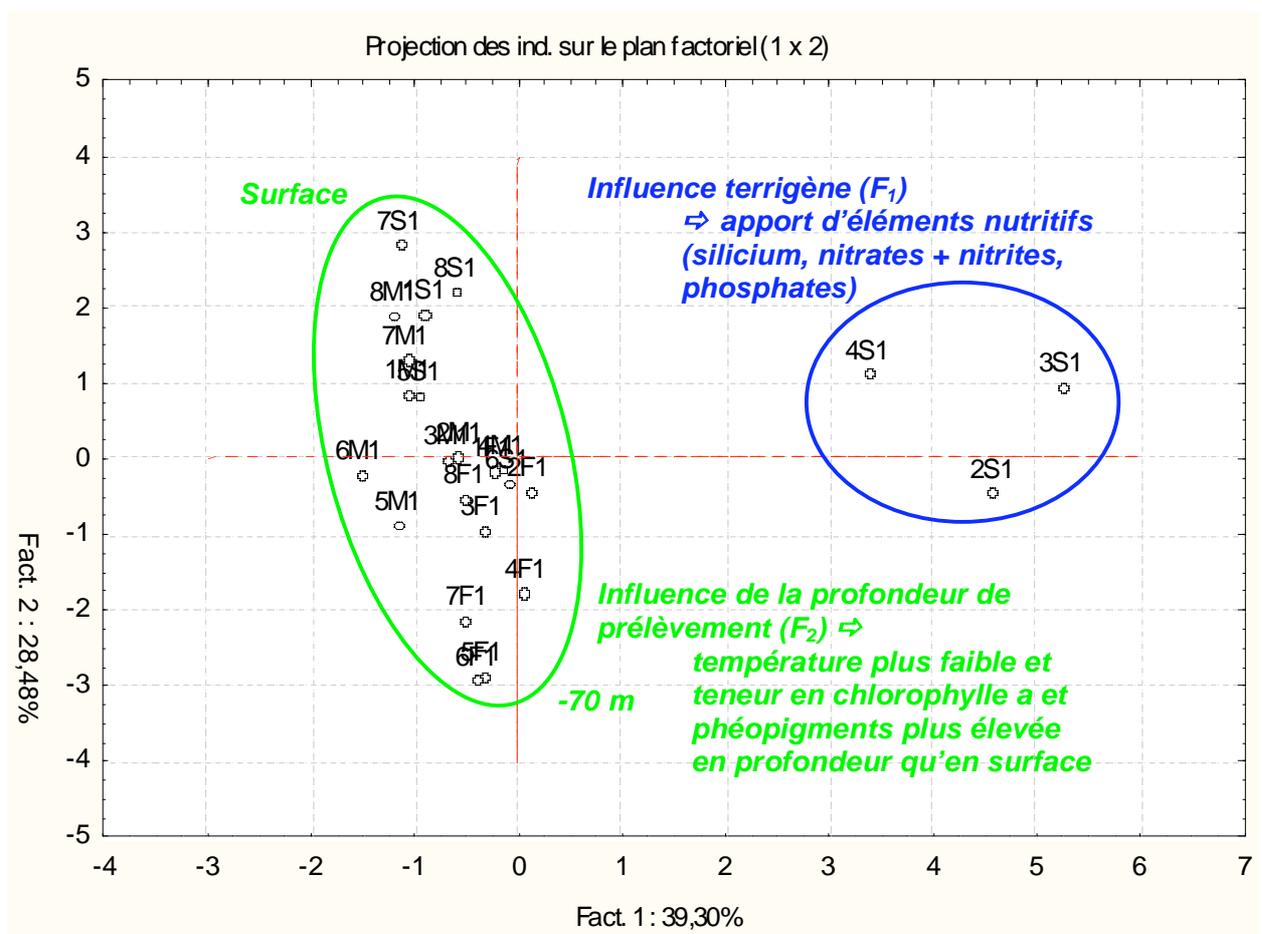
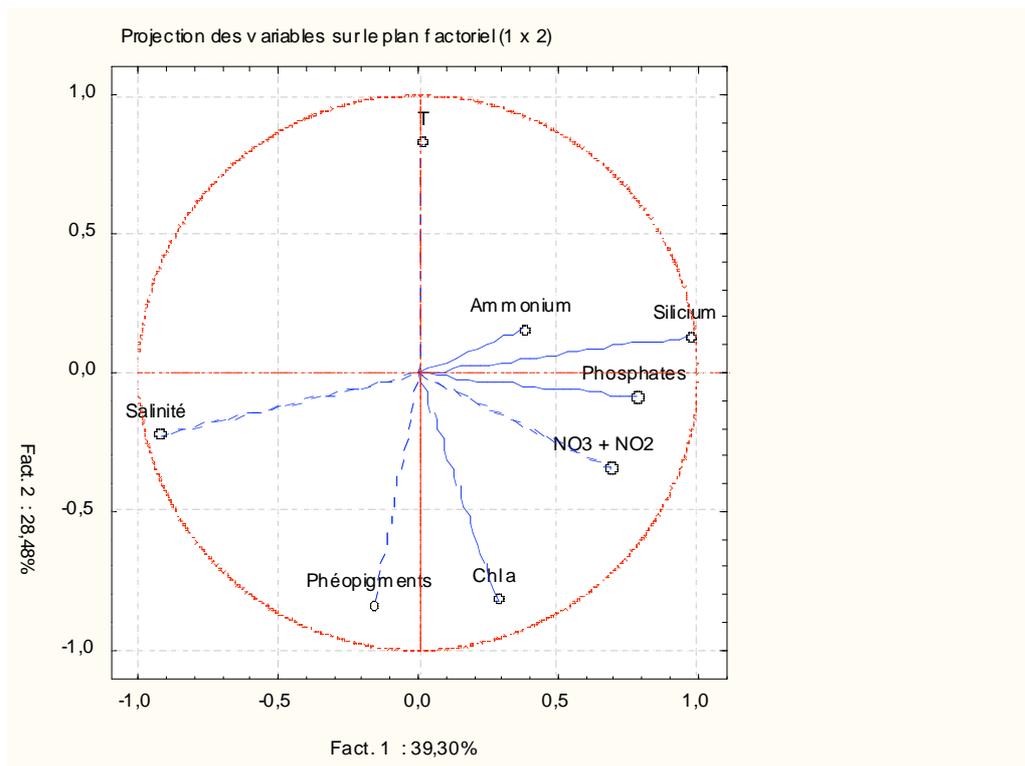


Figure 45 : Résultats de l'ACP « classique » réalisée sur les moyennes obtenues par station et par profondeur au cours de l'année 1.

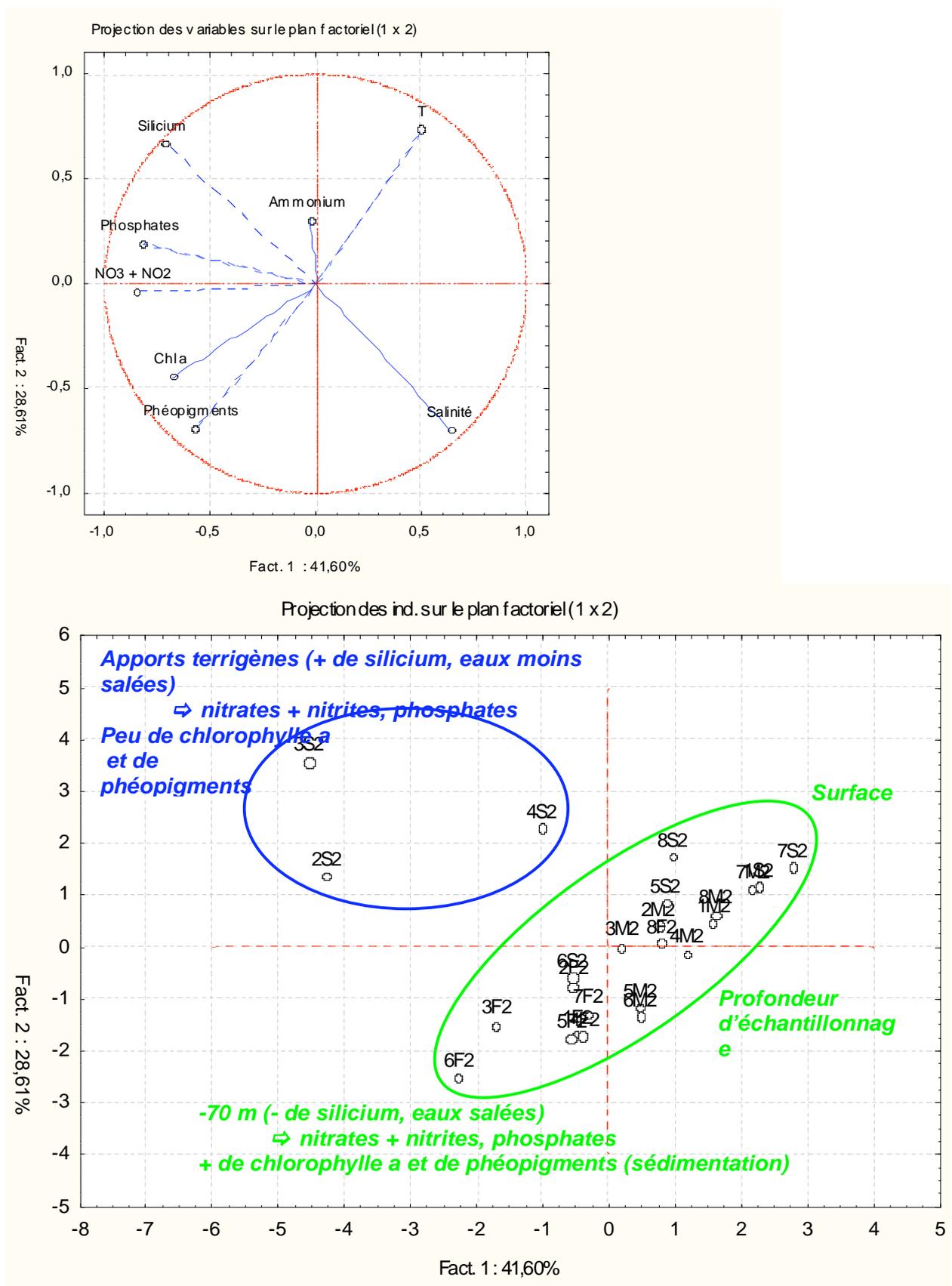


Figure 46 : Résultats de l'ACP « classique » réalisée sur les moyennes obtenues par station et par profondeur au cours de l'année 2.

3.14 Conclusions

3.14.1 Principales caractéristiques des stations de surface

- Quatre des stations échantillonnées au cours des trois années d'étude se trouvent en dehors des zones d'influence des panaches de rivières.
 - Grande Anse, dans le « Sud sauvage », ainsi que la Baie de la Possession et la Passe de l'Hermitage sur la côte Ouest, sont des stations « océaniques », peu³⁷ ou pas du tout affectées par les apports terrigènes.
La seule différence observée entre ces stations concerne la teneur en chlorophylle a, un peu plus élevée à Grande Anse ($0,24 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$) qu'à la Passe de l'Hermitage ($0,15 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$). Il est possible que les conditions hydrodynamiques, beaucoup plus rudes sur la côte Sud que sur la côte Ouest, favorisent à Grande Anse un brassage, ou une remise en suspension des sédiments, qui pourraient limiter la sédimentation des particules phytoplanctoniques. Compte-tenu de la localisation géographique de la station, il semble aussi assez vraisemblable que l'exposition de Grande Anse aux vents d'Alizés y favorise la remontée d'eaux plus profondes, pouvant constituer une source d'éléments nutritifs complémentaire favorisant la productivité.
 - La station de la Pointe de la Table, dans le « Sud sauvage » n'est pas une station « océanique » à proprement parler, car elle est affectée par la lentille d'eau douce issue du massif du Piton de la Fournaise.
Celle-ci présente un débit, et des teneurs en silicium (de l'ordre de $800 \mu\text{M}$) et en phosphates (de l'ordre de $6 \mu\text{M}$) suffisants, pour affecter de manière très sensible les caractéristiques du milieu côtier (salinité = $34,6 \pm 0,3$ vs. $35,0 \pm 0,1$ à Grande Anse). En revanche, sa teneur en nitrates + nitrites est peu élevée (de l'ordre de $8 \mu\text{M}$), ainsi que son rapport N :P (de l'ordre de 1,3), bien en deçà du rapport N :P caractéristique du phytoplancton (N :P = 16). En conséquence, la productivité, supposée proportionnelle à la teneur en chlorophylle a dans la colonne d'eau, n'y est pas plus élevée qu'à Grande Anse.
- Les cinq autres stations sont localisées à l'embouchure des grandes rivières pérennes. L'opposition entre les deux versants de l'île, l'un sec et l'autre humide, se traduit par des salinités nettement moins élevées sur la côte Est ($33,8 \pm 1,3$ à la Rivière du Mât ; $33,9 \pm 0,8$ à la Rivière de l'Est) que sur la côte Ouest ($34,9 \pm 0,3$ à la Rivière Saint Etienne ; $34,9 \pm 0,4$ à la Rivière des Galets).

Des corrélations significatives sont observées sur les différentes stations entre la salinité, d'une part, et la teneur en éléments nutritifs, d'autre part (silicium, nitrates + nitrites, phosphates), témoignant d'un enrichissement du milieu côtier en éléments nutritifs par le biais des apports terrigènes.

³⁷ Au cours des trois années d'étude, Grande Anse a été affectée une fois par la lentille d'eau douce du Piton de la Fournaise. Des eaux de caractéristiques similaires à celles d'eaux pluviales peuvent parfois stagner en Baie de Possession (observé au moins en une occasion).

En supposant un comportement conservatif des éléments nutritifs, on peut considérer l'ordonnée à l'origine des droites de corrélation comme une bonne approximation de leur teneur dans les rivières.

- Les eaux superficielles sont moins riches en silicium que la lentille d'eau douce associée au Piton de la Fournaise, avec des concentrations quelque peu variables selon la rivière (de 370 μM pour la rivière du Mât à 480 μM pour la rivière de l'Est), sans répartition géographique particulière.
- Les rivières issues des zones les moins peuplées de l'île (rivière des Galets, issue du cirque de Mafate ; rivière de l'Est) présentent des concentrations en nitrates + nitrites similaires à celles de la lentille d'eau douce du Piton de la Fournaise (de l'ordre de 8 μM), tandis que les rivières issues des zones agricoles (rivière Saint Etienne ; rivière du Mât) présentent des concentrations plus élevées (respectivement de l'ordre de 20 et 35 μM). Ces concentrations demeurent toutefois extrêmement faibles pour des eaux superficielles.
- Enfin, la Rivière de l'Est, et surtout la Rivière du Mât, présentent des teneurs en phosphates moins élevées que celle de la lentille d'eau douce du Piton de la Fournaise (respectivement de l'ordre de 2,7 et 1,2 μM). La pauvreté de la Rivière du Mât en phosphates suggère que ceux-ci ont une origine essentiellement naturelle³⁸.

Les caractéristiques des stations côtières résultent conjointement du débit des rivières, et de leurs caractéristiques.

Sur la côte Ouest, les modifications par rapport au milieu océanique sont peu sensibles.

- La station de la Rivière des Galets, où la salinité demeure similaire à celle des stations « océaniques » de la côte Ouest (Baie de la Possession et Passe de l'Hermitage), ne présente aucun enrichissement en éléments nutritifs par rapport à ces stations. La teneur en chlorophylle a y est également la même. Au cours de la troisième année d'étude, la station a été repositionnée dans le panache de la rivière, sans grand effet, sauf sur la salinité et la teneur en silicium.
- La station de la Rivière Saint Etienne a une salinité similaire à celle des autres stations de la côte Ouest. Cependant, elle présente des teneurs en silicium et en nitrates + nitrites un peu plus élevées que celles de la Passe de l'Hermitage (respectivement $4,4 \pm 3,3 \mu\text{M}$ vs. $2,1 \pm 0,3 \mu\text{M}$ et $0,20 \pm 0,20 \mu\text{M}$ vs. $0,05 \pm 0,07 \mu\text{M}$).

