

Laboratoire Environnement Ressources de Normandie

Ronan LE GOFF, Loïc NOGUES, Luis LAMPERT et Philippe RIOU Claude

Claude ETOURNEAU, Frank MAHEUX, Olivier PIERRE DUPLESSIX, Vincent JUSTOME, Franck JACQUELINE, Liliane FIANT, Sylvaine FRANCOISE, Florence NEDELEC, Fabienne RAUFLET, Hervé du Boullay, Laure LAMORT, Bruno FONTAINE, Emilie RABILLER, Soazig MANACH, et Jérôme LETELLIER

Rapport Ifremer RST. LERN - 07.14

Réseau Hydrologique Littoral Normand RHLN RAPPORT 2007 Volume 1.

- cycles hydrobiologiques annuels (2001-2006) et évaluation des niveaux de dystrophie des masses d'eau normandes
- présentation du réseau hydrologique pérenne de suivi de la qualité des masses d'eau pour le plan 2008-2013



**eau
seine
NORMANDIE**

Agence de l'eau

Décembre 2007

Fiche documentaire

<p>Numéro d'identification du rapport : RST.LERN/07 - 14 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> Validé par : Ronan Le Goff Adresse électronique : rlegoff@ifremer.fr Adresse Web : www.ifremer.fr/lern/</p>	<p>Date de publication : Novembre 2007 Nombre de pages : 127 + Annexes Bibliographie: oui Illustration(s) : figures et tableaux Langue du rapport : français</p>
<p>Titre et sous-titre du rapport :</p> <p>Réseau Hydrologique Littoral Normand (RHLN) : Rapport 2007 Cycles hydrobiologiques annuels 2001-2006 et évaluation des niveaux de dystrophie des masses d'eau normandes ; présentation du réseau hydrologique pérenne de suivi de la qualité des masses d'eau pour le plan 2008-2013</p>	
<p>Rapport intermédiaire Rapport définitif : oui</p>	
<p>Auteur(s) principal(aux) : R. Le Goff, L. Nogues, L. Lampert et P. Riou</p> <p>ainsi que Cl. Etourneau, F. Maheux, Olivier Pierre-Duplessix, Vincent Justome, F. Jacqueline, L. Fiant, S. Françoise, F. Nédélec, F. Rauflet, H. du Boullay, L. Lamort, B. Fontaine, E. Rabiller, S. Manach, et J. Letellier.</p> <p>Coordination de la rédaction : R. Le Goff et L. Nogues Composition/traitement de données/mise en page : L. Nogues</p>	<p>Organisme / Direction / laboratoire IFREMER/LERN</p> <p>IFREMER/LERN et SAF/PB</p> <p>IFREMER/LERN</p>
<p>Collaborateur(s) : Référés/relecture : Luis Lampert</p>	<p>Organisme / Direction / laboratoire IFREMER/LERN</p>
<p>Cadre de la recherche : RESEAU RHLN année 2005 Contrat AESN/DEPEE délégation du Littoral</p> <p>Programme : PJB surveillance Convention : OUI</p> <p>Projet : PJB070303 réseaux locaux, régionaux Partenariats : Préfecture Maritime de la Manche et de la Mer du Nord et LASEM ; SMEL du Conseil Général de la Manche</p>	

Résumé :

Le Réseau Hydrologique Littoral Normand (RHLN) a été créé en septembre/octobre 2000 avec le double objectif de (1) permettre une évaluation du niveau trophique des masses d'eau littorales normandes et (2) de définir le réseau de suivi hydrologique pérenne permettant de satisfaire aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) à partir de 2007/2008.

Ce rapport 2007 réalise la synthèse des résultats obtenus entre 2000-2001 et 2006. Il représente le premier volume de la synthèse globale 2007. Un second volume présente les résultats obtenus dans chacune des masses d'eau sous forme de fiches, fiches qui sont également rendues accessibles via le WEB à l'adresse <http://www.ifremer.fr/LERN> rubrique Atlas, ou <http://www.ifremer.fr/littoralbasnormand> . Le dernier volume traite spécifiquement du phytoplancton, en synthétisant l'ensemble des données acquises dans le cadre du RHLN sur les 6 dernières années, ainsi qu'en prenant en compte les données similaires obtenues dans le cadre des projets IGA (données EDF) et COGEMA (données AREVA).

Le présent rapport 2007 traite, dans sa première partie des variations saisonnières et inter annuelles des cycles hydrobiologiques au sein des différentes masses d'eau normandes.

La deuxième partie évalue le niveau trophique (ou plus précisément de dystrophie) des masses d'eaux normandes au moyen des indicateurs retenus dans le cadre de la DCE.

L'existence d'un gradient d'eutrophisation le long des côtes normandes, depuis les masses d'eau de l'Ouest Cotentin classées en bon ou très bon état, jusqu'à la zone de l'estuaire de Seine classée en état « moyen » à « médiocre », est à nouveau confirmé par les données acquises en 2006. Les phénomènes de dystrophie sont néanmoins, comme en 2005, moins marqués que ceux constatés en 2001 ou 2002.

La dernière partie présente le format du RHLN pérenne, à mener sur le plan 2008-2013 afin de répondre aux exigences de la DCE en Normandie et de contribuer à l'évaluation de l'efficacité des politiques d'assainissement et de réduction des flux de nutriments menées sur les bassins versants du district Seine Normandie.

Mots-clés : Ecosystème côtier, hydrologie, hydrobiologie, Normandie, baie de Seine, eutrophisation, grille d'évaluation de l'eutrophisation, DCE, réseau hydrologique, RHLN.

Le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LERN) de l'Ifremer assure la maîtrise d'ouvrage et la conduite opérationnelle du RHLN, en bénéficiant du soutien financier de l'Agence de l'Eau Seine Normandie (délégation du littoral/DEPEE).

La Préfecture Maritime de la Manche et de la Mer du Nord contribue également à ce réseau de par le soutien technique et opérationnel apporté par son laboratoire LASEM ainsi que son N/O Coralline.

Le SMEL du Conseil Général de la Manche réalise également des prélèvements et des analyses.

Enfin, le Département Dyneco de l'Ifremer (Brest) apporte son soutien scientifique, et notamment Anne Daniel, Alain Ménesguen, Philippe Cugier, Franck Dumas, Francis Gohin, Alain Aminot et Roger Kerouel.

Les auteurs souhaitent adresser leurs sincères remerciements à tous les contributeurs du RHLN.



Sommaire

<i>Sommaire</i>	6
<i>Liste des figures</i>	9
<i>Liste des Tableaux</i>	12
<i>Introduction</i>	13
<i>Introduction</i>	13
1. Matériel et méthodes	15
1.1. Les points de prélèvement	15
1.2. Paramètres et méthodes analytiques	17
1.2.1. Température, salinité, oxygène dissous.....	17
1.2.2. Sels nutritifs	17
1.2.3. Chlorophylle a et phéophytine	17
1.2.4. Flores phytoplanctoniques	17
1.3. Période et fréquence de prélèvement	18
1.4. Interprétation des résultats d'analyse sur les cycles biogéochimiques, les limitations potentielles par les nutriments et les peuplements phytoplanctoniques.	18
1.5. Modélisations courantologiques : trajectoires de particules et panaches de dilution	20
1.5.1. Trajectoires de particules	20
1.5.2. Panaches de dilution des fleuves côtiers	21
1.6. Utilisation d'images satellite : étude de l'homogénéité des masses d'eau	21
2. Caractéristiques hydrologiques, cycles biogéochimiques et peuplements phytoplanctoniques au sein des masses d'eau littorales normandes	23
2.1. Facteurs météorologiques	23
2.1.1. Précipitations.....	23
2.1.2. Températures.....	24
2.1.3. Débits	26
2.2. Masse d'eau HC01 (Chausey)	28
2.3. Masse d'eau HC02 (Hacqueville)	30
2.4. Masse d'eau HC03 (Donville à Denneville)	32
2.4.1. Donville.....	32
2.4.2. Coudeville	34
2.4.3. Agon.....	35
2.4.4. Pirou.....	36
2.4.5. Denneville	37
2.5. Masse d'eau HC04 (Jobourg et Barneville)	40
2.6. Masse d'eau HC05 (Gruchy)	44
2.7. Masse d'eau HC60 et HC61 (Cherbourg et Digue de Querqueville)	46
2.7.1. Cherbourg (HC60)	46
2.7.2. Digue de Querqueville (HC61)	47
2.7.3. Limitations potentielles	48



2.8.	Masse d'eau HC07 (Cap Lévy)	49
2.9.	Masse d'eau HC08 (Réville)	51
2.10.	Masse d'eau HC09 (La Hougue et les Gougins)	53
2.10.1.	La Hougue.....	53
2.10.2.	Les Gougins	54
2.10.3.	Limitations potentielles par les sels nutritifs	55
2.11.	Masse d'eau HC10 (Grandcamp, St Germain de Varreville et Utah Beach)	56
2.11.1.	Grandcamp	56
2.11.2.	St Germain de Varreville	57
2.11.3.	Utah Beach.....	58
2.11.4.	Limitations potentielles par les sels nutritifs	58
2.12.	Masse d'eau HT6 (Géfosse)	60
2.13.	Masse d'eau HC11 (Port en Bessin)	62
2.14.	Masse d'eau HC12 (Meuvaines)	64
2.15.	Masse d'eau HC13 (Les Essarts)	66
2.16.	Masse d'eau HC14 (Luc sur mer et Ouistreham)	68
2.16.1.	Luc-sur-mer.....	68
2.16.2.	Ouistreham.....	68
2.16.3.	Limitations potentielles par les sels nutritifs	70
2.17.	Masse d'eau HC15 (Cabourg)	72
2.18.	Masse d'eau HT3 (Carosse)	75
2.19.	Masse d'eau HC16 (Antifer)	78
2.20.	Masse d'eau HC17 (Fécamp et St Aubin-sur-mer)	81
2.20.1.	Fécamp.....	81
2.20.2.	St Aubin-sur-mer.....	81
2.20.3.	Limitations potentielles par les sels nutritifs	81
2.21.	Masse d'eau HC18 (Dieppe)	85
2.22.	Conclusion sur les cycles biogéochimiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes. ...	87
3.	Évaluation de la qualité des masses d'eau au moyen des indicateurs DCE « Phytoplankton ».	92
3.1.	Évaluation de la qualité des eaux normandes au moyen de l'indicateur chlorophylle <i>a</i>	94
3.2.	Évaluation de la qualité des eaux normandes au moyen de l'indicateur oxygène dissous au fond...	96
3.3.	Indicateur "indice d'abondance".....	98
3.4.	Indicateur "indice de composition".	100
3.5.	Synthèse des indicateurs et évaluation de la qualité globale des masses d'eau normandes.....	101
4.	Réflexion sur les fréquences de prélèvement	104
4.1.	Étude de l'incidence des fréquences de prélèvement sur le calcul des indices d'abondance et de composition.	104
4.2.	Évaluation de l'incidence des fréquences de prélèvement sur les indicateurs Oxygène dissous et biomasse chlorophyllienne.	107



5. Réflexion sur l'apport possible des données satellites	112
5.1.1. Méthodologie	112
5.1.2. Résultats	112
6. Définition du RHLN sur le plan 2008-2013.....	115
6.1. Rappel du contexte et objectifs généraux du Réseau.....	115
6.2. Masses d'eau, types de suivis, données et fréquences.....	115
6.2.1. Types de contrôles selon les masses d'eau.....	115
6.2.2. Fréquences des prélèvements et paramètres suivis	119
6.2.3. Organisation et collaborations.....	120
6.3. Rendu des résultats.....	121
7. Discussion et conclusion	123
Bibliographie.....	127
Annexes	129



Liste des figures

Figure 1 : Localisation des points de prélèvement du RHLN en 2006.....	15
Figure 2 : Évolution de l'abondance des principaux taxons. Exemple de Cabourg	20
Figure 3 : Évolution des biomasses chlorophylliennes moyennées par quinzaine entre 1997 et 2006. Exemple de la masse d'eau HC09.	21
Figure 4 : Ecart entre les pluviométries annuelles enregistrées à Dieppe (Seine Maritime) et la moyenne sur la période 1950-2006 (données météo France).	23
Figure 5 : Ecart entre les pluviométries annuelles enregistrées à Englesqueville-la-Percée (Calvados) et la moyenne sur la période 1982-2006 (données météo France).	23
Figure 6 : Évolution des précipitations moyennes mensuelles sur Dieppe (1967-2005) et sur Englesqueville-la-Percée (1982-2005). Comparaison avec les précipitations mensuelles de 2006.....	24
Figure 7 : Précipitations annuelles enregistrées en 2006 sur différentes stations météorologiques de Normandie (données Météo France).....	24
Figure 8 : Ecart entre les températures moyennes annuelles à Dieppe et la moyenne sur la période 1950-2006 (données Météo France).....	25
Figure 9 : Moyennes mensuelles des températures de l'air à Dieppe. Comparaison des données 2006 avec les moyennes sur la période 1972-2005 (données Météo France).	25
Figure 10 : Évolution des températures journalières de l'eau de mer enregistrées au canal d'amenée de la centrale EDF de Paluel (Seine Maritime) depuis 1991. Comparaison entre les valeurs mesurées en 2006 (en vert) et les valeurs moyennes (courbe noire) ainsi qu'extrêmes (courbes bleue et rouge) obtenues sur la période 1991-2006 (données EDF).	26
Figure 11 : Évolution de la température de l'eau de mer de 2001 à 2006 sur le point RHLN de Donville (Côte Ouest du Cotentin).	26
Figure 12 : Évolution des débits journaliers des différents fleuves normands en 2005 et 2006	27
Figure 13 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Chausey. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).....	28
Figure 14 : Évolution des paramètres hydrologiques à Chausey entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	29
Figure 15 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Hacqueville. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).....	30
Figure 16 : Évolution des paramètres hydrologiques à Hacqueville entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	31
Figure 17 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Donville. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).....	32
Figure 18 : Évolution des paramètres hydrologiques à Donville entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	33
Figure 19 : Évolution des paramètres hydrologiques à Coudeville en 2006.....	34
Figure 20 : Évolution des paramètres hydrologiques à Agon entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●) pour la température et la salinité.	35
Figure 21 : Évolution des paramètres hydrologiques à Pirou entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	36
Figure 22 : Évolution des paramètres hydrologiques à Denneville en 2006.....	37
Figure 23 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Donville.....	38



Figure 24 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Barneville (à gauche) et Jobourg (à droite). Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).....	40
Figure 25 : Évolution des paramètres hydrologiques à Barneville entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	41
Figure 26 : Évolution des paramètres hydrologiques à Jobourg entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	42
Figure 27 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Barneville.	43
Figure 28 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Jobourg.....	43
Figure 29 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Gruchy.	44
Figure 30 : Évolution des paramètres hydrologiques à Gruchy en 2004 et 2005.....	45
Figure 31 : Évolution des paramètres hydrologiques à Cherbourg entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	46
Figure 32 : Évolution des paramètres hydrologiques sur la digue de Querqueville en 2005 et 2006.....	47
Figure 33 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Cherbourg. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).....	48
Figure 34 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Cap Lévy.	49
Figure 35 : Évolution des paramètres hydrologiques au Cap Lévy entre 2004 et 2006.	50
Figure 36 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Réville.....	51
Figure 37 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Réville entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	52
Figure 38 : Évolution des paramètres hydrologiques sur La Hougue entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).....	53
Figure 39 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Les Gougins en 2006.	54
Figure 40 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point La Hougue.....	55
Figure 41 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Grandcamp entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	56
Figure 42 : Évolution des paramètres hydrologiques sur St Germain de Varreville entre 2001 et 2005. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005.....	57
Figure 43 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Utah Beach en 2006.	58
Figure 44 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Grandcamp.....	59
Figure 45 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Géfosse.....	60
Figure 46 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Géfosse entre 2002 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2002-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	61
Figure 47 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Géfosse.....	60
Figure 48 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Port en Bessin.	62
Figure 49 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Port en Bessin entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	63
Figure 50 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Meuvaines.	64
Figure 51 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Meuvaines entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	65
Figure 52 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point des Essarts.....	66
Figure 53 : Évolution des paramètres hydrologiques sur les Essarts entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	67

Figure 54 : Évolution des paramètres hydrologiques à Luc-sur-mer entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	69
Figure 55 : Évolution des paramètres hydrologiques à Ouistreham entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	70
Figure 56 : Évolution des rapports DIN/P sur les points de Luc sur mer (à gauche) et Ouistreham (à droite).	71
Figure 57 : Évolution des rapports Si/DIN sur les points de Luc sur mer (à gauche) et Ouistreham (à droite).	71
Figure 58 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Cabourg.....	72
Figure 59 : Évolution des paramètres hydrologiques à Cabourg entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	73
Figure 60 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Cabourg.....	74
Figure 61 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Carosse.	75
Figure 62 : Évolution des flux de phosphate depuis 30 ans en aval de Rouen (données cellule antipollution de la Seine).	76
Figure 63 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Carosse de 2002 à 2004.....	77
Figure 64 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Antifer.	78
Figure 65 : Évolution des paramètres hydrologiques à Antifer entre 2002 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2002-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).	79
Figure 66 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Antifer.	80
Figure 67 : Évolution du rapport DIN/P sur Fécamp (à gauche) et à St Aubin-sur-mer (à droite).....	81
Figure 68 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Fécamp en 2006.....	83
Figure 69 : Évolution des paramètres hydrologiques sur St Aubin-sur-mer en 2004 et 2005.....	84
Figure 70 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Dieppe.	85
Figure 71 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Dieppe en 2004 et 2005.	86
Figure 72 : représentation schématique d'un cycle hydrobiologique classique des eaux marines tempérées. La biomasse phytoplanctonique apparaît en vert, l'ensoleillement en jaune, la température de l'eau en bleu et la concentration en sels nutritifs en rouge.	87
Figure 73 : Profils stratifiés de température et de salinité, enregistrés sur Cabourg les 11 juin, 26 juin et 13 août 2001, donnés à titre d'exemple. (en abscisse, les salinités ou les températures, et en ordonnée les profondeurs)	95
Figure 74 : Représentation du potentiel de stratification H/U^3 des eaux côtières normandes (H = profondeur de la colonne d'eau et U = vitesse instantanée maximale du courant) d'après Simpson et Hunter (1974). Carte obtenue à l'aide du modèle hydrodynamique Normandie-Manche à mailles de 300 m (P. Lazure, Ifremer DEL/AO). Rouge = potentiel élevé ; bleu = potentiel très faible.	95
Figure 75 : Ensemble des valeurs d'oxygène dissous acquises au fond sur le point Cabourg dans le cadre du RHLN entre 2001 et 2006.	97
Figure 76 : synthèse des indicateurs DCE sur les masses d'eau normandes entre 2001 et 2006.....	103
Figure 77 : Ecart des valeurs de l'indice d'abondance des cas B et C par rapport à ceux du cas A.....	105
Figure 78 : Ecart des valeurs de l'indice de composition des cas B et C par rapport à ceux du cas A	107
Figure 79 : Constitution de nouveaux jeux de données mensuelles	108
Figure 80 : Évolution du percentile 10 de l'oxygène dissous au fond suivant les 4 méthodes de calcul. Exemple du point Cabourg.....	108
Figure 81 : Évolution des percentiles 90 de la chlorophylle, calculés suivant les 4 méthodes, sur les points non sensibles à un changement de fréquence. Exemple de Pirou et Réville.	109

Figure 82 : Évolution des percentiles 90 de la chlorophylle, calculés suivant les 4 méthodes, sur les points sensibles à un changement de fréquence.	110
Figure 83 : Localisation des points de suivi du RHLN à partir de 2008, et types de suivi.....	118

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Synthèse des paramètres descripteurs des cycles biogéochimiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes.....	89
Tableau 2 : Grille des indicateurs phytoplancton (fixés par la circulaire MEDD du 5 mars 2007 ou retenus dans le cadre du présent rapport).....	92
Tableau 3 : Détermination des valeurs de l'indicateur chlorophylle a par point de suivi et par masse d'eau. (données RHLN, Réphy et COGEMA),	94
Tableau 4 : percentiles 10 de l'oxygène dissous et classes de qualité DCE sur les points de suivi du RHLN (et des projets Réphy et COGEMA), ainsi que sur les masses d'eau DCE de Normandie.	96
Tableau 5 : Indices d'abondance des points de suivi RHLN et des masses d'eau DCE de Normandie.....	98
Tableau 6 : Indices d'abondance obtenus sur l'ensemble des points de suivi et des masses d'eau de Normandie pour lesquels nous disposons d'au moins 3 années de données.....	99
Tableau 7 : Indices de composition déterminés par point de suivi (par année puis globalement), ainsi que par masses d'eau sur la période 2001-2006 en Normandie.....	100
Tableau 8 : Indices de composition déterminés par point de suivi et par masses d'eau sur tous les points ayant été suivis pendant au moins 3 ans sur la période 2001-2006 en Normandie.....	101
Tableau 9 : Synthèse des indicateurs DCE sur les masses d'eau normandes entre 2001 et 2006.....	102
Tableau 10 : Indices d'abondance calculés pour les trois cas étudiés.....	105
Tableau 11 : Indices de composition calculés pour les trois cas étudiés	106
Tableau 12 : Comparaison des percentiles 90 "satellite" et "in situ"	113
Tableau 13 : Masses d'eau suivies, types de suivi et nombre de prélèvements annuels du RHLN.	117
Tableau 14 : Masses d'eau, points de suivi, organisation des tournées, collaborations/partenariats et fréquences des prélèvements du RHLN 2008 - 2013.	121
Tableau 15 : état des masses d'eau qui seront suivies dans le cadre du RHLN 2008-2013.....	123



Introduction

Le Réseau Hydrologique Littoral Normand (RHLN) a été créé en septembre/octobre 2000 pour :

- suivre la qualité des masses d'eau littorales normandes, et notamment évaluer leur niveau trophique, leur degré d'eutrophisation,
- définir le réseau de suivi hydrologique pérenne permettant de satisfaire aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) qui sera à mettre en œuvre dans l'ensemble des Etats membres à partir de 2007/2008.

Le présent rapport est le cinquième depuis la mise en place du RHLN. Il constitue la synthèse finale des données et connaissances acquises lors du premier plan de suivi, de 2000 à 2006.

Il fait suite à un premier rapport qui présentait les résultats obtenus au cours de la toute première phase de suivi, d'octobre 2000 à septembre 2001, publié en 2002 par A. Daniel et R. le Goff sous le titre "Evaluation de l'état d'eutrophisation des eaux côtières et estuariennes de Basse Normandie". Ce premier travail, pilote, et ne portant que sur une année de suivi, avait permis de mettre en évidence l'existence de dystrophies dans la partie orientale de la baie de Seine, et avait proposé une toute première ébauche de grille d'évaluation des niveaux d'eutrophisation.

Une seconde synthèse, portant sur l'ensemble des résultats acquis entre 2001 et 2003 a été réalisée en 2004 par A. Daniel. Ce travail, plus conséquent, a permis de décrire et de comparer les cycles hydrobiologiques dans les différentes masses d'eau DCE normandes en observant à la fois les variations saisonnières et inter annuelles, les successions phytoplanctoniques, les concentrations ou valeurs moyennes, minimales ou maximales des principaux paramètres descripteurs des masses d'eau..., et de développer et de tester de nouveaux indicateurs d'eutrophisation pour ne retenir que les plus pertinents localement.

La troisième synthèse (Le Goff R., Riou P., Daniel A. et al, 2005) a poursuivi la description des cycles hydrobiologiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes, en prenant en compte les résultats du suivi réalisé en 2004, et a réévalué les niveaux d'eutrophisation au moyen des indicateurs définis en 2004 (Daniel, 2004), et retenus mi 2005 par le comité *ad hoc* phytoplancton/DCE. L'évaluation de la représentativité des points de prélèvement retenus au sein de chacune des masses d'eau suivies a été réalisée au moyen de modèles hydrodynamiques, et d'images satellite de type « couleur de l'eau » (évaluation des teneurs en chlorophylle a). Le repositionnement de certains points a alors été proposé.

La quatrième synthèse (Le Goff R. et Riou P., 2006) a repris la description des cycles hydrobiologiques dans les masses d'eau suivies, évalué la qualité au moyen des indicateurs retenus fin 2006, et comparé les résultats ainsi obtenus en 2005 avec ceux des années précédentes. Une première proposition de réseau pérenne, à mener sur 2007 dans un premier temps afin d'en évaluer la faisabilité et la pertinence, a été formulée.

Le rapport 2007 comprend 3 volumes.

Le présent volume reprend les principales connaissances acquises entre 2000/2001 et 2005, et compare les cycles biogéochimiques de l'année 2006 avec les cycles précédemment observés. Il évalue les niveaux trophiques des masses d'eau normandes à partir des indicateurs de qualité retenus par la DCE. Il définit, enfin, le réseau pérenne à mener sur le plan 2008-2013 (masses d'eau à suivre, fréquences de prélèvement, paramètres...). Ce RHLN pérenne respectera les exigences de la DCE et celles d'OSPAR, et contribuera également à améliorer nos connaissances sur les peuplements phytoplanctoniques, les teneurs en sels nutritifs et leurs évolutions, ainsi qu'à évaluer l'efficacité des politiques d'assainissement ou de réduction des flux de nutriments menées à l'échelle du District Seine Normandie.

Le deuxième volume synthétise l'ensemble des acquis obtenus sous forme de fiches, masse d'eau par masse d'eau. Ces fiches seront réactualisables chaque année, et sont également consultables sur les deux sites WEB du LERN aux adresses suivantes :

<http://ifremer.fr/lern> rubrique Atlas, ou <http://ifremer.fr/littoralbasnormand>

Le troisième volume traite spécifiquement du phytoplancton. Il synthétise l'ensemble des données acquises entre 2001 et 2006 dans le cadre des phases préparatoires du RHLN (qui intègre également les données du Réphy – réseau phytoplancton et phycotoxines de l'Ifremer), et des programmes IGA (données EDF) et COGEMA (données AREVA). Il fournit l'état des lieux actuel sur les abondances cellulaires, les espèces toxiques ou nuisibles, les classements au moyen des indicateurs DCE et élabore une série de recommandations de façon à améliorer la pertinence des suivis, notamment en matière de fréquence de suivi afin d'être à même, à l'avenir, de déceler d'éventuelles changements au sein des peuplements phytoplanctoniques.



1. Matériel et méthodes

1.1. Les points de prélèvement

Le nombre de points de prélèvement du RHLN a évolué au cours du plan 2000 – 2006. D'un suivi sur 12 points initié en 2000, le réseau est passé progressivement à un suivi sur 30 points de façon à mieux appréhender les cycles biogéochimiques des masses d'eaux côtières DCE du littoral normand (Figure 1), et ainsi de pouvoir dimensionner le réseau pérenne, en supprimant un certain nombre de points éventuellement redondants à partir de 2007.

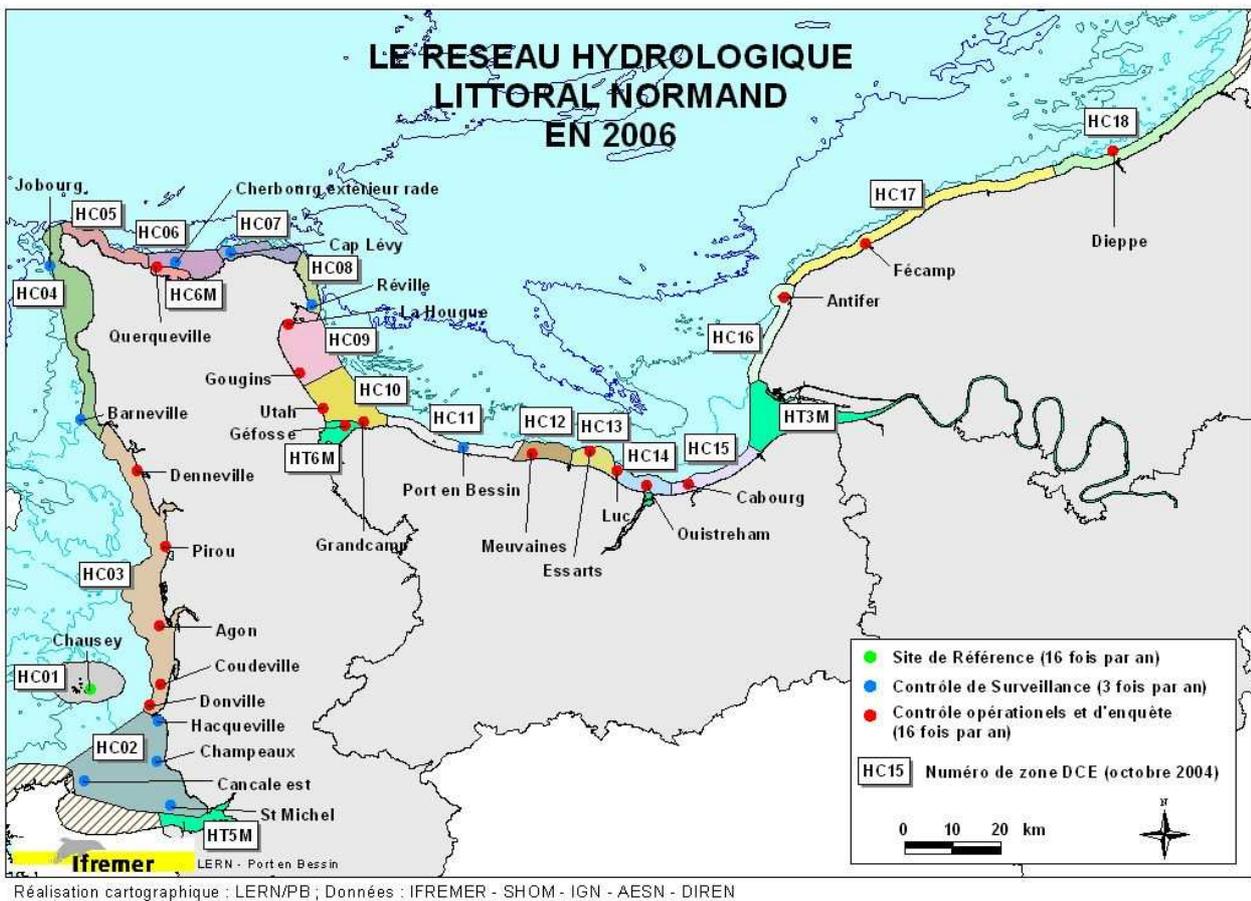


Figure 1 : Localisation des points de prélèvement du RHLN en 2006.

Toutes les masses d'eau côtières ont donc, pour la seconde année consécutive, été suivies en 2006, à l'exception de la masse d'eau HC05 (Ouest du Nord Cotentin) qui, d'un point de vue hydrologique (Le Goff R., Riou P., Daniel A. et Al, 2005) s'est révélée tout à fait comparable à la masse d'eau HC60.

Les masses d'eau HC01, HC02, HC04, HC60, HC07, HC08, HC11, ont été retenues pour faire l'objet d'un contrôle de surveillance car jugées représentatives des différents types de masses d'eau côtières et de transition du district hydrographique.

Ne disposant pas, à l'époque où le réseau 2006 a été défini, de recommandation quant aux fréquences à adopter pour le contrôle de surveillance¹, les masses d'eau précitées ont été échantillonnées 3 fois dans l'année, avec un prélèvement en mars (avant le déclenchement de la période productive), un en juin, en pleine période d'efflorescence phytoplanctonique (bloom), et le dernier en septembre (en fin de bloom estival).

Les masses d'eau littorales HC03, HC09, HT6, HC10, HC12, HC13, HC14, HC15 et HC16 ayant été classées RNABE (Risque de Non Atteinte du Bon Etat écologique), elles doivent faire l'objet d'un contrôle opérationnel. Dans le cadre du réseau 2006, elles ont donc été suivies tous les 15 jours, tout au long de leur période productive (i.e. de mars à octobre, avec un prélèvement supplémentaire juste avant le déclenchement de leur période productive de façon à pouvoir suivre l'éventuelle évolution de leurs stocks hivernaux en sels nutritifs). La masse d'eau HC61, créée en 2005, n'avait pas été suivie jusqu'à présent. Ne disposant pas de donnée la concernant, elle n'a pu être classée RNABE ou non RNABE et a donc fait l'objet d'un "contrôle d'enquête", contrôle en tout point comparable à un contrôle opérationnel, mais mené sur 3 années seulement dans un premier temps, de façon à acquérir de la donnée, et ainsi pouvoir statuer sur son état, et donc sur le suivi dont elle doit faire l'objet.

Deux autres masses d'eau ont également nécessité des contrôles particuliers :

- la masse d'eau HC03, qui est très étendue, présente des ruptures courantologiques : deux points supplémentaires ont donc été rajoutés, et positionnés à "Coudeville" dans le Sud de la masse d'eau, et à "Denneville" dans le Nord,
- la masse d'eau HC17 est également très étendue, avec, d'après les images satellites dont nous disposons, une partie Sud-Ouest présentant des biomasses chlorophylliennes beaucoup plus élevées que sa partie Nord-Est où se trouve le point de suivi actuel de Paluel. Un point de suivi a donc été rajouté dans sa partie Sud-Ouest, à "Fécamp", et un contrôle d'enquête y sera réalisé pendant 3 années afin de statuer sur l'état écologique du Sud de cette masse d'eau. En fonction des résultats obtenus, il est envisageable, soit d'appliquer un contrôle de surveillance ou un contrôle régional à l'ensemble de cette masse d'eau, soit, éventuellement, de réaliser une scission de cette masse d'eau si son hétérogénéité pressentie venait à être confirmée.

En ce qui concerne les masses d'eau de transition, le suivi réalisé en 2004 dans la partie canal de la HT4 (Orne aval) a confirmé que les suivis à réaliser dans les eaux douces ou très fortement dessalées doivent être adaptés, et qu'ils ne peuvent être identiques à ceux menés dans les masses d'eau littorales. Ainsi, les suivis à réaliser dans les masses d'eau HT1, HT2, HT4 devront être menés dans le cadre du RNB eaux douces.

Par contre, les masses d'eau HT3, HT6 et HT5, qui présentent des salinités à pleine mer comprises entre 20 et 35, et des peuplements microphytoplanctoniques de type "marin", ont été suivies dans le cadre du RHLN 2006. HT5 a fait l'objet d'un contrôle de surveillance, alors que HT3 et HT6 ont fait l'objet d'un contrôle opérationnel, respectivement sur les points "Carosse", et "Géfosse".

¹ Ces fréquences n'ont été arrêtées que par la circulaire DCE 2007/20 relative à la "constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance pour les eaux littorales en application de la DCE" datée du 5 mars 2007.

1.2. Paramètres et méthodes analytiques

En 2006, comme en 2004 et 2005, les paramètres suivis dans le cadre du RHLN étaient les suivants :

- en sub-surface (-1m) : la température, la salinité, la turbidité, la chlorophylle a et les phéopigments, les sels nutritifs, et les flores phytoplanctoniques
- au fond (à 1m du fond) : la profondeur et l'oxygène dissous.

1.2.1. Température, salinité, oxygène dissous

Les mesures de température, de salinité et d'oxygène dissous sont effectuées *in situ* au moyen de sondes multiparamètres 6600 M YSI. Les « précisions » (EMT²) sont respectivement de 0,15°C, 0,1 PSS et 2 %. La précision sur la profondeur est de 0,3 m.

1.2.2. Sels nutritifs

Les échantillons de sels nutritifs sont pré-filtrés sur une membrane de 100 µm lors du prélèvement. Les échantillons d'ammonium sont immédiatement fixés. Ils sont ensuite conservés à l'abri de la lumière jusqu'à leur dosage au laboratoire. Ils sont analysés selon la méthode spectrophotométrique de Koroleff (1970). La précision de la mesure est de 0,05 µM. Les échantillons pour les analyses de nitrate+nitrite et de phosphate sont conservés dans des flacons en polypropylène au congélateur (pendant 2 mois au maximum) et ceux pour les analyses de silicate au réfrigérateur (pendant un mois au maximum). Les échantillons sont analysés sur AutoAnalyser Technicon III selon la méthode décrite par Tréguer et Le Corre (1975). La précision est de 0,1 µM pour les concentrations en nitrate+nitrite, de 0,05 µM pour les concentrations en silicate et de 0,01 µM pour les concentrations en phosphate.

1.2.3. Chlorophylle a et phéophytine

Dès le retour au laboratoire, les échantillons sont filtrés sur filtre Whatman GF/F. Les filtres sont conservés au congélateur dans des tubes en polypropylène jusqu'à l'analyse (au maximum un mois plus tard). Ils sont analysés selon la méthode spectrophotométrique de Lorenzen (1967). La précision est de ± 5 % pour la chlorophylle a et de ± 10 % pour les phéopigments.

1.2.4. Flores phytoplanctoniques

Les échantillons de flores phytoplanctoniques sont fixés par une solution de lugol acide dès l'arrivée au laboratoire (7 heures au maximum entre le prélèvement et la fixation). L'identification et le dénombrement des espèces phytoplanctoniques dont la taille est supérieure à 20µm, et celles dont la taille est inférieure, mais qui sont en chaînes, sont effectués après sédimentation dans des cuves de 10 ml selon la méthode Utermöhl (1958) à l'aide de microscopes inversés Olympus IMT2 ou IX71 à contraste de phase. Les flores réalisées sont de 2 types : **flores totales** ou **flores partielles indicatrices**. Lors d'une flore totale, tous les taxons présents dans l'échantillon sont déterminés et comptabilisés. L'identification va jusqu'à l'espèce lorsque cela est possible. Pour une flore partielle indicatrice, seules les espèces toxiques ou nuisibles (*Alexandrium sp.*, *Dinophysis sp.*, *Pseudo-nitzschia sp.*), ainsi que les espèces présentes à des concentrations supérieures à 100 000 cellules par litre d'eau, sont identifiées et comptabilisées. Ces flores partielles indicatrices ne permettent donc pas d'avoir une vision globale du peuplement, contrairement aux flores totales. Elles doivent par conséquent être utilisées avec précaution si l'on s'intéresse aux dominances au sein des peuplements (Cf. Volume 3

² EMT = Ecart Maximaux Tolérés

du RHLN 2007). Elles sont par contre parfaitement utilisables pour définir l'indicateur d'eutrophisation "nombre de blooms" (qui prend justement en compte les peuplements au sein desquels une espèce présente une concentration supérieure à 100 000 cellules.L⁻¹).

1.3. Période et fréquence de prélèvement

La période de suivi ainsi que la fréquence des prélèvements ont été adaptées en 2006 (tout comme en 2004 et 2005) en fonction du "risque d'eutrophisation" des zones ou masses d'eau. Ainsi, au cours de la période productive (entre mars et octobre), les prélèvements ont été effectués deux fois par mois sur les côtes Ouest, Nord et Est du Cotentin, alors qu'ils ont été hebdomadaires sur les côtes du Calvados et à Antifer.

De plus, un point de prélèvement sur chaque façade est suivi sur l'ensemble de l'année (points de référence pour les réseaux RHLN et Réphy), et des flores totales (identification et dénombrement de toutes les espèces microphytoplanctoniques) y sont pratiquées. Il s'agit des points de Donville, Géfosse, Cabourg, et Antifer (sur tous les autres points de suivi, les flores réalisées sont des dites "flores partielles indicatrices" ; Cf. § 1.4). Le Nord Ouest Cotentin est également suivi grâce aux points « Cogéma » de Barneville et de Jobourg.

1.4. Interprétation des résultats d'analyse sur les cycles biogéochimiques, les limitations potentielles par les nutriments et les peuplements phytoplanctoniques.

Les résultats obtenus sont classiquement présenté sous forme de courbes, ou de boîtes à moustaches qui permettent de retranscrire les variabilités intra-annuelle et globale des différents paramètres.

Des traitements particuliers sont réalisés pour l'étude de la limitation potentielle de la production de biomasse chlorophyllienne par des carences en différents sels nutritifs, ainsi que pour la détermination des indices d'abondance et de composition, i.e. des deux principaux descripteurs des peuplements phytoplanctoniques.

Limitations potentielles de la production chlorophyllienne par les sels nutritifs : les rapports Si/N, N/P, ou Si/P³ sont utilisés afin d'aborder la notion de limitation potentielle de la production de biomasse par les nutriments. En effet, selon Redfield et al. (1963), la composition élémentaire du phytoplancton en carbone : azote : silice : phosphore (C : N : Si : P) est proche de 106 : 16 : 16 : 1.

Le rapport N/P dans le phytoplancton serait donc égal à 16, de même que le rapport Si/P, alors que le rapport Si/N serait égal à 1. Il est généralement accepté que le rapport molaire entre le nitrogène et le phosphore inorganique dissous (DIN/P) dans l'eau de mer est approximativement le même que dans le phytoplancton, ce qui permettrait alors une croissance "optimale" du phytoplancton. Si le rapport DIN/P est inférieur à 16, l'azote est peut être en carence dans le milieu, et la croissance du phytoplancton peut être limitée par cette carence. Inversement, si le rapport DIN/P est supérieur à 16, le phosphore est alors possiblement limitant pour la croissance du phytoplancton. Cette approche n'exclut cependant pas que d'autres facteurs (par ex. le broutage, les virus, la mixotrophie...) peuvent avoir un impact non négligeable sur les peuplement phytoplanctoniques facteurs qui ne sont pas étudiés dans le cadre du RHLN à ce jour.

³ L'azote N est parfois également représenté par le sigle DIN pour Dissolved Inorganic Nitrogen

Peuplements phytoplanctoniques : dominances, successions, indice d'abondance et indice de composition : la composition des peuplements microphytoplanctoniques (20 à 200 µm) se développant au sein des masses d'eau normandes est étudiée en s'intéressant plus particulièrement aux principaux taxons rencontrés dans les eaux côtières de l'Atlantique Nord-Est et de la Manche (Annexe 1).

Sur les points de suivi où seules des flores partielles sont réalisées, les taxons dont le nombre d'individus a dépassé l'un des 2 seuils DCE (> 100 000 cellules.L-1 ou 1 000 000 cellules.L-1) sur la période 2001-2006 sont identifiés et les fréquences de dépassement de ces seuils sont déterminées. Ces calculs peuvent être effectués sur la totalité des données disponibles si l'on veut décrire au mieux les peuplements et aborder les successions phytoplanctoniques. Ils peuvent aussi ne reposer que sur une seule donnée mensuelle (entre janvier et décembre) si l'on veut déterminer les indicateurs d'abondance et de composition tels que fixés par la DCE.

Exemple : Pour le point CHAUSEY

Point	Date	Taxon	Valeur
Chausey	22/05/2001	PHAE	860 000
Chausey	28/05/2001	PHAE	920 000
Chausey	09/04/2003	PHAE	1 170 000
Chausey	27/04/2006	PHAE	5 033 100
Chausey	27/04/2006	PSNZ	309 900
Chausey	04/05/2006	PSNZ	1 850 300
Chausey	23/05/2002	RHIZDEL	1 128 900
Chausey	06/08/2003	RHIZDEL	111 000
Chausey	18/07/2002	RHIZFRA	2 300 000
Chausey	19/06/2003	RHIZFRA	2 070 000
Chausey	03/07/2006	RHIZFRA	545 000
Chausey	03/04/2002	SKELCOS	560 000
Chausey	04/07/2003	SKELCOS	168 600
Nbre			13

PHAE : *Phaeocystis* ; PSNZ : *Pseudo-Nitzschia* ; RHIZDEL : *Rhizosolenia delicatula* ;
RHIZFRA : *Rhizosolenia fragilissima* ; SKELCOS : *Skeletonema costatum*.

Seuil > 100 000 cellules.L⁻¹ : PHAE : 31% ; RHIZFRA : 23% et 15% pour chaque taxon PSNZ, RHIZDEL et SKELCOS.

Seuil > 1 000 000 cellules.L⁻¹ : PHAE : 33% ; RHIZFRA : 33% et 17% pour chaque taxon PSNZ et RHIZDEL.

Pour certains des points suivis (Donville, Jobourg, Barneville, Géfosse/Grandcamp, Cabourg et Antifer) des flores totales sont réalisées dans le cadre du Réphy et du programme Cogéma. Toutes les cellules du microphytoplancton (cellules > 20 µm) sont donc identifiées et dénombrées, ce qui permet de disposer de données relatives à l'abondance réelle des principaux taxons tout au long de l'année. Afin d'exprimer les variations d'abondance des principaux taxons au cours du temps, le mode de représentation retenu est celui donné par la Figure 2, avec en abscisse les mois de l'année (de 1 à 12) et en ordonnée les années (de 2002 à 2006).



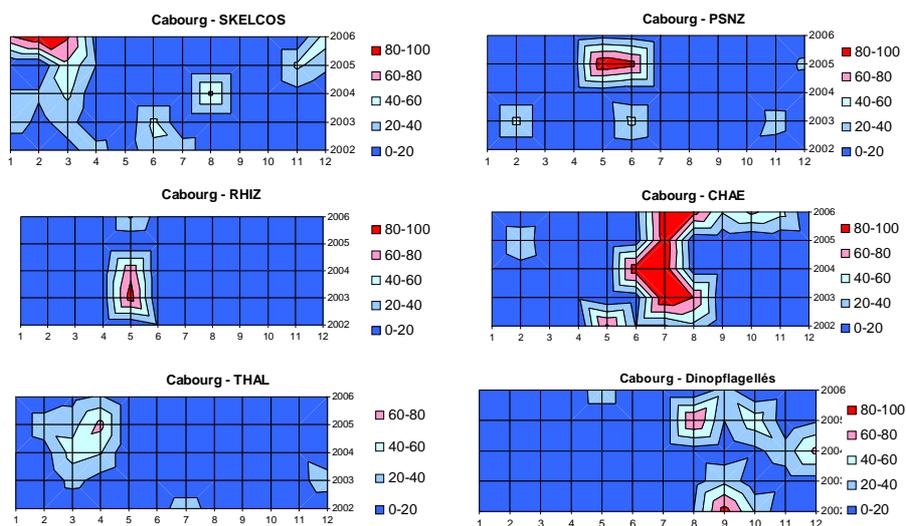


Figure 2 : Évolution de l'abondance des principaux taxons. Exemple de Cabourg.

Sur l'exemple de Cabourg donné ci dessus, on observe au début de l'année 2006 une forte abondance de *Skeletonema costatum* (SKELCOS) qui représente entre 80 et 100 % de l'ensemble des taxons identifiés.

1.5. Modélisations courantologiques : trajectoires de particules et panaches de dilution

Que ce soit pour la réalisation des fiches (cf. Volume 2 du Rapport RHLN 2007) ou l'étude de l'homogénéité des masses d'eau, la modélisation des courants de marées a été réalisée au moyen des modèles hydrodynamiques 2D (code MARS de l'Ifremer) développés dans le cadre du contrat plan Etat/Région de Basse Normandie 2000-2006 associant le Conseil Régional de Basse Normandie, le Conseil Général de la Manche/SMEL, le Conseil Général du Calvados, l'Agence de l'Eau Seine Normandie et l'Ifremer/LERN. Deux types de simulations ont été réalisées : simulation de trajectoires de particules d'une part, et visualisation des panaches de diffusion des principaux fleuves côtiers d'autre part.

1.5.1. Trajectoires de particules

L'étude des trajectoires de particules au sein des masses d'eau permet d'étayer la réflexion sur l'optimisation du positionnement du ou des points de suivi. Les conditions de simulations ont toujours été identiques pour ce type d'étude :

- Lâcher des particules à pleine mer (i.e. au moment préconisé pour la réalisation des prélèvements par le cahier des procédures Hydrologiques DCE),
- lors d'une marée de coefficient 95 (coefficient de marée de vives eaux qui génère des courants de marée supérieurs à la moyenne, de façon à maximiser les déplacements des particules),
- avec un vent nul.

Les simulations ont été réalisées sur 7 jours (15 alternances de marée), avec des coefficients descendants (conditions réelles). Il est important de noter que les modèles disponibles ne peuvent être utilisés en zones découvrantes, qui sont importantes sur certaines masses d'eau (94 % de la masse d'eau HT5 dans le fond de la baie du Mont St Michel par exemple).

1.5.2. Panaches de dilution des fleuves côtiers

La simulation des panaches de dilution permet d'aborder l'homogénéité de certaines masses d'eau, notamment de celles où se jettent d'importants fleuves côtiers dont les apports ont un impact marqué sur l'hydrologie locale. L'étude du comportement et de l'orientation du panache au gré des cycles de marée permet également d'étayer la réflexion sur le positionnement optimal du ou des points de suivi.

Les conditions de simulations, réalisées sur 5 jours, ont été les suivantes :

- début de la simulation à pleine mer,
- marée de coefficient moyen (75),
- vent nul,
- rejet continu, sans unité, avec un flux = 1, positionné à l'embouchure du fleuve

1.6. Utilisation d'images satellite : étude de l'homogénéité des masses d'eau

Il est possible, à partir d'images satellites de type "couleur de l'eau" de déterminer les concentrations en chlorophylle a. Ces données permettent de suivre l'évolution de la biomasse chlorophyllienne tout au long de la période productive (cf. Figure 3 donnée à titre d'exemple), et ainsi de déterminer les dates de début et de fin de cette période productive au sein des différentes masses d'eau, de vérifier l'homogénéité des masses d'eau, d'aider à positionner au mieux les points de suivi du réseau RHLN, et d'effectuer des comparaisons entre moyennes des mesures *in situ* et moyennes des valeurs produites par satellite.

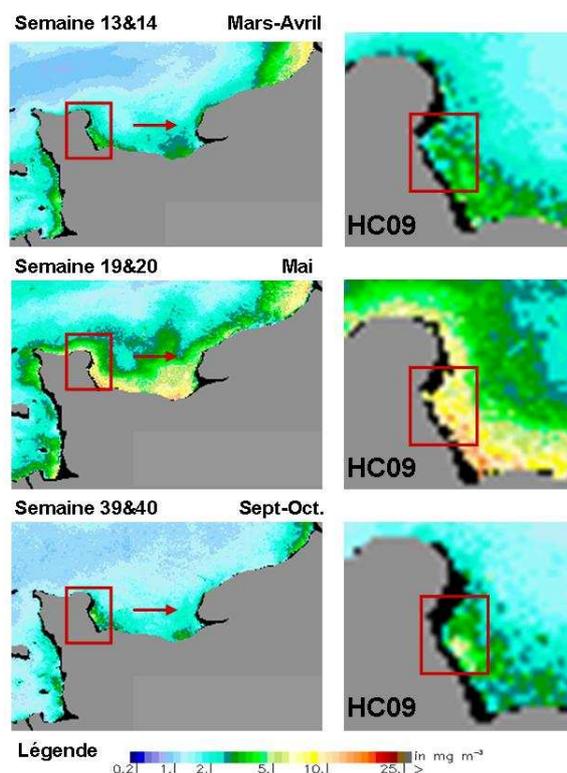


Figure 3 : Évolution des biomasses chlorophylliennes moyennées par quinzaine entre 1997 et 2006. Exemple de la masse d'eau HC09.

Les images satellites utilisées ont été obtenues par les capteurs SeaWiFS, MODIS Aqua (NASA) et MERIS (Agence Spatiale Européenne). Les données brutes ont été traitées au moyen d'un algorithme empirique développé au laboratoire DYNECO/EP de l'Ifremer Brest par F. Gohin et al (2001 et 2003), et adapté aux eaux côtières. L'outil perd en performance dans les zones très côtières et surtout fortement turbides, le signal chlorophyllien pouvant être perturbé par les matières en suspension ainsi que par les aérosols. Les calages/adaptations réalisés localement permettent néanmoins d'obtenir une bonne évaluation des biomasses chlorophylliennes sur l'ensemble du littoral normand, et ainsi d'observer la répartition spatiale des blooms phytoplanctoniques (à la condition qu'il n'y ait pas de couverture nuageuse).

Pour ce faire, toutes les données acquises et interprétables ont été moyennées par période de 15 jours (26 quinzaines au total sur une année) depuis 1997. A chaque pixel est donc attribuée la valeur moyenne des concentrations en chlorophylle obtenues lors des 15 journées de chaque quinzaine, et ce de 1997 à 2006. L'intégration de ces images satellites dans un Système d'Information Géographique a permis d'extraire la valeur de chacun des pixels constituant ces images (sur toutes les quinzaines) par masse d'eau et ainsi de calculer le percentile 90 moyen de la chlorophylle *a* par masse d'eau, qui peut être comparé au percentile 90 calculé à partir des mesures *in situ*.

Toutes les données produites dans le cadre du RHLN et ayant servi à la réalisation des 3 volumes du rapport de synthèse 2007 sont disponibles sur le web à l'adresse :

<http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/telechargement.htm>



2. Caractéristiques hydrologiques, cycles biogéochimiques et peuplements phytoplanctoniques au sein des masses d'eau littorales normandes

2.1. Facteurs météorologiques

2.1.1. Précipitations

Comme 2003, 2004 et 2005, 2006 est une année que l'on peut qualifier de sèche. Le déficit pluviométrique par rapport à la moyenne des précipitations calculées sur la période 1950-2006 a atteint 160 mm sur Dieppe, ce qui représente 20 % de la pluviométrie moyenne sur les 56 dernières années (790 mm).

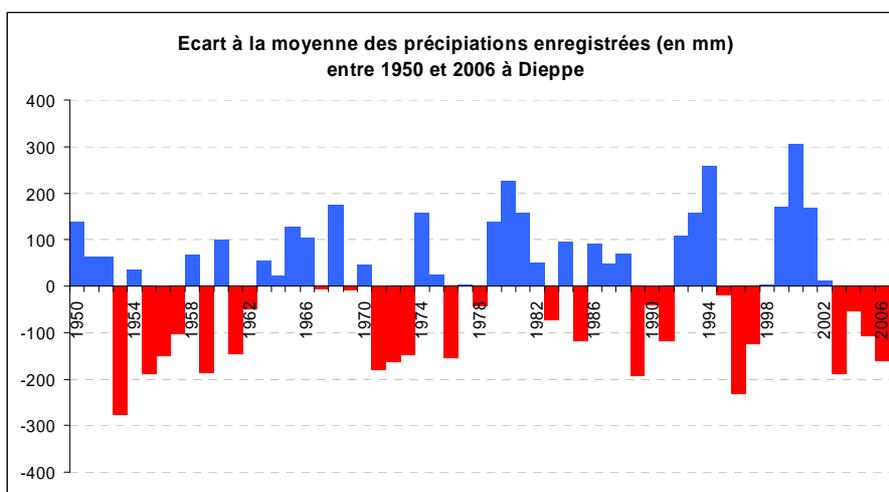


Figure 4 : Ecart entre les pluviométries annuelles enregistrées à Dieppe (Seine Maritime) et la moyenne sur la période 1950-2006 (données météo France).

