

Ronan LE GOFF, Philippe RIOU,

Claude ETOURNEAU, Frank MAHEUX, Olivier PIERRE DUPLESSIX, Vincent JUSTOME, Franck JACQUELINE, Liliane FIANT, Sylvaine FRANCOISE, Luis LAMPERT, Florence NEDELEC, Fabienne RAUFLET, Hervé du Boullay, Laure LAMORT, Virginie ANTOINE, Emilie RABILLER et Jérôme LETELLIER.

Rapport Ifremer RST. LERN - 06.12
Décembre 2006

Ifremer

Réseau Hydrologique Littoral Normand

RHLN

RAPPORT 2006

- *cycles hydrobiologiques annuels (2001-2005)*
- *évaluation des niveaux trophiques*
- *proposition de réseau hydrologique de suivi de la qualité des masses d'eau DCE pour l'année 2007*



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST.LERN/06 - 12 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/	date de publication : Novembre 2005 nombre de pages : 96 bibliographie : oui illustration(s) : Figures et tableaux langue du rapport : français
Titre et sous-titre du rapport : Réseau Hydrologique Littoral Normand (RHLN) : Rapport 2006 Cycles hydrobiologiques annuels 2001-2005, évaluation des niveaux trophiques et proposition de réseau hydrologique de suivi de la qualité des masses d'eau DCE pour l'année 2007	
Rapport intermédiaire Rapport définitif : oui	
Auteur(s) principal(aux) : R. Le Goff et P. Riou ainsi que Cl. Etourneau, F. Maheux, Olivier Pierre-Duplessix, Vincent Justome, Liliane Fiant, Sylvaine Françoise, Luis Lampert, Florence Nédélec, Fabienne Rauflet, Hervé du Boullay, Laure Lamort, Franck Jacqueline, Virginie Antoine, Emilie Rabiller, Jérôme Letellier.	Organisme / Direction / laboratoire IFREMER/LERN IFREMER/LERN
Coordination - composition- édition : R. Le Goff et P. Riou,	IFREMER/LERN
Collaborateur(s) : Référés/relecture : Luis Lampert et Florence Nédélec	Organisme / Direction / laboratoire IFREMER/LERN
Cadre de la recherche : RESEAU RHLN année 2005 Contrat AESN/DEPEE délégation du Littoral Programme : PJB surveillance Convention : OUI 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	
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 réalise la synthèse des résultats obtenus entre 2000/2001 et 2005. La première partie du rapport décrit et compare les variations saisonnières et inter annuelles des cycles hydrobiologiques au sein des différentes masses d'eau normandes. La deuxième partie du rapport évalue le niveau trophique des masses d'eaux normandes au moyen des indicateurs proposés par le RHLN 2001/2003 (Daniel 2004), et retenus parmi les propositions du groupe d'experts français « phytoplancton » mi 2005, ainsi que ceux proposés par le groupe européen fin 2006. Cette nouvelle année de suivi confirme le constat déjà établi les années précédentes de 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 médiocre à mauvais. Par contre, les phénomènes de dystrophie sont moins marqués en 2005, nouvelle année à pluviométrie peu abondante après celles de 2003 et 2004. Enfin, la troisième partie présente une proposition de format du RHLN à mener sur la période 2007 (en l'état de nos connaissances à la fin décembre 2006 sur le projet de circulaire du MEDD qui arrêtera les paramètres à suivre, les fréquences de suivi, et les indicateurs à utiliser) 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

1	Matériel et méthodes	8
1.1	LES POINTS DE PRELEVEMENT	8
1.2	LES PARAMETRES	9
1.3	PERIODE ET FREQUENCE DE PRELEVEMENT	9
1.4	METHODES D'ANALYSE	10
1.4.1	Température, salinité, oxygène dissous	10
1.4.2	Sels nutritifs	10
1.4.3	Chlorophylle a et phéophytine	10
1.4.4	Flores phytoplanctoniques	10
1.4.5	Turbidité	11
1.5	INTERPRETATION DES RESULTATS ; CYCLES BIOGEOCHIMIQUES, DEVELOPPEMENTS PHYTOPLANCTONIQUES, ET LIMITATIONS POTENTIELLES PAR LES NUTRIMENTS	11
2	Evolution saisonnière des cycles hydrobiologiques au sein des masses d'eaux cotieres normandes en 2004	12
2.1	FACTEURS METEOROLOGIQUES	12
2.1.1	Pluviométrie	12
2.2	MASSE D'EAU GC01 : CANCALE	16
2.3	MASSE D'EAU HC01 : CHAUSEY	18
2.4	MASSE D'EAU HC02 : HACQUEVILLE	20
2.5	MASSE D'EAU HC03 : DONVILLE, AGON, PIROU	22
2.6	MASSE D'EAU HC04 : FLAMANVILLE	25
2.7	MASSES D'EAUX HC05 (GRUCHY), HC6M (CHERBOURG PORT), HC06 (CHERBOURG LARGE), ET HC07 (CAP LEVY- OU LEVI-)	27
2.8	MASSE D'EAU HC08 : REVILLE	33
2.9	MASSE D'EAU HC09 : ST VAAST	35
2.10	MASSE D'EAU HC10 : ST GERMAIN DE VARREVILLE ET GRANDCAMP	38
2.11	MASSE D'EAU HT6M : GEFOSSE	42
2.12	MASSE D'EAU HC11 : PORT EN BESSIN	45
2.13	MASSES D'EAU HC12 ET HC13 : MEUVAINES ET ESSARTS	48
2.14	MASSE D'EAU HC14 : LUC SUR MER ET OUISTREHAM	53
2.15	MASSE D'EAU HC15 : CABOURG	59
2.16	MASSE D'EAU HC16 : ANTIFER	64
2.17	MASSE D'EAU HC17: PALUEL ET ST AUBIN, DIEPPE ET PENLY	67
2.17.1	Paluel	67
2.17.2	St Aubin	69
2.18	MASSE D'EAU HC18: DIEPPE ET PENLY	72
2.18.1	Dieppe	72
2.18.2	Penly	75
3	Evaluation des niveaux d'eutrophisation	77
3.1	EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX NORMANDES AU MOYEN DE L'INDICATEUR CHLOROPHYLLE A	79
3.2	EVALUATION AU MOYEN DE L'INDICATEUR OXYGENE DISSOUS	81
3.3	EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX NORMANDES AU MOYEN DES DEUX INDICATEURS « NOMBRE DE BLOOMS »	82
3.4	SYNTHESE DES INDICATEURS ET EVALUATION DE LA QUALITE GLOBALE DES MASSES D'EAU NORMANDES	84
4	Définition du RHLN 2007	86
4.1	TYPES DE CONTROLES SELON LES MASSES D'EAU	86
4.2	FREQUENCES DES PRELEVEMENTS, PARAMETRES SUIVIS ET COLLABORATIONS ENVISAGEES	87
4.3	RENDU DES RESULTATS	88
5	discussion et conclusion	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique des points de prélèvement du RHLN en 2003 et 2004 (page précédente) et 2005.	9
Figure 2 : Ecart entre les pluviométries enregistrées annuellement à Dieppe (Seine Maritime) et la moyenne sur la période 1950-2005 (données météoFrance).	12
Figure 3 : Evolution des moyennes mensuelles des débits instantanés de la Seine mesurés à Poses, et comparaison avec les valeurs mensuelles moyennes enregistrées sur la période 1941-2005.	13
Figure 4 : Ecart entre les températures moyennes annuelles à Dieppe (Seine Maritime), et comparaison avec la moyenne sur la période 1950-2005 (données météoFrance).	13
Figure 5 : Moyennes mensuelles des températures de l'air à Dieppe. Comparaison des données 2005 avec les moyennes sur la période 1972-2004 (données météoFrance).	14
Figure 6 : Distributions des températures journalières de l'eau de mer enregistrées au canal d'aménée de la centrale EDF de Paluel (Seine Maritime) depuis 1991	14
Figure 7 : Evolution de la température de l'eau de mer de 2002 à 2005 sur le point RHLN d'Antifer (Seine Maritime).	15
Figure 8 : Evolution des paramètres hydrologiques à Cancale en 2004 et 2005 (données labo Ifremer St Malo).	17
Figure 9 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore depuis 2001 au point de suivi de Chausey (masse d'eau HC01).	18
Figure 10 : Evolution des paramètres hydrologiques à Chausey entre 2001 et 2005.	19
Figure 11a & 11b : Evolution des paramètres hydrologiques à Hacqueville en 2004 et 2005. / Evolution des paramètres hydrologiques à Hacqueville en 2004 et 2005	21
Figure 12a & 12b : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore depuis 2001 au point de suivi de Donville (masse d'eau HC03) / Evolution des paramètres hydrologiques à Donville/Granville entre 2001 et 2005.	22
Figure 13 : Distributions des salinités et des biomasses chlorophylliennes enregistrées en surface depuis 2001 sur les 3 points de suivi de la masse d'eau HC03 : Donville (en haut), Agon (au milieu) et Pirou (en bas).	24
Figure 14 : Evolution des paramètres hydrologiques à la station « référence » de Flamanville entre 1987 et 2005 (données EDF).	25
Figure 15 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur les 4 points de suivi RHLN de la côte nord Cotentin (masses d'eau HC05, HC06, HC07 et HC6M).	27
Figure 16 : Evolution des paramètres hydrologiques à Gruchy en 2004 et 2005.	29
Figure 17 : Evolution des paramètres hydrologiques à Cherbourg Port (masse d'eau HC6M) en 2005.	30
Figure 18 : Evolution des paramètres hydrologiques au point Cherbourg Large (masse d'eau HC06) en 2005.	31
Figure 19 : Evolution des paramètres hydrologiques au point Cap Lévy (masse d'eau HC07) en 2004 et 2005.	32
Figure 20a & 20b: Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de Réville (masse d'eau HC08) / Evolution des paramètres hydrologiques à Réville en 2004 et 2005	33
Figure 21 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de St Vaast la Hougue (masse d'eau HC09).	35
Figure 22 : Evolution des paramètres hydrologiques à St Vaast en 2003, 2004 et 2005.	36
Figure 23 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à St Vaast la Hougue en 2003, 2004 et 2005.	37
Figure 24 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de Grandcamp (masse d'eau HC10).	38
Figure 25 : Evolution des paramètres hydrologiques (et variations de leurs distributions) à St Germain de Varreville entre 2001 et 2005.	39
Figure 26 : Evolution des paramètres hydrologiques à Grandcamp entre 2001 et 2005.	40
Figure 27 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Grandcamp entre 2001 et 2005.	41
Figure 28 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2002 et 2005 au point de suivi de Géfosse (masse d'eau HT6M), et graphe de production de biomasse chlorophyllienne.	42
Figure 29 : Evolution des paramètres hydrologiques à Géfosse entre 2002 et 2005.	43
Figure 30 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Géfosse entre 2002 et 2005.	44
Figure 31 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de Port en Bessin (masse d'eau HC11).	45
Figure 32 : Evolution des paramètres hydrologiques à Port en Bessin en 2004 et 2005.	46

Figure 33 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Port en Bessin en 2004 et 2005.	47
Figure 34 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur les points de suivi de Meuvaines et des Essarts (masses d'eau HC12 et HC13).	48
Figure 35 : Evolution des paramètres hydrologiques à Meuvaines en 2004 et 2005.	49
Figure 36 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Meuvaines en 2004 et 2005.	50
Figure 37 : Evolution des paramètres hydrologiques aux Essarts en 2004 et 2005.	51
Figure 38 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques aux Essarts en 2004 et 2005.	52
Figure 39 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2001 et 2005 sur le point de suivi de Luc sur Mer (masse d'eau HC14).	54
Figure 40 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2001 et 2005 sur le point de suivi de Ouistreham (masse d'eau HC14).	54
Figure 41 : Evolution des paramètres hydrologiques sur le point de suivi de Luc sur Mer entre 2001 et 2005.	55
Figure 42 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Luc sur Mer entre 2001 et 2005.	56
Figure 43 : Evolution des paramètres hydrologiques à Ouistreham entre 2001 et 2005	57
Figure 44 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Ouistreham entre 2001 et 2005.	58
Figure 45 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2001 et 2005 sur le point de suivi de Cabourg (masse d'eau HC15).	59
Figure 46 : Répartition géographique des maxima de dinoflagellés pour l'année 2003 avec tous les rejets (a), et uniquement la Seine (b),	60
Figure 47 : Répartition géographique de la production cumulée de dinoflagellés (en grammes/m ²) pour l'année 2003 avec tous les rejets (a), et uniquement la Seine (b),	60
Figure 48 : Evolution temporelle de l'Azote fixé par les Dinoflagellés en 2003	61
Figure 49 : Evolution des paramètres hydrologiques à Cabourg entre 2001 et 2005.	62
Figure 50 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Cabourg entre 2001 et 2005.	63
Figure 51 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2002 et 2005 sur le point de suivi d'Antifer (masse d'eau HC16).	64
Figure 52 : Evolution des flux de phosphates depuis 20 ans en aval de Rouen	64
Figure 53 : Evolution des paramètres hydrologiques à Antifer entre 2001 et 2005.	65
Figure 54 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Antifer entre 2001 et 2005.	66
Figure 55 : Evolution des paramètres hydrologiques à la station « référence » de Paluel entre 1988 et 2005 (données EDF).	68
Figure 56 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur le point de suivi de St Aubin (masse d'eau HC17).	69
Figure 57 : Evolution des paramètres hydrologiques à St Aubin en 2004 et 2005.	70
Figure 58 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à St Aubin en 2004 et 2005.	71
Figure 59 : Evolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur le point de suivi de Dieppe (masse d'eau HC18).	72
Figure 60 : Evolution des paramètres hydrologiques à Dieppe en 2004 et 2005.	73
Figure 61 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Dieppe en 2004 et 2005.	74
Figure 62 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Penly entre 1989 et 2005 (données EDF).	76
Figure 63 : Grille des indicateurs d'eutrophisation en cours de définition/validation par le MEDD et l'UE à la fin décembre 2006.	78
Figure 64 : « Boîtes à moustaches » obtenues avec les données de chlorophylle-a mesurées en surface lors des périodes productives entre 2001 et 2005 pour l'ensemble des points de prélèvement suivis par le RHLN (les lignes de couleur correspondent aux valeurs seuils des différentes classes de qualité retenues)	79
Figure 65 : Percentile 90 des valeurs de chlorophylle-a au cours des périodes productives de 2001 à 2005, ainsi que sur le cumul 2001-2005. Evaluation de la qualité des masses d'eau au moyen de l'indicateur chlorophylle a actuellement retenu, par année, puis globalement sur la période 2001-2005, et enfin en utilisant le plus mauvais classement annuel obtenu sur chacun des points.	80

Figure 66 : Boite à moustaches obtenues pour les données de concentration d'oxygène dissous mesurées au fond de la colonne d'eau au cours des périodes productives entre 2001 et 2005 sur l'ensemble des points de prélèvements suivis par le RHLN.	81
Figure 67 : Classification du percentile 10 des concentrations en oxygène dissous (et valeurs en mg/L de ces percentiles 10) mesurées au fond lors des périodes productives de 2001 à 2005, par année, puis globalement (percentile 10 de l'ensemble des données acquises sur le point entre 2001 et 2005 d'une part, et plus mauvais résultat annuel enregistré sur le point d'autre part).	82
Figure 68 : Classification des masses d'eau en fonction du nombre de blooms dépassant les valeurs seuils de 100 000 et de un million de cellules par litre sur les 6 dernières années (entre 2000 et 2005).	83
Figure 69 : Distribution à l'équilibre d'un traceur injecté de façon homogène dans toutes les mailles du modèle MARS	84
Figure 70 : Synthèse des évaluations de qualité obtenues au moyen des 4 indicateurs « DCE phytoplancton » retenus à la fin décembre 2006. Seuls les résultats les plus déclassants sont pris en compte.	85
Figure 71 : Positionnement des points de suivi du RHLN en 2007 ; types de contrôles selon les masses d'eau.	89
Figure 72 : Concentration (en nombre de cellules par litre d'eau de mer) en <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> et <i>Pseudo-nitzschia</i> sp au point de suivi « Port en Bessin » (masse d'eau HC11) au cours de l'année 2005.	92
Figure 73 : Concentration en acide domoïque (toxine ASP) exprimé en µg d'acide par gramme de coquillage entre mai et août 2005 sur les gisements et zones de production de coquillage de la partie occidentale de la baie de Seine, entre Ouistreham et Barfleur.	92

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,
- et définir le réseau de suivi hydrologique pérenne permettant de satisfaire aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et qui sera à mettre en œuvre dans l'ensemble des Etats membre à partir de 2007/2008.

Le présent rapport est le quatrième depuis la mise en place du RHLN.

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.

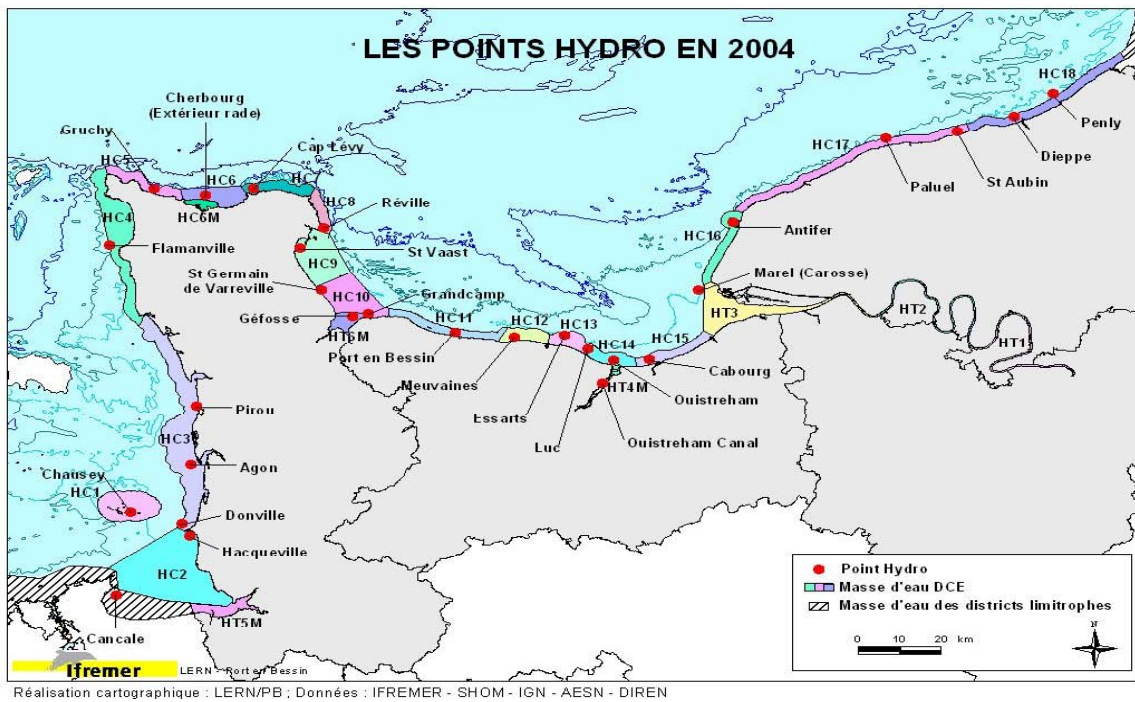
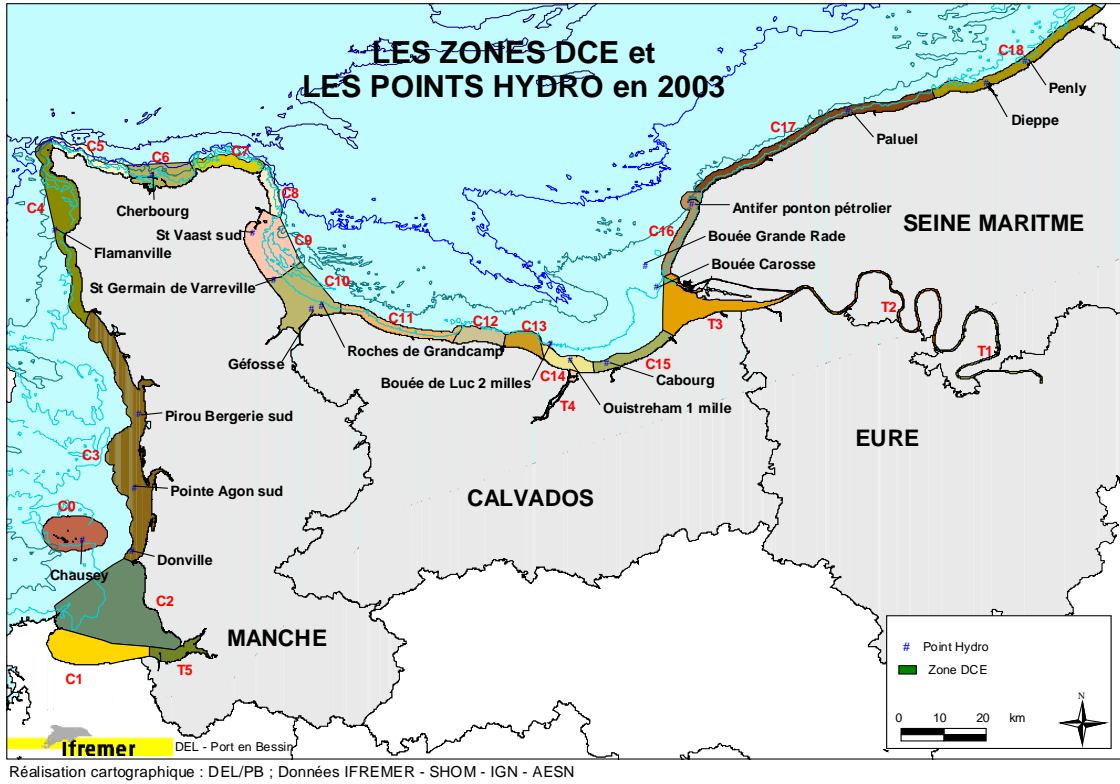
Une seconde synthèse, portant sur l'ensemble des résultats acquis entre 2001 et 2003 a été réalisée en 2004 par A. Daniel. Ce travail, plus conséquent, a permis de décrire et de comparer les cycles biogéochimiques dans les différentes masses d'eau DCE normandes en observant à la fois les variations saisonnières 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 biogéochimiques 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). Des repositionnements de certains points ont pu être proposés.

Cette quatrième synthèse reprend la description des cycles hydrobiologiques dans les masses d'eau suivies, évalue la qualité au moyen des indicateurs de qualité retenus, et compare les résultats ainsi obtenus en 2005 avec ceux des années précédentes. Il s'achève sur la définition du réseau hydrologique RHLN à mener en Normandie en 2007 de façon à parfaitement suivre les différentes masses d'eau, en répondant aux exigences de la DCE, mais aussi à celles d'Ospar en matière de suivi de l'eutrophisation, et ce, afin de contribuer à l'évaluation de l'efficacité des politiques d'assainissement ou de réduction des flux de nutriments menées à l'échelle du District Seine Normandie. Il faut retenir à ce sujet qu'il n'a pas été possible de proposer dans le présent rapport un format de RHLN pérenne, contrairement aux objectifs initiaux, car nous ne disposons pas, à la fin décembre 2006, du texte définitif de circulaire du MEDD spécifiant les paramètres à suivre, les fréquences de suivi, et les indicateurs de synthèse à utiliser. Cette circulaire devrait paraître en 2007. Le RHLN s'y conformera à partir de 2008, et, par conséquent, pourrait connaître quelques évolutions par rapport au format proposé pour 2007.

1 MATERIEL ET METHODES

1.1 Les points de prélèvement



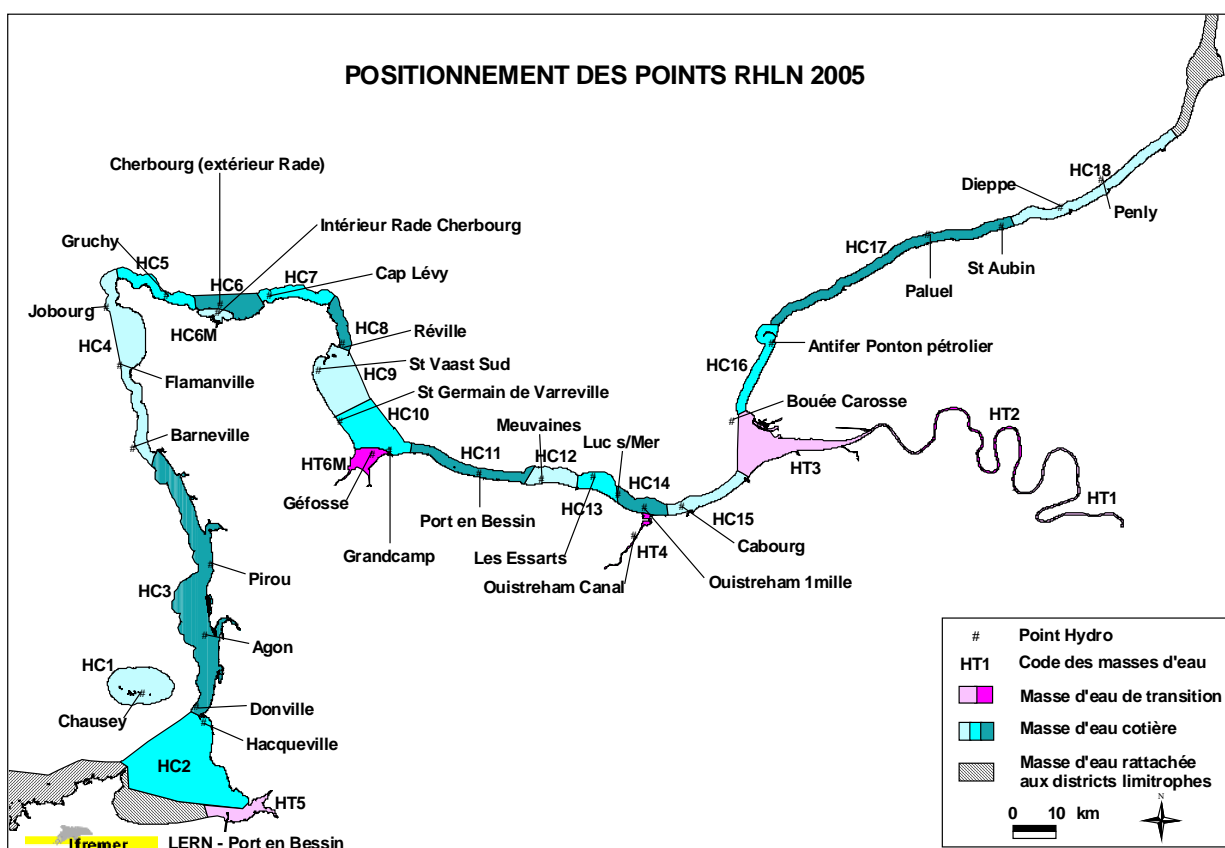


Figure 1 : situation géographique des points de prélèvement du RHLN en 2003 et 2004 (page précédente) et 2005 (ci dessus).

Le nombre de points de prélèvement du RHLN a augmenté en 2004 puis en 2005 de façon à permettre un suivi hydrologique de l'ensemble des masses d'eaux côtières DCE du littoral normand (Figure 1).

16 points de prélèvement ont été suivis en 2003 (Daniel, 2004), et le suivi RHLN 2004 a été étendu aux zones de Cancale, Hacqueville, Gruchy, Cherbourg, Cap Lévi, Réville, Port en Bessin, Meuvaines, Essarts, Ouistreham canal, St Aubin et Dieppe.

L'ensemble de ces points a été maintenu en 2005, et les points Luc sur Mer et Ouistreham ont été rapprochés de la côte, à moins d'un mille du zéro des cartes, afin de respecter les limites des masses d'eau DCE.

1.2 Les paramètres

En 2005, le RHLN a mesuré ou analysé :

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

1.3 Période et fréquence de prélèvement

La période de suivi ainsi que la fréquence des prélèvements ont été adaptées en 2005 selon le « risque d'eutrophisation » des zones ou masses d'eau. Ainsi, au cours de la période

productive (mars/octobre), les prélèvements sont effectués deux fois par mois sur les côtes ouest, nord et est Cotentin, alors qu'ils sont hebdomadaires sur les côtes du Calvados et à Antifer.

En outre, un point de prélèvement sur chaque façade est suivi sur l'ensemble de l'année (points de référence du RHLN, mais aussi du Réseau 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.

1.4 Méthodes d'analyse

Les méthodes analytiques employées sont les suivantes :

1.4.1 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 sont respectivement de 0,15°C, 0,1 PSS et 2 %. La précision sur la profondeur est de 0,3 m.

1.4.2 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.

1.4.3 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 $\pm 5\%$ pour la chlorophylle a et de $\pm 10\%$ pour les phéopigments.

1.4.4 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 genres 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.*, *Pseudonitzschia 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 donc être utilisées

avec précaution si l'on s'intéresse aux dominances au sein des peuplements. Elles sont par contre parfaitement adaptées dans le cadre de l'utilisation des indicateurs d'eutrophisation « nombre de blooms » (Cf. chapitre 3.3)

1.4.5 Turbidité

La méthode analytique a évolué en 2004 par rapport à celle employée lors des précédentes phases préparatoires du RHLN : les mesures de turbidité ont en effet été effectuées en 2004 selon la norme NF ISO EN 7027 à l'aide d'un turbidimètre HACH 2100 NIS (de précision $\pm 2\%$) et non plus selon l'ancienne spécification au moyen d'un turbidimètre HACH 2100A (de précision $\pm 5\%$).