Sur la côte Est, les modifications par rapport au milieu océanique sont plus marquées, avec, en particulier, un enrichissement en silicium prononcé ($17,4 \pm 11,8 \mu\text{M}$ à la Rivière de l'Est ; $15,4 \pm 15,1 \mu\text{M}$ à la Rivière du Mât vs. 2,1 – 3,2 μM pour les stations « océaniques »).

- La station de la Rivière de l'Est présente des teneurs en nitrates + nitrites, et surtout en phosphates, accrûes par rapport aux différentes stations « océaniques » (respectivement $0,31 \pm 0,19 \mu\text{M}$ et $0,17 \pm 0,06 \mu\text{M}$ vs. respectivement 0,05 – 0,13 μM et 0,10 μM).

³⁸ Faute de corrélations Phosphates – Salinité significatives pour les stations de la côte Ouest, les valeurs approchées pour la concentration des rivières en phosphates n'ont pu être calculées.

- La station de la Rivière du Mât présente une teneur en nitrates extrêmement variable, et nettement plus élevée que celle de toutes les stations « océaniques » ($0,90 \pm 1,32 \mu\text{M}$), sans augmentation parallèle des concentrations en phosphates ($0,13 \pm 0,04 \mu\text{M}$).

L'impact sur la productivité de l'enrichissement modéré en éléments nutritifs provoqué par ces apports terrigènes est peu sensible. Il est cependant mis en évidence par l'analyse multivariée, en particulier dans le cas de la station de la Rivière du Mât, dont la teneur relativement élevée en chlorophylle a ($0,32 \pm 0,17 \mu\text{g/L}$) s'oppose à celle de la Passe de l'Hermitage ($0,15 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$).

De manière générale, les phéopigments sont également en quantité plus élevée sur les trois stations affectées par la décharge des rivières ($0,32 - 0,41 \mu\text{g/L}$) que dans la Baie de la Possession ou à la Passe de l'Hermitage ($0,18 - 0,20 \mu\text{g/L}$). Il est cependant difficile de préciser s'ils ont une origine terrigène ou autochtone.

Enfin, on peut signaler que la station de la Rivière Saint Etienne semble présenter des caractéristiques un peu particulières, peut être simplement dues au fait qu'elle a été systématiquement échantillonnée très tôt le matin. L'analyse multivariée montre que la couche de surface y présente un certain nombre des caractéristiques plutôt associées aux eaux prélevées à -35 m de profondeur (pauvreté en ammonium par exemple).

3.14.2 La couche intermédiaire (-35 m)

- L'analyse statistique classique suggère que la couche d'eau est homogène de la surface jusqu'à -35 m de profondeur du point de vue :
 - de la température,
 - de la concentration en ammonium,
 - et de la teneur en matériel particulaire (carbone organique particulaire, chlorophylle a et phéopigments).

Cependant, l'analyse multivariée démontre sans ambiguïté que ces différents paramètres sont tous affectés³⁹ par la profondeur d'échantillonnage : à -35 m, l'eau est plus froide, plus riche en chlorophylle a et en phéopigments, et plus pauvre en ammonium que la couche de surface. La variabilité spatiale des données masque ce phénomène lors de l'analyse statistique classique.

La couche de fond (-70 m) est encore plus riche en chlorophylle a et en phéopigments que la couche intermédiaire, vraisemblablement en raison de la sédimentation des particules phytoplanctoniques.

- A -35 m, la salinité et la concentration en silicium réactif sont extrêmement stables, et la variabilité spatiale peu prononcée. L'influence des apports terrigènes se limite donc pour l'essentiel à la couche de surface. Néanmoins, les teneurs les plus élevées en silicium sont de manière générale observées sur les stations soumises aux apports terrigènes les plus significatifs. Ces apports contribuent donc vraisemblablement à la productivité de la couche intermédiaire. D'autres apports (nitrates + nitrites, phosphates) en provenance du fond peuvent également y contribuer (retour dans la colonne d'eau d'éléments nutritifs régénérés et / ou remontée d'eaux plus profondes).

³⁹ Le carbone organique particulaire n'a pas été intégré à cette analyse

La productivité épuise la couche à -35 m en nitrates + nitrites ($0,08 \pm 0,11 \mu\text{M}$), indépendamment de la station considérée, et contrairement à ce que l'on observe dans le cas du silicium ($2,6 \pm 0,6 \mu\text{M}$) ou des phosphates ($0,11 \pm 0,03 \mu\text{M}$).

3.14.3 La variabilité saisonnière

- Sur les stations localisées à l'embouchure des grandes rivières pérennes, aucune régularité temporelle des apports terrigènes (supposée fonction du débit des rivières) n'a été observée, du fait des modifications de la localisation du panache en fonction des conditions hydrodynamiques.
Un second facteur peut contribuer à cette absence de périodicité. Les données acquises en surface à la Pointe de la Table et à la Rivière de l'Est suggèrent une certaine variabilité temporelle des concentrations en phosphates dans les eaux superficielles et souterraines, attribuée à un lessivage des phosphates en début de saison des pluies.
- Sur les stations de la côte Ouest, peu affectées par les apports terrigènes, une certaine périodicité des teneurs en chlorophylle a a été observée, avec des concentrations plus élevées en saison fraîche qu'en saison des pluies. A cette tendance générale, semblent se superposer différents pics de chlorophylle a en saison des pluies, en particulier à la Rivière Saint Etienne, qui est la seule station de la côte Ouest où des apports terrigènes significatifs ont été mis en évidence.
On n'observe en revanche aucune périodicité nette sur la station « océanique » de Grande Anse. Les conditions hydrodynamiques sur cette station, beaucoup plus rudes que sur la côte Ouest, constituent l'explication la plus vraisemblable.

4 LES STATIONS RECIFALES

4.1 Température

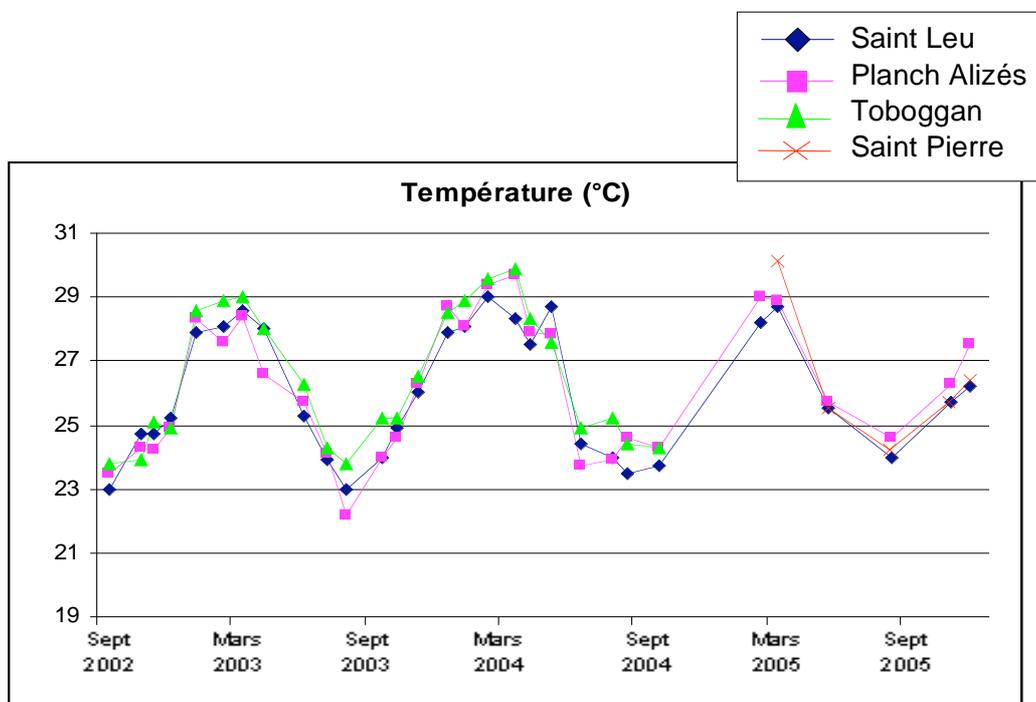


Figure 47 : Evolution temporelle de la température sur les quatre stations récifales.

On observe sur l'ensemble des stations une évolution saisonnière des températures, avec des valeurs maximales durant la saison chaude (janvier, février et mars) et des températures minimales en saison fraîche (juin, juillet, août). L'amplitude de ces variations est de l'ordre de 7 à 8°C.

La moyenne des températures à Saint Leu est de $26,0 \pm 2,0$ °C, à Planch'Alizés de $26,2 \pm 2,1$ °C et à Toboggan de $26,5 \pm 2,1$ °C. Les températures croissantes de Saint Leu à Toboggan reflètent l'ordre d'échantillonnage (réchauffement progressif des eaux récifales durant la matinée). Cependant, d'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 comprises, il n'y a pas de différence significative entre ces trois stations. La moyenne des températures relevées à Saint-Pierre (aux alentours de 17 heures) est de $26,4 \pm 2,2$ °C.

La température est un paramètre de toute première importance pour les stations récifales, parce que le réchauffement des eaux ($0,1^{\circ}\text{C}$ par an en moyenne depuis 10 ans dans les eaux océaniques superficielles ; mesures effectuées au Port : Conand *et al.*, 2006) peut être à l'origine de blanchissements coralliens récurrents. Cependant, les données ponctuelles présentées ci-dessus sont insuffisantes pour assurer une réelle surveillance de la température du milieu récifal (trop de variabilité dans les conditions d'échantillonnage).

4.2 Salinité

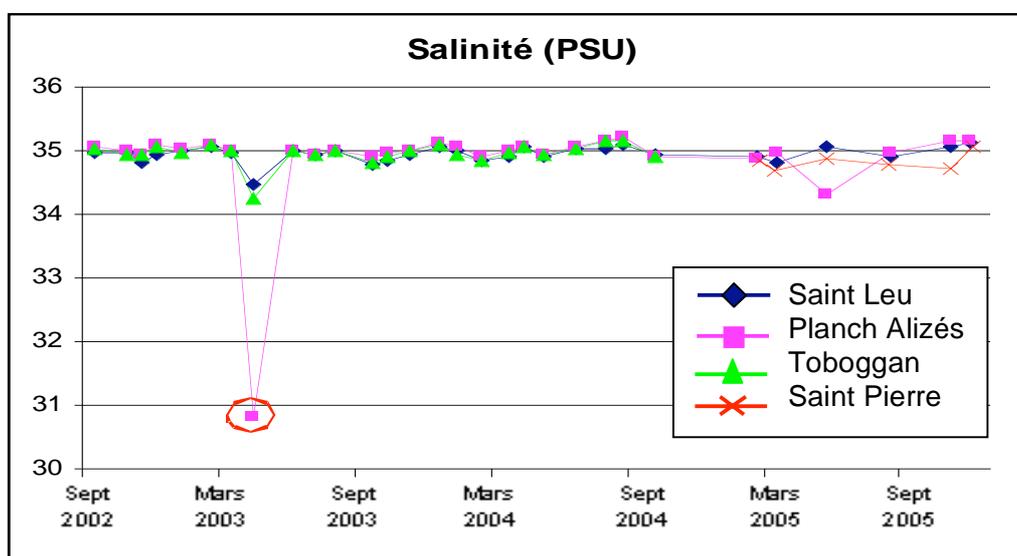


Figure 48 : Evolution temporelle de la salinité sur les quatre stations récifales.

Toutes stations confondues, la salinité moyenne est de $34,91 \pm 0,46$. On n'observe de régularité temporelle sur aucune des stations.

La moyenne des salinités à Saint Leu est de $34,95 \pm 0,13$, à Planch'Alizés de $34,86 \pm 0,78$ et à Toboggan de $34,96 \pm 0,17$. D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 comprises, il n'y a pas de différence significative entre ces trois stations.

L'écart-type très élevé observé pour Planch'Alizés est lié à une forte dessalure notée en avril 2003 (la valeur correspondante est entourée en rouge sur le graphique). Ce phénomène se retrouve de manière toutefois moins marquée sur les deux autres stations échantillonnées. Il n'est associé à aucun enrichissement en silicium, qui constitue classiquement la « marque » des apports terrigènes. Ces dessalures peuvent donc sans doute être considérées comme une simple conséquence de la pluie survenue au cours des prélèvements.

Dans le cas de Planch'Alizés, la valeur atteinte semble cependant peu réaliste, et une erreur dans la prise de donnée possible. L'exclusion de cette donnée conduit à une salinité moyenne à Planch'Alizés de $34,98 \pm 0,19$.

La moyenne des salinités relevées à Saint Pierre ($34,83 \pm 0,14$) semble un peu moins élevée que sur les autres récifs. Il s'agit d'une tendance à confirmer sur les années ultérieures, qui pourrait être indicatrice d'apports terrigènes localisés au niveau de la station d'échantillonnage.

4.3 Pourcentage de saturation en oxygène dissous

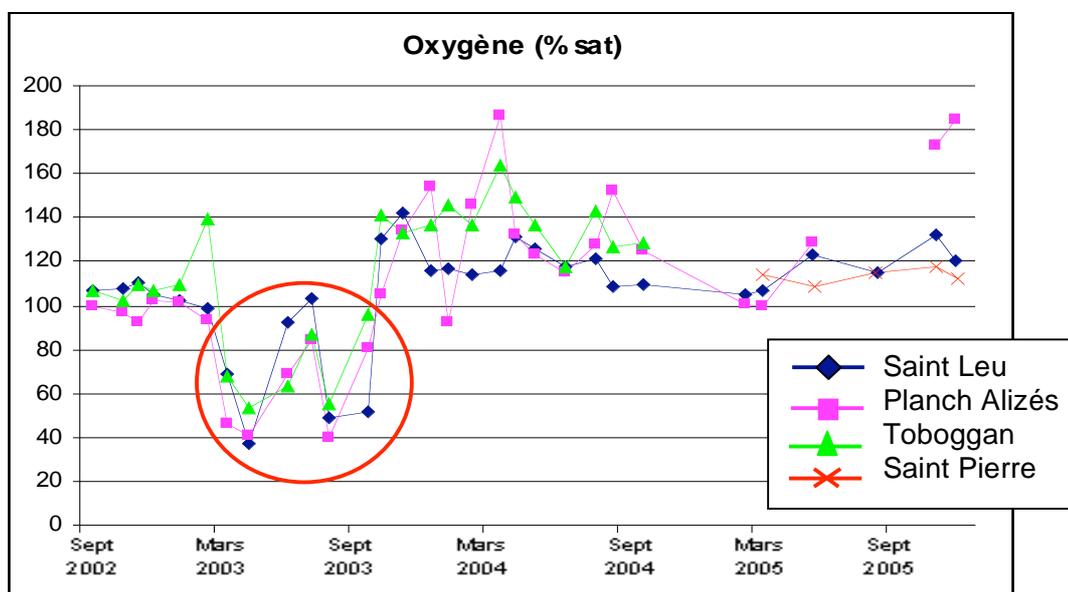


Figure 49 : Evolution temporelle du pourcentage de saturation en oxygène dissous la température sur les quatre stations récifales.

Les eaux récifales sont le plus souvent sur-saturées en oxygène (% de saturation > 100), du fait de l'intensité de la production primaire benthique, les prélèvements étant faits de jour. A compter d'octobre 2003, les prélèvements ont été effectués plus tard dans la matinée (en fin d'après-midi à Saint Pierre), et les pourcentages de saturation sont en conséquence plus élevés que de septembre 2002 à février 2003. Les valeurs très faibles observées de mars à octobre 2003 (jusqu'à 40% de saturation), entourées en rouge sur le graphique, semblent aberrantes, compte-tenu de l'heure des prélèvements. Elles reflètent le plus vraisemblablement un problème d'échantillonnage (dispensettes défectueuses, délivrant un volume de réactif trop faible pour piéger la totalité de l'oxygène dissous ?).