La Figure 5 présente les écarts enregistrés à Englesqueville-la-Percée. Elle confirme que 2006 a également été une année sèche, mais dans une moindre mesure, dans l'Ouest du Calvados.

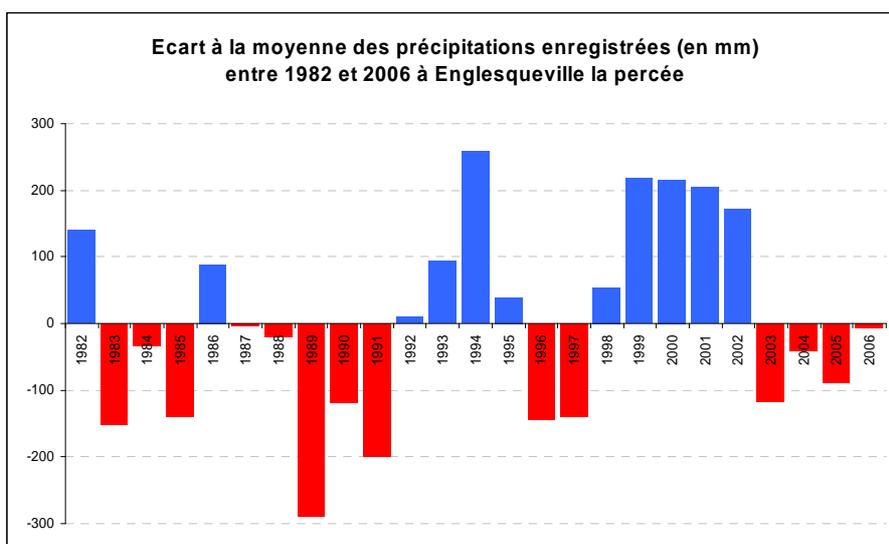


Figure 5 : Ecart entre les pluviométries annuelles enregistrées à Englesqueville-la-Percée (Calvados) et la moyenne sur la période 1982-2006 (données météo France).

L'examen des données mensuelles (Figure 6) permet de constater que le déficit pluviométrique a bien été plus important sur Dieppe que sur Englesqueville où ont été enregistrées des pluies supérieures à la moyenne en février, septembre et décembre.

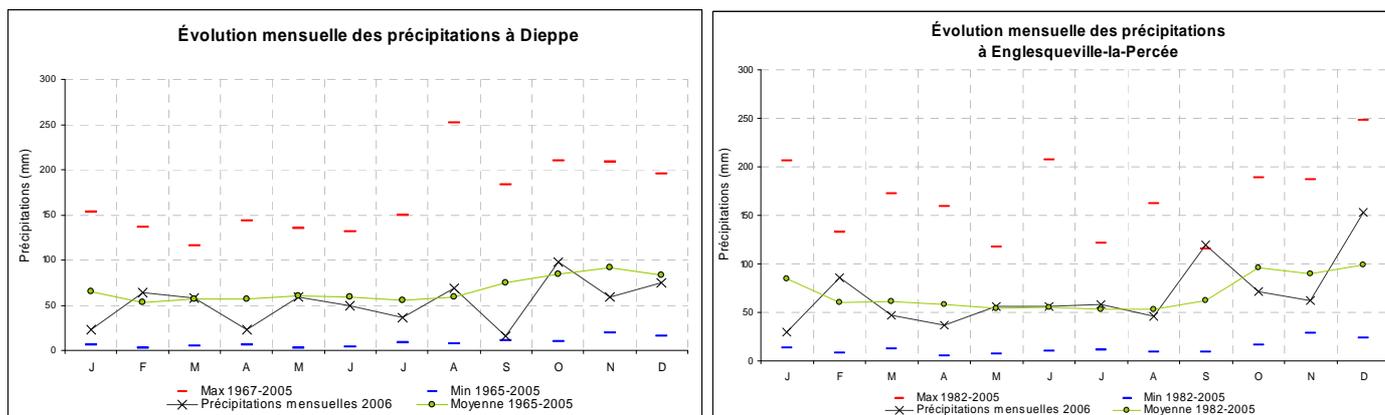


Figure 6 : Évolution des précipitations moyennes mensuelles sur Dieppe (1967-2005) et sur Englesqueville-la-Percée (1982-2005). Comparaison avec les précipitations mensuelles de 2006.

Cette hétérogénéité de la pluviométrie à l'échelle de la Normandie (Haute et Basse) est bien mise en évidence par la Figure 7 qui présente une comparaison inter stations des précipitations annuelles tombées en 2006. Le maximum est observé à Cherbourg, avec 886,5 mm, et le minimum à Granville avec 581,9 mm (52.3% d'écart).

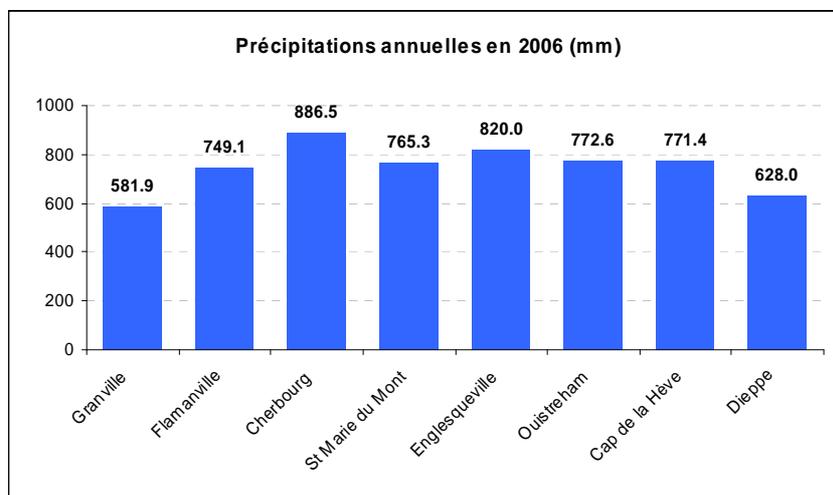


Figure 7 : Précipitations annuelles enregistrées en 2006 sur différentes stations météorologiques de Normandie (données Météo France).

2.1.2. Températures

2006 peut être considérée comme une année "chaude" ainsi que le montre la Figure 8, qui représente l'écart de la moyenne des températures annuelles de l'air à Dieppe par rapport à la moyenne des températures entre 1950 et 2006. L'écart thermique en 2006 a été de + 1,2°C, soit du même ordre de grandeur que les écarts enregistrés en 1999 et 2002.

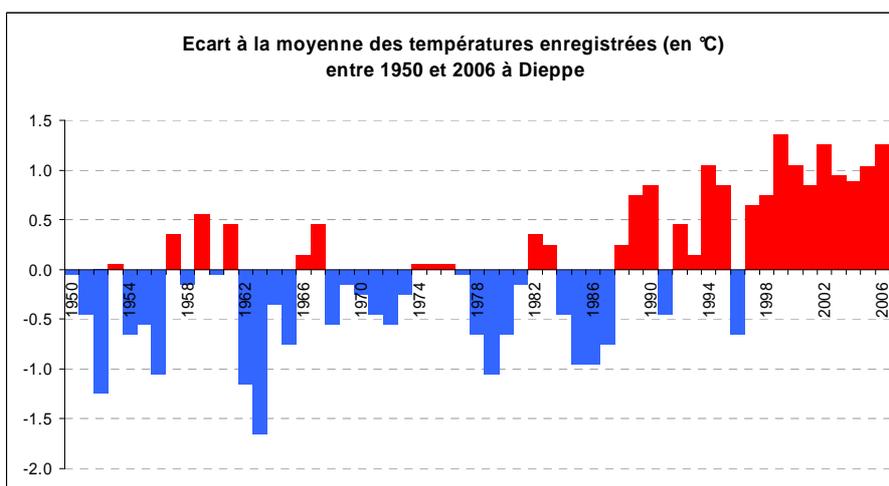


Figure 8 : Ecart entre les températures moyennes annuelles à Dieppe et la moyenne sur la période 1950-2006 (données Météo France).

L'étude des moyennes mensuelles de la température de l'air (Figure 9) enregistrée à Dieppe en 2006, montre qu'après les 3 premiers mois de l'année 2006, plus froids que la moyenne, les 9 autres mois ont connu des températures systématiquement supérieures aux moyennes de la période 1972-2005. Les plus forts écarts, supérieurs à 3°C, ont été enregistrés aux mois de juillet, septembre et octobre. L'automne 2006 a donc été particulièrement doux.

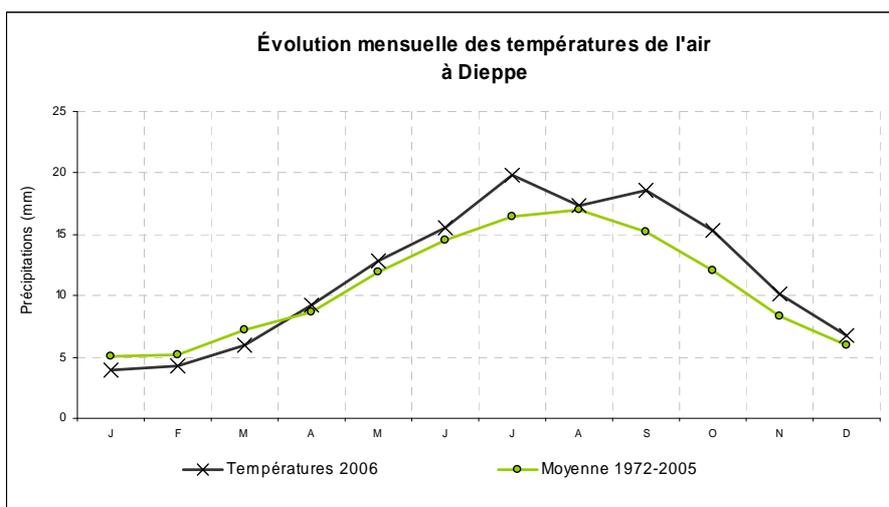


Figure 9 : Moyennes mensuelles des températures de l'air à Dieppe. Comparaison des données 2006 avec les moyennes sur la période 1972-2005 (données Météo France).

En ce qui concerne les températures de l'eau mer, elles ont atteint, entre les mois de septembre et décembre 2006, les maxima enregistrés depuis 1991 à Paluel (Seine maritime ; Figure 10), confirmant ainsi la douceur de l'automne 2006. En revanche, entre février et avril, les températures ont été particulièrement basses, ce qui était déjà le cas en 2005.

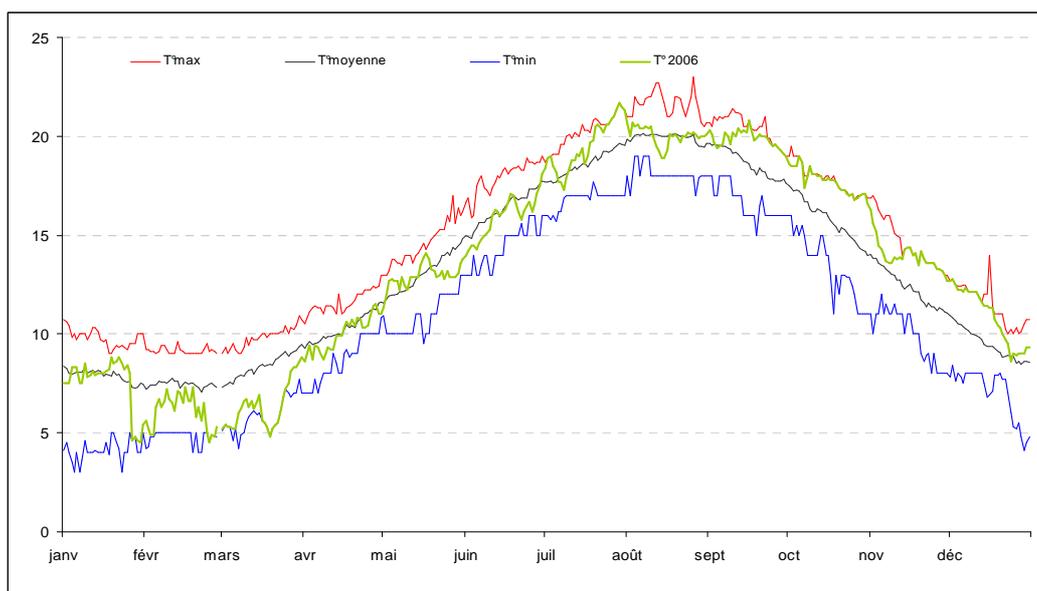


Figure 10 : Évolution des températures journalières de l'eau de mer enregistrées au canal d'amenée de la centrale EDF de Paluel (Seine Maritime) depuis 1991. Comparaison entre les valeurs mesurées en 2006 (en vert) et les valeurs moyennes (courbe noire) ainsi qu'extrêmes (courbes bleue et rouge) obtenues sur la période 1991-2006 (données EDF).

Les variations de température de l'eau de mer, enregistrées dans le cadre du RHLN, sont comparables, comme le montre la Figure 11, avec l'exemple de Donville (côte Ouest du Cotentin) : parmi les plus froides en hiver (de janvier à mars), et les plus chaudes en automne (d'octobre à décembre).

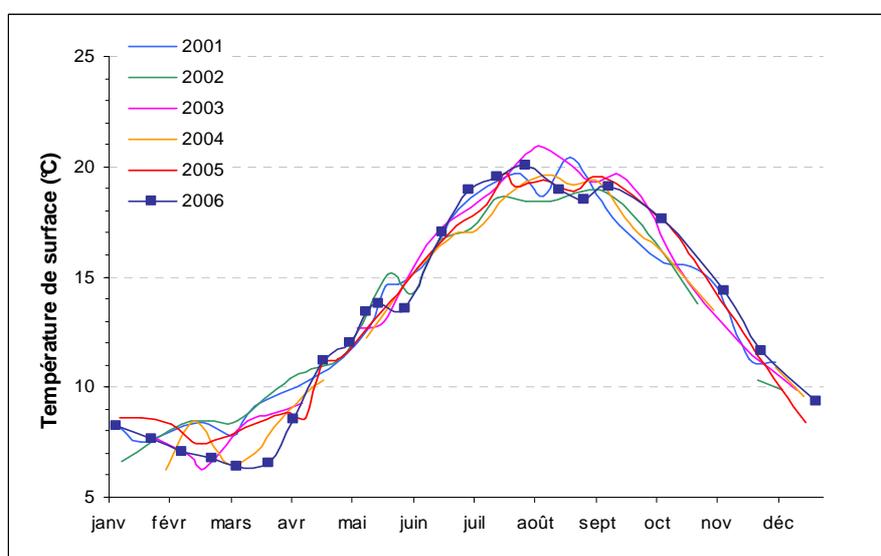


Figure 11 : Évolution de la température de l'eau de mer de 2001 à 2006 sur le point RHLN de Donville (Côte Ouest du Cotentin).

2.1.3. Débits

Les débits journaliers de 2005 et 2006 des principaux fleuves normands sont comparés à leurs moyennes mensuelles sur la Figure 12. Globalement, la faible pluviométrie de 2006 est à l'origine d'une baisse des débits avec quelques exceptions durant les mois de mars (pour le Couesnon, la Dives, la Touques et la Seine), septembre et décembre (pour le Couesnon, la Vire, la Seullès et la Dives). En effet, les débits de la Vire dépassent largement la moyenne mensuelle de la période 1993-2006 durant

les mois de septembre et décembre, et ceci du fait des fortes précipitations locales observées à ces périodes (cf. précipitations sur Englesqueville-la-Percée de la Figure 6).

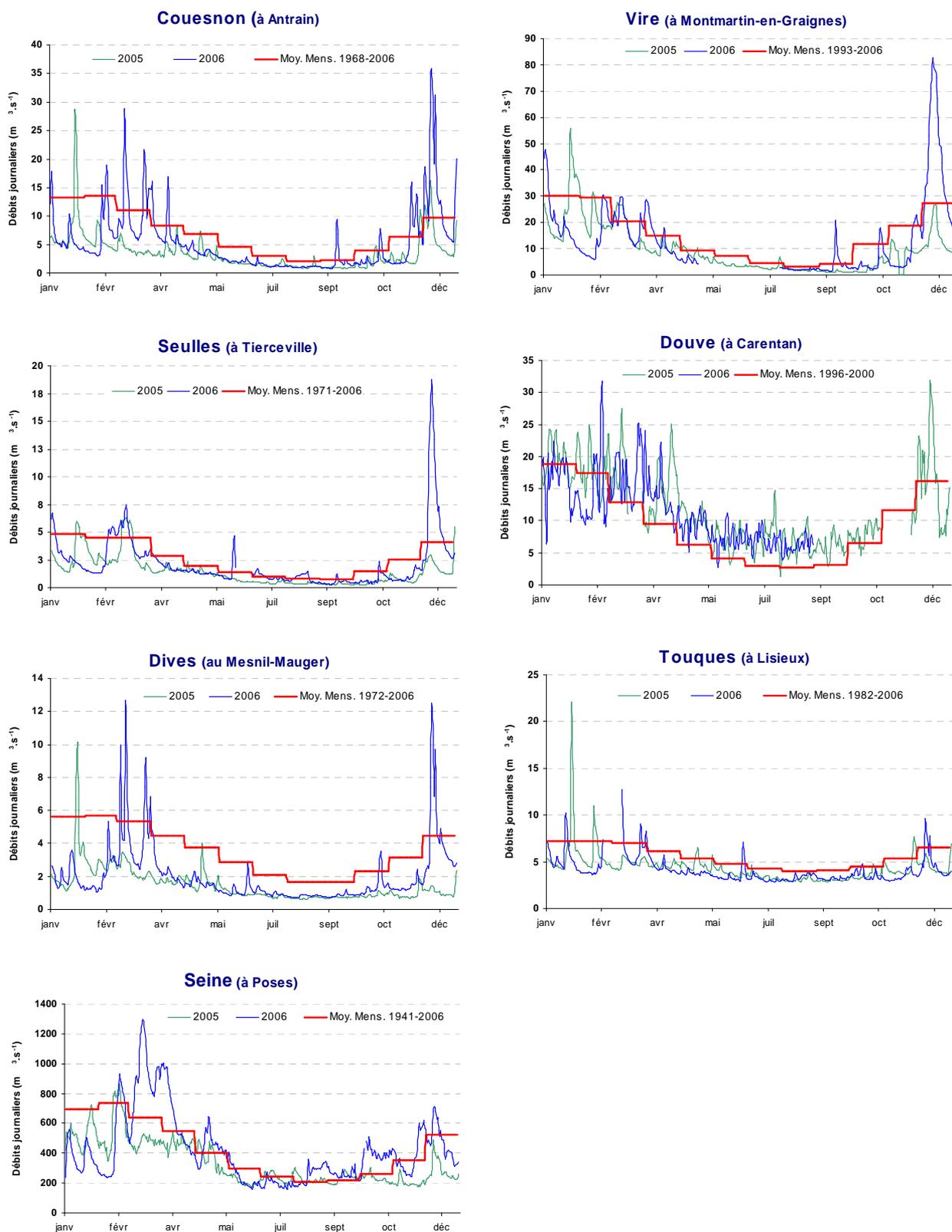


Figure 12 : Évolution des débits journaliers des différents fleuves normands en 2005 et 2006 (Données issues de la banque Hydro du RNDE). Comparaison avec les moyennes mensuelles.

NB : les débits de la Sélune, de la Sienne et de l'Orne n'ont pas été suivis par la banque Hydro en 2006.

2.2. Masse d'eau HC01 (Chausey)

Les données hydrologiques mesurées à Chausey entre 2001 et 2006 sont rassemblées sur les figures 13 et 14.

Le premier bloom phytoplanctonique à Chausey est relevé (Figure 14), avec plus ou moins d'intensité suivant les années, à partir du mois d'avril. Le pic maximal de biomasse est généralement atteint en mai avec des concentrations de l'ordre de 5 à 7 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Le bloom automnal de 2006 est supérieur à ceux des années précédentes. Il dépasse légèrement les 2 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Sur cette masse d'eau très peu influencée par les apports terrigènes, et qui ne connaît que de très faibles dessalures, les stocks hivernaux en sels nutritifs sont de l'ordre de 15 μM de nitrate+nitrite, 10 μM de silicate, inférieurs à 1 μM de phosphate, et de l'ordre de 1 μM d'ammonium, ce qui est peu par rapport aux autres masses d'eau suivies dans le cadre du RHLN.

L'examen de la distribution du rapport molaire N/P (Figure 13) montre que la valeur seuil de 16 (selon Redfield *et al*, 1963) est généralement atteinte dès la fin avril et que les valeurs de ce rapport ne remontent qu'à la fin de l'hiver. Entre les mois de juin et de septembre 2006, l'azote a vraisemblablement été en carence dans le milieu (concentration < 1 μM), ce qui a pu limiter la croissance du phytoplancton.

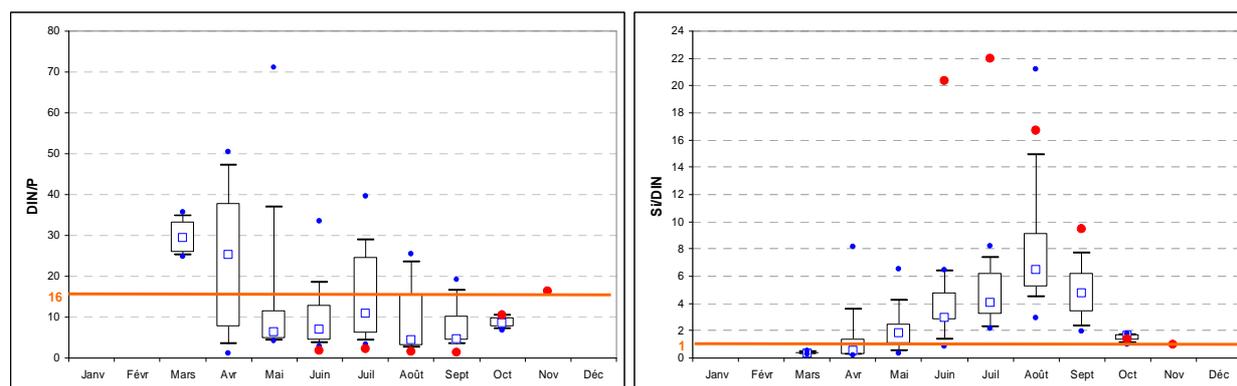


Figure 13 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Chausey. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

L'étude du rapport molaire Si/N montre que la valeur seuil de 1 (selon Redfield *et al*, 1963) est dépassée entre mai et octobre, confirmant ainsi la limitation potentielle par l'azote (Figure 13).

Peuplements phytoplanctoniques :

Sur les 81 flores partielles réalisées entre 2001 et 2006 ayant présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE, les répartitions taxonomiques ont été les suivantes :

Seuil > 100 000 cellules/L : PHAE : 31% ; RHIZFRA (*Rhizosolenia fragilissima*) : 23% et 15% pour les taxons PSNZ, RHIZDEL et SKELCOS.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 33% ; RHIZFRA : 33% et 17% pour les taxons PSNZ et RHIZDEL.

Commentaire : Milieu essentiellement dominé par des diatomées.

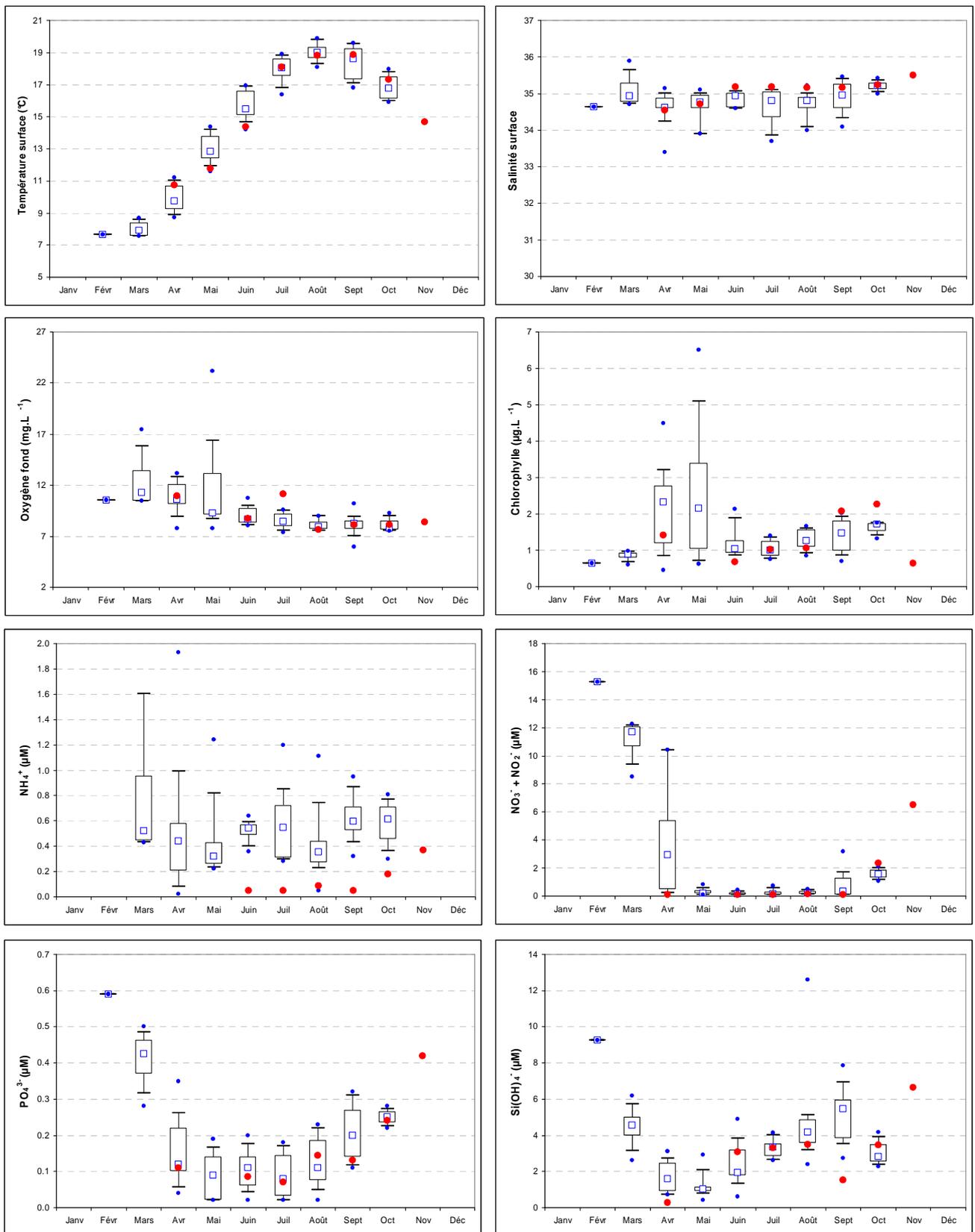


Figure 14 : Évolution des paramètres hydrologiques à Chausey entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.3. Masse d'eau HC02 (Hacqueville)

Les données hydrologiques mesurées à Hacqueville entre 2004 et 2006 sont rassemblées sur les figures 15 et 16.

Le point Hacqueville (Figure 16) est sous l'influence directe de petits cours d'eau et des rejets urbains de Granville. Les baisses de salinité y restent cependant minimales (de l'ordre de 2 à 3 pour mille au maximum sur les 3 années de suivi), mais les stocks hivernaux en sels nutritifs sont plus importants (entre 25 et 45 μM de nitrate et entre 15 et 20 μM de silicate) que sur Chausey.

Le premier bloom phytoplanctonique est relevé, avec plus ou moins d'intensité suivant les années, à partir du mois de mars. Les valeurs maximales de chlorophylle a restent cependant peu importantes, culminant aux alentours de 5 à 6 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Le rapport molaire N/P (Figure 15) passe sous la valeur seuil de 16 (selon Redfield et al, 1963) à partir du mois de juin et ne remonte qu'à partir d'octobre. Durant cette période, l'azote est vraisemblablement en carence dans le milieu (concentration < 1 μM), ce qui peut limiter la croissance du phytoplancton. L'étude du rapport molaire Si/N montre que la valeur seuil de 1 (selon Redfield et al, 1963) est dépassée entre mai et octobre, confirmant ainsi la limitation potentielle par l'azote.

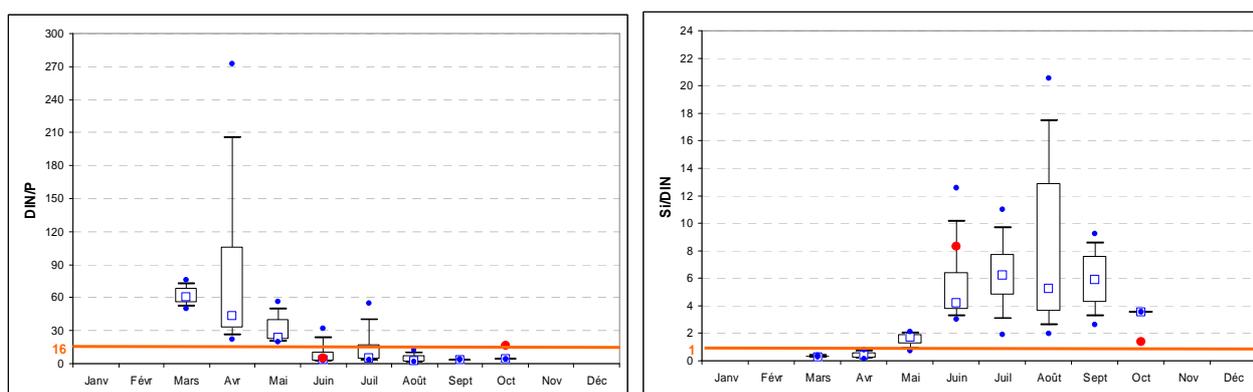


Figure 15 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Hacqueville. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 33 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2006, et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon supérieur aux seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PHAE et CHAE : 33% ; RHIZFRA et LITHUND (*Lithodesmium undulatum*) : 17%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : les peuplements phytoplanctoniques de ce point, encore influencé par le fond de la baie du Mont Saint Michel et ses apports, présentent des caractéristiques proches des flores des baies.

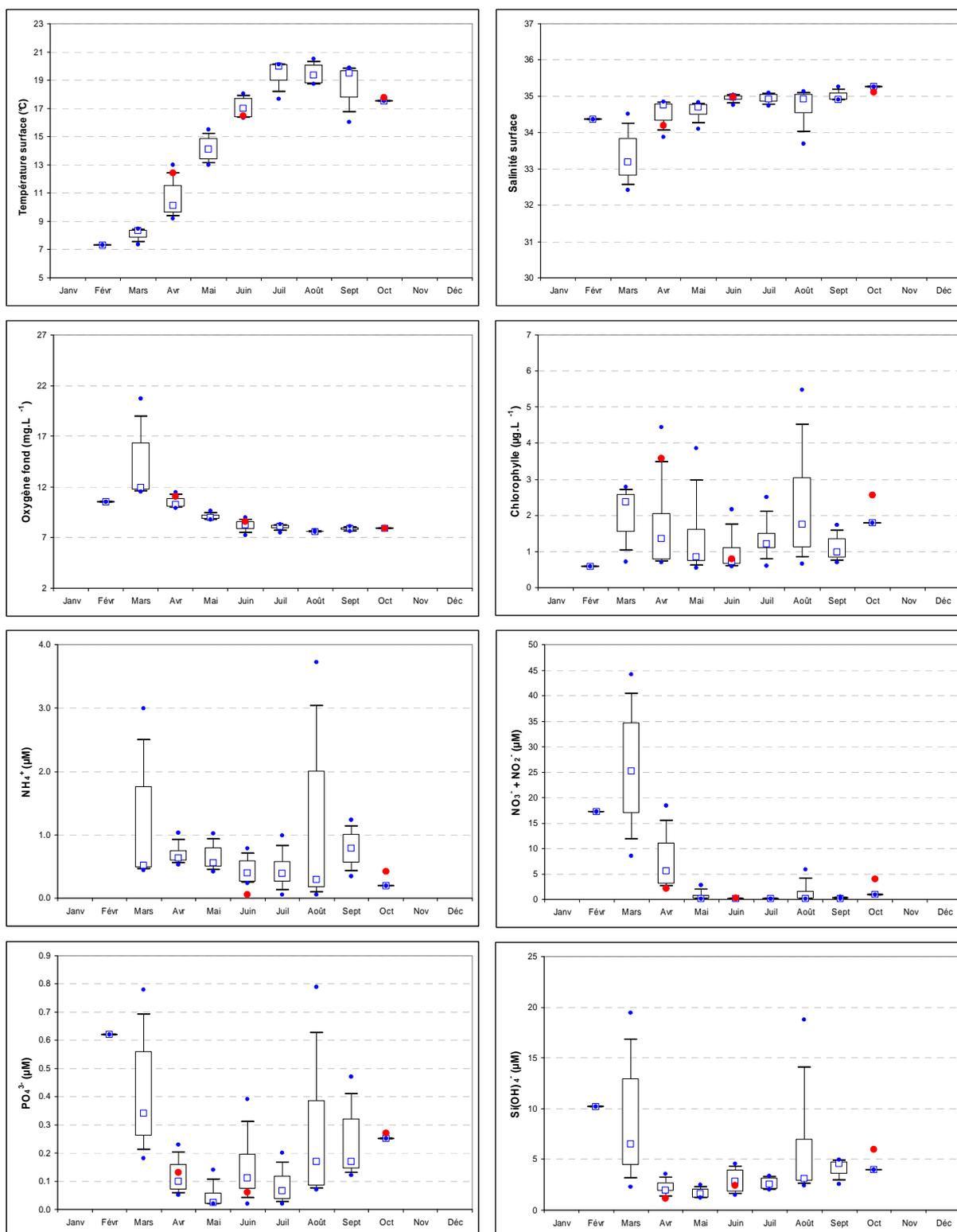


Figure 16 : Évolution des paramètres hydrologiques à Hacqueville entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.4. Masse d'eau HC03 (Donville à Denneville)

Les données hydrologiques mesurées à Donville, Agon et Pirou entre 2001 et 2006, puis à Coudeville et Denneville en 2006, sont rassemblées sur les figures 17 à 22.

2.4.1. Donville

Comme sur le point Hacqueville (HC02), les chutes de salinité restent minimales (de l'ordre de 2 à 3 pour mille, et atteignant exceptionnellement 5 pour mille sur les 6 années de suivi), à l'exception du minimum de salinité atteint en février 2003 (Figure 18). La période productive débute dès le mois de mars. Les maxima de chlorophylle *a* dépassent rarement les 5 à 6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et, en moyenne, les concentrations varient entre 1,5 et 2 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Les stocks hivernaux en sels nutritifs sont plus importants que sur Hacqueville et sont compris entre 20 et 65 μM de nitrate, et entre 15 et 30 μM de silicate.

L'examen de la distribution du rapport molaire N/P (Figure 17) montre un passage sous la valeur seuil de 16 (selon Redfield et al, 1963) à partir du mois de mai et jusqu'à fin septembre. Durant cette période, l'azote est vraisemblablement en carence dans le milieu (concentration $< 1 \mu\text{M}$, ainsi que l'indiquent les graphes de la Figure 18, ce qui peut avoir limité la croissance du phytoplancton.

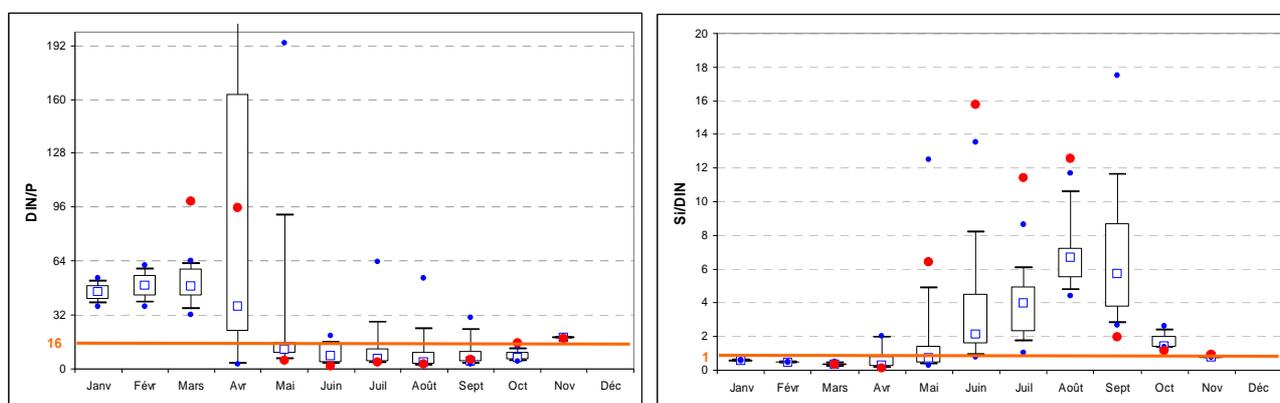


Figure 17 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Donville. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

L'étude du rapport molaire Si/DIN montre que la valeur seuil de 1 (selon Redfield et al, 1963) est dépassée entre mai et octobre, confirmant ainsi la limitation potentielle par l'azote.

Cette évolution des rapports DIN/P et Si/DIN est similaire sur l'ensemble des autres points de la masse d'eau HC03.

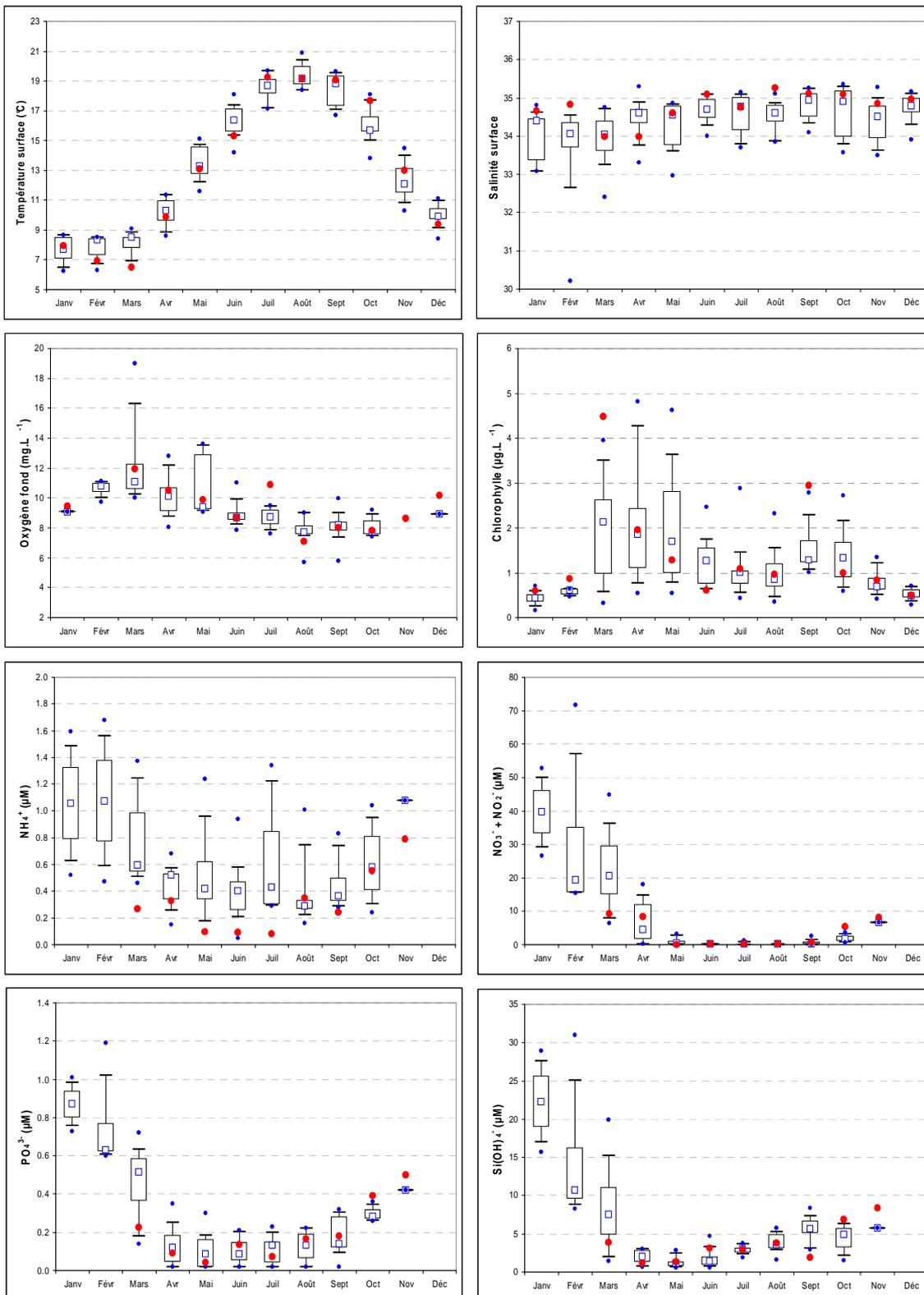


Figure 18 : Évolution des paramètres hydrologiques à Donville entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.4.2. Coudeville

Le point Coudeville n'est suivi que depuis mars 2006 (Figure 19). Il est donc difficile de conclure sur les variations des différents paramètres, qui semblent néanmoins suivre le cycle saisonnier généralement rencontré le long de la côte Ouest Cotentin. Les variations de salinité sont du même ordre de grandeur que sur Donville, et la période productive débute également dès le mois de mars. En revanche, les maxima de chlorophylle ont atteint en 2006 des niveaux de concentration deux fois plus élevés que sur Donville (de l'ordre de $12 \mu\text{g.L}^{-1}$), valeurs qui seront à confirmer lors des prochaines années de suivi.

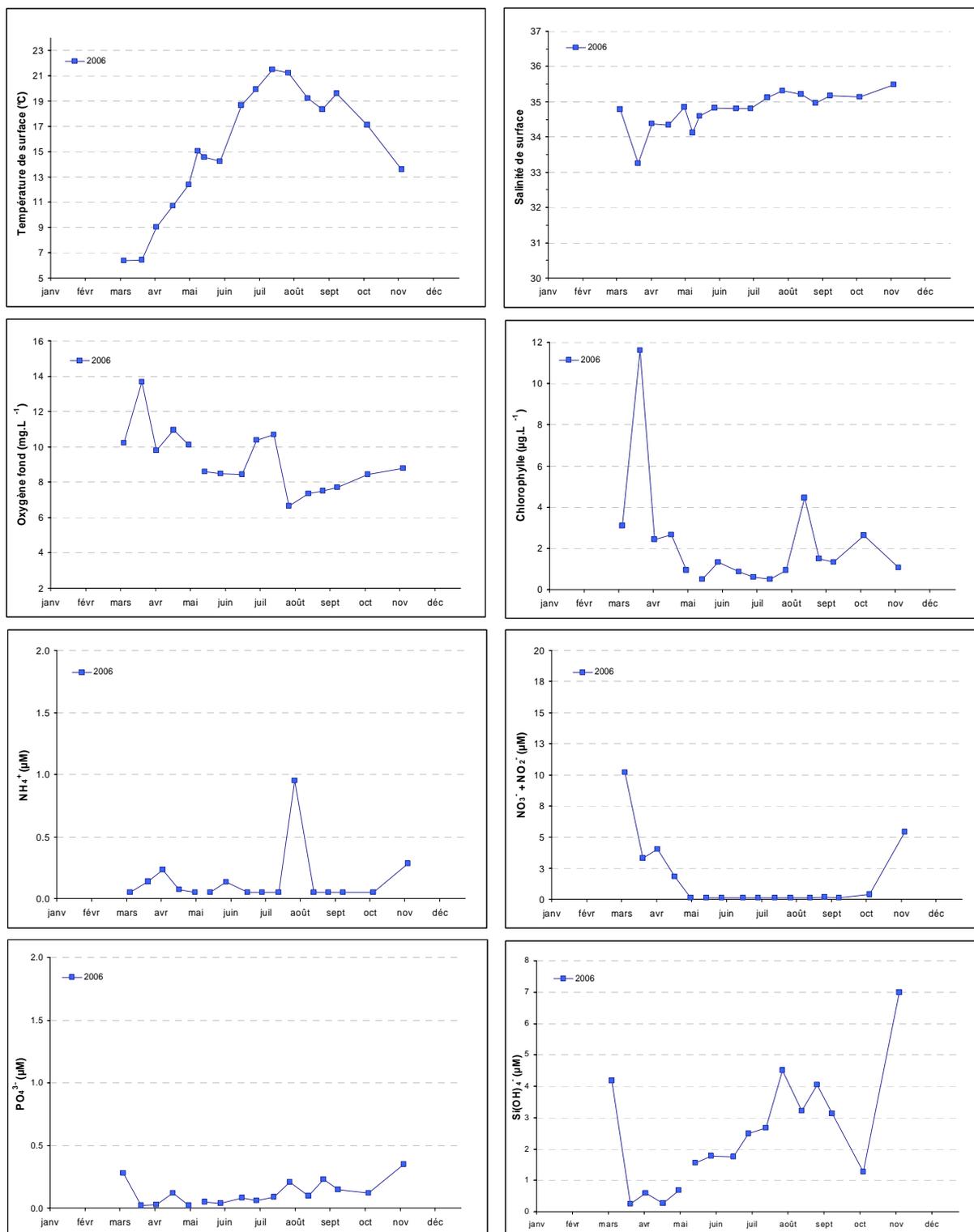


Figure 19 : Évolution des paramètres hydrologiques à Coudeville en 2006.



2.4.3. Agon

Bien qu'étant sous l'influence du panache de la Seine, le point d'Agon (Figure 20) ne connaît pas de fortes chutes de salinité (de l'ordre de 2 pour mille au maximum). Notons que le suivi des teneurs en chlorophylle *a* et en sels nutritifs a été irrégulier depuis 2001. Néanmoins, il permet de constater le faible niveau de biomasse phytoplanctonique (maximum de $6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en mars 2006) qui est du même ordre de grandeur que celui de Donville. L'absence de donnée avant le début de la période productive empêche toute quantification des stocks hivernaux en sels nutritifs.

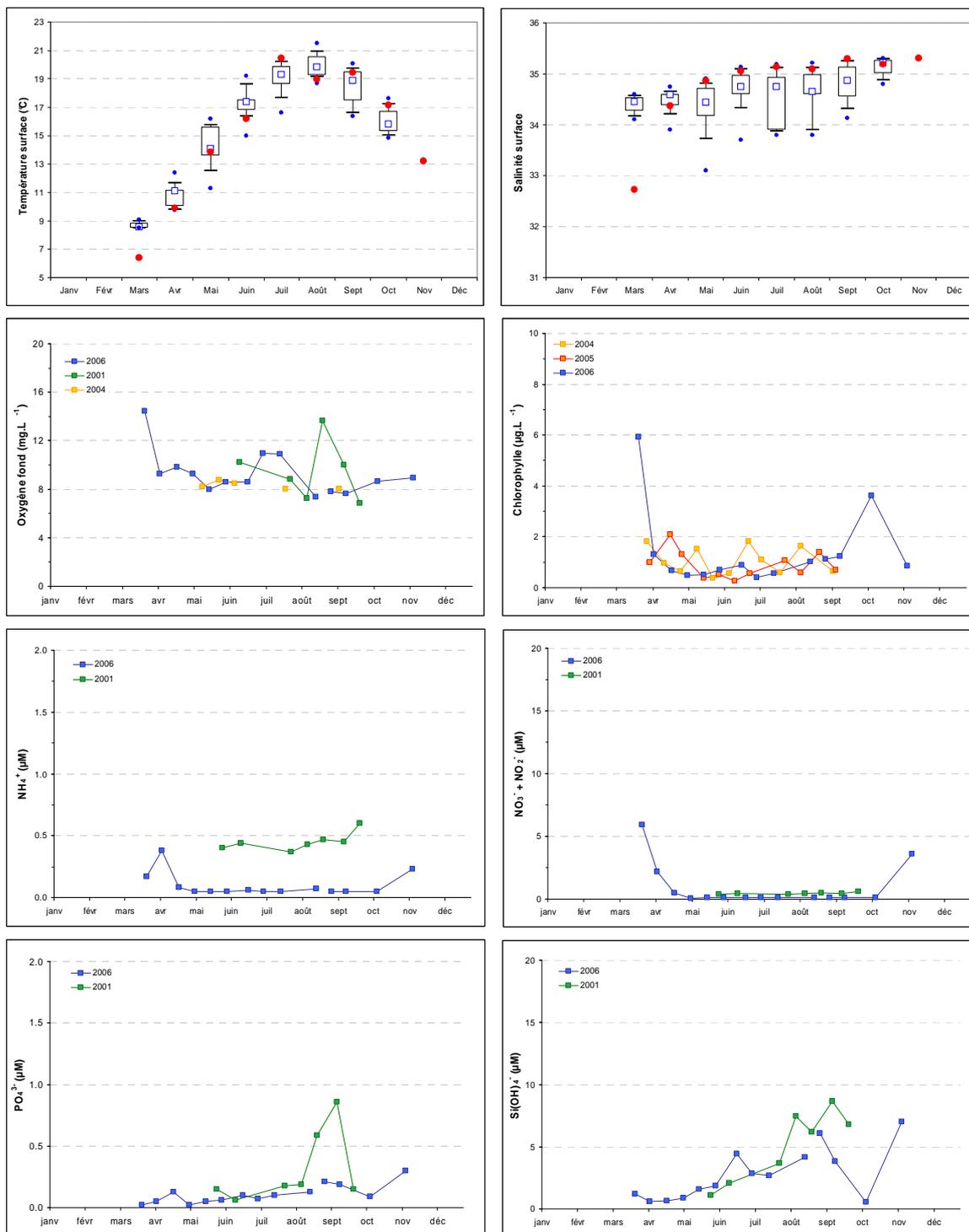


Figure 20 : Évolution des paramètres hydrologiques à Agon entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●) pour la température et la salinité.



2.4.4. Pirou

Nous observons (Figure 21) une faible variabilité de la salinité à Pirou (plus faible qu'à Donville). L'évolution des teneurs en chlorophylle se caractérise par un premier bloom printanier (de l'ordre de 3 à 8 $\mu\text{g.L}^{-1}$) et un petit pic au mois d'octobre (2 à 4 $\mu\text{g.L}^{-1}$). L'absence de donnée avant le début de la période productive empêche d'estimer les stocks hivernaux de sels nutritifs. La carence potentielle en nitrate entre la mi-avril et septembre/octobre apparaît nettement, tant en 2001 qu'en 2006.

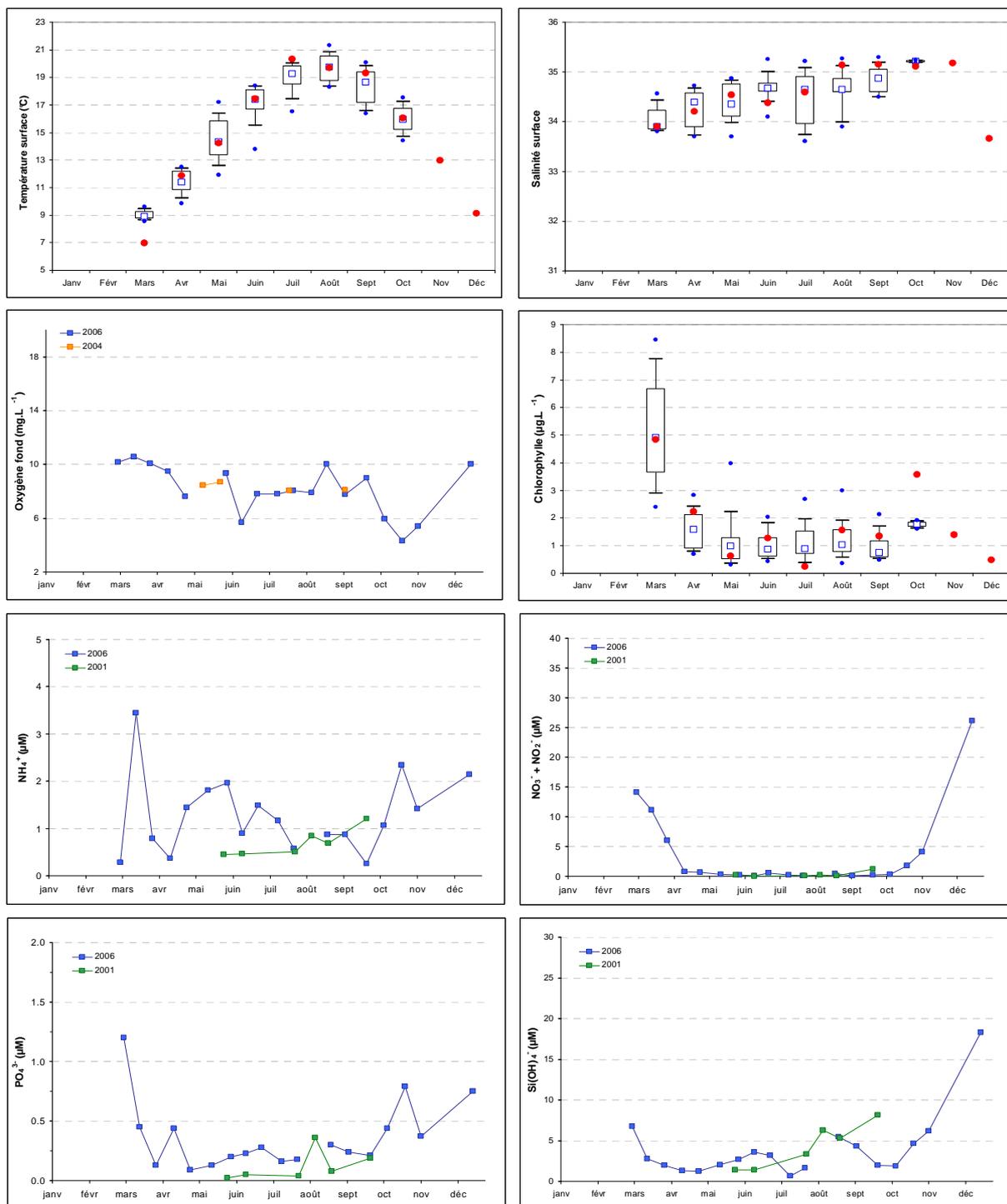


Figure 21 : Évolution des paramètres hydrologiques à Pirou entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.4.5. Denneville

L'évolution des paramètres hydrobiologiques sur Denneville en 2006 (Figure 22) est similaire à celle de Pirou : faibles variations de la salinité, faibles niveaux de la biomasse chlorophyllienne (bloom printanier culminant à $6 \mu\text{g.L}^{-1}$), et longue période (d'avril à octobre) où les concentrations en nitrate sont restées très faibles, générant vraisemblablement une limitation de la production phytoplanctonique.