Une étude comparative a été menée par le laboratoire (Cf. Annexe 2 du rapport RHLN 2004 : Le Goff, Riou Daniel et al, 2005) qui permet de constater que les résultats obtenus dans le respect de la nouvelle norme sont en moyenne 50 % supérieurs à ceux obtenus avec l'ancien appareillage. Ceci corrobore les résultats de Hongve en 1998. Une attention particulière est donc à porter lors de la comparaison des données 2004 et 2005 avec les données antérieures sur les graphes présentés dans ce rapport.

1.5 Interprétation des résultats ; cycles biogéochimiques, développements phytoplanctoniques, et limitations potentielles par les nutriments

Les données acquises sont présentées et synthétisées au moyen de courbes d'évolution « classiques », ou de boîtes à moustaches qui permettent de retranscrire les variabilités intra-annuelle d'une part, et globale (depuis le début des suivis) d'autre part, des différents paramètres.

Les rapports Si/N ou N/P¹ sont également 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, et le rapport Si/N serait égal à 1. Il est généralement accepté que le rapport molaire entre le nitrogène et le phosphore inorganiques dissous (DIN/P) dans l'eau de mer est approximativement le même que dans le phytoplancton, ce qui permet alors une croissance « optimale » du phytoplancton. Si le rapport DIN/P est inférieur à 16, l'azote est alors probablement en carence dans le milieu, et la croissance du phytoplancton peut alors être limitée par l'azote. 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 la biogéochimie de ces éléments, facteurs qui ne sont pas étudiés dans le cadre du RHLN à ce jour.

Toutes les données produites dans le cadre du RHLN sont disponibles sur le web à l'adresse : <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/telechargement.htm>

¹ L'azote N est parfois également représenté par le sigle DIN pour Dissolved Inorganic Nitrogen

2 EVOLUTION SAISONNIERE DES CYCLES HYDROBIOLOGIQUES AU SEIN DES MASSES D'EAUX COTIERES NORMANDES EN 2004

2.1 Facteurs météorologiques

2.1.1 Pluviométrie

2005 est une année que l'on peut qualifier de sèche. Ainsi que le montre la figure 2, un déficit pluviométrique de 120 mm a été enregistré sur Dieppe par rapport à la moyenne des précipitations calculée de 1950 à nos jours. Ce déficit représente 15% de la pluviométrie moyenne sur les 55 dernières années (650 mm).

Il faut également signaler que 2005 fait suite à 2 années également qualifiables de sèches, avec des déficits pluviométriques par rapport à la moyenne précitée s'élevant respectivement à 10% (2004) et à 30% (2003).

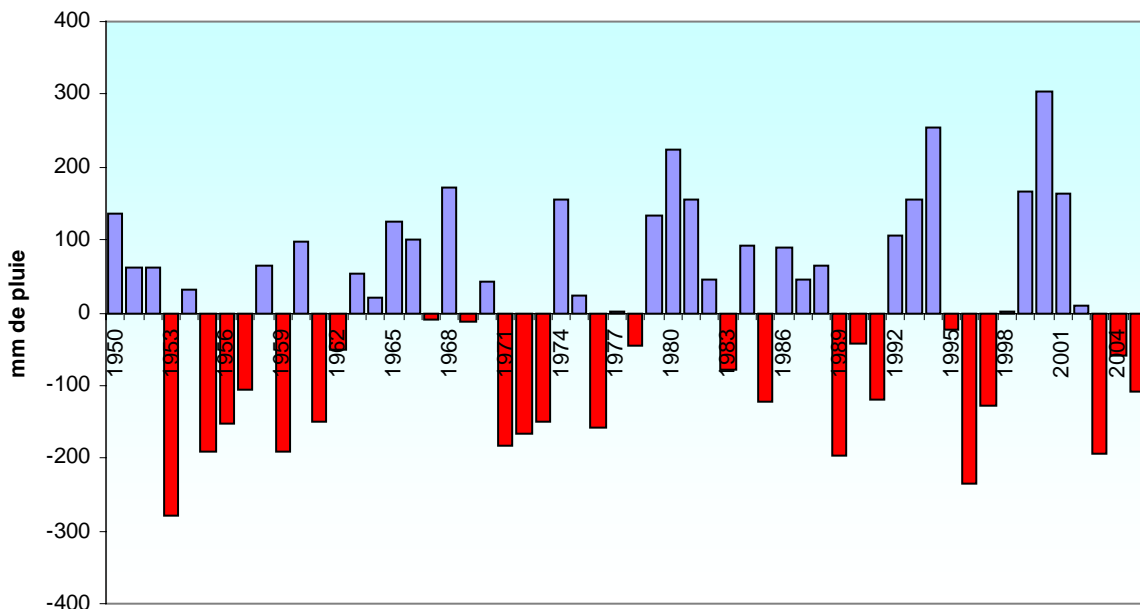


Figure 2 : Ecart entre les pluviométries enregistrées annuellement à Dieppe (Seine Maritime) et la moyenne sur la période 1950-2005 (données météoFrance).

Cette faible pluviométrie est à l'origine d'une baisse des débits des fleuves ainsi que le montre la figure 3 (débits de la Seine).

On constate que la période estivale n'a pas à proprement parler connu d'étiage et que les débits ont été comparables à ceux que l'on enregistre en moyenne depuis 1941 à cette saison.

Par contre, les déficits ont été sensibles de janvier à juin (soit juste avant et puis à l'occasion de la période productive), ainsi qu'en novembre et décembre.

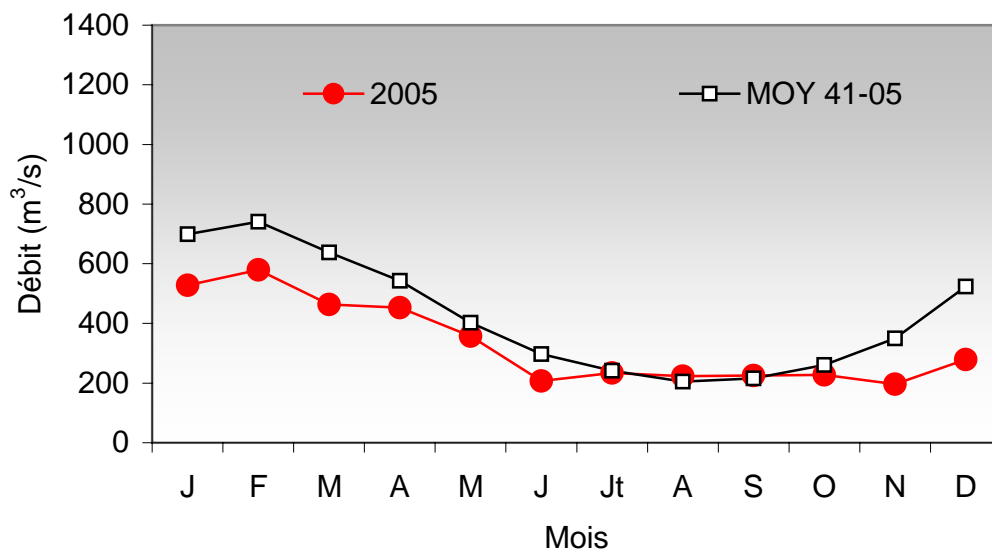


Figure 3 : évolution des moyennes mensuelles des débits instantanés de la Seine mesurés à Poses, et comparaison avec les valeurs mensuelles moyennes enregistrées sur la période 1941-2005.

En ce qui concerne les températures, 2005 peut également être qualifiée d'année « chaude » ainsi que l'indique la figure 4 qui représente l'écart de la moyenne des températures annuelles de l'air à Dieppe par rapport à la moyenne depuis 1950. L'écart thermique annuel a été en moyenne de + 1°C, comme cela est le cas depuis 1997.

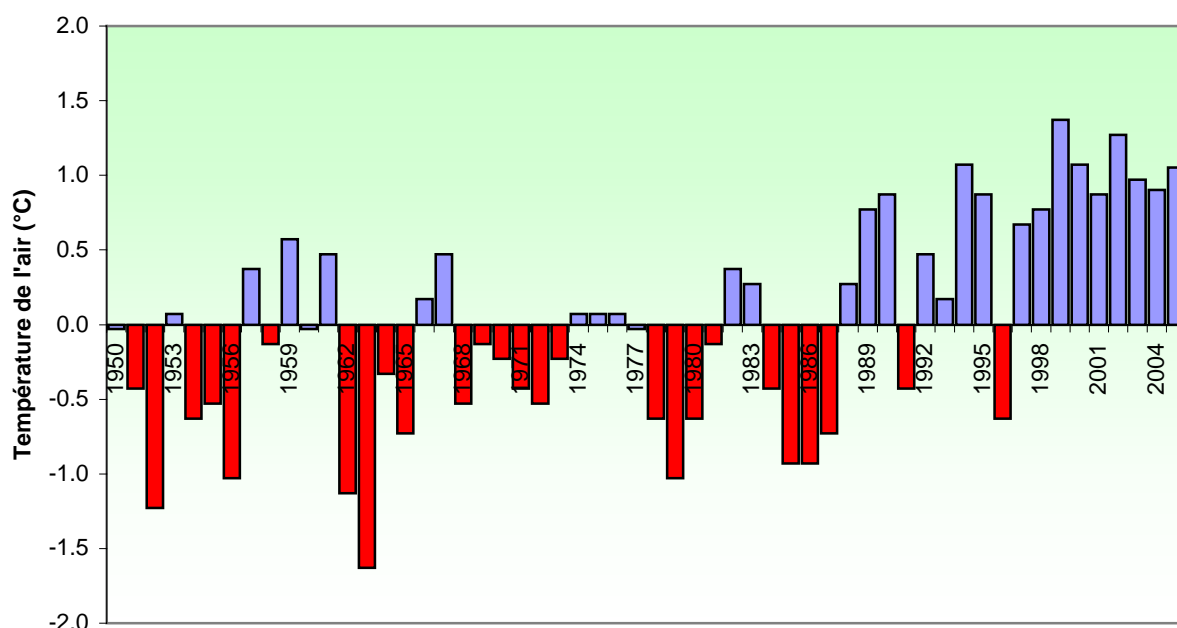


Figure 4 : écart entre les températures moyennes annuelles à Dieppe (Seine Maritime), et comparaison avec la moyenne sur la période 1950-2005 (données météoFrance).

L'examen des moyennes mensuelles de la température de l'air montre que sur la période mars-novembre 2005, les températures ont été systématiquement supérieures (hormis août)

aux moyennes de la période 1972-2005 (figure 5), avec des écarts pouvant atteindre 2°C (avril et juin), et même 4°C (octobre).

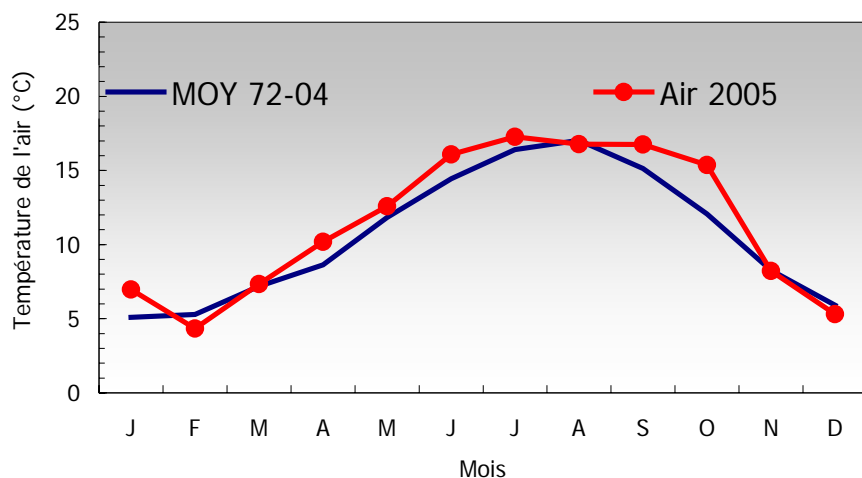


Figure 5 : moyennes mensuelles des températures de l'air à Dieppe. Comparaison des données 2005 avec les moyennes sur la période 1972-2004 (données météoFrance).

En ce qui concerne les températures enregistrées dans l'eau, elles ont également été supérieures aux moyennes au cours des mois de janvier et de février, entre la fin juin et la mi juillet, et surtout de début septembre à début décembre où, à plusieurs reprises, les températures 2005 ont représenté les maximales de la série acquise depuis 1991. *A contrario*, on peut noter les températures très basses entre fin février et fin mars 2005.

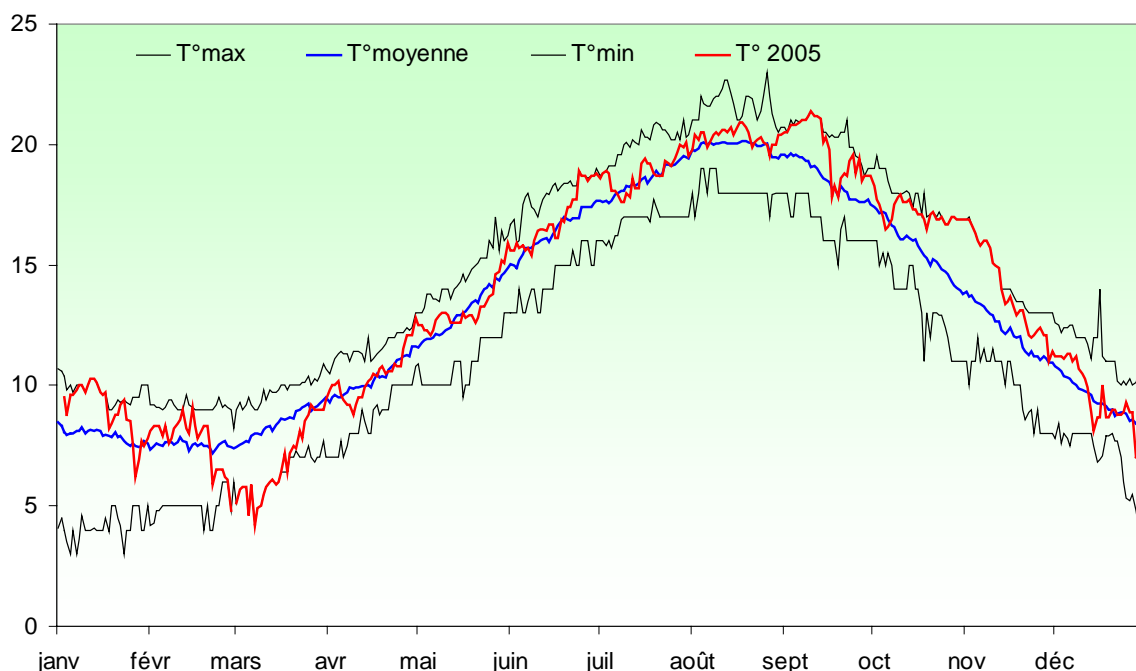


Figure 6 : Distributions des températures journalières de l'eau de mer enregistrées au canal d'amenée de la centrale EDF de Paluel (Seine Maritime) depuis 1991. Comparaison entre les valeurs mesurées en 2005 (courbe rouge) et les valeurs moyennes (courbe bleue) ainsi qu'extrêmes obtenues sur la période 1991-2005 (données EDF).

Des variations de température comparables ont été enregistrées dans le cadre du RHLN en différents secteurs des côtes de Normandie, comme le montre la figure 7 sur Antifer, donnée à titre d'exemple.

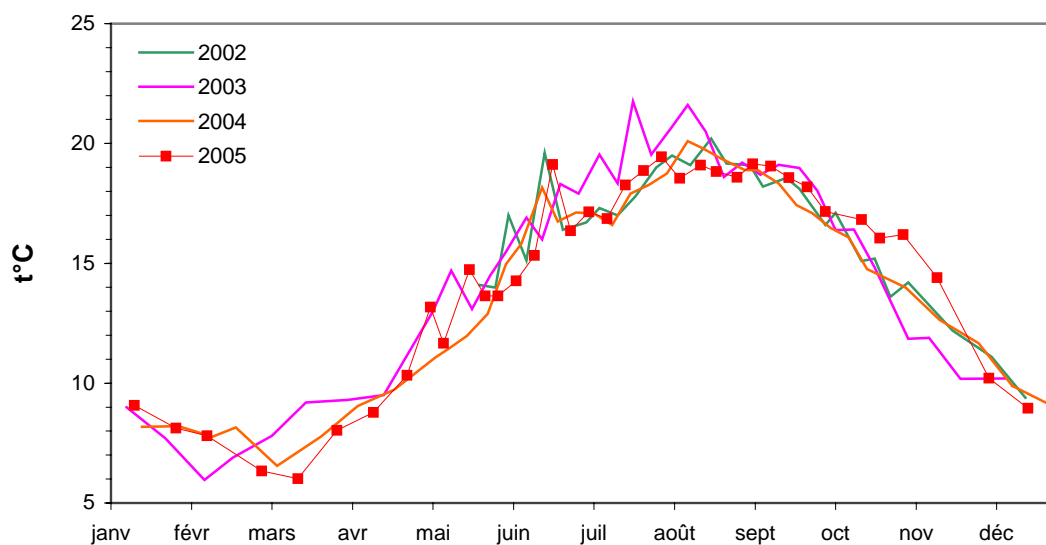


Figure 7 : évolution de la température de l'eau de mer de 2002 à 2005 sur le point RHLN d'Antifer (Seine Maritime).

2.2 Masse d'eau GC01 : Cancale

Les données hydrologiques acquises à Cancale en 2004 et 2005 sont rassemblées sur la Figure 8.

Cette masse d'eau de l'ouest de la baie du Mont St Michel se situe en Bretagne, mais a été suivie dans le cadre du RHLN 2004 puis 2005 en attendant qu'un réseau hydrologique Breton puisse se mettre en place. Les prélèvements et les mesures physico-chimiques associées ont été réalisés par le laboratoire côtier Ifremer de St Malo selon les mêmes protocoles et procédures que ceux du LERN, et avec des matériels identiques.

Cette masse d'eau est très peu influencée par les apports fluviaux en hiver (salinité minimale toujours supérieure à 33.5) : les concentrations hivernales en sels nutritifs dont on dispose (inférieures à 20 μM de silicate, 30 μM de nitrate, 1 μM de phosphate, et 4 μM d'ammonium), apparaissent comme relativement peu élevées par rapport aux autres points de suivi du RHLN, mais ceci demandera à être vérifié sur une plus longue série de données, et plus particulièrement lors des hivers pluvieux.

En effet, la période productive qui n'avait débuté que début avril en 2004 (pic de chlorophylle a de 2.2 $\mu\text{g/L}$) a été plus précoce en 2005 : première augmentation des teneurs en chlorophylle a dès la mi février, avec un pic de bloom enregistré tout début mars et qui a atteint 3 μg par litre (i.e. la valeur maximale enregistrée sur les 2 années du suivi). Ce bloom précoce en 2005 a indubitablement conduit à une diminution de la teneur en sels nutritifs, mais que nous ne pouvons estimer du fait du manque de donnée. La précocité de ce bloom démontre l'intérêt de réaliser des suivis de sels nutritifs également pendant la période hivernale, ou, *a minima*, de disposer d'une valeur acquise début février de façon à disposer d'une donnée sur le niveau des stocks hivernaux (essentiellement dans les secteurs comme celui de Cancale qui ne sont pas sous l'influence de fleuves et ne connaissent donc pas de dessalures).

Le nitrate a été totalement consommé dès le tout début mai, en 2005 comme en 2004, et est resté à des teneurs n'excédant pas 1 μM jusqu'à début septembre. Il apparaît comme étant l'élément potentiellement limitant de la production primaire sur ce secteur.

Les « pics » de chlorophylle a, en 2005 comme en 2004, sont restés à des niveaux très faibles tout au long de la période productive, oscillant entre la fin avril et la fin septembre entre 0.6 et 1.8 $\mu\text{g/L}$, soit les concentrations les plus basses enregistrées dans le cadre du RHLN (avec celles enregistrées à Chausey).

A contrario, la concentration en ammonium apparaît, tant en 2004 qu'en 2005, comme plus élevée à Cancale que sur les autres points de prélèvement RHLN de la côte ouest Cotentin (hormis à Hacqueville), avec respectivement 1 à 2 μM par rapport à 0.5 - 1 μM en 2004, et de 1.5 à 4 μM contre moins de 2 μM en 2005).

Cette masse d'eau devra à l'avenir être suivie dans le cadre du réseau qui sera développé à l'échelle du district Loire - Bretagne.

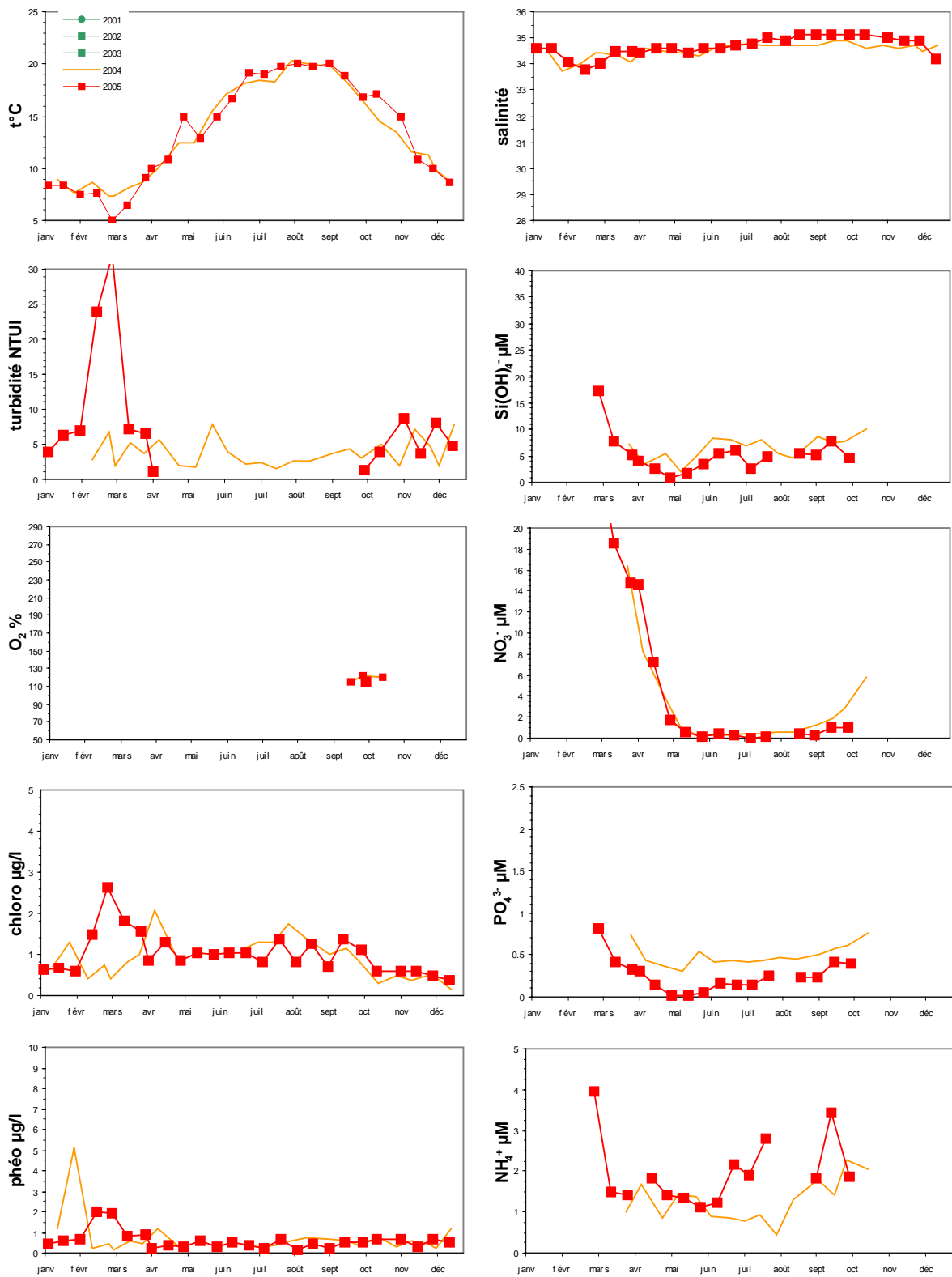


Figure 8 : Evolution des paramètres hydrologiques à Cancale en 2004 et 2005 (données labo Ifremer St Malo).

2.3 Masse d'eau HC01 : Chausey

Les données hydrologiques mesurées en surface à Chausey entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur les Figures 9 et 10.

Le premier bloom observé mi février – début mars à Cancale en 2005 (Figure 8) n'est pas relevé à Chausey où la production ne débute véritablement qu'en Avril.

Le pic maximal de biomasse est atteint fin avril, et est inférieur aux maxima enregistrés les années précédentes ($3\mu\text{g/L}$ vs 5 à $7\mu\text{g/L}$).

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 $15 - 20\mu\text{M}$ de nitrate, $10 - 15\mu\text{M}$ de silicate, inférieurs à $1\mu\text{M}$ de phosphate, et de l'ordre de $2\mu\text{M}$ d'ammonium, ce qui est peu élevé par rapport aux autres masses d'eau suivies dans le cadre du RHLN, et notamment celles de la baie de Seine ou du long des côtes de Seine Maritime.

Globalement, les données acquises depuis 2001 indiquent que cette masse d'eau est peu productive, et, *a priori* sans manifestation de dystrophie. A tout le moins peut on signaler la présence de *Pseudo-nitzschia sp* qui a été enregistrée en 2003 et 2005, mais sans générer de toxicité de type ASP dans les coquillages de l'Archipel de Chausey (pas plus d'ailleurs que dans les autres masses d'eau de la côte ouest Cotentin où nous constatons un phénomène tout à fait similaire). Ces développements nécessitent de maintenir les suivis, à la fois dans le cadre du réseau sanitaire Réphy du fait de l'importance des productions conchylicoles dont cette masse d'eau est le siège, mais aussi dans celui du RHLN afin d'enregistrer sur le moyen/long terme d'éventuelles modifications dans les successions phytoplanctoniques, ce qui est un des objectifs de la DCE.

L'examen des courbes présentant le rapport molaire N/P ci dessous (Figure 9) montre que la valeur seuil de 16 (selon Redfield et al, 1963), en deçà de laquelle la limitation de la production primaire (si limitation il y a) peut être imputée à une carence en azote est, en général, atteinte à partir de la mi avril, et que les valeurs de ce rapport N/P ne remontent plus avant l'hiver. Ceci apparaît nettement en 2002, 2003 et 2004. En 2001, cette valeur seuil n'est jamais franchie entre juin et septembre, indiquant une limitation potentielle par le phosphore. En 2005, ce rapport oscille autour de la valeur seuil de la mi avril jusqu'à la fin juillet, date à partir de laquelle la carence prépondérante devient imputable à l'azote dont les concentrations restent inférieures à $1\mu\text{M}$ jusqu'en septembre, et ne commencent à ré-augmenter de façon perceptible (supérieures à $3\mu\text{M}$) qu'à partir d'octobre.

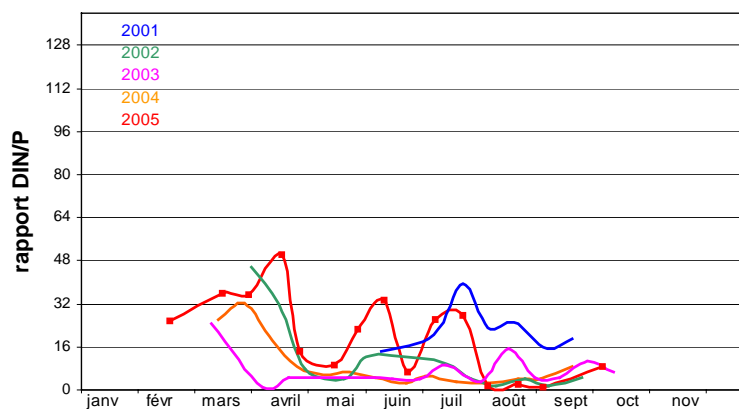


Figure 9 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore depuis 2001 au point de suivi de Chausey (masse d'eau HC01). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance du phytoplancton, donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

On peut d'ailleurs remarquer que de mai à octobre, le nitrate reste à des niveaux de concentration très faibles, et que l'azote se trouve essentiellement sous forme d'ammonium dans le milieu. Cet ammonium provient de l'excrétion des niveaux trophiques supérieurs (zooplancton et filtreurs), mais aussi de la re-minéralisation due à la dégradation bactérienne de la matière organique.