	Saint-Leu	Planch'Alizés	Toboggan	Saint-Pierre
Année 2	120,7 ± 10,0	132,7 ± 24,8	138,2 ± 11,8	
Année 3	117,1 ± 10,4	137,4 ± 39,8		113,6 ± 3,4

Tableau 22 : Valeur moyenne du pourcentage de saturation en oxygène dissous (± écart-type) sur les quatre stations récifales au cours des années 2 et 3.

Comme dans le cas de la température, les valeurs moyennes croissantes observées de Saint Leu à Toboggan au cours de l'année 2 reflètent l'ordre d'échantillonnage. Les écart-types élevés observés à Planch'Alizés témoignent d'une variabilité journalière plus élevée que sur les autres stations (cf. le graphe ci-dessous, issu des données de thèse de D. Mioche, 1996). Il est remarquable que l'écart-type le moins élevé soit observé à Saint Pierre, où tous les prélèvements ont été effectués aux alentours de 17 heures.

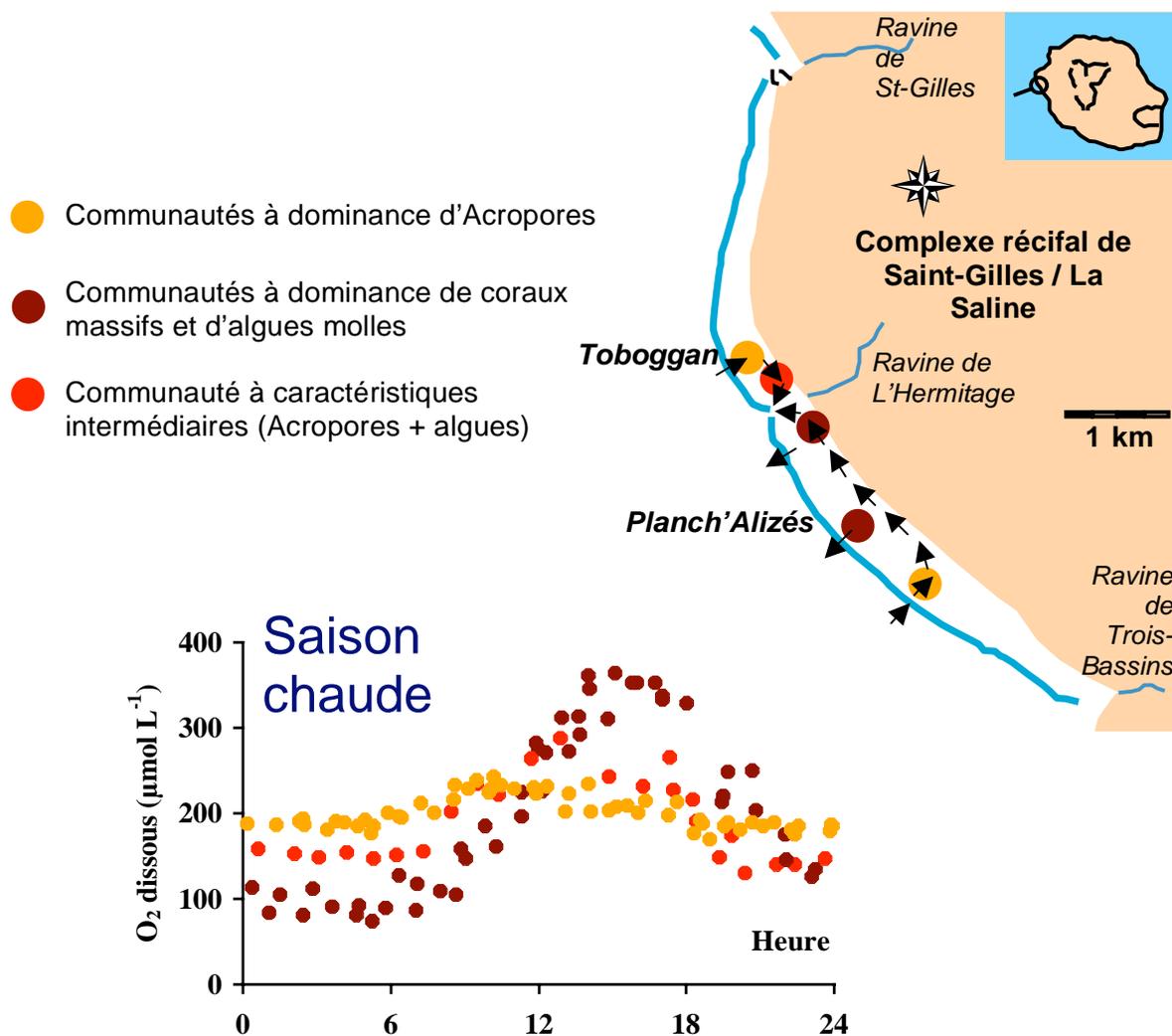


Figure 50 : Evolution journalière de la teneur en oxygène dissous en saison chaude, sur cinq stations du récif frangeant de Saint-Gilles La Saline correspondant à un gradient de dégradation (données Mioche, 1996).

Comme la température, la teneur en oxygène dissous est un paramètre de toute première importance pour les communautés récifales, mais ce sont essentiellement les valeurs nocturnes qui sont concernées, car elles passent sur les stations dégradées au-dessous du seuil de 3-4 mg.L⁻¹ néfaste à la vie aquatique.

De ce point de vue, les données acquises dans le cadre de la mise en place du RNO à la Réunion ne permettent pas d'assurer la surveillance du milieu.

4.4 Silicium

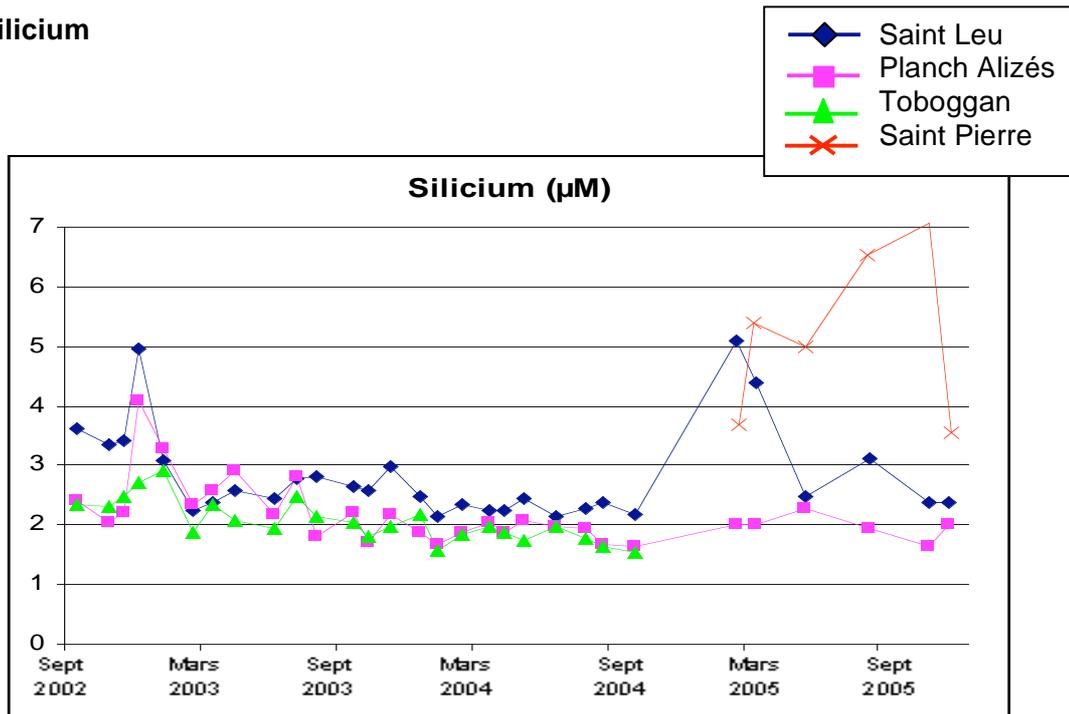


Figure 51 : Evolution temporelle de la teneur en silicium sur les quatre stations récifales.

Toutes données confondues, la concentration moyenne en silicium est de $2,56 \pm 1,02 \mu\text{M}$. La moyenne à Saint Leu est de $2,82 \pm 0,79 \mu\text{M}$, à Planch'Alizés de $2,18 \pm 0,53 \mu\text{M}$, et à Toboggan de $2,07 \pm 0,35 \mu\text{M}$. Les concentrations sont nettement plus élevées à Saint Pierre ($5,21 \pm 1,44 \mu\text{M}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, Planch'Alizés et Toboggan présentent des concentrations similaires. En revanche, la teneur en silicium est significativement plus élevée à Saint Leu que sur ces deux stations.

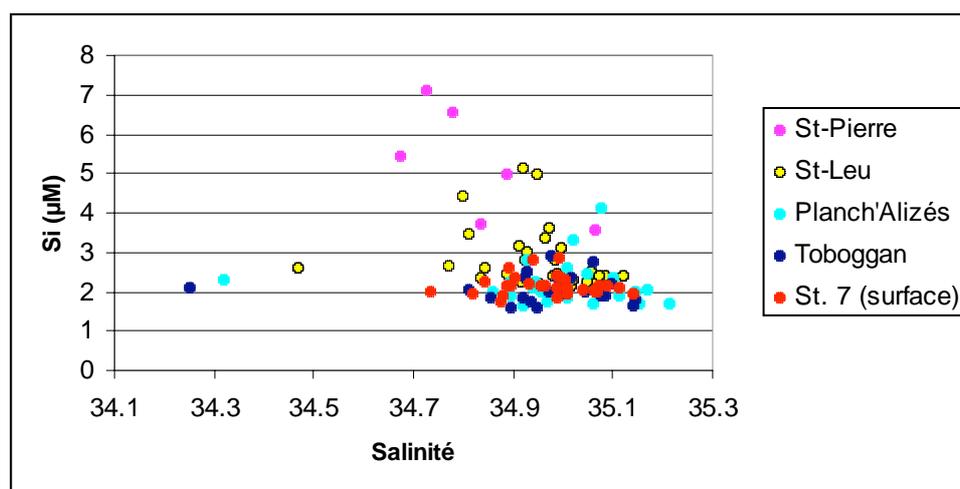


Figure 52 : Diagramme de mélange Silicium - Salinité.

Sur le diagramme de mélange Silicium – Salinité, et bien qu'il n'y ait eu que 6 prélèvements effectués sur cette station, il apparaît déjà pour Saint Pierre une corrélation entre ces deux paramètres, témoignant d'une influence terrigène.

Sur les autres récifs, les quelques dessalures ponctuelles observées (salinité < 34,5) ne se traduisent pas par un enrichissement en silicium, et correspondent à des prélèvements effectués par temps de pluie (l'échantillon de salinité de l'ordre de 31 à Planch'Alizés n'a pas été représenté).

L'influence terrigène est bien moins évidente à Saint Leu qu'à Saint Pierre. Néanmoins, la teneur en silicium y est significativement plus élevée ($p < 0,0001$) qu'à la station 7 (Passe de l'Hermitage, données de surface : $2,14 \pm 0,26 \mu\text{M}$), ce qui n'est pas le cas pour Toboggan et Planch'Alizés. L'influence terrigène est donc significative à Saint Leu, quoique sporadique. Elle n'est pas détectée à Toboggan et Planch'Alizés.

4.5 Nitrates + nitrites

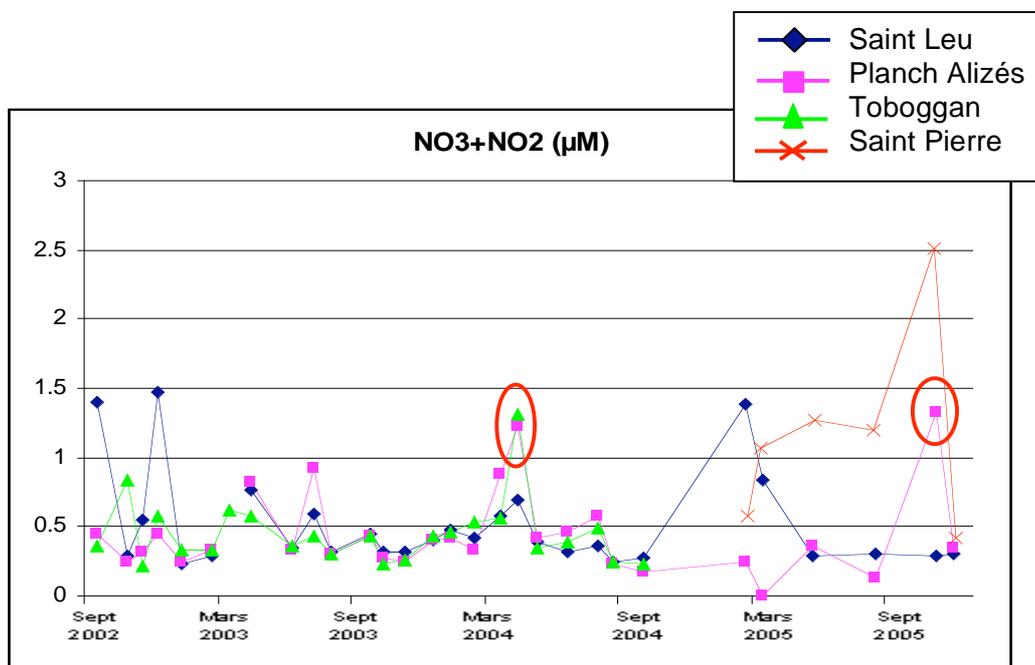


Figure 53 : Evolution temporelle de la teneur en nitrates + nitrites sur les quatre stations récifales.

Toutes données confondues, la concentration moyenne en nitrates + nitrites est de $0,52 \pm 0,39 \mu\text{M}$. Les concentrations varient de la limite de détection à $2,5 \mu\text{M}$, avec une moyenne de $0,51 \pm 0,35 \mu\text{M}$ à Saint Leu, de $0,44 \pm 0,31 \mu\text{M}$ à Planch'Alizés, et de $0,45 \pm 0,24 \mu\text{M}$ à Toboggan. Comme dans le cas du silicium, les concentrations sont nettement plus élevées à Saint Pierre ($1,17 \pm 0,74 \mu\text{M}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, il n'y a pas de différence significative entre les trois stations échantillonnées.

Toboggan et Planch'Alizés, où il n'a pas été détecté d'influence terrigène significative, présentent néanmoins des concentrations en nitrates + nitrites supérieures à celles de la station 7 (Passe de l'Hermitage, données de surface : $0,05 \pm 0,07 \mu\text{M}$; $p < 0,0001$). L'augmentation des teneurs en nitrates + nitrites sur ces stations récifales, par rapport au milieu océanique, résulte de l'activité métabolique des communautés récifales : fixation d'azote atmosphérique par les cyanophycées, recyclage de matière organique issue du milieu océanique (picoplancton), etc.

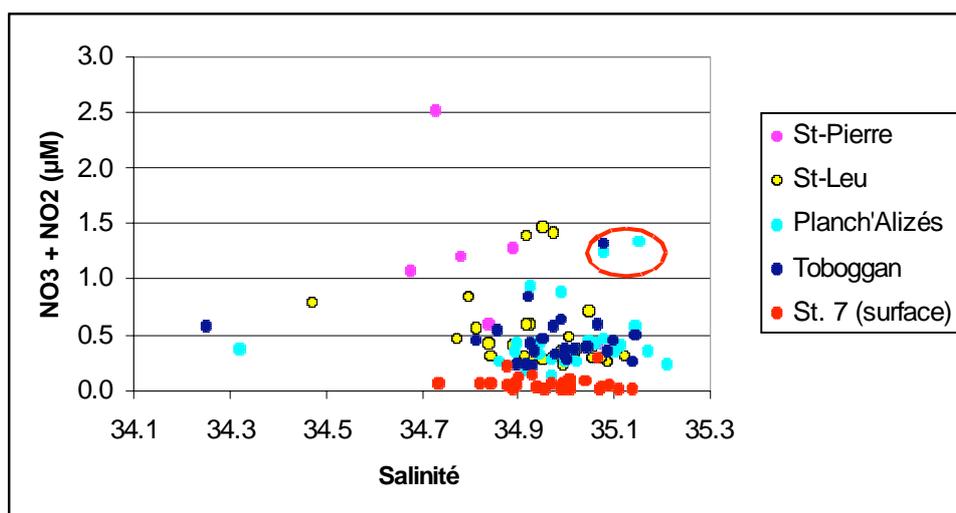


Figure 54 : Diagramme de mélange Nitrates + Nitrites - Salinité.