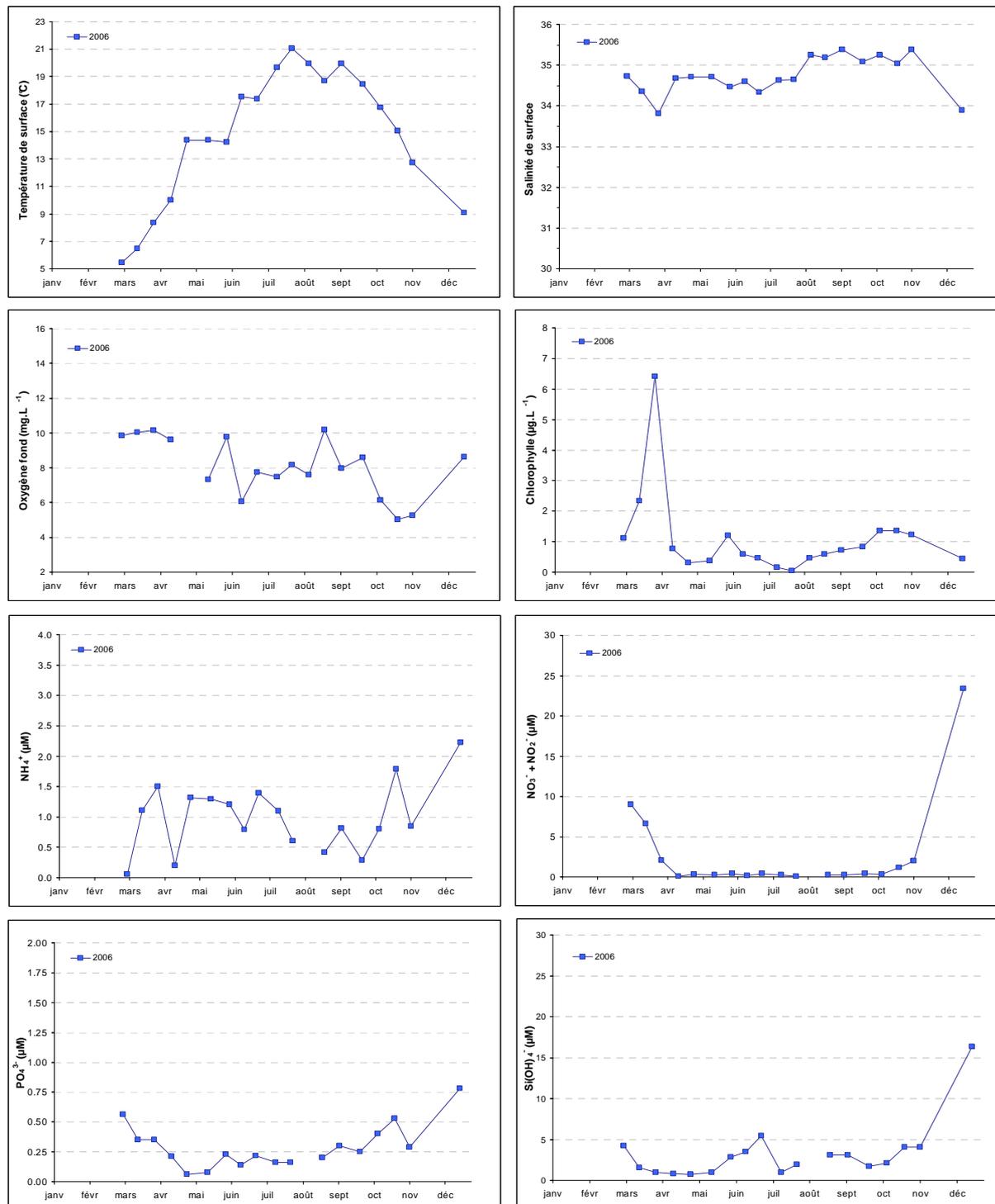


Figure 22 : Évolution des paramètres hydrobiologiques à Denneville en 2006.

Peuplements phytoplanctoniques :

Donville

Distribution partielle des taxons sur les 113 flores totales et les 22 flores partielles réalisées entre 2001 et 2006, et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PHAE : 20% ; 17% pour RHIZFRA, SKELCOS, et CRYPTOPHYCEES et 13% PSNZ.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 43% ; RHIZFRA : 29% et 14% pour CHAE et CRYPTOPHYCEES.

Évolution temporelle : sur la série des 113 flores totales réalisées, l'évolution des taxons remarquables est la suivante (Figure 23) :

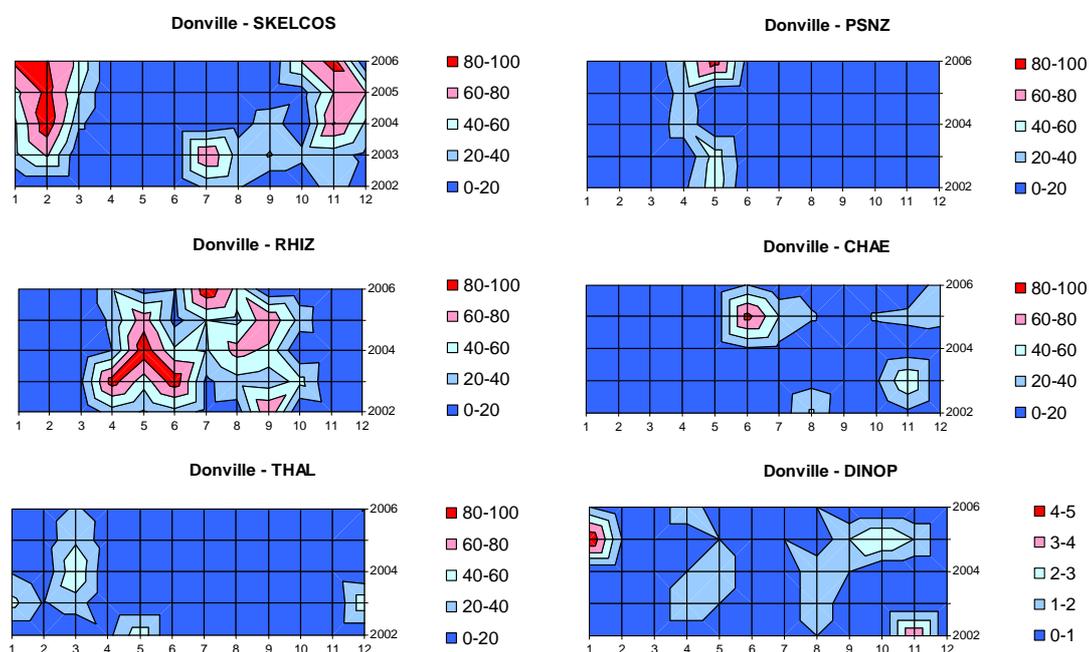


Figure 23 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Donville.

Commentaires : la flore phytoplanctonique du point de Donville est proche de celle du point Hacqueville et apparaît comme étant influencée par la présence de la baie du Mont Saint Michel. Elle diffère des flores se développant plus au Nord de cette masse d'eau HC03. On peut encore la qualifier de « flore de baie », comme celles de la masse d'eau HC02.

Coudeville

Distribution partielle des principaux taxons sur 19 flores (partielles) en 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 50% ; PHAE : 25 et 13% pour RHIZFRA et THAL.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 67% et RHIZFRA : 33%.

Commentaires : Bien que nous ne disposions que d'une année d'échantillonnage, les peuplements présents peuvent être considérés comme représentatifs des eaux ouvertes de la Manche. Ils diffèrent de ceux observés plus au Sud sur le point d'Hacqueville.



Agon

Distribution partielle des principaux taxons sur 75 flores (partielles) réalisées entre 2001 et 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PHAE et RHIZFRA : 30% ; PSNZ : 20% et 10% CHAE et SKELCOS.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 67% et CHAE : 33%.

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche. Ils sont comparables à ceux rencontrés sur Coudeville dans le Sud, et Pirou dans le Nord.

Pirou

Distribution partielle des principaux taxons sur 69 flores (partielles) réalisées entre 2001 et 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : ASTEGLA : 56% et 11% pour PSNZ, RHIZFRA, SKELCOS et CHAE.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : 33% pour les taxons RHIZFRA, CHAE et ASTEGLA (*Asterionella glacialis*).

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche.

Denneville

Distribution partielle des principaux taxons sur 18 flores (partielles) en 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : pas de dépassement des seuils DCE. L'examen des peuplements indique cependant que Denneville a des caractéristiques floristiques correspondant aux eaux ouvertes de la Manche.

2.5. Masse d'eau HC04 (Jobourg et Barneville)

Les données hydrologiques mesurées à Barneville et Jobourg entre 2003 et 2006 sont rassemblées sur les figures 24 à 26. Il s'agit de données acquises dans le cadre du programme COGEMA et exploitées dans le cadre du RHLN avec l'accord d'AREVA. Notons que les silicates ne sont pas suivis au cours de ce programme.

Barneville : Barneville est un point de suivi du programme COGEMA/AREVA. Il est caractéristique de la façade Ouest du Cotentin (Figure 25). En effet, les dessalures sont minimales, la période productive débute dès le mois de mars et les maxima de chlorophylle a dépassent rarement les 5 à 6 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Les stocks hivernaux en sels nutritifs sont légèrement plus faibles que sur Denneville et se rapprochent des niveaux atteints sur Chausey, soit 15 μM de nitrate et moins de 1 μM de phosphate.

Jobourg : Le point Jobourg est également un point de suivi du programme COGEMA/AREVA. Comme sur Barneville, les dessalures sont minimales (Figure 26), la période productive débute en mars avec des maxima de chlorophylle a ne dépassant pas les 5 à 6 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Les stocks hivernaux en sels nutritifs oscillent entre 15 et 20 μM de nitrate et moins de 1 μM de phosphate.

L'absence de donnée pour le silicate ne permet pas d'aborder l'évolution saisonnière du rapport Si/DIN. Néanmoins, l'étude de la distribution du rapport molaire N/P (Figure 24 : Jobourg à droite et Barneville à gauche) et l'examen des courbes d'évolution de l'azote (Figure 25 et Figure 26) montrent que l'azote ne présente jamais de carence marquée dans le milieu, même entre les mois de juillet et de septembre. Il est donc difficile de conclure à une limitation potentielle de la production planctonique par l'azote sur les deux points de suivi de cette masse d'eau, contrairement à ce qui apparaît sur les masses d'eau situées plus au Sud le long de la côte Ouest du Cotentin.

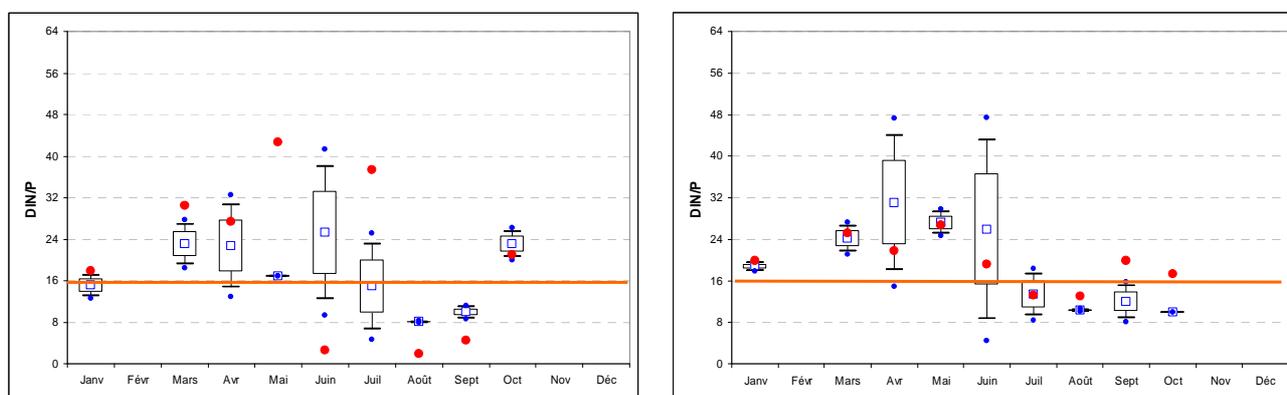


Figure 24 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Barneville (à gauche) et Jobourg (à droite). Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

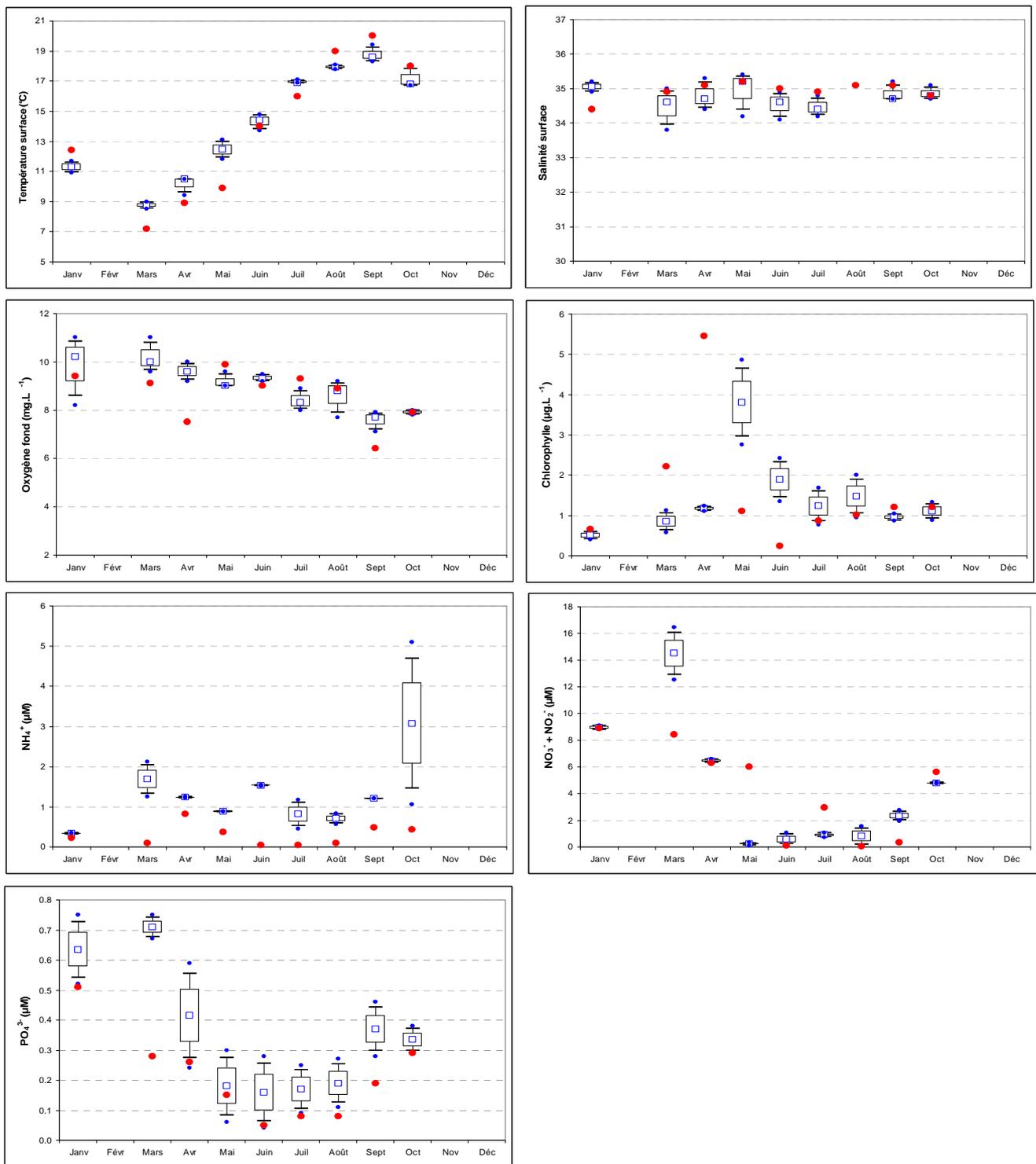


Figure 25 : Évolution des paramètres hydrologiques à Barneville entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

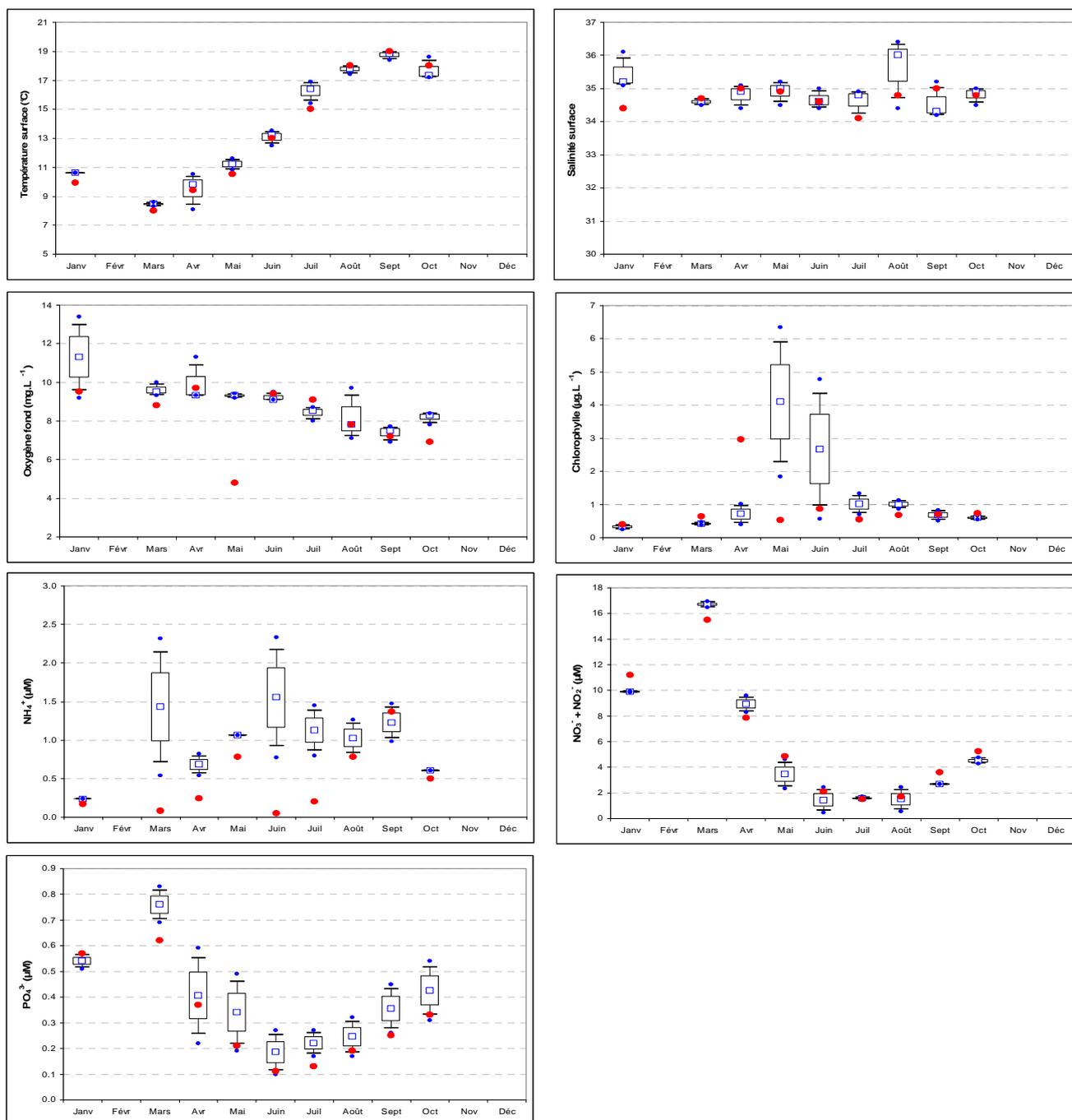


Figure 26 : Évolution des paramètres hydrologiques à Jobourg entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

Peuplements phytoplanctoniques :

Barneville

Distribution partielle des principaux taxons sur les 36 flores totales réalisées entre 2003 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : CHAE, RHIZDEL et SKELCOS : 21% ; PHAE : 14%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : 33% pour les taxons CHAE, PHAE et GYMNAG (*Gymnodinium nagasakiense*).

Évolution temporelle : la série de 36 flores totales réalisées permet de suivre l'évolution des taxons remarquables (Figure 27) :

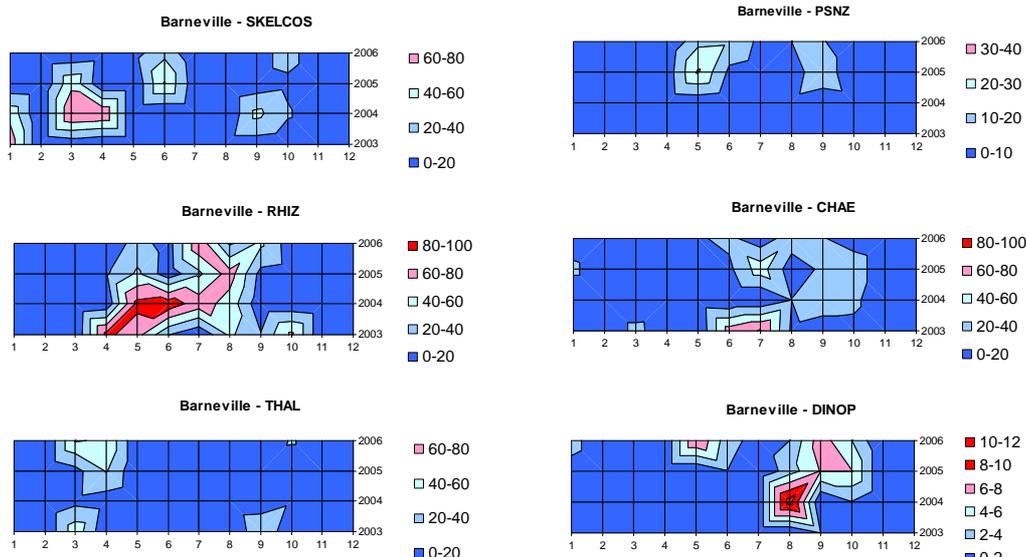


Figure 27 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Barneville.

Commentaires : sur le point de Barneville, à la pointe Nord-Ouest du Cotentin, les dinoflagellés sont un peu plus présents que sur les points situés plus au Sud, le long de la côte Ouest du Cotentin.

Jobourg

Distribution partielle des principaux taxons sur les 35 flores totales réalisées entre 2003 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PHAE : 43% ; RHIZDEL : 29% ; GYMNAG et CHAESOC (*Chaetoceros socialis*) : 14%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Evolution temporelle : les 35 flores totales réalisées permettent de suivre l'évolution de quelques taxons remarquables et caractéristiques de cette masse d'eau (Figure 28) :

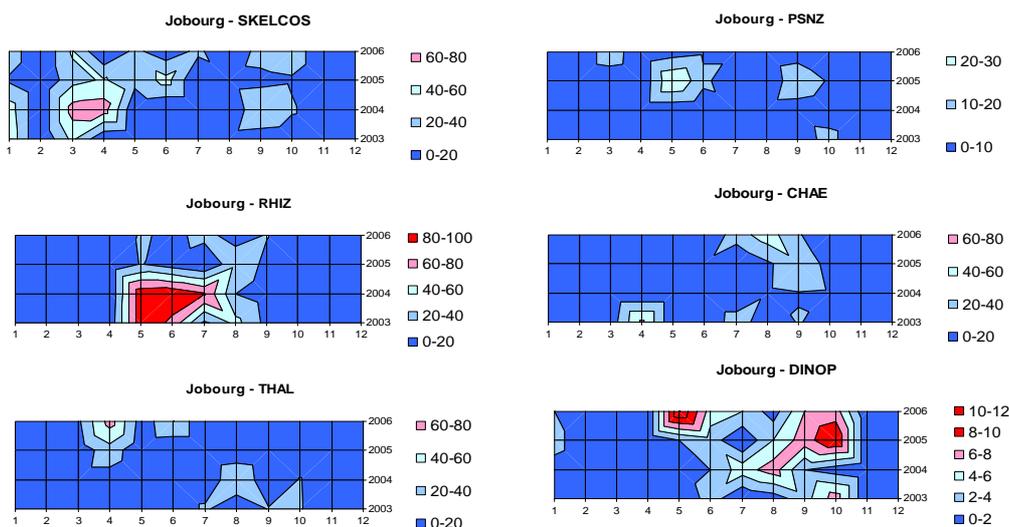


Figure 28 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Jobourg.

Commentaires : comme au point Barneville, les dinoflagellés sont plus présents que sur les points situés plus au Sud de la côte Ouest du Cotentin.

2.6. Masse d'eau HC05 (Gruchy)

Les données hydrologiques mesurées à Gruchy entre 2004 et 2005 sont rassemblées sur les figures 29 et 30. Ce point a été abandonné en 2006.

Le maximum de chlorophylle *a* a atteint $8.7\mu\text{g.L}^{-1}$ en 2004, contre seulement $2\mu\text{g.L}^{-1}$ en 2005 (Figure 30). Les maxima de dessalures sont observés au mois de mars mais restent très faibles (inférieurs à 1 pour mille). Les stocks de sels nutritifs en fin d'hiver (en mars) atteignent environ $20\mu\text{M}$ de nitrate, $10\mu\text{M}$ de silicate et moins d' $1\mu\text{M}$ de phosphate.

De juillet à septembre, la valeur du rapport molaire N/P (Figure 29 : graphique de gauche) oscille autour de la valeur seuil de 16. Mais 2004 et 2005 semblent avoir été deux années quelque peu différentes : la carence en azote, si carence il y a eu, semble avoir débutée dès juin en 2004, et seulement à partir de juillet en 2005 (avec une prolongation jusqu'en août dans les deux cas). Une carence en phosphore ne serait pas non plus à exclure en 2005, ainsi que le montre la Figure 30. Il y aurait par conséquent eu en 2005 une double limitation potentielle de la production de biomasse phytoplanctonique par l'azote et par le phosphore.

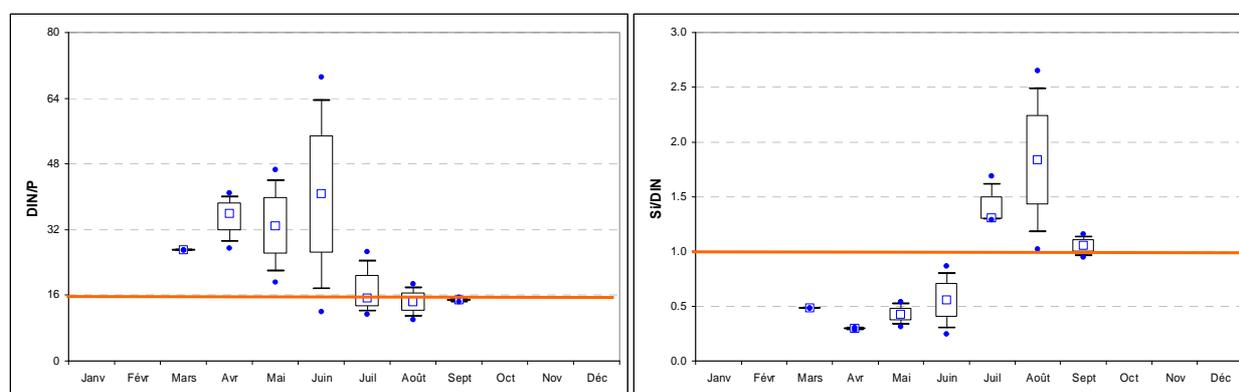


Figure 29 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Gruchy.
Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005.

L'étude du rapport Si/N (Figure 29 : graphique de droite), ainsi que l'examen des courbes de concentration de la Figure 30 montrent qu'il n'y a pas eu de limitation potentielle par le silicium durant les étés 2004 et 2005 sur cette masse d'eau, les concentrations en silicate n'étant jamais inférieures à $1\mu\text{M}$.

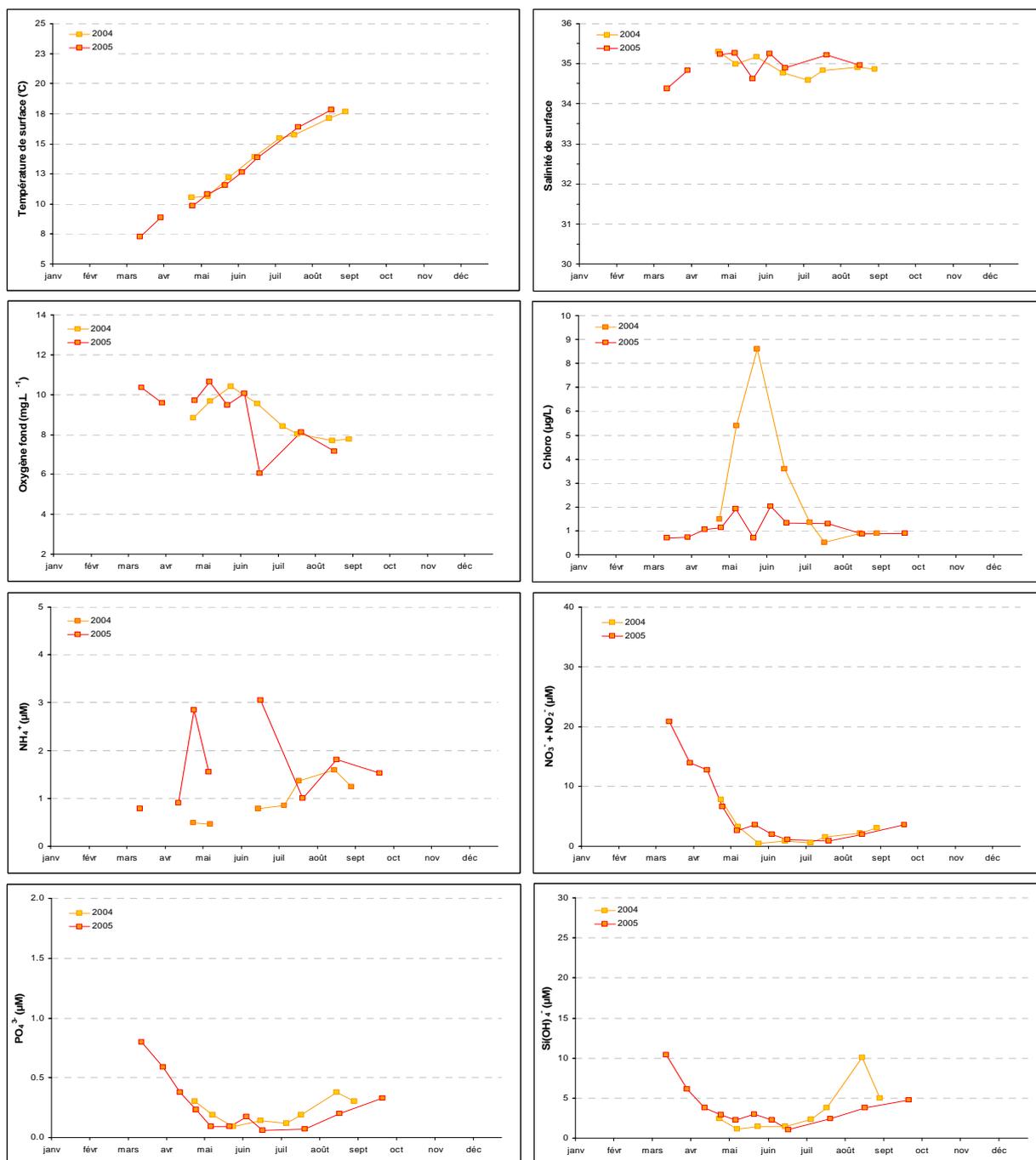


Figure 30 : Évolution des paramètres hydrologiques à Gruchy en 2004 et 2005.

Peuplements phytoplanctoniques sur Gruchy :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 19 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2005 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : RHIZDEL : 100%

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : Bien que nous ne disposions que de deux années d'échantillonnage, les peuplements présents semblent être représentatifs des eaux ouvertes de la Manche.

2.7. Masse d'eau HC60 et HC61 (Cherbourg et Digue de Querqueville)

Les données hydrologiques mesurées à Cherbourg entre 2004 et 2006, et sur la digue de Querqueville (HC61) en 2005 et 2006, sont rassemblées sur les figures 31 à 33. Le point Cherbourg se situe à l'extérieur de la rade et correspond à la masse d'eau HC60.

2.7.1. Cherbourg (HC60)

La période productive (Figure 31) débute vers la fin avril et s'amplifie au cours du mois de mai pour atteindre un pic de chlorophylle a compris entre 8 et 9 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Ce développement phytoplanctonique engendre une baisse marquée du phosphate et du nitrate, mais moins du silicate. Les maxima de dessalures sont observés au mois de mars mais ils restent très faibles (inférieurs à 1 pour mille par rapports aux moyennes). Les stocks de sels nutritifs en fin d'hiver (en mars) atteignent environ 25 μM de nitrate, 12 μM de silicate et moins d'1 μM de phosphate.

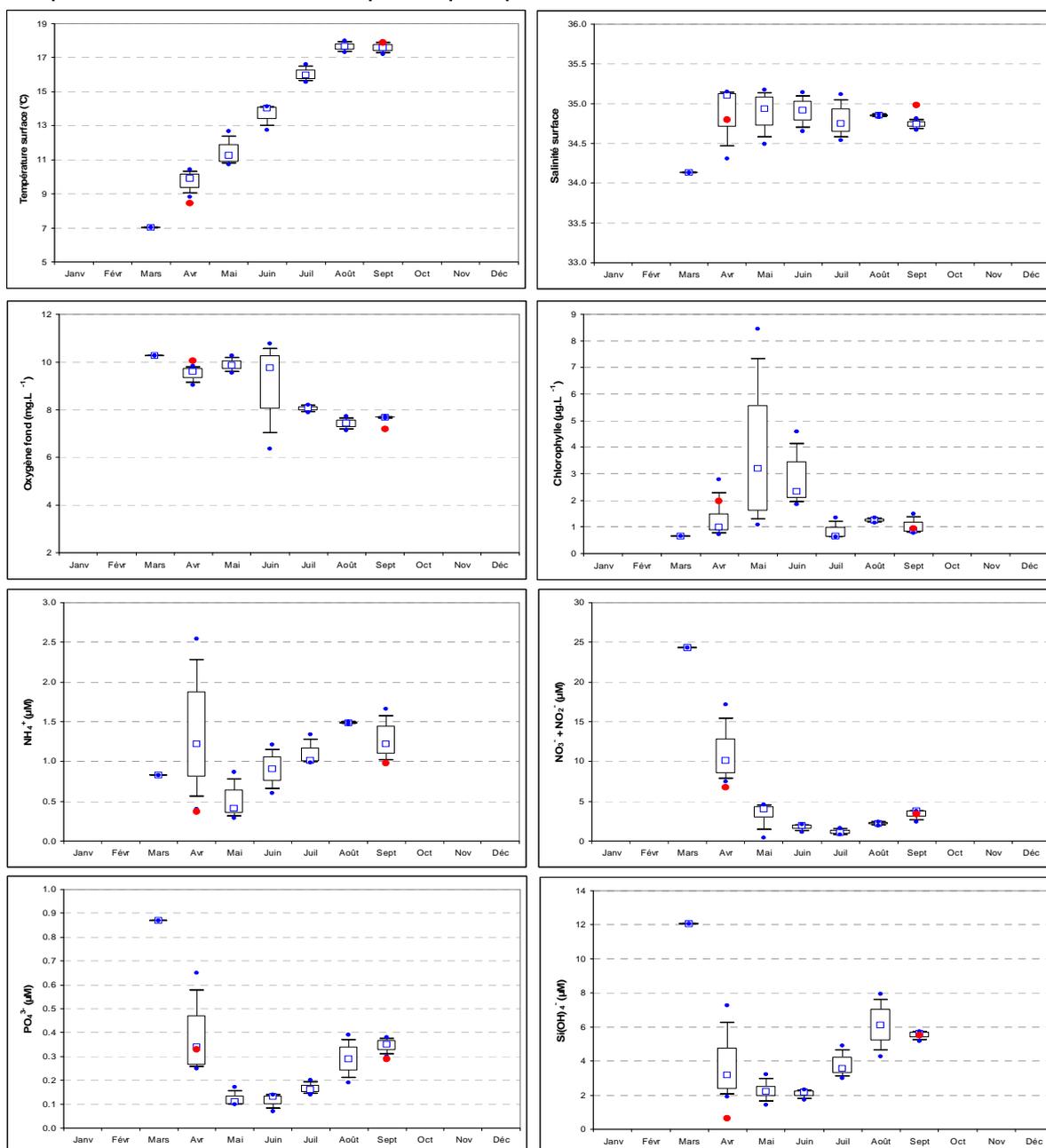


Figure 31 : Évolution des paramètres hydrologiques à Cherbourg entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.7.2. Digue de Querqueville (HC61)

Sur les deux années de suivi, la période productive (Figure 32) a débuté à l'intérieur de la rade de Cherbourg entre la fin avril et la fin mai. Les maxima en chlorophylle n'ont pas dépassé $3 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les dessalures maximales ont été observées au mois de mars, mais sont restées très faibles (inférieures à 1 pour mille par rapport aux moyennes). Les stocks de sels nutritifs en fin d'hiver (en mars) ont atteint, comme sur le point de l'extérieur de la rade, environ $25 \mu\text{M}$ de nitrate, $12 \mu\text{M}$ de silicate et moins d' $1 \mu\text{M}$ de phosphate.

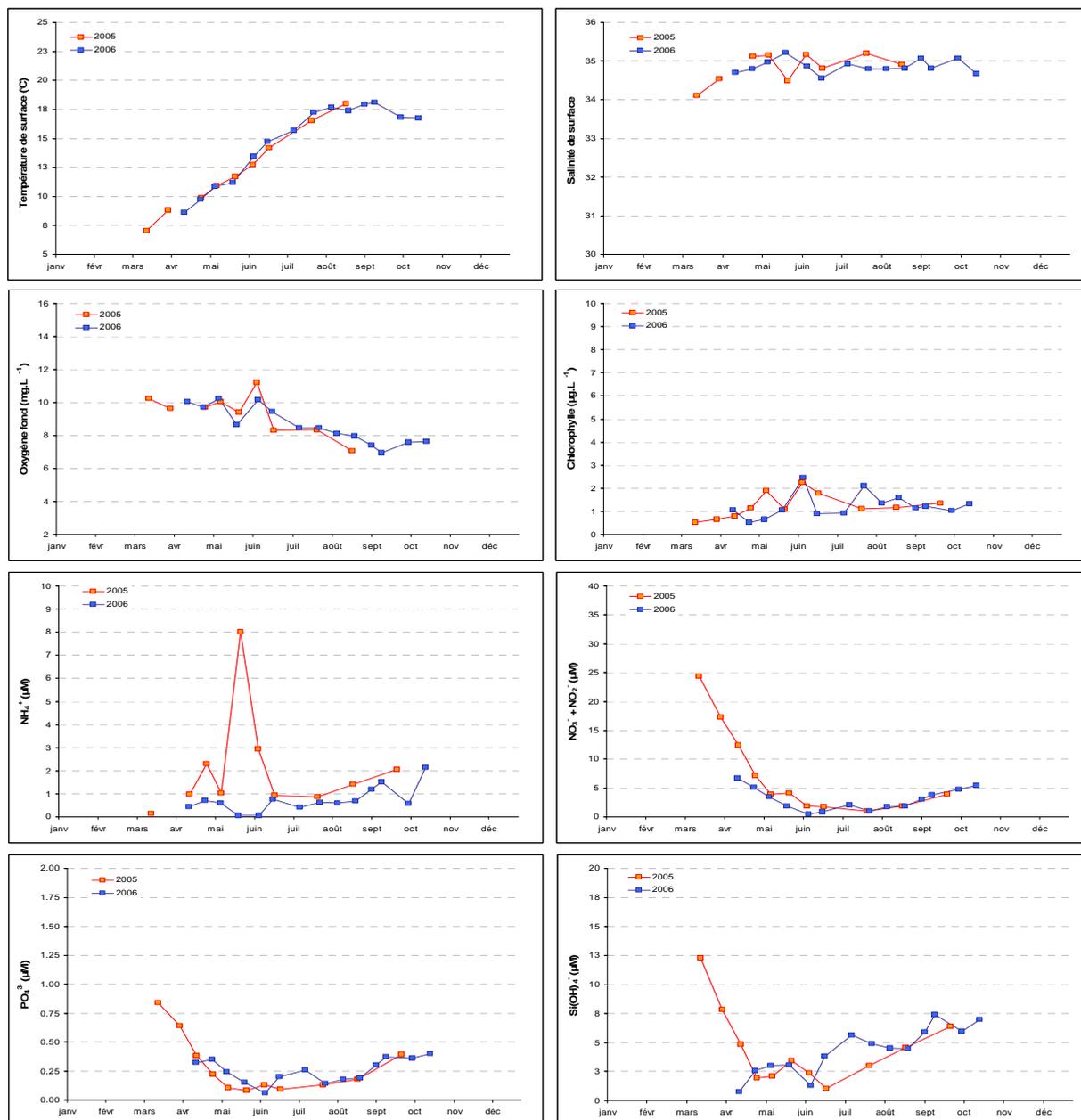


Figure 32 : Évolution des paramètres hydrologiques sur la digue de Querqueville en 2005 et 2006.

2.7.3. Limitations potentielles.

A partir du mois de Juillet, et jusqu'au mois de septembre (Figure 33), la valeur du rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963) se situe légèrement en dessous de la valeur seuil de 16. Cependant, les graphes pages précédentes (Figure 31 et Figure 32) montrent que l'azote ne présente pas de carence marquée à l'extérieur de la rade de Cherbourg, et que seule une carence très ponctuelle a pu être enregistrée début juin 2006 à la digue de Querqueville. Globalement, l'azote ne semble donc pas être à l'origine de limitation de la production phytoplanctonique sur ces deux masses d'eau (le silicium et le phosphore étant encore moins potentiellement limitants que l'azote durant la période productive).

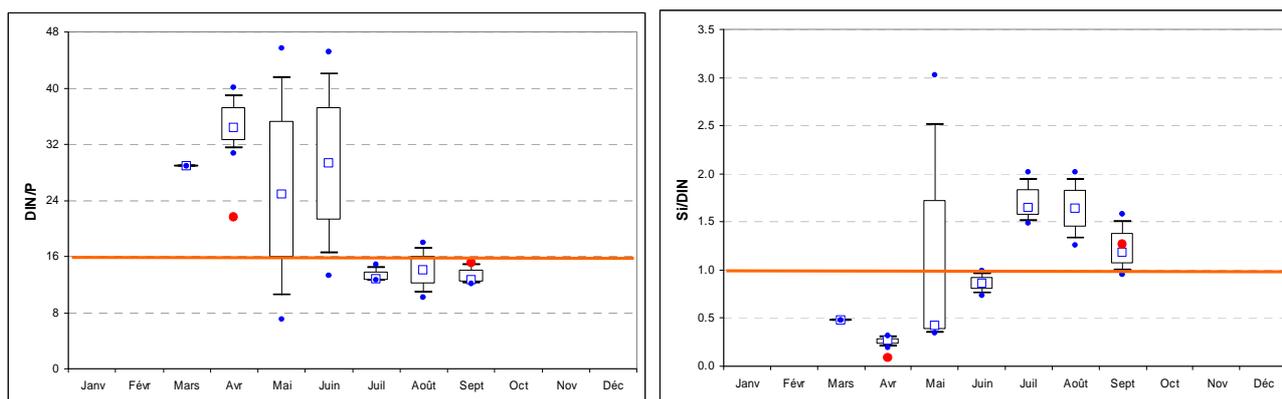


Figure 33 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Cherbourg. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

Peuplements phytoplanctoniques :

Cherbourg

Distribution partielle des principaux taxons sur 22 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : RHIZDEL : 100%

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : les peuplements phytoplanctoniques présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche.

Digue de Querqueville

Distribution partielle des principaux taxons sur 25 flores (partielles) réalisées entre 2005 et 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : 50% pour SKELCOS et CHAE.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : contrairement aux flores du point Cherbourg, *i.e.* de l'extérieur de la rade, nous observons dans la masse d'eau HC61 des peuplements plus caractéristiques des baies, avec une plus forte dominance des espèces telles que *Skeletonema costatum*.



2.8. Masse d'eau HC07 (Cap Lévy)

Les données hydrologiques, mesurées au Cap Lévy entre 2004 et 2006, sont rassemblées sur les figures 34 et 35.

En 2004 et 2005, la période productive a débuté entre les mois d'avril et de mai au point Cap Lévy (Figure 35), soit un mois plus tard que ce qu'indiquent les images satellite acquises sur la période 1997/2006 (Cf. Annexe 2). Les courbes de biomasses chlorophylliennes ont présenté des allures très différentes entre 2004 et 2005, du moins en ce qui concerne les valeurs maximales atteintes : le maximum enregistré en 2004 a en effet atteint $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ alors que le maximum enregistré en 2005 est resté inférieur à $3 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Les salinités sont restées stables et ont oscillé entre 35 et 34 pour mille. Le manque de données concernant les sels nutritifs durant les premiers mois de l'année empêche d'évaluer les stocks hivernaux. Néanmoins, les valeurs obtenues en mars (i.e. avant le début de la période productive au sein de cette masse d'eau) permettent d'en donner une estimation. Ils seraient de l'ordre de $25 \mu\text{M}$ de nitrate, $12 \mu\text{M}$ de silicate et entre $0,5$ et $1 \mu\text{M}$ de phosphate.

Le rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963) oscille autour de la valeur seuil de 16 entre juillet et septembre 2004, et ne se rapproche de cette valeur seuil qu'à partir d'août en 2005 (Figure 34 : graphique de droite). Il est donc difficile de conclure quant à une éventuelle limitation de la production phytoplanctonique par l'azote ou le phosphore d'après les données disponibles.

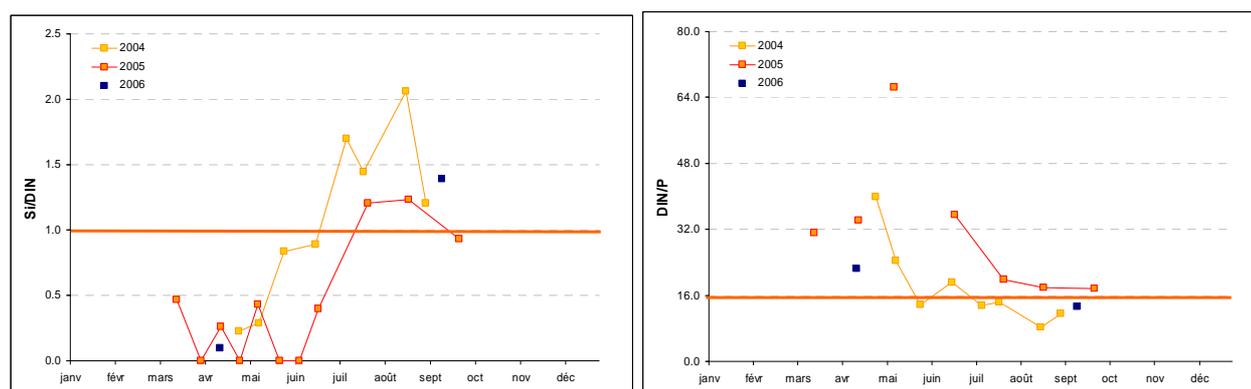


Figure 34 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Cap Lévy.

De même, l'étude du rapport molaire Si/N (Figure 34 : graphique de gauche), ainsi que l'examen des courbes de concentration en sels nutritifs de la Figure 35 ne permettent pas non plus de conclure à une quelconque limitation potentielle de la production de biomasse phytoplanctonique au sein de la masse d'eau HC07 par le nitrate ou le silicate au cours des saisons productives de 2004 et de 2005.

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 21 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : 50% pour RHIZDEL et PSNZ.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche.

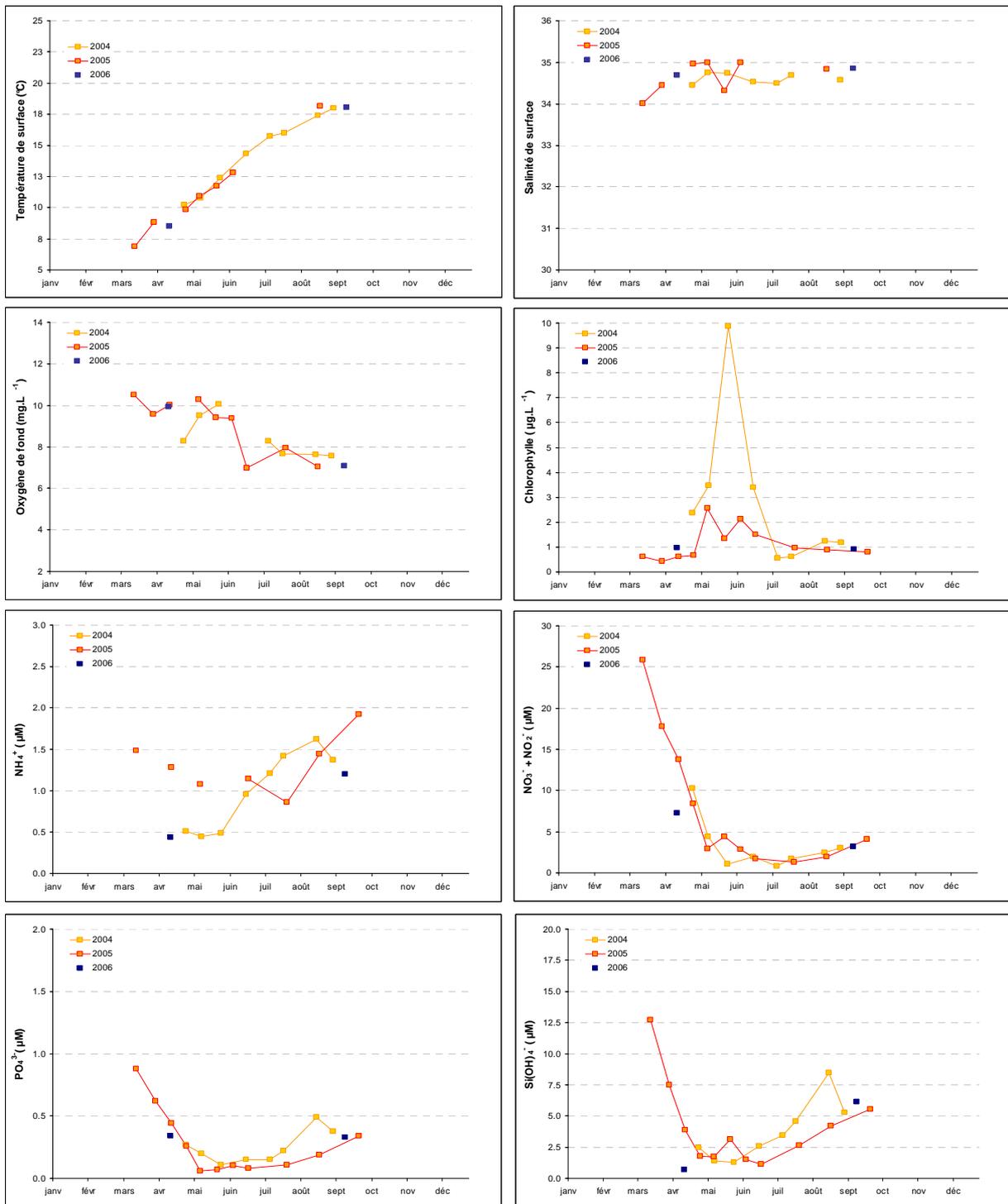


Figure 35 : Évolution des paramètres hydrologiques au Cap Lévy entre 2004 et 2006.

2.9. Masse d'eau HC08 (Réville)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Réville entre 2004 et 2006, sont rassemblées sur les figures 36 et 37.

Le point Réville de la masse d'eau HC08 (Figure 37) est indirectement soumis aux apports terrigènes de la Saire (se jetant dans la masse d'eau HC09 située dans le Sud de la masse d'eau HC08) qui remontent vers le Nord suivant la résiduelle des courants de marée dans ce secteur. Mais ces apports d'eau douce ne semblent pas avoir d'influence sur la salinité qui ne connaît pas de fortes fluctuations, les dessalures enregistrées entre 2004 et 2006 étant restées inférieures à 1 pour mille par rapports aux moyennes.

La période productive a débuté au mois d'avril entre 2004 et 2006, et a atteint un maximum de biomasse chlorophyllienne de l'ordre de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ au cours du mois de mai. Cette production chlorophyllienne génère une diminution marquée des teneurs en sels nutritifs, et notamment du nitrate dont les concentrations sont très faibles (inférieures ou égales à $1 \mu\text{M}$) tout au long des mois de juillet et d'août.

D'après l'évolution du rapport molaire N/P de la Figure 36 (selon Redfield et al, 1963), la carence en azote pourrait générer une limitation de la production de biomasse phytoplanctonique à partir du mois de juillet et ceci jusqu'au mois de septembre (du moins d'après les données acquises entre 2004 et 2006). L'étude du rapport molaire Si/N confirme cette limitation potentielle de l'azote entre juillet et septembre.

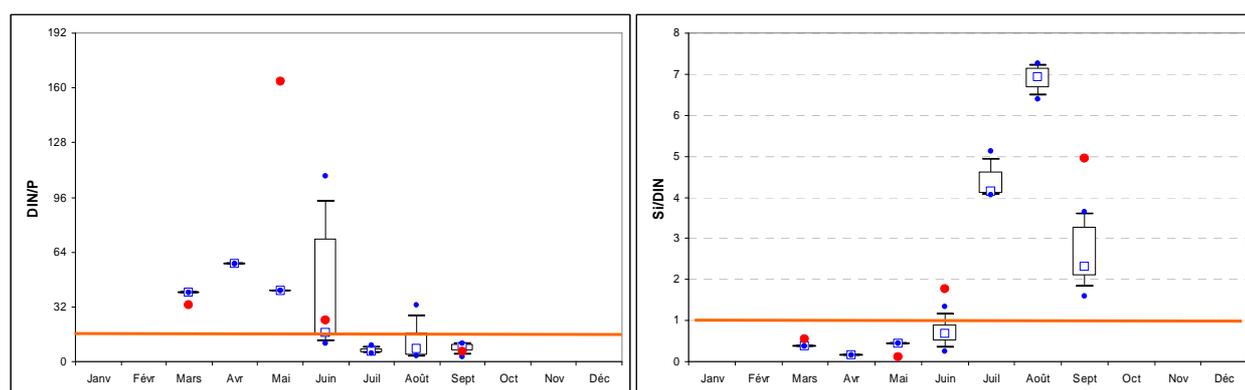


Figure 36 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Réville.