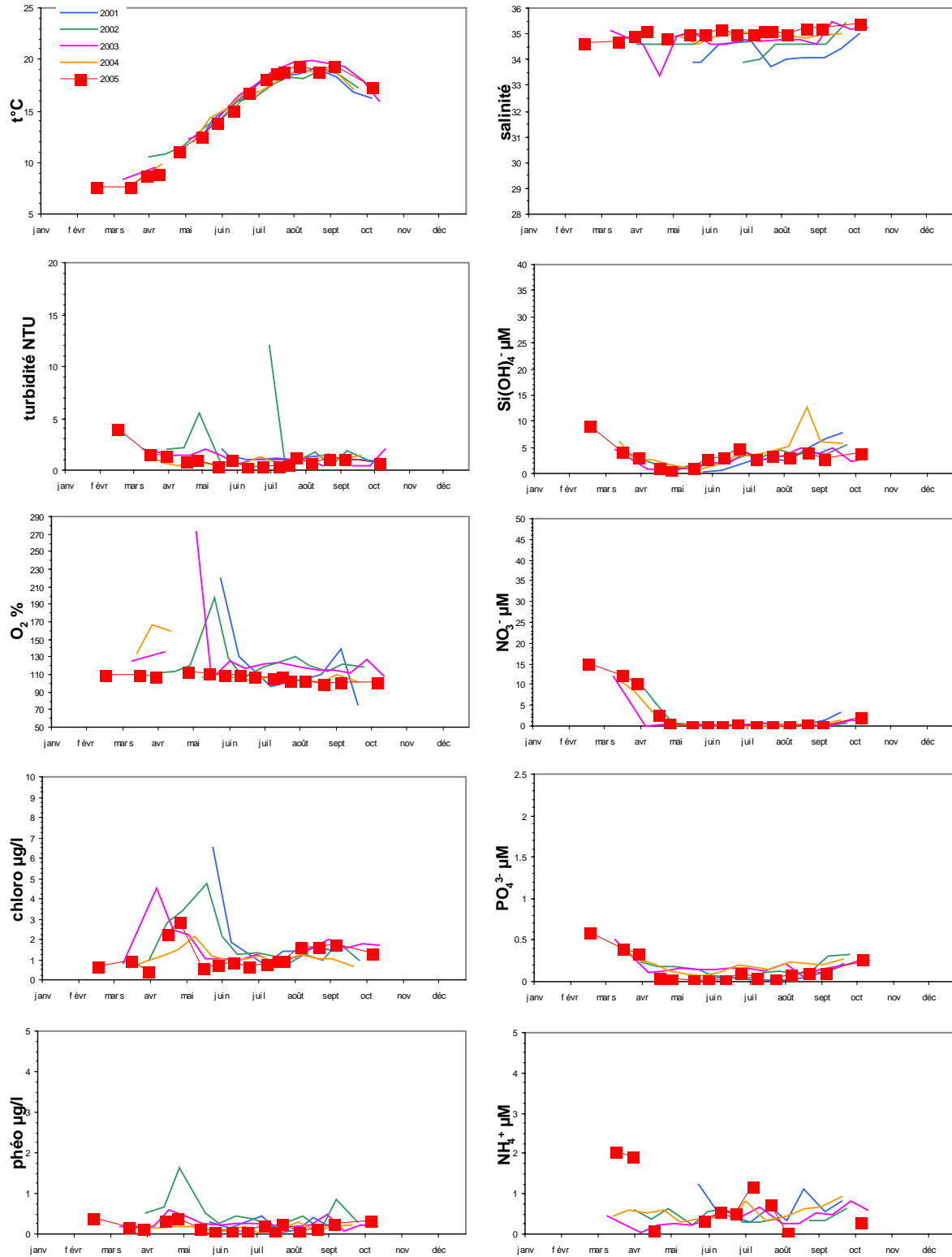


Figure 10 : Evolution des paramètres hydrologiques à Chausey entre 2001 et 2005.

2.4 Masse d'eau HC02 : Hacqueville

Les données hydrologiques acquises à Hacqueville en 2004 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 11a et 11b.

Par rapport aux points de Cancale et de Chausey, Hacqueville a pour caractéristique d'être sous l'influence directe de petits cours d'eau et de rejets urbains côtiers (Granville).

Les dessalures y restent cependant minimales (de l'ordre de 3 à 4 pour mille au maximum sur les deux 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 sur les 2 fin d'hiver suivies) que sur Cancale ou Chausey.

Les « pics » de chlorophylle a sont cependant peu importants, culminant aux alentours de 5 $\mu\text{g/L}$.

En 2004, à partir de début juin, le sel potentiellement limitant a été l'azote, et ce, jusqu'à la fin des suivis en octobre.

En 2005, la courbe N/P connaît des variations beaucoup plus marquées, et l'azote ne devient potentiellement limitant qu'à partir du mois d'août. Avant, des phases de limitation potentielle par l'azote alternent avec des phases de limitation potentielle par le phosphore. De la mi mai à octobre, l'azote se trouve principalement sous forme d'ammonium (surtout en 2005) qui provient essentiellement de la dégradation de la matière organique et de l'excrétion des niveaux trophiques supérieurs (pas de dessalure durant l'été 2005).

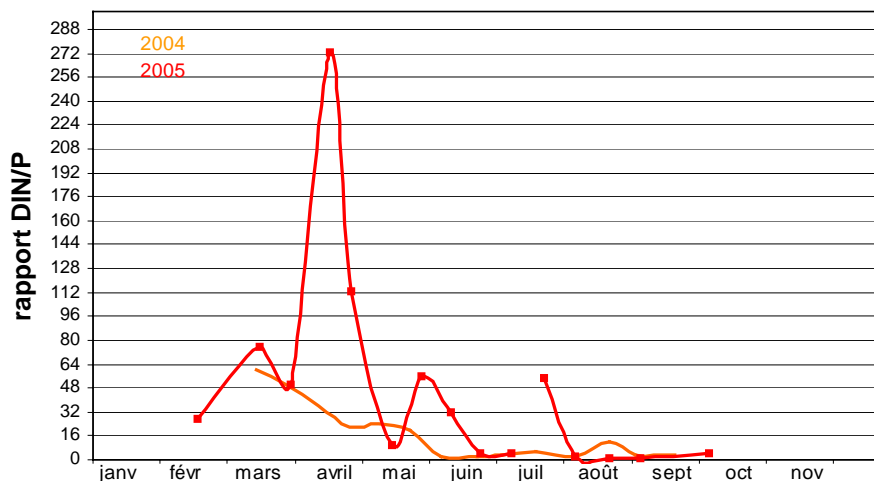


Figure 11a : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de Hacqueville (masse d'eau HC02).

La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

NB : Une autre caractéristique de cette masse d'eau est qu'elle est depuis quelques années (2000) le siège de développements d'algues vertes, parfois importants, et obligeant à des ramassages durant les périodes estivales et automnales. Des suivis de ce phénomène de marée verte devraient être réalisés dans le cadre du réseau REBENT DCE MANCHE (suivi du benthos), également mis en place dans le cadre de la DCE.

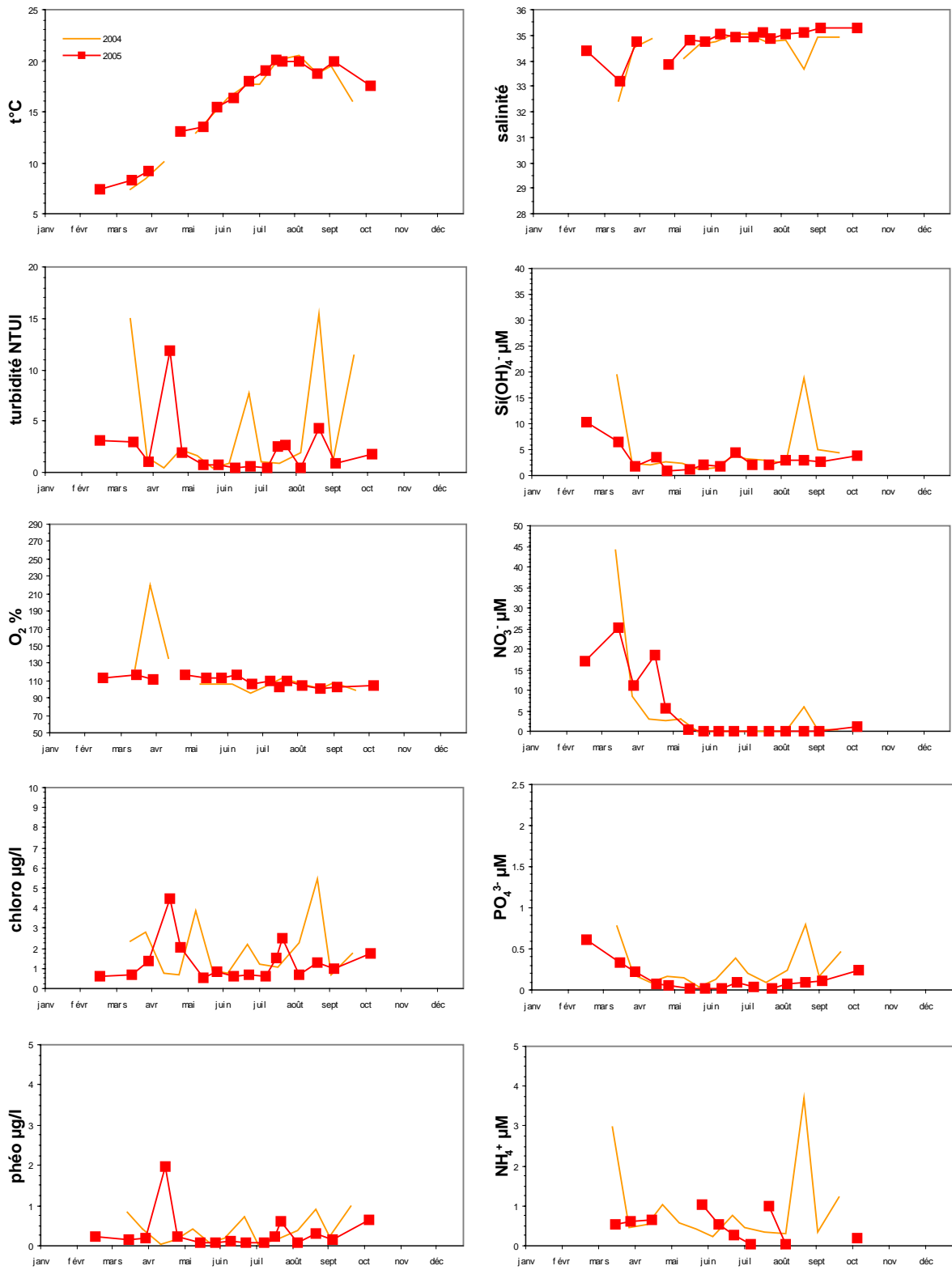


Figure 11b : Evolution des paramètres hydrologiques à Hacqueville en 2004 et 2005.

2.5 Masse d'eau HC03 : Donville, Agon, Pirou

Les données hydrologiques mesurées en surface à Granville (2001) et à Donville (2002-2005) sont rassemblées sur les Figures 12a et 12b, et les distributions des salinités et biomasses chlorophylliennes sur Donville, Agon et Pirou sont données (« boîtes à moustaches ») par la Figure 13.

Seul Donville fait l'objet d'un suivi sur tous les paramètres depuis 2001 (Figures 12a et 12b). C'est un point qui ne connaît pas, ou peu, de dessalure marquée, et pour ainsi dire pas de pic de turbidité (excepté en janvier 2001).

La biomasse y atteint 5 µg/L au maximum, avec une moyenne durant la période productive de l'ordre de 1.5 µg/L.

2005 y est d'ailleurs caractérisée par la faiblesse des pics de biomasse par rapport aux 4 autres années du suivi.

Le nutriment potentiellement limitant y est l'azote à partir de la mi juin, mais avec d'importantes disparités selon les années. Ainsi, en 2001, année « pluvieuse », le rapport azote inorganique dissous sur phosphore (DIN/P) n'est pour ainsi dire jamais passé sous la valeur seuil de 16. C'est donc le phosphate qui a joué cette année là le rôle de nutriment potentiellement limitant. En avril/mai 2005, il faut également noter les teneurs extrêmement réduites en phosphate, plus réduites que lors des années précédentes, et le rôle potentiellement limitant à nouveau joué par ce nutriment.

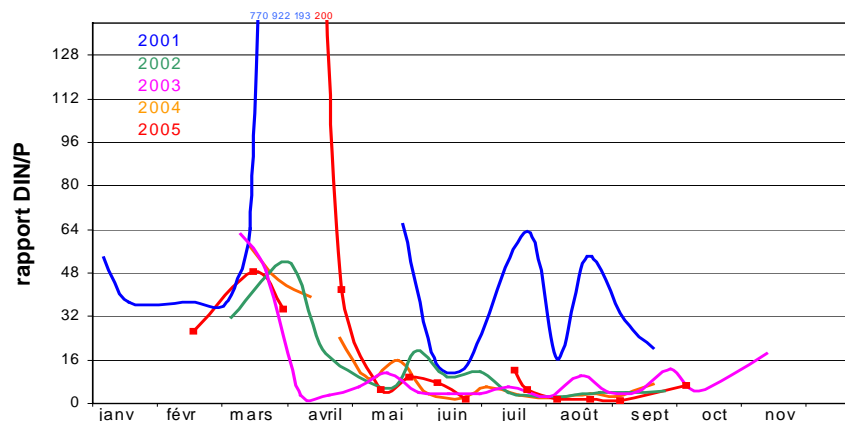


Figure 12a : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore depuis 2001 au point de suivi de Donville (masse d'eau HC03). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

2005 est aussi une année où l'on n'a pas enregistré de sursaturation en oxygène importante, à rapprocher de la faiblesse constatée au niveau de la biomasse chlorophyllienne.

Si l'on compare les distributions de salinité et de biomasse chlorophyllienne sur les 3 points de la masse d'eau (Figure 13), on constate l'extrême faiblesse des dessalures sur Agon et Pirou (plus faibles encore que sur Donville), et les très faibles niveaux de biomasse phytoplanctonique : les valeurs extrêmes après 5 années de suivi dépassent à peine les 5 µg/L de chlorophylle a et les valeurs moyennes enregistrées au cours des périodes productives sont également de l'ordre de 1.5 µg/L (voire de 1µg/L en 2005), sans doute à rapprocher des très faibles valeurs en ammonium qui sont restées inférieures à 1µM en 2005).

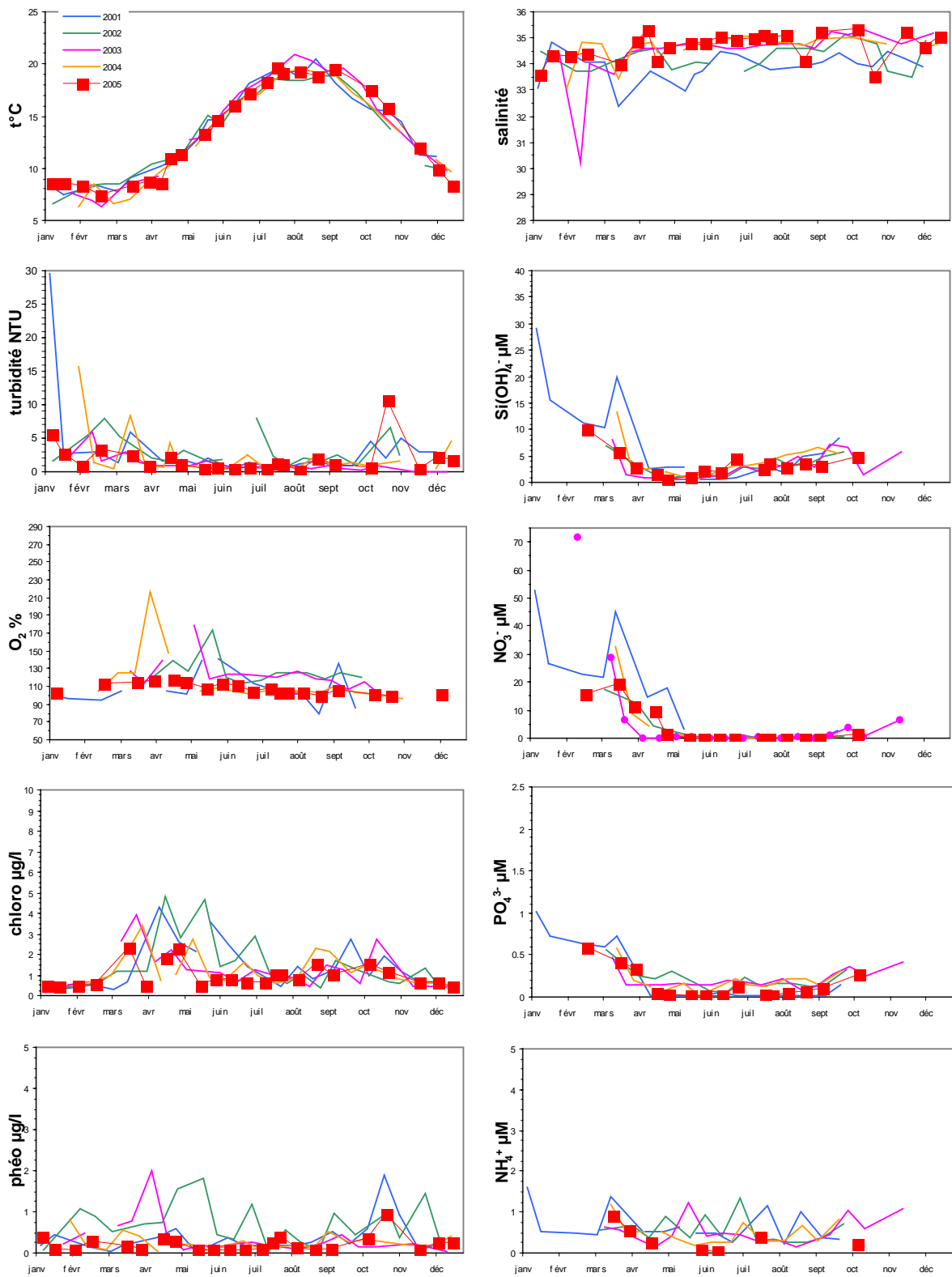


Figure 12b : Evolution des paramètres hydrologiques à Donville/Granville entre 2001 et 2005.

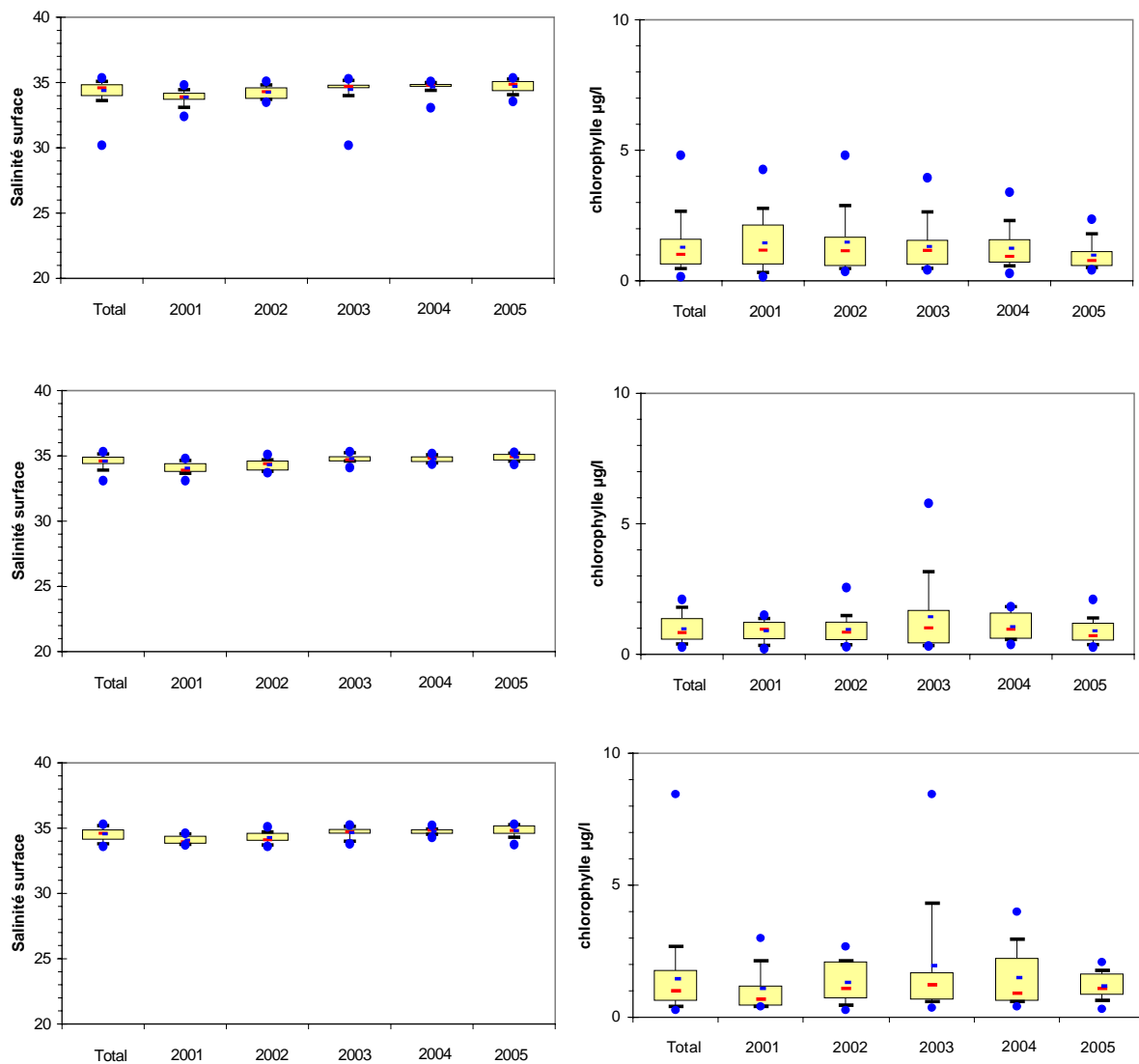


Figure 13 : Distributions des salinités et des biomasses chlorophylliennes enregistrées en surface depuis 2001 sur les 3 points de suivi de la masse d'eau HC03 : Donville (en haut), Agon (au milieu) et Pirou (en bas).

la boîte englobe 50 % des valeurs (□) et les moustaches 80 % des valeurs (┘).

Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (•). Le trait rouge représente la médiane (-) et le trait bleu (-) la moyenne.

2.6 Masse d'eau HC04 : Flamanville

Les données hydrologiques acquises à Flamanville entre 1987 et 2005 sont rassemblées sur la Figure 14. Il s'agit de données acquises dans le cadre du programme IGA et exploitées dans le cadre du RHLN avec l'accord d'EDF. Le point de prélèvement est le point dit de « référence » de Flamanville, c'est à dire situé hors de l'influence de la centrale nucléaire.

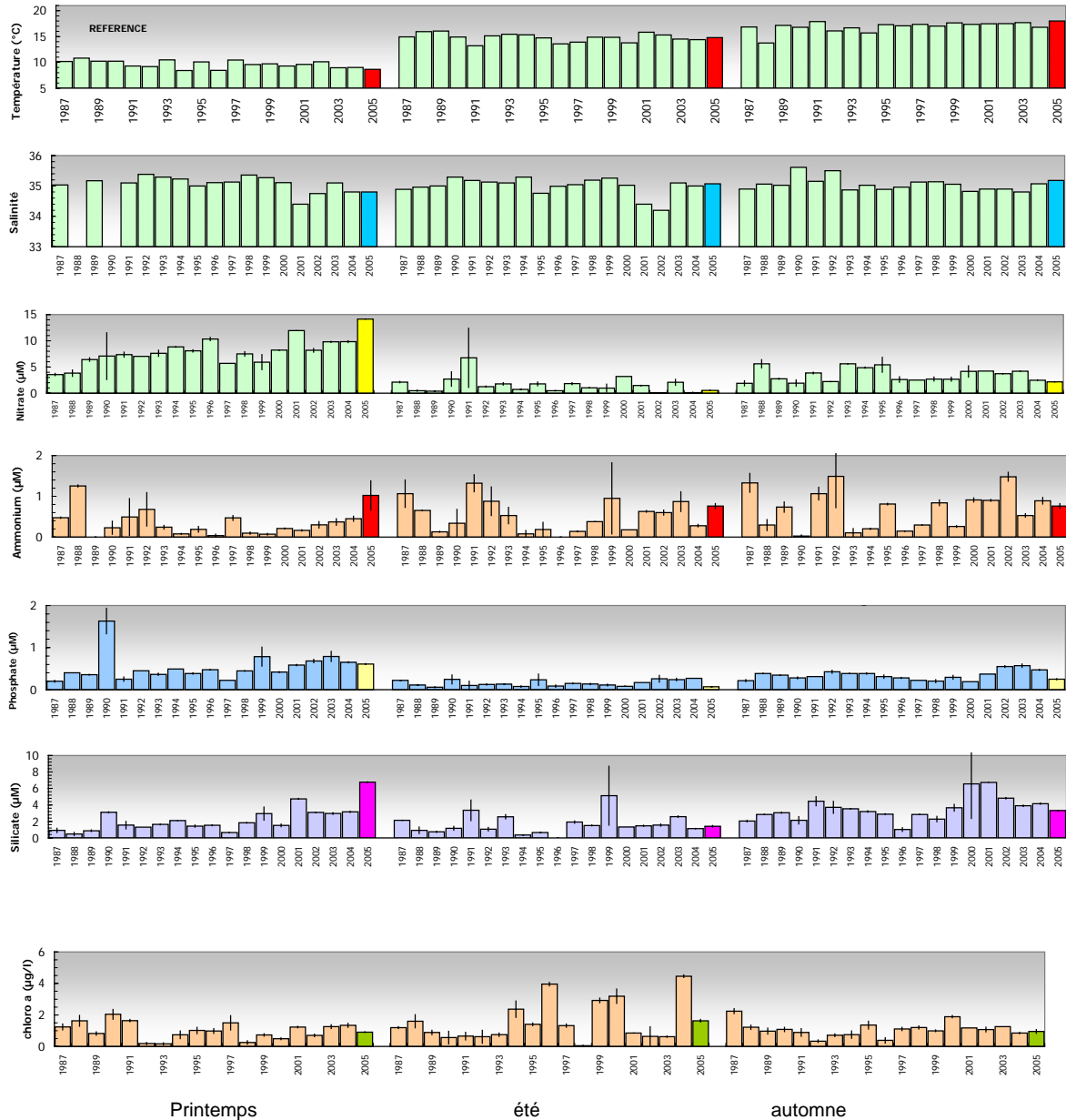


Figure 14 : Evolution des paramètres hydrologiques à la station « référence » de Flamanville entre 1987 et 2005 (données EDF).

La réalisation de trois campagnes annuelles de prélèvement est suffisante pour appréhender l'éventuelle évolution à long terme d'une masse d'eau, mais pas pour décrire dans le détail les cycles biogéochimiques qui s'y déroulent, et notamment leurs variations fines inter annuelles.

A partir des résultats de surveillance du site de Flamanville depuis 1987 nous pouvons cependant mettre en évidence un cycle saisonnier classique :

- concentrations maximales de sels nutritifs et concentration minimale de chlorophylle a en hiver,

- consommation des sels nutritifs et augmentation de la concentration de chlorophylle a au printemps,
- processus de régénération en automne.

Les biomasses chlorophylliennes correspondent à celles décrites en Atlantique Nord Est (0.5 à 5 µg/L) par Lampert (2001), ainsi qu'à celles rencontrées sur les masses d'eau de la côte ouest Cotentin.

Par ailleurs, les dénombrements micro-phytoplanctoniques confirment le remplacement d'une population peu développée et dominée par *Thalassiosira spp.* en période hivernale par une population légèrement plus diversifiée et dominée par *Rhizosolenia spp.* en été.

Les résultats obtenus en 2005 sont conformes au schéma observé depuis 1987.

2.7 Masses d'eaux HC05 (Gruchy), HC6M (Cherbourg Port), HC06 (Cherbourg Large), et HC07 (Cap Lévy -ou Lévi-)

Les données hydrologiques acquises le long de la côte nord Cotentin, à Gruchy, Cherbourg Port, Cherbourg Large, et au Cap Lévy en 2004 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 15 à 19.

Ces quatre masses d'eaux présentent un cycle biogéochimique tout à fait comparable, tant dans l'ampleur des phénomènes qui s'y déroulent que dans leur synchronisation.

Le début de bloom est observé aux alentours de la mi avril tant en 2004 qu'en 2005 ($2 \mu\text{g/L}$ de chlorophylle a). Il épuise pratiquement le milieu en silicate. Le bloom s'amplifie au cours du mois de mai pour atteindre un pic de chlorophylle a d'environ $10 \mu\text{g/L}$ en 2004, et seulement $2 \mu\text{g/L}$ en 2005, avec une réplique du même ordre de grandeur mi juin 2005. Ce premier (ou ces deux premiers) bloom(s) épuise(nt) le milieu en phosphate et en nitrate. En 2004, c'est l'azote qui a principalement été l'élément potentiellement limitant sur la côte nord Cotentin. En 2005, c'est plutôt le phosphore qui a contribué à cette limitation, les teneurs en ammonium restant comprises entre 1 et $3 \mu\text{M}$, et trouvant très vraisemblablement leur origine dans la régénération bactérienne et/ou l'excrétion des niveaux trophiques supérieurs (au moins sur les points Gruchy et Cap Lévy)

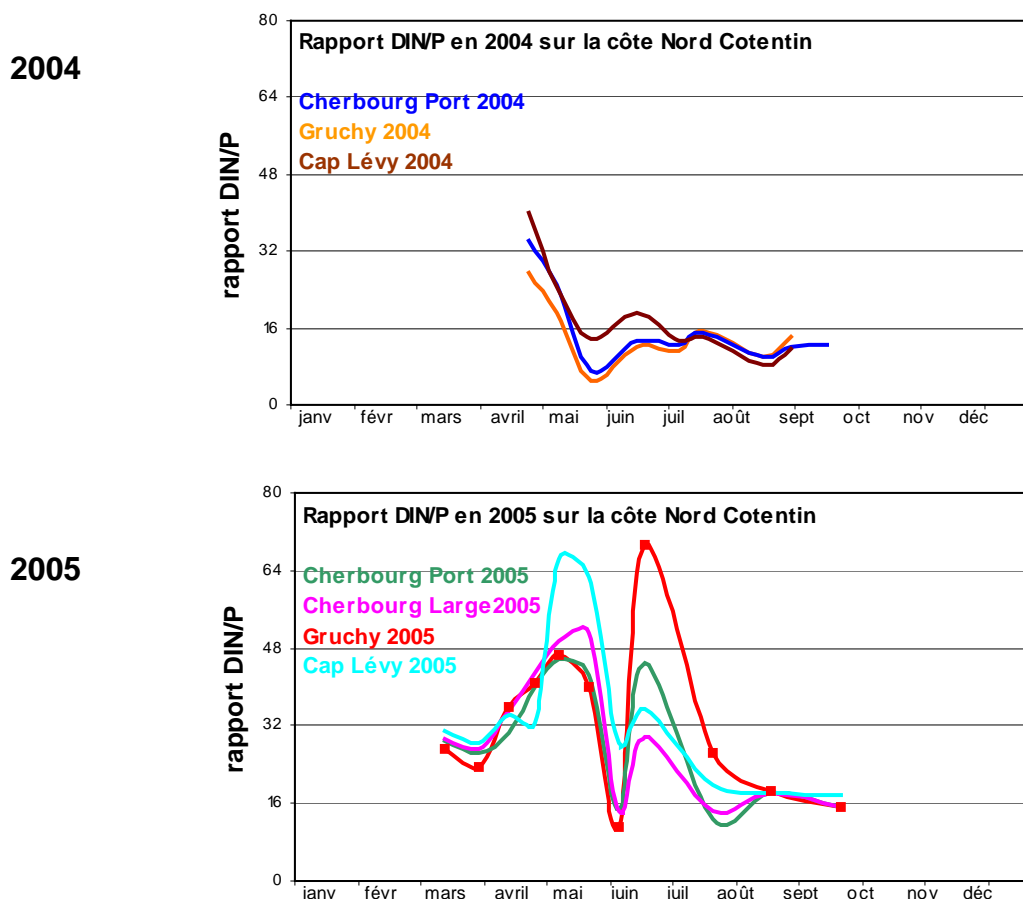


Figure 15 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur les 4 points de suivi RHLN de la côte nord Cotentin (masses d'eau HC05, HC06, HC07 et HC6M). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Les concentrations en chlorophylle a restent en effet faibles ($1 \mu\text{M}$) à partir de juillet, et ne connaissent pas de nouvelle augmentation à l'automne bien que la régénération de la silice biogénique et du nitrate soient significatives à partir de début juillet.