C'est l'une des raisons pour lesquelles il n'existe pas de relation claire entre nitrates + nitrites et salinité sur le diagramme de mélange ci-dessus.

Cependant, il apparaît sur le diagramme de mélange Nitrates + nitrites – Silicium une corrélation certaine entre ces deux paramètres, qui témoigne de l'apport de nitrates + nitrites dans le milieu récifal par le biais des apports terrigènes, à Saint Leu et à Saint Pierre.

Quelques échantillons, entourés en rouge sur les différentes figures de ce paragraphe, se placent assez nettement au dessus de la tendance générale. Un problème analytique, ou à l'échantillonnage n'est jamais à exclure, mais d'autres explications sont vraisemblables. Il a par exemple été observé que la quantité de nitrates relarguée dans la colonne d'eau pouvait fortement dépendre de l'état de la marée (observations effectuées sur le platier du Trou d'Eau), en dehors de toute influence terrigène marquée, sans doute en raison de l'influence de l'eau interstitielle contenue dans la trame récifale.

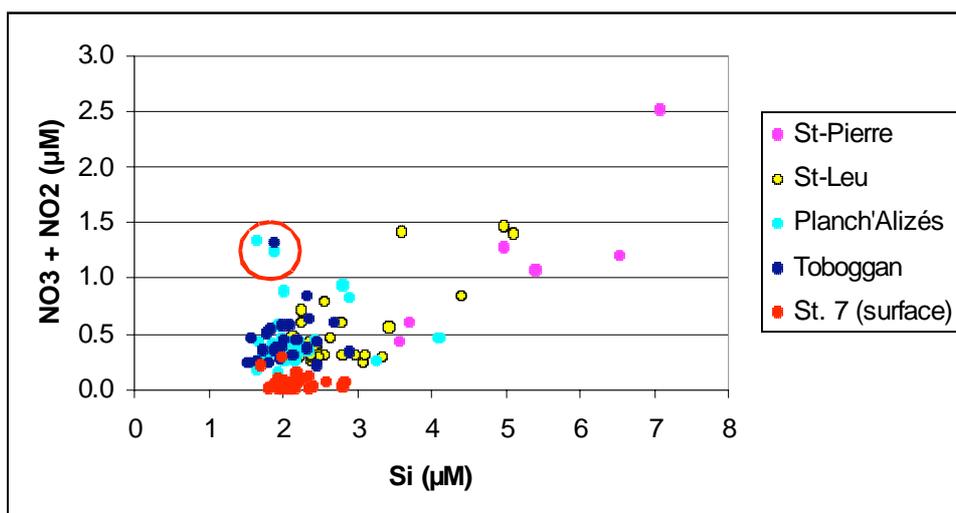


Figure 55 : Diagramme de mélange Nitrates + Nitrites - Silicium.

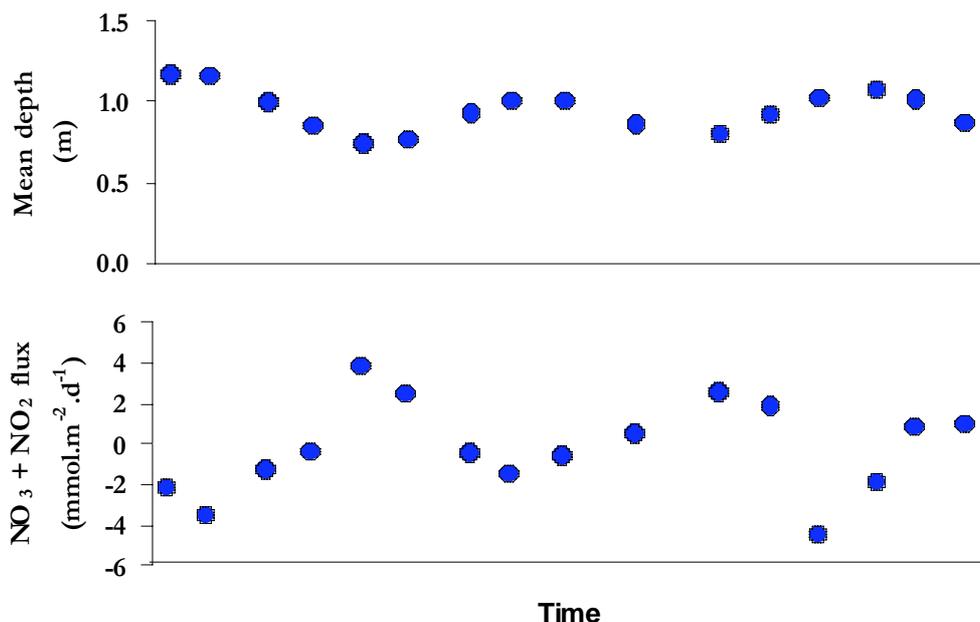


Figure 56 : Flux de nitrates + nitrites observés sur le platier du Trou d'Eau en fonction de l'état de la marée (données Cuet et al., 2006).

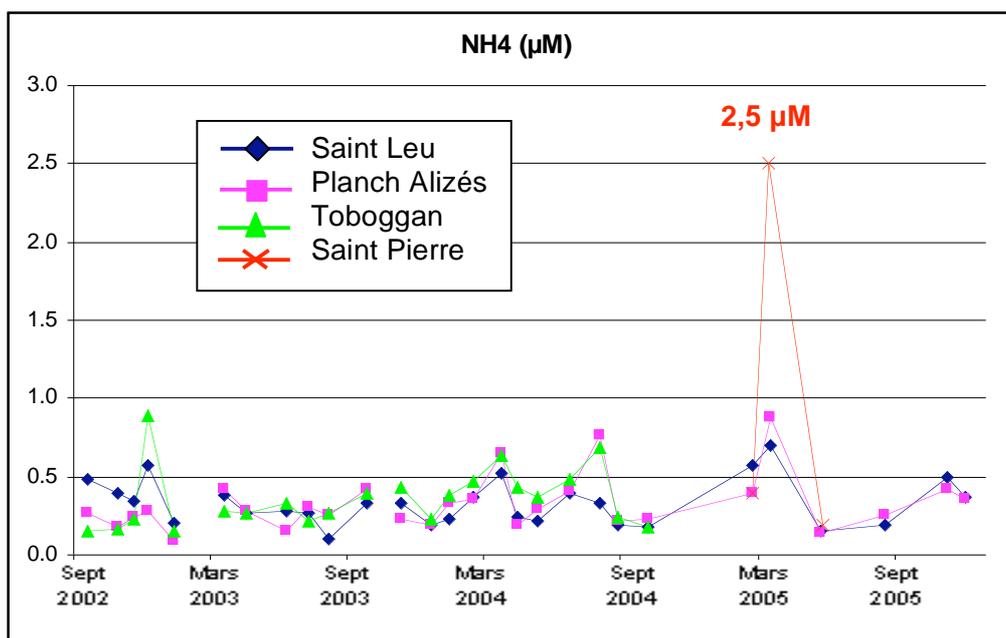


Figure 57 : Evolution temporelle de la teneur en ammonium sur les quatre stations récifales.

Les teneurs en ammonium observées dépassent rarement 0,5 à 0,6 μM , et jamais 1 μM , à l'exception notable d'un échantillon prélevé à Saint Pierre en mars 2005. On n'a actuellement pas suffisamment de recul sur cette station pour déterminer s'il s'agit d'une valeur aberrante (contamination à l'échantillonnage) ou non.

Toutes données confondues, à l'exception de cette valeur très élevée à Saint-Pierre, la concentration moyenne en ammonium est de $0,34 \pm 0,17 \mu\text{M}$, avec une moyenne à Saint

Leu de $0,33 \pm 0,15 \mu\text{M}$, à Planch'Alizés de $0,33 \pm 0,18 \mu\text{M}$, et à Toboggan de $0,36 \pm 0,19 \mu\text{M}$.

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, il n'y a pas de différence significative entre les trois stations échantillonnées. Au même titre que Saint Leu, Toboggan et Planch'Alizés, où il n'a pas été détecté d'influence terrigène significative, présentent des concentrations en ammonium supérieures à celles de la station 7 (Passe de l'Hermitage, données de surface : $0,13 \pm 0,12 \mu\text{M}$; $p < 0,0001$).

Les diagrammes de mélange Ammonium - Salinité et Ammonium - Silicium ne font apparaître aucune relation entre l'ammonium et les traceurs des apports terrigènes. L'augmentation des teneurs en ammonium sur les stations récifales, par rapport au milieu océanique, résulte donc essentiellement de l'activité métabolique des communautés récifales.

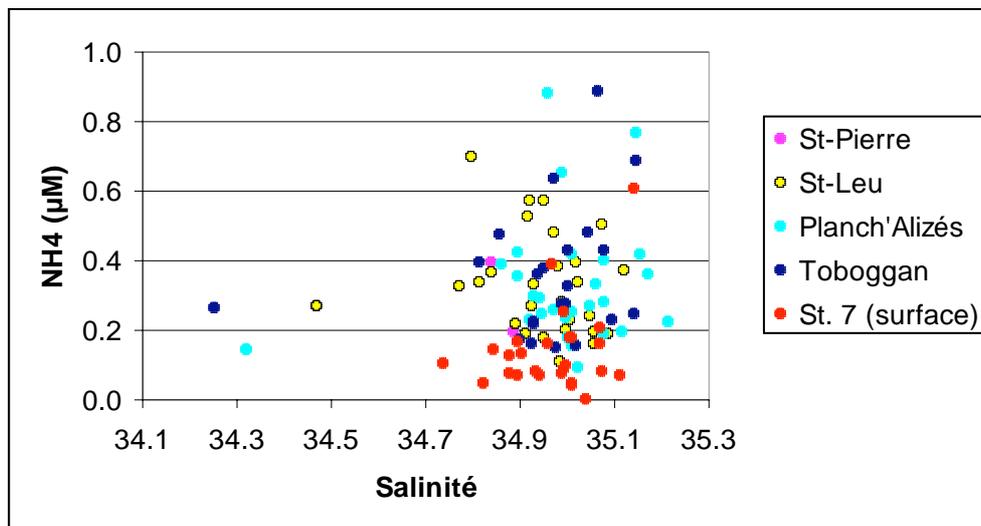


Figure 58 : Diagramme de mélange Ammonium - Salinité.

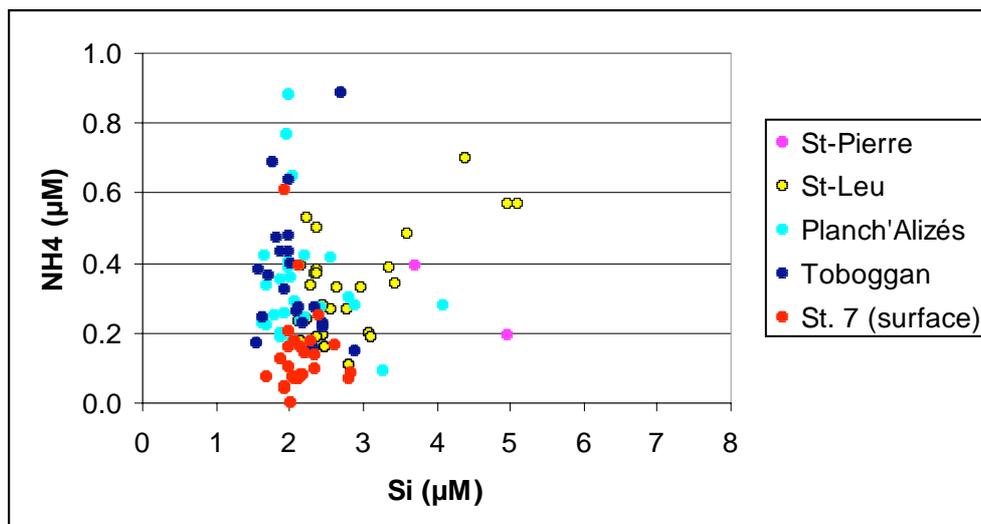


Figure 59 : Diagramme de mélange Ammonium - Silicium.

4.6 Phosphates

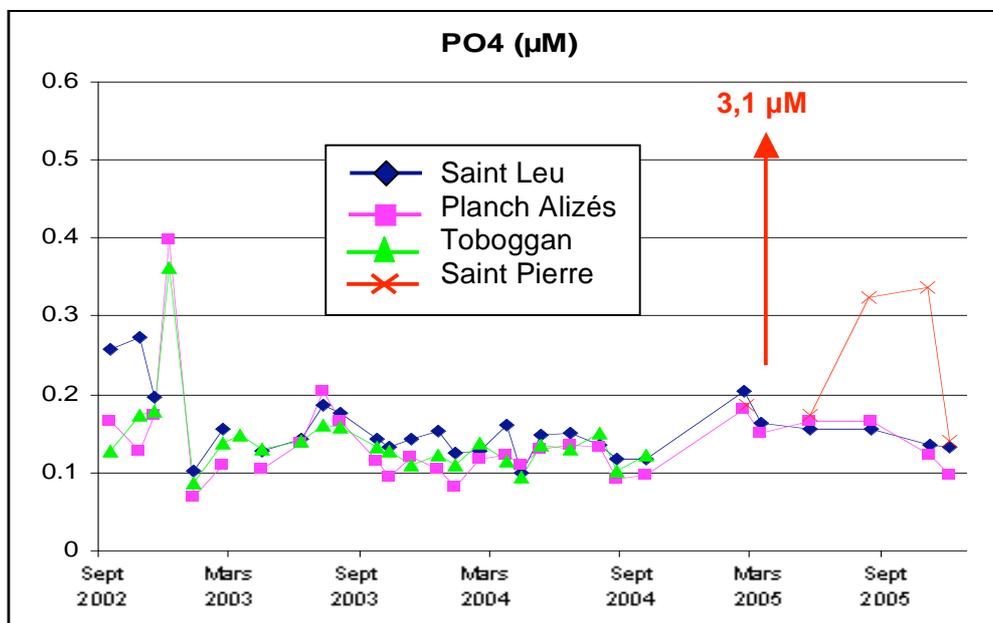


Figure 60 : Evolution temporelle de la teneur en phosphates sur les quatre stations récifales.

Les concentrations en phosphates sont le plus souvent comprises entre 0,1 et 0,2 µM, hormis à Saint Pierre, où des valeurs supérieures à 0,3 µM, et jusqu'à 3,1 µM ont été relevées. Cette valeur de 3,1 µM, mesurée en mars 2005 parallèlement à une teneur en ammonium elle aussi extrêmement élevée (2,5 µM), est difficilement explicable, et a été exclue du calcul des moyennes.

Toutes données confondues, la concentration en phosphates est de $0,15 \pm 0,06$ µM, avec une moyenne à Saint Leu de $0,15 \pm 0,04$ µM, à Planch'Alizés de $0,14 \pm 0,06$ µM, et à Toboggan de $0,14 \pm 0,05$ µM. La moyenne à Saint Pierre est plus élevée ($0,23 \pm 0,09$ µM).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, Saint Leu se caractérise par une valeur moyenne très légèrement supérieure à celle de Planch'Alizés ($p = 0,023$). Toboggan présente des valeurs intermédiaires. Les trois stations présentent des valeurs supérieures à celle des eaux océaniques superficielles (station 7, Passe de l'Hermitage : $0,11 \pm 0,04$ µM ; $p = 0,03$ pour Planch'Alizés, $p = 0,006$ pour Toboggan ; $p < 0,0001$ pour Saint Leu).