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 37 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 52% ; CHAE : 14% et 10% pour PHAE et RHIZDEL.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 67% et LEPT (*Leptocylindrus* sp.) : 33%.

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche avec des influences des milieux estuariens.

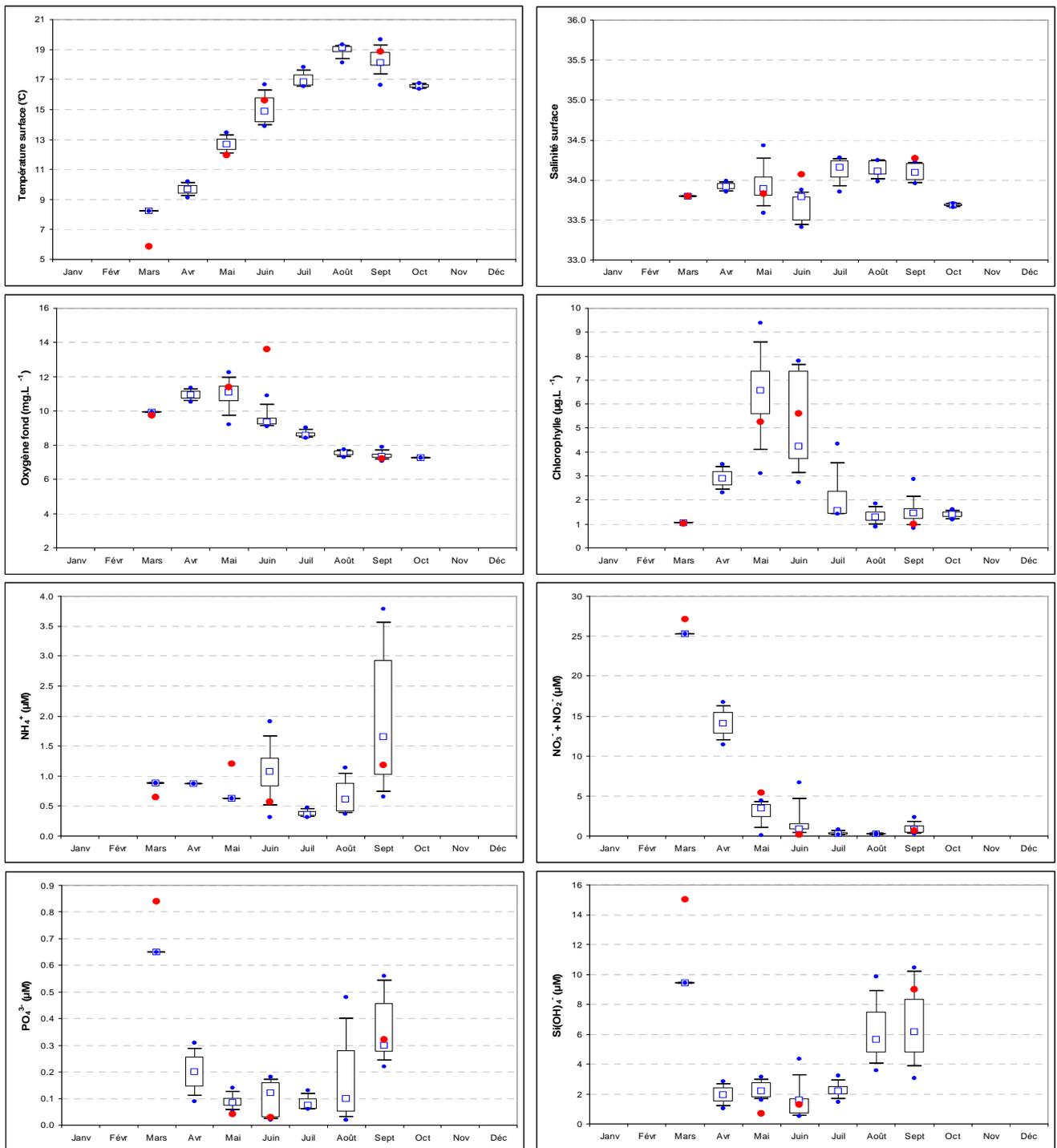


Figure 37 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Réville entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.10. Masse d'eau HC09 (La Hougue et les Gougins)

Les données hydrologiques, mesurées sur les points de La Hougue (anciennement St Vaast) entre 2003 et 2006, et Les Gougins en 2006, sont rassemblées sur les figures 38 à 40.

2.10.1. La Hougue

La masse d'eau HC09, au niveau du point La Hougue (Figure 38), est soumise aux apports de la Saire qui influencent légèrement la salinité de la zone (variations de l'ordre de 2 à 3 pour mille aux mois de février et mars). La période productive débute dès la fin du mois de mars et peut atteindre une production maximale de biomasse chlorophyllienne de l'ordre de $12 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les apports de la Saire font que les stocks hivernaux sont plus importants que sur le Nord Est du Cotentin (masses d'eau HC07 et HC08) et atteignent $30 \mu\text{M}$ de nitrate, plus de $16 \mu\text{M}$ de silicate et plus de $1 \mu\text{M}$ de phosphate.

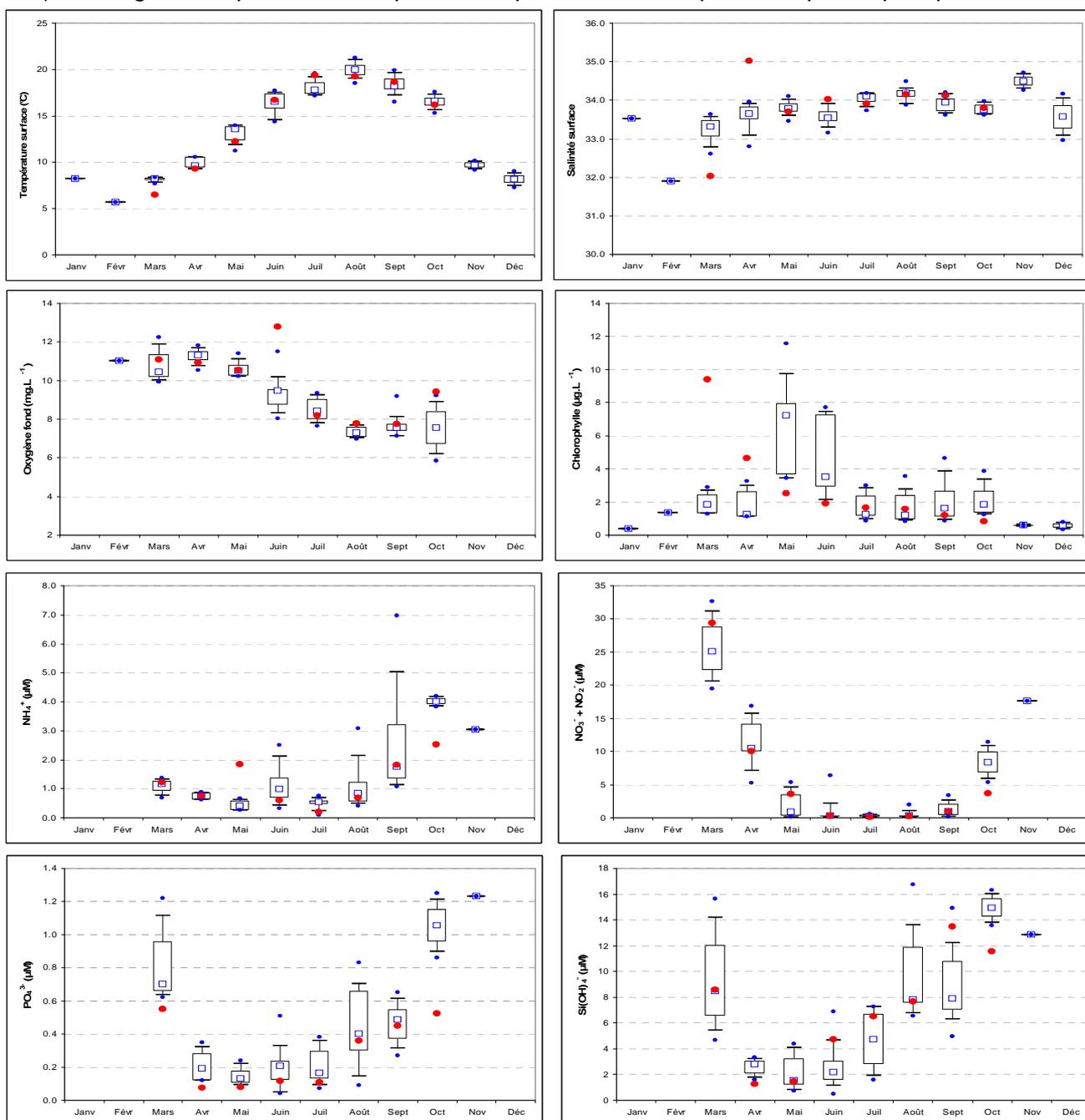


Figure 38 : Évolution des paramètres hydrologiques sur La Hougue entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).



2.10.2. Les Gougins

Le cycle hydrobiologique sur le point des Gougins semble être tout à fait comparable à celui observé sur le point de La Hougue. Les dessalures ont été modérées en 2006 (de l'ordre de 2 pour mille par rapport aux moyennes), et le pic maximum de chlorophylle *a* atteint $14 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figure 39). Les stocks hivernaux étaient de $30 \mu\text{M}$ de nitrate, plus de $15 \mu\text{M}$ de silicate, et moins de $1 \mu\text{M}$ de phosphate.

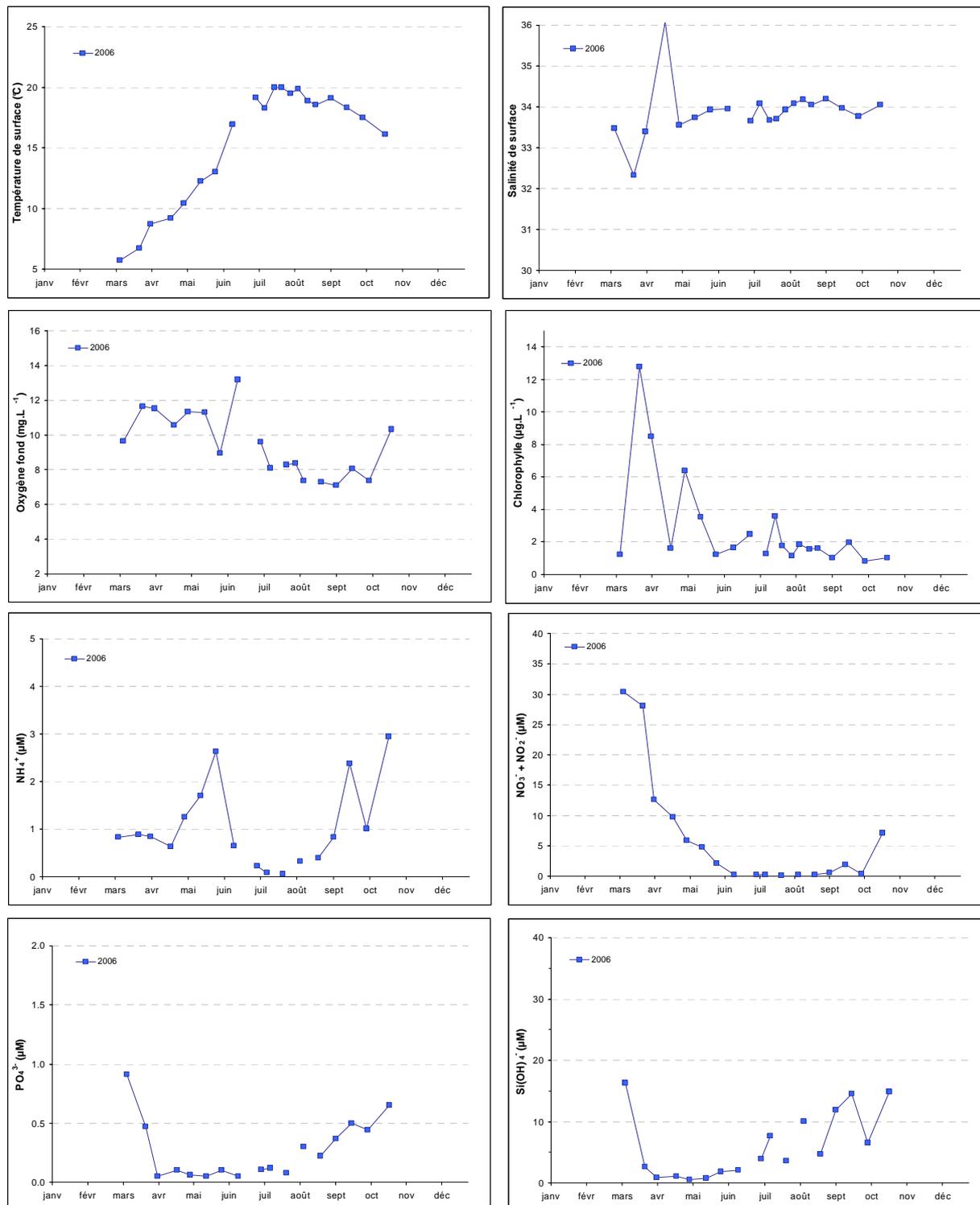


Figure 39 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Les Gougins en 2006.



2.10.3. Limitations potentielles par les sels nutritifs

D'après l'évolution du rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963), l'azote pourrait être un sel limitant à partir du mois de juin et ceci jusqu'au mois de septembre sur le point de La Hougue (Figure 40). Les rapports DIN/P sont en effet très nettement inférieurs à la valeur seuil de 16, et les teneurs en azote sont quasiment nulles, ainsi que l'indiquent les courbes d'évolution des teneurs en nitrate de la Figure 38. L'étude du rapport molaire Si/N confirme qu'il n'y a, *a priori*, pas de limitation potentielle de la production phytoplanctonique par le silicate durant l'été (entre juillet et septembre), mais que les niveaux sont très bas de mars à juin sur les Gougins (Figure 39 : suivi sur 2006 uniquement).

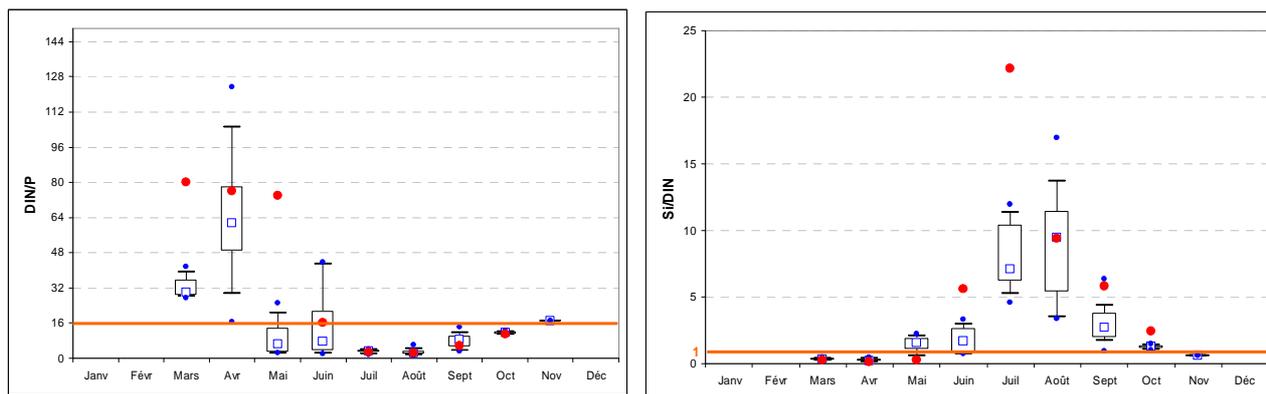


Figure 40 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point La Hougue.

Peuplements phytoplanctoniques :

La Hougue

Distribution partielle des principaux taxons sur les 78 flores (partielles) réalisées entre 2003 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 30% ; 16% PHAE et RHIZDEL et 12% CHAE et RHIZSTO (*Rhizosolenia stolterfothii*).

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 44% ; CHAE : 22% et 11% PSNZ, THAL et LEPT (*Leptocylindrus* sp.).

Commentaires : les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche avec des influences des milieux estuariens.

Les Gougins

Distribution partielle des principaux taxons sur les 21 flores (partielles) réalisées en 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : THAL : 38% et 13% PHAE, PSNZ, RHIZDEL, CHAE, ODONAUR (*Odontella aurita*).

Seuil > 1 000 000 cellules/L : 33% PHAE, CHAE et THAL.

Commentaires : les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche.

2.11. Masse d'eau HC10 (Grandcamp, St Germain de Varreville et Utah Beach)

Les données hydrologiques, mesurées sur les points de Grandcamp entre 2001 et 2006, de St Germain de Varreville entre 2001 et 2005 et d'Utah Beach en 2006, sont rassemblées sur les figures 41 à 44.

2.11.1. Grandcamp

La masse d'eau HC10 au niveau du point Grandcamp est soumise aux apports terrigènes de la Taute, la Vire, l'Aure et la Douve (via la masse d'eau HT6). Ceci est perceptible au niveau de la salinité qui montre des variations de l'ordre de 2 à 3 pour mille (Figure 41). La période productive débute dès la fin du mois de mars et atteint un maximum de biomasse chlorophyllienne de l'ordre de 15 µg/L en moyenne (valeur extrême de 25 µg/L mesurée en avril 2003).

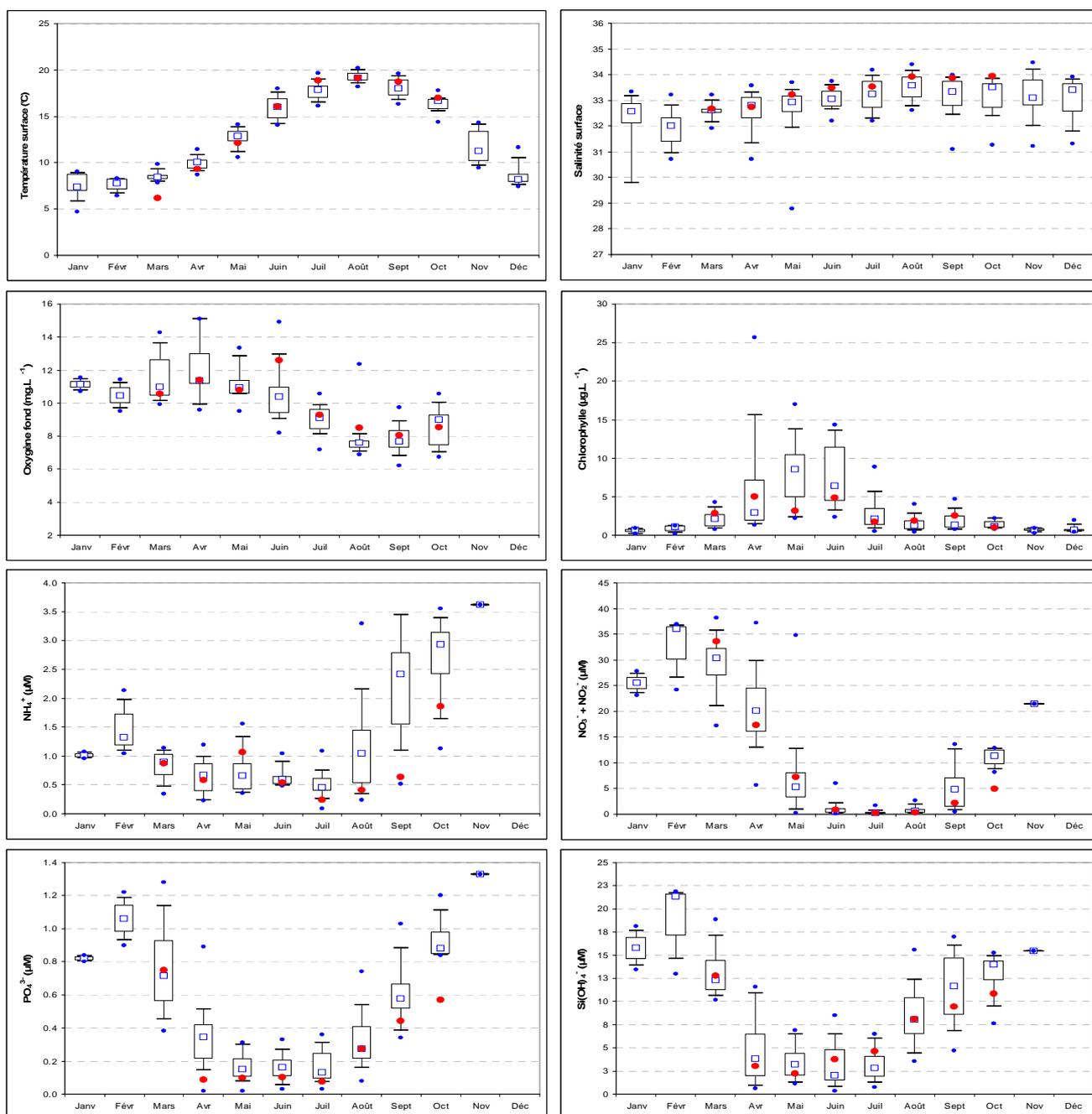


Figure 41 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Grandcamp entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

Les apports terrigènes du fond de la baie des Veys sont à l'origine de stocks hivernaux en sels nutritifs assez élevés : de 35-40 μM de nitrate, plus de 20 μM de silicate et plus de 1 μM de phosphate. Les teneurs en ammonium sont également à noter : elles restent peu élevées ($< 1 \mu\text{M}$) jusqu'en août, mais atteignent ensuite (et jusqu'en novembre) des teneurs comprises entre 2 et 4 μM .

2.11.2. St Germain de Varreville

Situé dans le Nord de la masse d'eau HC10, le point St Germain est moins sous l'influence des apports fluviaux du fond de la baie des Veys que ne l'est le point de Grandcamp. Par conséquent, les dessalures sont moins marquées et, du fait de la moindre recharge des eaux en sels nutritifs au long de la période productive, la biomasse chlorophyllienne n'est pas aussi élevée que sur Grandcamp (Figure 42). Les maxima sont atteints au mois de mai avec des teneurs de l'ordre de 12 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Le manque de données sur les sels nutritifs ne permet pas d'estimer dès à présent les stocks hivernaux.

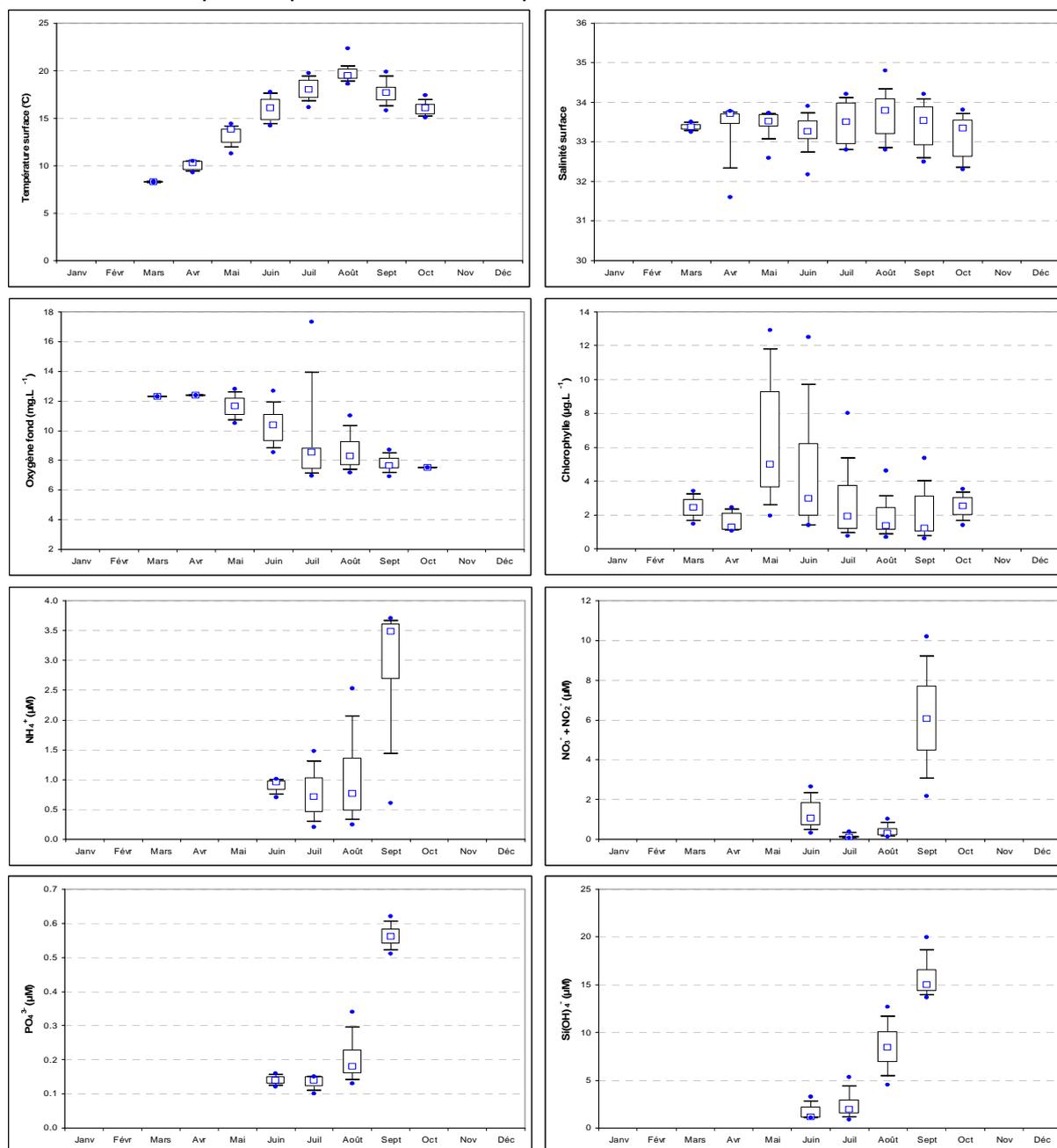


Figure 42 : Évolution des paramètres hydrologiques sur St Germain de Varreville entre 2001 et 2005. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005.

2.11.3. Utah Beach

Le point Utah Beach n'a été suivi qu'en 2006 (Figure 43), mais il permet de confirmer l'influence des apports terrigènes dans le Sud de la masse d'eau HC10 : les teneurs en chlorophylle a (environ 20µg/L) et les stocks hivernaux en sels nutritifs semblent, en effet, être du même ordre de grandeur que sur Grandcamp.

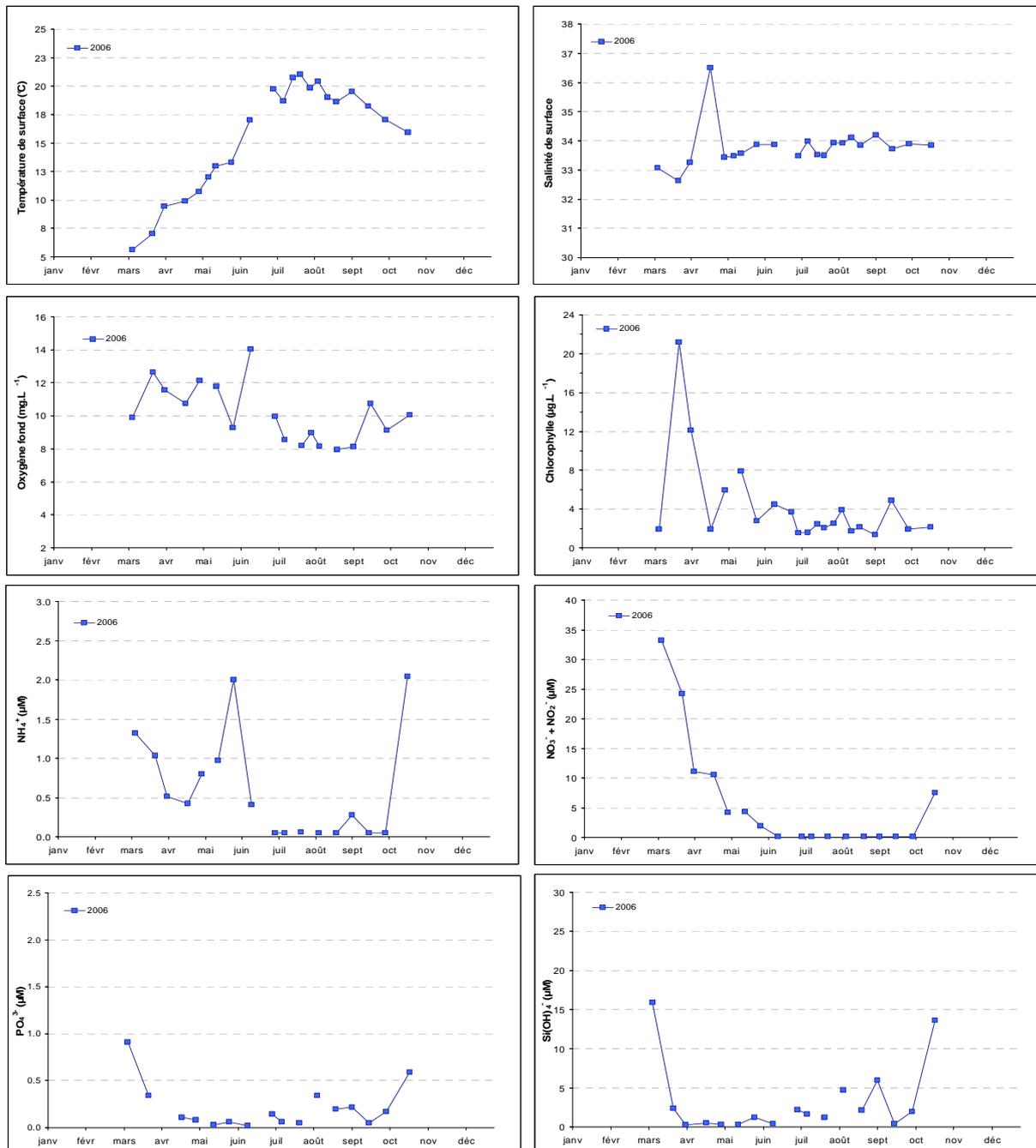


Figure 43 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Utah Beach en 2006.

2.11.4. Limitations potentielles par les sels nutritifs

Les graphes présentant l'évolution des concentrations en sels nutritifs (Figure 41), et la Figure 44 présentant l'évolution du rapport molaire DIN/P, indiquent une limitation potentielle de la production de biomasse chlorophyllienne par l'azote entre les mois de juin et d'août sur le point de Grandcamp

(gauche). Sur Utah Beach, nous ne disposons que d'une seule année de suivi, et il est donc difficile de conclure quant à une limitation franche de la production phytoplanctonique par l'azote. L'étude du rapport molaire Si/N semble confirmer sur Grandcamp la limitation potentielle de l'azote entre juin et d'août (Figure 44 à droite).

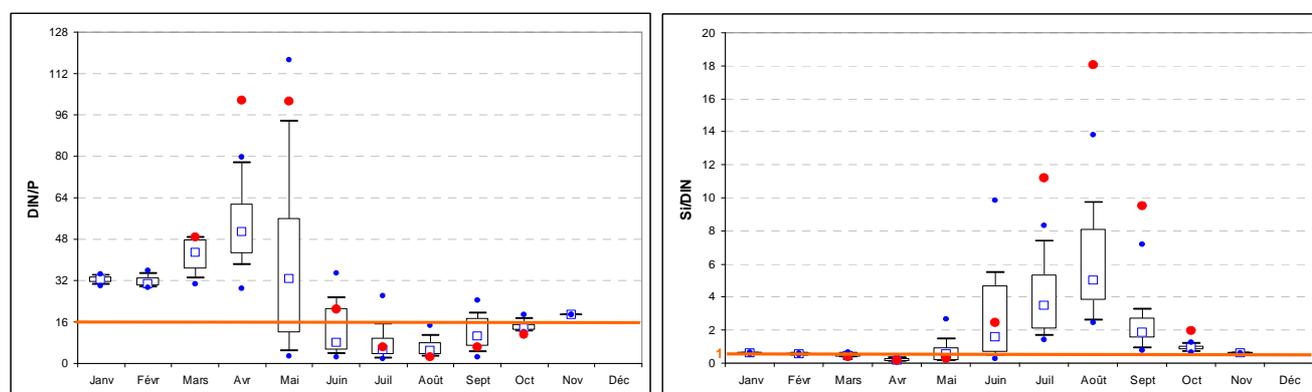


Figure 44 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Grandcamp.

Peuplements phytoplanctoniques :

Grandcamp

Distribution partielle des taxons sur les 71 flores totales et les 77 flores partielles réalisées entre 2001 et 2006, et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : RHIZDEL : 22% ; PSNZ : 19% ; 15% PHAE, CHAE et RHIZSTO.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 64% ; RHIZDEL : 18%.

Commentaires : le point Grandcamp fait partie de la masse d'eau HC10, mais la proximité de la masse d'eau de transition HT6 est évidente à l'examen des flores phytoplanctoniques. Les peuplements rencontrés sont caractéristiques des milieux estuariens ouverts ⁴.

Saint Germain de Varreville

Distribution partielle des principaux taxons sur les 81 flores (partielles) réalisées entre 2001 et 2005 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 38% ; 17% : PHAE et RHIZSTO.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 43% ; PSNZ : 29% et RHIZDEL : 14%.

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche avec une influence des milieux estuariens.

Utah Beach

Distribution partielle des principaux taxons sur les 22 flores (partielles) réalisées en 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : CHAE : 29% ; 14% : PHAE et PSNZ.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : CHAE : 50% ; PHAE : 33% et THAL : 17%.

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche avec des influences des milieux estuariens.

⁴ Pour l'évolution temporelle, voir la fiche de la masse d'eau HT6 (page 63) qui présente la synthèse des flores totales réalisées sur Grandcamp et sur Gêfosse.

2.12. Masse d'eau HT6 (Géfosse)

Les données hydrologiques acquises à Géfosse de 2002 à 2006, sont données par les figures 45 et 46.

La masse d'eau HT6 est directement soumise aux apports de la Vire, de l'Aure, de la Taute, et de la Douve. Ceci est mis en évidence par le graphe (Figure 47) présentant la salinité de la masse d'eau qui connaît des variations de l'ordre de 3,5 pour mille d'amplitude. La période productive débute dès la fin du mois de mars et la production de biomasse chlorophyllienne atteint son maximum en mai-juin (valeur maximale de $25 \mu\text{g.L}^{-1}$ mesurée en juin 2002). Les apports terrigènes du fond de la baie sont à l'origine de la constitution de stocks hivernaux en sels nutritifs assez élevés : 40-50 μM de nitrate, plus de 20 μM de silicate et plus de 1 μM de phosphate.

Les teneurs en ammonium restent peu élevées ($< 1 \mu\text{M}$) jusqu'en août, mais elles augmentent en automne pour atteindre communément des valeurs comprises entre 2 et 3 μM . D'après l'évolution du rapport molaire N/P (Figure 45, graphe de gauche), ainsi que les courbes de concentration en nitrate de la Figure 47, l'azote est susceptible d'être le sel limitant de la production primaire entre fin juin et août au sein de la masse d'eau HT6. L'étude du rapport molaire Si/N (graphe de droite de la Figure 45) confirme cette limitation potentielle de l'azote entre fin juin et août sur le point Géfosse.

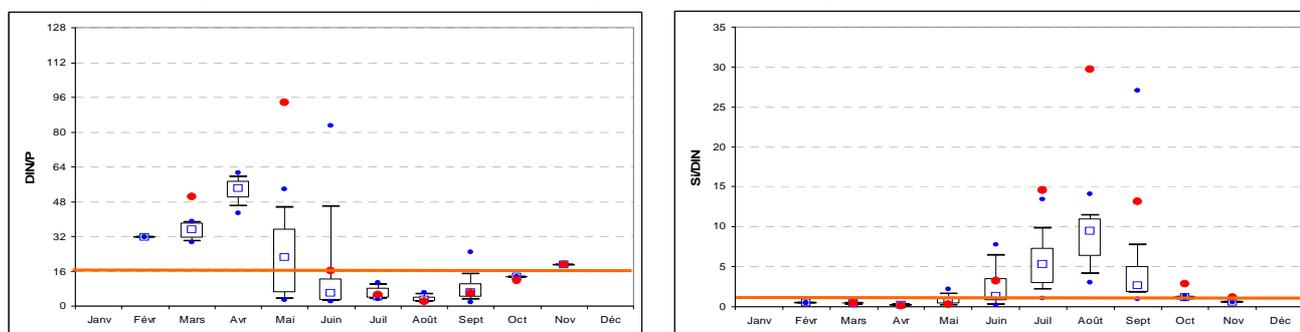


Figure 45 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Géfosse.

Peuplements phytoplanctoniques :

Évolution temporelle : les 155 flores totales réalisées sur les points de Grandcamp et de Géfosse permettent de suivre l'évolution des principaux taxons dans le temps (Figure 46).

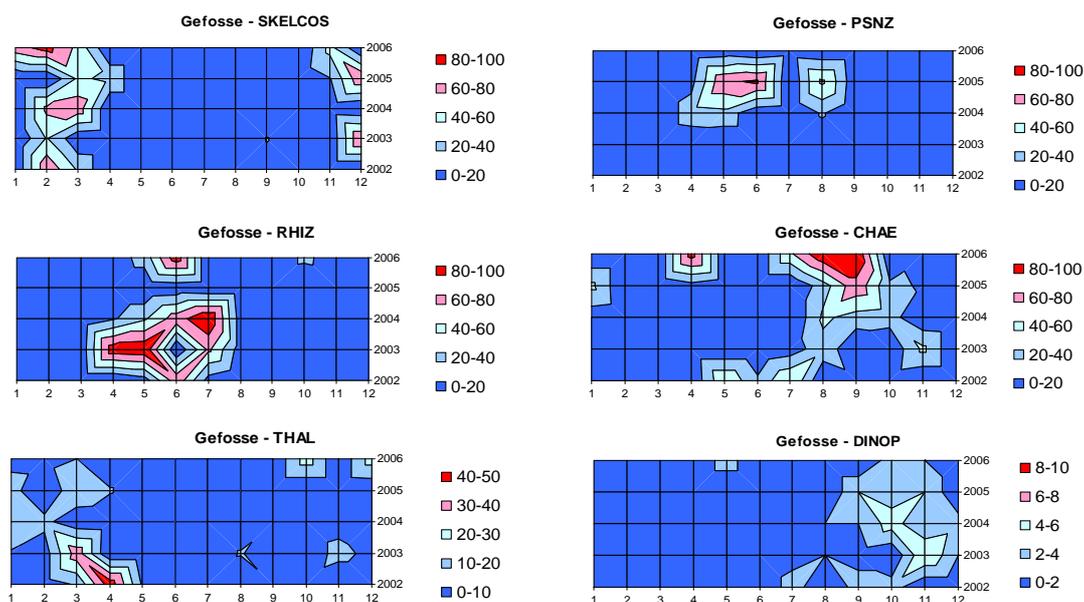


Figure 46 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Géfosse.

Distribution partielle des taxons sur les 84 flores totales et 38 flores partielles réalisées entre 2002 et 2006, et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 20% ; 15% RHIZDEL et CHAE ; RHIZSTO : 12%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 36% ; PSNZ : 21% ; 14% RHIZDEL, CHAE et LEPT.

Commentaires : Cette succession d'espèces et de peuplements est caractéristique des milieux estuariens et des baies. Néanmoins, l'influence des dinoflagellés n'est pas très marquée.

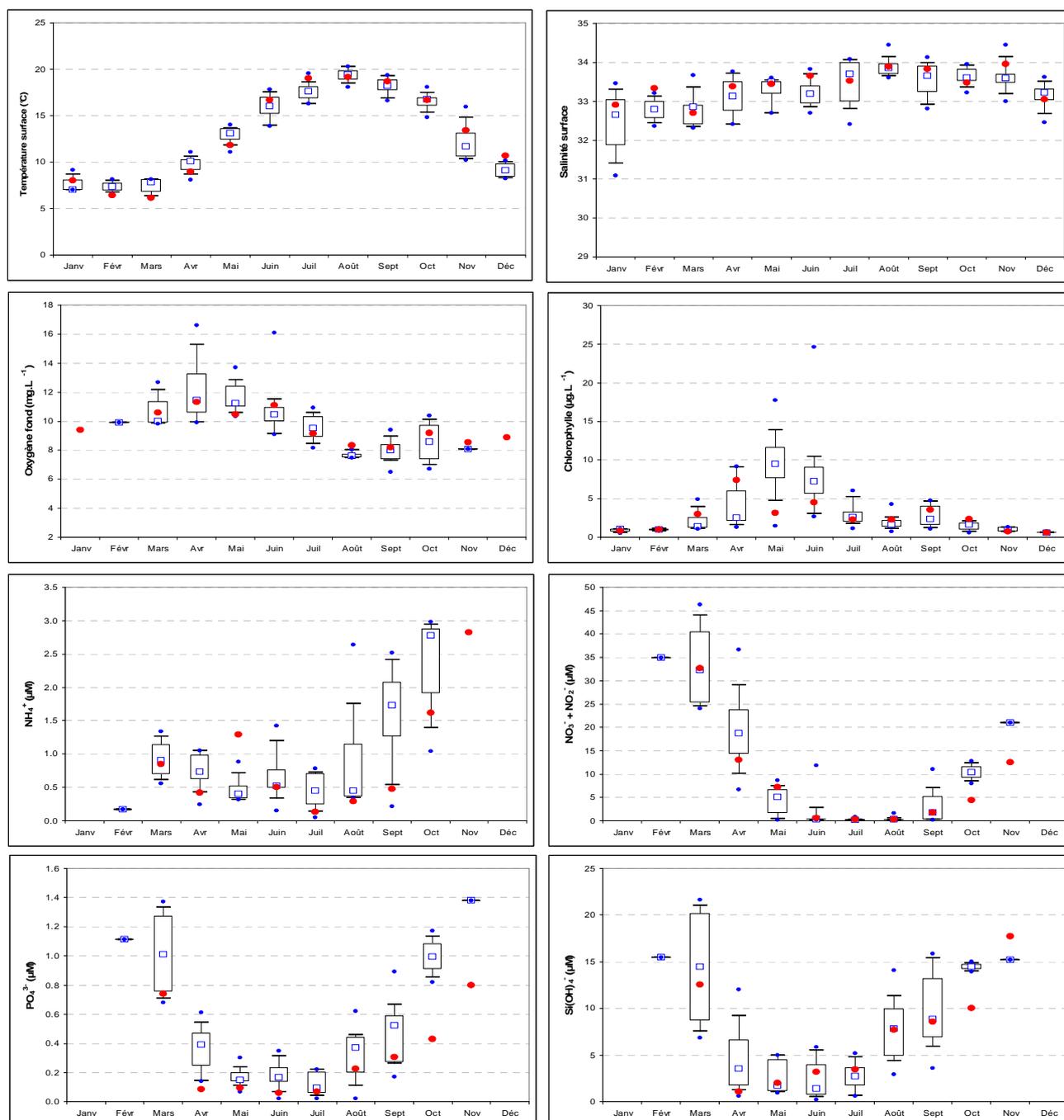


Figure 47 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Géfosse entre 2002 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2002-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.13. Masse d'eau HC11 (Port en Bessin)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Port en Bessin entre 2004 et 2006, sont rassemblées sur les figures 48 et 49.

La masse d'eau HC11 ne reçoit pas d'apports directs importants en provenance des bassins versants, ce qui explique les faibles fluctuations de salinité (de l'ordre de un pour mille) et des stocks hivernaux du même ordre de grandeur que sur le point La Hougue (HC09), soit entre 25 et 30 μM de nitrate, 15 à 20 μM de silicate et moins de 1 μM de phosphate (Figure 49). La période productive débute entre la fin mars et le début du mois d'avril et les teneurs maximales en chlorophylle a sont comprises entre 12 à 14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ entre mai et juin.

D'après l'évolution du rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963), ainsi que les graphes de concentrations en sels nutritifs de la Figure 49, l'azote pourrait être le sel limitant de la production de biomasse en juillet et août. L'étude du rapport molaire Si/N confirme cette limitation potentielle par l'azote en juillet et août (Figure 48).

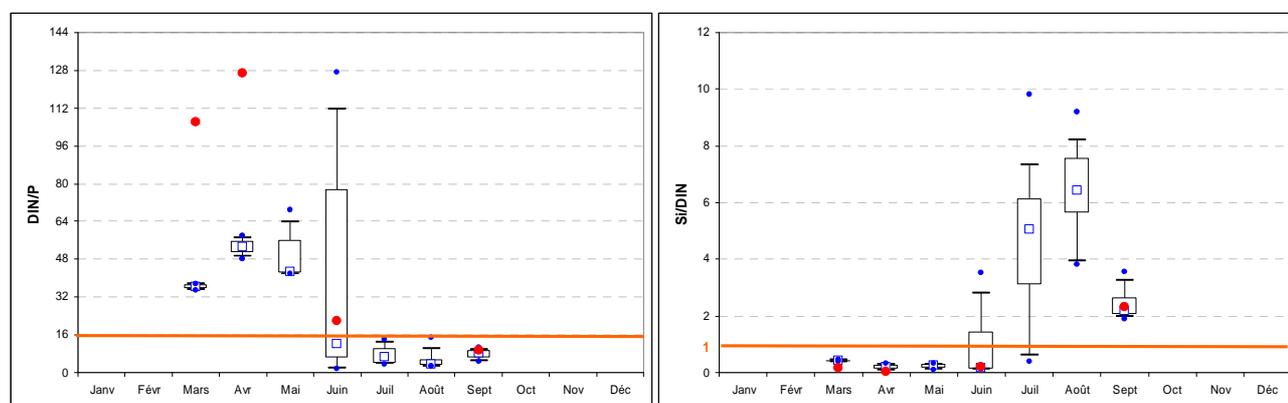


Figure 48 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Port en Bessin.

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 55 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 40% ; 11% RHIZDEL, LEPT.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : LEPT : 36% ; 18% PHAE et PSNZ.

Commentaires : les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche avec des influences des milieux estuariens. L'absence d'estuaire sur le secteur permet de s'interroger sur l'influence que pourraient avoir les résurgences de l'Aure, nombreuses de part et d'autre du port de Port en Bessin.

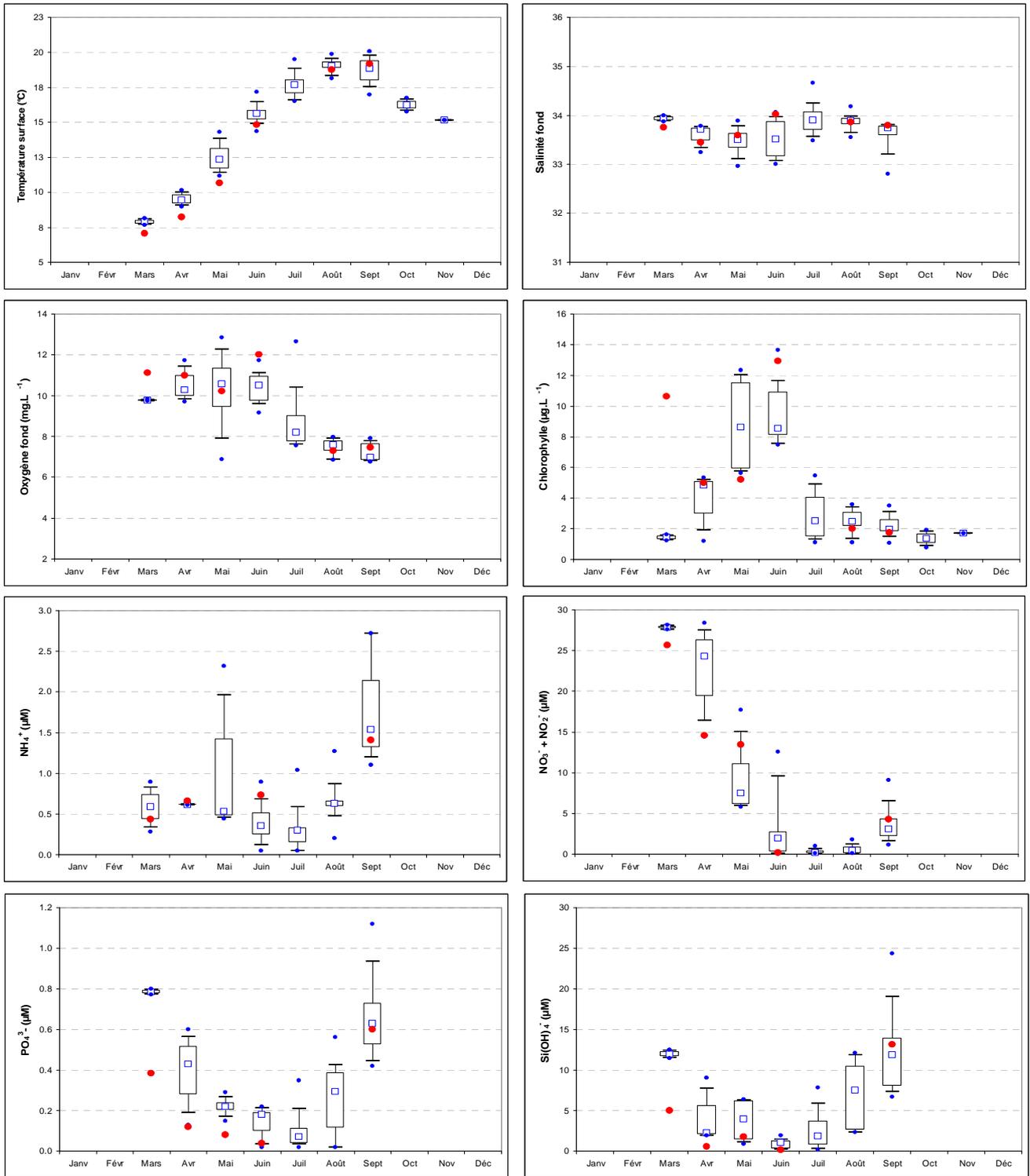


Figure 49 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Port en Bessin entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.14. Masse d'eau HC12 (Meuvaines)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Meuvaines entre 2004 et 2006, sont rassemblées sur les figures 50 et 51.

Au sein de la masse d'eau HC12, les fluctuations de salinité sont faibles (de l'ordre d'un pour mille) et les stocks hivernaux sont du même ordre de grandeur que sur le point Port en Bessin de la masse d'eau HC11, c'est-à-dire compris entre 30 et 35 μM de nitrate, 20 et 25 μM de silicate et inférieurs à 1,5 μM de phosphate (Figure 51). La période productive débute par contre un peu plus tard que sur la masse d'eau HC11, soit entre la fin avril et le début du mois de mai, et les teneurs maximales en chlorophylle *a*, de l'ordre de 6 à 8 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sont atteintes entre mai et juin.

D'après l'évolution du rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963) donnée par le graphe ci-dessous, ainsi que les évolutions des concentrations en sels nutritifs présentées sur la Figure 51, l'azote pourrait jouer le rôle de sel limitant de la production primaire au cours des mois de juillet et août (teneurs en chlorophylle *a* de l'ordre de 1 à 2 $\mu\text{g.L}^{-1}$, et concentrations en nitrate pouvant devenir inférieures à 1 μM). L'étude du rapport molaire Si/N semble confirmer cette limitation potentielle par l'azote.

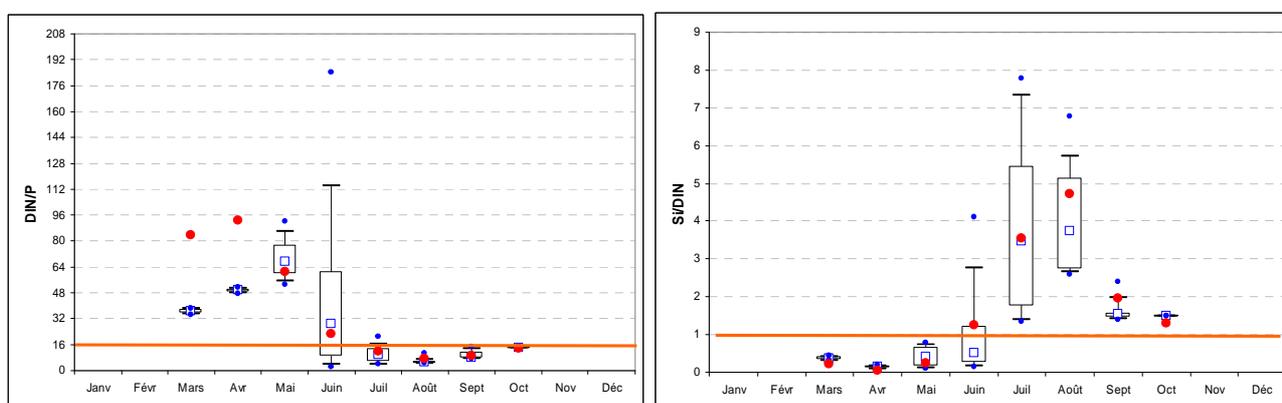


Figure 50 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Meuvaines.

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 70 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 44% ; LEPT : 25% et RHIZDEL 13%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : LEPT : 100%.

Commentaires : Les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche avec une faible influence des eaux estuariennes.