Il faut en outre noter que les images satellites disponibles depuis 1999 ne permettent pas de mettre en évidence de bloom significatif avant la mi-avril. La côte nord Cotentin serait donc le secteur où la période productive se déclencherait le plus tardivement de tout le littoral normand.

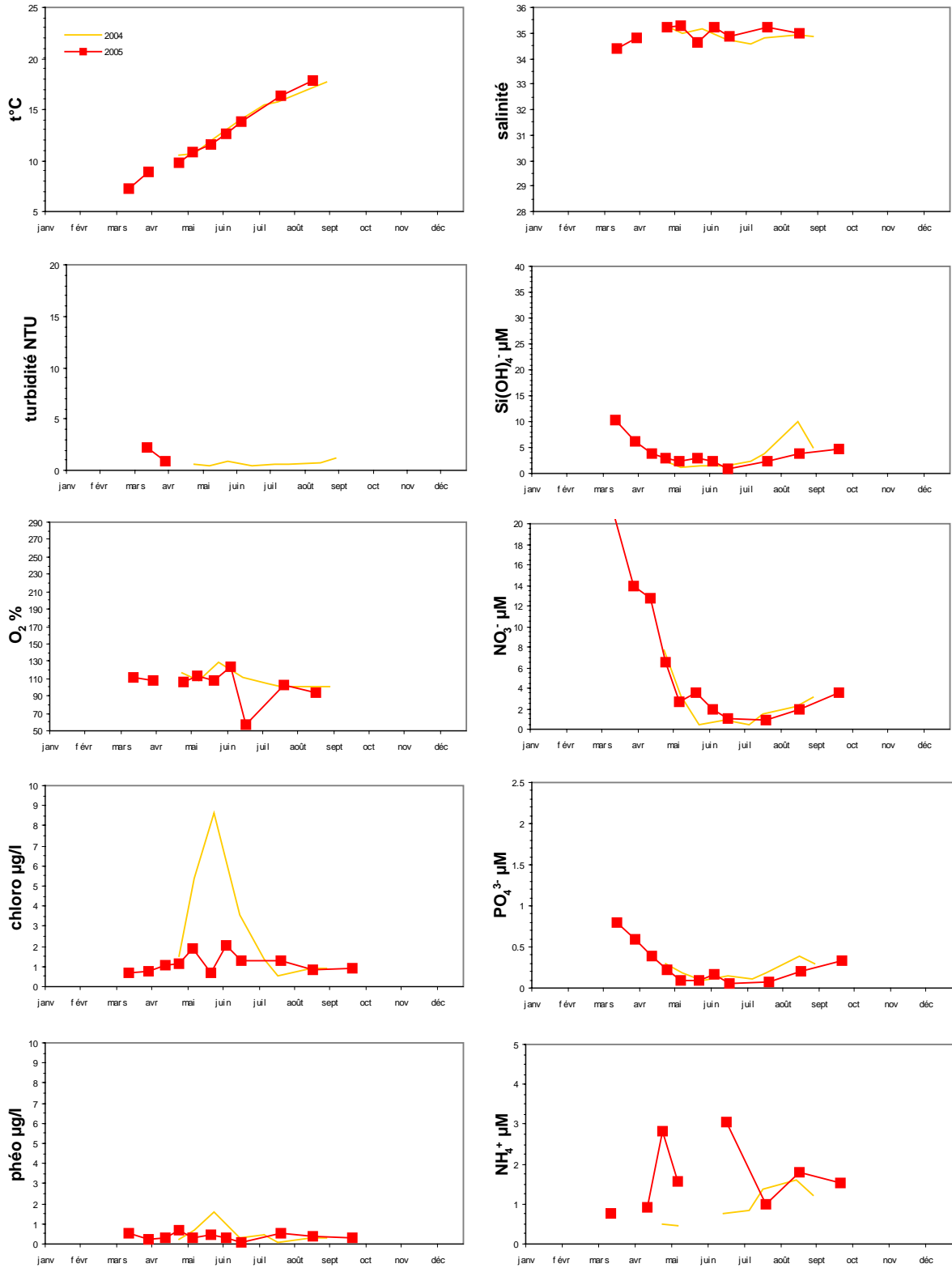


Figure 16 : Evolution des paramètres hydrologiques à Gruchy en 2004 et 2005.

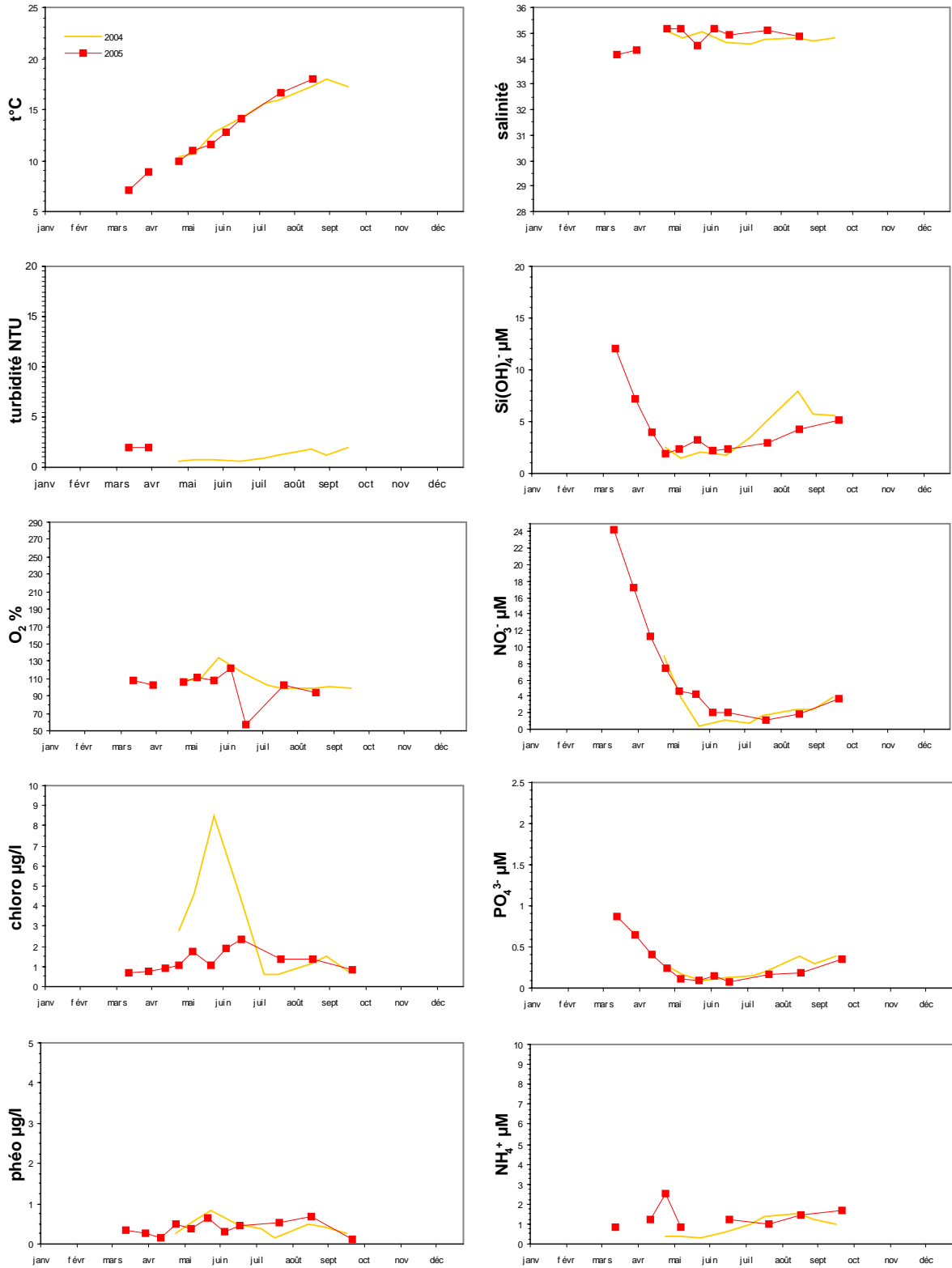


Figure 17 : Evolution des paramètres hydrologiques à Cherbourg Port (masse d'eau HC6M) en 2005.

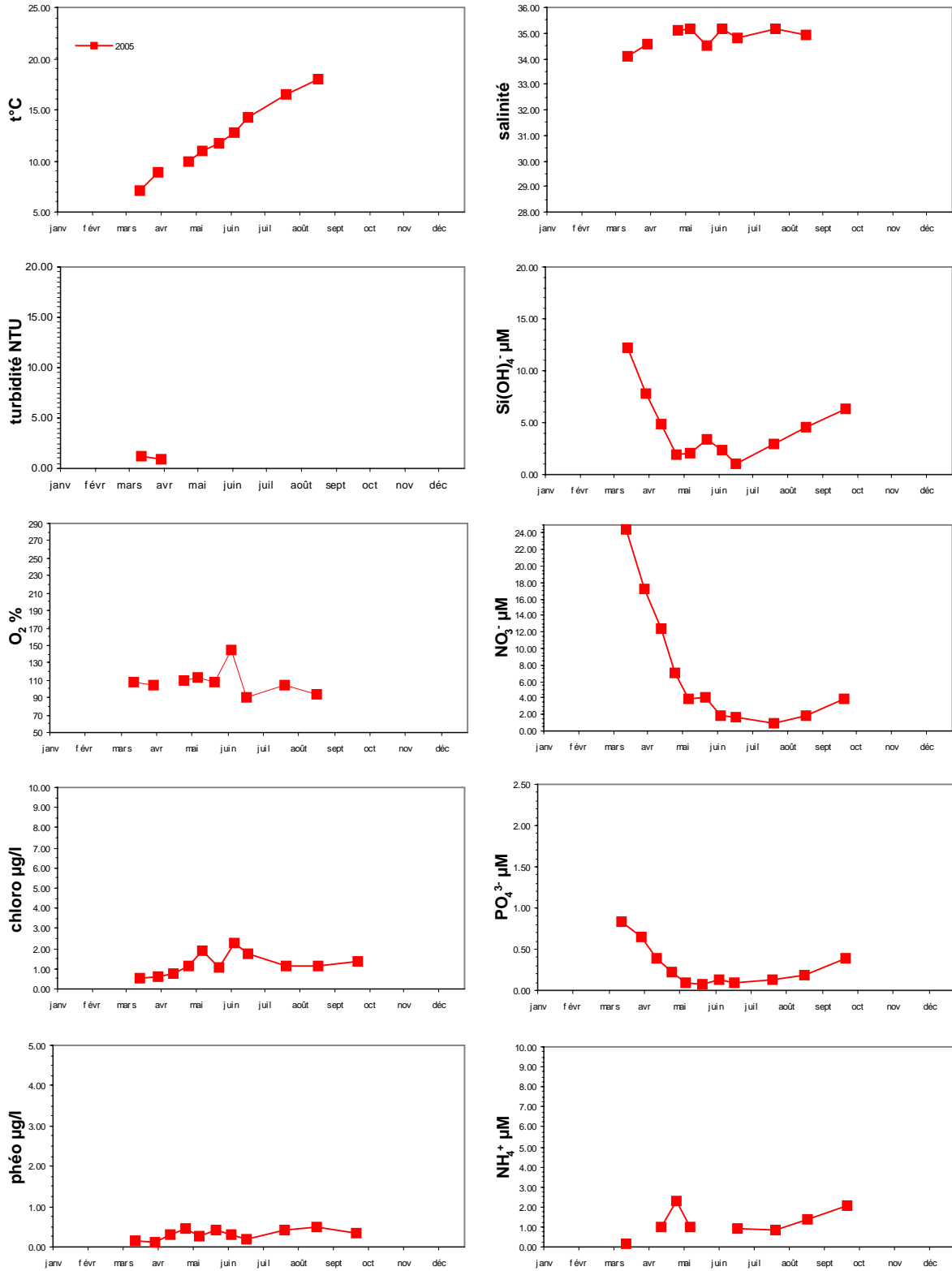


Figure 18 : Evolution des paramètres hydrologiques au point Cherbourg Large (masse d'eau HC06) en 2005.

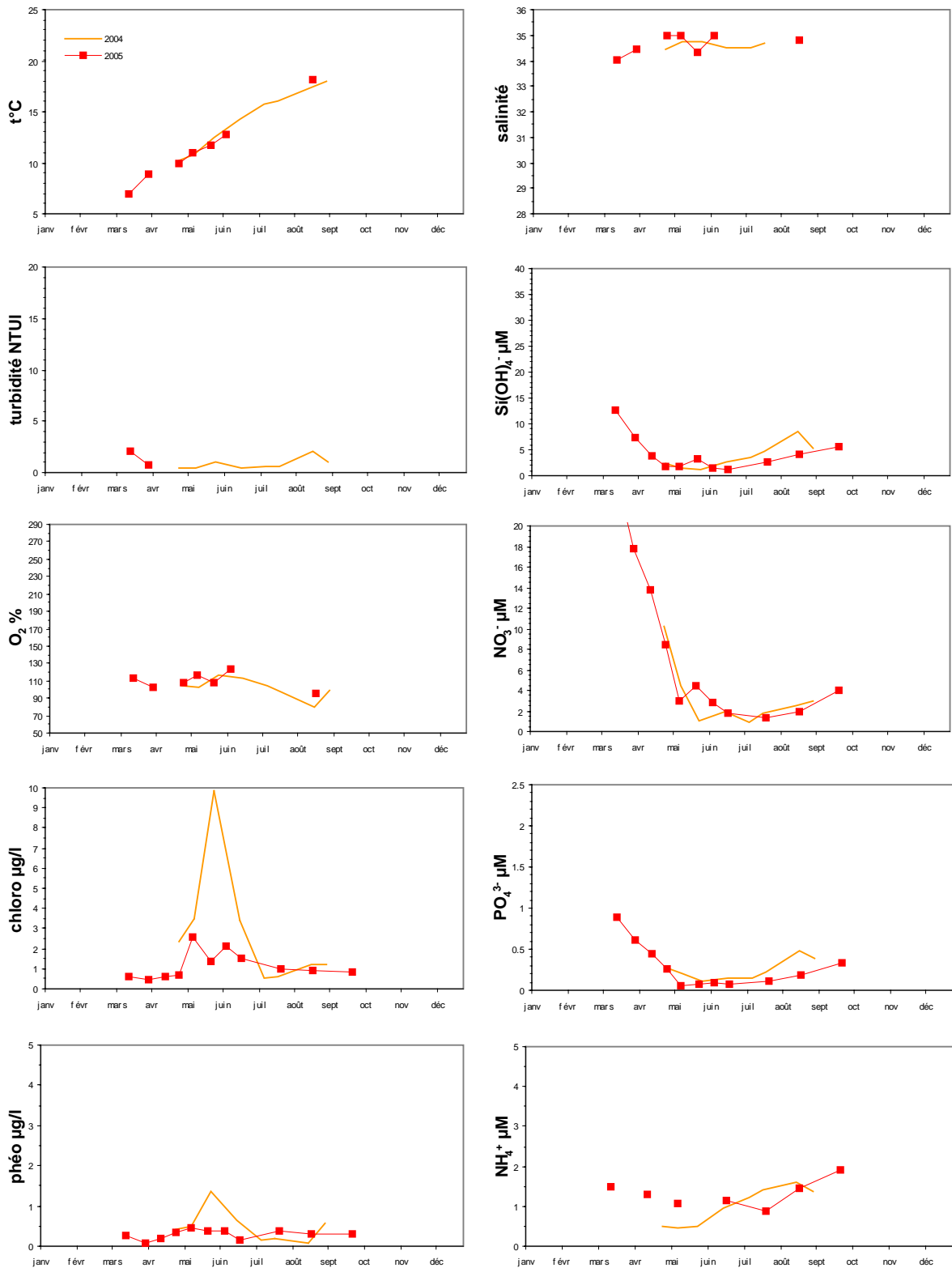


Figure 19 : Evolution des paramètres hydrologiques au point Cap Lévy (masse d'eau HC07) en 2004 et 2005.

2.8 Masse d'eau HC08 : Réville

Les données hydrologiques acquises à Réville en 2004 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 20a et 20b.

Les cycles hydrobiologiques à Réville en 2004 et 2005 sont tout à fait comparables, et ce pour l'ensemble des paramètres. Les principales caractéristiques de cette masse d'eau HC08 peuvent être schématisées comme suit :

- masse d'eau très peu soumise à des apports terrigènes directs : salinité présentant une variabilité très faible au cours de l'année,
- faible turbidité n'ayant jamais excédé 7 NTUI sur les 2 années de suivi,
- maximum de chlorophylle a de l'ordre de 10µg/L (mai 2005 ; *Chaetoceros sp.*, *Thalassiosira sp* et *Asterionella glacialis*)
- début de la régénération de la silice dès la fin juin

Une différence minime apparaît cependant entre 2004 et 2005 en ce qui concerne le nutriment potentiellement limitant : il s'est agit de l'azote en 2004 à partir de la mi juin (rapport DIN/P inférieur à 16), alors que cela n'a été véritablement le cas qu'à partir d'août en 2005 (Figure 20a), hormis un très bref épisode début mai.

On peut aussi remarquer que l'azote atteint des niveaux beaucoup plus bas à partir de juin sur ce point que sur les points de suivi des masses d'eau de la côte nord Cotentin traités précédemment. Il en est de même en ce qui concerne l'ammonium qui ne semble connaître de régénération (perceptible) qu'à partir de la mi-août.

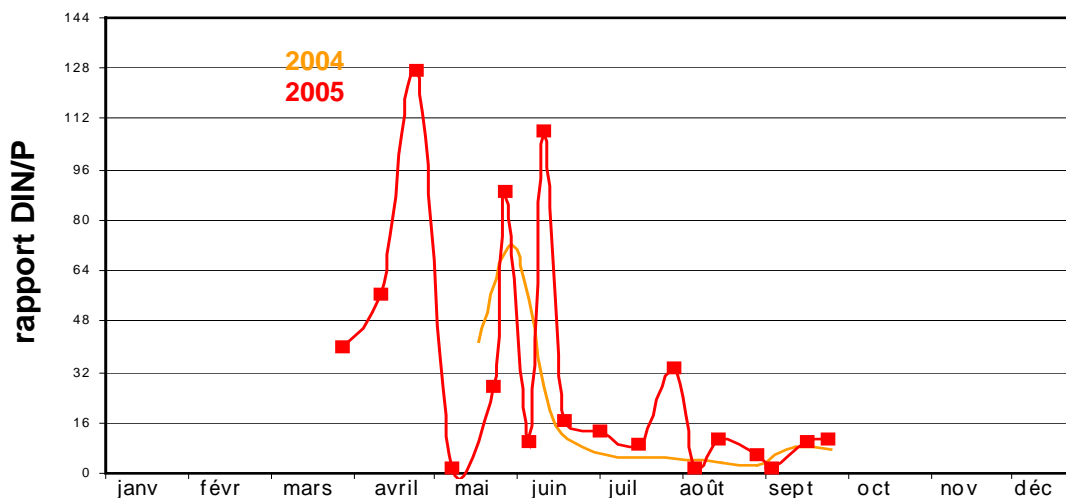


Figure 20a : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de Réville (masse d'eau HC08). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Il faut enfin noter que cette masse d'eau, brassée par le tourbillon de Barfleur, est le siège de très forts courants, et qu'elle ne connaît donc pas de stratification, ni de sursaturation marquée en oxygène, même durant les blooms phytoplanctoniques (au maximum 139% de saturation sur les 2 années de suivi).

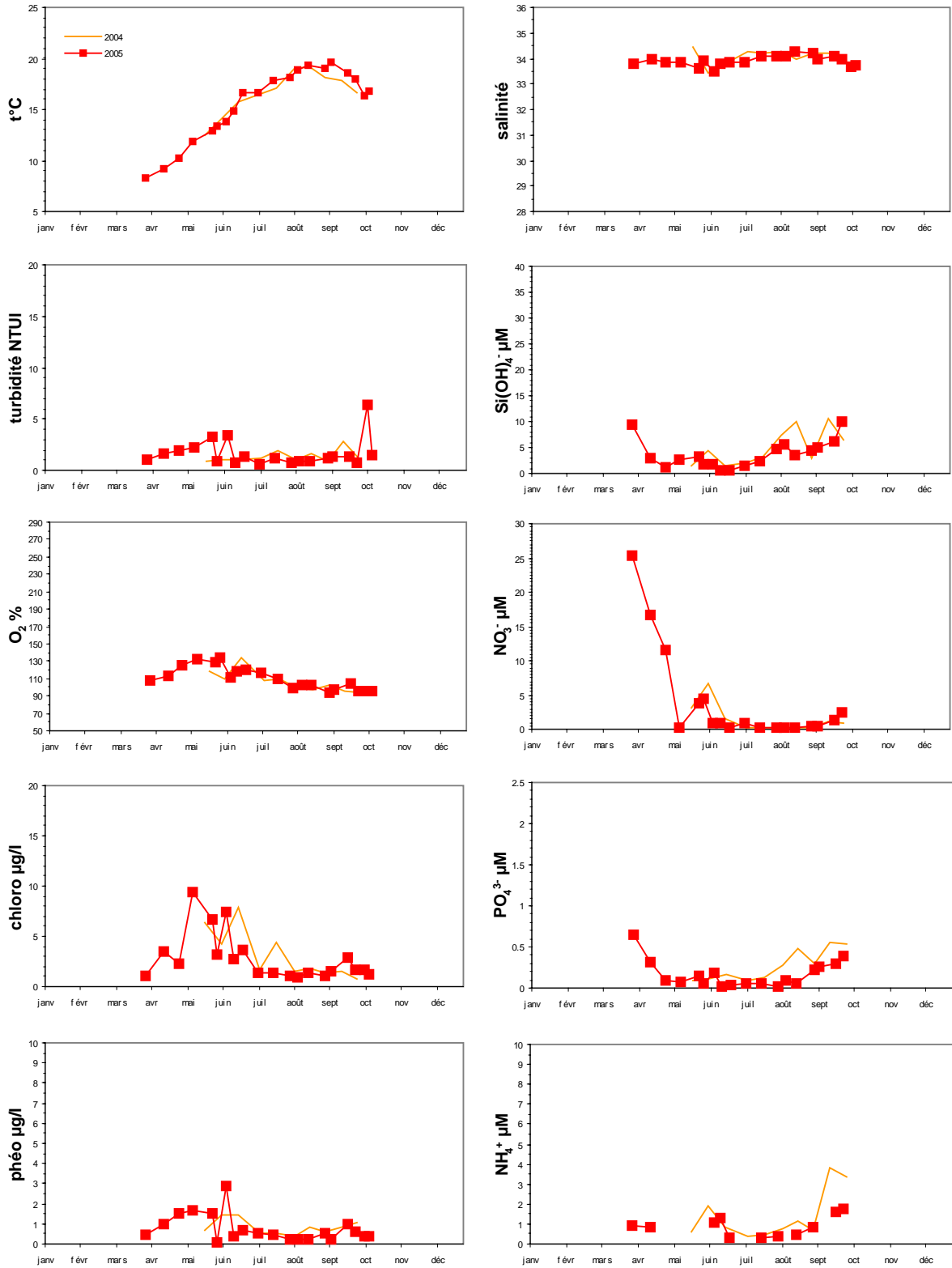


Figure 20b : Evolution des paramètres hydrologiques à Réville en 2004 et 2005.

2.9 Masse d'eau HC09 : St Vaast

Les données hydrologiques acquises à St Vaast entre 2003 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 21, 22 et 23.

Plusieurs petits fleuves côtiers se jettent dans cette masse d'eau (la Saire, la Bonde, le Vaupreux, la Sinope, le Godey...), d'où les dessalures constatées, notamment en 2003 (Figure 22).

Cette masse d'eau est également caractérisée par l'existence de secteurs calmes d'un point de vue hydrodynamique, c'est-à-dire propices à l'ensablement, voire l'envasement comme dans le fond de l'anse du cul de loup, d'où, également, les pics de turbidité enregistrés (jusqu'à 20 NTU).

Les apports terrigènes, qui permettent pour certains des recharges du milieu en sels nutritifs, sont à l'origine de la succession de plusieurs blooms chaque année entre les mois de mars et de juillet.

Ainsi, en 2005, quatre blooms ayant généré des biomasses chlorophylliennes supérieures à $5\mu\text{g/L}$ ont été enregistrés mi mai, fin mai, mi juin puis début septembre. Ils étaient respectivement dominés par *Phaeocystis sp.* (2 millions de cell/L), *Pseudo-nitzschia sp.* (dont une forte proportion de *Pseudo-nitzschia delicatissima*; 1.5 millions de cell/L), à nouveau *Pseudo-nitzschia sp.* (750 000 cell/L) et enfin *Chaetoceros sp.* et *Pseudo-nitzschia sp.* (1 million et 660 000 cell/L).

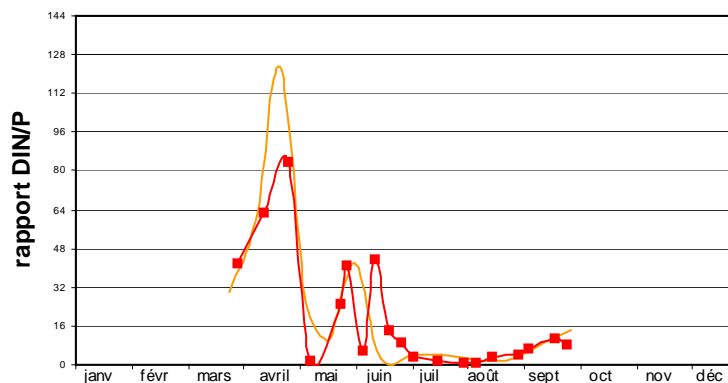


Figure 21: évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de St Vaast la Hougue (masse d'eau HC09). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Les pics de chlorophylle a ont atteint jusqu'à $11\mu\text{g/L}$ (en 2004, maximum de $8\mu\text{g/L}$ en 2005), mais ne génèrent pas d'anoxie, ni même d'hypoxie marquée : sur les 3 années de suivi, la teneur maximale en oxygène enregistrée au fond était de 12.24 mg/L , et la teneur minimale de 5.85 mg/L , avec des percentiles 10 et 90 atteignant respectivement 7.12 et 11.25 mg/L (Figure 23), ce qui classe cette masse d'eau en « très bon état » du point de vue de l'indicateur DCE Oxygène Dissous.

D'après l'évolution du rapport DIN/P, l'azote est suspecté d'être le nutriment limitant la croissance du phytoplancton au sein de cette masse d'eau, tant en 2004 qu'en 2005, notamment durant toute la période estivale (dès la mi juin en 2004, et à partir de la fin juin en 2005 : rapport DIN/P inférieur à 16 ; Figure 21).