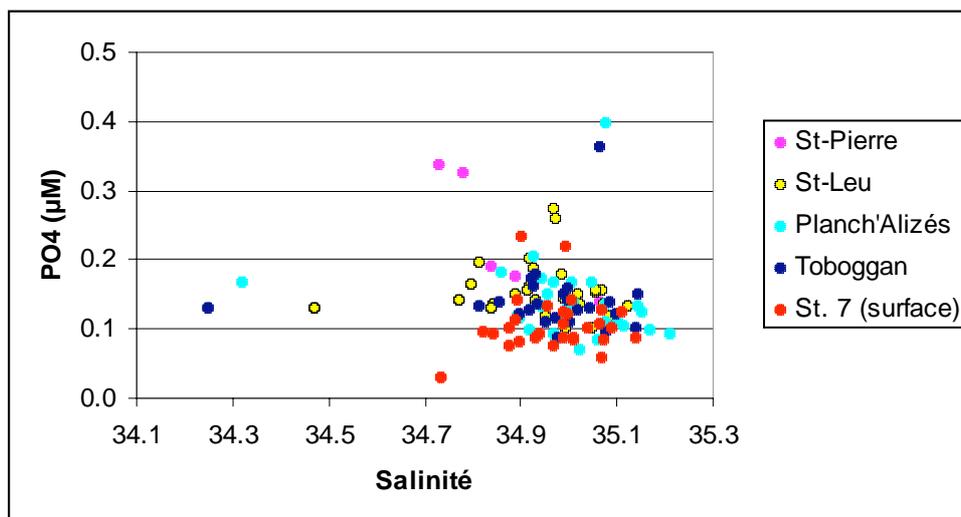


Figure 61 : Diagramme de mélange Phosphates - Salinité

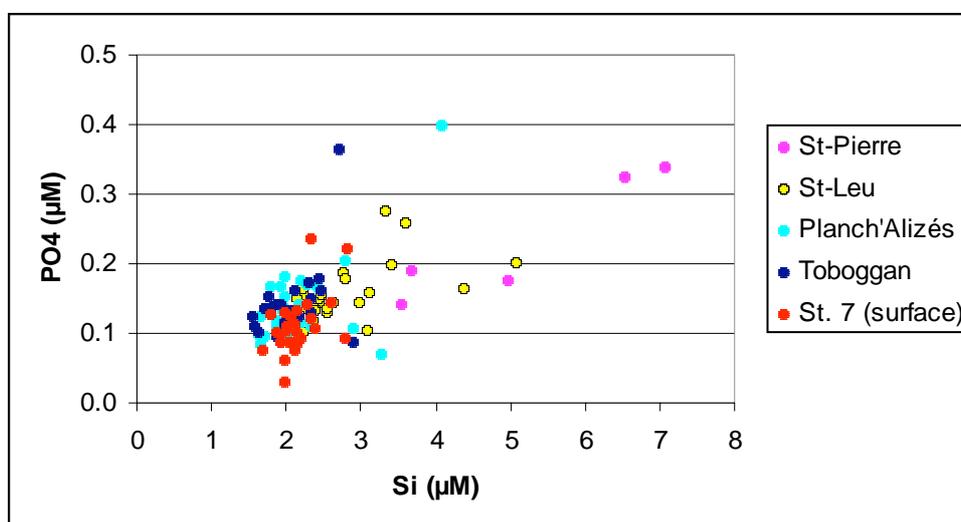


Figure 62 : Diagramme de mélange Phosphates - Silicium

Les diagrammes de mélange Phosphates – Salinité et Phosphates – Silicium ne font pas apparaître de relation très claire entre les phosphates et les traceurs des apports terrigènes.

A Toboggan et Planch'Alizés, où des apports terrigènes n'ont pu être mis en évidence, la source de phosphates est essentiellement océanique, et l'accroissement des concentrations par rapport aux eaux océaniques superficielles (station 7, Passe de l'Hermitage) peut correspondre à une régénération de matière organique particulaire, elle aussi d'origine océanique (picoplancton). Cette hypothèse, vraisemblable au vu des données récentes publiées dans la littérature, n'a pas encore été testée à la Réunion.

L'interprétation des diagrammes de mélange est encore compliquée par le fait que les communautés récifales prélèvent dans le milieu ambiant les phosphates nécessaires à leur production nette (cf le graphique ci-dessous, extrait de la thèse de D. Taddéi, 2006).

Sur le diagramme de mélange Phosphates – Silicium, il semble néanmoins se dessiner à Saint Pierre une corrélation entre ces deux paramètres, témoignant d'un apport de phosphates d'origine terrigène, et qui expliquerait les concentrations relativement élevées notées sur ce récif. En raison du trop petit nombre d'échantillons actuellement disponibles, cette tendance sera bien évidemment à confirmer au cours des années ultérieures.

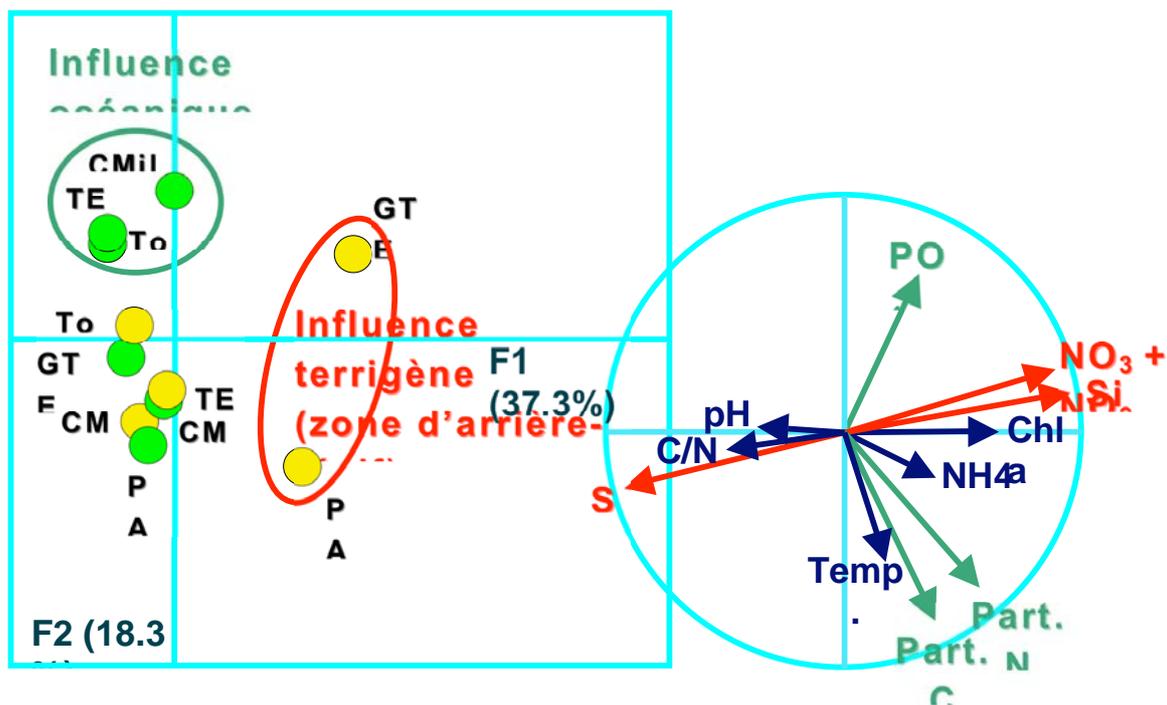


Figure 63 : Analyse en composantes principales (ACP intra-groupes) résumant les caractéristiques de la colonne d'eau sur différentes stations du récif de Saint-Gilles La Saline. Les platiers récifaux sont représentés par des cercles verts, les arrière-récifs par des cercles jaunes. On note en particulier que les platiers récifaux sous influence océanique, notamment Toboggan (Tob, en haut à gauche sur la figure), se caractérisent par des teneurs en phosphates élevées. En revanche, le transit des eaux à l'intérieur du système récifal se traduit par leur appauvrissement en phosphates, particulièrement net sur le platier de Planch'Alizés (PA, en bas à gauche sur la figure), sauf sur une station affectée par des apports terrigènes (arrière-récif de Grand Trou d'Eau, GTE en haut à droite sur la figure). Cet appauvrissement en phosphates est associé à un enrichissement de la colonne d'eau en azote (Part. N) et carbone (Part. C) particuliers : il résulte donc du prélèvement des phosphates par les communautés récifales pour les besoins de la production primaire (données D. Taddéi, 2006).

4.7 Turbidité

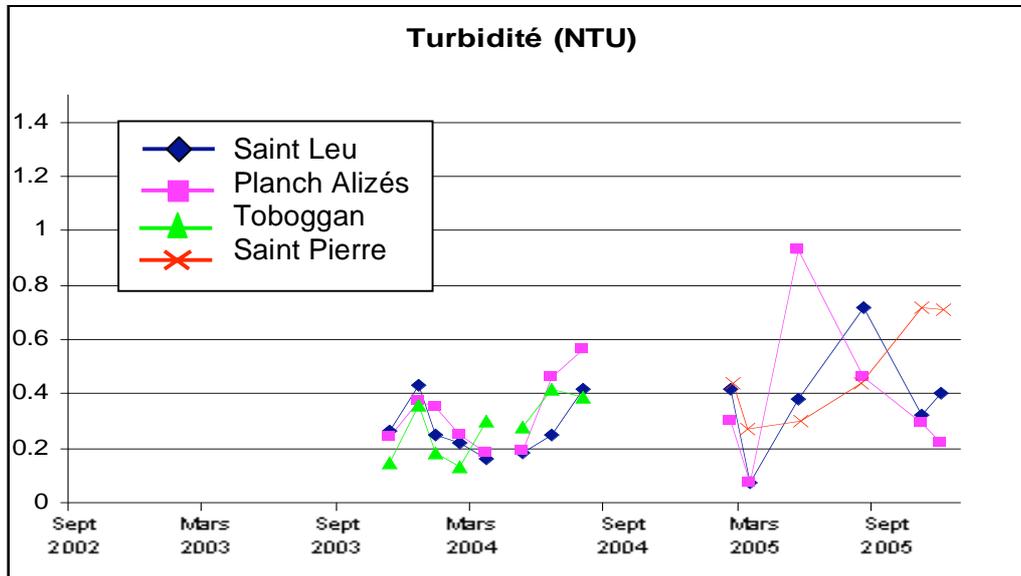


Figure 64 : Evolution temporelle de la turbidité sur les quatre stations récifales

Toutes stations confondues, la turbidité moyenne est de $0,35 \pm 0,20$ NTU.

La moyenne des turbidités à Saint Leu est de $0,32 \pm 0,16$ NTU, à Planch'Alizés de $0,35 \pm 0,21$ NTU et à Toboggan de $0,28 \pm 0,20$ NTU.

Compte tenu de la forte variabilité des données au cours de la troisième année de mesures, la moyenne des turbidités relevées à Saint Pierre ($0,48 \pm 0,20$ NTU) ne semble guère plus élevée que sur les autres récifs.

4.8 Carbone organique particulaire

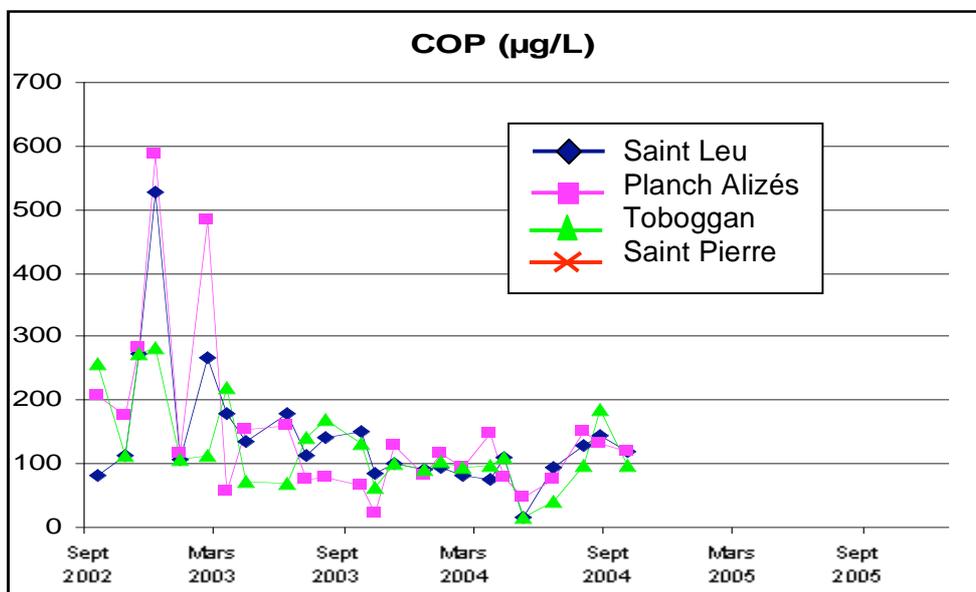


Figure 65 : Evolution temporelle de la teneur en carbone organique particulaire sur les quatre stations récifales

Toutes données confondues (années 1 et 2 uniquement), la concentration moyenne en carbone organique particulaire est de $140 \pm 103 \mu\text{g/L}$, avec une moyenne à Saint Leu de $142 \pm 100 \mu\text{g/L}$, à Planch'Alizés de $151 \pm 132 \mu\text{g/L}$, et à Toboggan de $127 \pm 70 \mu\text{g/L}$.

D'un point de vue statistique, il n'y a pas de différence significative entre ces trois stations. Le milieu récifal ne diffère pas non plus du milieu océanique (Station 7, Passe de l'Hermitage, données de surface : $160 \pm 76 \mu\text{g/L}$). Pourtant, l'ACP présentée ci-dessus (Taddéi, 2006) montre qu'il est possible de mettre en évidence un export de matière organique par les zones récifales (détritiques, microphytobenthos remis en suspension sous l'effet de la houle, etc.), qui s'accumule dans les secteurs les moins soumis à l'influence océanique.