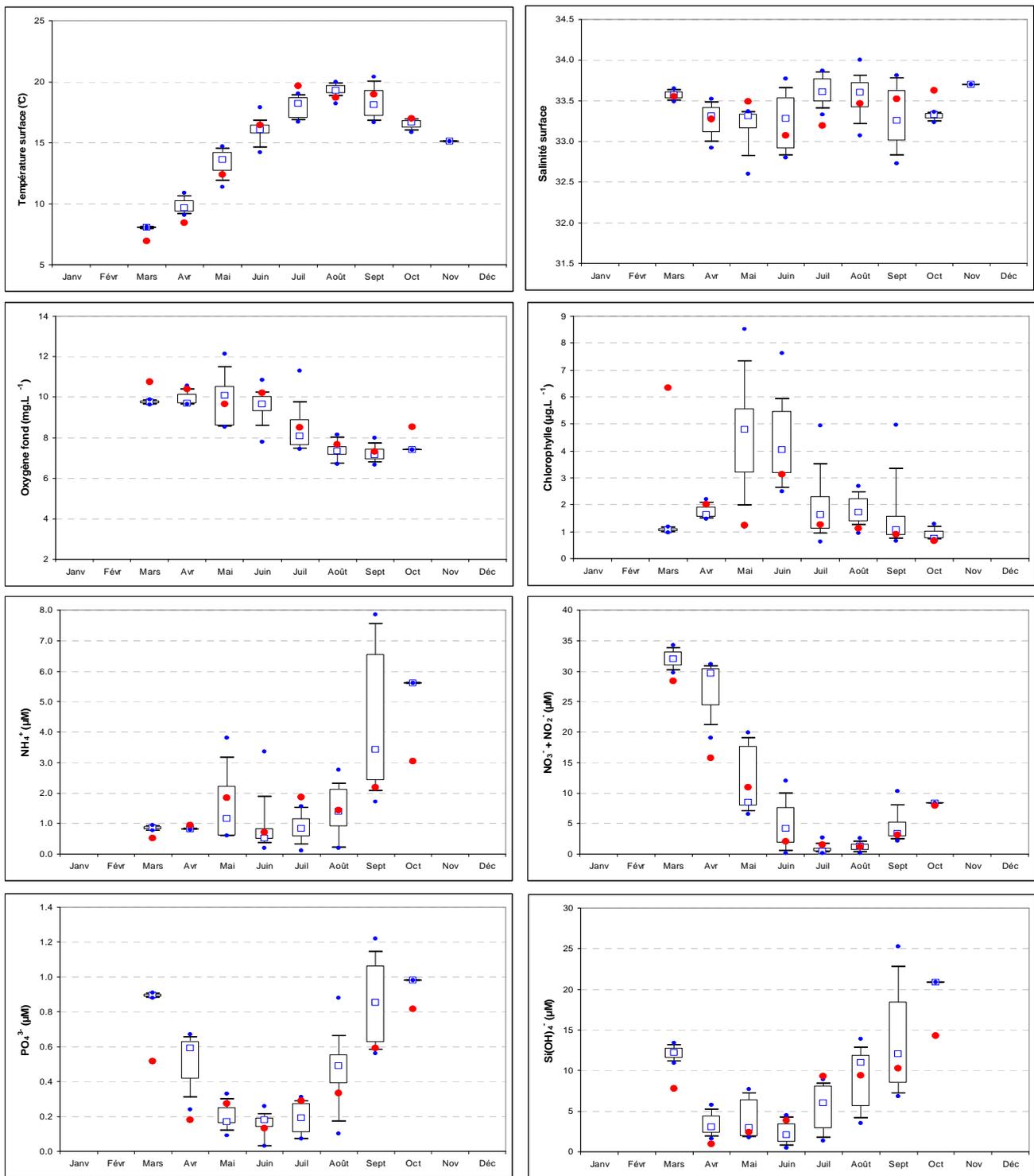


Figure 51 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Meuvaines entre 2004 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2004-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.15. Masse d'eau HC13 (Les Essarts)

Les données hydrologiques, mesurées sur les Essarts entre 2003 et 2006, sont rassemblées sur les figures 52 et 53.

La masse d'eau HC13 ne reçoit pas d'apports directs importants en provenance des bassins versants, ce qui explique les faibles fluctuations de salinité constatées sur la Figure 53 (de l'ordre de un pour mille). Les stocks hivernaux en sels nutritifs sont du même ordre de grandeur que sur le point Meuvaines, soit entre 30 et 35 μM de nitrate, 20 et 25 μM de silicate et moins de 1,5 μM de phosphate. La période productive débute généralement un peu plus tard que sur la masse d'eau HC11, soit entre la fin avril et le début du mois de mai (bien qu'un pic de 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ ait été observé dès le mois de mars en 2006). Les teneurs maximales en chlorophylle *a* sont de l'ordre de 5 à 6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et s'observent généralement en juin.

D'après les graphes de la Figure 52 et de la Figure 53, il ne semble pas y avoir de limitation de la production phytoplanctonique sur cette masse d'eau HC13 par les sels nutritifs : en effet, aucun stock n'apparaît comme étant totalement épuisé durant la saison productive, et les concentrations mesurées depuis le début du suivi du RHLN ne permettent pas de conclure à l'existence de phases de carence prononcées pour l'un ou l'autre sel.

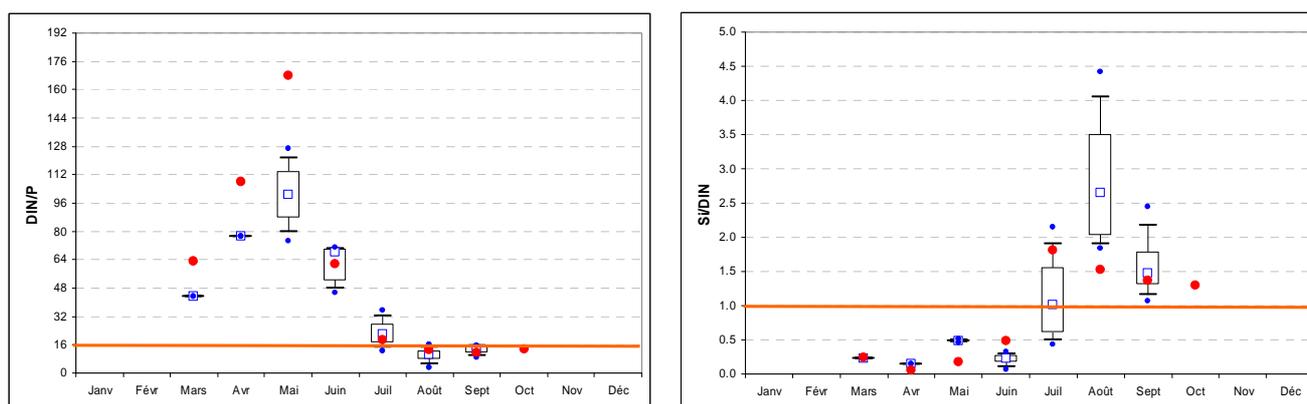


Figure 52 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point des Essarts.

Peuplements phytoplanctoniques

Distribution partielle des principaux taxons sur 80 flores (partielles) réalisées entre 2003 et 2006 qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : PSNZ : 55%

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 100%

Commentaires : les peuplements présents sont représentatifs des eaux ouvertes de la Manche.

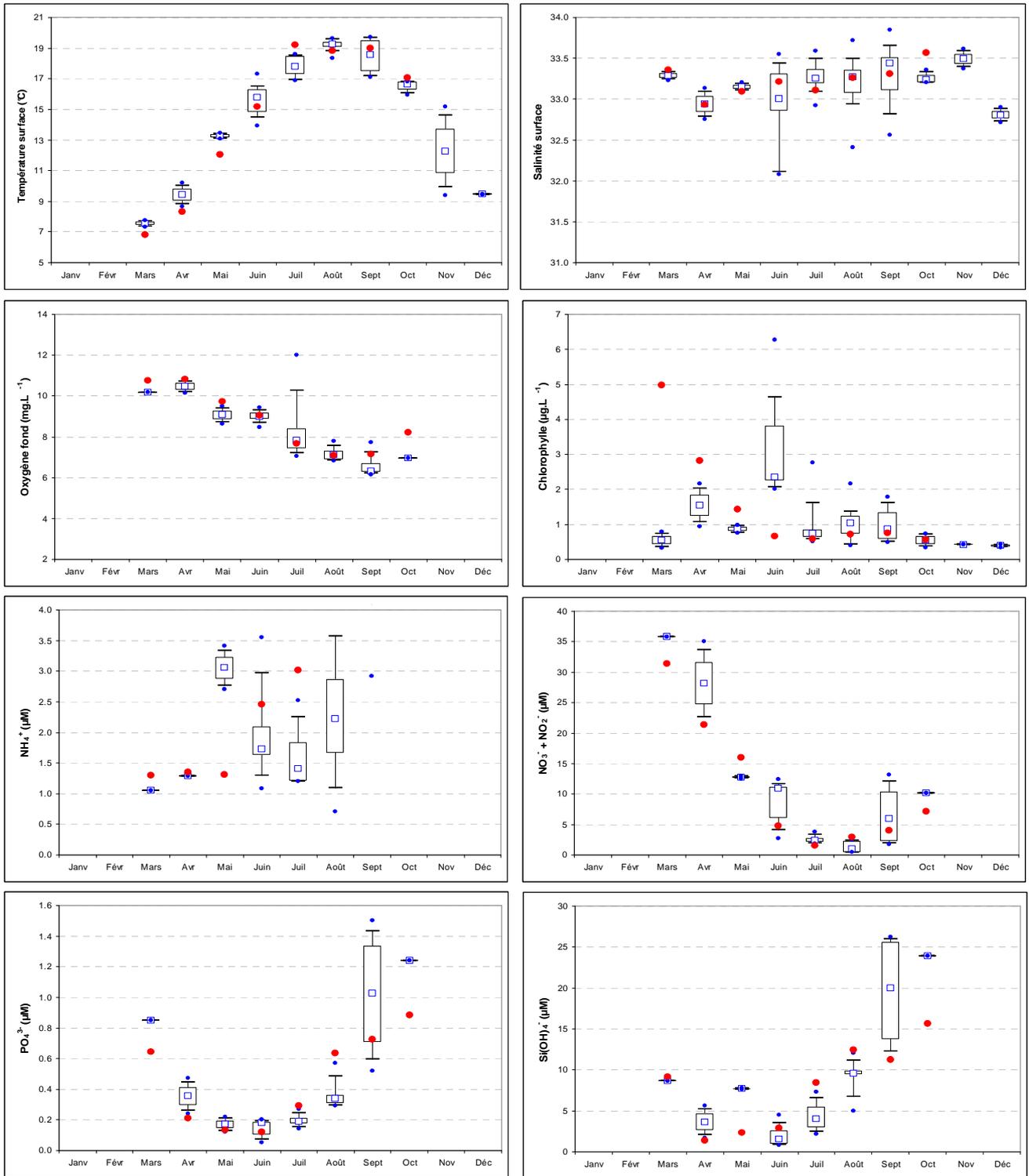


Figure 53 : Évolution des paramètres hydrologiques sur les Essarts entre 2003 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2003-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.16. Masse d'eau HC14 (Luc sur mer et Ouistreham)

Les données hydrologiques, mesurées sur les points Luc-sur-mer et Ouistreham entre 2001 et 2006, sont rassemblées sur les figures 54 à 57.

2.16.1. Luc-sur-mer

La masse d'eau HC14 est directement soumise à l'influence des apports terrigènes de l'Orne, et se trouve également à proximité de l'estuaire de la Seine. De ce fait, sa salinité est légèrement inférieure à celle des masses d'eau situées plus à l'Ouest (HC12 et HC13) et connaît des variations pouvant atteindre 6 pour mille (Figure 54). Ces dessalures génèrent des recharges de la masse d'eau en sels nutritifs durant les mois d'août et septembre, ce qui permet une relance de la production phytoplanctonique et favorise l'apparition d'une succession de blooms durant la période productive. Les niveaux de biomasses peuvent alors dépasser les $20 \mu\text{g.L}^{-1}$ et génèrent des sur-oxygénations de la colonne d'eau. Du fait de ces recharges en sels nutritifs, les stocks hivernaux sont plus élevés que sur les côtes Ouest et Est du Cotentin, de l'ordre de $50 \mu\text{M}$ de nitrate, $30 \mu\text{M}$ de silicate et plus de $2 \mu\text{M}$ de phosphate. Enfin, du fait de l'intensité de l'activité biologique (phytoplancton, zooplancton, bactéries...), et sans doute également des apports de l'Orne, les valeurs maximales en ammonium dépassent fréquemment les $10 \mu\text{M}$ en fin de saison (septembre-octobre).

2.16.2. Ouistreham

A Ouistreham, comme à Luc-sur-Mer, les apports terrigènes de l'Orne et la proximité de l'estuaire de la Seine entraînent au cours de la période productive une recharge du milieu en sels nutritifs, ce qui permet de relancer la croissance du phytoplancton qui présente des pics de plus forte intensité à la fin de l'été qu'au printemps (Figure 55). Les maxima en chlorophylle *a* atteignent alors $40 \mu\text{g.L}^{-1}$. Cette importante productivité est à l'origine d'un classement en état « moyen », voir « médiocre » de cette masse d'eau du point de vue de l'indicateur DCE Chlorophylle *a*. Les stocks hivernaux en sels nutritifs sont du même ordre de grandeur que sur Luc-sur-Mer, soit environ $50 \mu\text{M}$ de nitrate, $35 \mu\text{M}$ de silicate et plus de $2 \mu\text{M}$ de phosphate. De même, l'ammonium présente des teneurs très élevées, dépassant les $15 \mu\text{M}$, en fin de saison, aux mois de septembre et octobre.



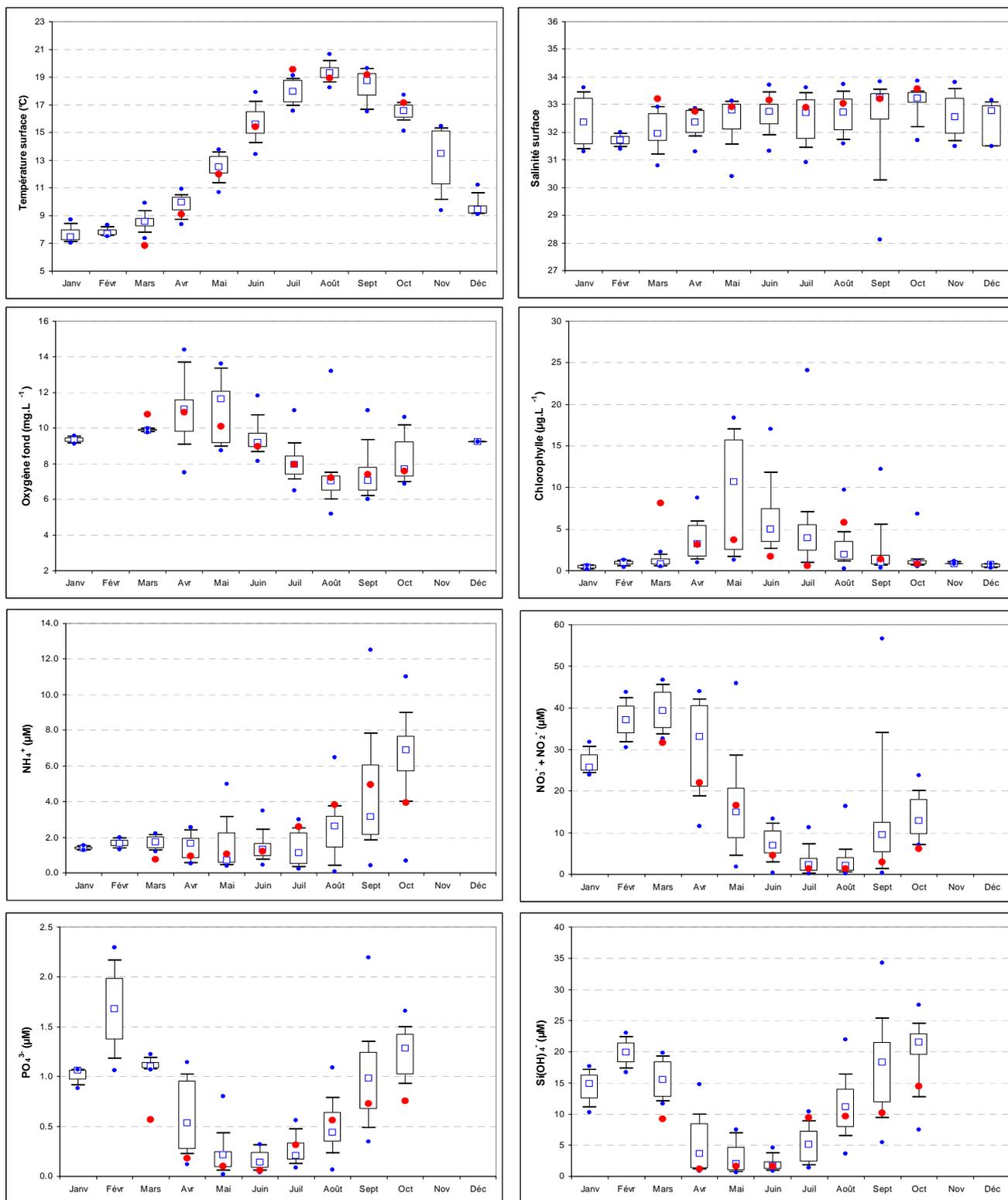


Figure 54 : Évolution des paramètres hydrologiques à Luc-sur-mer entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

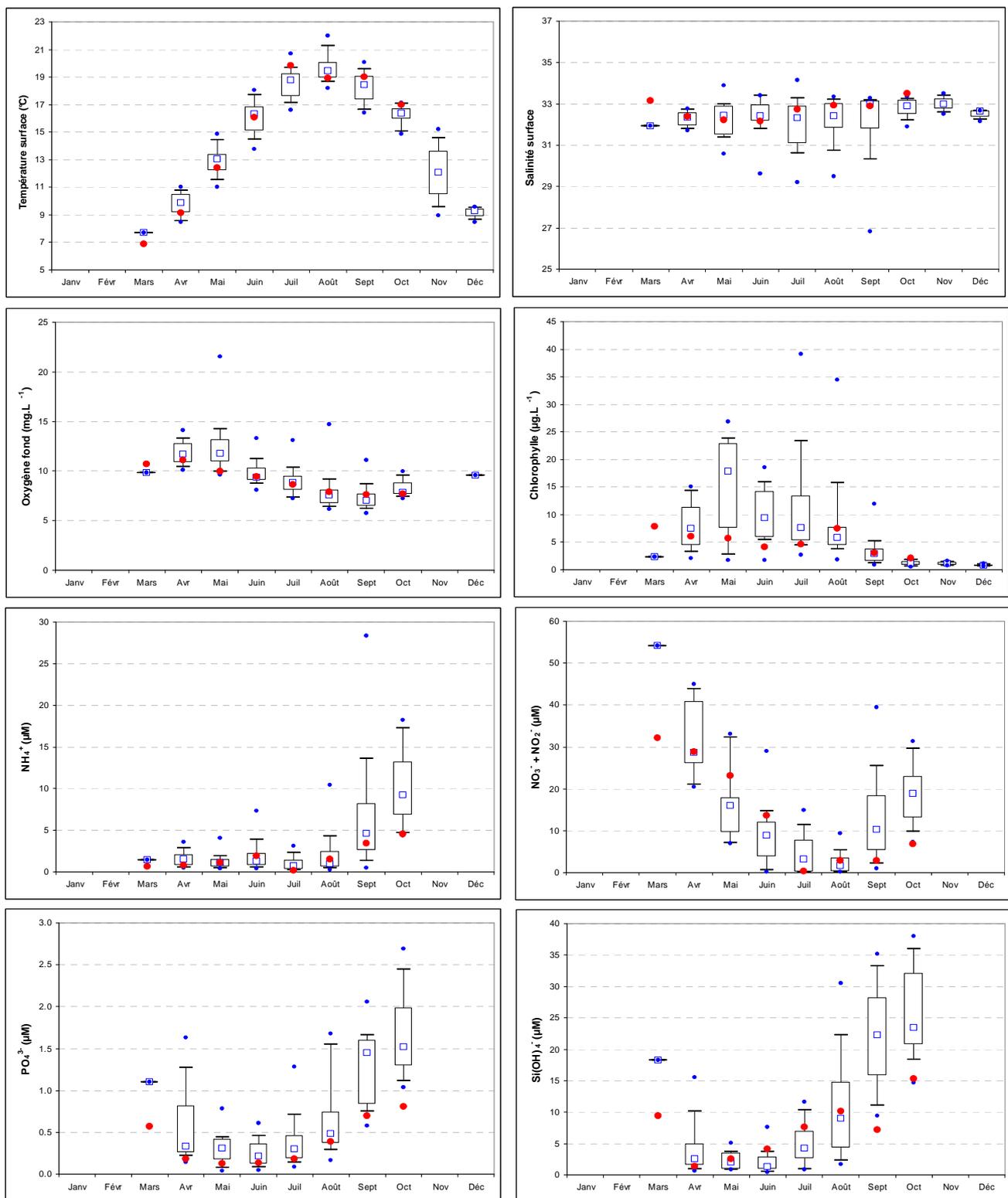


Figure 55 : Évolution des paramètres hydrologiques à Ouistreham entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

2.16.3. Limitations potentielles par les sels nutritifs

Les recharges en sels nutritifs ont également pour conséquence d'entraîner de fortes variations des rapports de sels entre eux et surtout de minimiser les périodes potentielles de carence, la biomasse n'étant qu'exceptionnellement inférieure à $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ (ce qui à titre d'exemple, correspond aux valeurs maximales atteintes sur l'ensemble des points de suivi de la côte Ouest Cotentin). Les graphes

présentant les concentrations en sels nutritifs (Figure 54 et Figure 55) mettent en effet en évidence qu'aucun sel n'est épuisé de manière durable dans le milieu, et que si des carences peuvent avoir lieu, elles sont alors furtives, et toucheraient l'azote plutôt que le silicium ou le phosphore. Ceci est confirmé par les graphes des Figures 56 et 57 ci dessous (à gauche Luc sur Mer et à droite Ouistreham).

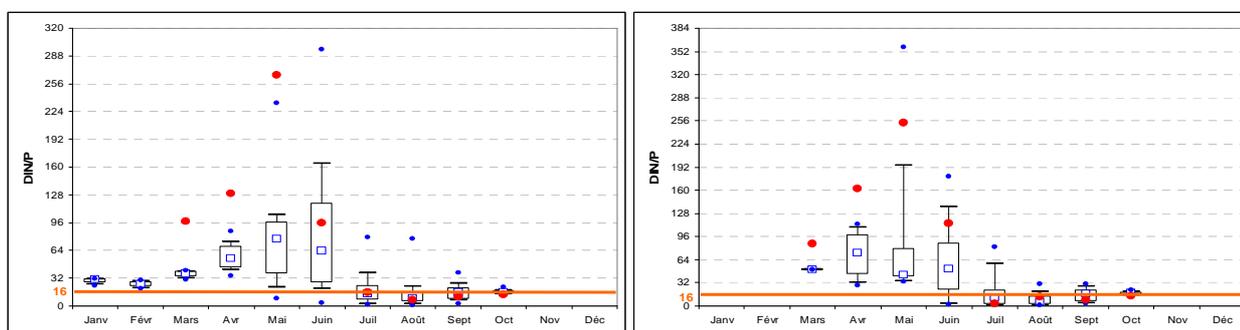


Figure 56 : Évolution des rapports DIN/P sur les points de Luc sur mer (à gauche) et Ouistreham (à droite).

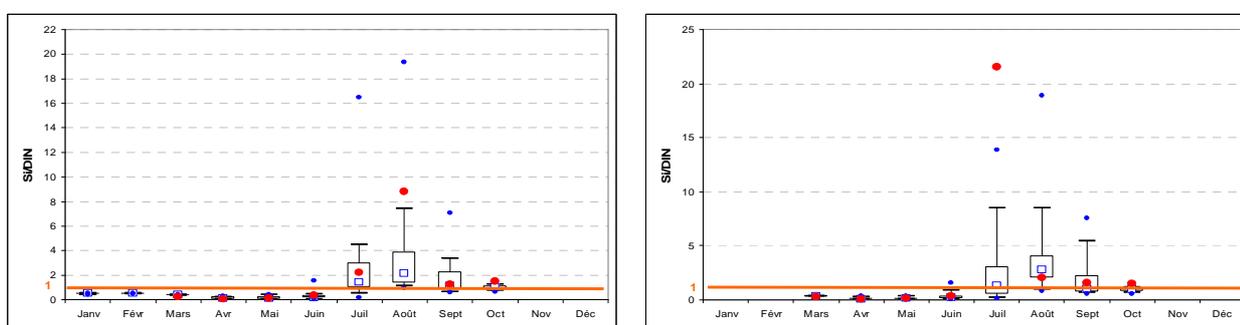


Figure 57 : Évolution des rapports Si/DIN sur les points de Luc sur mer (à gauche) et Ouistreham (à droite).

Peuplements phytoplanctoniques :

Luc-sur-mer

Distribution partielle des taxons sur les 60 flores totales et les 106 flores partielles réalisées entre 2001 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : CHAE : 31% ; RHIZDEL : 22% ; PSNZ : 13%. Puis, une multitude de taxons de dinoflagellés qui représentent au total 8%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : PHAE : 31% ; RHIZDEL : 25% ; CHAE : 19% ; PSNZ : 13%.

Commentaires : Une vraie coupure dans la distribution phytoplanctonique apparaît par rapport au point situé plus à l'Ouest (Les Essarts). Le point Luc-sur-Mer présente clairement des distributions caractéristiques des estuaires et baies, où les dinoflagellés deviennent plus présents et les espèces telles que *Skeletonema costatum* sont plus fréquentes et plus abondantes.

Ouistreham

Distribution partielle des principaux taxons sur les 127 flores (partielles) réalisées entre 2001 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : CHAE : 29% ; PSNZ : 19% ; RHIZDEL : 11%. Puis, une multitude de taxons de dinoflagellés qui représentent dans l'ensemble 7%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : CHAE : 51% et 11% PHAE et RHIZDEL.

Commentaires : Ce point présente le même type de caractéristiques estuariennes que le point Luc sur Mer.

2.17. Masse d'eau HC15 (Cabourg)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Cabourg entre 2001 et 2006, sont rassemblées sur les figures 58 et 59.

La masse d'eau HC15 est directement soumise à l'influence des apports terrigènes de la Dives, et se trouve également à proximité des estuaires de la Touques et surtout de la Seine. De ce fait, la salinité connaît des variations importantes, pouvant atteindre 8 à 9 pour mille (Figure 59). Ces dessalures génèrent des recharges de la masse d'eau en sels nutritifs durant toute l'année, ce qui permet une relance de la production phytoplanctonique et favorise l'apparition d'une succession de blooms durant la période productive.

Il est par ailleurs fréquent que les blooms tardifs de la fin août soient de plus forte intensité que les blooms du printemps. Les teneurs en chlorophylle *a* dépassent souvent les 30 à 40 $\mu\text{g.L}^{-1}$ avec des maxima de plus de 70 $\mu\text{g.L}^{-1}$, comme cela a été le cas en juillet 2002. De plus, ces recharges en sels nutritifs favorisent l'établissement de stocks hivernaux élevés qui sont de l'ordre de 70 à 90 μM de nitrate, 40 μM de silicate et plus de 2 μM de phosphate. Enfin, du fait de l'intensité des productions, de l'activité biologique en général (phytoplancton, zooplancton, bactéries...), et sans doute également des apports des fleuves Dives/Touques/Seine, les valeurs maximales en ammonium dépassent fréquemment les 15-20 μM en fin de saison (septembre-octobre).

Comme sur le point Ouistreham de la masse d'eau HC14, les apports des fleuves génèrent des recharges en sels nutritifs au sein de la masse d'eau HC15. Ainsi que le montre la Figure 59, ces apports font que malgré les très hauts niveaux de biomasse chlorophyllienne, nous n'observons pas de période où les concentrations en sels nutritifs sont suffisamment basses pour induire, *a priori*, des limitations de cette production. Ces apports ont également pour conséquence d'entraîner de fortes variations des rapports de sels entre eux (Figure 58 : N/P à gauche et Si/N à droite).

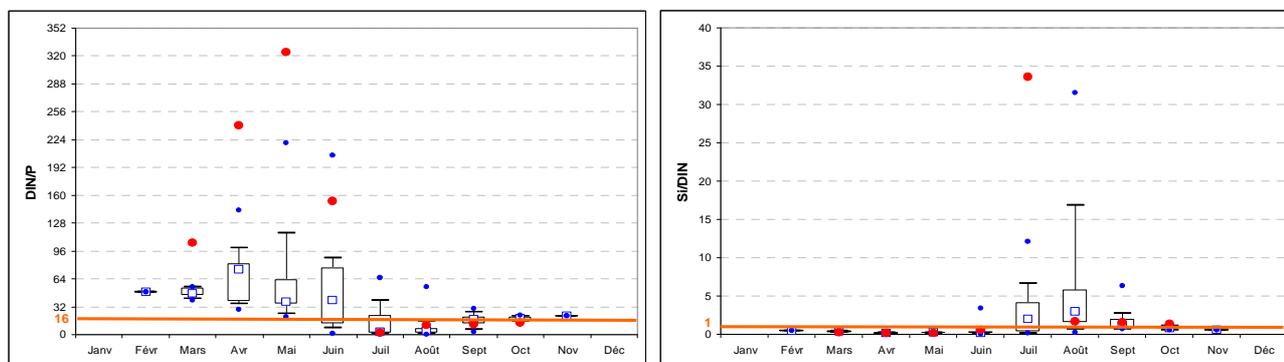


Figure 58 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Cabourg.

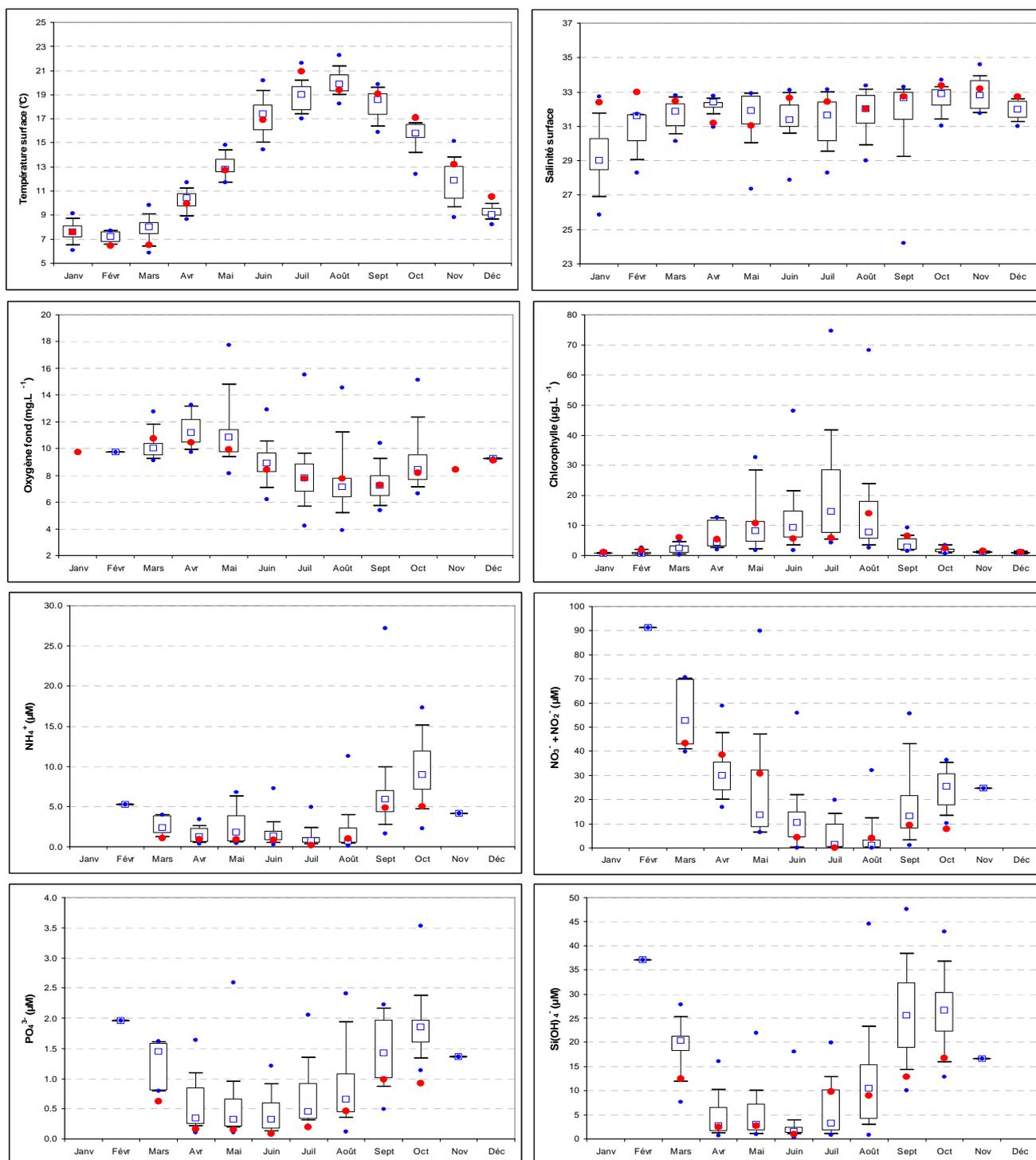


Figure 59 : Évolution des paramètres hydrologiques à Cabourg entre 2001 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2001-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

Peuplement phytoplanctoniques :

Distribution partielle des taxons sur les 170 flores totales et les 19 flores partielles réalisées entre 2001 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : CHAE : 25% ; puis, 33 taxons avec des faibles dominances, dont les dinoflagellés comptent pour 20%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : CHAE : 54% ; puis 12% de taxons appartenant à la classe de dinoflagellés.



Évolution temporelle : les 170 flores totales réalisées permettent de retracer l'évolution des abondances des principaux taxons dans le temps (Figure 60).

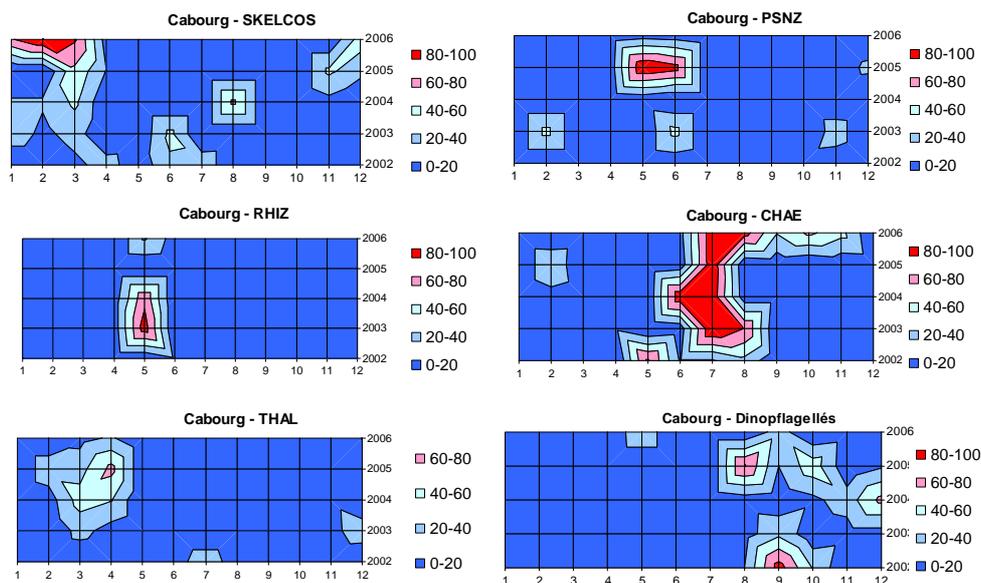


Figure 60 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Cabourg.

Commentaires : ce point se situe dans le panache de la Dives et présente des caractéristiques très marquées d'un estuaire semi fermé, avec de forts développements de dinoflagellés et des marées rouges en été.

Ces eaux colorées sont essentiellement dues aux espèces de dinoflagellés *Prorocentrum*. Ces blooms de dinoflagellés sont fréquents et dominant alors largement les peuplements phytoplanctoniques. Le genre toxique *Dinophysis sp.* est également souvent rencontré en été et en automne, et parfois même en hiver, mais à des concentrations moindres. Du fait des toxines DSP et lipophiles qu'il produit, ces développements de fin d'été et d'automne rendent quasiment chaque année les coquillages filtreurs de ce secteur impropres à la consommation humaine, obligeant la Préfecture du Calvados à prendre des arrêtés d'interdiction de pêche, de ramassage et de vente des coquillages.

2.18. Masse d'eau HT3 (Carosse)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Carosse entre 2002 et 2004, sont rassemblées sur les figures 61 et 63.

La masse d'eau HT3 est directement soumise aux apports de la Seine qui influencent fortement sa salinité (Figure 63 : variations de 4 à 9-10 pour mille). La période productive débute au cours du mois d'avril et la production de biomasse phytoplanctonique connaît ensuite plusieurs pics durant l'été et le début de l'automne, pics atteignant des valeurs de l'ordre de $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ de chlorophylle *a* (juin 2004). Ces phases successives de production de biomasse sont entretenues par les recharges en sels nutritifs apportées par les crues de la Seine. Du fait de l'importance de ces apports, les teneurs hivernales en sels nutritifs peuvent être très élevées. Elles atteignent jusqu'à $180 \mu\text{M}$ de nitrate, environ $80 \mu\text{M}$ de silicate et entre 2 et $4 \mu\text{M}$ de phosphate. Les teneurs en ammonium sont également plus élevées (de 2 à $14 \mu\text{M}$) que sur les autres masses d'eau normandes (mise à part la masse d'eau voisine HC15).

Sur les deux années de suivi, le point La Carosse se caractérise par un rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963) qui ne passe qu'exceptionnellement en dessous de la valeur seuil de 16 (Figure 61). La limitation des apports en phosphore à la Seine depuis une trentaine d'années peut, pour partie, expliquer ce constat. En effet, de très importants programmes de déphosphatation des eaux usées ont été menés sur Achères/Paris, Rouen, ainsi que sur d'autres stations d'épuration du grand bassin versant de la Seine depuis le milieu des années 70, et ont permis une baisse des flux de phosphore, ainsi que le montre la Figure 62 (données cellule antipollution de la Seine). Néanmoins, si le phosphore connaît des périodes de faibles concentrations (Cf. graphes de la Figure 63), il ne se rencontre jamais à des concentrations suffisamment basses pour générer des limitations de la production phytoplanctonique.

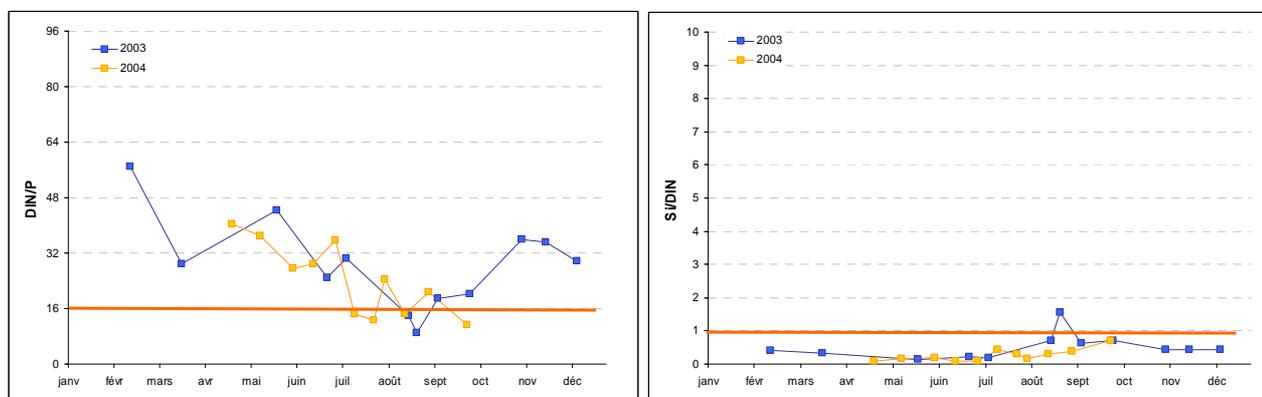


Figure 61 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur le point Carosse.

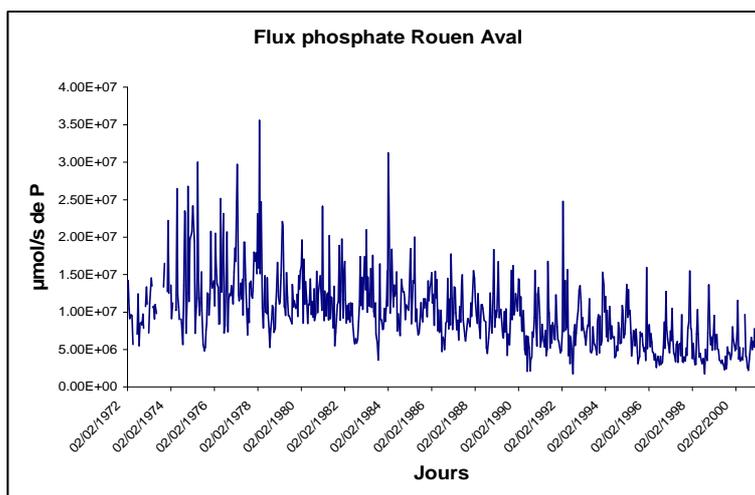


Figure 62 : Évolution des flux de phosphate depuis 30 ans en aval de Rouen (données cellule antipollution de la Seine).

L'autre constat important est que, tout comme au sein des masses d'eau HC15, HC14, et même HC13, mais contrairement aux masses d'eau situées plus à l'Ouest de l'embouchure de la Seine et le long du Cotentin, l'azote ne se rencontre jamais non plus à des concentrations susceptibles de générer des limitations de la production primaire.

Les graphes de la Figure 63, ainsi que l'étude du rapport molaire Si/N (Figure 61) semblent même indiquer que si carence d'un sel il y a eu lors du suivi réalisé, elle aura plutôt été le fait du silicium (au moins en juin 2004 ; à confirmer à l'occasion du suivi prévu entre 2008 et 2013).

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des taxons sur les 27 flores totales (2002-2004) et la flore partielle (2006) qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : SKELCOS et CHAE : 32%

Seuil > 1 000 000 cellules/L : SKELCOS : 45% ; CHAE : 36%.

Commentaires : ce point, situé à l'aval de l'estuaire de la Seine, présente des caractéristiques estuariennes, mais légèrement différentes de celles observées sur les points de Cabourg et Antifer qui l'encadrent au Sud/Ouest et au Nord/Est. Les espèces telles que *Chaetoceros sp.* et *Skeletonema costatum* abondent, mais les dinoflagellés n'y sont pas aussi nombreux que dans les deux masses d'eau limitrophes qui présentent des eaux plus stratifiées et plus calmes.

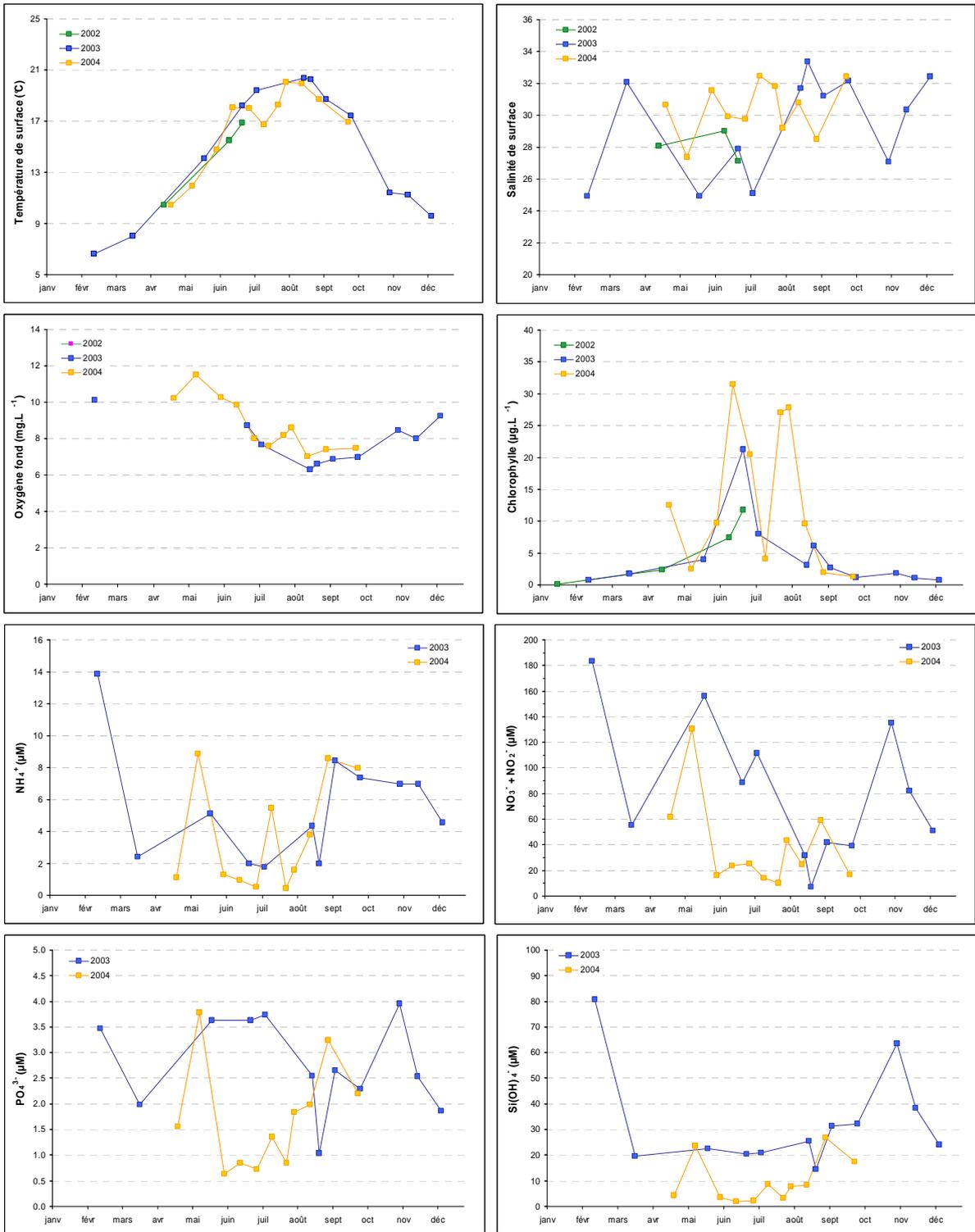


Figure 63 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Carosse de 2002 à 2004.

2.19. Masse d'eau HC16 (Antifer)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Antifer entre 2002 et 2006, sont rassemblées sur les figures 64 et 65.

La masse d'eau HC16 est soumise à l'influence des apports terrigènes de la Seine. De ce fait, la salinité connaît des variations pouvant atteindre 12 pour mille (Figure 65). Ces dessalures génèrent des recharges de la masse d'eau en sels nutritifs durant toute l'année, ce qui permet une relance de la production phytoplanctonique et favorise l'apparition d'une succession de blooms durant la période productive. En effet, il est fréquent que les blooms tardifs de la fin août soient de plus forte intensité que les blooms du printemps. Les teneurs en chlorophylle *a* dépassent souvent les 30 à 40 $\mu\text{g.L}^{-1}$ avec des maxima de plus de 70 $\mu\text{g.L}^{-1}$, comme cela a été le cas en juillet 2004. De plus, ces recharges en sels nutritifs favorisent l'établissement de stocks hivernaux très élevés qui sont de l'ordre de 120 μM de nitrate, 50 μM de silicate et plus de 2 μM de phosphate.

Du fait de l'intensité des productions phytoplanctoniques et de la très fortes activité biologique (phytoplanctonique, zooplanctonique, bactérienne...), et sans doute également des apports de la Seine, les valeurs maximales en ammonium dépassent fréquemment les 5 μM en fin de saison (septembre-octobre).

Comme le point La Carosse, Antifer se caractérise par un rapport molaire N/P (selon Redfield et al, 1963) qui ne passe jamais (ou très peu) en dessous de la valeur seuil de 16 (Figure 64). Ici aussi, il semble que l'azote n'atteigne jamais des concentrations faisant de lui un élément potentiellement limitant de la production primaire (Cf. graphes de la Figure 65). Les valeurs constatées de ce rapport N/P pourraient s'expliquer par le fait que cette masse d'eau reste sous l'influence directe de la Seine dont les flux de phosphore ont baissé depuis une trentaine d'années suite aux très importants programmes de déphosphatation des eaux usées menés sur Achères/Paris, Rouen, ainsi que sur d'autres STEP⁵ du grand bassin versant de la Seine (Figure 62 ; données cellule antipollution de la Seine). Du fait de cette baisse des flux, le phosphore pourrait (Figure 65) être à l'origine de limitations très ponctuelles de la production primaire dans cette masse d'eau (cela semble avoir été le cas en 2006 où les concentrations des mois de juin et juillet sont passées par des valeurs très basses (concentrations inférieures à 0.1 μM lors des prélèvements des 13 juin et 25 juillet 2006). L'étude du rapport molaire Si/N (graphe de droite de la Figure 64 ci dessous) confirme que l'azote n'est pas l'élément limitant sur Antifer et que, au contraire, des limitations momentanées par les silicates ne sont pas non plus à exclure au sein de cette masse d'eau, entre les mois de mai et de juillet.

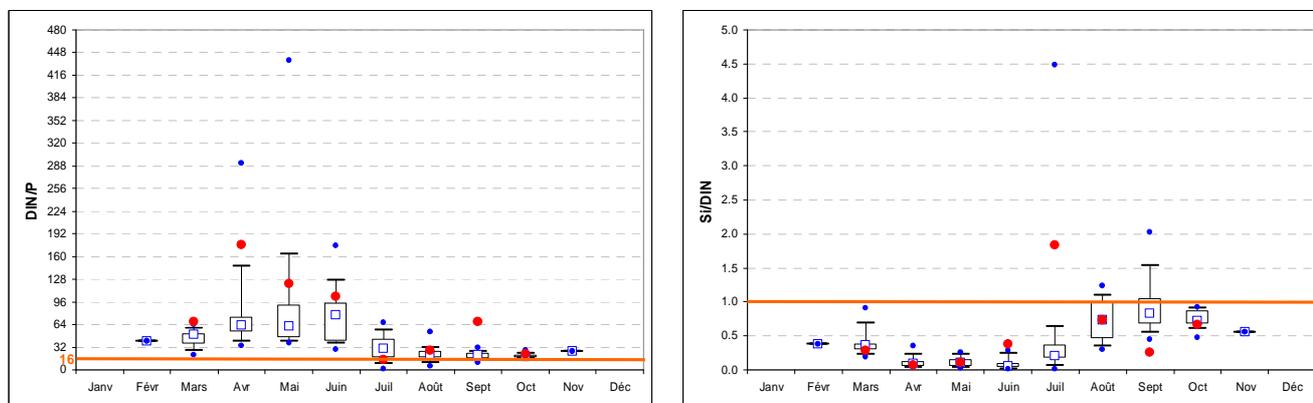


Figure 64 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Antifer.

⁵ STEP : STation d'EPuration

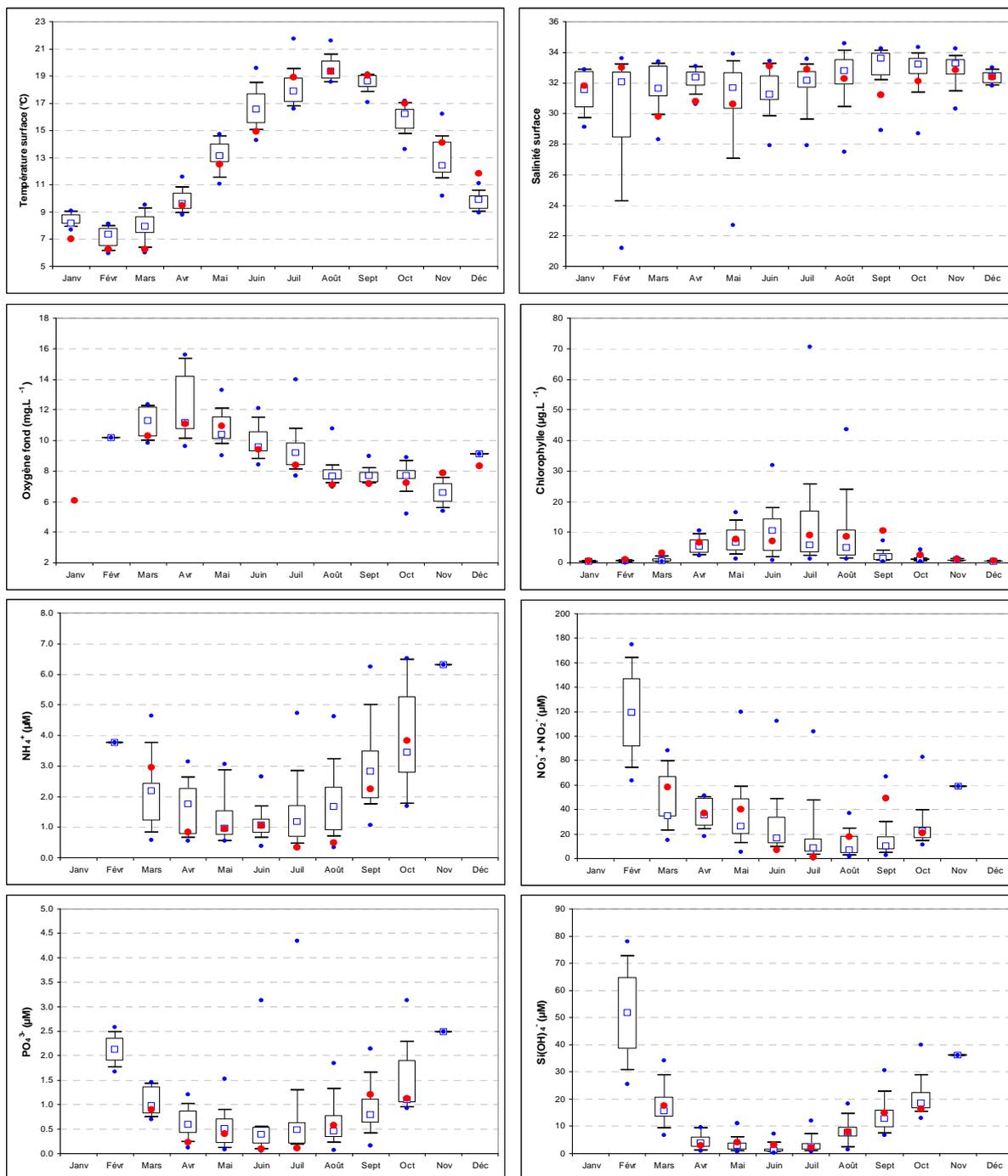


Figure 65 : Évolution des paramètres hydrologiques à Antifer entre 2002 et 2006. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des données 2002-2005 et moyennes mensuelles 2006 (●).