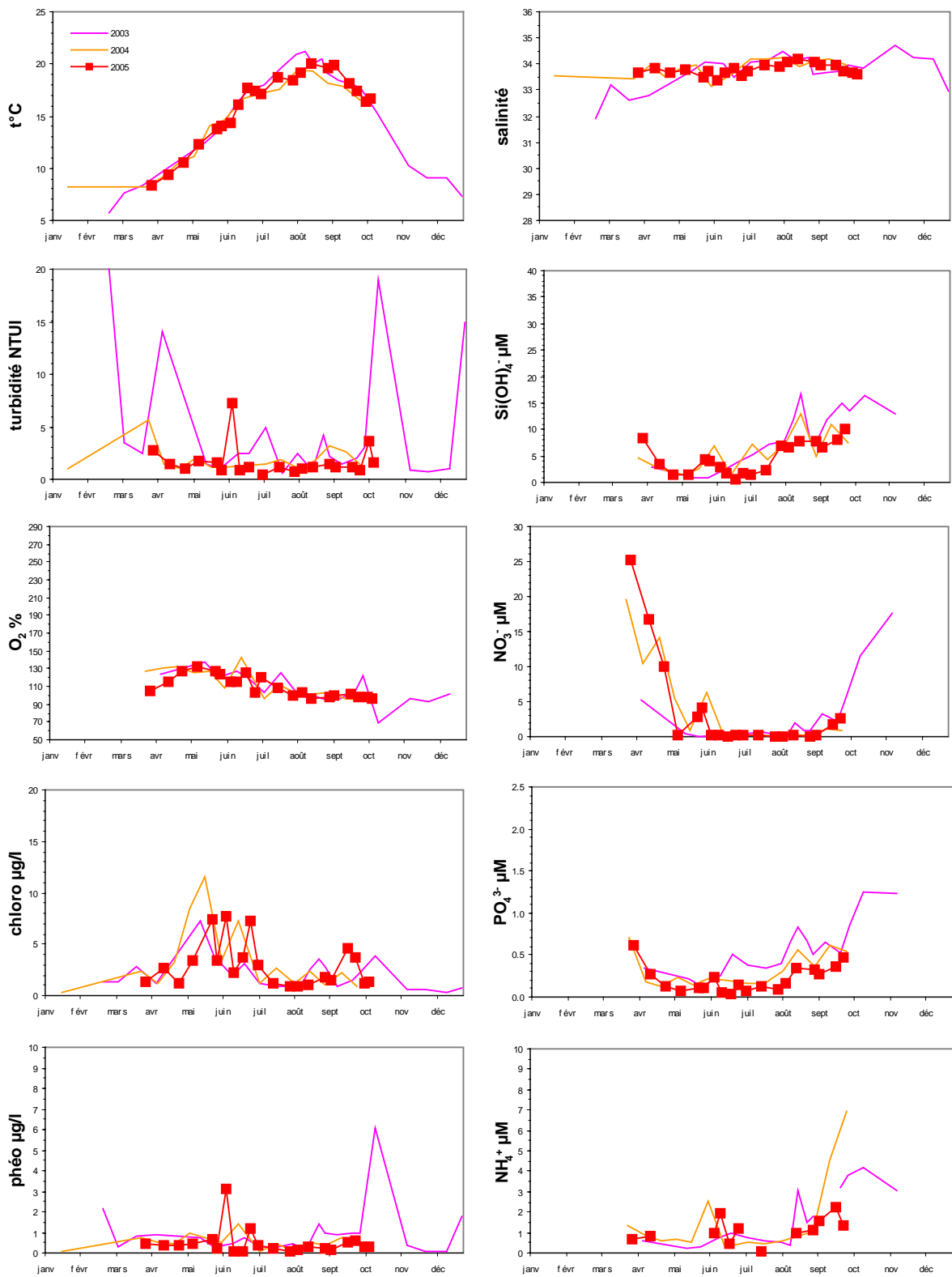


Figure 22 : Evolution des paramètres hydrologiques à St Vaast en 2003, 2004 et 2005.

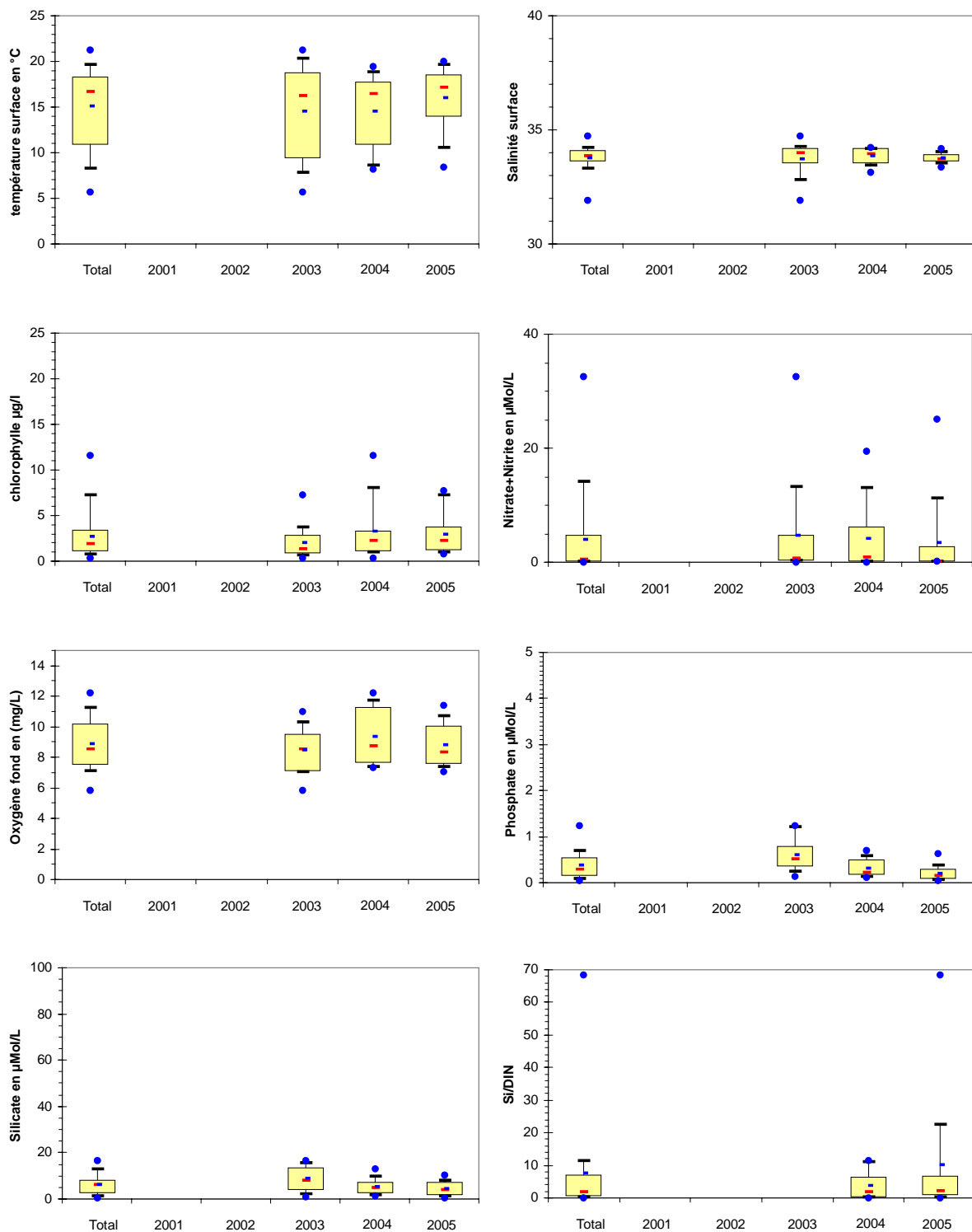


Figure 23 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à St Vaast la Hougue en 2003, 2004 et 2005.
 la boîte englobe 50 % des valeurs (□) et les moustaches 80 % des valeurs (┆).
 Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le trait rouge (-) représente la médiane (-) et le trait bleu (-) la moyenne.

2.10 Masse d'eau HC10 : St Germain de Varreville et Grandcamp.

Les données hydrologiques acquises à St Germain de Varreville et à Grandcamp entre 2001 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 24 à 27.

Le point de St Germain de Varreville, situé dans la partie nord de la masse d'eau HC10, est beaucoup moins sous l'influence des 4 fleuves se jetant en baie de Veys que le point de Grandcamp. Les dessalures y sont donc moins marquées, et, du fait de la moindre recharge des eaux en sels nutritifs au long de la période productive, la biomasse chlorophyllienne n'y est pas aussi importante : valeur maximale enregistrée sur les 5 années du suivi de 12.9 µg/L contre 25.6 µg/L, percentiles 90 globaux sur la période de 5.3 µg/L contre 8.6 µg/L, et moyenne globale de 2.8 µg/L contre 3.2 µg/L.

En 2005, les concentrations spécifiques maximales ont été atteintes :

- à St Germain de Varreville par *Phaeocystis* sp. (9 millions de cell/L) le 10 mai, ainsi que par *Pseudo-nitzschia* sp. (542 000 cell/L le 10 mai, un peu plus de 2 millions de cell/L le 16 mai, de l'ordre de 350 000 cell/L le 30 mai, et 1 million de cell/L le 8 juin, 590 000 cell/L le 19 juillet), puis par *Chaetoceros* sp. (374 000 cell/L) le 2 août.
- A Grandcamp par *Phaeocystis* sp. (535 000 cell/L le 10 mai, 2 millions de cell/L le 26 mai), ainsi que par *Pseudo-nitzschia* sp (515 000 cell/L le 10 mai, 240 000 cell/L le 30 mai, et 490 000 cell/L le 8 juin)

Nous ne disposons que de peu de données relatives aux concentrations en sels nutritifs sur St Germain de Varreville, ce qui empêche de comparer les deux points. Sur Grandcamp, ainsi que le montre la Figure 24, c'est l'azote qui est le sel (nutriment) potentiellement limitant durant l'été (rapport DIN/P inférieur à 16, et teneurs très faibles pour les deux sels ; le silicate est présent en quantités plus importantes que le nitrate). Ceci est systématiquement le cas entre la mi juillet et la mi août, et peut, selon les années débuter plus tôt (dès la mi mai 2003, première année sèche après plusieurs années pluvieuses), ou s'achever plus tard (fin septembre en 2003, 2004 et 2005, années sèches par rapport à 2001 et 2002).

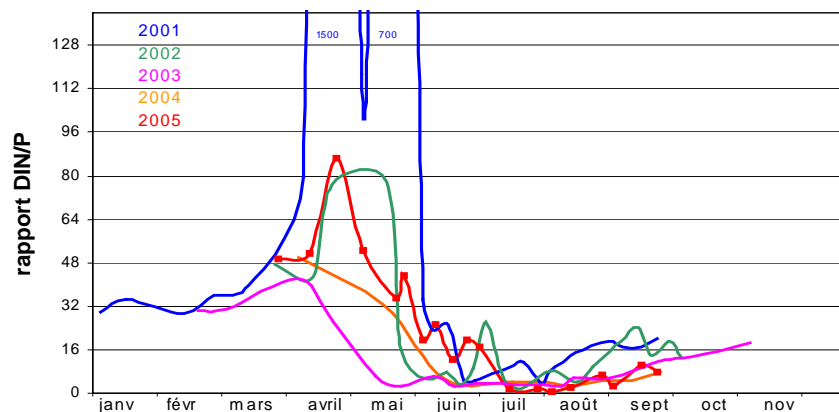


Figure 24 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore de 2001 à 2005 au point de suivi de Grandcamp (masse d'eau HC10). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Les teneurs en ammonium restent peu élevées jusqu'en août, de l'ordre de 1µM. La régénération devient alors perceptible, et des teneurs de 2 à 4 µM sont enregistrées de la fin août jusqu'au mois d'octobre.

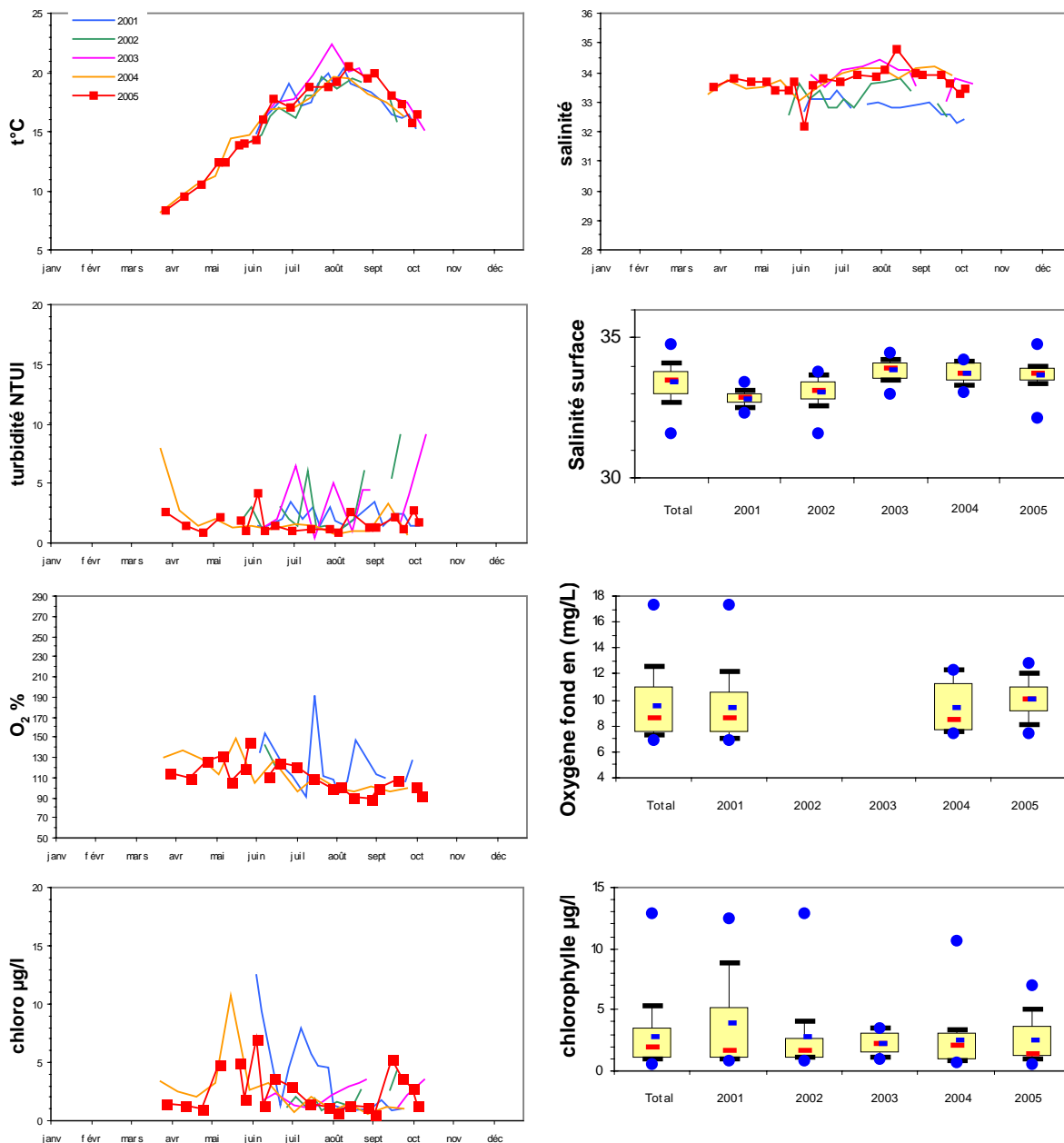


Figure 25 : Evolution des paramètres hydrologiques (et variations de leurs distributions) à St Germain de Varreville entre 2001 et 2005.
 La boîte englobe 50 % des valeurs (□) et les moustaches 80 % des valeurs (⊥). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (•). Le trait rouge représente la valeur médiane (-), et le trait bleu (-) la moyenne.

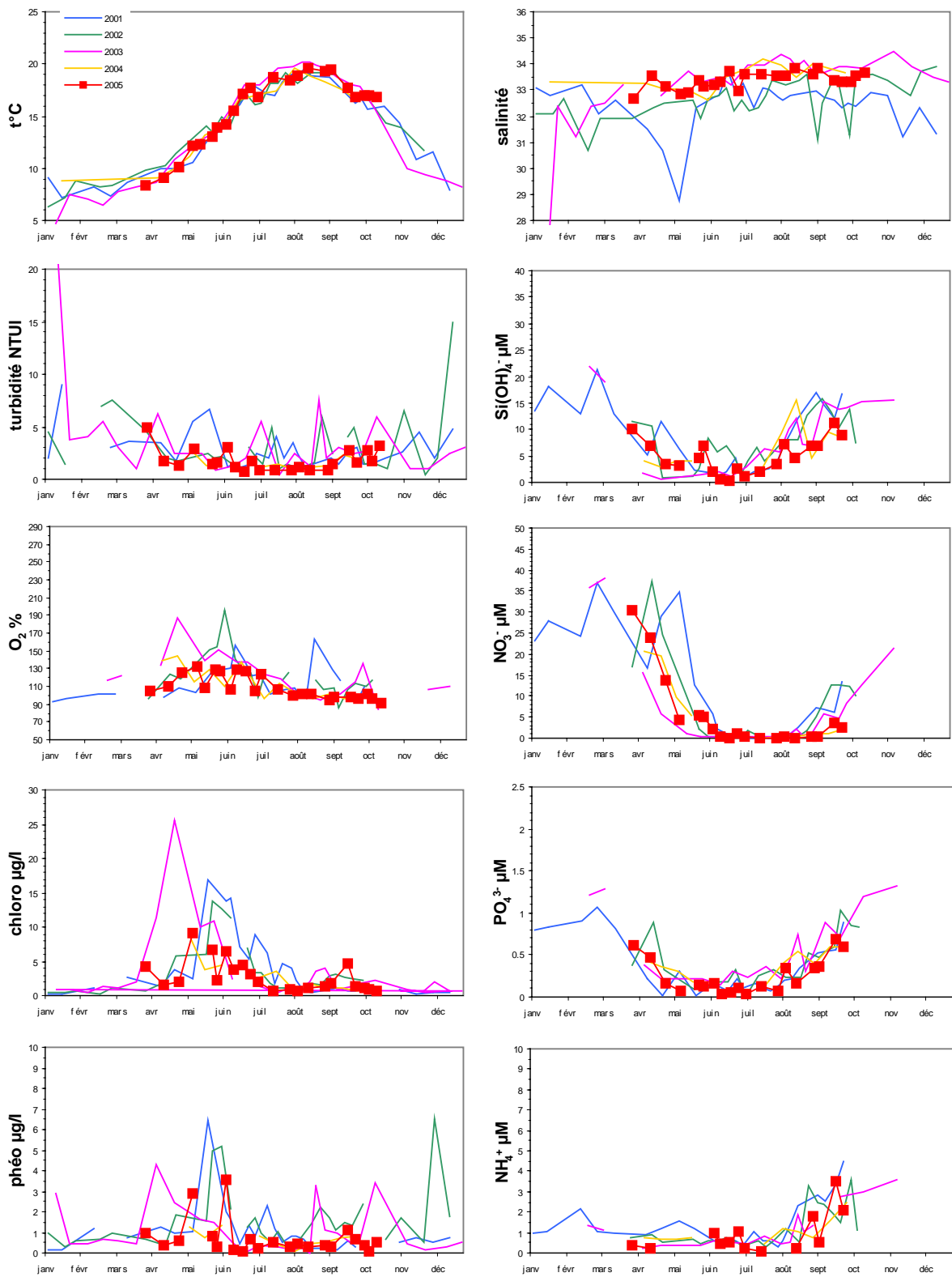


Figure 26 : Evolution des paramètres hydrologiques à Grandcamp entre 2001 et 2005.

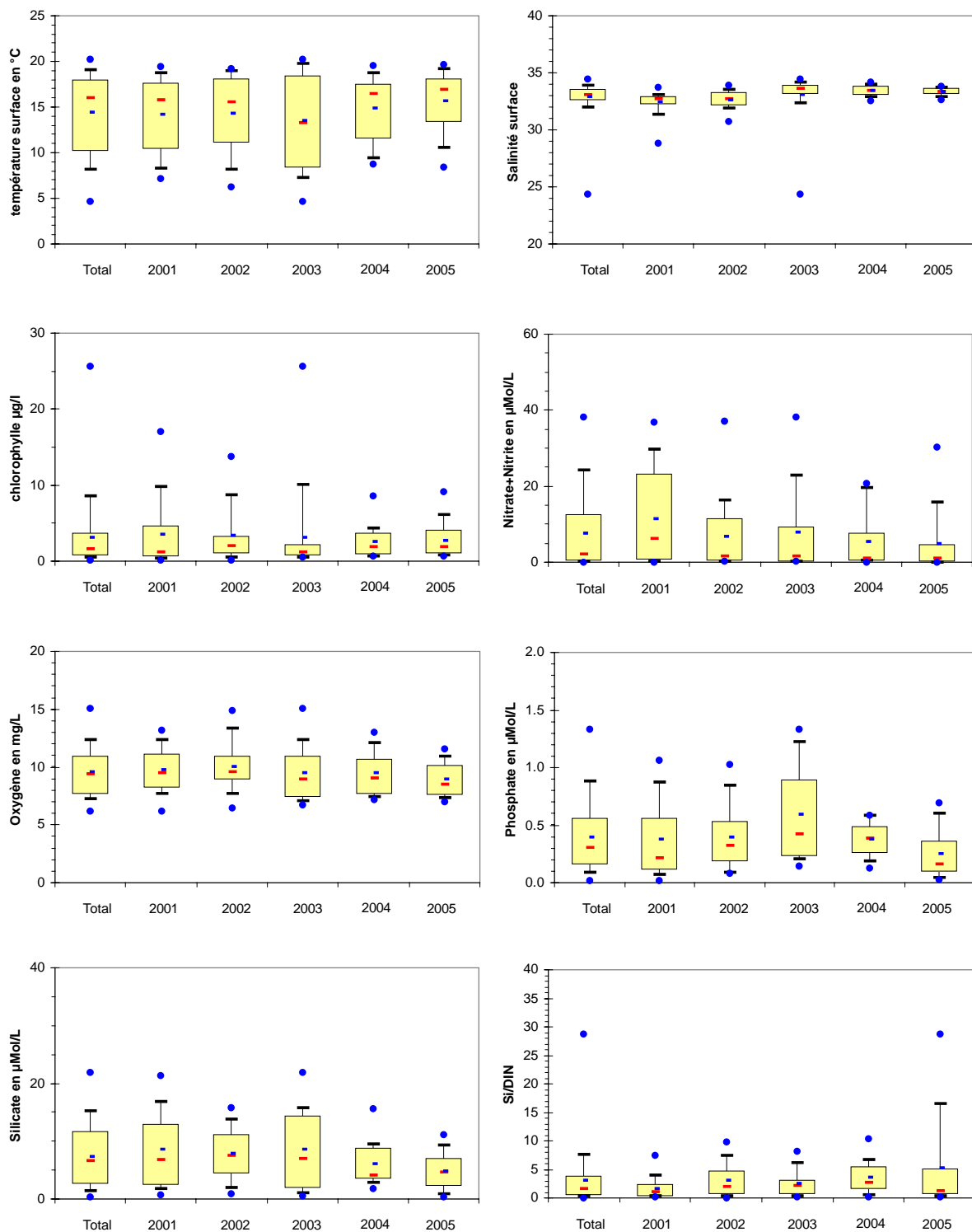


Figure 27 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Grandcamp entre 2001 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches, 80 % des valeurs (±). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (•).

2.11 Masse d'eau HT6M : Géfosse.

Les données hydrologiques acquises à Géfosse entre 2002 et 2005 sont présentées sur les Figures 28 et 29 et 30.

Cette masse d'eau de transition est suivie au niveau du point de Géfosse depuis 2002. Comme toutes les masses d'eau de transition, elle présente une certaine instabilité, liée aux apports directs de plusieurs fleuves côtiers, dont la Vire, l'Aure, la Douve et la Taute qui drainent un bassin versant d'alimentation de plus de 3500 Km², et dont les débits de crue cumulés dépassent 250m³/s.

Cette masse d'eau est donc soumise à des dessalures au gré des crues des fleuves, ainsi qu'à des apports de sels nutritifs qui sont susceptibles de maintenir ou renforcer la production phytoplanctonique. Le point de suivi étant positionné dans la partie la plus aval de la masse d'eau, les dessalures y sont moins perceptibles que dans la partie amont, mais peuvent néanmoins y atteindre jusqu'à 4 pour mille (Figures 29 et 30).

De même, cette masse d'eau étant découvrante à 87% (Le Goff, Riou, Daniel et al, 2005), et présentant des fonds sablo-vaseux, la turbidité peut y connaître des pics au delà des 20 NTUI au niveau de Géfosse.

La biomasse chlorophyllienne y a atteint 25µg/L en 2002, mais n'a culminé qu'aux alentours des 10µg/L en 2005, avec 3 blooms successifs, le premier de début à mi mai (290 000 cell/L d'*Asterionella glacialis*, entre 700 000 et 2.7 millions de cell/L de *Pseudo-nitzschia sp.*, et 420 000 cell/L de *Chaetoceros sp.*), le second début juin (1.2 millions de cell/L de *Pseudo-nitzschia sp.* et 1.2 millions de cell/L également d'*Asterionella glacialis*), et le troisième fin juin (260 000 cell/L de *Pseudo-nitzschia sp.*). Une petite réplique a été enregistrée mi septembre : 5 µg de chlorophylle a par litre d'eau de mer, et 50 000 cell/L de *Pseudo-nitzschia sp.*

L'examen du rapport DIN/P (Figure 28) montre que la limitation de la production est vraisemblablement (au moins pour partie) contrôlée par la carence en azote durant la période estivale. Cette possible limitation était effective dès la mi mai en 2003, la fin mai en 2002, la mi juin en 2004, et uniquement à partir de la fin juin en 2005.

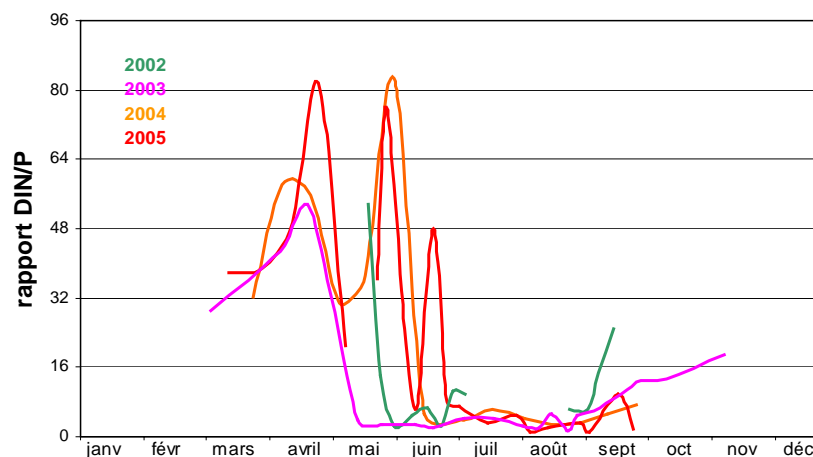


Figure 28 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2002 et 2005 au point de suivi de Géfosse (masse d'eau HT6M).

La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre », ce qui correspond également à l'optimum de croissance du Phytoplancton donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

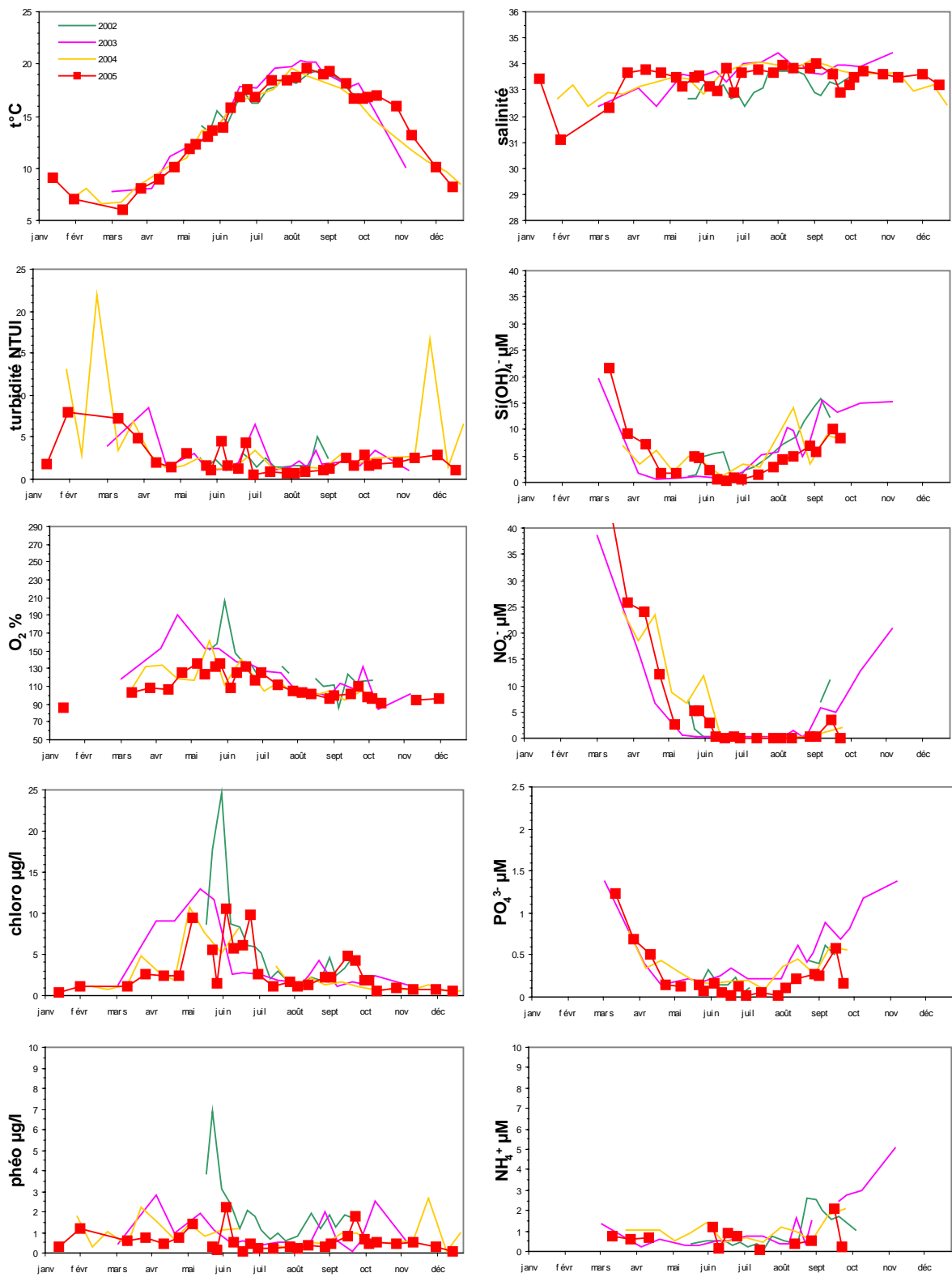


Figure 29 : Evolution des paramètres hydrologiques à Géfosse entre 2002 et 2005.