4.9 Chlorophylle a et phéopigments

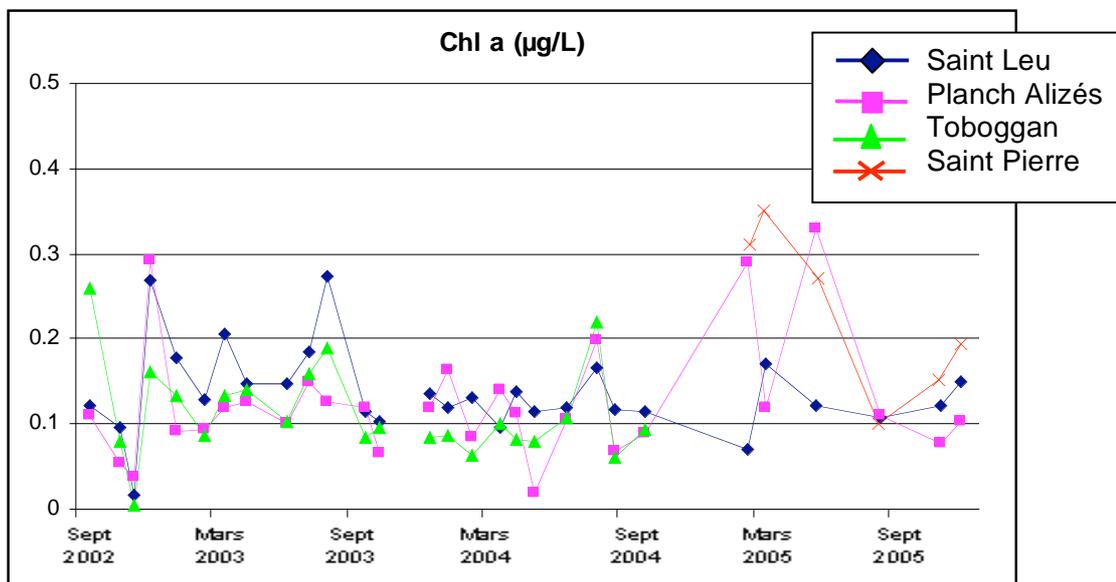


Figure 66 : Evolution temporelle de la teneur en chlorophylle a sur les quatre stations récifales

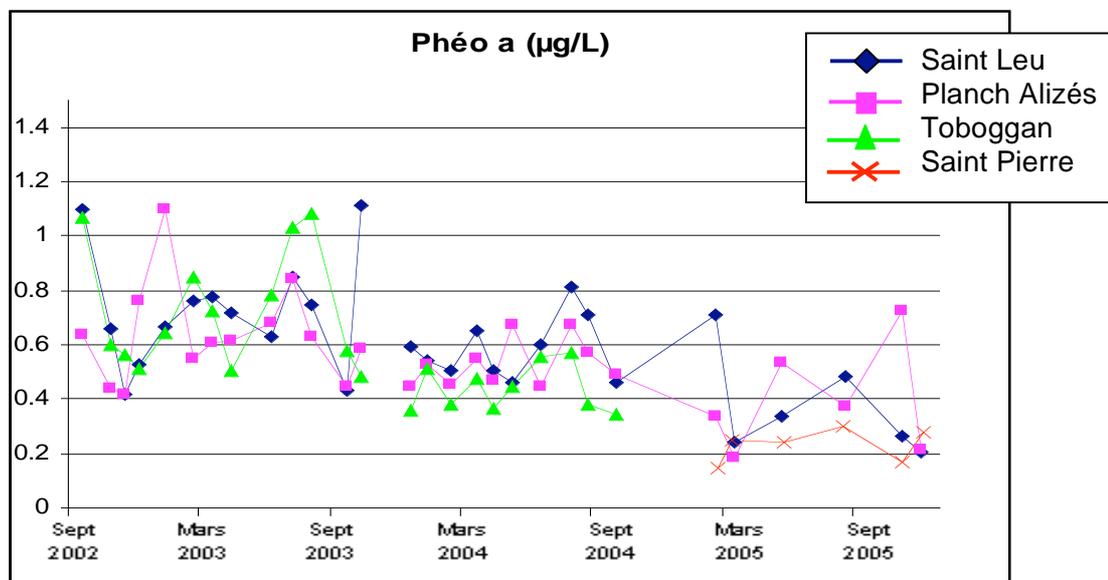


Figure 67 : Evolution temporelle de la teneur en phéopigments sur les quatre stations récifales

Toutes données confondues, la concentration en chlorophylle a est de $0,13 \pm 0,07 \mu\text{g/L}$, avec une moyenne à Saint Leu de $0,14 \pm 0,05 \mu\text{g/L}$, à Planch'Alizés de $0,12 \pm 0,07 \mu\text{g/L}$, et à Toboggan de $0,11 \pm 0,06 \mu\text{g/L}$. La teneur en chlorophylle a est plus élevée à Saint Pierre ($0,23 \pm 0,10 \mu\text{g/L}$).

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, Saint Leu se caractérise par des concentrations un peu plus élevées que Toboggan ($p = 0.019$). Planch'Alizés présente des valeurs intermédiaires. Cependant, la teneur en chlorophylle a n'est significativement différente de celle des eaux océaniques superficielles (Station 7, Passe de l'Hermitage : $0,15 \pm 0,08 \mu\text{M}$) sur aucune de ces trois stations.

Pourtant, le graphique ci-dessous montre que, par exemple, les *Prochlorococcus*, qui constituent l'essentiel du picophytoplancton au large de la Réunion (de l'ordre de 10^5 cellules par mL) du fait du caractère oligotrophe des eaux marines, sont consommés par les communautés benthiques du système récifal. La chlorophylle n'ayant pas été fractionnée par classe de taille dans le cadre de la présente étude, ce phénomène est vraisemblablement masqué par un export de chlorophylle a par le système récifal, par exemple sous forme de microphytobenthos (diatomées pour l'essentiel) remis en suspension sous l'effet de la houle.

Il est donc difficile de conclure quant à la différence observée entre Saint Leu et Toboggan, car trop de facteurs peuvent entrer en ligne de compte : l'intensité du broutage et /ou de la remise en suspension du microphytobenthos par exemple, mais éventuellement également une augmentation de la productivité à Saint Leu sous l'effet des apports terrigènes intermittents.

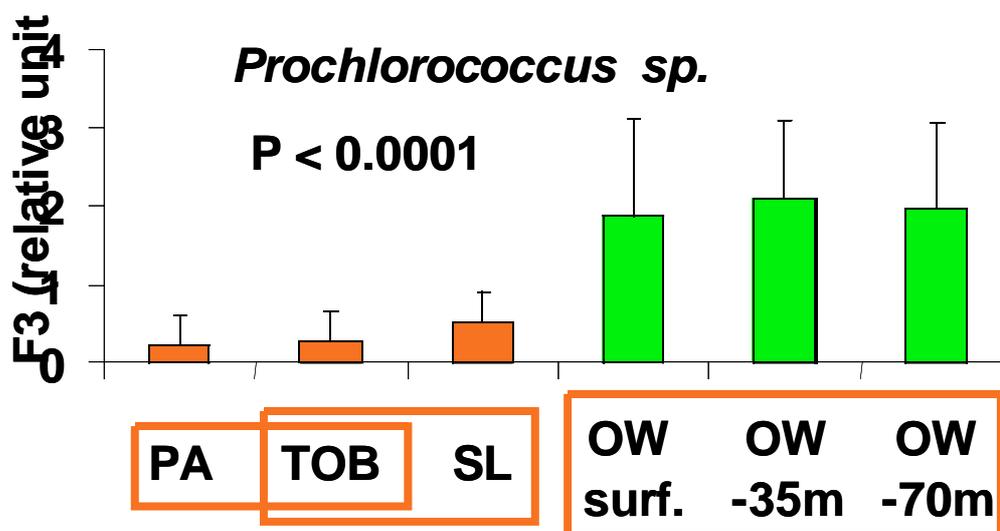


Figure 68 : Abondance des *Prochlorococcus* sur les différentes stations récifales au cours de l'année 2002-2003 (PA : Planch'Alizés, TOB : Toboggan, SL : Saint Leu) et comparaison avec les eaux océaniques (OW : station 7, Passe de l'Hermitage). Du fait du broutage, les *Prochlorococcus* sont nettement moins abondants sur les stations récifales que dans le milieu océanique ($p < 0,0001$). Les groupes de valeurs homogènes sont représentés par les rectangles oranges (au seuil $p = 0,05$) : le nombre de cellules encore présentes dans les eaux récifales est moins élevé à Planch'Alizés qu'à Saint Leu (d'après Cuét et al., 2004).

Toutes données confondues, la concentration moyenne en phéopigments est de $0,56 \pm 0,22$ $\mu\text{g/L}$, avec une moyenne à Saint Leu de $0,60 \pm 0,22$ $\mu\text{g/L}$, à Planch'Alizés de $0,55 \pm 0,18$ $\mu\text{g/L}$, et à Toboggan de $0,60 \pm 0,22$ $\mu\text{g/L}$. La concentration moyenne à Saint Pierre est nettement moins élevée ($0,23 \pm 0,06$ $\mu\text{g/L}$).

Il peut s'agir d'un artéfact : il a été précisé au cours des différentes réunions du comité de pilotage que la concentration en phéopigments avait sans doute été sur-estimée au début de l'étude. Effectivement, en ce qui concerne Toboggan, Planch'Alizés et Saint Leu, la teneur en phéopigments est plus élevée au cours de la première année qu'au cours des deux années ultérieures ($p < 0,003$). La tendance observée à Saint Pierre demeure donc à confirmer.

D'un point de vue statistique, sur les campagnes 1 à 24 incluses, il n'y a pas de différences significatives entre les trois stations échantillonnées. En revanche, les concentrations en phéopigments y sont nettement supérieures ($p < 0,0001$) à celles des eaux océaniques superficielles (Station 7, Passe de l'Hermitage : $0,18 \pm 0,19$ $\mu\text{g/L}$). On peut y voir l'effet de la consommation du phytoplancton par les communautés du système récifal.

4.10 Analyse multivariée

Seuls ont été conservés pour cette analyse les paramètres échantillonnés sur l'ensemble des stations au cours des trois années d'étude. Les matières en suspension et le carbone organique particulaire n'y sont donc pas pris en compte, non plus que le pourcentage de saturation en oxygène dissous, du fait des problèmes d'échantillonnage rencontrés au cours de la première année, et évoqués précédemment.

L'analyse a porté, pour chacune des stations, sur la moyenne respective des années 1, 2 et 3 d'échantillonnage, avec pour objectif de caractériser chacune des stations récifales, par rapport aux eaux océaniques superficielles, et d'évaluer l'importance de la variabilité inter-annuelle.

La salinité très faible notée à Planch'Alizés en avril 2003 a été remplacée par la moyenne des valeurs relevées en parallèle sur les deux autres stations. Les très fortes concentrations en phosphates et en ammonium relevées à Saint Pierre en mars 2005 ont été exclues du calcul des moyennes.

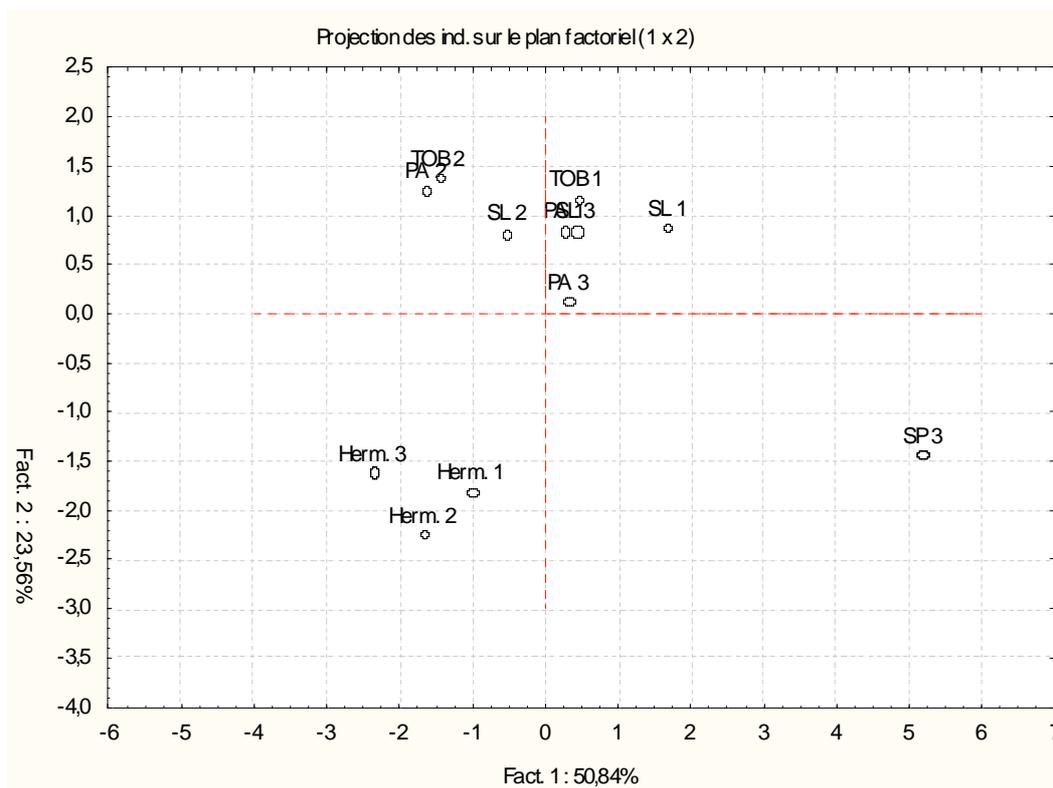
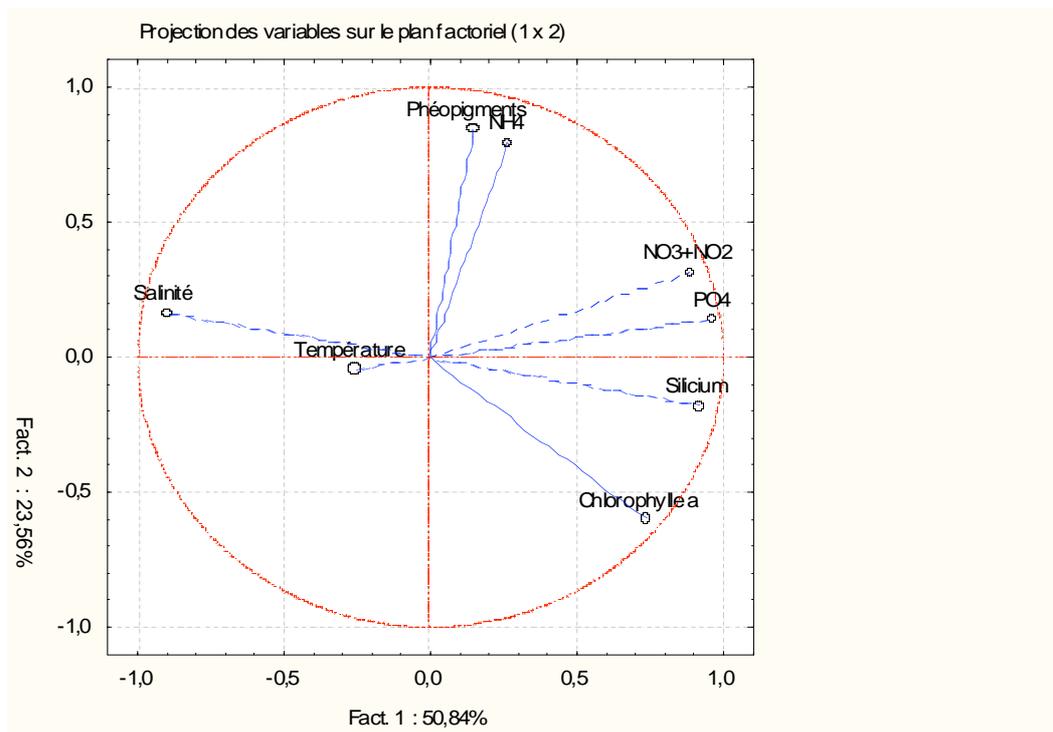


Figure 69 : Analyse en composantes principales résumant les caractéristiques de la colonne d'eau sur les différentes stations récifales (TOB : Tobogan, PA : Planch'Alizés, SL : Saint Leu, SP : Saint-Pierre), ainsi que dans les eaux océaniques superficielles (Herm. : Station 7, Passe de l'Hermitage). Le code de la station est suivi d'un numéro correspondant à l'année d'échantillonnage.

Tous les paramètres sont bien représentés dans le plan factoriel 1-2, à l'exception de la température. Les axes 1 et 2 représentent à eux seuls 74,4 % de la variabilité des données.

La salinité, le silicium, les nitrates + nitrites, les phosphates et la chlorophylle a sont corrélés au premier facteur. La salinité présente une corrélation inverse avec le silicium, et ce premier facteur représente donc l'influence terrigène. Il oppose Saint Pierre, nettement affecté par les apports terrigènes, à l'ensemble des autres stations. Source d'éléments nutritifs sur ce récif, l'influence terrigène semble y favoriser la productivité.

Ce premier facteur peut également refléter une variabilité inter-annuelle modérée, l'année 2, pour les trois stations récifales échantillonnées, s'opposant, du côté négatif de l'axe, aux années 1 et 3, placées du côté positif de l'axe.

On note également qu'au cours des années 1 et 2, le comportement de Saint Leu se démarque quelque peu de celui de Toboggan et de Planch'Alizés pour se rapprocher de celui de Saint Pierre, traduisant l'influence terrigène modérée déjà mentionnée. Au cours de l'année 3, Saint Leu ne se distingue plus de Planch'Alizés. Il est difficile de préciser s'il s'agit là des conséquences d'une variabilité inter-annuelle dans le comportement de ces deux stations, ou d'une perte d'information résultant des modifications du pas d'échantillonnage.