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des taxons sur les 188 flores totales et les 35 flores partielles réalisées entre 2001 et 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : CHAE : 24% ; SKELCOS : 20% ; PSNZ : 14% ; puis, 21 taxons avec des faibles dominances, dont les dinoflagellés comptent pour 14%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : SKELCOS : 33% ; CHAE : 31%.

Évolution temporelle : Sur la base des 170 flores totales nous pouvons observer l'évolution des principaux taxons dans le temps (Figure 66).

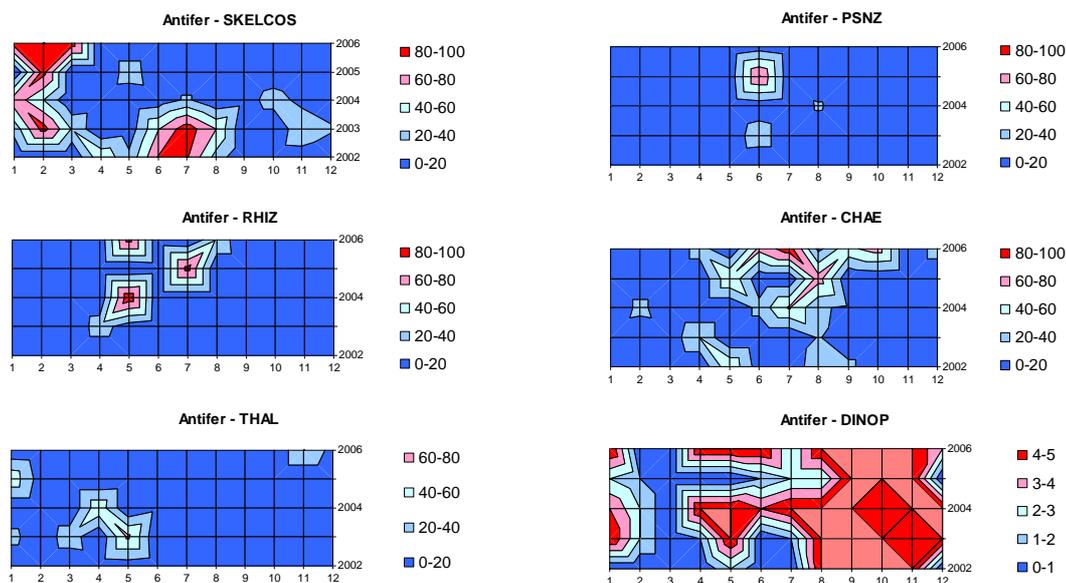


Figure 66 : Evolution temporelle des dominances (%) des principales espèces, par mois et par année sur Antifer.

Commentaires : le point d'Antifer présente des caractéristiques plus proches de celles de Cabourg que de celles de Fécamp, plus à l'Est. Les dinoflagellés y sont nombreux et l'influence du panache de la Seine est encore bien présente. Il faut également remarquer que le point de prélèvement se situe à l'intérieur du port d'Antifer, et que ce positionnement peut biaiser les données obtenues. Malheureusement, pour des raisons logistiques et pratiques, il ne sera pas possible d'échantillonner un autre point au sein de cette masse d'eau entre 2008 et 2013, malgré son hétérogénéité mise en évidence au moyen des images satellite.

2.20. Masse d'eau HC17 (Fécamp et St Aubin-sur-mer)

Les données hydrologiques, mesurées sur les points Fécamp en 2006 et St Aubin-sur-mer entre 2004 et 2005, sont rassemblées sur les figures 67 à 69.

2.20.1. Fécamp

Le point Fécamp, situé au niveau de la digue du port, est directement soumis à l'influence des apports de la Valmont. En effet, la salinité subit des fluctuations pouvant atteindre 5 à 6 pour mille (Figure 68). Ces dessalures génèrent occasionnellement des recharges de la masse d'eau en sels nutritifs, visibles en juillet et septembre. Néanmoins ces recharges ponctuelles n'ont pas suffi, en 2006, pour générer des dystrophies dues à des relances trop importantes de la production phytoplanctonique, puisque les maxima atteints n'ont pas dépassé pas les $3 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les stocks hivernaux ont été de l'ordre de $60 \mu\text{M}$ de nitrate, $20 \mu\text{M}$ de silicate et plus de $2 \mu\text{M}$ de phosphate.

2.20.2. St Aubin-sur-mer

Les apports de la Valmont et de la Durdent n'ont pas d'influence sur le point St Aubin qui se trouve en amont de leur panache de dilution (cf. simulations de la rubrique "Courantologie" de la fiche de la masse d'eau HC17, p198 du Volume 2). C'est pourquoi, contrairement au point Fécamp, la salinité sur le point de St Aubin, n'a connu que de faibles fluctuations entre 2004 et 2005 (<1 pour mille). En 2004, les blooms phytoplanctoniques d'août et septembre ont été plus importants que les blooms printaniers, alors qu'en 2005 la situation inverse a été observée (Figure 69). Les teneurs maximales en chlorophylle *a* ont varié entre 6 et $8 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les stocks hivernaux ont été de l'ordre de $30 \mu\text{M}$ de nitrate, $20 \mu\text{M}$ de silicate et moins de $1 \mu\text{M}$ de phosphate. Sur les deux années de suivi, les caractéristiques hydrobiologiques rencontrées au point de suivi de St Aubin ont été comparables à celles des masses d'eau de la côte Est Cotentin.

2.20.3. Limitations potentielles par les sels nutritifs

L'évolution du rapport molaire N/P sur Fécamp (gauche) et St-Aubin (droite) est à interpréter avec précaution car il n'y a eu qu'une et deux années de suivi respectivement (Figure 67). Néanmoins, sur le point Fécamp, aucune carence potentielle n'est mise en évidence en 2006 (Cf. graphes de la Figure 68). Sur le point St Aubin, une carence potentielle en azote apparaît au mois d'août 2004, ainsi qu'une carence potentielle en silicium en avril 2005. Mais le plus marquant à l'examen des graphes de concentration en sels nutritifs est la longue période de très faibles concentrations en phosphate enregistrée au point St Aubin entre la fin avril et le début juin 2005 (Figure 69).

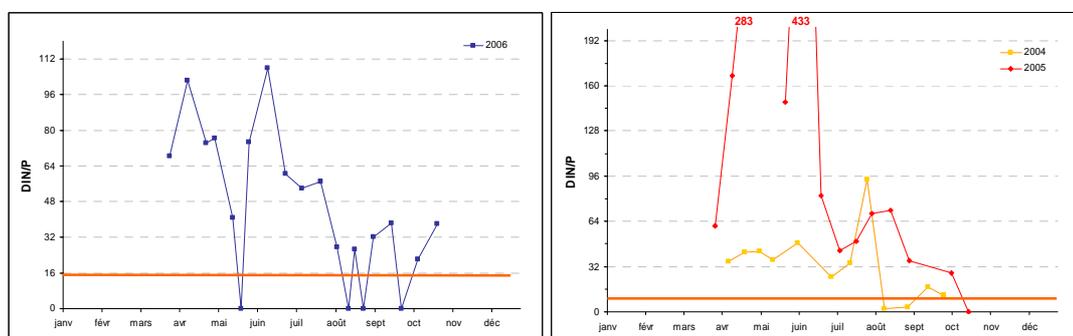


Figure 67 : Évolution du rapport DIN/P sur Fécamp (à gauche) et à St Aubin-sur-mer (à droite).

Ces premiers résultats sont encore trop parcellaires pour permettre de conclure de manière définitive, mais, comme pour les autres points de suivi positionnés dans l'Est de l'estuaire de Seine, la limitation potentielle de la production de biomasse semblerait plus être due au phosphore qu'à

l'azote (qui est le sel potentiellement limitant sur l'ensemble des points situés à l'Ouest de la partie orientale de la baie de Seine, i.e. à l'Ouest des masses d'eau HC15, HC14, et même HC13).

Peuplements phytoplanctoniques :

Fécamp

Distribution partielle des principaux taxons sur les 20 flores (partielles) réalisées en 2006 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : 33% pour SKELCOS, THAL et FMNITZ (Famille Nitzschiaceae).

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : bien que nous ne disposions que d'une année de suivi, ces distributions taxonomiques marquent une vraie rupture avec celles observées sur les points de suivi de la partie orientale de la baie de Seine. Les peuplements phytoplanctoniques de Fécamp sont caractéristiques des eaux ouvertes de la Manche.

Peuplements phytoplanctoniques :

St Aubin-sur-mer

Distribution partielle des principaux taxons sur les 57 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2005 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : RHIZDEL : 75% ; RHIZIMB : 25%.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : RHIZDEL : 100%.

Commentaires : peuplements caractéristiques des eaux ouvertes de la Manche.

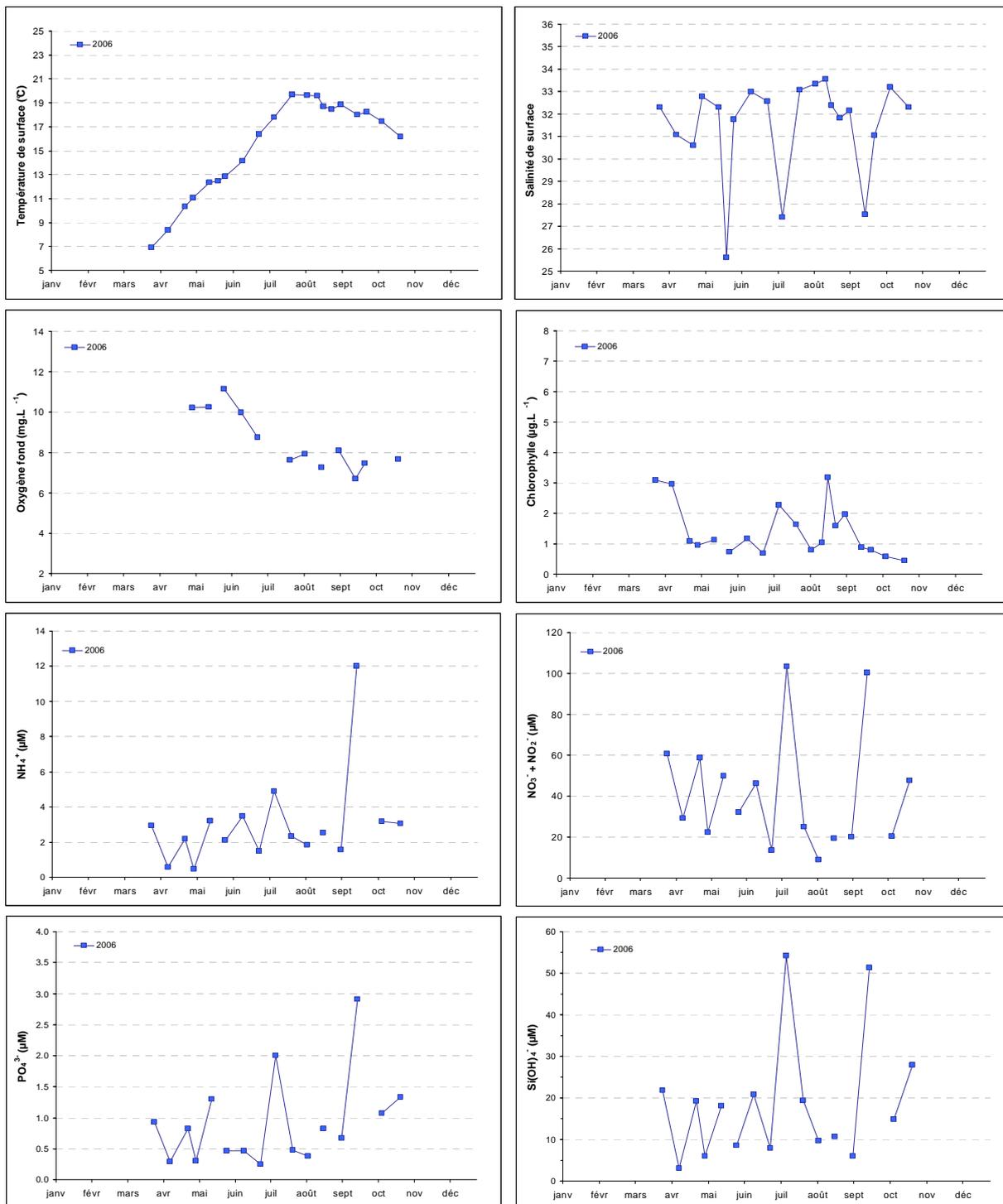


Figure 68 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Fécamp en 2006.

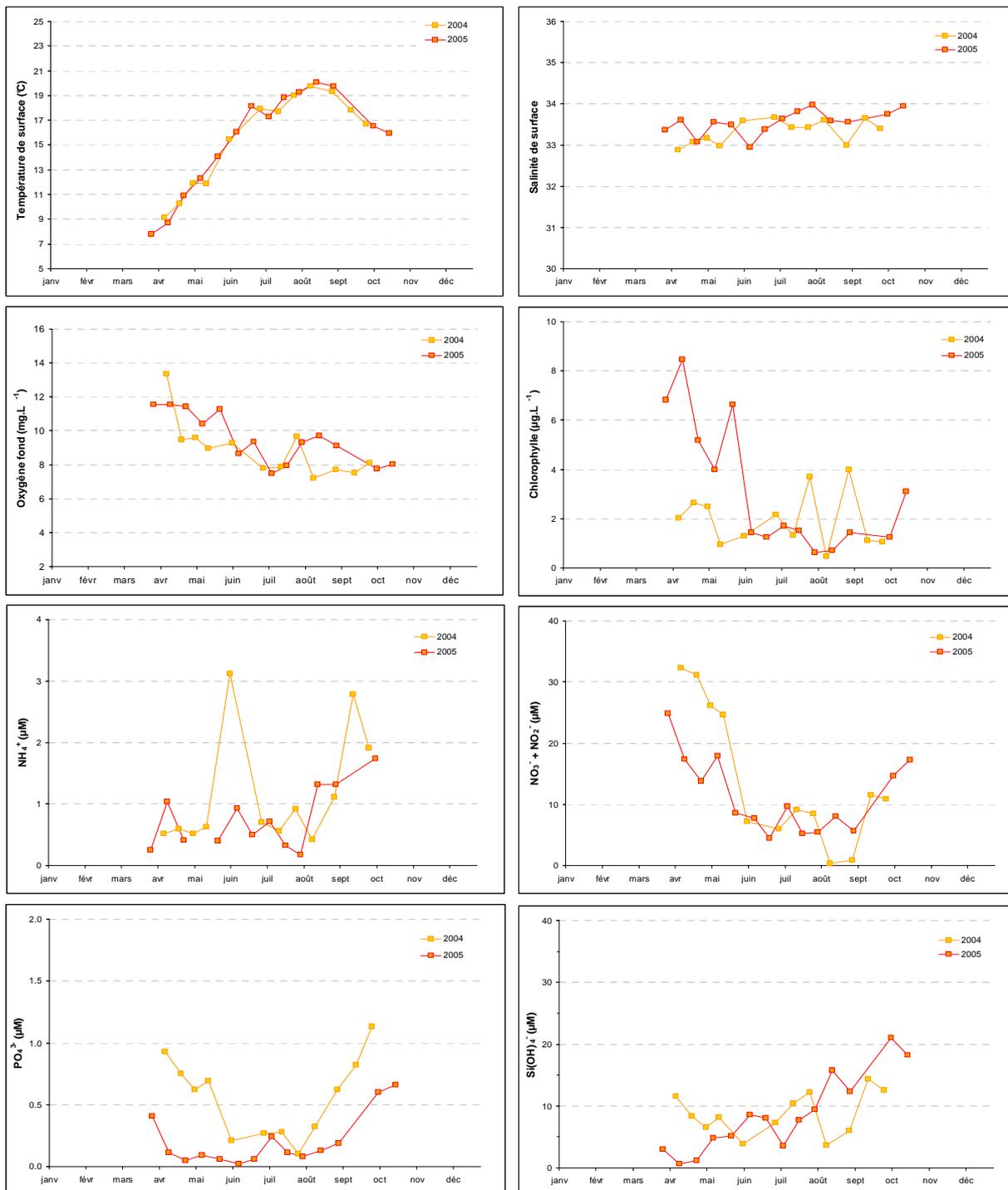


Figure 69 : Évolution des paramètres hydrologiques sur St Aubin-sur-mer en 2004 et 2005.

2.21. Masse d'eau HC18 (Dieppe)

Les données hydrologiques, mesurées sur le point Dieppe en 2004 et 2005, sont rassemblées sur les figures 70 et 71.

D'après la Figure 71, le point de Dieppe est caractérisé par de très faibles fluctuations de salinité sur les deux années de suivi (< 1 pour mille). Les allures des courbes représentant les pics de biomasse chlorophyllienne de 2004 et 2005 sont fort dissemblables : les pics d'août et de septembre sont plus importants que ceux du printemps en 2004, alors qu'en 2005 la situation exactement inverse est observée. Les valeurs maximales en chlorophylle a avoisinent les $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ en 2005 et restent inférieures à $6 \mu\text{g/L}$ en 2004.

L'évolution des rapports molaires DIN/P et Si/N (Figure 70), et les concentrations en sels nutritifs (Figure 71) montrent également deux schémas exactement opposés entre 2004 et 2005 : en 2004, le nitrate a connu une courte période d'épuisement, à la toute fin du mois de juillet et au tout début du mois d'août. Cet épuisement s'est traduit par une baisse de la biomasse chlorophyllienne aux alentours de $1 \mu\text{g/L}$. On peut donc considérer que le nitrate a été potentiellement limitant de la production primaire lors de ce cours laps de temps.

En 2005, au contraire, le nitrate a toujours été mesuré en quantité non négligeable au point de Dieppe (valeur minimale de $3 \mu\text{M}$), alors que les teneurs en phosphate sont descendues en dessous de $0.1 \mu\text{M}$ de la mi-mai à la mi-juillet. Cependant, les teneurs en chlorophylle a ont alors été très nettement supérieures à celles enregistrées à la même période l'année précédente. Bien que présent en quantités très faibles, le phosphate n'a donc vraisemblablement pas été à l'origine d'une limitation de la production primaire sur Dieppe en 2005.

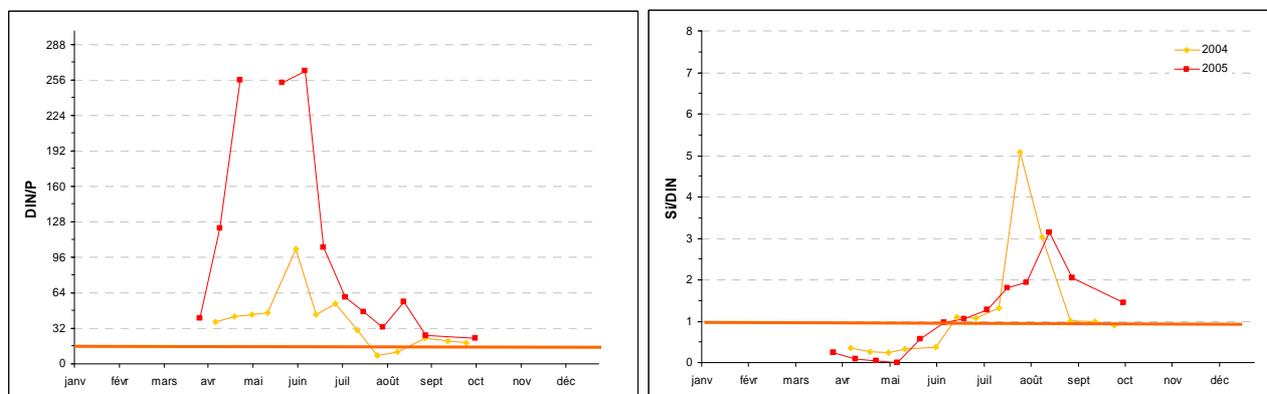


Figure 70 : Évolution des rapports DIN/P et Si/DIN sur Dieppe.

Peuplements phytoplanctoniques :

Distribution partielle des principaux taxons sur les 26 flores (partielles) réalisées entre 2004 et 2005 et qui ont présenté des abondances avec au moins un taxon dépassant les seuils DCE :

Seuil > 100 000 cellules/L : RHIZDEL : 67% ; 17% RHIZFRA et RHIZSTO.

Seuil > 1 000 000 cellules/L : Aucun taxon n'a dépassé ce seuil.

Commentaires : Peuplements caractéristiques des eaux ouvertes de la Manche.

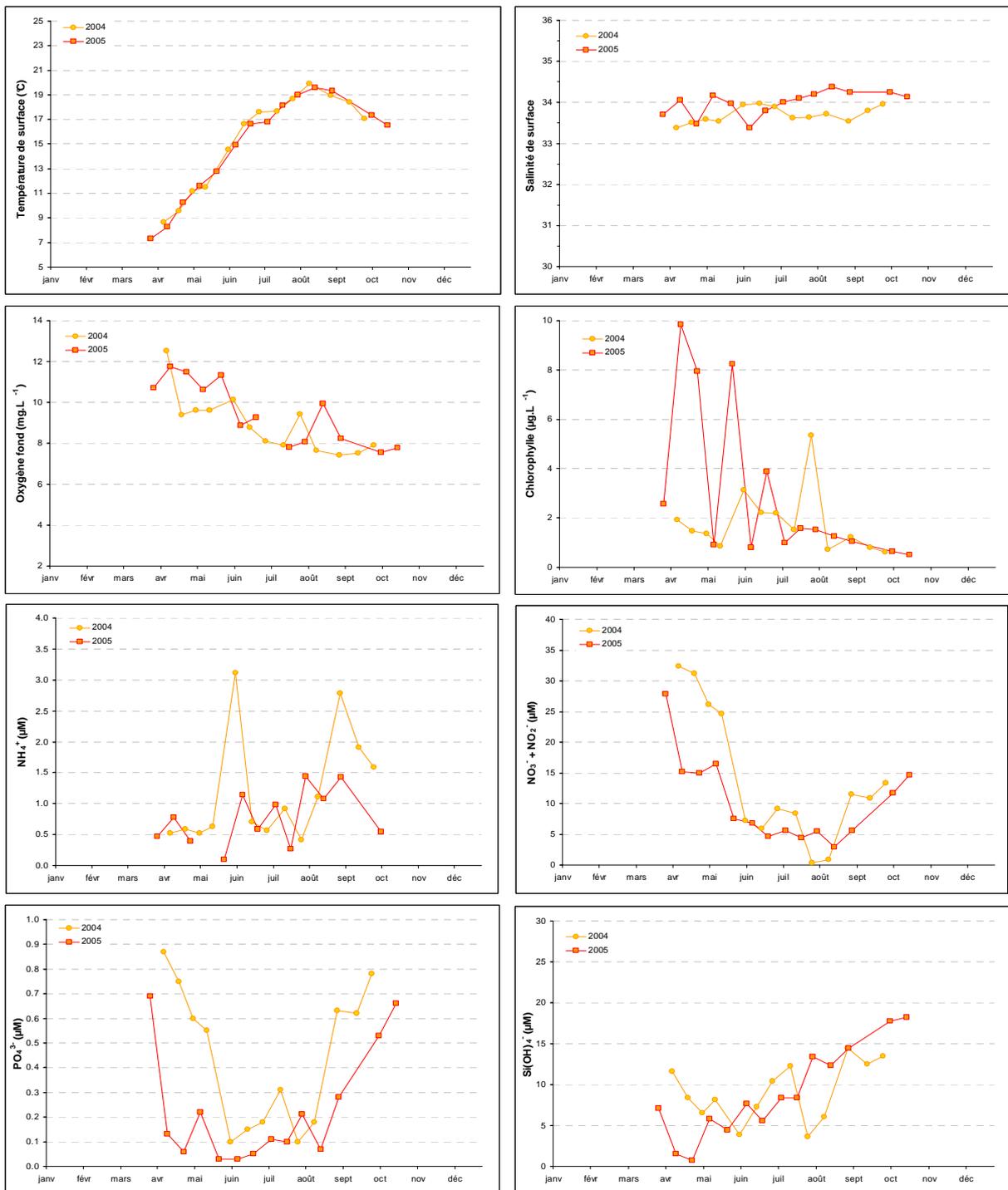


Figure 71 : Évolution des paramètres hydrologiques sur Dieppe en 2004 et 2005.

2.22. Conclusion sur les cycles biogéochimiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes.

Le Tableau 1 propose une synthèse des principaux facteurs physiques, chimiques et biologiques, caractéristiques des cycles biogéochimiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes, et permettant d'en évaluer les niveaux de dystrophie.

Ainsi, sur chaque point de suivi, l'influence des apports terrigènes, qui favorisent la recharge du milieu en sels nutritifs, utiles à la croissance du phytoplancton, est étudiée au travers de l'amplitude des dessalures et des niveaux des stocks hivernaux en sels nutritifs.

Le début de la période productive ainsi que les teneurs maximales en chlorophylle *a* et la nature des peuplements phytoplanctoniques sont également renseignés.

Enfin, ce tableau de synthèse précise si le cycle biogéochimique de la masse d'eau (ou du point de suivi) peut être qualifié de « classique », ou de « perturbé ».

Un **cycle "classique"** dans nos eaux tempérées se caractérise par un premier bloom phytoplanctonique, le plus important de l'année, qui débute au printemps lorsque les conditions hydroclimatiques (température et luminosité notamment) sont redevenues suffisantes pour une relance de la photosynthèse (en avril sur la Figure 72). Ce bloom consomme la quasi-totalité du stock de sels nutritifs, ce qui a pour conséquence de limiter la croissance du phytoplancton et de favoriser les successions taxinomiques.

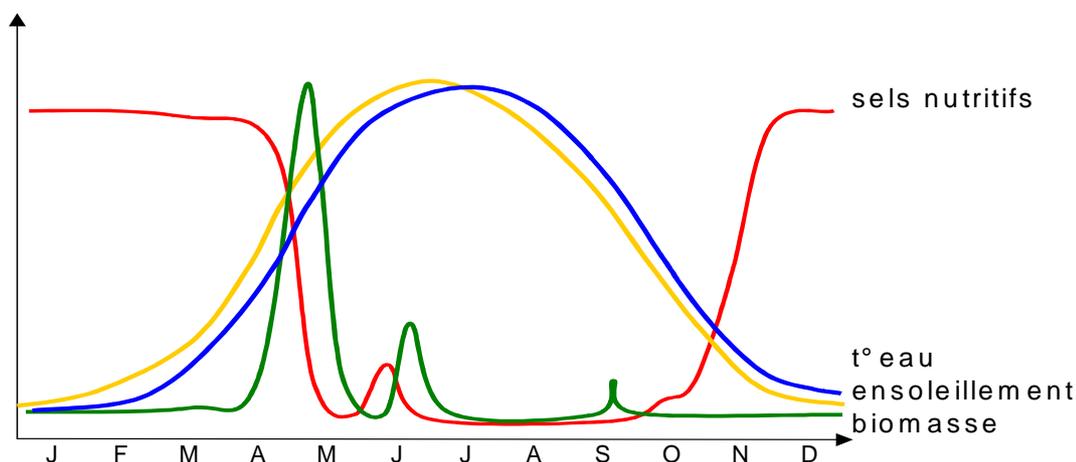


Figure 72 : représentation schématique d'un cycle hydrobiologique classique des eaux marines tempérées. La biomasse phytoplanctonique apparaît en vert, l'ensoleillement en jaune, la température de l'eau en bleu et la concentration en sels nutritifs en rouge.

La dégénérescence du phytoplancton produit au cours de ce premier bloom, et sa dégradation par des bactéries, est à l'origine d'une régénération des sels nutritifs. Cette régénération permet l'établissement d'un second bloom phytoplanctonique, généralement en juillet. Ce second bloom est en général moins intense que le premier bloom printanier⁶. Il consomme les sels nutritifs dont les concentrations passent par leurs minima annuels.

⁶ Dans les eaux eutrophes au contraire, qui sont également enrichies par des apports fluviaux, ce second bloom peut être plus important que le premier bloom printanier.

Durant la période estivale, les stocks de sels nutritifs, et donc de chlorophylle, restent en général au plus bas, mais entre septembre et octobre, un troisième bloom peut se développer grâce aux sels nutritifs régénérés par l'activité bactérienne ou apportés par les fleuves côtiers⁷.

Puis, durant l'hiver, les précipitations qui deviennent plus importantes drainent les bassins versants et permettent de reconstituer le stock de nutriments dans le milieu, d'autant que les conditions hydroclimatiques (température et éclaircissement) ne permettent plus le développement du phytoplancton, et donc la consommation des sels nutritifs. Les concentrations en sels nutritifs peuvent donc croître jusqu'au printemps suivant, c'est-à-dire jusqu'à la relance de la production phytoplanctonique.

Les **cycles "perturbés"** sont généralement la conséquence d'apports terrigènes importants tout au long de la période productive, apports qui rechargent le milieu en sels nutritifs, et par voie de conséquence minimisent les périodes potentielles de carence de ces sels. Cet enrichissement permanent du milieu favorise la croissance permanente du phytoplancton et le développement de blooms tout au long de la période productive. Les niveaux de biomasses mesurés sont alors en moyenne supérieurs à 20 µg.L⁻¹ de chlorophylle a et peuvent atteindre, comme cela a été le cas sur Antifer et Cabourg, jusqu'à 70 µg.L⁻¹ (avec des salinités restant supérieures à 32-33 pour mille, i.e. dans des secteurs « marins »).

Sur ces secteurs eutrophes, ou eutrophisés, les maxima de production ne s'observent jamais lors du premier bloom annuel, mais plus tardivement, suite à une crue estivale ou automnale (recharge du milieu en sels nutritifs).

Dans les cas les plus critiques, les niveaux de production de biomasse phytoplanctonique atteints sont trop élevés pour les capacités d'acceptation des milieux : à la mort du phytoplancton qui s'est développé, sa dégradation bactérienne entraîne des diminutions marquées des teneurs en oxygène, voire des anoxies, qui à leur tour génèrent des mortalités massives des animaux marins vivants dans les secteurs touchés.

Il est à noter que ces cas de figure extrêmes, avec des anoxies marquées, ne se rencontrent pas dans les eaux normandes, malgré les niveaux de production phytoplanctoniques atteints (secteur de l'estuaire de la baie de Seine), du fait de l'hydrodynamisme local qui permet le brassage et l'homogénéisation des masses d'eau, ainsi que l'exportation des biomasses phytoplanctoniques produites.

⁷ D'autant que c'est généralement durant l'automne qu'on enregistre une augmentation de la pluviométrie. On enregistre également à cette saison la reprise des coups de vents qui permettent le mélange de la colonne d'eau, et la remise en suspension de sédiments, ce qui peut également contribuer à l'augmentation des teneurs en sels nutritifs.

Tableau 1 : Synthèse des paramètres descripteurs des cycles biogéochimiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes.

Masse d'eau	Point de suivi	Apports terrigènes	Salinité (dessaure)	Période productive (début)	Chlorophylle a (maxima)	% de dépassement du seuil O ₂ fond (< 5 µg.L ⁻¹)	Sels nutritifs				Limitation potentielle (d)	Sel potentiellement limitant	Cycle biogéochimique	Flores (c) (phytoplancton)	Niveau de dystrophie
							Stocks hivernaux			Maxima					
HC01	Chausey	Aucun	Très faible (< 2 ‰)	mars - avril	5 à 7 µg.L ⁻¹	0	15 µM	< 1 µM	10 µM	1,5-2 µM	-	N (juin-août)	Classique	EOM	Très faible
HC02	Hacqueville	Influence Boscq	Faible (2 à 3 ‰)	mars - avril	5 à 6 µg.L ⁻¹	0	25-45 µM	< 1 µM	15-20 µM	3-4 µM	++	N (juin-sept)	Classique	IME	Faible
	Donville	Influence Boscq	Faible (2 à 3 ‰)	mars	< à 5 µg.L ⁻¹	0	20-65 µM	1 µM	15-30 µM	1,5-2 µM	++	N (mai-sept)	Classique	IME	Faible
HC03	Coudeville	Aucun	Faible (2 à 3 ‰)	mars	< à 5 µg.L ⁻¹ (a)	0	-	-	-	< 1 µM	++	N (mai-sept)	Classique	EOM	Faible
	Agon	Influence Sienne	Faible (2 ‰)	-	6 µg.L ⁻¹	0	-	-	-	< 1 µM	++	N (mai-sept)	Classique	EOM	Faible
	Pirou	Influence Ay	Très faible (< 2 ‰)	mars	3 à 8 µg.L ⁻¹	4,5 (b)	25 µM	< 1 µM	20 µM	3-4 µM	++	N (mai-sept)	Classique	EOM	Faible
HC04	Denneville	Aucun	Très faible (< 2 ‰)	mars	< à 6 µg.L ⁻¹	0	25 µM	-	15-20 µM	2-2,5 µM	++	N (mai-sept)	Classique	EOM	Faible
	Barneville	Aucun	Très faible (1 ‰)	mars	< à 5 µg.L ⁻¹	0	15 µM	< 1 µM	-	5 µM	-	-	Classique	EOM	Très faible
HC05	Jobourg	Aucun	Très faible (< 2 ‰)	mars	< à 6 µg.L ⁻¹	2,9 (b)	15-20 µM	< 1 µM	-	2-2,5 µM	-	-	Classique	EOM	Très faible
	Gruchy	Aucun	Très faible (< 1 ‰)	avril	9 µg.L ⁻¹	0	20 µM	< 1 µM	10 µM	2-3 µM	+	N et P (juin-août)	Classique	EOM	Très faible
HC60	Cherbourg	Aucun	Très faible (< 1 ‰)	avril	8 à 9 µg.L ⁻¹	0	25 µM	< 1 µM	12 µM	2-3 µM	-	-	Classique	EOM	Très faible
HC61	Querqueville	Lucas / Diélette	Très faible (< 1 ‰)	avril	< à 3 µg.L ⁻¹	0	25 µM	< 1 µM	12 µM	8 µM (2005)	+	N (juin-août)	Classique	BE	Très faible
HC07	Cap Lévy	Aucun	Très faible (< 1 ‰)	avril	10 µg.L ⁻¹	0	25 µM	< 1 µM	12 µM	1,5-2 µM	-	-	Classique	EOM	Très faible
HC08	Réville	Influence Saire	Très faible (< 1 ‰)	avril	10 µg.L ⁻¹	0	25 µM	< 1 µM	12 µM	3-4 µM	++	N (juillet-août)	Classique	EMO et IME	Faible
HC09	La Hougue	Influence Saire	Faible (2 à 3 ‰)	mars - avril	12 µg.L ⁻¹	0	30 µM	< 1 µM	15 µM	7 µM	++	N (juin-sept)	Classique	EMO et IME	Faible
	Les Gougins	Petits fleuve côtiers	Faible (2 à 3 ‰)	mars - avril	14 µg.L ⁻¹	0	30 µM	< 1 µM	15 µM	2-3 µM	++	N (juin-sept) Si (mars-juin) ?	Classique	EOM	Faible
HC10	Grandcamp	Influence Taute, Vire, Aure et Douve	Moyenne (3 à 4 ‰)	mars - avril	20 à 25 µg.L ⁻¹	0	35-40 µM	> 1 µM	20 µM	3-4 µM	++	N (juin-août)	Classique	BE	Modéré
	Utah Beach		Moyenne (3 à 4 ‰)	mars - avril	20 à 25 µg.L ⁻¹	0	35-40 µM	> 1 µM	20 µM	1-2 µM	?	?	Classique	EMO et IME	Faible
	St Germain de Var.		Faible (2 à 3 ‰)	mars - avril	12 µg.L ⁻¹	0	-	-	-	3-4 µM	+	N (juillet) ?	Classique	EMO et IME	Faible
HT6	Géfosse	Influence Taute, Vire, Aure et Douve	Moyenne (3 ‰)	mars - avril	25 µg.L ⁻¹	0	40-50 µM	> 1 µM	20 µM	3 µM	++	N (juin-août)	Classique	BE	Modéré
HC11	Port en Bessin	Résurgence Aure	Très faible (1 ‰)	mars - avril	12 à 14 µg.L ⁻¹	0	25 µM	< 1 µM	15 µM	2-3 µM	+	N (juin-août)	Classique	EMO et IME	Faible
HC12	Meuvaines	Aucun	Très faible (1 ‰)	avril	6 à 8 µg.L ⁻¹	0	30-35 µM	< 1 µM	20-25 µM	1-1,5 µM	+	N (juillet-août)	Classique	EMO et IME	Très faible
HC13	Les Essarts	Aucun	Très faible (1 ‰)	avril	5 à 6 µg.L ⁻¹	0	30-35 µM	< 1 µM	20-25 µM	3-4 µM	-	-	Classique	EOM	Très faible
HC14	Luc-sur-mer	influence Orne	Moyenne (4 à 6 ‰)	avril	20 à 25 µg.L ⁻¹	0	50 µM	2 µM	30 µM	10-12 µM	+	N (juillet-août)	Perturbé	BE	Modéré
	Ouistreham		35 à 40 µg.L ⁻¹	0	50-55 µM	> 2 µM	35 µM	20-25 µM	+/-	N (juillet-août)	Perturbé	BE	Assez élevé		
HC15	Cabourg	Influence Dives, Seine	Forte (8 à 9 ‰)	avril	70 µg.L ⁻¹	2,9	70-90 µM	2 à 3 µM	40 µM	20-25 µM	-	-	Perturbé	BE	Assez élevé
HT3	Carosse	Influence Seine	Moyenne (4 à 8 ‰)	avril	30 µg.L ⁻¹	0	180 µM	2 à 4 µM	80 µM	14 µM	+/-	Si (juin) ?	Perturbé	BE	Assez élevé
HC16	Antifer	Influence Seine	Forte (8 à 12 ‰)	avril	70 µg.L ⁻¹	0	120 µM	> 2 µM	50 µM	6-7 µM	+	P (juin-juillet) ? Si (mai-juillet) ?	Perturbé	BE	Assez élevé
HC17	Fécamp	Influence Valmont, Durdent	Moyenne (5 à 6 ‰)	mars - avril	< à 3 µg.L ⁻¹ (2006)	0	60 µM	> 2 µM	20 µM	10-12 µM	-	?	Classique	EOM	Faible
	St Aubin-sur-mer	Aucun	Très faible (1 ‰)	mars - avril	6 à 8 µg.L ⁻¹	0	30 µM	< 1 µM	20 µM	3-4 µM	+/-	N (août) et P (mai-juin) ?	Classique	EOM	Faible
HC18	Dieppe	Influence Béthune	Très faible (1 ‰)	mars - avril	10 µg.L ⁻¹	0	30 µM	< 1 µM	20 µM	3-4 µM	+/-	?	Classique	EOM	Faible

Légende

(a) un pic à 12 µg.L⁻¹ en 2006

(b) le nombre de données est inférieur à 30, les résultats ne sont donc pas significatifs

(c) Flores caractéristiques des:

BE: Baies et Estuaires
EOM : Eaux Ouvertes de la Manche
IME : Influence Milieux Estuariens

(d) Limitation potentielle d'un sel:

N: Azote Si: Silicium
P: Phosphore

++ : carence vraisemblable

+ : carence potentielle
- : pas de carence

Analyse

Sur l'Ouest et le Nord du Cotentin, de Chausey au Cap Lévy, les masses d'eau sont, à l'exception de la HC02 et du Sud de la HC03, peu influencées par les apports terrigènes. Les variations de salinité restent faibles et atteignent au maximum des amplitudes de l'ordre de 2 pour mille. Les stocks hivernaux en sels nutritifs varient entre 15 et 25 μM de nitrate/nitrite, 10 et 20 μM de silicate et le phosphate ne dépasse pas les 1 μM . Les pics de chlorophylle *a* atteignent au maximum 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur le Nord du Cotentin mais sont généralement inférieurs à 6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur la côte Ouest. La présence d'ammonium dans le milieu peut être un signe d'apports terrigènes récents, puisque la transformation de l'ammonium en nitrite puis en nitrate (nitrification) n'a pas encore eu lieu. Elle peut aussi avoir pour origine le « grazing » (broutage du phytoplancton par le zooplancton, et excrétion d'ammonium). Les teneurs maximales en ammonium observées sur cette zone ne dépassent pas 4 à 5 μM , à l'exception du point de la Digue de Querqueville qui a atteint en 2005 8 μM . Les masses d'eau de ce secteur suivent des cycles biogéochimiques "classiques" et les niveaux de dystrophie peuvent être considérées comme faibles, voire très faibles.

Les points Hacqueville (HC02) et Donville (HC03) semblent être soumis à l'influence des apports provenant de la Baie du Mont St Michel mais également à celle des rejets urbains de Granville et du cours d'eau du Boscq. Ils subissent des variations de salinité comprises entre 2 et 3 pour mille, les stocks hivernaux en sels nutritifs sont plus élevés et les flores sont caractéristiques de secteurs connaissant une influence estuarienne. En revanche, les maxima de chlorophylle restent du même ordre de grandeur que sur l'ensemble de la côte Ouest du Cotentin et leurs niveaux de dystrophie peuvent être considérés comme faibles.

En ce qui concerne la côte Est du Cotentin, plus on descend vers le Sud et plus l'influence des apports terrigènes provenant de la Baie des Veys se fait sentir. Entre Réville et St Germain de Varville, les variations de salinité restent minimales (entre 2 et 3 pour mille), les maxima de chlorophylle *a* sont compris entre 10 et 14 $\mu\text{g.L}^{-1}$, et les stocks hivernaux de sels nutritifs sont de l'ordre 25-30 μM de nitrate + nitrite, environ 15 μM de silicate et le phosphate ne dépasse pas les 1 μM . On détecte néanmoins une légère influence de la Saire sur les points de la Hougue et de Réville d'après les teneurs en ammonium et les flores phytoplanctoniques dont les caractéristiques révèlent une influence estuarienne.

A partir d'Utah Beach, sur Gêfosse et Grandcamp, les biomasses de chlorophylle atteignent 20 à 25 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (en valeurs maximales) et l'influence de la Vire, de la Taute, de l'Aure et de la Douve se fait clairement sentir (dessalures comprises entre 3 et 4 pour mille). Les apports d'eau douce génèrent des recharges en sels nutritifs assez importantes puisque les stocks hivernaux sont de l'ordre de 35 à 50 μM de nitrate + nitrite, environ 20 μM de silicate et le phosphate dépasse désormais 1 μM . Mais ces recharges ne sont pas encore assez importantes pour que le système "s'emballe". Les cycles biogéochimiques restent "classiques". Les niveaux de dystrophie peuvent donc être considérés comme « modérés ».

Les points de suivi de Port en Bessin, de Meuvaines et celui des Essarts ne semblent pas soumis à l'influence des fleuves de la Baie des Veys à l'Ouest et à celle de l'Orne, de la Dives et de la Seine à l'Est (variations de salinité de l'ordre de 1 pour mille). De ce fait, les stocks hivernaux en sels nutritifs sont plus faibles que sur Grandcamp et les maxima de chlorophylle *a* varient entre 5 et 14 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

A partir de Luc-sur-mer et jusqu'à Antifer, l'influence de l'Orne, de la Dives et de la Seine se fait clairement sentir. Les variations de salinités sont comprises entre 4 et 6 pour mille sur la masse d'eau HC14, et atteignent jusqu'à 12 pour mille sur Antifer. La masse d'eau HC14 est une zone de

transition entre les masses d'eau de l'Ouest de la Baie de Seine (HC10 et HT6), certes productives, mais qui présentent un cycle biogéochimique "classique", et les masses d'eau situées de part et d'autre de l'estuaire de la Seine (HC15 et HC16) qui présentent des signes manifestes d'eutrophisation du fait de l'importance des apports nutritifs qu'elles reçoivent (cycles "perturbés"). En effet, on enregistre des stocks hivernaux en sels nutritifs de l'ordre de 50 à 180 μM de nitrate + nitrite, de 30 à 80 μM de silicate et le phosphate dépasse largement 2 μM . Les teneurs en ammonium sont également bien plus importantes que sur le reste des points puisqu'elles atteignent entre 10 et 25 μM . Ces recharges incessantes en sels nutritifs, à chaque crue de la Seine, de l'Orne, de la Dives ou de la Touques, font que le système "s'emballé" et que des pics de chlorophylle se succèdent tout au long de la période productive avec des teneurs moyennes de l'ordre de 20 à 40 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et des maxima de 70 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur Cabourg et Antifer. L'étude des peuplements phytoplanctoniques indique clairement que les flores présentes sont caractéristiques des zones de baies et d'estuaires. Les masses d'eau HC14, HC15 et HC16 sont les plus productives de Normandie, leur niveau de dystrophie peut être considéré comme « assez élevé », même si l'hydrodynamisme local permet de prévenir les anoxies.

A partir de Fécamp, l'influence de la Seine se fait moins sentir. Les teneurs en chlorophylle et les stocks de sels nutritifs sont revenus à des niveaux comparables à ceux de la côte Est du Cotentin. En revanche, il semble que le point Fécamp puisse être sous l'influence directe de la Valmont puisque des variations de salinité de 5 à 6 pour mille sont enregistrées. Par ailleurs, les teneurs élevées en ammonium (10-12 μM) peuvent être le signe d'apports terrigènes « récents ». Néanmoins les masses d'eau HC17 et HC18 suivent des cycles biogéochimiques de nouveau "classiques" et les niveaux de dystrophie sont faibles.

En ce qui concerne les rapports de sels, il semble qu'entre Chausey et Cabourg, l'azote soit l'élément principalement limitant, avec des périodes potentielles de carence s'étalant généralement entre mai et novembre (même si sur les masses d'eau HC15 et HC14 il est difficile de conclure à des phases de carence en azote du fait des recharges liées aux apports locaux).

Au point Carosse (HT3) et jusqu'à Fécamp (HC17), il semble que la carence serait plus due au phosphore (ou à la silice). Les programmes de déphosphatation des eaux usées menés sur Achères/Paris, Rouen, ainsi que sur d'autres STEP du bassin versant de la Seine ont permis une baisse des flux de phosphore depuis 30 ans, ce qui semble avoir des conséquences directes sur la disponibilité du phosphate par rapport au nitrate durant la période productive au sein des masses d'eau HT3 et HC16, ainsi que dans la partie Sud de la HC17.

A partir du Nord de la masse d'eau HC17, et sur la masse d'eau HC18, ce serait à nouveau l'azote qui redeviendrait le sel potentiellement limitant de la production phytoplanctonique.

3. Évaluation de la qualité des masses d'eau au moyen des indicateurs DCE « Phytoplancton ».

Quatre indicateurs ont été retenus par la circulaire du MEDD du 5 mars 2007 pour décrire et évaluer la qualité du compartiment phytoplanctonique dans le cadre de la DCE.

Il s'agit des indicateurs "concentration en chlorophylle a", "nombre de blooms dépassant les 100 000 cellules.L⁻¹", "nombre de blooms dépassant le million de cellules.L⁻¹", et "concentration en oxygène dissous au fond". Pour chacun de ces indicateurs, 5 classes de qualité ont été définies, ainsi que l'indique le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Grille des indicateurs phytoplancton
(fixés par la circulaire MEDD du 5 mars 2007 ou retenus dans le cadre du présent rapport).

Indicateur	Métrique	Unité	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Etat médiocre	Etat mauvais
Chlorophylle sub-surface	Percentile 90	µg.L ⁻¹	de 0 à 5	de 5 à 10	de 10 à 20	de 20 à 40	> à 40
Oxygène dissous au fond	Percentile 10	mg.L ⁻¹	> à 5	de 3 à 5	de 2 à 3	de 1 à 2	> à 1
Indice d'abondance	Nombre de blooms avec dépassement du seuil de 100 000 cellules.L ⁻¹	pourcentage	< à 20 %	de 20 à 40 %	de 40 à 70 %	de 70 à 90 %	> à 90 %
Indice de composition	Nombre de blooms d'espèces nuisibles avec dépassement du seuil de 1 000 000 cellules.L ⁻¹	pourcentage	< à 10 %	de 10 à 18 %	de 18 à 36 %	de 36 à 80 %	ou > à 80 %

Chlorophylle a : la métrique retenue est le percentile 90 des valeurs (exprimées en µg/L) obtenues en sub-surface entre les mois de mars et d'octobre chaque année (8 mesures par an). Sur certains points de suivi, les protocoles RHLN (et Réphy) ont permis l'obtention d'un nombre de valeurs nettement supérieur à ces exigences DCE. De façon à respecter le mode opératoire DCE pour la synthèse de cet indicateur, nous n'avons retenu que la première valeur mensuelle disponible de concentration en chlorophylle a sur les mois de mars à octobre de chaque année.

Oxygène dissous : la mesure s'effectue au fond au moyen d'une sonde multiparamètres. La teneur est exprimée en mg/L. Seules 4 valeurs par an, une par mois entre juin et octobre, sont à utiliser pour définir le percentile 10. Dans le cadre du présent rapport, nous avons donc retenu la première valeur obtenue chaque mois sur ces 4 mois entre 2001 et 2006.

Indice d'abondance : cet indicateur repose sur l'occurrence du nombre de blooms, exprimé en pourcentage par rapport au nombre total de dénombrements floristiques (ou "flores") réalisés. Il n'est cependant toujours pas parfaitement défini fin 2007. Il y a en effet des divergences entre la position du MEDD, celle du rapport technique d'inter calibration des GIGs⁸ et les propositions du groupe de travail interne d'Ifremer, notamment en ce qui concerne la définition de ce qu'est un bloom (100 000 cellules.L⁻¹ vs 250 000 cellules.L⁻¹), et la taille minimale des espèces phytoplanctoniques à prendre en compte lors de la réalisation des dénombrements floristiques. Dans le présent rapport, afin de déterminer les indices d'abondance, nous avons utilisé toutes les premières flores mensuelles disponibles (12 par an au maximum) et avons retenu le seuil de 100 000 cellules.L⁻¹, quelles que soient les espèces microphytoplanctoniques (taille > 20µm).

⁸ GIGs pour « Geographical Intercalibration Groups ». Groupes chargés, entre autre, de définir les indicateurs DCE (paramètres, métriques, fréquences, cahiers des procédures) pour l'ensemble des pays membres et pays candidats. Informations complémentaires sur le site <http://www.forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library>

Indice de composition : cet indicateur repose sur l'occurrence du nombre de blooms d'espèces toxiques ou nuisibles dont les concentrations cellulaires dépassent le seuil de 1 million de cellules.L⁻¹. Tout comme l'indice d'abondance, l'indice de composition n'est pas définitivement arrêté à la fin 2007, notamment parce que les listes d'espèces nuisibles ou toxiques ne sont pas définies. Afin de calculer les indices de composition dans les masses d'eau normandes, nous avons retenu comme espèces indicatrices (i.e. nuisibles ou toxiques) les genres *Phaeocystis* et *Pseudo-nitzschia* uniquement. Toutes les premières flores mensuelles acquises par le RHLN, le Réphy, ou les suivis Cogéma, ont été retenues, et les fréquences de dépassement de la valeur seuil de 1 million de cellules.L⁻¹ pour les 2 genres précités ont été déterminées.

Synthèses des différents indicateurs :

Le mode de réalisation des synthèses globales des résultats obtenus au moyen des différents indicateurs n'est pas non plus arrêté fin 2007. Nous avons donc choisi de présenter les résultats à la fois par point de suivi, puis par masse d'eau (quand cette dernière abrite plusieurs points de suivi). Les synthèses par masse d'eau sont réalisées en reprenant l'ensemble des données disponibles sur chacun des points de suivi de la masse d'eau, et en déterminant à partir de jeu de données global, soit les percentiles 10 ou 90 respectivement pour l'oxygène de fond ou la chlorophylle a en surface, soit les occurrences de blooms (indices globaux d'abondance et de composition).

Nous avons également choisi de systématiquement rappeler dans les tableaux de synthèse le résultat qui serait obtenu si nous retenions pour les synthèses pluriannuelles le résultat annuel le plus déclassant enregistré au cours du plan, bien que ce mode de synthèse ne soit pas à ce jour retenu ni par le MEDD, ni par les GIGs. Cette façon de procéder génère bien fréquemment un déclassement des points de suivi ou des masses d'eau, ce qui n'est pas un objectif en soi, mais a le mérite d'identifier les masses d'eau à problème potentiel, et qui font qu'une attention particulière doit être accordée lors de l'établissement des programmes de limitation ou de traitement des flux ou rejets sur leurs bassins versants d'alimentation.

3.1. Évaluation de la qualité des eaux normandes au moyen de l'indicateur chlorophylle a

Les colonnes "Global 2001-2006" du Tableau 3 donnent, par point puis par masse d'eau, le percentile 90 déterminé à partir du jeu global des données acquises sur les 6 années de suivi. Les colonnes "le + déclassant" indiquent ce que donnerait un mode de synthèse consistant à retenir comme valeur finale sur la durée du plan de gestion la valeur annuelle la plus déclassante.

Les eaux des côtes Ouest et Nord Cotentin, depuis Cancale, Hacqueville, Champeaux et Chausey, jusqu'au cap Lévi, sont de "très bonne qualité" pour cet indicateur chlorophylle a. Le point Jobourg présente un déclassement en qualité "bonne" en 2004, déclassement dû à un très léger dépassement du seuil : 5,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$ alors que le seuil est fixé à 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Le secteur s'étendant de la côte Est Cotentin (Réville) jusqu'à Port en Bessin, en passant par la Baie des Veys, et la partie occidentale des côtes du Calvados présente des points et des masses d'eau classés en "bon état" sur la période 2001-2006 (colonnes "Global 2001-2006", qui sont les seules à prendre en compte au titre de la DCE), avec cependant des déclassements en "état moyen" enregistrés sur les points (et les 2 masses d'eau) de la Baie des Veys, notamment en début de période de suivi (2001-2003). Ces déclassements, bien que dus à de très légers dépassements du seuil de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ témoignent de la très forte productivité de l'écosystème de la Baie de Veys, directement enrichi par les apports d'un bassin versant de 3500 Km².