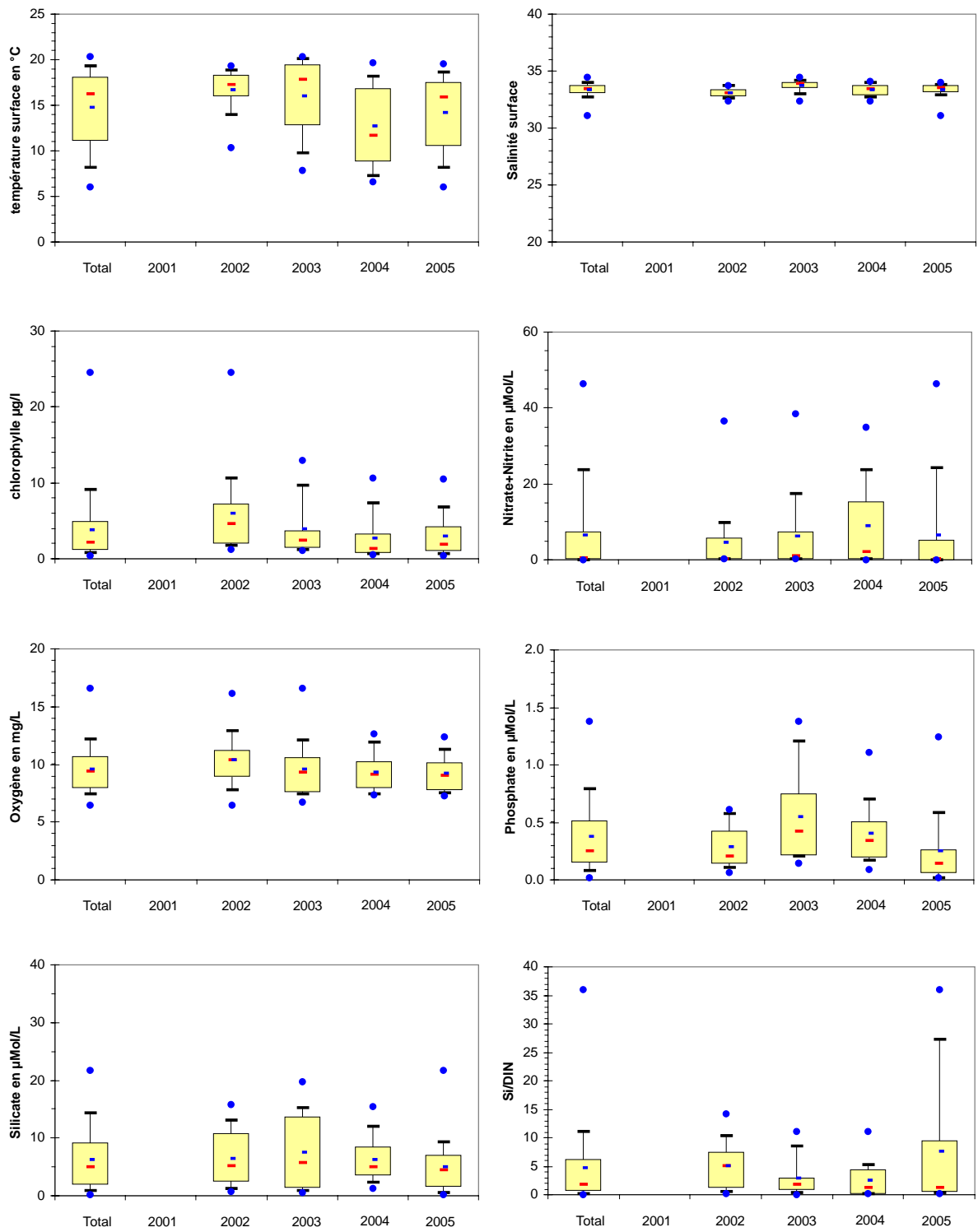


Figure 30 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Gêfosse entre 2002 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (┌). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●).

2.12 Masse d'eau HC11 : Port en Bessin

Les données hydrologiques acquises à Port en Bessin en 2004 et 2005 sont retranscrites Figures 31, 32 et 33.

Cette masse d'eau ne reçoit que peu d'apports directs en provenance des bassins versants : quelques petits ruisseaux ou rejets d'agglomération, auxquels il convient cependant de rajouter nombre de résurgences en bas des falaises, mais pour lesquelles nous ne disposons pas de donnée de débit ou de flux. La salinité n'y connaît de ce fait que peu de fluctuations (maximum de 1 pour mille sur les deux années de suivi).

Les valeurs maximales de chlorophylle a enregistrées sont légèrement inférieures à 15 $\mu\text{g/L}$, avec une moyenne de l'ordre de 4 $\mu\text{g/L}$, et des stocks hivernaux en nitrate et silicate de l'ordre de 30 μM .

En période de limitation estivale de la production de biomasse phytoplanctonique, la carence proviendrait principalement de l'azote (à partir de la mi juin, tant en 2004 qu'en 2005), ce qui se traduit à partir de la mi juillet par des teneurs en chlorophylle a de l'ordre de 2 à 3 $\mu\text{g/L}$, et ce jusqu'à novembre. Les teneurs en ammonium restent très faibles de juin à mi août, et la régénération ne devient perceptible (>2 μM) que début septembre

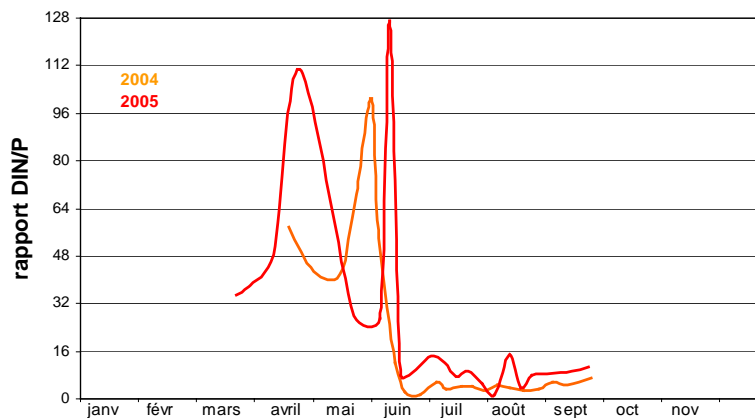


Figure 31 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 au point de suivi de Port en Bessin (masse d'eau HC11). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

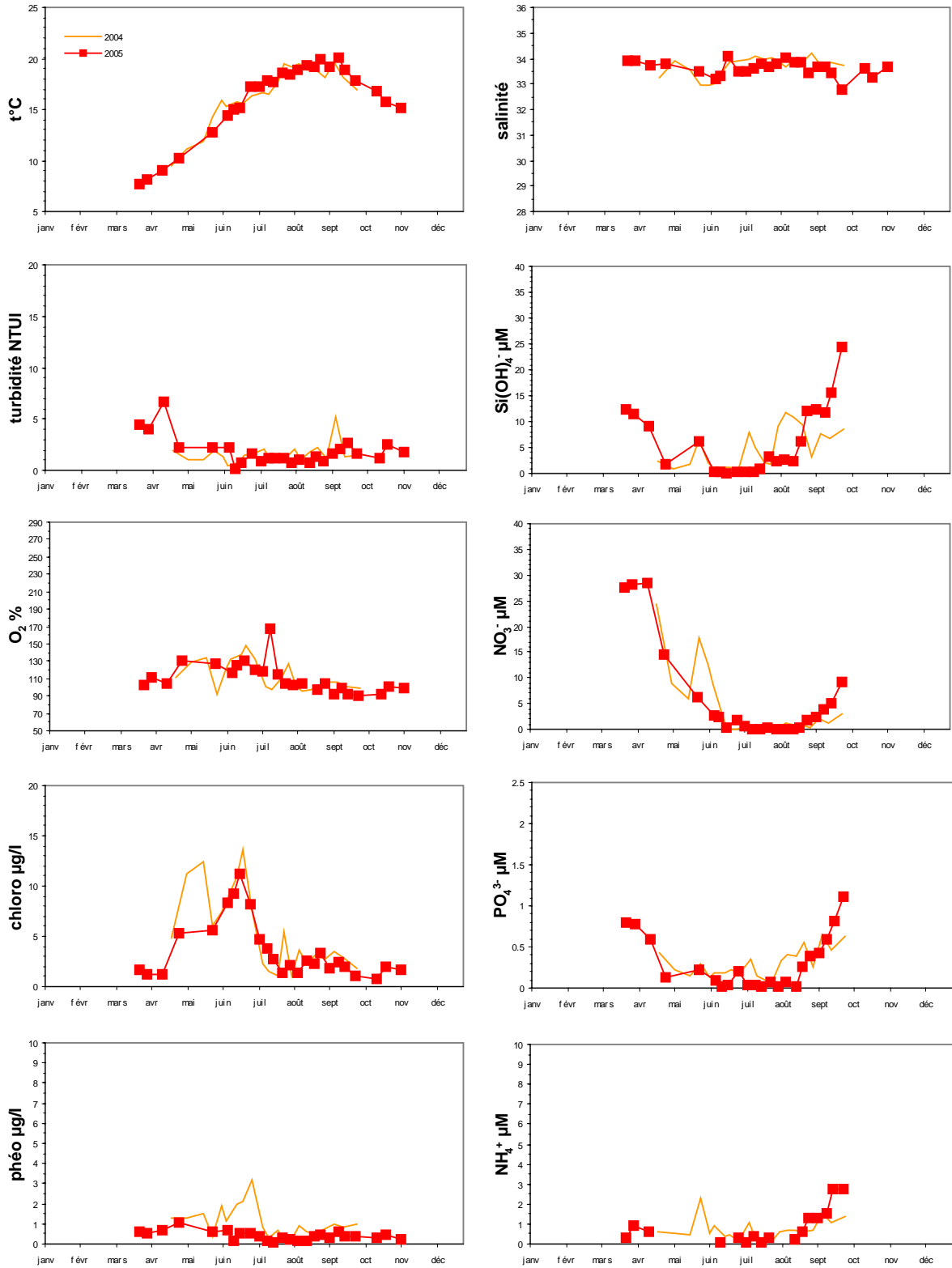


Figure 32 : Evolution des paramètres hydrologiques à Port en Bessin en 2004 et 2005.

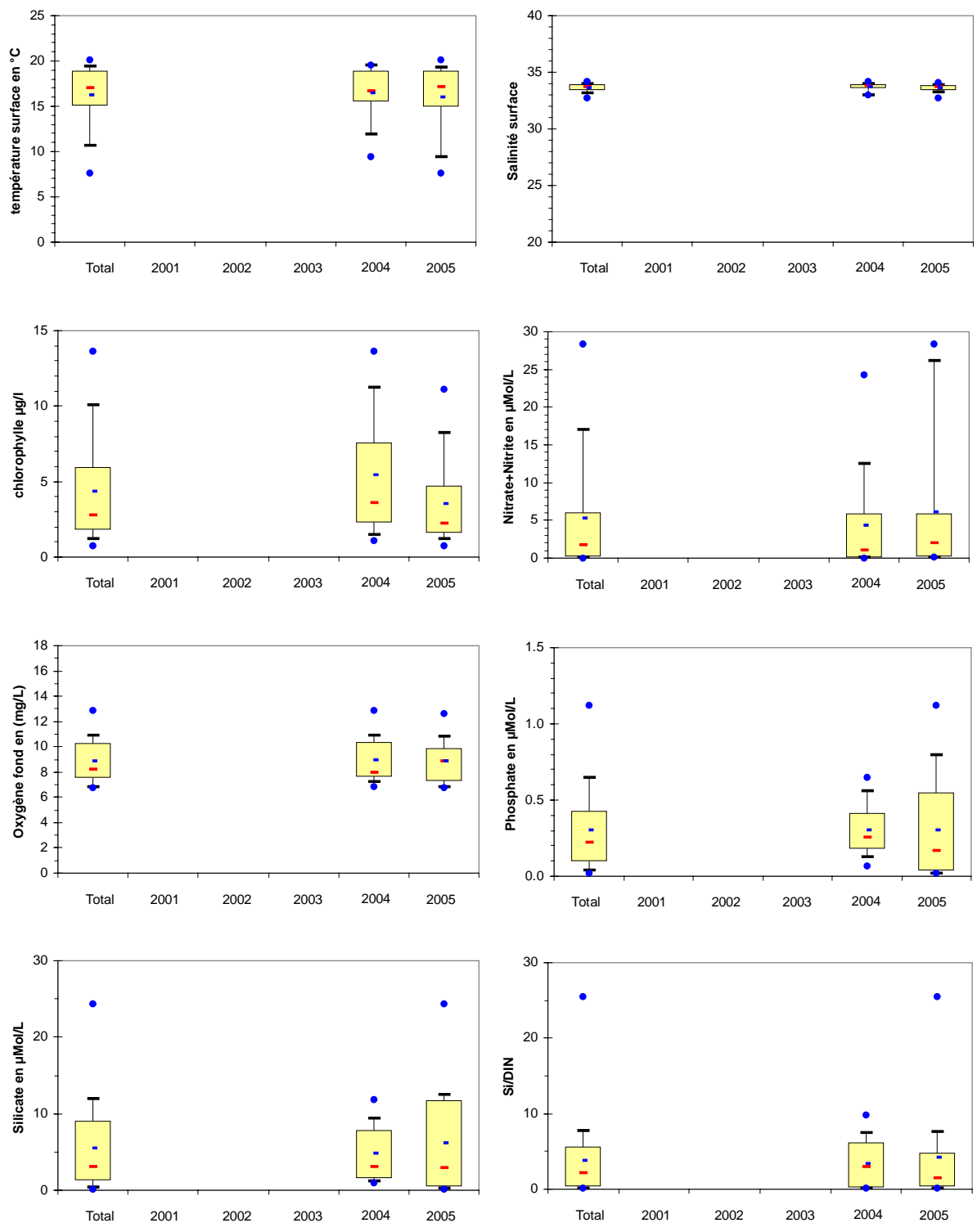


Figure 33 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Port en Bessin en 2004 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (⊥). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (•).

2.13 Masses d'eau HC12 et HC13 : Meuvaines et Essarts

Les résultats des suivis menés à Meuvaines et aux Essarts en 2004 et 2005 sont donnés par les Figures 34, 35, 36, 37 et 38.

Les cycles biogéochimiques 2004 et 2005 à Meuvaines et aux Essarts sont comparables à ceux observés à Port en Bessin, sauf en ce qui concerne la biomasse chlorophyllienne. Leurs principales caractéristiques sont :

- de faibles dessalures (2 pour 1000 au maximum), mais des turbidités pouvant atteindre 30 NTUI ;
- une biomasse chlorophyllienne n'excédant pas 5 µg/L (trois fois plus faible qu'à Port en Bessin), avec des valeurs moyennes sur l'année de l'ordre de 1.5 µg/L (contre 4 µg/L à Port en Bessin) ;
- des teneurs en oxygène dissous qui fluctuent entre 13 et 6 mg/L au fond, avec une moyenne et une médiane égales à 9 mg/L, et un percentile 10% proche de 7 mg/L (classe DCE « très bon état ») ;
- des stocks hivernaux en nitrate, phosphate et silicate culminant respectivement à 35, 1.5 et 30 µM ;
- une limitation potentielle estivale de la production primaire par l'azote dans les deux masses d'eau, au moins à partir de la mi juillet (en 2004 et 2005 ; Figure 34)

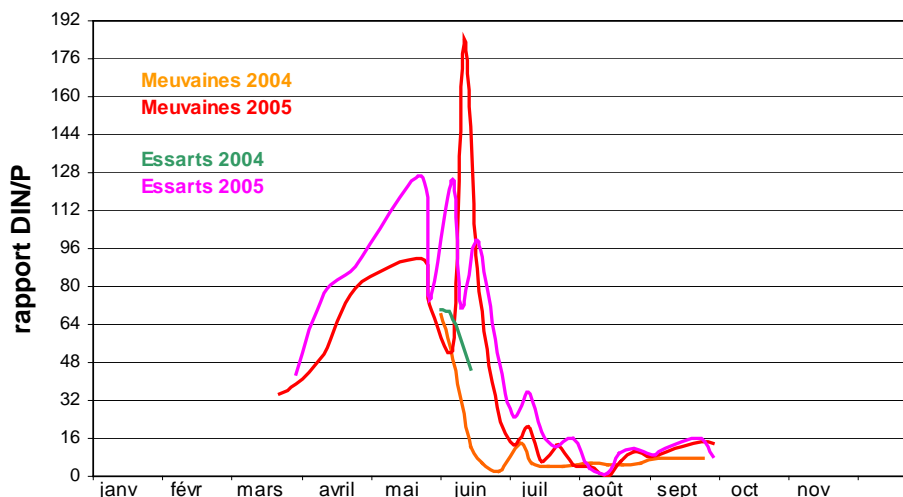


Figure 34 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur les points de suivi de Meuvaines et des Essarts (masses d'eau HC12 et HC13). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

A noter en 2005 le développement de *Pseudo-nitzschia* sp. (et principalement de *Pseudo-nitzschia delicatissima*) qui, comme sur Port en Bessin, a généré une toxicité ASP (deux fois inférieure au seuil sanitaire) dans les moules du gisement naturel du large de Meuvaines (teneurs maximales de 10 µg d'acide domoïque par gramme de chair de coquillage, alors que le seuil sanitaire est fixé à 20 µg/g).

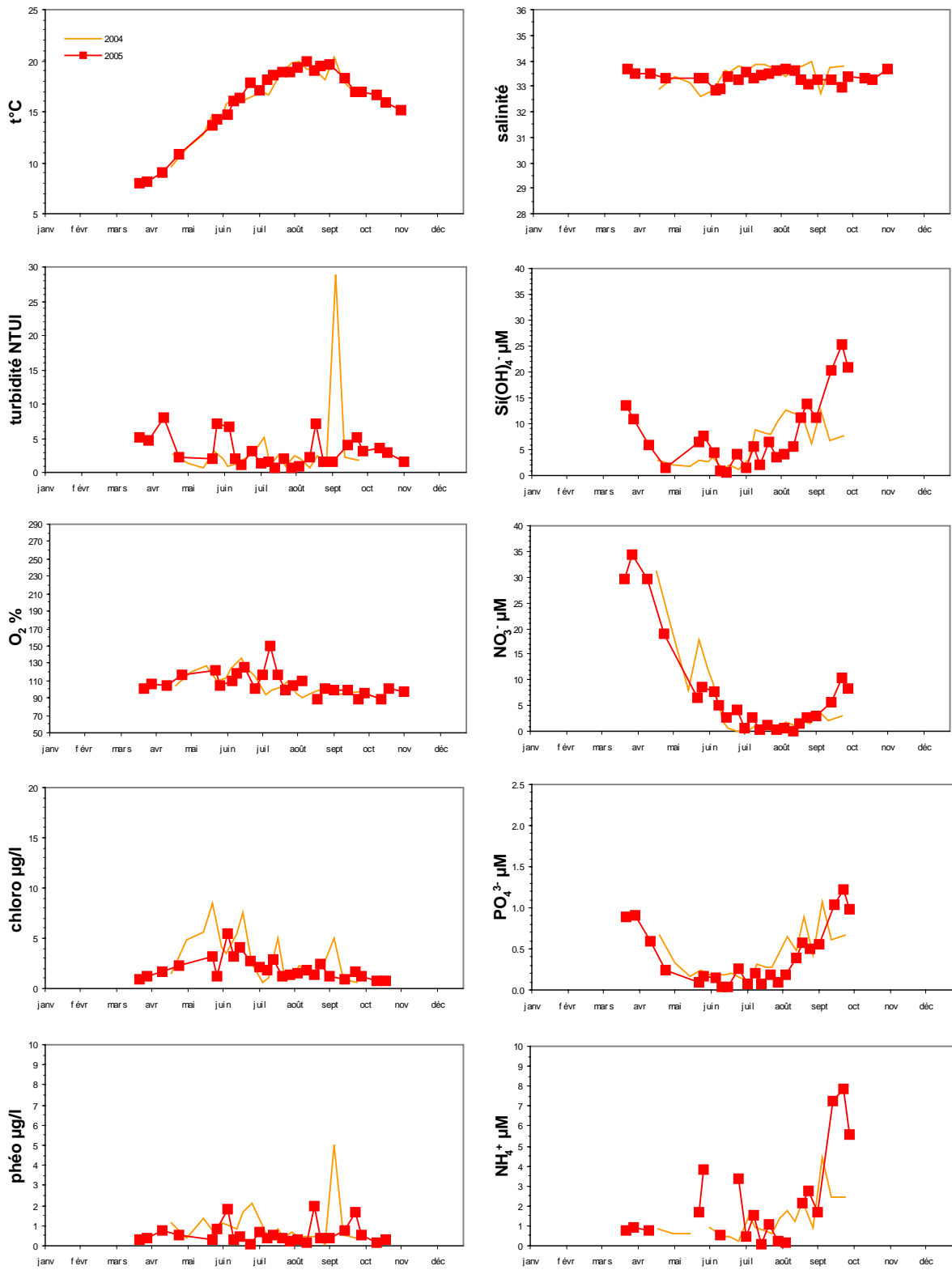


Figure 35 : Evolution des paramètres hydrologiques à Meuvaines en 2004 et 2005.

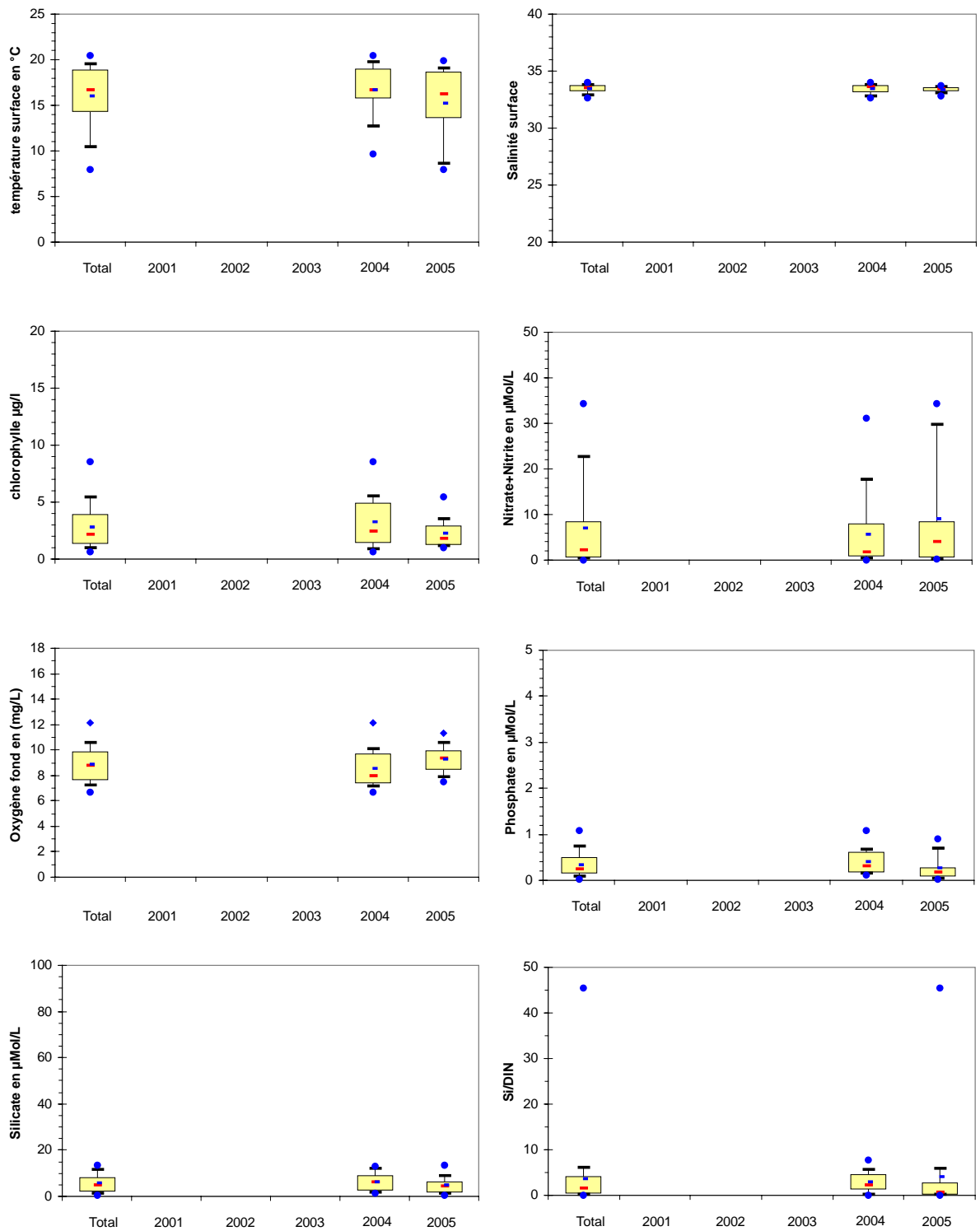


Figure 36 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques à Meuvaines en 2004 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (┌-). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●).

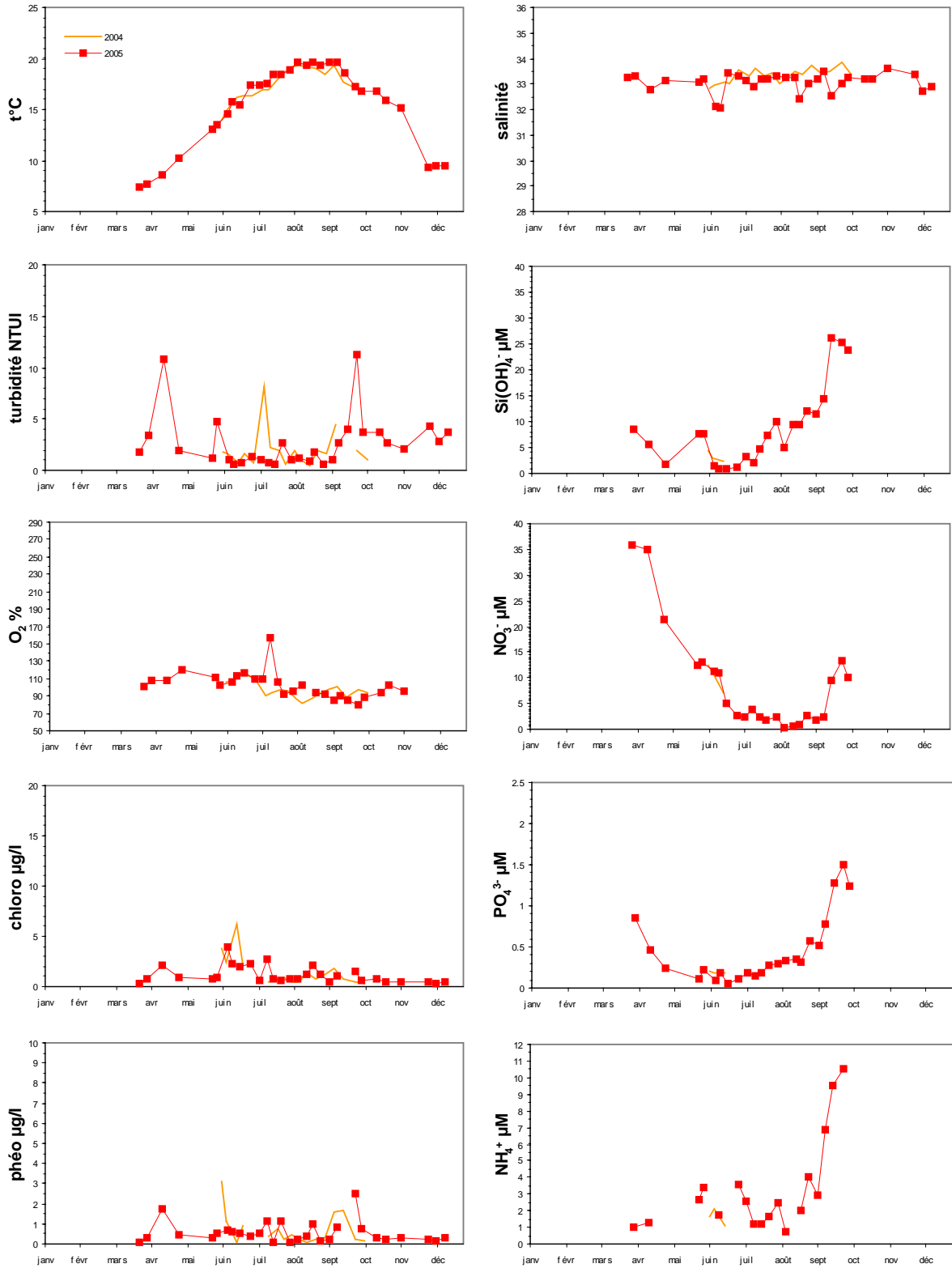


Figure 37 : Evolution des paramètres hydrologiques aux Essarts en 2004 et 2005.