L'ammonium et les phéopigments sont les deux paramètres les mieux corrélés au second facteur, et s'opposent dans une certaine mesure à la chlorophylle a.

Produits de dégradation (de la chlorophylle a dans le cas des phéopigments) et / ou d'excrétion résultant de l'activité métabolique des communautés récifales, l'ammonium et les phéopigments se trouvent en quantité plus importante dans les eaux récifales que dans les eaux océaniques.

Saint Pierre fait exception, mais il est, en l'état actuel des données, difficile de conclure : en ce qui concerne l'ammonium, parce que très peu de données y ont été validées, et en ce qui concerne les phéopigments, parce que les valeurs enregistrées ont sensiblement diminué au cours des trois années d'étude, sans doute en raison de la résolution des problèmes méthodologiques évoqués au cours des réunions du comité de pilotage.

4.11 Conclusion

Les principales caractéristiques des eaux récifales au cours des trois années d'étude sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

Paramètre	Toboggan *1	Planch'Alizés	Saint Leu	Saint Pierre *2
Température (°C)	26,5 ± 2,1	26,2 ± 2,1	26,0 ± 2,0	26,4 ± 2,2
Salinité (PSU)	34,96 ± 0,17	34,98 ± 0,19	34,95 ± 0,13	34,83 ± 0,14
Silicium (µM)	2,07 ± 0,35	2,18 ± 0,53	2,82 ± 0,79	5,21 ± 1,44
Nitrates + nitrites (µM)	0,45 ± 0,24	0,44 ± 0,31	0,51 ± 0,35	1,17 ± 0,74
Ammonium (µM)	0,36 ± 0,19	0,33 ± 0,18	0,33 ± 0,15	Données insuffisantes
Phosphates (µM)	0,14 ± 0,05	0,14 ± 0,06	0,15 ± 0,04	0,23 ± 0,09
Chlorophylle a (µg / L)	0,11 ± 0,06	0,12 ± 0,07	0,14 ± 0,05	0,23 ± 0,10
Phéopigments (µg / L)	0,60 ± 0,22	0,55 ± 0,18	0,60 ± 0,22	0,23 ± 0,06
Turbidité (NTU) *3	0,28 ± 0,11	0,35 ± 0,21	0,32 ± 0,16	0,48 ± 0,20

Tableau 23 : Principales caractéristiques des eaux récifales au cours des trois années d'étude (moyenne ± écart-type), *1 : de septembre 2002 à septembre 2004, *2 : de février 2005 à décembre 2005, *3 : de novembre 2003 à décembre 2005.

Saint Pierre est affecté par des apports terrigènes, qui enrichissent le milieu récifal en éléments nutritifs (silicium, nitrates + nitrites, phosphates), et favorisent la productivité. Saint Leu est affecté de manière plus occasionnelle. Aucun apport terrigène n'est détecté, ni à Toboggan, ni à Planch'Alizés.

Ces deux stations ne se distinguent guère l'une de l'autre. Cependant, dans le cadre d'un contrôle de surveillance, il est recommandé de choisir Toboggan, sous influence océanique, plutôt que Planch'Alizés, considérée comme une station perturbée (présence de matière organique, hétérotrophie, faibles teneurs en oxygène dissous en fin de nuit etc.).

Parmi les paramètres de toutes première importance pour le milieu récifal figurent la température et la teneur nocturne en oxygène dissous. Aucun de ces paramètres n'est suivi de manière représentative à l'aide du protocole mis en place. Il est recommandé, du moins pour la température, de mettre en place des sondes *in situ*. Il serait aussi souhaitable de réaliser pour l'oxygène dissous au moins un cycle de 24 heures en saison chaude, par temps calme, également à l'aide d'une sonde *in situ*. Il n'est pas envisageable de laisser plus longtemps à poste une sonde à oxygène sur les stations récifales (la sonde doit être surveillée).

Enfin, aucune variabilité saisonnière des données n'est remarquable, hormis pour la température. A Saint Pierre, nettement affecté par des apports terrigènes, et à Saint Leu dans une moindre mesure, on pourrait sans doute améliorer le jeu de données en calant les prélèvements sur un état donné de la marée. Cependant, la mise en oeuvre risque d'être difficile, compte-tenu des contraintes météorologiques (Saint Pierre est échantillonné à l'issue de la journée de terrain sur la côte Est).

5 SYNTHÈSE DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Les principales caractéristiques des eaux récifales et côtières au cours des trois années d'étude sont rassemblées dans les tableaux ci-dessous.

Masse d'eau	Station	Code	Température (°C)	Salinité (PSU)	Silicium (µM)	NO3 + NO2 (µM)	Phosphates (µM)	Ammonium (µM)	Chlorophylle a (µg/L)	Phéopigments (µg/L)	Turbidité *3 (NTU)	O2 (% saturation)
9	La Possession	1S	26,0 ± 2,0	34,92 ± 0,21	2,6 ± 0,6	0,05 ± 0,06	0,10 ± 0,03	0,18 ± 0,08	0,21 ± 0,13	0,20 ± 0,17	0,36 ± 0,21	98,4 ± 18,7
		1M	25,5 ± 1,8	34,99 ± 0,08	2,5 ± 0,4	0,06 ± 0,07	0,10 ± 0,03	0,16 ± 0,10	0,25 ± 0,15	0,29 ± 0,24	0,30 ± 0,11	101,7 ± 5,5
		1F	25,0 ± 1,7	35,02 ± 0,09	2,6 ± 0,4	0,19 ± 0,24	0,11 ± 0,04	0,16 ± 0,11	0,29 ± 0,12	0,47 ± 0,29	0,31 ± 0,12	100,0 ± 7,9
7	Riv. du Mât	2S	25,3 ± 1,9	33,82 ± 1,32	15,4 ± 15,1	0,90 ± 1,32	0,13 ± 0,04	0,15 ± 0,11	0,32 ± 0,17	0,32 ± 0,17	1,1 ± 1,3	103,2 ± 6,4
		2M	24,7 ± 1,4	35,01 ± 0,09	3,1 ± 0,5	0,16 ± 0,16	0,12 ± 0,03	0,12 ± 0,08	0,24 ± 0,13	0,24 ± 0,13	0,31 ± 0,11	102,4 ± 3,7
		2F	23,9 ± 1,1	35,15 ± 0,11	3,0 ± 0,5	0,33 ± 0,31	0,13 ± 0,04	0,13 ± 0,12	0,23 ± 0,11	0,23 ± 0,11	0,45 ± 0,26	101,1 ± 3,1
7 *1	Riv. de l'Est	3S	25,5 ± 1,9	33,92 ± 0,81	17,4 ± 11,8	0,31 ± 0,19	0,17 ± 0,06	0,21 ± 0,16	0,27 ± 0,15	0,37 ± 0,23	0,62 ± 0,42	102,4 ± 4,0
		3M	25,2 ± 1,8	34,95 ± 0,13	3,5 ± 1,2	0,12 ± 0,15	0,11 ± 0,03	0,21 ± 0,15	0,26 ± 0,13	0,41 ± 0,33	0,29 ± 0,05	101,7 ± 3,9
		3F	24,3 ± 1,1	35,04 ± 0,10	3,1 ± 0,6	0,28 ± 0,29	0,12 ± 0,03	0,21 ± 0,17	0,27 ± 0,13	0,49 ± 0,27	0,33 ± 0,13	102,0 ± 3,5
6	Pointe de la table	4S	25,6 ± 1,9	34,59 ± 0,32	12,7 ± 7,4	0,11 ± 0,07	0,15 ± 0,06	0,19 ± 0,2	0,24 ± 0,13	0,26 ± 0,16	0,35 ± 0,19	103,0 ± 3,9
		4M	25,2 ± 1,7	35,03 ± 0,10	2,8 ± 0,7	0,08 ± 0,17	0,10 ± 0,03	0,19 ± 0,2	0,27 ± 0,16	0,34 ± 0,24	0,24 ± 0,10	103,2 ± 3,3
		4F	24,6 ± 1,3	35,08 ± 0,11	2,7 ± 0,5	0,15 ± 0,23	0,11 ± 0,04	0,22 ± 0,24	0,32 ± 0,13	0,56 ± 0,33	0,35 ± 0,10	101,8 ± 4,0
4	Grande Anse	5S	25,9 ± 2,0	34,98 ± 0,14	3,2 ± 3,0	0,13 ± 0,22	0,10 ± 0,03	0,13 ± 0,10	0,24 ± 0,15	0,26 ± 0,2	0,41 ± 0,37	102,5 ± 4,2
		5M	25,4 ± 1,8	35,05 ± 0,10	2,4 ± 0,3	0,06 ± 0,07	0,10 ± 0,03	0,14 ± 0,12	0,29 ± 0,14	0,47 ± 0,57	0,28 ± 0,22	102,8 ± 2,7
		5F	24,7 ± 1,3	35,07 ± 0,10	2,5 ± 0,3	0,16 ± 0,19	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,11	0,33 ± 0,16	0,62 ± 0,33	0,29 ± 0,07	101,2 ± 4,3
3	Riv. St-Etienne	6S	25,2 ± 2,0	34,85 ± 0,28	4,4 ± 3,3	0,20 ± 0,2	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,06	0,25 ± 0,12	0,41 ± 0,34	0,48 ± 0,46	102,2 ± 3,7
		6M	24,6 ± 1,6	35,04 ± 0,09	2,4 ± 0,3	0,08 ± 0,09	0,11 ± 0,03	0,06 ± 0,06	0,25 ± 0,10	0,38 ± 0,31	0,28 ± 0,15	101,7 ± 2,7
		6F	23,6 ± 1,1	35,12 ± 0,10	2,7 ± 0,4	0,32 ± 0,4	0,13 ± 0,04	0,08 ± 0,07	0,28 ± 0,08	0,59 ± 0,25	0,27 ± 0,07	100,3 ± 4,1
2	L'Hermitage	7S	26,2 ± 1,9	34,97 ± 0,09	2,1 ± 0,3	0,05 ± 0,07	0,10 ± 0,02	0,12 ± 0,08	0,15 ± 0,08	0,18 ± 0,19	0,33 ± 0,20	103,0 ± 3,8
		7M	25,5 ± 1,6	35,03 ± 0,11	2,2 ± 0,2	0,06 ± 0,05	0,11 ± 0,04	0,14 ± 0,16	0,19 ± 0,08	0,24 ± 0,22	0,24 ± 0,15	101,6 ± 4,8
		7F	24,5 ± 0,9	35,07 ± 0,10	2,3 ± 0,3	0,17 ± 0,25	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,06	0,29 ± 0,08	0,53 ± 0,5	0,21 ± 0,06	100,9 ± 5,1
1	Riv. des Gallets	8S	26,3 ± 2,0	34,86 ± 0,37	4,1 ± 4,7	0,09 ± 0,09	0,11 ± 0,03	0,16 ± 0,12	0,20 ± 0,10	0,23 ± 0,19	0,55 ± 0,40	102,8 ± 3,2
		8M	25,8 ± 1,8	35,00 ± 0,09	2,3 ± 0,3	0,05 ± 0,05	0,10 ± 0,02	0,19 ± 0,17	0,21 ± 0,09	0,27 ± 0,21	0,27 ± 0,19	102,2 ± 3,9
		8F	25,0 ± 1,6	35,05 ± 0,08	2,4 ± 0,4	0,18 ± 0,21	0,11 ± 0,03	0,20 ± 0,20	0,25 ± 0,13	0,41 ± 0,30	0,32 ± 0,20	103,5 ± 3,1
8 *2	Riv. des pluies	3b S	25,5 ± 2,2	34,74 ± 0,35	4,6 ± 3,1	0,28 ± 0,56	0,10 ± 0,05	0,10 ± 0,08	0,24 ± 0,09	0,13 ± 0,09	0,53 ± 0,27	99,8 ± 6,3
		3b M	25,0 ± 1,3	35,04 ± 0,09	3,0 ± 0,6	0,06 ± 0,14	0,11 ± 0,04	0,04 ± 0,04	0,22 ± 0,05	0,09 ± 0,05	0,29 ± 0,09	98,6 ± 13,8

Tableau 24 : Principales caractéristiques des eaux côtières au cours des trois années d'étude (moyenne ± écart-type). *1 : de septembre 2002 à septembre 2004, *2 : de février 2005 à décembre 2005, *3 : de novembre 2003 à décembre 2005

Masse d'eau	Station	Code	Température (°C)	Salinité (PSU)	Silicium (µM)	Nitrates + nitrites (µM)	Ammonium (µM)	Phosphates (µM)	Chlorophylle a (µg / L)	Phéopigments (µg/L)	Turbidité (NTU) *3	O2 (% saturation)
RC 1 *1	Toboggan	11	26,5 ± 2,1	34,96 ± 0,17	2,07 ± 0,35	0,45 ± 0,24	0,36 ± 0,19	0,14 ± 0,05	0,11 ± 0,06	0,60 ± 0,22	0,30 ± 0,10	138,2 ± 11,8
RC 1	Planch'Alizés	10	26,2 ± 2,1	34,98 ± 0,19	2,18 ± 0,53	0,44 ± 0,31	0,33 ± 0,18	0,14 ± 0,06	0,12 ± 0,07	0,55 ± 0,18	0,35 ± 0,20	135,2 ± 32,2
RC 2	Saint Leu	9	26,0 ± 2,0	34,95 ± 0,13	2,82 ± 0,79	0,51 ± 0,35	0,33 ± 0,15	0,15 ± 0,04	0,14 ± 0,05	0,60 ± 0,22	0,30 ± 0,15	119,8 ± 10,2
RC 4 *2	Saint Pierre	11 b	26,4 ± 2,2	34,83 ± 0,14	5,21 ± 1,44	1,17 ± 0,74	Données insuffisantes	0,23 ± 0,09	0,23 ± 0,10	0,23 ± 0,06	0,50 ± 0,20	113,6 ± 3,4

Tableau 25 : Principales caractéristiques des eaux récifales au cours des trois années d'étude (moyenne ± écart-type). *1 : de septembre 2002 à septembre 2004, *2 : de février 2005 à décembre 2005.

6 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

AMINOT A. (1983a). Caractérisation physicochimiques. In : Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Aminot A. et Chaussepied M. édés, CNEXO Brest, 37-92.

AMINOT A. (1983b). Eléments nutritifs minéraux dissous. In : Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Aminot A. et Chaussepied M. édés, CNEXO Brest, 93-150.

AMINOT A. (1983c). Mesure des matières en suspension. In : Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Aminot A. et Chaussepied M. édés, CNEXO Brest, 169-175.

AMINOT A. and KEROUEL R. (1998). Pasteurisation as an alternative method for preservation of nitrate and nitrite in sea waters samples. *Mar. Chem.*, 61, 203-208.

AMINOT A. and KEROUEL R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

BENDSCHNEIDER K. and ROBINSON R.J. (1952) A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in seawater. *J. Mar. Res.* 11 : 87-96.

CARPENTER J.H. (1965) The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.* 10 : 135-140.

CARRITT D.E. and CARPENTER J.H. (1966) Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea-water ; a NASCO Report. *J. Mar. Res.* 24 : 286-318.

CHIFFOLEAU J.F., QUOD J.P., CUET P., AND LIEUTAUD A., (2005). Le RNO à La Réunion, bilan de deux ans d'étude préliminaire. RNO 2005 – Surveillance du Milieu Marin. Tavaux du RNO. Edition 2005. Ifremer et Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. ISSN 1620-1124. 11-15.

CONAND F., MARSAC F., TESSIER E. AND CONAND C. (2006). Ten years of daily sea subsurface temperature at a coastal station in Reunion island, Indian Ocean (July 1993 – March 2004). 4th WIOMSA Symposium, Grand Baie, Mauritius : abstract, paper in prep.