Tableau 3 : Détermination des valeurs de l'indicateur chlorophylle a par point de suivi et par masse d'eau. (données RHLN, Réphy et COGEMA),

		Indicateur Chlorophylle a : percentile 90 en $\mu\text{g.L}^{-1}$ (mars à octobre)									
		Par point de suivi							Par masse d'eau		
Masse d'eau	Nom du point	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Global 2001-2006	Le + déclassant annuel	Global 2001-2006	Le + déclassant annuel
HC01	Chausey	4.63	2.77	2.89	1.62	1.70	2.34	2.28		2.28	4.63 (2001)
HC02	Hacqueville				2.97	1.48	3.38	2.87		3.13	3.42 (2006)
	Champeaux Cancale						3.13 2.36	3.13 2.36			
HC03	Donville	3.00	2.85	1.95	2.34	1.82	2.26	2.66		2.80	3.45 (2006)
	Coudeville						2.77	2.77			
	Agon				1.71	1.03	4.32	1.82			
	Pirou Denneville	2.31	2.41	3.70	3.03	1.88	4.10 1.19	3.46 1.19			
HC04	Jobourg				5.24	1.47	1.49	2.62		2.82	4.82 (2004)
	Barneville				3.16	2.01	3.19	2.66			
HC05	Gruchy				4.49	1.96		3.28		3.28	4.49 (2004)
HC60	Cherbourg				4.60	1.81	1.88	3.86		3.86	4.60 (2004)
HC61	Digue Querqueville					2.03	1.79	2.14		2.14	2.03 (2005)
HC07	Cap levi				3.44	2.30	0.97	3.06		3.06	3.44 (2004)
HC08	Reville				5.54	7.97	5.50	6.79		6.79	7.97 (2005)
HC09	Gougins						7.01	7.01		7.32	7.43 (2006)
	St Vaast la hougue			4.14	5.40	4.73	5.09	7.23			
HT6	Géfosse		12.27	10.09	7.77	5.90	5.92	8.78		8.78	12.27 (2002)
HC10	Grandcamp	10.37	8.04	10.41	6.89	8.28		9.85		9.20	12.14 (2001)
	St Germain de varreville Utah beach	10.13	8.80	3.01	3.28	5.56		5.35 7.76			
HC11	Port en bessin				9.34	6.44	9.74	8.63		8.63	9.74 (2006)
HC12	Meuvaines				4.89	3.87	2.69	4.74		4.74	4.89 (2004)
HC13	Les essarts				2.97	2.69	1.75	2.82		2.82	2.97 (2004)
HC14	Luc sur mer	4.72	9.85	12.61	8.39	4.79	8.99	8.50		16.01	16.74 (2003)
	Ouistreham	27.98	17.32	18.47	13.39	9.89	11.64	19.05			
HC15	Cabourg	41.57	5.44	18.84	7.77	8.97	17.35	13.76		13.76	41.57 (2001)
HT3	Bouée Carosse			14.61	20.16			20.38		20.38	20.16 (2004)
HC16	Antifer		21.69	9.61	7.90	21.27	16.96	12.72		12.72	21.69 (2002)
HC17	Fécamp						2.99	2.99		3.90	7.32 (2005)
	St aubin				2.25	7.32		5.97			
HC18	Dieppe				2.53	4.76		2.97		2.97	4.76 (2005)

Les points (et masses d'eau) Meuvaines et les Essarts sont classés en "très bon état" du point de vue de ce paramètre. A noter que les suivis n'y ont débuté qu'en 2004, i.e. après les années les plus pluvieuses de 2001 à 2003, qui ont également été les années les plus productives.

Les masses d'eau HC14, HC15, HT3 et HC16, s'étendant de Luc-sur-Mer jusqu'à Antifer, constituent un secteur où l'on enregistre les plus mauvais classements au moyen de l'indicateur DCE Chlorophylle a de Normandie, le maximum annuel correspondant à l'état "mauvais", et ayant été enregistré en 2001 au point Cabourg. La synthèse pluriannuelle fait ressortir, sur ce secteur, les quatre points de Cabourg, Carosse, Ouistreham et Antifer comme les plus productifs de Normandie, ce qui s'explique par l'importance des rejets de la Seine, mais aussi de l'Orne et de la Dives, ainsi que par le potentiel de stratification de ce secteur mis en évidence par les mesures du RHLN, et l'outil modèle (Figure 73 et Figure 74 ci-dessous).

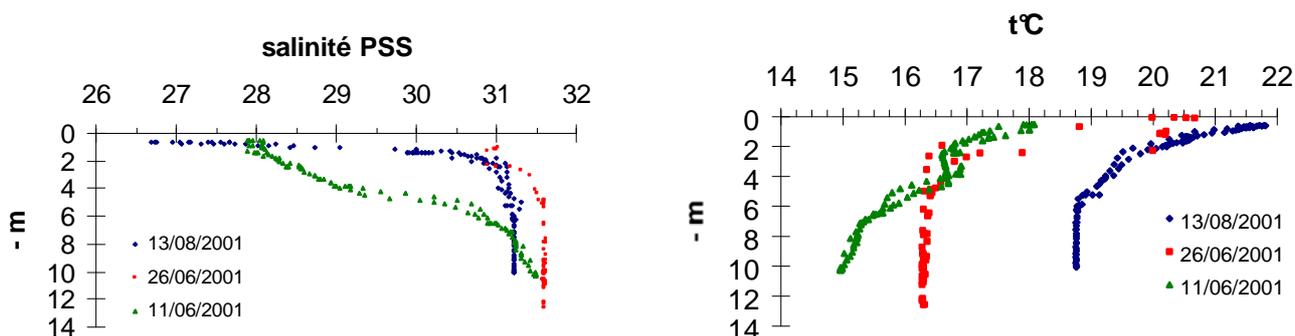


Figure 73 : Profils stratifiés de température et de salinité, enregistrés sur Cabourg les 11 juin, 26 juin et 13 août 2001, donnés à titre d'exemple. (en abscisse, les salinités ou les températures, et en ordonnée les profondeurs)

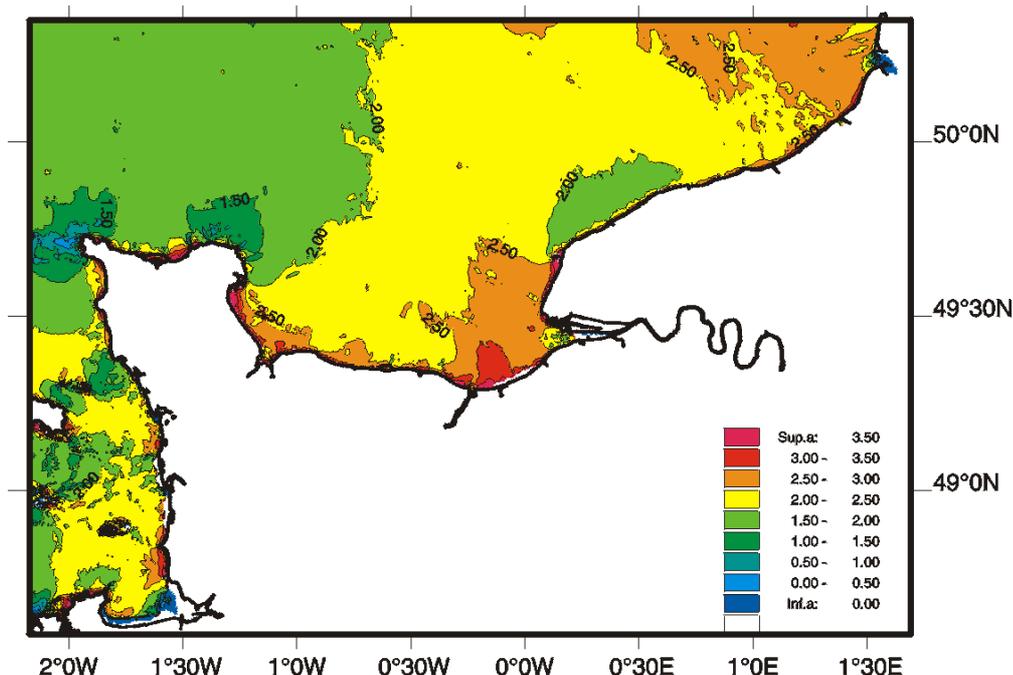


Figure 74 : Représentation du potentiel de stratification H/U^3 des eaux côtières normandes (H = profondeur de la colonne d'eau et U = vitesse instantanée maximale du courant) d'après Simpson et Hunter (1974). Carte obtenue à l'aide du modèle hydrodynamique Normandie-Manche à mailles de 300 m (P. Lazure, Ifremer DEL/AO). Rouge = potentiel élevé ; bleu = potentiel très faible.

Le classement s'améliore ensuite, et les points Fécamp, St aubin et Dieppe (masses d'eau HC17 et HC18) présentent des bonnes ou très bonnes qualités, l'influence du panache de la Seine semblant s'estomper rapidement après le cap d'Antifer, du moins en ce qui concerne le paramètre chlorophylle a, et donc les niveaux de production de biomasse.

3.2. Évaluation de la qualité des eaux normandes au moyen de l'indicateur oxygène dissous au fond.

Le Tableau 4 récapitule les résultats obtenus au moyen de l'indicateur oxygène. Les résultats sont exprimés par points de suivi et par année, puis globalement sur la période 2001-2006, puis enfin globalement par masse d'eau. Tous les résultats obtenus confèrent aux points suivis et aux masses d'eau normande une "très bonne" qualité.

Tableau 4 : percentiles 10 de l'oxygène dissous et classes de qualité DCE sur les points de suivi du RHLN (et des projets Réphy et COGEMA), ainsi que sur les masses d'eau DCE de Normandie.

		Indicateur Oxygène : percentile 10 en mg.L ⁻¹ (juin à septembre)							Par masse d'eau
		Par point de suivi						Global 2001-2006	Global 2001-2006
Masse d'eau	Nom du point	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Global 2001-2006	Global 2001-2006
HC01	Chausey	7.55	8.65	7.55	7.90	7.71	7.61	7.49	7.49
HC02	Hacqueville				7.69	7.59	8.55	7.55	7.55
	Champeaux						8.53	8.53	
	Cancale						8.15	8.15	
HC03	Donville	8.25	8.58	8.05	7.87	7.72	7.17	7.73	7.34
	Coudeville						6.97	6.97	
	Agon	7.74			8.03		7.44	7.36	
	Pirou				8.05		6.30	6.72	
	Denneville						6.49	6.49	
HC04	Jobourg			7.80	6.96	7.73	7.38	7.15	7.11
	Barneville			7.79	7.46	7.76	7.15	7.40	
HC05	Gruchy				7.70	7.33		7.46	7.46
HC60	Cherbourg				7.71	7.32	7.20	7.18	7.18
HC61	Digue Querqueville					7.32	7.60	7.25	7.25
HC07	Cap levi				7.58	7.23	7.09	7.07	7.07
HC08	Reville				7.54	7.22	7.84	7.19	7.19
HC09	Gougins						7.47	7.47	7.12
	St Vaast la hogue			7.49	7.65	7.26	7.40	7.21	
HT6	Géfosse		7.65	8.00	7.90	7.86	7.63	7.50	7.50
HC10	Grandcamp	8.35	7.90	7.35	7.64	8.92		7.56	7.67
	St Germain de varreville	8.68			7.85	9.71		8.28	
	Utah beach						8.36	8.36	
HC11	Port en bessin				7.66	7.12	7.34	7.31	7.31
HC12	Meuvaines				6.98	7.08	7.40	6.93	6.93
HC13	Les essarts				6.82	6.58	6.86	6.67	6.67
HC14	Luc sur mer	7.30	7.10	6.83	7.24	6.72	6.75	6.51	6.45
	Ouistreham	8.25	7.81	6.46	7.21	6.75	7.54	6.64	
HC15	Cabourg	9.82	7.23	5.92	5.33	6.10	7.46	5.92	5.92
HT3	Bouée Carosse			6.46	7.44			6.68	6.68
HC16	Antifer		7.28	7.27	7.55	8.12	6.99	7.19	7.19
HC17	Fécamp						7.71	7.71	7.47
	St aubin				7.31	7.82		7.39	
HC18	Dieppe				7.56	7.88		7.61	7.61

Le RHLN, sur ses 6 premières années de suivi n'a jamais permis de mettre en évidence d'anoxie, voire même d'hypoxie notable, sur les points échantillonnés. Les minimums du percentile 10 de l'oxygène dissous au fond ont été enregistrés dans la zone de l'estuaire de Seine, et notamment sur Cabourg (Tableau 4).

Si l'on reprend l'ensemble des valeurs brutes disponibles, le minimum absolu (3.89 mg.L⁻¹) a été enregistré sur Cabourg le 2 août 2004. Le seuil des 5 a été franchi sur ce point à 4 reprises (2 fois en 2003 et 2 fois 2004) sur les 139 échantillonnages réalisés (Figure 75). Ces résultats sont corroborés par les données fournies par le réseau de bouées Marel qui était positionné dans l'estuaire aval de la seine (A. Daniel, 2004).

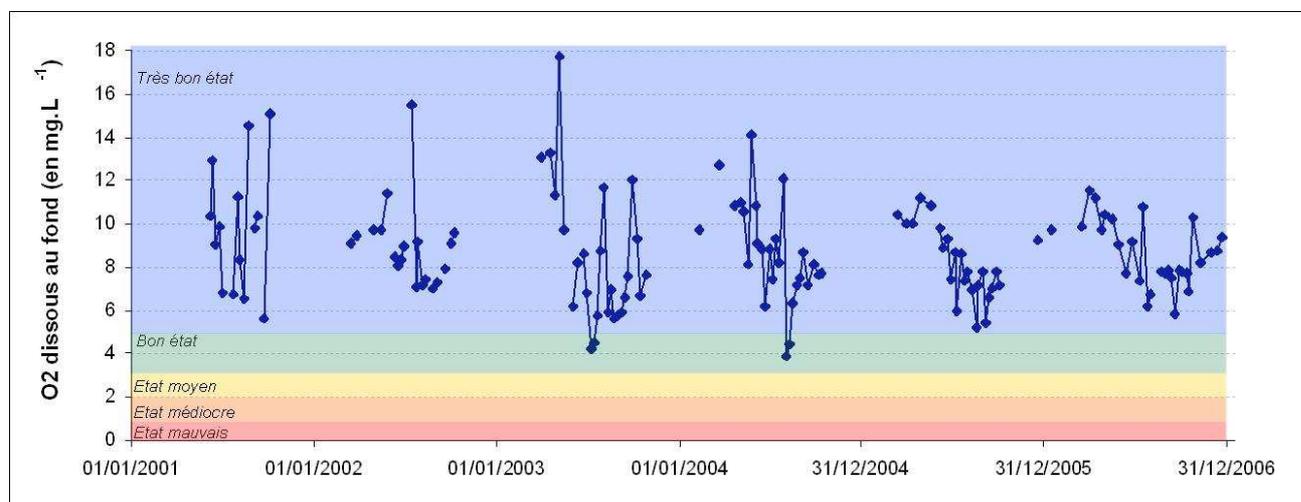


Figure 75 : Ensemble des valeurs d'oxygène dissous acquises au fond sur le point Cabourg dans le cadre du RHLN entre 2001 et 2006.

Cette absence de sous saturation majeure en oxygène dissous dans le secteur de l'estuaire de Seine et dans toute la partie orientale de la baie de Seine, malgré des niveaux de production de biomasse tout à fait exceptionnels (plus de 70µg.L⁻¹ de chlorophylle a en valeurs maximales) s'explique par l'hydrodynamisme local particulier.

Dans les autres secteurs du littoral normand, les niveaux de production de biomasse sont nettement inférieurs (Cf. §3.1.), et l'hydrodynamisme également marqué.

De ce fait, l'ensemble des points et des masses d'eau de Normandie est de très bonne qualité selon cet indicateur.

3.3. Indicateur “indice d’abondance”.

Les résultats obtenus par point et par année, puis globalement entre 2001 et 2006, et enfin globalement par masse d’eau, sont donnés par le Tableau 5.

Tableau 5 : Indices d’abondance des points de suivi RHLN et des masses d’eau DCE de Normandie.

		Indicateur phyto 1 : Indice d’Abondance en % (janvier à décembre)									
Masse d’eau	Nom du point	Par point de suivi						Global 2001-2006		Par masse d’eau	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	Le + déclassant annuel	Global 2001-2006	Le + déclassant annuel	
HC01	Chausey	16.67	16.67	37.50	0.00	0.00	37.50	18.18	18.18		
HC02	Hacqueville				0.00	22.22	33.33	15.79			
	Champeaux Cancale						50.00	50.00	23.00	40.00 (2006)	
HC03	Donville	0.00	8.33	16.67	8.33	16.67	33.33	13.89			
	Coudeville						22.22	22.22			
	Agon	16.67	16.67	11.11	0.00	16.67	11.11	11.63	14.37	20.83 (2005)	
	Pirou Denneville	20.00	50.00	12.50	14.29	33.33	0.00	19.51			
HC04	Jobourg Barneville			33.33	22.22	12.50	11.11	20.00	23.94	44.44 (2003)	
HC05	Gruchy				0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
HC60	Cherbourg				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HC61	Digue Querqueville					0.00	14.29	7.14	7.14	14.29 (2006)	
HC07	Cap levi				0.00	14.29	0.00	6.67	6.67	14.25 (2005)	
HC08	Reville				20.00	62.50	25.00	41.18	41.18	62.50 (2005)	
HC09	Gougins						25.00	25.00			
	St Vaast la hougue			10.00	0.00	62.50	37.50	26.47	26.19	62.50 (2005)	
HT6	Géfosse		57.14	44.44	16.67	45.45	41.67	39.22	39.22	57.14 (2002)	
HC10	Grandcamp	8.33	16.67	33.33	16.67	50.00	37.50	25.86			
	St Germain de varreville Utah beach	20.00	50.00	0.00	0.00	50.00		25.81	28.57	50.00 (2005)	
HC11	Port en bessin				33.33	55.56	42.86	45.45	45.45	55.56 (2005)	
HC12	Meuvaines				0.00	33.33	12.50	17.39	17.39	33.33 (2005)	
HC13	Les essarts			0.00	0.00	10.00	0.00	3.85	3.85	10.00 (2005)	
HC14	Luc sur mer	16.67	30.00	71.43	28.57	20.00	25.00	29.63	36.17	71.43 (2003)	
	Ouistreham	0.00	14.29	71.43	42.86	50.00	50.00	45.00			
HC15	Cabourg	20.00	40.00	41.67	50.00	50.00	41.67	42.86	42.86	50.00 (2005)	
HT3	Bouée Carosse		66.67	22.22	33.33		0.00	31.58	31.58	66.67 (2002)	
HC16	Antifer	8.33	25.00	25.00	16.67	41.67	41.67	26.39	26.39	41.67 (2006)	
HC17	Fécamp						25.00	25.00			
	St aubin				0.00	12.50		7.14	13.64	25.00 (2006)	
HC18	Dieppe	0.00	0.00	0.00	16.67	0.00		3.33	3.33	16.67 (2004)	

Cet indicateur semble donner des résultats beaucoup plus variables d’une année sur l’autre que les 2 indicateurs précédents (oxygène dissous et chlorophylle a). Ainsi, le point de Luc-sur-mer est classé, selon les années, entre le très bon état et l’état médiocre.

Cette très forte variabilité interannuelle interdit de retenir cet indicateur par année (c’est d’ailleurs ce que recommande la circulaire du MEDD du 5 mars 2007), et donc de prendre en compte les résultats obtenus dans les colonnes “le + déclassant annuel”. De même, les synthèses réalisées sur moins de trois ans de données ne nous semblent pas être suffisamment robustes pour pouvoir être prises en compte. Le Tableau 5 doit donc être simplifié en un Tableau 6.

Tableau 6 : Indices d'abondance obtenus sur l'ensemble des points de suivi et des masses d'eau de Normandie pour lesquels nous disposons d'au moins 3 années de données.

Masse d'eau	Nom du point	Indice d'Abondance en % (janvier à décembre)	
		Global 2001-2006 par point de suivi	Global 2001-2006 par masse d'eau
HC01	Chausey	18.18	18.18
HC02	Hacqueville	15.79	15.79
HC03	Donville	13.89	14.74
	Agon	11.63	
	Pirou	19.51	
HC04	Jobourg	20.00	23.94
	Barneville	27.78	
HC60	Cherbourg	0.00	0.00
HC07	Cap levi	6.67	6.67
HC08	Reville	41.18	41.18
	St Vaast la hougue	26.47	26.19
HT6	Géfosse	39.22	39.22
HC10	Grandcamp	25.86	25.84
	St Germain de varreville	25.81	
HC11	Port en bessin	45.45	45.45
HC12	Meuvaines	17.39	17.39
HC13	Les essarts	3.85	3.85
HC14	Luc sur mer	29.63	36.17
	Ouistreham	45.00	
HC15	Cabourg	42.86	42.86
HT3	Bouée Carosse	31.58	31.58
HC16	Antifer	26.39	26.39
HC18	Dieppe	3.33	3.33

Cet indicateur, ainsi utilisé, donne des résultats forts comparables au niveau des points de suivi et des masses d'eau. Les eaux de l'Ouest et du Nord Cotentin sont classées entre le bon et le très bon état. Le point de Réville, suivi pendant 3 ans uniquement, sera de qualité moyenne selon cet indicateur, tout comme celui de port en Bessin, également suivi sur 3 années uniquement. Entre ces 2 points (ou masses d'eau), la côte Est du Cotentin et les masses d'eau de la Baie de Veys sont classées en bon état. Meuvaines et Les Essarts apparaissent comme étant en très bon état d'après cet indicateur également. Les points Luc-sur-mer, Ouistreham, Cabourg, Carosse et Antifer, qui sont, et de très loin, les zones les plus productives de Normandie, et siège de dystrophies avérées, ne sont classées qu'entre l'état moyen et le bon état selon cet indicateur. Dieppe apparaît comme étant en très bon état.

3.4. Indicateur "indice de composition".

Le Tableau 7 présente les résultats obtenus au moyen de l'indicateur indice de composition sur l'ensemble des points de suivi et des masses d'eau de Normandie. Tout comme pour l'indicateur indice d'abondance, cet indicateur montre d'importantes variabilités interannuelles. Pour les mêmes raisons, il n'est utilisable que globalement (et non pas annuellement), à la condition que l'on dispose d'au moins 3 années de suivi. Le Tableau 8 ne retient que les points, masses d'eau et synthèses utilisables pour cet indicateur.

Tableau 7 : Indices de composition déterminés par point de suivi (par année puis globalement), ainsi que par masses d'eau sur la période 2001-2006 en Normandie.

		Indicateur phyto 2 : Indice de composition en % (janvier à décembre)								Par masse d'eau	
Masse d'eau	Nom du point	Par point de suivi						global 2001-2006	Le + déclassant annuel	global 2001-2006	Le + déclassant annuel
		2001	2002	2003	2004	2005	2006				
HC01	Chausey	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	25.00	6.82		6.82	25.00 (2006)
HC02	Hacqueville				0.00	0.00	0.00	0.00		3.85	10.00 (2006)
	Champeaux						25.00	25.00			
	Cancale						0.00	0.00			
HC03	Donville	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.33	1.39		2.30	4.35 (2001)
	Coudeville						11.11	11.11			
	Agon	16.67	0.00	11.11	0.00	0.00	0.00	4.65			
	Pirou	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
HC04	Denneville						0.00	0.00		2.82	11.11 (2003)
	Jobourg			11.11	0.00	0.00	0.00	2.86			
	Barneville			11.11	0.00	0.00	0.00	2.78			
HC05	Gruchy				0.00	0.00		0.00		0.00	0.00
HC60	Cherbourg				0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
HC61	Digue Querqueville					0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
HC07	Cap levi				0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
HC08	Reville				0.00	12.50	0.00	5.88		5.88	12.50 (2005)
HC09	Gougins						12.50	12.50		9.52	25.00 (2005)
	St Vaast la hougue			0.00	0.00	25.00	12.50	8.82			
HT6	Géfosse		28.57	0.00	0.00	18.18	8.33	9.80		9.80	28.57 (2002)
HC10	Grandcamp	0.00	16.67	0.00	0.00	0.00	12.50	5.17		8.16	22.22 (2002)
	St Germain de varreville	0.00	33.33	0.00	0.00	25.00		12.90			
	Utah beach						11.11	11.11			
HC11	Port en bessin				16.67	22.22	0.00	13.64		13.64	22.22 (2005)
HC12	Meuvaines				0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
HC13	Les essarts			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
HC14	Luc sur mer	0.00	10.00	0.00	0.00	10.00	12.50	5.56		5.32	11.76 (2002)
	Ouistreham	0.00	14.29	0.00	14.29	0.00	0.00	5.00			
HC15	Cabourg	0.00	0.00	8.33	0.00	8.33	0.00	3.17		3.17	8.33 (2005)
HT3	Bouée Carosse		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
HC16	Antifer	0.00	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.39		1.39	8.33 (2003)
HC17	Fécamp						0.00	0.00		0.00	0.00
	St aubin				0.00	0.00		0.00			
HC18	Dieppe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00	0.00

Cet indice de composition donne également des résultats tout à fait comparables par point ou par masse d'eau. Toutes les masses d'eau sont classées en très bon état selon cet indicateur, à une exception près, la masse d'eau HC11 de Port en Bessin qui apparaît comme étant de bonne qualité. Ce très léger déclassement de la masse d'eau devant Port en Bessin, également constaté au moyen de l'indice d'abondance pourrait trouver son origine dans les apports très locaux, mais non négligeables, des résurgences de l'Aure qui apparaissent en pied de falaise et dans l'avant port.

Tableau 8 : Indices de composition déterminés par point de suivi et par masses d'eau sur tous les points ayant été suivis pendant au moins 3 ans sur la période 2001-2006 en Normandie.

Masse d'eau	Nom du point	Indice de composition en % (janvier à décembre)	
		Global 2001-2006 par point de suivi	Global 2001-2006 par masse d'eau
HC01	Chausey	6.82	6.82
HC02	Hacqueville	0.00	0.00
HC03	Donville	1.39	1.92
	Agon	4.65	
	Pirou	0.00	
HC04	Jobourg	2.86	2.82
	Barneville	2.78	
HC60	Cherbourg	0.00	0.00
HC07	Cap Ievi	0.00	0.00
HC08	Reville	5.88	5.88
	St Vaast la hougue	8.82	9.52
HT6	Géfosse	9.80	9.80
HC10	Grandcamp	5.17	7.87
	St Germain de varreville	12.90	
HC11	Port en bessin	13.64	13.64
HC12	Meuvaines	0.00	0.00
HC13	Les essarts	0.00	0.00
HC14	Luc sur mer	5.56	5.32
	Ouistreham	5.00	
HC15	Cabourg	3.17	3.17
HT3	Bouée Carosse	0.00	0.00
HC16	Antifer	1.39	1.39
HC18	Dieppe	0.00	0.00

3.5. Synthèse des indicateurs et évaluation de la qualité globale des masses d'eau normandes

La synthèse des 4 indicateurs peut être réalisée de différentes manières. Retenir l'indicateur le plus déclassant en est une. Attribuer des pondérations variables aux différents indicateurs pour calculer un indice global intégré en est une autre, et, au final, les possibilités de synthèse sont infinies. Il appartient dorénavant à l'UE et au MEDD (ou MEDAD) de fournir des instructions précises en la matière.

En l'attente, nous devons donc nous contenter de proposer une synthèse finale (Tableau 9 et Figure 76) reprenant les classes de qualité par indicateur et par masse d'eau, globalement sur la période 2001-2006, ou en ne retenant que l'année la plus déclassante (sauf pour les indicateurs indice d'abondance et indice de composition pour lesquels les "synthèses annuelles" ne sont pas pertinentes).

Les masses d'eau les plus mal classées sont donc celles qui jouxtent l'estuaire de Seine, depuis la HC14 (qui reçoit également les apports de l'Orne à Ouistreham) jusqu'à la HC16 (Antifer). Les masses d'eau HC08 (Réville) et HC11 (Port en Bessin) apparaissent comme étant de qualité moyenne, mais, dans les deux cas, c'est l'indicateur indice d'abondance qui est seul responsable de ce classement, et nous ne disposons que de 3 années de suivi. Ces deux résultats sont donc à considérer avec prudence. La qualité des masses d'eau de l'Ouest et du Nord Cotentin est bonne à très bonne, tout comme l'est celle des masses d'eau de la partie centrale des côtes du Calvados (HC12 et HC13 ; Meuvaines et les Essarts), et celle des masses d'eau de Seine Maritime dans l'Est d'Etretat (masses d'eau HC17 et HC18). Enfin, l'Est Cotentin (HC09) est de bonne qualité, alors que le secteur de la Baie des Veys (HT6 et HC10) peut être considéré comme étant de qualité moyenne si l'on prend en compte les plus mauvais classements annuels enregistrés.

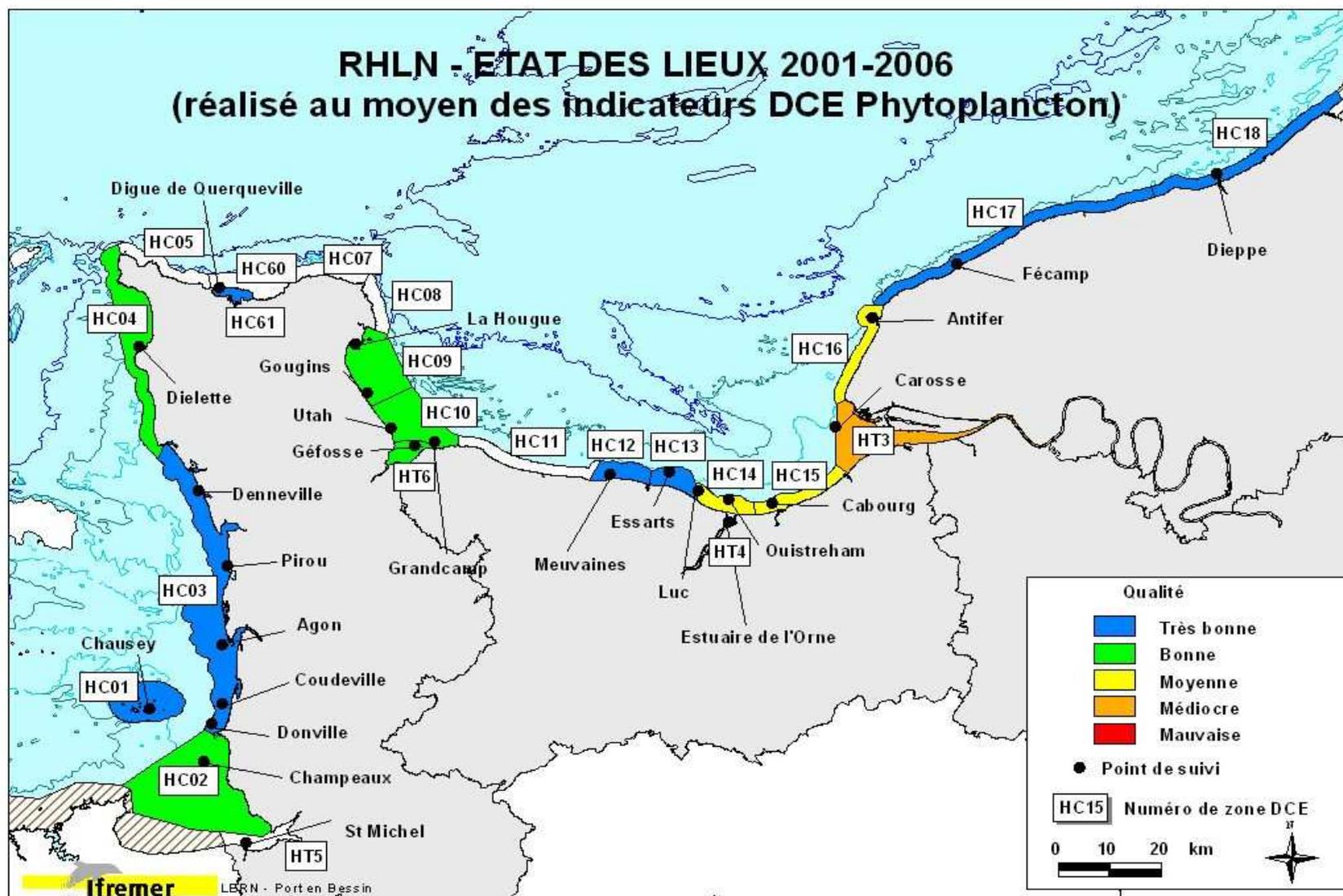
Tableau 9 : Synthèse des indicateurs DCE sur les masses d'eau normandes entre 2001 et 2006.

Masse d'eau	Oxygène (mg.L ⁻¹) Percentile 10		Chlorophylle a (µg.L ⁻¹) Percentile 90		Indice d'abondance (%)	Indice de composition (%)	Synthèse globale	
	Global 2001-2006	Le plus déclassant annuel	Global 2001-2006	Le plus déclassant annuel	Global 2001-2006	Global 2001-2006	Plus mauvais classement sur global 2001-2006	Plus mauvais classement sur global 2001-2006 et sur + déclassant annuel
HC01	7.49	7.55 (2001)	2.28	4.63 (2001)	18.18	6.82		
HC02	7.55	7.59 (2005)	3.13	3.42 (2006)	23.00	3.85	IA	IA
HC03	7.34	6.59 (2006)	2.80	3.45 (2006)	14.37	2.30		
HC04	7.11	6.96 (2006)	2.82	4.82 (2004)	23.94	2.82	IA	IA
HC05	7.46	7.33 (2005)	3.28	4.49 (2004)				
HC60	7.18	7.20 (2006)	3.86	4.60 (2004)	0.00	0.00		
HC61	7.25	7.32 (2005)	2.14	2.03 (2005)				
HC07	7.07	7.09 (2006)	3.06	3.44 (2004)	6.67	0.00		
HC08	7.19	7.22 (2005)	6.79	7.97 (2005)	41.18	5.88	IA	IA
HC09	7.12	7.08 (2006)	7.32	7.43 (2006)	26.19	9.52	Chloro	Chloro
HT6	7.50	7.63 (2006)	8.78	12.27 (2002)	39.22	9.80	IA et Chloro	IA
HC10	7.67	7.35 (2003)	9.20	12.14 (2001)	28.57	8.16	IA et Chloro	Chloro
HC11	7.31	7.12 (2005)	8.63	9.74 (2006)	45.45	13.64	IA	IA
HC12	6.93	6.98 (2004)	4.74	4.89 (2004)	17.39	0.00		
HC13	6.67	6.58 (2005)	2.82	2.97 (2004)	3.85	0.00		
HC14	6.45	6.11 (2003)	16.01	16.74 (2003)	36.17	5.32	Chloro	chloro
HC15	5.92	5.33 (2004)	13.76	41.57 (2001)	42.86	3.17	IA et Chloro	Chloro
HT3	6.68	6.46 (2003)	20.38	20.16 (2004)	31.58	0.00	Chloro	Chloro
HC16	7.19	6.99 (2006)	12.72	21.69 (2002)	26.39	1.39	Chloro	Chloro
HC17	7.47	7.31 (2004)	3.90	7.32 (2005)				IA
HC18	7.61	7.56 (2004)	2.97	4.76 (2005)	3.33	0.00		

Ces résultats qui constituent la synthèse finale à l'issue du plan 2001-2006 sont comparables aux résultats intermédiaires annoncés dans les précédents rapports du RHLN bien qu'une seule donnée mensuelle ait été utilisée dans le présent rapport pour les établir, conformément aux prescriptions de la circulaire du 5 mars 2007 du MEDD (ou MEDAD)⁹.

Pour conclure sur les indicateurs DCE, on peut également remarquer que ce sont principalement les indicateurs indice d'abondance et chlorophylle a qui génèrent les déclassements et que les deux autres indicateurs, oxygène dissous, et indice de composition n'ont aucune influence sur les évaluations finales de qualité des masses d'eau. L'indicateur indice d'abondance est surtout déclassant pour les masses d'eau comprises entre la pointe Nord Est du Cotentin et la partie centrale du Calvados, alors que l'indicateur chlorophylle déclassé dans le secteur de l'estuaire de Seine, zone où la production de biomasse chlorophyllienne est très importante.

⁹ Ceci est vrai pour les indicateurs Oxygène, indice d'abondance et indice de composition. Au contraire, l'indicateur chlorophylle a peut donner des résultats différents selon les fréquences d'échantillonnage, principalement dans les zones à forte biomasse chlorophyllienne. De ce fait, le rapport RHLN 2003 concluait à une situation plus dégradée dans la partie orientale de la baie de Seine, d'autant que nous ne disposions à l'époque que de données des années 2001 et 2002, très pluvieuses, et donc très productives.



Réalisation cartographique : LERN/PB ; Données : IFREMER - SHOM - IGN - AESN - DIREN

Figure 76 : synthèse des indicateurs DCE sur les masses d'eau normandes entre 2001 et 2006 (valeurs reprises de la colonne « plus mauvais classement global 2001-2006 » du tableau 9).

4. Réflexion sur les fréquences de prélèvement

Durant la phase préparatoire du RHLN, les fréquences de prélèvement ont été variables et souvent calquées sur celles du réseau REPHY, qui impose une augmentation des fréquences de prélèvements lors des périodes de blooms phytoplanctoniques. Pour le calcul des indicateurs, la circulaire MEDD du 5 mars 2007 préconise un échantillonnage mensuel entre juin et septembre en ce qui concerne l'oxygène dissous (4 mesures/an) et entre mars et octobre pour la chlorophylle *a* (8 mesures/an). Elle préconise également un échantillonnage mensuel pour le suivi des flores phytoplanctoniques, mais sur les 12 mois de l'année.

A partir du jeu de données acquis entre 2001 et 2006, nous avons souhaité tester la pertinence de l'utilisation d'une fréquence mensuelle pour tous les paramètres par rapport aux fréquences bimensuelles, voire hebdomadaires adoptées jusqu'à lors (et qu'imposent les suivis sanitaires à mener dans le cadre du Réphy) et observer l'impact que cette fréquence aura sur l'évaluation des masses d'eau normandes réalisées au moyen des quatre indicateurs DCE phytoplancton.

4.1. Étude de l'incidence des fréquences de prélèvement sur le calcul des indices d'abondance et de composition.

Le jeu de données utilisé a donc été acquis dans le cadre du RHLN, du REPHY¹⁰ et du projet COGEMA. Les hypothèses pour le calcul des deux indices sont les suivantes :

Hypothèses pour le calcul de l'indicateur d'abondance : un bloom est défini comme le dépassement du seuil de 100 000 cellules/L d'un seul taxon par échantillon,

Hypothèses pour le calcul de l'indicateur de composition : la liste des espèces toxiques ou nuisibles pour le milieu marin n'étant pas définie à ce jour, nous avons retenu les échantillons où le seuil de 1 000 000 cellules/L est dépassé pour les genres *Pseudo-Nitzschia* et *Phaeocystis* uniquement.

4.1.1. Etude de l'incidence des fréquences d'échantillonnage sur l'Indice d'abondance

Trois façons de procéder ont été testées :

Cas A : utilisation de toutes les données acquises dans le cadre du RHLN, du Réphy et du projet COGEMA entre 2001 et 2006 sur chacun des points,

Cas B : utilisation, sur chacun des points, d'un seul prélèvement par mois, le premier réalisé. (ce qui permet de reconstituer un jeu de données comparable à celui qui aurait été obtenu en adoptant dès 2001 la fréquence mensuelle de prélèvement aujourd'hui préconisée par la DCE),

Cas C : utilisation d'un seul prélèvement par mois, le premier dans lequel l'abondance d'au moins un taxon est >100 000 cellules/L.

Les résultats ainsi obtenus sont retranscrits dans le Tableau 10 et la Figure 77

¹⁰ ce qui peut induire différents biais :

- au moment des efflorescences toxiques, l'échantillonnage réalisé par le RHLN ou le REPHY est rendu plus intensif, ce qui a pour conséquence l'augmentation du nombre d'échantillons avec des flores dépassant les seuils DCE (100 000 cell/L ou 1 000 000 cell/L), comme ce fut le cas en 2005 avec *Pseudo-Nitzschia*.

- Les cryptophycées (nanophytoplancton), ne sont pas prises en compte par certains opérateurs, même quand elles sont très nombreuses.

	Cas A	Cas B	Cas C
	2001-2006	2001-2006	2001-2006
Chausey	15	18	25
Cancale Est	33	33	33
Champeaux	50	50	50
Hacqueville	15	16	21
Pte Roc & Donville	14	14	28
Coudeville	32	22	44
Agon	12	12	14
Pirou	13	20	22
Denneville	0	0	0
Gruchy	5	0	8
Cherbourg large	5	0	7
Cherbourg Port	8	7	14
Cap Lévy	10	7	13
Réville + Barfleur	41	41	53
St Vaast sud	27	26	41
Gougins	19	25	50
Utah	55	56	78
St Germain de Varreville	26	26	39
Grandcamp	26	26	38
Géfosse	35	39	47
Port en Bessin	49	45	64
Meuvaines	20	17	39
Les Essarts	11	4	19
Luc sur mer	28	30	46
Ouistreham	46	45	63
Cabourg	49	43	59
Bouée Carrosse	36	32	37
Antifer	29	26	44
Fécamp	15	25	38
St Aubin (76)	12	7	14
Dieppe	11	3	20

Tableau 10 : Indices d'abondance calculés pour les trois cas étudiés

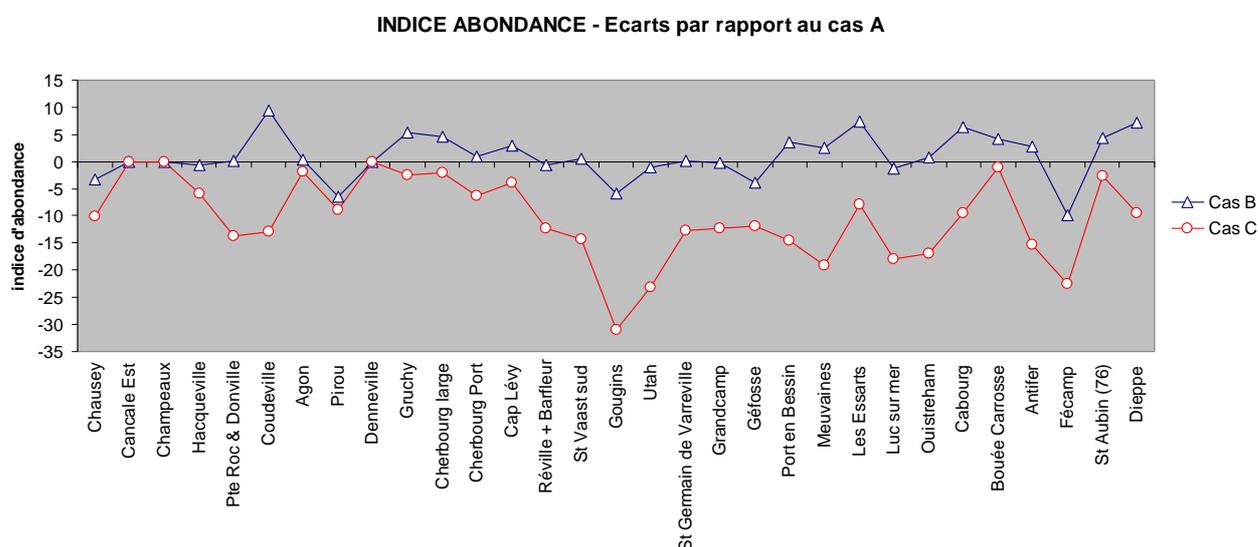


Figure 77 : Ecart des valeurs de l'indice d'abondance des cas B et C par rapport à ceux du cas A

L'étude sur l'indice d'abondance (Tableau 10) montre que l'utilisation de l'ensemble des données (cas A) n'apporte pas de différences notables à la valeur de l'indice calculé en ne retenant qu'un seul échantillon par mois (cas B). Les écarts calculés pour le cas B par rapport au cas A oscillent autour de la ligne de base (cas A) sans jamais excéder 10 % (Figure 77).

Dans le cas B, trois points sont passés du bleu au vert et un point du vert au bleu (Tableau 10) par rapport au cas A.

Les écarts du cas C par rapport au cas A sont par contre plus importants et nombreux : 49 % des points sont déclassés par rapport au cas A, et les écarts d'indices d'abondance atteignent 30 %.

4.1.2. Etude de l'incidence des fréquences d'échantillonnage sur l'Indice de composition (espèces toxiques ou nuisibles)

Trois cas d'étude ont également été envisagés :

Cas A : utilisation de toutes les données acquises entre 2001 et 2006 sur chacun des points,

Cas B : utilisation d'un seul prélèvement d'abondance par mois, le premier réalisé (ce qui permet de reconstituer un jeu de données comparable à celui qui aurait été obtenu en adoptant dès 2001 la fréquence mensuelle de prélèvement aujourd'hui préconisée par la DCE),

Cas C : utilisation d'un seul prélèvement par mois, le premier au sein duquel l'abondance d'au moins un taxon est >1 000 000 cellules/L.

L'étude sur l'indice de composition (Tableau 11 et Figure 78) montre de plus faibles différences que celles observées pour l'indice d'abondance.

Dans le cas B (qui correspond à un échantillonnage mensuel tel que le préconise la DCE), cinq points basculent du bleu au vert par rapport au cas A.

Dans le cas C, nous retrouvons ces mêmes cinq points, plus Cancale Est, qui passe du bleu au jaune avec une valeur de 33 %.

En observant les valeurs des écarts d'indice de la Figure 78, nous constatons cependant que c'est encore le cas C qui s'écarte le plus du cas A.

	Cas A	Cas B	Cas C
	2001-2006	2001-2006	2001-2006
Chausey	4	7	7
Cancale Est	0	0	33
Champeaux	25	25	25
Hacqueville	0	0	0
Pte Roc & Donville	2	1	4
Coudeville	11	11	11
Agon	3	5	5
Pirou	0	0	0
Denneville	0	0	0
Gruchy	0	0	0
Cherbourg large	0	0	0
Cherbourg Port	0	0	0
Cap Lévy	0	0	0
Réville + Barfleur	5	6	6
St Vaast sud	6	9	9
Gougins	5	13	13
Utah	9	11	11
St Germain de Varville	6	13	13
Grandcamp	4	5	5
Géfosse	6	10	10
Port en Bessin	7	14	14
Meuvaines	0	0	0
Les Essarts	1	0	4
Luc sur mer	4	6	6
Ouistreham	5	5	8
Cabourg	3	3	5
Bouée Carrosse	0	0	0
Antifer	1	1	1
Fécamp	0	0	0
St Aubin (76)	0	0	0
Dieppe	0	0	0

Tableau 11 : Indices de composition calculés pour les trois cas étudiés

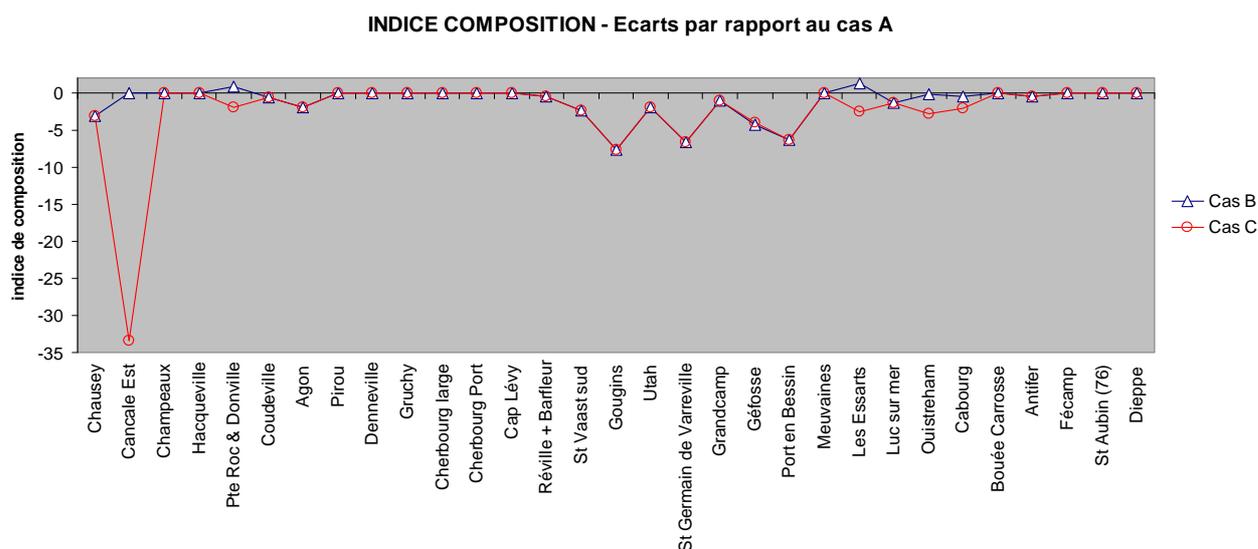


Figure 78 : Ecart des valeurs de l'indice de composition des cas B et C par rapport à ceux du cas A

Conclusion : cette étude sur les fréquences confirme que le passage à une fréquence mensuelle de suivi dans le cadre de la DCE peut se justifier vu les faibles différences obtenues entre le cas A (on utilise toutes les données disponibles produites par le RHLN, le Réphy et le projet COGEMA), et le cas B (on retient uniquement la première valeur obtenue chaque mois sur chacun des points), tant pour la détermination de l'Indice d'Abondance, que celle de l'Indice de composition (10 à 15 % de points reclassés au maximum, avec une seule classe de qualité d'écart).

4.2. Évaluation de l'incidence des fréquences de prélèvement sur les indicateurs Oxygène dissous et biomasse chlorophyllienne.

Les percentiles 10, pour l'oxygène dissous (au fond), et 90 pour la chlorophylle a, ont été calculés de 4 manières différentes :

Méthode ① : calcul des percentiles annuels et pluriannuels (synthèse 2001-2006) à partir de l'ensemble du jeu de données disponible (ce qui a été réalisé jusqu'à présent).

Méthode ② : calcul des percentiles annuels et pluriannuels (synthèse 2001-2006) en ne retenant que les premières valeurs mensuelles sur les mois de janvier à décembre.

Méthode ③ : calcul des percentiles annuels et pluriannuels (synthèse 2001-2006) en ne retenant que les premières valeurs mensuelles sur les mois de juin à septembre pour l'oxygène dissous et les premières valeurs mensuelles sur les mois de mars à octobre pour la chlorophylle a (ce qui correspond aux exigences actuelles du MEDAD).

Méthode ④ : calcul des percentiles annuels et pluriannuels (synthèse 2001-2006) en ne retenant qu'une valeur par mois (tirage aléatoire) entre janvier et décembre. Pour donner un poids statistique à cette méthode, l'expérience a été renouvelée 100 fois. Le schéma de la Figure 79 présente la démarche suivie pour constituer un jeu de données mensuelles à partir de l'ensemble des mesures réalisées. L'exemple se base sur les données de chlorophylle acquises à Antifer en 2002.

1 Constitution d'un jeu de données mensuelles à partir de l'ensemble des données disponibles

Année	Mois	Jour	Date	O2 fond (mg/l)	Chloro (µg/L)
2002	3	14	14/03/2002	NaN	0.36
2002	3	28	28/03/2002	9.82	0.37
2002	4	15	15/04/2002	11.40	2.33
2002	4	30	30/04/2002	10.90	3.20
2002	5	15	15/05/2002	10.40	1.39
2002	5	23	23/05/2002	11.40	7.58
2002	5	29	29/05/2002	11.55	10.80
2002	6	3	03/06/2002	11.74	12.30
2002	6	10	10/06/2002	9.41	15.70
2002	6	17	17/06/2002	8.71	16.99
2002	6	24	24/06/2002	9.61	3.42
2002	7	3	03/07/2002	NaN	3.56
2002	7	8	08/07/2002	14.00	17.90
2002	7	15	15/07/2002	11.50	2.78
2002	7	22	22/07/2002	9.50	5.55
2002	7	30	30/07/2002	9.23	19.40
2002	8	5	05/08/2002	7.70	43.60

Extrait du jeu de données disponibles sur Antifer en 2002

Parmi les 4 mesures de chlorophylle réalisées en juin 2002 sur Antifer (), nous effectuons un tirage aléatoire d'une d'entre elles, qui viendra constituer un premier jeu de données mensuelles ().

L'expérience est ensuite renouvelée 100 fois (100 tirages aléatoires) pour chaque mois de l'année.

Date	Nombre de tirages aléatoires										97	98	99	100	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
janv-02	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
févr-02	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
mars-02	0.37	0.37	0.36	0.37	0.36	0.37	0.37	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36	0.37	0.36	0.36
avr-02	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
mai-02	7.58	1.39	10.8	7.58	7.58	7.58	1.39	1.39	1.39	7.58	7.58	7.58	10.8	10.8	10.8
juin-02	12.3	12.3	15.7	3.42	12.3	3.42	16.98	15.7	12.3	15.7	...	3.42	12.3	15.7	3.42
juil-02	5.55	3.56	17.9	5.55	19.4	17.9	5.55	2.78	17.9	...	3.56	5.55	5.55	3.56	5.55
août-02	12.2	1.5	1.5	5.45	1.5	5.45	12.2	5.45	5.45	5.45	...	1.5	1.5	12.2	12.2
sept-02	1.92	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	0.68	1.92	0.68	1.92	...	1.92	0.68	1.92	0.68
oct-02	0.89	4.27	4.27	0.99	0.89	0.99	0.82	0.99	0.91	4.27	...	0.89	0.89	0.89	4.27
nov-02	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.28	1.28	1.28	...	1.28	0.96	1.28	1.28	1.28
déc-02	0.45	0.45	0.45	0.48	0.45	0.45	0.48	0.45	0.45	0.45	...	0.48	0.45	0.48	0.48

2 Calcul du percentile 90

Sur les 100 nouveaux jeux de données de 2002

Calcul du percentile 90 sur le jeu de données mensuelles reconstitué n°1 ().

Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	97	98	99	100
2002	12.21	7.76	15.92	7.29	13.01	9.61	17.07	6.57	8.14	15.92	...	3.96	8.05	12.55	10.94

3 Conclusion

En 2002, sur les 100 tirages réalisés, 62 ont conduit à un jeu de données mensuelles tel que le percentile 90 était compris entre 10 et 20 µg.L-1, ce qui fait état d'une qualité moyenne (jaune) ...

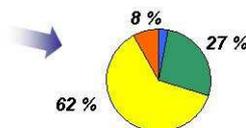


Figure 79 : Constitution de nouveaux jeux de données mensuelles

Oxygène : En ce qui concerne l'oxygène dissous au fond, quelle que soit la méthode retenue, le passage à une fréquence mensuelle n'a aucune conséquence sur le classement en "très bon état" de l'ensemble des points de suivi.

L'exemple du point Cabourg, seul point en Normandie sur lequel des teneurs en oxygène < 5 mg.L⁻¹ ont été relevées, le confirme (Figure 80).