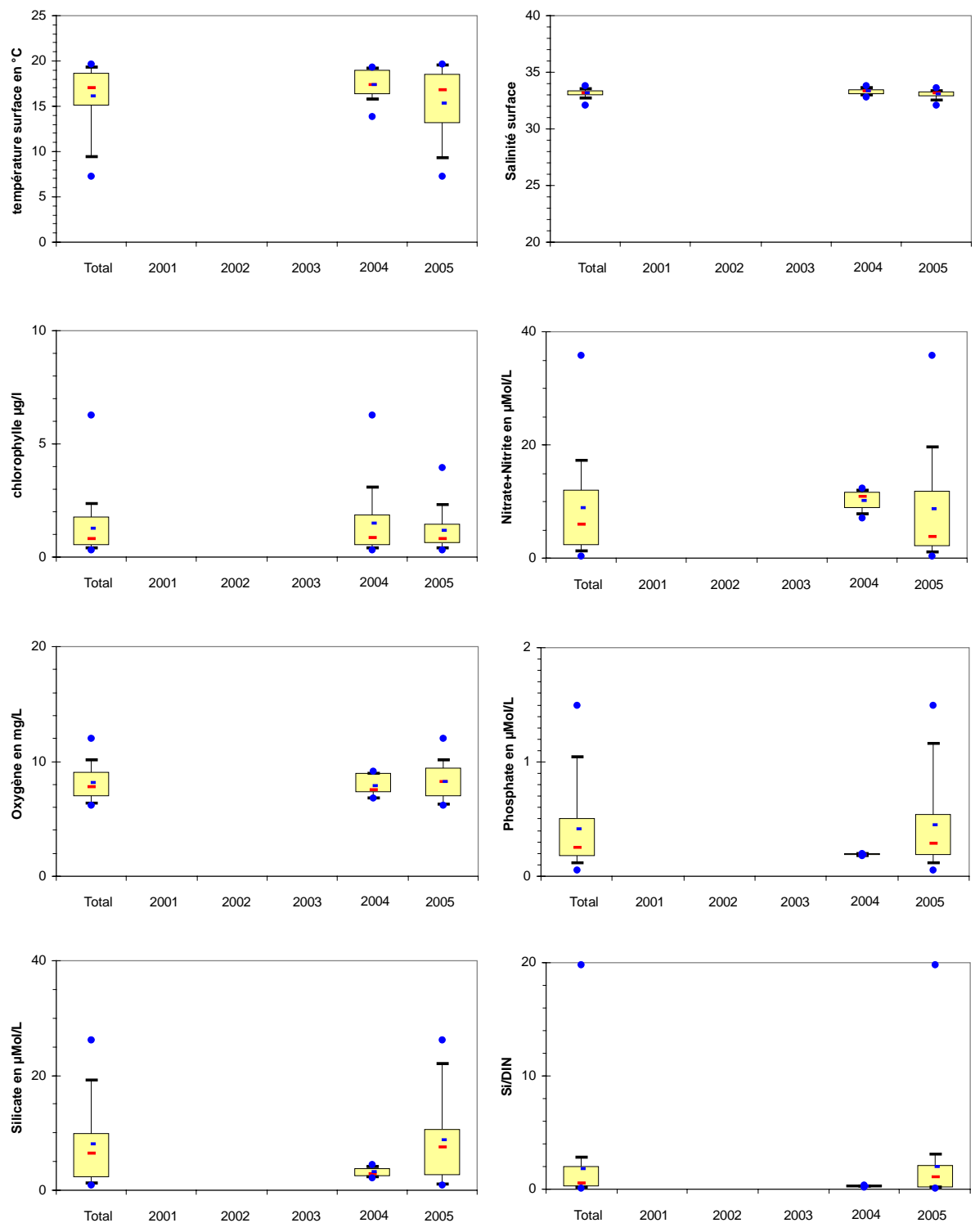


Figure 38 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques aux Essarts en 2004 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (┌). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●).

2.14 Masse d'eau HC14 : Luc sur Mer et Ouistreham

Les données acquises à Luc/mer² et à Ouistreham entre 2001 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 39 à 44.

C'est dans cette masse d'eau HC14 que se jette l'Orne. Ce fleuve draine un bassin versant de 3000 Km² (source SAGE Orne-Seulles), qui comprend notamment l'agglomération de Caen (220 000 habitants), et la majeure partie de « la plaine de Caen », siège d'une très importante activité agricole de production de céréales. Les débits de l'Orne, en moyenne de 19 m³.s⁻¹ à Thury-Harcourt (source DIREN) peuvent atteindre 320 m³.s⁻¹ en crue (source DIREN ; calcul sur 10 ans).

De ce fait, mais du fait également de la proximité de l'estuaire de Seine, cette masse d'eau connaît des dessalures qui peuvent atteindre 8 pour mille au niveau des deux points de suivi, pourtant proches de la limite au large des 1 mille par rapport au zéro des cartes. Ces dessalures, notamment en 2001 et 2002 ont généré des recharges de la masse d'eau en sels nutritifs aux mois d'août et septembre, et ainsi permis la relance de la production phytoplanctonique. En effet, l'une des caractéristiques des courbes de biomasse chlorophyllienne sur ces deux points est que l'on observe des blooms qui se succèdent tout au long de la période productive, et que les blooms tardifs (de fin août, ou même de septembre) peuvent être de plus forte intensité que les blooms de printemps. En ce sens, cette masse d'eau peut être considérée comme étant la zone de transition entre les masses d'eau de l'ouest de la baie de Seine, certes productives, mais qui présentent un cycle biogéochimique « classique », et les masses d'eau situées de part et d'autre de l'estuaire de Seine (HC15 et HC16) qui présentent des signes manifestes d'eutrophisation du fait de l'importance des apports nutritifs qu'elles reçoivent.

Le cycle biogéochimique « classique » précité est caractérisé par un premier bloom printanier qui est le plus important de toute la période productive, et qui génère une consommation des sels nutritifs (nutriments) quasi totale. Ensuite le système fonctionne essentiellement sur la régénération des sels, et hormis un petit pic de chlorophylle a en fin de saison (généralement en septembre), les valeurs moyenne de la biomasse chlorophyllienne n'excèdent pas en moyenne 2 à 4 µg/L.

Sur les deux points de Luc sur Mer et Ouistreham (et *a fortiori* sur ceux de Cabourg -HC15- et Antifer -HC16-), du fait des recharges incessantes en sels nutritifs tout au long de la période productive, le système « s'emballe », et des niveaux de biomasses supérieurs à 20µg/L de chlorophylle a (et jusqu'à 70-80 µg/L sur Cabourg et Antifer), peuvent être atteints. Les maximums de production ne sont jamais enregistrés au cours du premier bloom annuel, mais plus tardivement, suite à une crue estivale ou automnale. Cette très importante productivité est à l'origine d'un classement en état moyen, voire médiocre de cette masse d'eau quand on évalue sa qualité au moyen de l'indicateur DCE chlorophylle a (Cf. chapitre 3)

Ces recharges en sels nutritifs ont également pour conséquence d'entraîner de très fortes variations des rapports de sels entre eux (Cf. Figures 39 et 40), et surtout de minimiser les périodes potentielles de carence, la biomasse chlorophyllienne n'étant qu'exceptionnellement inférieure à 5 µg/L (ce qui, à titre d'exemple, correspond aux valeurs maximales atteintes sur l'ensemble des points de suivi de la côte ouest Cotentin).

Ceci a également pour conséquence de générer des sur-oxygénations dépassant fréquemment les 200% (essentiellement à Ouistreham). La production étant permanente tout au long de la saison productive, et les courants de marée intenses, nous ne constatons par

² Les deux points de suivi de Luc sur Mer et de Ouistreham ont été rapprochés de la côte (1 mille au lieu de 3 milles) afin de respecter les exigences de la DCE, respectivement en 2004 et en 2002 .

contre pas de désoxygénation importante. Sur les 5 années de suivi, la valeur minimale en oxygène dissous, 5.18 mg/L, a été enregistrée à Luc sur Mer le 31 août 2001, et les percentiles 10% sur l'ensemble du suivi sont de 6.48 mg/L à Luc sur Mer, et de 6.69 mg/L à Ouistreham, soit nettement supérieurs à la valeur seuil qui sépare les classes de qualité DCE « très bon état » et « bon état ».

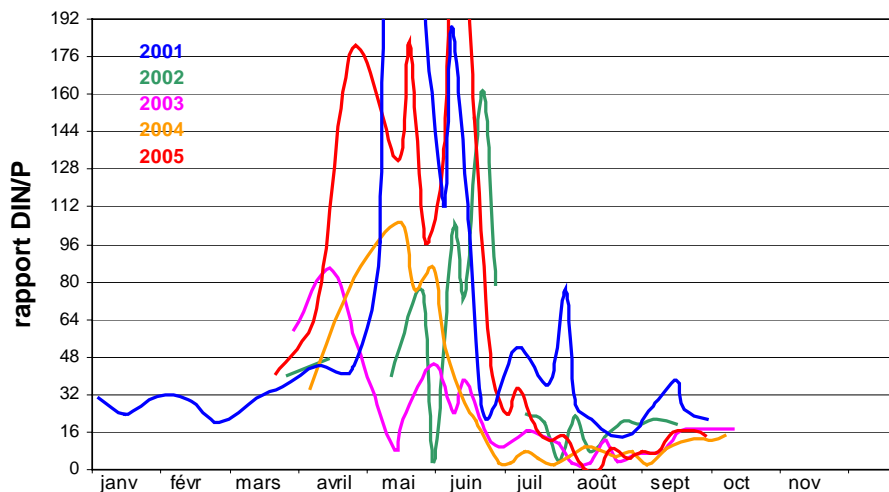


Figure 39 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2001 et 2005 sur le point de suivi de Luc sur Mer (masse d'eau HC14). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

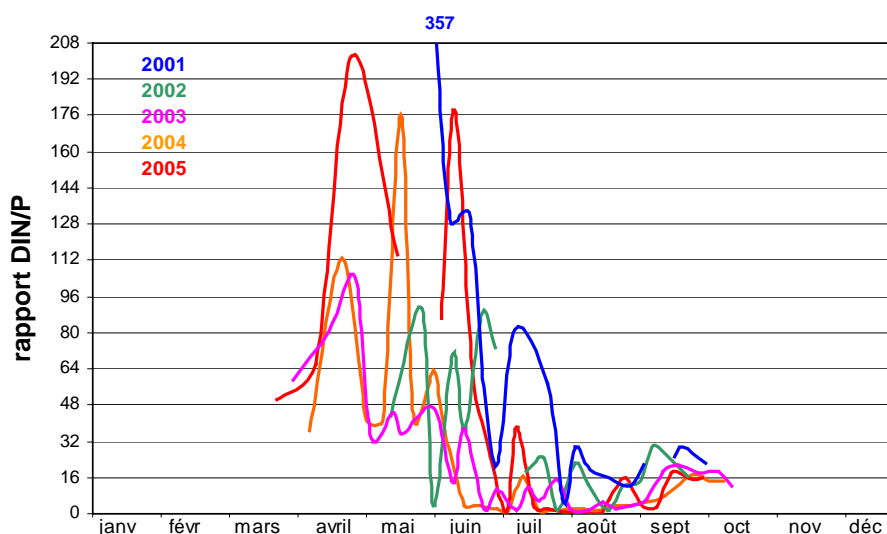


Figure 40 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2001 et 2005 sur le point de suivi de Ouistreham (masse d'eau HC14). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en μM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Enfin, du fait de l'intensité des productions, et sans doute également des apports par l'Orne, les valeurs maximales en ammonium dépassent fréquemment les $10\mu\text{M}$ en fin de saison (septembre-octobre).

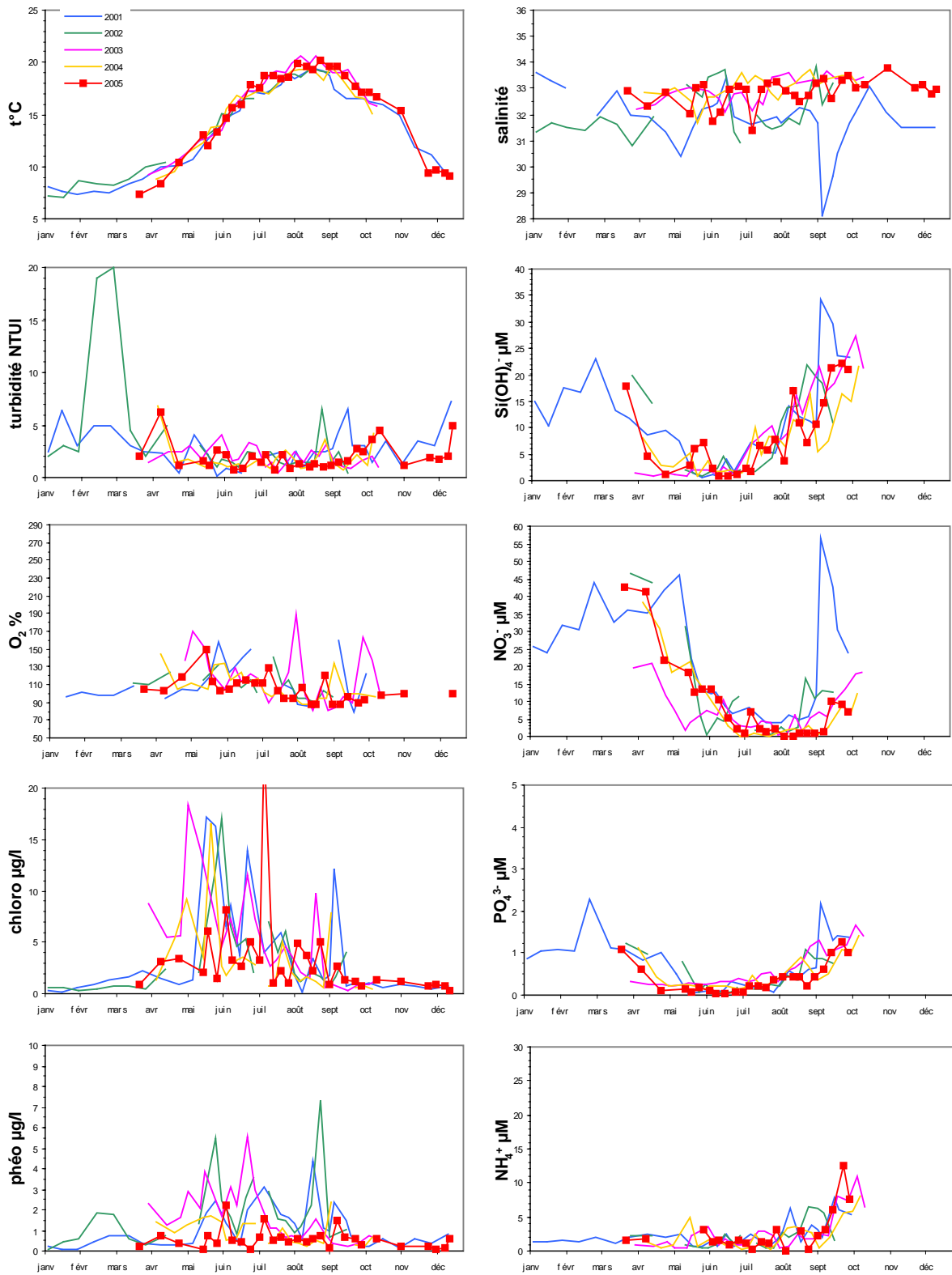


Figure 41 : Evolution des paramètres hydrologiques sur le point de suivi de Luc sur Mer entre 2001 et 2005.

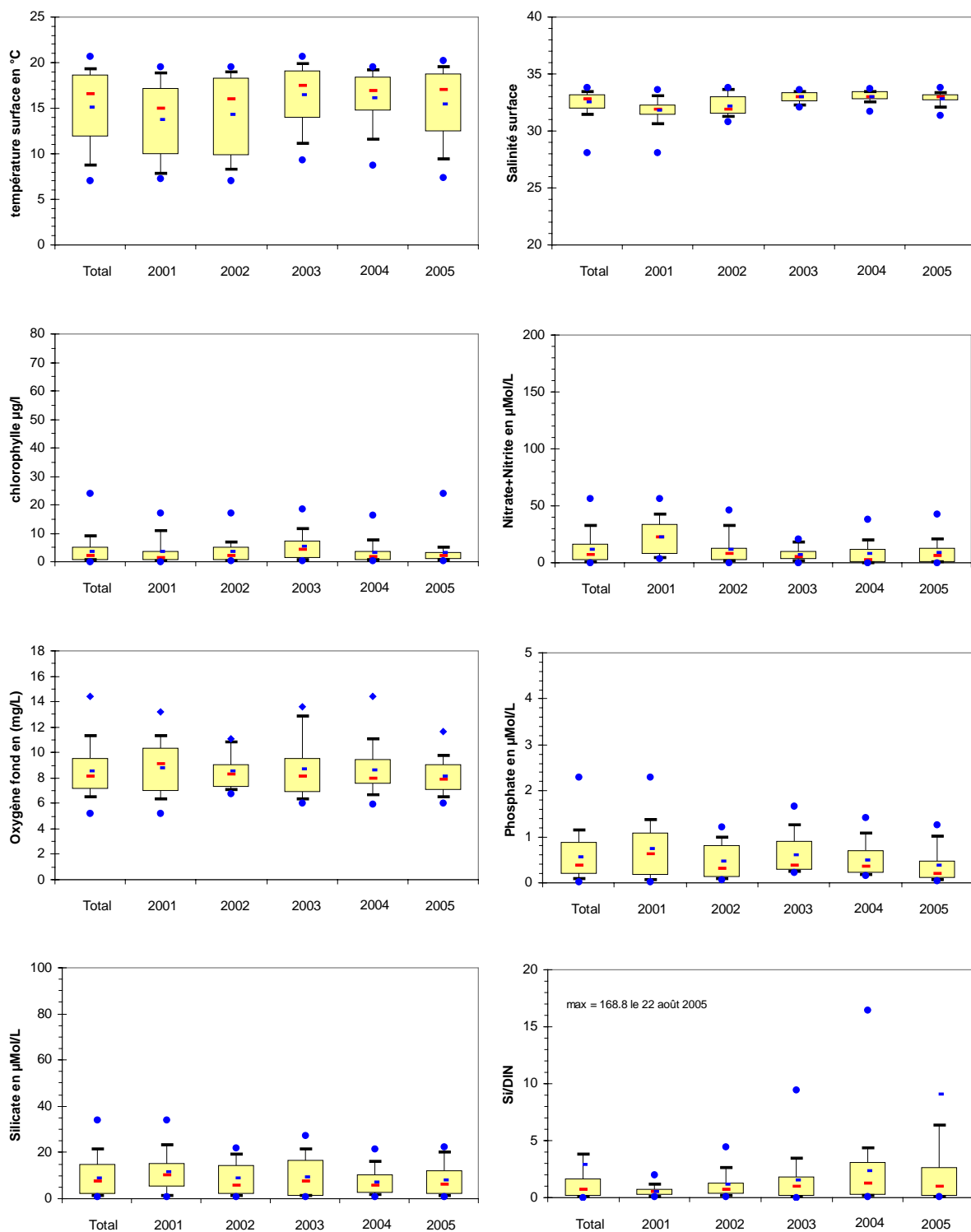


Figure 42 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Luc sur Mer entre 2001 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (┌). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●).

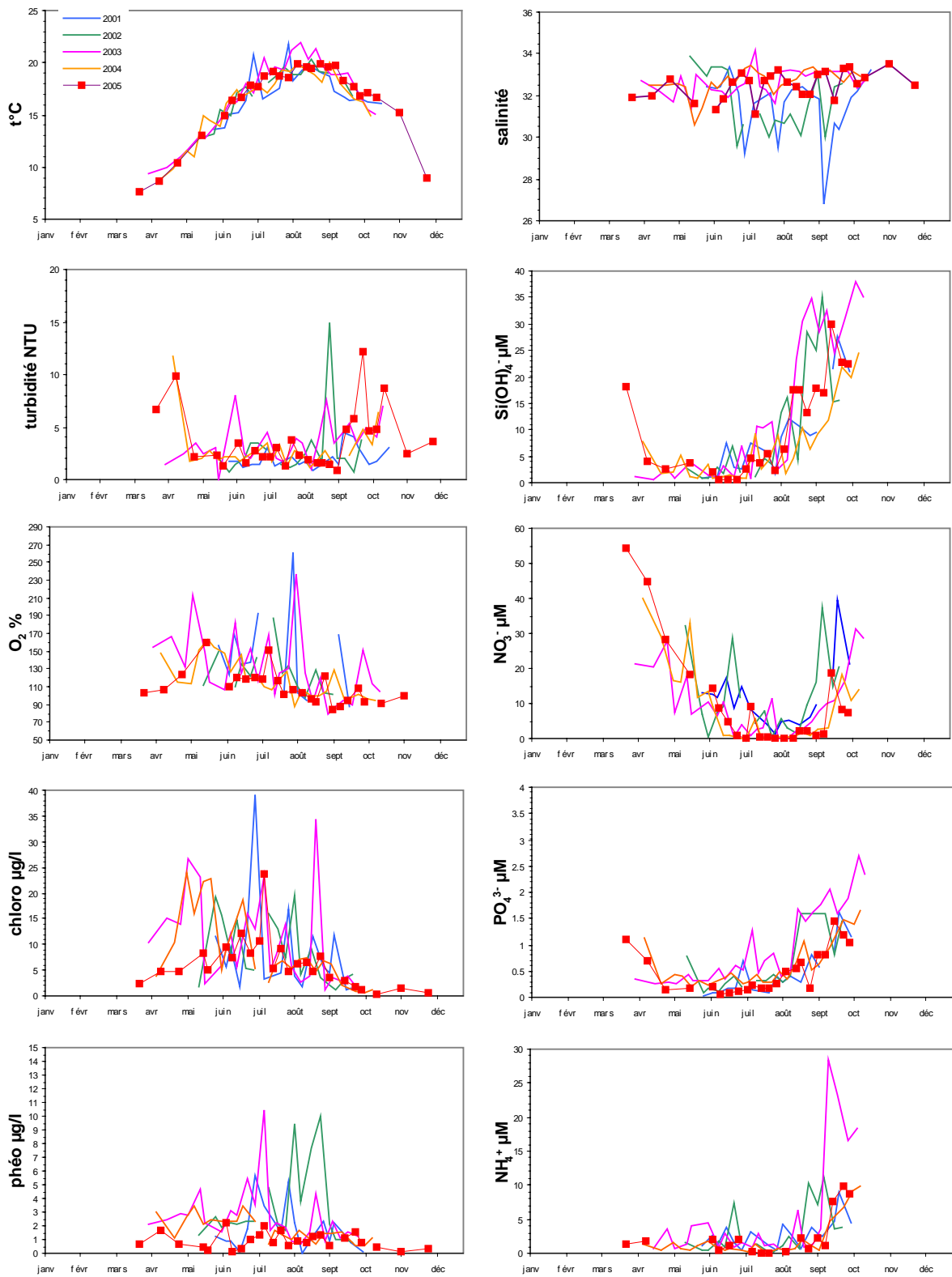


Figure 43 : Evolution des paramètres hydrologiques à Ouistreham entre 2001 et 2005

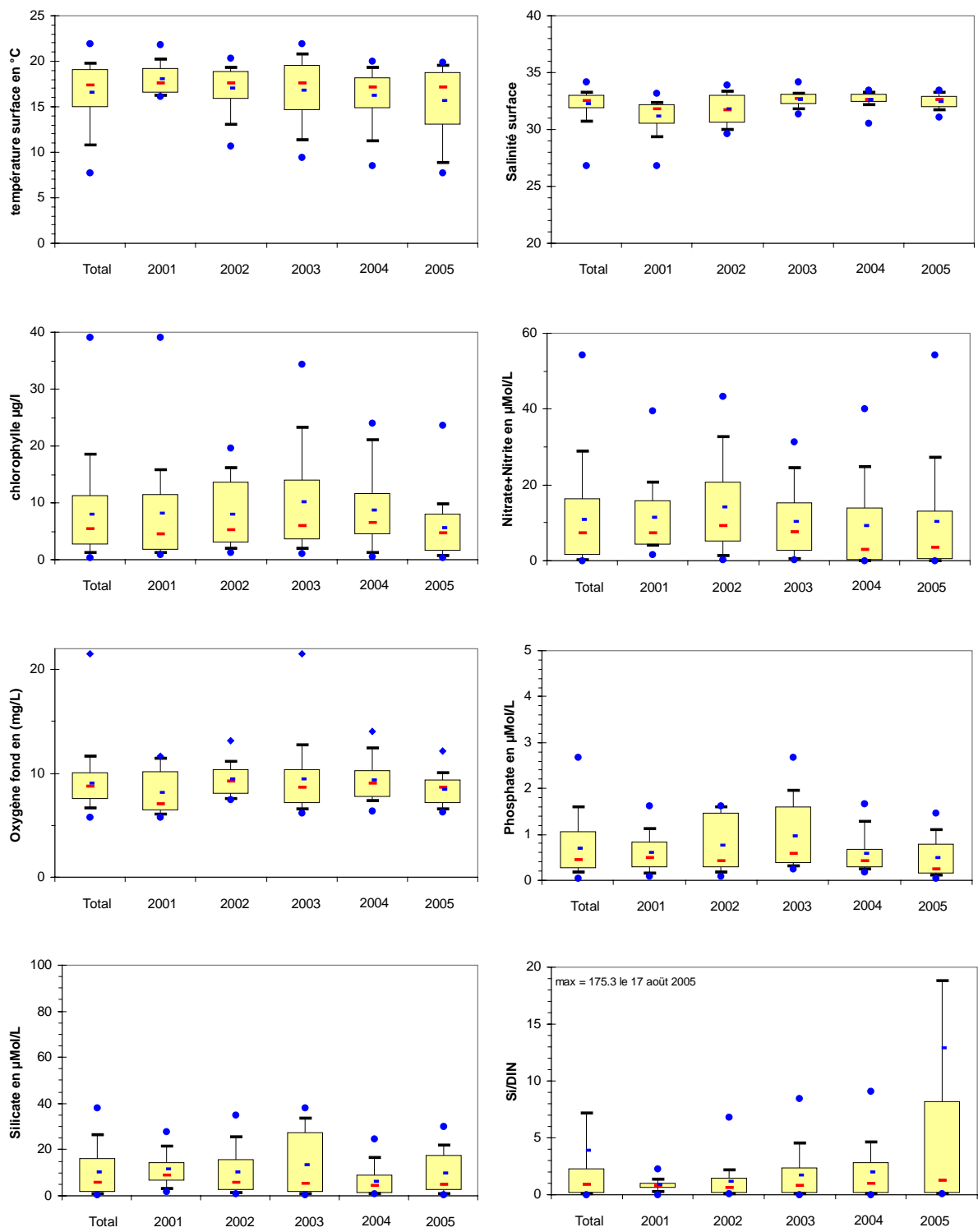


Figure 44 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Ouistreham entre 2001 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (┌). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●).

2.15 Masse d'eau HC15 : Cabourg

Les données hydrologiques acquises à Cabourg entre 2001 et 2005 sont données par les Figures 45 à 50.

Cette masse d'eau, située entre les estuaires de la Seine à l'est et de l'Orne à l'ouest, connaît d'importantes dessalures (atteignant 10 pour mille sur le point de Cabourg), et donc d'importantes « recharges » en sels nutritifs tout au long de l'année (Figure 49).

Cette masse d'eau est de ce fait la plus productive de toutes les masses d'eau de Normandie. Les maximums de chlorophylle a enregistrés en 2001 et 2002 y ont en effet dépassé les 70 µg de chlorophylle a par litre d'eau de mer (maximum n'atteignant que 25 µg/L en 2005, année sèche).

Elle ne connaît qu'exceptionnellement des carences nutritives, et les niveaux de biomasses d'avril à octobre ne sont que très rarement inférieurs à 5µg/L de chlorophylle a. Notons cependant que le sel (nutriment) potentiellement limitant serait, en cas de carence, plutôt l'azote ainsi que l'indiquent la Figure 45 ci dessous (rapport azote sur phosphore inférieur à 16) et la Figure 49 qui montre que les phénomènes de re-minéralisation et de recharge de la silice lors des crues font que cet élément n'a jamais été potentiellement limitant dans cette masse d'eau à partir du mois de juillet depuis que le suivi du RHLN est en place.

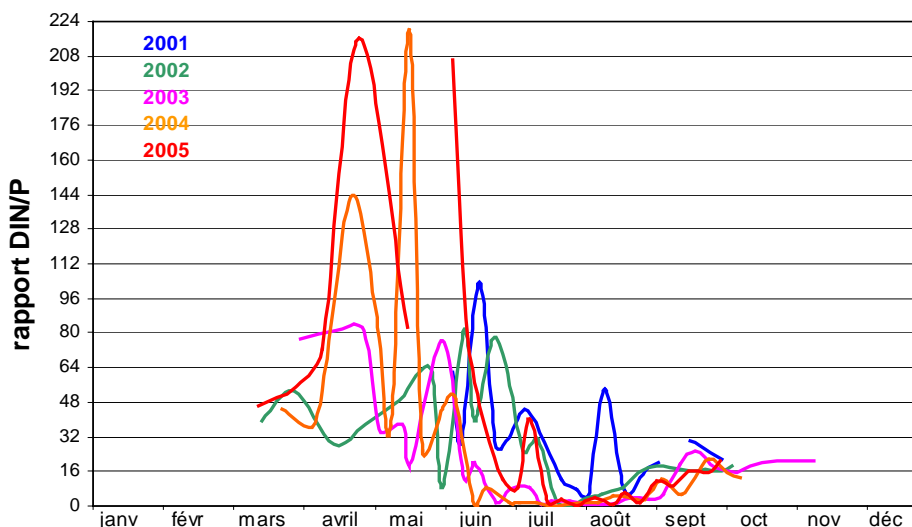


Figure 45 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2001 et 2005 sur le point de suivi de Cabourg (masse d'eau HC15). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Les désoxygénations n'y sont cependant pas marquées : le minimum au fond de 3.89 mg/L a été atteint le 2 août 2004, mais les percentiles 10% annuels sont de l'ordre de 6 mg/L, le plus faible ayant été enregistré en 2003, et s'élevant à 5.71mg/L, soit bien au delà de la limite DCE entre les classes de « très bon état » et de « bon état » (5 mg/L).