CUET, P., ATKINSON, M.J., FUJIMURA, H., BLANCHOT, J., CORDIER, E., FROUIN, P., AND SUSUKI, Y., (2006). Estimates of dissolved nutrient uptake and release across a fringing reef of La Reunion. /ISRS European Meeting 2006, Brême, Allemagne : abstract.

CUET, P., BLANCHOT, J., GARNIER, R., TURQUET, J., TOUCHARD, M., ESBELIN, C., DELMAS, C., AND QUOD J.P., 2004 - Phytoplankton in coastal water off Reunion island : biomass and trophic significance for the Saint-Gilles La Saline coral reef. /10th Int. Coral Reef Symp., Okinawa, Japon (2004) : abstract.

GUILLAUME M., TURQUET J., AND BRUGGEMANN H., (2005). Le blanchissement des coraux à la Réunion en 2005. Rapport APMR, ARVAM, ECOMAR, MNHN pour le compte de la Diren Réunion. 31 pp.

JEFFREY S.W. and HUMPHREY G.F. (1975) New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in algae, phytoplankton and higher plants. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 167 : 191-194.

- JOHNSON M.J. (1949). Rapid micromethod for estimation of non volatile organic matter. *J. Biol. Chem.* 181 : 707-711.
- KOROLEFF F. (1969). Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. ICES, CM 1969/C : 9 Hydr. Comm.
- LE CORRE P. (1983). Dosage du carbone organique particulaire. In : Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Aminot A. et Chaussepied M. édés, CNEXO Brest, 203-208.
- LORENZEN C.J. (1966). A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.*, 13 : 223-227.
- MULLIN J.B. and RILEY J.P. (1955). The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta*, 12 : 162-170.
- MURPHY J. and RILEY J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27 : 31-36.
- NEVEUX J. (1983). Dosage de la chlorophylle a et des phéopigments par fluorimétrie. In : Manuel des analyses chimiques en milieu marin, Aminot A. et Chaussepied M. édés, CNEXO Brest, 193-201.
- STRICKLAND J.D.H. and PARSONS T.R. (1972). A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167 : 311 p.
- TADDEI, D. (2006). Transfert de matière et d'énergie dans les sédiments d'un complexe récifal anthropisé (île de la Réunion, Océan Indien). Thèse Univ. de la Réunion, 229 p.
- TREGUER P. et LE CORRE P. (1975). Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'Autoanalyseur II Technicon^R). Univ. Bretagne Occidentale : 110 p.
- UNESCO (1981). Tables Océanographiques Internationales, Volume 3. UNESCO Tech. *Pap. Mar. Sci.* 39.
- WOOD E.D., ARMSTRONG F.A.J. and RICHARDS F.A. (1967). Determination of nitrate in sea water by cadmium copper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 47 : 23-31.

ANNEXES

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des tableaux

Tableau 1 : Méthodes utilisées au cours de la première phase de l'étude, de septembre 2002 à septembre 2004. _____	8
Tableau 2 : Paramètres dont les méthodes ont été modifiées à partir de février 2005. _____	9
Tableau 3 : Salinités moyennes de surface (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (années 1 et 2 uniquement dans le cas de la Rivière de l'Est). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	14
Tableau 4 : Concentrations moyennes de surface en silicium (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (années 1 et 2 uniquement dans le cas de la Rivière de l'Est). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	18
Tableau 5 : Concentrations moyennes en silicium (\pm écart-type) au cours des deux premières années d'étude, aux profondeurs -35 m et -70 m confondues. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes). _____	21
Tableau 6 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Silicium – Salinité tracées pour les stations de surface. _____	21
Tableau 7 : Valeurs estimées de la teneur en silicium des eaux douces se mélangeant avec les eaux marines sur les différentes stations. Un trait unissant deux stations signifie que les eaux douces y présentent une concentration en silicium similaire. _____	23
Tableau 8 : Concentrations moyennes de surface en nitrates + nitrites (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _	24
Tableau 9 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Nitrates + nitrites – Salinité tracées pour les stations de surface. _____	28
Tableau 10 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Nitrates + nitrites – Silicium tracées pour les stations de surface. _____	29
Tableau 11 : Concentrations moyennes en phosphates (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	32
Tableau 12 : Concentrations moyennes de surface en phosphates (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	33
Tableau 13 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Phosphates – Salinité tracées pour les stations de surface. _____	35
Tableau 14 : Caractéristiques des droites de régression (modèle II) Phosphates – Silicium tracées pour les stations de surface. _____	37

Tableau 15 : Concentrations moyennes en ammonium (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	38
Tableau 16 : Concentrations moyennes en carbone organique particulaire (\pm écart-type) au cours des deux premières années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes. _____	44
Tableau 17 : Concentrations moyennes en chlorophylle a (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	47
Tableau 18 : Concentrations moyennes de surface en chlorophylle a (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _	48
Tableau 19 : Concentrations moyennes de surface en phéopigments (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude. Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _	52
Tableau 20 : Concentrations moyennes en phéopigments (\pm écart-type) au cours des trois années d'étude (toutes profondeurs confondues). Un trait unissant deux stations signifie que les moyennes n'y sont pas significativement différentes (campagnes 1 à 24). _____	53
Tableau 21 : Moyenne (\pm écart-type) des différents paramètres mesurés en 2005 à la Rivière des Pluies (n = 6) _____	56
Tableau 22 : Valeur moyenne du pourcentage de saturation en oxygène dissous (\pm écart-type) sur les quatre stations récifales au cours des années 2 et 3. _____	71
Tableau 23 : Principales caractéristiques des eaux récifales au cours des trois années d'étude (moyenne \pm écart-type), *1 : de septembre 2002 à septembre 2004, *2 : de février 2005 à décembre 2005, *3 : de novembre 2003 à décembre 2005. _____	89
Tableau 24 : Principales caractéristiques des eaux côtières au cours des trois années d'étude (moyenne \pm écart-type). *1 : de septembre 2002 à septembre 2004, *2 : de février 2005 à décembre 2005, *3 : de novembre 2003 à décembre 2005 _____	90
Tableau 25 : Principales caractéristiques des eaux récifales au cours des trois années d'étude (moyenne \pm écart-type). *1 : de septembre 2002 à septembre 2004, *2 : de février 2005 à décembre 2005. _____	91

Liste des figures

Figure 1 : Position des stations. (A) phase pilote de 2002 à 2004. (B) en 2005, les stations 3 et 11 ont été modifiées, la station 8 repositionnée dans le panache.	5
Figure 2 : Evolution temporelle de la température sur les stations côtières (1)	11
Figure 3 : Evolution temporelle de la température sur les stations côtières (2)	12
Figure 4 : Evolution temporelle de la salinité sur les stations côtières (1)	13
Figure 5 : Evolution temporelle de la salinité sur les stations côtières (2)	14
Figure 6 : Evolution temporelle du pourcentage de saturation en O ₂ dissous sur les stations côtières (1)	16
Figure 7 : Evolution temporelle du pourcentage de saturation en O ₂ dissous sur les stations côtières (2).	17
Figure 8 : Evolution temporelle des teneurs en silicium sur les stations côtières (1).	19
Figure 9 : Evolution temporelle des teneurs en silicium sur les stations côtières (2).	20
Figure 10 : Diagrammes de mélange Silicium - Salinité (1).	22
Figure 11 : Diagrammes de mélange Silicium - Salinité (2).	23
Figure 12 : Evolution temporelle des teneurs en nitrates + nitrites sur les stations côtières (1).	25
Figure 13 : Evolution temporelle des teneurs en nitrates + nitrites sur les stations côtières (2).	26
Figure 14 : Concentrations moyennes en nitrates + nitrites (\pm écart-type) à la profondeur de -70 m au cours des trois années d'étude.	26
Figure 15 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Salinité (1).	27
Figure 16 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Salinité (2).	28
Figure 17 : Tracé des trois droites de mélange Nitrates + nitrites – Salinité obtenues, après regroupement des stations Rivière de l'Est, Pointe de la Table et Rivière des Galets.	29
Figure 18 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Silicium (1).	30
Figure 19 : Diagrammes de mélange Nitrates + nitrites - Silicium (2).	31
Figure 20 : Tracé des quatre droites de mélange Nitrates + nitrites – Silicium obtenues, après regroupement des stations Rivière du Mât et Baie de la Possession, d'une part, et Rivière de l'Est et Rivière des Galets, d'autre part.	31
Figure 21 : Variations saisonnières de la concentration en phosphates dans les eaux de surface des stations du Sud et Sud-Est.	33

Figure 22 : Evolution temporelle des teneurs en phosphates sur les stations côtières (1). _	34
Figure 23 : Evolution temporelle des teneurs en phosphates sur les stations côtières (2). _	35
Figure 24 : Diagrammes de mélange Phosphates – Salinité et Phosphates – Silicium pour les trois stations Rivière du Mât, Rivière de l'Est et Pointe de la Table. ___	36
Figure 25 : Evolution temporelle des teneurs en ammonium sur les stations côtières (1). __	39
Figure 26 : Evolution temporelle des teneurs en ammonium sur les stations côtières (2). __	40
Figure 27 : Diagrammes de mélange Ammonium – Salinité et Ammonium – Silicium pour les deux stations Rivière du Mât et Rivière Saint Etienne. _____	40
Figure 28 : Evolution temporelle des turbidités sur les stations côtières (1). _____	42
Figure 29 : Evolution temporelle des turbidités sur les stations côtières (2). _____	43
Figure 30 : Evolution temporelle des teneurs en carbone organique particulaire sur les stations côtières (1). _____	45
Figure 31 : Evolution temporelle des teneurs en carbone organique particulaire sur les stations côtières (2). _____	46
Figure 32 : Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface de la Baie de la Possession. _____	48
Figure 33 : Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface de la côte Ouest. _____	49
Figure 34 : Variations saisonnières de la concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface des côtes Sud et Est. _____	49
Figure 35 : Evolution temporelle des teneurs en chlorophylle a sur les stations côtières (1). _____	50
Figure 36 : Evolution temporelle des teneurs en chlorophylle a sur les stations côtières (2). _____	51
Figure 37 : Tracé de la droite de régression (modèle II) phéopigments – chlorophylle a. Chaque point (n = 64) représente la moyenne obtenue pour une station et une profondeur données au cours d'une année de campagne. _____	52
Figure 38 : Evolution temporelle des teneurs en phéopigments sur les stations côtières (1). _____	54
Figure 39 : Evolution temporelle des teneurs en phéopigments sur les stations côtières (2). _____	55
Figure 40 : Evolution temporelle des différents paramètres mesurés à la Rivière des Pluies (1). _____	56
Figure 41 : Evolution temporelle des différents paramètres mesurés à la Rivière des Pluies (2). _____	57

Figure 42 : Diagrammes de mélange Silicium – Salinité et Nitrates + nitrites – Salinité à la Rivière des Pluies. _____	58
Figure 43 : Résultats de l'ACP intra-groupe (ADE 4 within group normalized PCA) réalisée sur les moyennes obtenues au cours des années 1, 2, et 3 respectivement, en surface (en jaune) et à -35 m (en bleu). Pour une station et une profondeur données, les trois moyennes annuelles (petits carrés) sont reliées par un trait au cercle qui représente les caractéristiques moyennes de la station à la profondeur considérée (barycentre des données). _____	60
Figure 44 : Résultats de l'ACP intra-groupe (ADE 4 within group normalized PCA) réalisée sur les moyennes de surface obtenues au cours des années 1, 2, et 3 respectivement. Pour une station donnée, les trois moyennes annuelles (petits carrés) sont reliées par un trait au barycentre qui représente la station (cercle vert). _____	61
Figure 45 : Résultats de l'ACP « classique » réalisée sur les moyennes obtenues par station et par profondeur au cours de l'année 1. _____	63
Figure 46 : Résultats de l'ACP « classique » réalisée sur les moyennes obtenues par station et par profondeur au cours de l'année 2. _____	64
Figure 47 : Evolution temporelle de la température sur les quatre stations récifales. _____	69
Figure 48 : Evolution temporelle de la salinité sur les quatre stations récifales. _____	70
Figure 49 : Evolution temporelle du pourcentage de saturation en oxygène dissous la température sur les quatre stations récifales. _____	71
Figure 50 : Evolution journalière de la teneur en oxygène dissous en saison chaude, sur cinq stations du récif frangeant de Saint-Gilles La Saline correspondant à un gradient de dégradation (données Mioche, 1996). _____	72
Figure 51 : Evolution temporelle de la teneur en silicium sur les quatre stations récifales. _____	73
Figure 52 : Diagramme de mélange Silicium - Salinité. _____	73
Figure 53 : Evolution temporelle de la teneur en nitrates + nitrites sur les quatre stations récifales. _____	75
Figure 54 : Diagramme de mélange Nitrates + Nitrites - Salinité. _____	76
Figure 55 : Diagramme de mélange Nitrates + Nitrites - Silicium. _____	76
Figure 56 : Flux de nitrates + nitrites observés sur le platier du Trou d'Eau en fonction de l'état de la marée (données Cuet et al., 2006). _____	77
Figure 57 : Evolution temporelle de la teneur en ammonium sur les quatre stations récifales. _____	77
Figure 58 : Diagramme de mélange Ammonium - Salinité. _____	78
Figure 59 : Diagramme de mélange Ammonium - Silicium. _____	78
Figure 60 : Evolution temporelle de la teneur en phosphates sur les quatre stations récifales. _____	79

Figure 61 : Diagramme de mélange Phosphates - Salinité _____	80
Figure 62 : Diagramme de mélange Phosphates - Silicium _____	80
Figure 63 : Analyse en composantes principales (ACP intra-groupes) résumant les caractéristiques de la colonne d'eau sur différentes stations du récif de Saint-Gilles La Saline. Les platiers récifaux sont représentés par des cercles verts, les arrière-récifs par des cercles jaunes. On note en particulier que les platiers récifaux sous influence océanique, notamment Toboggan (Tob, en haut à gauche sur la figure), se caractérisent par des teneurs en phosphates élevées. En revanche, le transit des eaux à l'intérieur du système récifal se traduit par leur appauvrissement en phosphates, particulièrement net sur le platier de Planch'Alizés (PA, en bas à gauche sur la figure), sauf sur une station affectée par des apports terrigènes (arrière-récif de Grand Trou d'Eau, GTE en haut à droite sur la figure). Cet appauvrissement en phosphates est associé à un enrichissement de la colonne d'eau en azote (Part. N) et carbone (Part. C) particulaires : il résulte donc du prélèvement des phosphates par les communautés récifales pour les besoins de la production primaire (données D. Taddéi, 2006). _____	81
Figure 64 : Evolution temporelle de la turbidité sur les quatre stations récifales _____	82
Figure 65 : Evolution temporelle de la teneur en carbone organique particulaire sur les quatre stations récifales _____	83
Figure 66 : Evolution temporelle de la teneur en chlorophylle a sur les quatre stations récifales _____	84
Figure 67 : Evolution temporelle de la teneur en phéopigments sur les quatre stations récifales _____	84
Figure 68 : Abondance des Prochlorococcus sur les différentes stations récifales au cours de l'année 2002-2003 (PA : Planch'Alizés, TOB : Toboggan, SL : Saint Leu) et comparaison avec les eaux océaniques (OW : station 7, Passe de l'Hermitage). Du fait du broutage, les Prochlorococcus sont nettement moins abondants sur les stations récifales que dans le milieu océanique ($p < 0,0001$). Les groupes de valeurs homogènes sont représentés par les rectangles oranges (au seuil $p = 0,05$) : le nombre de cellules encore présentes dans les eaux récifales est moins élevé à Planch'Alizés qu'à Saint Leu (d'après Cuet et al., 2004). _____	85
Figure 69 : Analyse en composantes principales résumant les caractéristiques de la colonne d'eau sur les différentes stations récifales (TOB : Tobogan, PA : Planch'Alizés, SL : Saint Leu, SP : Saint-Pierre), ainsi que dans les eaux océaniques superficielles (Herm. : Station 7, Passe de l'Hermitage). Le code de la station est suivi d'un numéro correspondant à l'année d'échantillonnage. _____	87