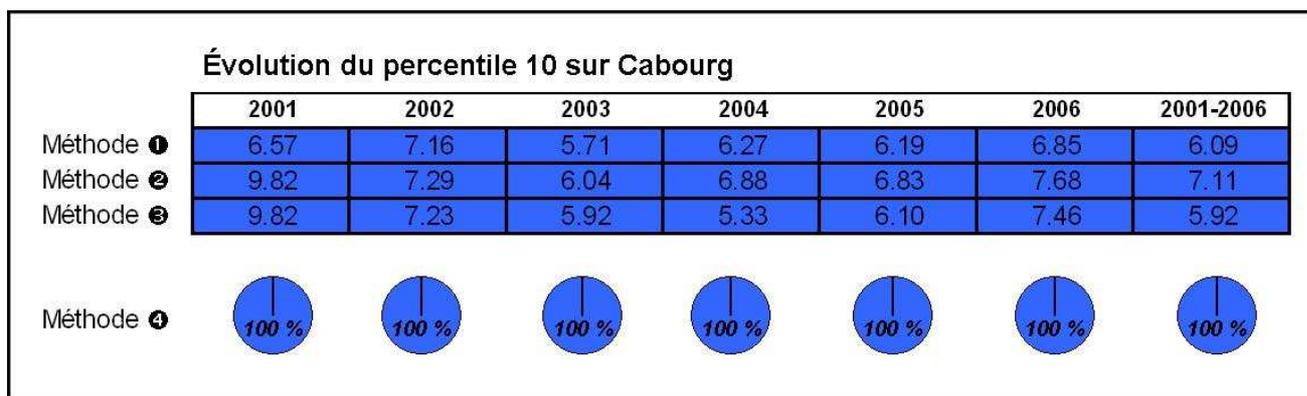


Figure 80 : Évolution du percentile 10 de l'oxygène dissous au fond suivant les 4 méthodes de calcul. Exemple du point Cabourg.

Chlorophylle a : En ce qui concerne l'indicateur « percentile 90 de la chlorophylle a », le passage à une fréquence de suivi mensuelle peut engendrer des modifications dans l'évaluation de la qualité. Ces modifications sont variables selon les points.

Au sein des masses d'eau les moins productives, ces modifications restent le plus souvent acceptables, entraînant au maximum un changement d'une seule classe de qualité (entre les méthodes 2 et 4). C'est ce que présente la Figure 81 ci-dessous, avec les exemples de Pirou (qui reste de très bonne qualité dans tous les cas) et de Réville (qui selon les cas est de « bonne » ou de « très bonne » qualité du point de vue de l'indicateur chlorophylle a.

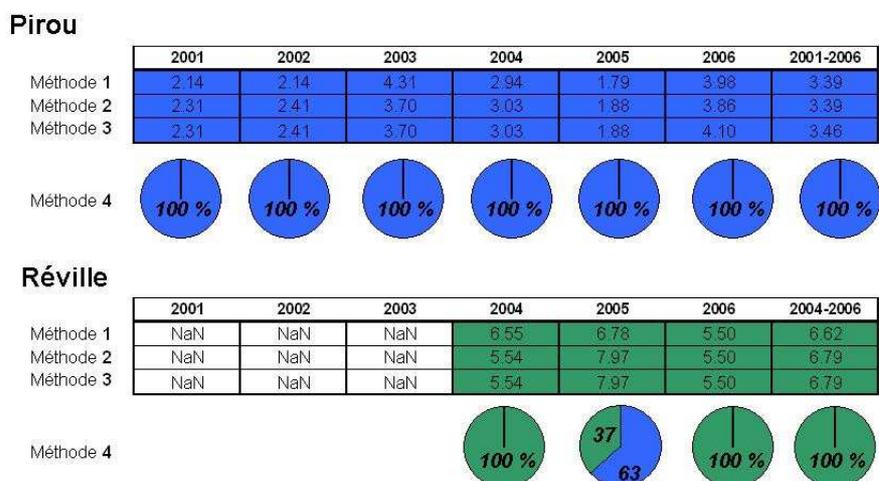


Figure 81 : Évolution des percentiles 90 de la chlorophylle, calculés suivant les 4 méthodes, sur les points non sensibles à un changement de fréquence. Exemple de Pirou et Réville.

Ces points de suivi sur lesquels le passage à une fréquence mensuelle engendre au pire un changement d'une seule classe de qualité sont tous ceux qui sont situés le long des côtes du Cotentin (de HC01 à HC09), dans la partie centrale des côtes du Calvados (HC12 et HC13), et dans le Nord-Est du cap d'Antifer (masses d'eau HC17 et HC18).

Au contraire (Figure 82), sur les points de Gêfosse (HT6), Grandcamp (HC10), Luc sur Mer et Ouistreham (HC14), Cabourg (HC15) et Antifer (HC16), la modification de fréquence génère un changement potentiel d'au moins deux classes de qualité, du fait de la forte variabilité des teneurs en chlorophylle sur ces points.

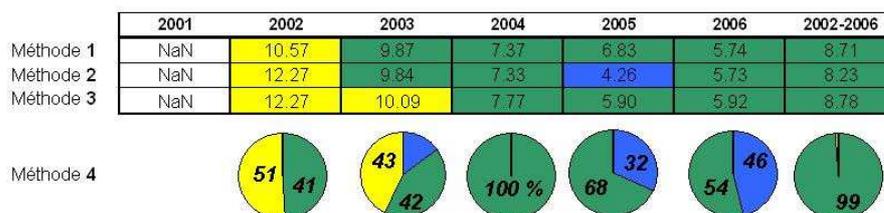
L'utilisation d'une seule donnée par mois peut, sur ces masses d'eau à forte biomasses chlorophylliennes, conduire à fournir jusqu'à 5 évaluations de qualité différentes comme cela aurait été le cas sur Cabourg en 2001 (estimation pouvant, selon le jeu de données utilisé, aller du « très bon » au « mauvais » ; Figure 82).

Nous estimons par conséquent que le maintien d'une fréquence élevée de suivi reste primordial sur les masses d'eau très productives et nous continuerons à réaliser des prélèvements bimensuels durant la période productive (mars/octobre) sur les 6 points précités dans le cadre de RHLN 2008-2013.

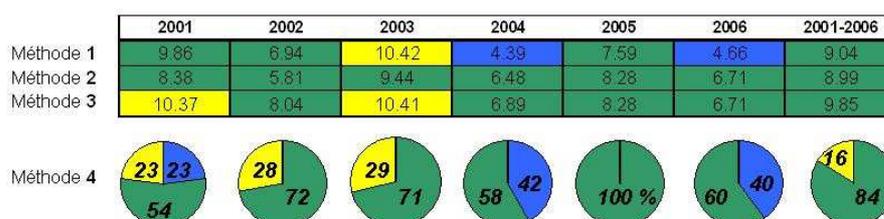
La DCE imposant de ne retenir que 8 données annuelles pour l'utilisation de l'indicateur chlorophylle (1 donnée par mois entre mars et octobre), nous définirons cet indicateur chlorophylle selon les critères DCE, mais vérifierons le résultat produit au moyen de l'ensemble du jeu de données disponible, ce qui permettra d'étayer le commentaire d'accompagnement, et surtout de mieux cerner les cycles biogéochimiques de ces masses d'eau complexes, et leurs évolutions à moyen terme.

Évolution des percentiles 90 (chlorophylle a)

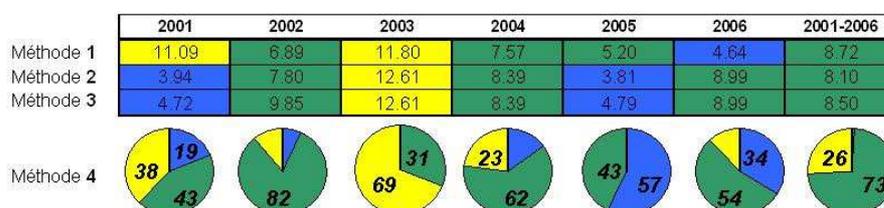
Géfosse



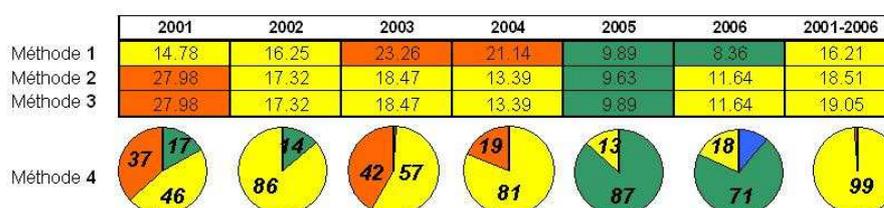
Grandcamp



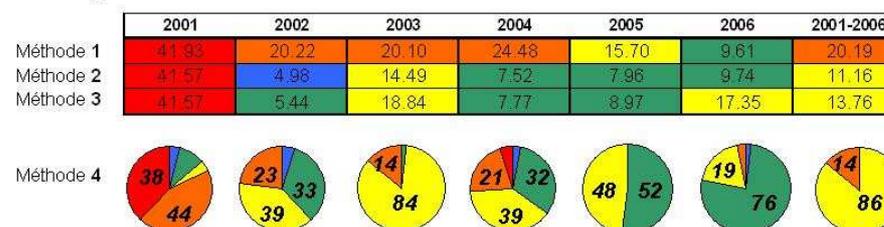
Luc-sur-mer



Ouistreham



Cabourg



Antifer

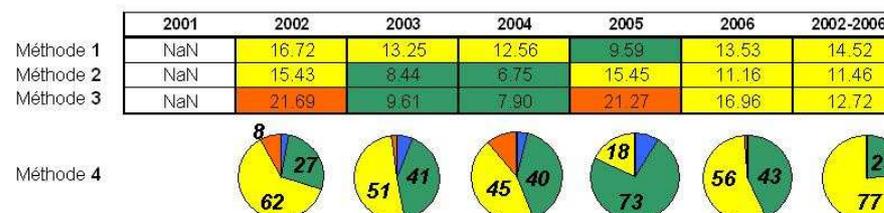


Figure 82 : Évolution des percentiles 90 de la chlorophylle, calculés suivant les 4 méthodes, sur les points sensibles à un changement de fréquence.

Conclusion sur les fréquences de suivi : Ainsi que cela a été annoncé ci avant, la fréquence de prélèvement restera mensuelle comme le préconise la DCE pour le calcul de l'indicateur "chlorophylle" sur l'ensemble des points de suivi normands, y compris sur les points sensibles à l'eutrophisation. Mais dans le cadre plus spécifique du RHLN, qui a également comme objectif de suivre les niveaux d'enrichissement en sels nutritifs des eaux littorales normandes, et des effets induits, ces points et masses d'eau à forte productivité feront l'objet d'un suivi régional renforcé reposant sur une fréquence de prélèvement bimensuelle pendant la période productive, soit entre mars et octobre.

5. Réflexion sur l'apport possible des données satellites

Les images satellites produites par les capteurs SeaWiFS, MODIS et MERIS, une fois traitées au moyen de l'algorithme empirique développé au laboratoire DYNECO/EP de l'Ifremer Brest par F. Gohin et al (2001 et 2003), peuvent être utilisées pour estimer et suivre l'évolution de la biomasse chlorophyllienne au sein des masses d'eau normandes.

Il faut noter que cet outil perd en performance dans les zones très côtières et surtout fortement turbides comme les baies et les estuaires.

A contrario, tandis que les mesures *in situ* de chlorophylle *a* ne permettent d'obtenir qu'une mesure ponctuelle des niveaux de biomasse chlorophyllienne, les images satellites offrent, quant à elles, une vision spatiale globale de ces biomasses. Une approche de l'indicateur DCE chlorophylle peut ainsi être tentée à partir des données satellites et le résultat obtenu peut être comparé aux indicateurs déterminés à partir des mesures *in situ*.

5.1.1. Méthodologie

Les données satellites acquises depuis 1997 ont été moyennées par période de 15 jours (26 quinzaines au total sur une année). Ainsi, à chaque pixel est donc attribuée la valeur moyenne des concentrations en chlorophylle *a* obtenues lors des 15 journées de chaque quinzaine, et ce entre 1997 et 2006. L'intégration de ces images satellites (Annexe 2) dans un Système d'Information Géographique (logiciel ArcGis®) permet d'extraire par masse d'eau, la valeur de chacun des pixels constituant ces images (sur toutes les quinzaines) et ainsi de calculer un percentile 90 moyen de la chlorophylle *a* par masse d'eau, qui peut être comparé au percentile 90 calculé à partir des mesures *in situ*.

5.1.2. Résultats

Le Tableau 12 met en évidence une bonne concordance entre les percentiles 90 calculés à partir des données satellites et les percentiles 90 *in situ* sur la plupart des points de suivi ou masses d'eau. Les deux méthodes confirment que les masses d'eau HC01 à HC07, ainsi que les HC12, HC13 et HC17 sont en « très bon » état et que les masses d'eau HC09 et HC11 sont en « bon » état.

Au contraire, on observe des divergences en ce qui concerne les masses d'eau les plus sensibles aux phénomènes d'eutrophisation (HC14, HC15 et HC16) qui sont toutes d'une qualité « moyenne » selon les mesures *in situ*, alors que les données satellites permettraient de conclure à un « bon » état.

Cette divergence peut s'expliquer par le fait que :

- les données satellites sont des moyennes sur 15 jours, elles-mêmes moyennées sur 10 ans (1997/2006), ce qui a tendance à lisser les maxima et donc diminuer les percentiles 90,
- les données satellites prennent en considération l'ensemble des données sur 15 jours (même si elles sont moyennées), alors que les mesures *in situ* ne sont que ponctuelles (une donnée mensuelle), et ne permettent donc pas de rendre compte de la variabilité temporelle des teneurs en chlorophylle,
- les percentiles 90 *in situ* sont calculés sur une période (2001-2006) plus courte qu'avec les données satellites (1997-2006).
- Et enfin, les masses d'eau DCE ne sont pas parfaitement homogènes : elles sont plus productives dans certains secteurs que dans d'autres.

Tableau 12 : Comparaison des percentiles 90 "satellite" et "in situ"

	Percentile 90 Satellite 1997/2006 (mg.m ⁻³)	Percentile 90 In situ. 2001/2006 (µg.L ⁻¹) <i>1ère mesure de Mars à Oct</i>		
		<i>Points de suivi</i>		<i>Masse d'eau</i>
HC01	2.11	Chausey	2.28	2.28
HC02	2.85	Hacqueville	2.87	3.13
		Champeaux	3.13	
		Cancale est	2.36	
HC03	2.28	Donville	2.66	2.80
		Coudeville	2.77	
		Agon	1.82	
		Pirou	3.46	
		Denneville	1.19	
HC04	3.20	Barneville Jobourg	2.66 2.62	2.82
HC05	1.86	Gruchy	3.28	3.28
HC60	2.74	Cherbourg	3.86	3.86
HC07	3.42	Cap Lévy	3.06	3.06
HC08	4.80	Réville	6.79	6.79
HC09	6.42	Gougins	7.01	7.32
		St Vaast	7.23	
HC10	6.85	Grandcamp	9.85	9.20
		Utah	7.76	
		St Germain	5.35	
HC11	6.47	Port en bessin	8.63	8.63
HC12	3.59	Meuvaines	4.74	4.74
HC13	4.61	Les Essarts	2.82	2.82
HC14	9.05	Luc sur mer	8.50	16.01
		Ouistreham	19.05	
HC15	9.93	Cabourg	13.76	13.76
HC16	7.55	Antifer	12.72	12.72
HC17	4.06	Fécamp	2.99	3.90
		St Aubin	5.97	
HC18	5.67	Dieppe	2.97	2.97

Pour toutes ces raisons, nous pouvons considérer que les données de biomasse chlorophyllienne produites par le satellite sont utilisables :

- en tout premier lieu afin d'évaluer le niveau d'homogénéité des masses d'eau : elles auraient été utiles au moment de la phase de délimitation des masses d'eau, mais n'étaient malheureusement pas encore disponibles à l'époque,
- pour dégager une vision globale des niveaux de production sur de grands secteurs littoraux, recouvrant plusieurs masses d'eau DCE ainsi que les secteurs situés un peu au large des masses d'eau DCE (qui ne couvrent, pour la plupart, qu'un mille vers le large à partir du zéro des cartes marines),
- pour appréhender la variabilité journalière des niveaux de biomasse : par temps clair et dégagé, le satellite peut fournir une image par jour. Le flux de données généré devrait permettre d'appréhender les déplacements et évolutions desdites biomasses.

En d'autres termes, le satellite et ses données du type couleur de l'eau sont dès à présent utilisables pour effectuer des comparaisons qualitatives spatialisées, mais aussi quantitatives à la condition de se restreindre à des secteurs dont la taille garanti l'homogénéité de la productivité.

Au contraire, dans les masses d'eau les plus productives, et qui sont aussi les plus hétérogènes (HC14, HC15, HT3, HC16), les percentiles 90 de la chlorophylle calculés à partir des données produites par le satellite diffèrent des percentiles déterminés à partir des données *in situ* qui, seules jusqu'à présent, sont prises en compte par la DCE.

Les données satellites ne sont donc pas utilisables en l'état pour la réalisation de suivis quantitatifs « officiels », et pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau à partir de l'indicateur DCE chlorophylle *a*.

Elles seront néanmoins utilisées dans le cadre du RHLN 2008-2013 afin de compléter notre connaissance des masses d'eau : détermination du début et de la fin des périodes productives, hétérogénéité de la production de biomasse chlorophyllienne, variabilité....

6. Définition du RHLN sur le plan 2008-2013.

6.1. Rappel du contexte et objectifs généraux du Réseau.

Sur la phase 2008-2013, tout comme ce fut le cas en 2006, le RHLN poursuivra ses 4 objectifs majeurs :

- répondre aux exigences de la DCE en matière de surveillance des eaux littorales : suivi de l'évolution des hydrosystèmes, et de leurs éventuelles dérives/évolutions (aspects environnementaux et patrimoniaux)
- évaluer les niveaux de dystrophie des masses d'eau normandes afin de répondre aux attentes de la Directive Nitrate et d'OSPAR,
- assurer la sécurité sanitaire des productions conchylicoles (partie REseau PHYtoplancton et phycotoxines du RHLN)
- développer les connaissances, et fournir les données nécessaires à la modélisation des écosystèmes littoraux normands car l'hydrologie est une des problématiques majeures en Manche.

Les phases préparatoires, menées entre 2001 et 2006, ont permis au Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LERN) de l'Ifremer et à ses partenaires que sont l'Agence de l'Eau Seine Normandie, le Conseil Régional de Basse Normandie, La Diren de Basse Normandie, la Diren de Haute Normandie, le Conseil Général de la Manche et ses deux syndicats mixtes SMEL et SYMEL, les CQEL de la Manche, du Calvados et de la Seine Maritime, la Marine Nationale et le LASEM, de dimensionner le réseau afin d'atteindre les 4 objectifs précités, de valider les protocoles et modes opératoires, et surtout d'identifier les zones les plus vulnérables ou les plus sensibles vis-à-vis du phénomène d'eutrophisation, et ainsi de positionner au mieux les points de suivi au sein des masses d'eau.

6.2. Masses d'eau, types de suivis, données et fréquences

6.2.1. Types de contrôles selon les masses d'eau

La DCE impose aux Etats membres d'élaborer un programme de surveillance des masses d'eau côtières et de transition, qui doit notamment comporter un "contrôle de surveillance" et un "contrôle opérationnel".

Le **contrôle de surveillance** vise à donner une image globale de l'état des masses d'eau. Il porte sur l'ensemble des paramètres physicochimiques, chimiques, biologiques et hydromorphologiques visés par la DCE. Ce suivi doit être réalisé sur une sélection de masses d'eau, représentatives des différents types de masses d'eau côtières et de transition du district hydrographique et des caractéristiques des masses d'eau (pressions subies, état connu ou suspecté). Au total, 16 masses d'eau ont été retenues par le Groupe de Travail DCE et SDDE littoral du district Seine Normandie de février 2006 pour faire l'objet d'un contrôle de surveillance (Tableau 13).

Sur ces 16 masses d'eau nécessitant un contrôle de surveillance, 2 feront l'objet d'un **contrôle d'enquête** préalable, car les connaissances actuelles les concernant sont trop parcellaires pour pleinement conclure sur leur qualité. Il s'agit des masses d'eau de transition HT5 et HT4 (Figure

83). Trois années de contrôle d'enquête seront nécessaires pour permettre au Groupe DCE–SDDE Seine Normandie de statuer sur leur qualité, et sur le type de suivi à y appliquer par la suite. Ce contrôle ayant débuté en 2007, il perdurera donc jusqu'à fin 2009.

En complément de ce contrôle de surveillance, un **contrôle opérationnel** doit être mis en place sur les masses d'eau identifiées comme "à Risque de Non Atteinte du Bon Etat écologique" à l'horizon 2015 (RNABE). Ce contrôle opérationnel est prévu pour ne porter que sur les paramètres à l'origine du RNABE. Il doit, tout comme le contrôle de surveillance, permettre de caractériser l'état de la masse d'eau, mais a pour objectif supplémentaire la mise en évidence des tendances évolutives des paramètres suivis. En Normandie, 6 masses d'eau feront l'objet de ce contrôle opérationnel (7 points de suivi). Il s'agit des masses d'eau HC10, HT6, HC14, HC15, HT3 et HC16 (étoiles roses sur la Figure 83). Sur ces 7 points à contrôle opérationnel, 6 seront échantillonnés plus fréquemment dans le cadre d'un "contrôle régional renforcé" (croix grises sur la Figure 83) du fait de la très forte variabilité de ces masses d'eau situées à proximité d'estuaires importants (Cf. § 4.2.2. sur les fréquences ci-dessous).

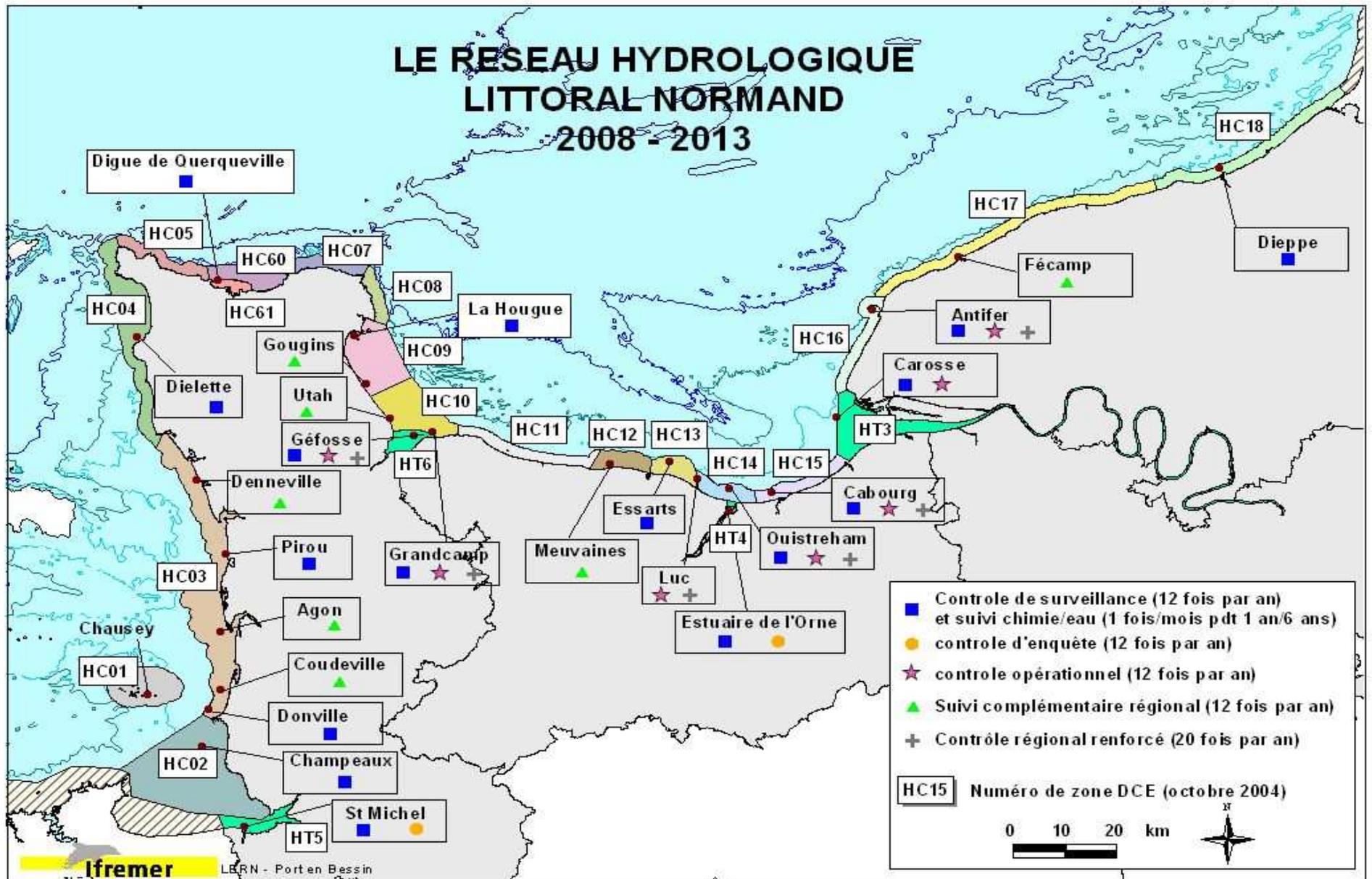
Enfin, les masses d'eau hébergeant d'importantes activités conchylicoles ou de pêche de coquillages feront l'objet d'un "suivi complémentaire régional" (7 points au total représentés par un triangle vert sur la Figure 83).

Au total, 19 des 25 masses d'eau normandes feront donc l'objet d'un suivi.

A noter que, comme le montre le Tableau 13, les masses d'eau peuvent être retenues au titre de plusieurs suivis : une masse d'eau peut en effet être inscrite au contrôle de surveillance car elle est jugée représentative des masses d'eau du district hydrographique, au contrôle opérationnel car elle présente le risque RNABE phytoplancton, et enfin à un suivi complémentaire régional car elle héberge des activités ou des usages tout à faits primordiaux pour la Région. Ceci n'engendre la réalisation de prélèvements supplémentaires que dans le cas du suivi régional renforcé : passage à un échantillonnage bimensuel durant la période productive (mars-octobre), ce qui représente 8 prélèvements supplémentaires par an (20 vs 12 ; Cf. § suivant) par rapport à tous les autres type de suivi ou de contrôle.

Tableau 13 : Masses d'eau suivies, types de suivi et nombre de prélèvements annuels du RHLN.

Masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Points de suivi	Répartition des points de surveillance DCE			Suivi complémentaire régional		Nombre total de prélèvements annuels
			Contrôle de surveillance	Contrôle opérationnel	Contrôle d'enquête (2007-2009)	Suivi complémentaire régional	Contrôle régional renforcé	
HT5	Amont de la baie du Mont St Michel	St Michel	x		x			12
HC02	Baie du Mt St Michel centre	Champeaux	x					12
HC01	Chausey	Chausey	x					12
HC03	Ouest Cotentin	Donville	x					12
		Coudeville				x		12
		Agon				x		12
		Pirou	x					12
		Denneville				x		12
HC04	Cap de Carteret / Cap de la Hague	Dielette	x					12
HC05								0
HC60 et HC61	Rade de Cherbourg	Digue de Querqueville	x					12
HC07								0
HC08								0
HC09	Anse de St vaast	La Hougue	x					12
		Les Gougins				x		12
HC10	Baie des Veys	Utah				x		12
		Grandcamp	x	x			x	20
HT6	Baie des Veys ; fond de baie estuaire	Géfosse	x	x			x	20
HC11	Côte du Bessin	Port en Bessin						0
HC12	Plateau du calvados	Meuvaines				x		12
HC13	Côte de nacre	Les essarts	x					12
HC14	Baie de Caen	Luc		x			x	20
		Ouistreham	x	x			x	20
HC15	Côte fleurie	Cabourg	x	x			x	20
HT4	Estuaire et canal de l'Orne	Estuaire de l'Orne	x		x			12
HT3	Estuaire de Seine aval	Carosse	x	x				12
HT1 & HT2	Estuaire de Seine (amont et central)							0
HC16	Le Havre/Antifer	Antifer	x	x			x	20
HC17	Sud pays de Caux	Fécamp				x		12
HC18	Nord pays de Caux	Dieppe	x					12
							TOTAL	348



Réalisation cartographique : LERN/PB ; Données : IFREMER - SHOM - IGN - AESN - DIREN

Figure 83 : Localisation des points de suivi du RHLN à partir de 2008, et types de suivi.

6.2.2. Fréquences des prélèvements et paramètres suivis

A la fin décembre 2007, la DCE n'a statué que sur les fréquences à appliquer dans le cadre du contrôle de surveillance. Les fréquences de suivi minimales sont variables selon les paramètres :

- 12 fois par an (une fois par mois) pour la réalisation de flores phytoplanctoniques,
- 4 fois par an, entre juin et septembre, pour l'oxygène dissous,
- 8 fois par an, entre mars et octobre pour la chlorophylle
- 4 fois par an, entre novembre et février pour les sels nutritifs

En Normandie, l'expérience acquise au cours des phases préparatoire du RHLN nous a démontré que :

- si l'on veut évaluer les niveaux de dystrophie des masses d'eau et suivre l'évolution des hydrosystèmes, ces fréquences minimales préconisées sont insuffisantes. Les prélèvements seront donc réalisés tous les mois sur les points de suivi retenus dans le cadre du contrôle de surveillance, du contrôle d'enquête et du suivi complémentaire régional.
- les masses d'eau classées RNABE du point de vue du paramètre phytoplancton sont celles qui présentent les valeurs maximales de production de biomasse chlorophyllienne, ainsi que la plus grande variabilité de l'ensemble des paramètres suivis. Cette variabilité impose, si l'on veut être à même d'identifier d'éventuelles dérives à échéance d'un plan de gestion, d'augmenter les fréquences de suivi par rapport aux masses d'eau moins "instables", et ce essentiellement à l'occasion de la période productive (mars à d'octobre). Ainsi, les masses d'eau RNABE seront suivies sur une fréquence mensuelle durant la période hivernale (de novembre à février), et bimensuelle durant la période productive. Au total, ces masses d'eau seront donc échantillonnées à 20 reprises chaque année, dans le cadre du contrôle régional renforcé.

Les prélèvements et les analyses seront menés sous assurance qualité, et les sondes multiparamètres feront l'objet d'un suivi métrologique adapté.

Les prélèvements seront réalisés à deux profondeurs sur la colonne d'eau

En sub-surface (-1m) : Des prélèvements de sub-surface seront ramenés au laboratoire afin d'y pratiquer des dénombrements des espèces phytoplanctoniques (taille supérieure à 20µm). Les flores seront de 2 types : flores totales ou flores partielles indicatrices. Lors d'une flore totale, tous les genres présents dans l'échantillon seront déterminés et comptabilisés. L'identification ira jusqu'à l'espèce lorsque cela sera possible. Pour les flores partielles indicatrices, seules les espèces toxiques ou nuisibles (*Alexandrium sp.*, *Dinophysis sp.*, *Pseudo-nitzschia sp.*), ainsi que les espèces présentes à des concentrations supérieures à 100 000 cellules par litre seront identifiées et comptabilisées (*Phaeocystis sp.* est, à ce jour, la seule espèce supplémentaire à prendre en compte).

Les analyses de chlorophylle a et phéopigments, de nitrate + nitrite, d'ammonium, de silicate et de phosphate, ainsi que la mesure de la turbidité seront réalisées à partir de prélèvements de sub-surface. Les EMT associées seront respectivement de $\pm 5 \%$ pour la chlorophylle a et de $\pm 10 \%$

pour les phéopigments, de 0,1 µM pour les concentrations en nitrate+nitrite, de 0,05 µM pour les concentrations en silicate, de 0,02 µM pour les concentrations en phosphate et de 0,05 µM pour l'ammonium.

La température, la salinité seront mesurées à la sonde multiparamètres de terrain en sub-surface également. Les EMT associées seront respectivement de 0,25°C, 0,3 PSS. La précision sur la profondeur sera de 0,3 m.

La turbidité sera mesurée au laboratoire avec une EMT de ± 5% (prélèvement de sub surface).

Au fond : L'oxygène dissous, ainsi que les paramètres explicatifs associés que sont la température, la salinité, et la profondeur seront mesurés au fond de la colonne d'eau. En cas de stratification nette, un enregistrement du profil sur la verticale sera réalisé.

6.2.3. Organisation et collaborations.

Des collaborations (Tableau 14) seront mises en place pour pouvoir réaliser les suivis sur certains points :

- **St Michel :** les prélèvements et mesures à la sonde seront réalisés par la CQEL50 ; les analyses au laboratoire (chlorophylle a, phéopigments, sels nutritifs et lectures de flores) seront réalisées au LERN,
- **Champeaux et Chausey** seront échantillonnés par les Gardes Littoraux du SYMEL (sonde et analyses LERN),
- **Denneville et Pirou** seront échantillonnés par le SMEL qui réalisera également les mesures de terrain à la sonde, ainsi que les analyses de chlorophylle a, de phéopigments et de sels nutritifs. Le LERN ne réalisera que les flores sur ces deux points,
- **Dielette :** les prélèvements seront réalisés par le N/O La Coralline de la Marine Nationale et les personnels embarqués de son laboratoire LASEM,
- **Estuaire de l'Orne** sera échantillonné par la CQEL14 (qui réalisera également les mesures à la sonde),
- **Estuaire de Seine aval/La Carosse** sera échantillonné par la CQEL76, qui réalisera également les mesures à la sonde, ainsi que les analyses de chlorophylle a, de phéopigments et de sels nutritifs.

Le RHLN portera donc sur l'ensemble des masses d'eau côtières normandes, hormis HC05, HC07, HC08, et HC11, ainsi que sur les masses d'eau de transition HT3, HT4, HT5 et HT6, dont le caractère marin est affirmé. Les masses d'eau HT1 et HT2 de l'amont de l'estuaire de Seine devront être prises en charge par les réseaux de suivi en eau douce.

Tableau 14 : Masses d'eau, points de suivi, organisation des tournées, collaborations/partenariats et fréquences des prélèvements du RHLN 2008 - 2013.

masse d'eau	nom de la masse d'eau	Points	type de suivi	nombre par an (1 par mois)	prélèvements	mesures à la sonde	analyses chlorophylle & phéopigments	analyses des sels nutritifs	lectures des flores
HT5	Amont de la baie du Mont St Michel	Mont St michel 2007	enquête	12	CQEL50	CQEL50	LERN	LERN	LERN
HC2	baie du Mt St Michel centre	baie du Mont	surveillance	12	SYMEL	LERN	LERN	LERN	LERN
HC1	chausey	Chausey	Surveillance	12	50				
HC3	Ouest Cotentin	Donville	surveillance	12	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
		Coudeville	régional	12					
		Agon	régional	12					
		Pirou	surveillance	12	SMEL50	SMEL50	SMEL50	SMEL50	LERN
		Deneville	régional	12					
HC4	Cap de Carteret / Cap de la Hague	Dielette	surveillance	12	Marine Nationale et LASEM	Marine Nationale et LASEM	LERN	LERN	LERN
HC60 et HC61	Grande rade de Cherbourg	Cherbourg	surveillance	12	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
HC9	Anse de St vaast	St Vaast sud	surveillance	12	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
		Les Gougins	régional	12					
HC10	Baie des Veys	Utah	régional	12					
		Grandcamp	régional renforcé	20					
HT6	Baie des Veys ; fond de baie estuaire	Géfosse	régional renforcé	20					
HC12	Plateau du calvados	Meuvaines	régional	12	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
HC13	Côte de nacre	Les essarts	surveillance	12					
HC14	baie de Caen	Luc	régional renforcé	20	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
		Ouireham	régional renforcé	20					
HC15	côte fleurie	Cabourg	régional renforcé	20					
HT4M	estuaire et canal de l'Orne	estuaire Orne	enquête	12	CQEL14	CQEL14	LERN	LERN	LERN
HT3M	estuaire de Seine aval	Carosse	surveillance	12	CQEL 76	CQEL 76	LERN	LERN	LERN
HC16	le Havre/Antifer	Antifer	régional renforcé	20	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
HC17	Sud pays de Caux	Fécamp	régional	12					
HC18	Nord pays de Caux	Dieppe	surveillance	12	LERN ou CQEL 76	LERN ou CQEL 76	LERN	LERN	LERN
		TOTAL		348					

6.3. Rendu des résultats

Les données acquises dans le cadre du RHLN seront enregistrées dans la base de données Quadrige (puis Quadrige² dès que cette nouvelle base sera devenue opérationnelle), dans le respect du processus qualité (saisie/vérification/validation-qualification). Ces données seront alors publiques, i.e. accessibles (consultables et téléchargeables) via le site Web Ifremer (rubrique Envlit ou site du LERN¹¹). Elles feront chaque année l'objet d'un rapport de synthèse qui comprendra :

- l'évaluation des niveaux de dystrophie des masses d'eau côtières Normandes au moyen des indicateurs qui auront été validés au niveau européen à la fin 2007 (une fiche synthétique pour chacune des masses d'eau suivies sera mise à jour ; Cf. Volume 2 du Rapport RHLN 2007),
- les tendances évolutives de ces niveaux de dystrophie : les résultats annuels seront comparés à ceux obtenus depuis 2000/2001,
- une veille relative à l'évolution des peuplements phytoplanctoniques,
- une très courte synthèse, à objectif de vulgarisation et de diffusion grand public,

¹¹ <http://www.ifremer.fr/lern/>

Tous les 6 ans, une synthèse plus complète, marquant la fin de chaque plan de suivi DCE sera élaborée. Elle présentera un bilan complet des données acquises sur les 6 années écoulées. Cette synthèse utilisera les indicateurs DCE, mais aura également pour objet d'évaluer l'évolution des différentes masses d'eau, et de formuler des préconisations en matière d'aménagement ou de gestion des apports et rejets quand cela sera possible. D'autres outils de synthèse que les indicateurs DCE seront utilisés à cette occasion, et notamment les modèles hydrodynamiques (et si possible hydrobiologiques) dont dispose le LERN, ainsi que les images satellitaires de type "couleur de l'eau" disponibles. La prochaine synthèse de fin de plan de gestion sera rédigée en 2013 à partir des données acquises lors des phases 2001/2006 puis 2007/2013.

7. Discussion et conclusion

Le suivi réalisé en 2006 représente la dernière année du premier plan de suivi du RHLN. Le jeu de données constitué depuis la toute fin 2000 et le début de 2001 permet aujourd'hui de caractériser les cycles hydrobiologiques se déroulant au sein de chacune des masses d'eau littorales normande. Les dates de début de période productive sont définies, tout comme le sont les concentrations hivernales en sels nutritifs, les niveaux maximaux de biomasse chlorophyllienne, les principales espèces phytoplanctoniques locales, ou la sensibilité de la masse d'eau aux dessalures...

Les principaux paramètres, physiques, chimiques et biologiques sont synthétisés au sein du Tableau 1 page 88.

En ce qui concerne les niveaux de dystrophie, quatre indicateurs de qualité sont retenus à ce jour par l'UE et le MEDAD. Leur utilisation permet de conclure que sur les 16 masses d'eau suivies dans le cadre du RHLN 2001-2006, et dont le suivi perdurera entre 2008-2013, 7 sont de « très bonne » qualité, 5 sont de « bonne » qualité, 3 sont de qualité « moyenne » et une est de qualité « médiocre » (Tableau 15 ci-dessous).

Tableau 15 : état des masses d'eau qui seront suivies dans le cadre du RHLN 2008-2013.

Le classement final à l'issue du plan 2001-2006 (dernière colonne) correspond au plus mauvais classement obtenu au moyen des quatre indicateurs déterminés sur l'ensemble de la période 2001-2006 (et non pas annuellement).

	Oxygène (mg.L ⁻¹) Percentile 10	Chlorophylle a (µg.L ⁻¹) Percentile 90	Indice d'abondance (%)	Indice de composition (%)	Synthèse
Masse d'eau	<i>Global 2001-2006</i>	<i>Global 2001-2006</i>	<i>Global 2001-2006</i>	<i>Global 2001-2006</i>	<i>Plus mauvais classement sur global 2001-2006</i>
HC01	7,49	2,28	18,18	6,82	
HC02	7,55	3,13	23,00	3,85	IA
HC03	7,34	2,80	14,37	2,30	
HC04	7,11	2,82	23,94	2,82	IA
HC61	7,18	3,86	0,00	0,00	
HC09	7,12	7,32	26,19	9,52	IA et Chlora
HT6	7,50	8,78	39,22	9,80	IA et Chlora
HC10	7,67	9,20	28,57	8,16	IA et Chlora
HC12	6,93	4,74	17,39	0,00	
HC13	6,67	2,82	3,85	0,00	
HC14	6,45	16,01	36,17	5,32	Chlora
HC15	5,92	13,76	42,86	3,17	IA et Chlora
HT3	6,68	20,38	31,58	0,00	Chlora
HC16	7,19	12,72	26,39	1,39	Chlora
HC17	7,47	3,90	pas de donnée	pas de donnée	
HC18	7,61	2,97	3,33	0,00	
HT4	masse d'eau de transition de l'estuaire de l'Orne ; début du suivi en 2007				
HT5	masse d'eau de transition du fond de la baie du Mont St Michel ; début du suivi en 2007				

A noter que la synthèse globale présentée dans ce tableau a été réalisée en attribuant comme qualité finale la plus mauvaise classe de qualité obtenue pour l'un des quatre indicateurs

actuellement en vigueur. Ainsi que cela a déjà été souligné dans les synthèses annuelles précédentes du RHLN, d'autres méthodes de synthèse globale sont envisageables, et il serait sans doute judicieux que le MEDAD et l'UE arrêtent des méthodes de synthèse reposant sur l'attribution de pondérations aux différents indicateurs, en fonction de leur pertinence à retranscrire les niveaux de dystrophie.

Avec le mode de synthèse actuel, nous constatons que ce sont les indicateurs chlorophylle a et indice d'abondance qui sont à l'origine des déclassements. *A contrario*, l'indicateur percentile 10 de l'oxygène dissous au fond se situe, quelle que soit la masse d'eau et quelle que soit l'année, systématiquement dans la classe « très bonne qualité ». L'absence d'hypoxie, y compris au sein des masses d'eau les plus productives où se développent des eaux colorées générant des niveaux de biomasses chlorophylliennes atteignant 70 µg/L, s'explique par l'hydrodynamisme marqué des eaux littorales normandes qui empêche la mise en place de stratifications durables et favorise à la fois le brassage sur la colonne d'eau, ainsi que l'exportation des productions phytoplanctoniques et des apports terrigènes. De même, l'indicateur Indice de composition ne permet pas, sur les masses d'eau retenues pour le suivi pérenne, de mettre en évidence de dysfonctionnement, toutes les masses d'eau étant de « très bonne » qualité selon cet indicateur.

L'utilisation d'images satellites de type couleur de l'eau a été testée. Ces images permettent de bien définir les dates de début des périodes productives qui peuvent être fort différentes selon les masses d'eau en Normandie (jusqu'à un mois d'écart entre la côte Ouest Cotentin et la partie centrale des côtes du Calvados). Elles permettent également d'approcher l'hétérogénéité spatiale de la biomasse chlorophyllienne au sein de chacune des masses d'eau. D'après l'étude réalisée, dans nos zones DCE très littorales où le signal est perturbé par la turbidité, nous estimons que l'outil satellite/couleur de l'eau et l'algorithme de traitement développé par l'Ifremer (F. Gohin), peuvent être considérés comme pleinement opérationnels pour réaliser des approches ou comparaisons qualitatives. L'utilisation de données quantitatives recréées à partir des images n'est aujourd'hui envisageable que dans les secteurs les moins productifs et les moins bruités. Par contre, cet outil fournit des renseignements précieux qui permettent d'étayer les résultats obtenus au moyen des suivis *in situ*. Les images satellites continueront donc à être utilisées dans le cadre du RHLN entre 2008 et 2013.

L'outil « modèle hydrodynamique » a également beaucoup été utilisé à l'occasion du premier plan de suivi et des 4 synthèses réalisées à cette occasion : les 6 modèles hydrodynamiques 2D développés entre 2001 et 2006 dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région de Basse Normandie¹² ont en effet été utilisés pour cerner les déplacements des masses d'eau sous l'effet des courants de marée (et parfois aussi des vents) et pour appréhender leurs trajectoires résiduelles (après plusieurs alternances de marée), pour évaluer le degré de confinement de certaines masses d'eau, et tracer les panaches de dilution des principaux fleuves. Ces outils, et les connaissances qu'ils ont produites, ont permis de mieux cerner l'hydrodynamisme au sein de chaque masse d'eau, et de positionner au mieux le ou les points de suivi (de façon complémentaire avec les données satellites). Ces modèles continueront également à être utilisés à l'avenir.

¹² Ces modèles ont été développés dans le cadre du projet « suivi et qualité du milieu marin ; élaboration d'aides à la gestion du littoral bas normand » mené en partenariat avec le Conseil Régional de Basse Normandie, L'agence de l'Eau Seine Normandie, le Conseil Général de la Manche/SMEL, le Conseil Général du Calvados et l'Ifremer.

Il faudra en outre, lors du plan à venir, pouvoir achever le calage de modèles hydro-biologiques, du type SIAM ou Elise baie de Seine afin de mieux cerner la contribution des apports des différents fleuves côtiers à la production de biomasse phytoplanctonique et surtout aux dystrophies constatées localement, et ainsi contribuer à hiérarchiser les priorités de mise en œuvre des politiques concrètes de limitation des flux en sels nutritifs qui incombent aux deux des partenaires majeurs du RHLN que sont le Conseil Régional de Basse Normandie et l'Agence de l'Eau Seine Normandie. Le jeu de données produit lors du premier plan devra être utilisé afin de caler les modèles déjà existants, ou en cours de développement dans le cadre de projets parallèles au RHLN comme OGIVE¹³ ou ASP-DSP Manche¹⁴ que mène le LERN avec le Département DYNECO de l'Ifremer Brest.

En ce qui concerne les fréquences de suivi du RHLN 2008-2013, les trois partenaires majeurs du réseau que sont le Conseil Régional de Basse Normandie, L'Agence de L'Eau Seine Normandie et l'Ifremer ont décidé de les augmenter par rapport au suivi minimal requis pour la DCE.

La surveillance hydrologique représente en effet un enjeu majeur en Manche, et notamment en Manche Est du fait :

- de la productivité exceptionnelle des hydrosystèmes qui sont alimentés par un bassin versant hébergeant un quart de la population française, un quart également de l'activité agricole nationale, et un tiers de l'activité industrielle (auxquels il convient également d'ajouter les apports britanniques),

- des développements récents des épisodes toxiques à DSP, qui prennent de l'ampleur ces dernières années, de la première crise toxique à ASP en France ayant touché le gisement de coquilles St Jacques de l'intérieur et de l'extérieur baie de Seine en 2004 (avec des interdictions de pêche sur certains secteurs qui se sont prolongées jusqu'à l'ouverture d'octobre 2005), de la première crise DSP ayant affecté les coquilles St Jacques du même secteur à l'automne et à l'hiver 2005, et enfin de la première crise à Azaspiracides ayant touché les gisements de pétoncles en Manche Ouest lors de l'été 2006,

- de l'importance de la qualité des eaux littorales et côtières pour le maintien et/ou le développement des activités de pêche ou d'élevage des coquillages (coquilles St Jacques, moules, pétoncles, praires, huîtres et palourdes) qui placent la Normandie en tête des Régions françaises productrices, ainsi que pour le développement du tourisme balnéaire.

- de l'existence d'autres Directives, comme OSPAR ou la Directive Nitrates...et des besoins du Réphy qui rendent obligatoire un réseau « global » du type RHLN,

¹³ OGIVE pour Outil d'aide à la Gestion Intégrée et à la Valorisation des Ecosystèmes conchylicoles normands : projet visant à modéliser le fonctionnement des différents écosystèmes conchylicoles en Normandie de façon à élaborer des aides à leur gestion à l'intention des Affaires Maritimes et des professionnels. Projet mené en collaboration avec la DRAM de Basse Normandie, la DDAM de la Manche, la SRC Normandie, le Conseil Régional de Basse Normandie et le Conseil Général de la Manche/SMEL, et bénéficiant d'aide du fonds FOP/IFEP de l'UE. Ce projet repose, entre autre, sur des couplages de modèles hydrodynamiques, hydrobiologiques, et d'écophysologie des mollusques en élevage.

¹⁴ ASP-DSP Manche est un projet qui s'inscrit dans le Défi Manche, et dont l'objet est d'essayer de comprendre le déterminisme du développement d'espèces phytoplanctoniques toxiques comme le *Dinophysis sp.* ou le *Pseudo-nitzschia sp.* qui génèrent depuis plusieurs années des toxicités des coquillages (qui les consomment), et donc des interdictions de pêche ou de récolte du fait des risques sanitaires induits. Ce projet repose aussi, entre autres problématiques et objectifs, sur le développement de modèles hydrobiologiques à même de retranscrire les développements phytoplanctoniques toxiques en fonction des conditions de milieu, et des apports terrigènes à l'hydrosystème baie de Seine.

- et, au delà des obligations réglementaires, de l'attente réelle des populations locales pour une vraie démarche de développement durable, qui passe immanquablement par la surveillance et la protection de la frange littorale.

NB : le présent document représente le Volume 1 de la synthèse 2007 du RHLN.

Le Volume 2 est constitué de l'ensemble des fiches descriptives des masses d'eau littorales normandes et s'intitule : « RHLN. Rapport 2007 ; Volume 2 ; Fiches de suivi de la qualité trophique des masses d'eau du littoral normand »

Le Volume 3 traite spécifiquement du phytoplancton et s'intitule : « RHLN 2007. Volume 3. Evolution du paramètre phytoplancton en Normandie entre 2001 et 2006 ; approche DCE »

Bibliographie

Aminot A., Chaussepied M., (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, BNDO/Documentation Brest, 395pp.

Aminot, A., K  rouel, R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

Belin C. et Laugier T., (2005). Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE ; recommandations concernant le phytoplancton. Rapport Ifremer Dyneco 2005, 14p + annexes.

Cellule antipollution de la Seine (2001). Suivi de la qualité des eaux de la Seine à l'aval de Poses : bilan de l'année 2000. Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Service maritime de la Seine Maritime. Service de navigation de la Seine.

Cellule antipollution de la Seine (2002). Suivi de la qualité des eaux de la Seine à l'aval de Poses : bilan de l'année 2001. Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Service maritime de la Seine Maritime. Service de navigation de la Seine.

Cellule antipollution de la Seine (2003). Suivi de la qualité des eaux de la Seine à l'aval de Poses : bilan de l'année 2002. Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Service maritime de la Seine Maritime. Service de navigation de la Seine.

Cugier P. (1999). Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et le sédiment des éléments majeurs (N, P, Si) rejetés par la Seine en Baie de Seine. Thèse de doctorat, Université de Caen, 249p.

Daniel A., Le Goff R. (2002). Evaluation de l'état d'eutrophisation des eaux côtières et estuariennes de Basse-Normandie (octobre 2000 – septembre 2001). Rapport Ifremer RST.DEL/02.02/PB. 61p + Ax

Daniel A. (2004). Réseau hydrologique littoral normand : cycles annuels 2001-2003 et proposition d'indicateurs d'eutrophisation. Rapport Ifremer RST.DEL/04.09/PB 103p.

Hongve D., Akesson G. (1998). Comparison of nephelometric turbidity measurements using wavelengths 400-600 and 860 nm. Water. Res., 32(10), 3143-3154.

Lampert L. 2001. Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne). Thèse de troisième cycle, Universit   de Bretagne Occidentale. 328 p.

Le Goff R., Riou P. et Daniel A., 2005. Réseau Hydrologique Littoral Normand. Rapport 2005. RST LERN/05.09 PB. 132p.

Lorenzen C. J. (1967). Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrometric equations. Limnol. Oceanogr. 12, 343-346.

Menesguen A., Gohin F. (2006). Observation and modelling of natural retention structures in the English Channel. *Journal of Marine System* 63, 244-256.

Redfield A.C., Ketchum B.H., Richard F.A. (1963). The influence of organisms on the composition of seawater. In M.N. Hills (eds), *The sea Vol2. The composition of sea water*, pp26-77. Wiley & sons, New York.

Tréguer P., Le Corre P., (1975). *Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'autoanalyseur II Technicon*, 2^{ème} édition. Université de Bretagne Occidentale, Brest, 110 p.

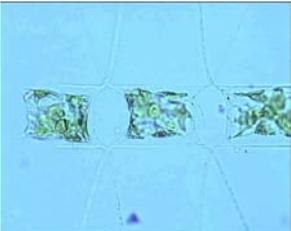
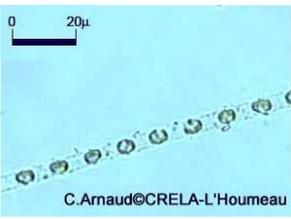
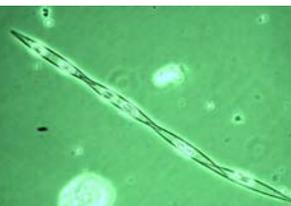
Utermöhl H., (1958). Zur vervollkommung der quantativen phytoplankton methodik. *Int. Ver. Theoret. Angew. Limnol.*, 9, 1-38.

Annexes

Annexe 1 : Principaux taxons phytoplanctoniques étudiés et présentés.

Annexe 2 : Représentation par quinzaine des teneurs moyennes en chlorophylle a mesurées par les satellites SeaWifs, MERIS et MODIS sur la période 1997/2006 en Normandie.

Annexe 1 : Principaux taxons phytoplanctoniques étudiés et présentés :

Abréviaton Taxon	Libellé Taxon	Illustration
CLCRYPT	Cryptophycées	
DINOS	Dinoflagellés	 <p data-bbox="1142 506 1401 573">Dinoflagellé du genre <i>Gymnodinium</i></p>
CHAE	<i>Chaetoceros</i>	
SKELCOS	<i>Skeletonema costatum</i>	
RHIZDEL	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	
RHIZFRA	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	
THAL	<i>Thalassiosira</i>	 <p data-bbox="1142 1574 1401 1615"><i>Thalassiosira rotula</i></p>
PHAE	<i>Phaeocystis</i>	
PSNZ	<i>Pseudo-Nitzschia</i>	 <p data-bbox="1142 1839 1401 1870"><i>Pseudo-Nitzschia</i> sp</p>

Annexe 2

Représentation par quinzaine des teneurs moyennes en chlorophylle a mesurées par le satellites SeaWifs, MERIS et MODIS sur la période 1997/2006 en Normandie.