En terme d'évaluation d'impact des rejets, ou de l'efficacité des politiques de limitation des rejets nutritifs menées sur les bassins versant, il est intéressant de tenter d'évaluer les parts respectives des apports de la Seine et de l'Orne dans la productivité de cette masse d'eau (et des masses d'eau adjacentes). Pour ce faire nous avons utilisé le modèle hydrobiologique SiAM3D (« Elise » baie de Seine) développé par Cugier (1999), puis recalé

à partir des données du RHLN 2001 à 2004. Des simulations de la production ont été réalisées en n'injectant dans le modèle que les apports de la Seine dans un premier temps, puis en rajoutant ceux de l'Orne et ceux des 4 fleuves se jetant en Baie des Veys (Vire, Aure, Douve et Taute). Les résultats obtenus sont donnés par les Figures 46 à 48.

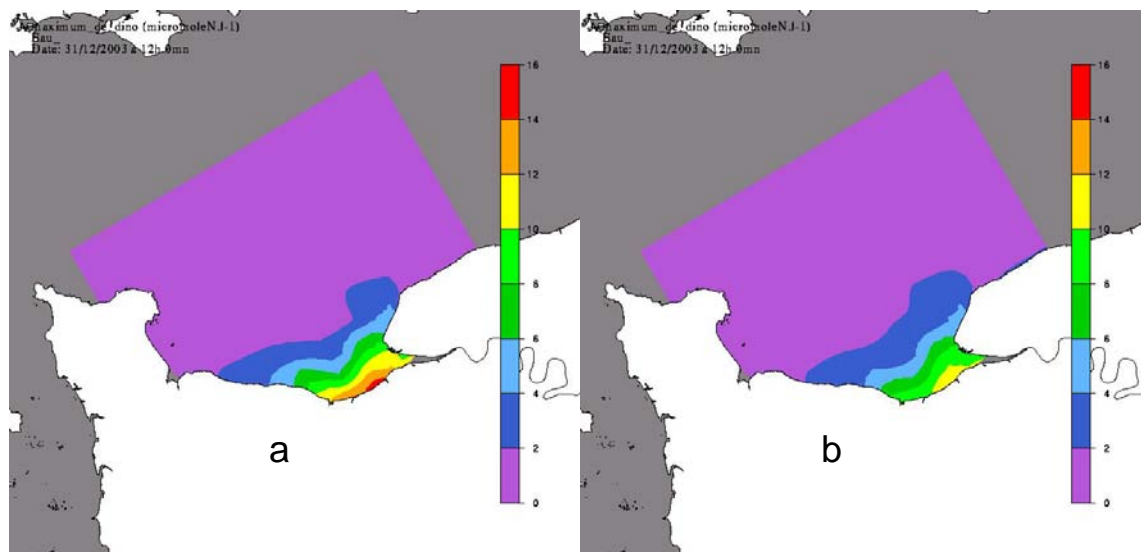


Figure 46 : répartition géographique des maxima de dinoflagellés pour l'année 2003 avec tous les rejets (a), et uniquement la Seine (b),

Concernant la répartition des maxima de dinoflagellés (dont *Dinophysis sp.* est un des représentants), un gradient côte large orienté sud est nord ouest à partir du littoral Est du Calvados (les valeurs maximales sont situées dans le secteur de Cabourg) est observé dans les 2 cas. Ce premier résultat confirme l'influence prépondérante de la Seine. Néanmoins, on observe que les maxima de la carte b de la Figure 46, sans les flux de l'Orne notamment, sont moins importants. La différence entre les 2 graphes de la Figure 47 est encore plus marquante. En effet, la production cumulée de dinoflagellés au sud ouest de l'embouchure de la Seine est significativement moins importante en l'absence des apports de l'Orne.

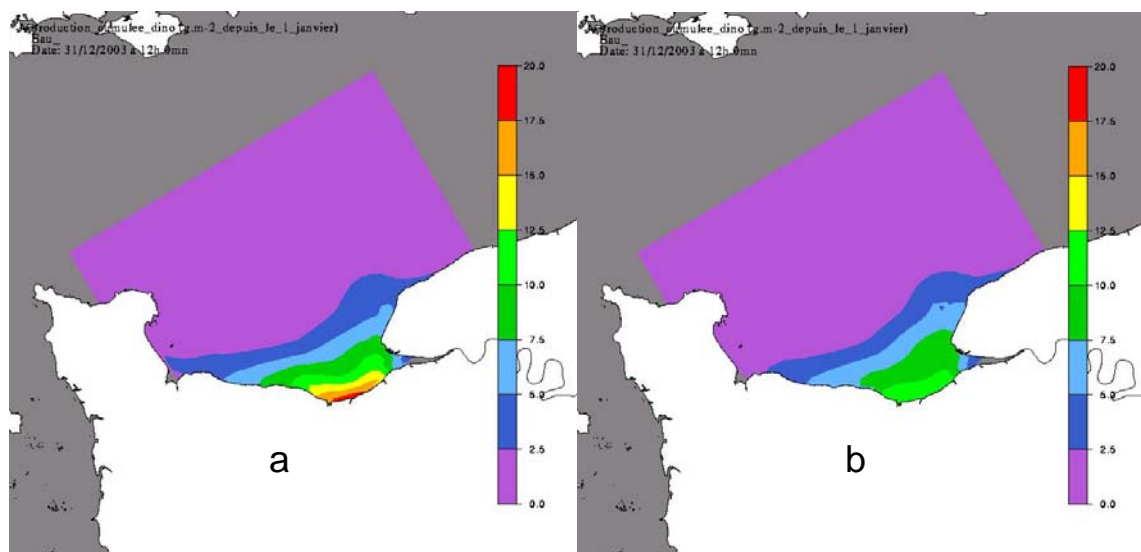


Figure 47 : répartition géographique de la production cumulée de dinoflagellés (en grammes/m²) pour l'année 2003 avec tous les rejets (a), et uniquement la Seine (b),

La Figure 48 représente l'évolution temporelle de l'azote fixé par les dinoflagellés en condition normale, c'est à dire avec les apports de tous les fleuves côtiers (seine, Orne et Baie des Veys), et en condition d'apports limités aux seuls flux de la Seine.

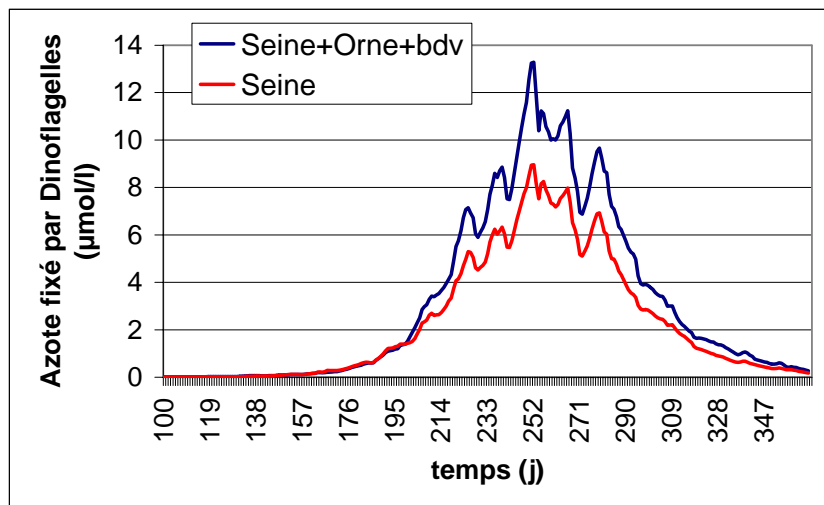


Figure 48 : Evolution temporelle de l'Azote fixé par les Dinoflagellés en 2003 en condition de flux normaux ou unique de la Seine

Ce résultat permet de confirmer l'influence significative des flux de l'Orne sur la production primaire locale.

Ce scénario, bien qu'irréaliste, (la suppression totale des flux de nutriments de l'Orne n'est pas envisageable), permet de mieux comprendre la dynamique phytoplanctonique en baie de Seine orientale et de hiérarchiser les apports.

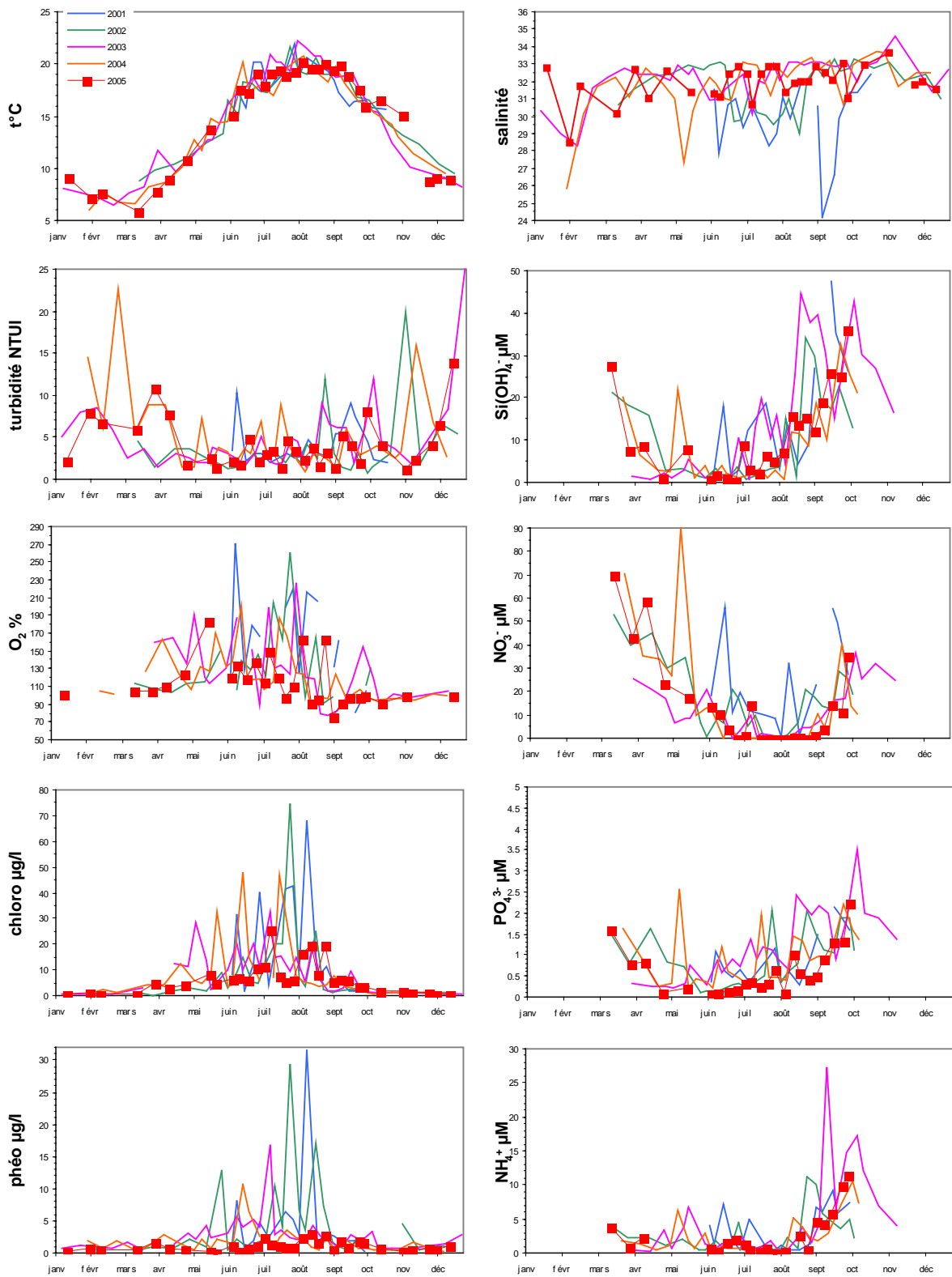


Figure 49 : Evolution des paramètres hydrologiques à Cabourg entre 2001 et 2005.

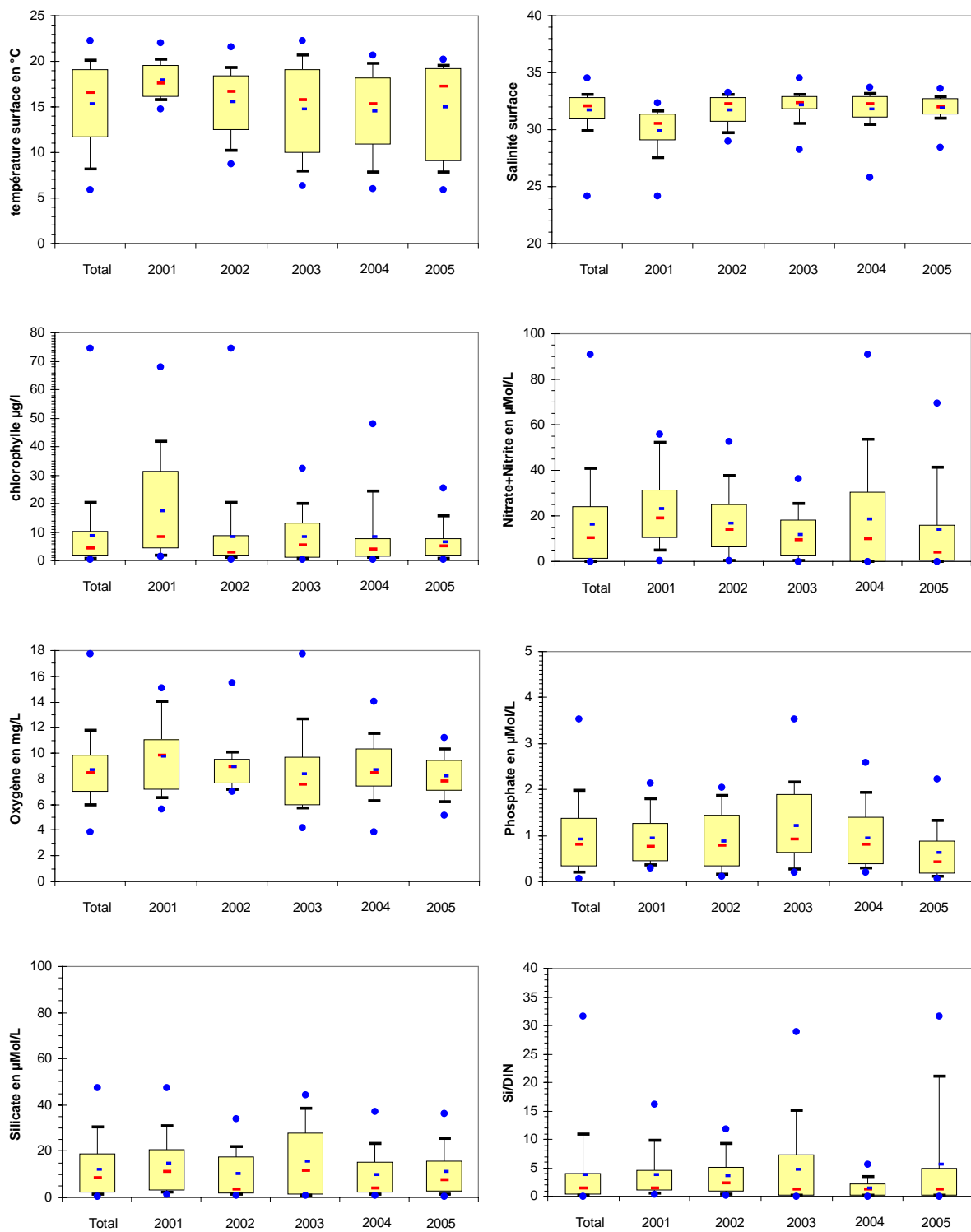


Figure 50 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Cabourg entre 2001 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (-). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (•).

2.16 Masse d'eau HC16 : Antifer

Les données hydrologiques acquises à Antifer entre 2002 et 2005 sont synthétisées sur les Figures 51, 52, 53 et 54.

Tout comme les 2 masses d'eau précédemment traitées, la masse d'eau HC16 est sous l'influence de la Seine et est donc sujette à des dessalures tout au long de l'année. Ces dessalures culminent à 14 pour mille au point de suivi d'Antifer qui est pourtant situé à l'extrême nord est de cette masse d'eau, c'est-à-dire éloigné de 7 milles de l'estuaire. Les recharges en sels nutritifs y sont par conséquent fréquentes et importantes, ce qui rend cette masse d'eau très productive : valeur maximale en chlorophylle a de 70.7 µg/Litre d'eau de mer atteinte le 2 août 2004, moyenne sur la période 2001-2005 de 5.6 µg/L, et percentile 90% (indicateur DCE) de 14.29 µg/L, ce qui classe cette masse d'eau en catégorie « état moyen ».

Il est difficile de mettre en évidence une période de carence nutritive sur le point de suivi entre avril et août, mais l'élément potentiellement limitant serait ici le phosphore plutôt que l'azote, contrairement à ce que nous constatons au sein des masses d'eau HC14 et HC15.

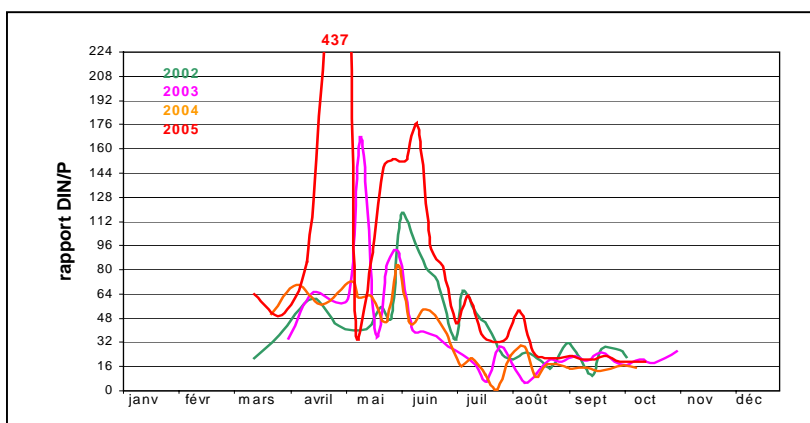
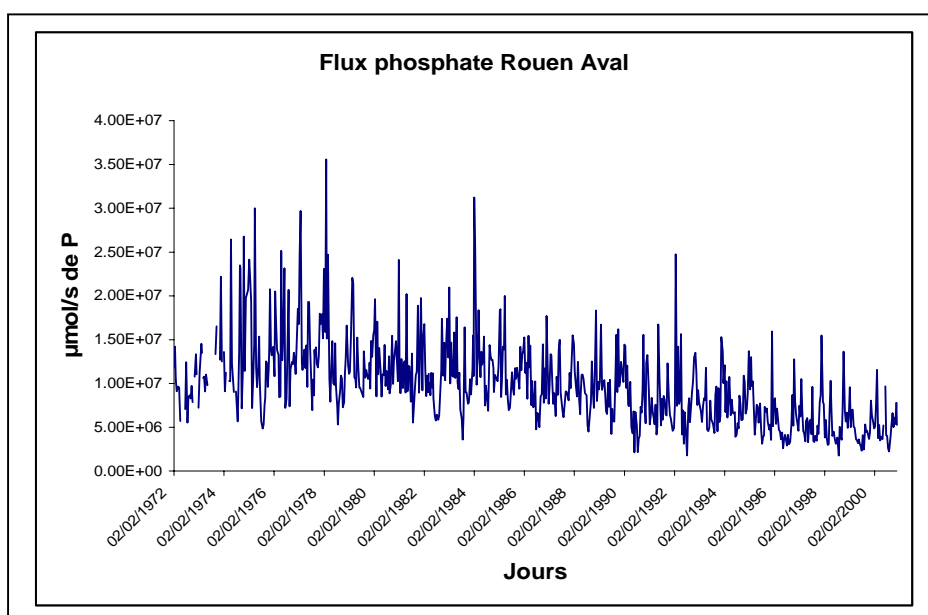


Figure 51 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore entre 2002 et 2005 à 'Antifer (masse d'eau HC16). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

L'explication de ce constat, qui mérite cependant d'être vérifié sur le long terme, pourrait tenir dans le fait que cette masse d'eau est sous l'influence directe de la Seine, et non plus de l'Orne comme le sont les masses d'eau HC14 et HC15. Or, les très importants programmes de déphosphatation des eaux usées menés sur Achères/Paris, Rouen, ainsi que sur d'autres STEP du grand bassin versant de la Seine ont permis une baisse des flux de phosphores depuis 30 ans (Figure 52).

Figure 52 : Evolution des flux de phosphate depuis 20 ans en aval de Rouen (données cellule antipollution de la Seine).



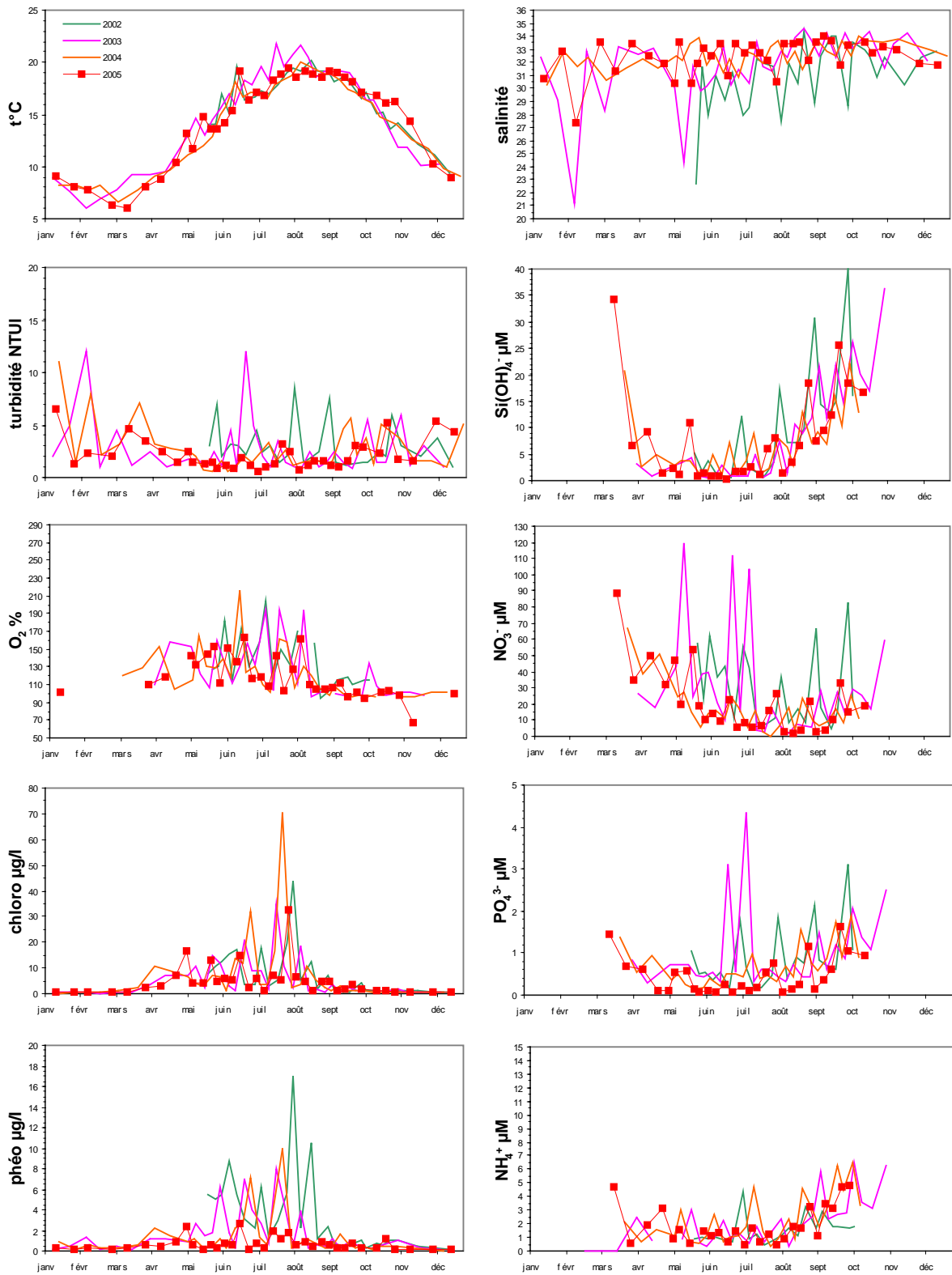


Figure 53 : Evolution des paramètres hydrologiques à Antifer entre 2001 et 2005.

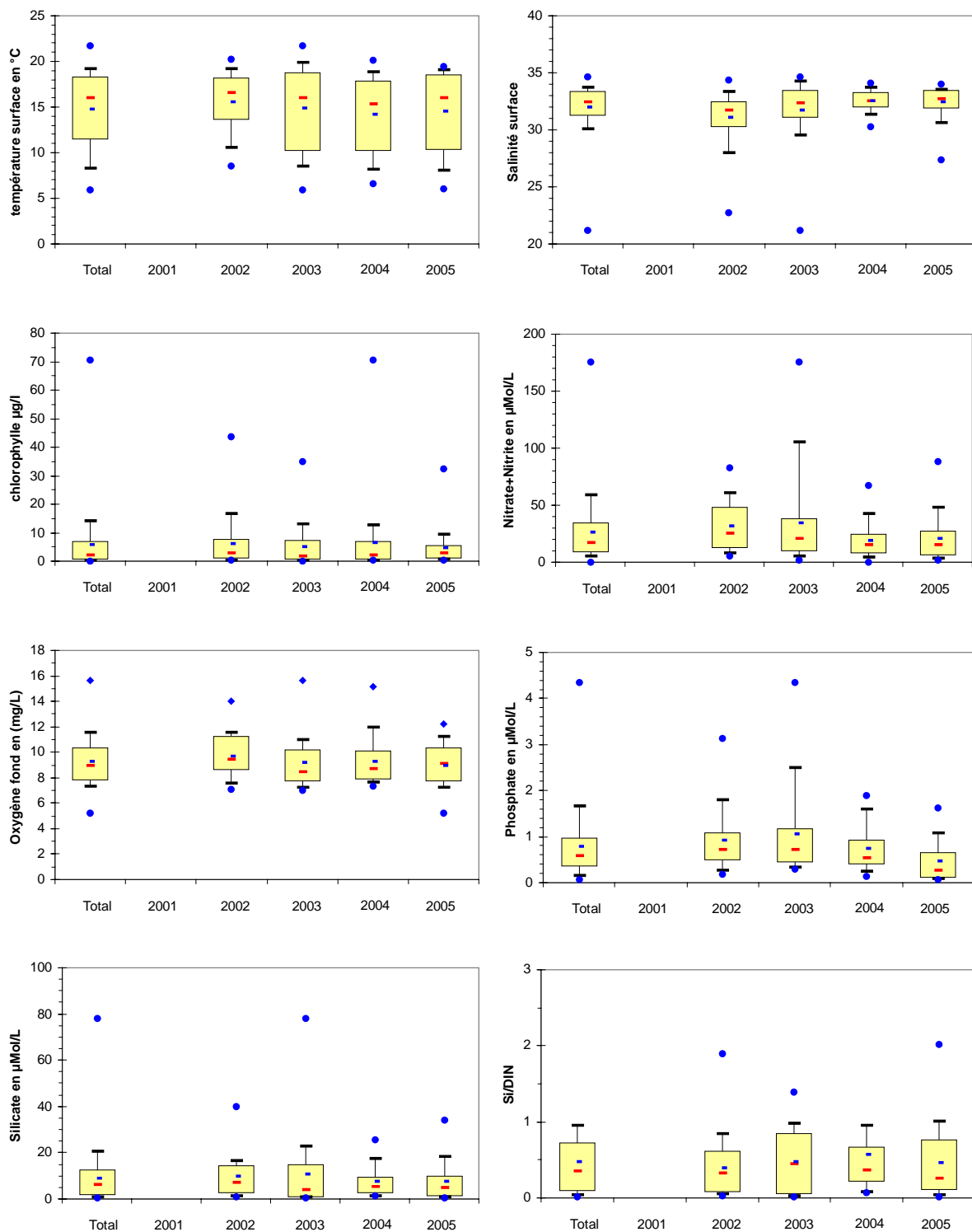


Figure 54 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Antifer entre 2001 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-); la boîte englobe 50 % des valeurs (□); les moustaches, 80 % des valeurs (-). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (•).

2.17 Masse d'eau HC17: Paluel et St Aubin, Dieppe et Penly

2.17.1 Paluel

Les données hydrologiques acquises à Paluel entre 1988 et 2005 dans le cadre du programme IGA et exploitées par le RHLN avec l'accord d'EDF sont présentées Figure 55. Le point de prélèvement est le point dit de « référence » de Paluel, c'est à dire situé hors de l'influence des rejets de la centrale nucléaire.

Les résultats obtenus en 2005 s'inscrivent dans l'évolution classique des paramètres hydrologiques mesurés depuis 1988.

Comme à Flamanville, ce suivi, même s'il ne porte que sur trois prélèvements annuels, permet néanmoins de mettre en évidence un cycle saisonnier classique :

- concentrations maximales de sels nutritifs et concentration minimale de chlorophylle a en hiver,
- consommation des sels nutritifs et augmentation de la concentration de chlorophylle a au printemps,
- processus de régénération des nutriments en automne.

Les biomasses chlorophylliennes sont comprises entre 1 et 7 µg/L, à l'exception de celles des prélèvements printaniers de 1998, 1991 et 1993 où des valeurs de 15.7, 24.9 et 46.0 µg/L de chlorophylle a ont respectivement été enregistrées. Ce secteur peut donc être le siège de développements phytoplanctoniques importants.

Il faut par ailleurs noter que les dénombrements micro-phytoplanctoniques montrent une régularité dans le remplacement de la population peu développée et dominée par *Thalassiosira sp.* lors de la période hivernale par une population légèrement plus diversifiée et dominée par *Rhizosolenia sp.* en été.

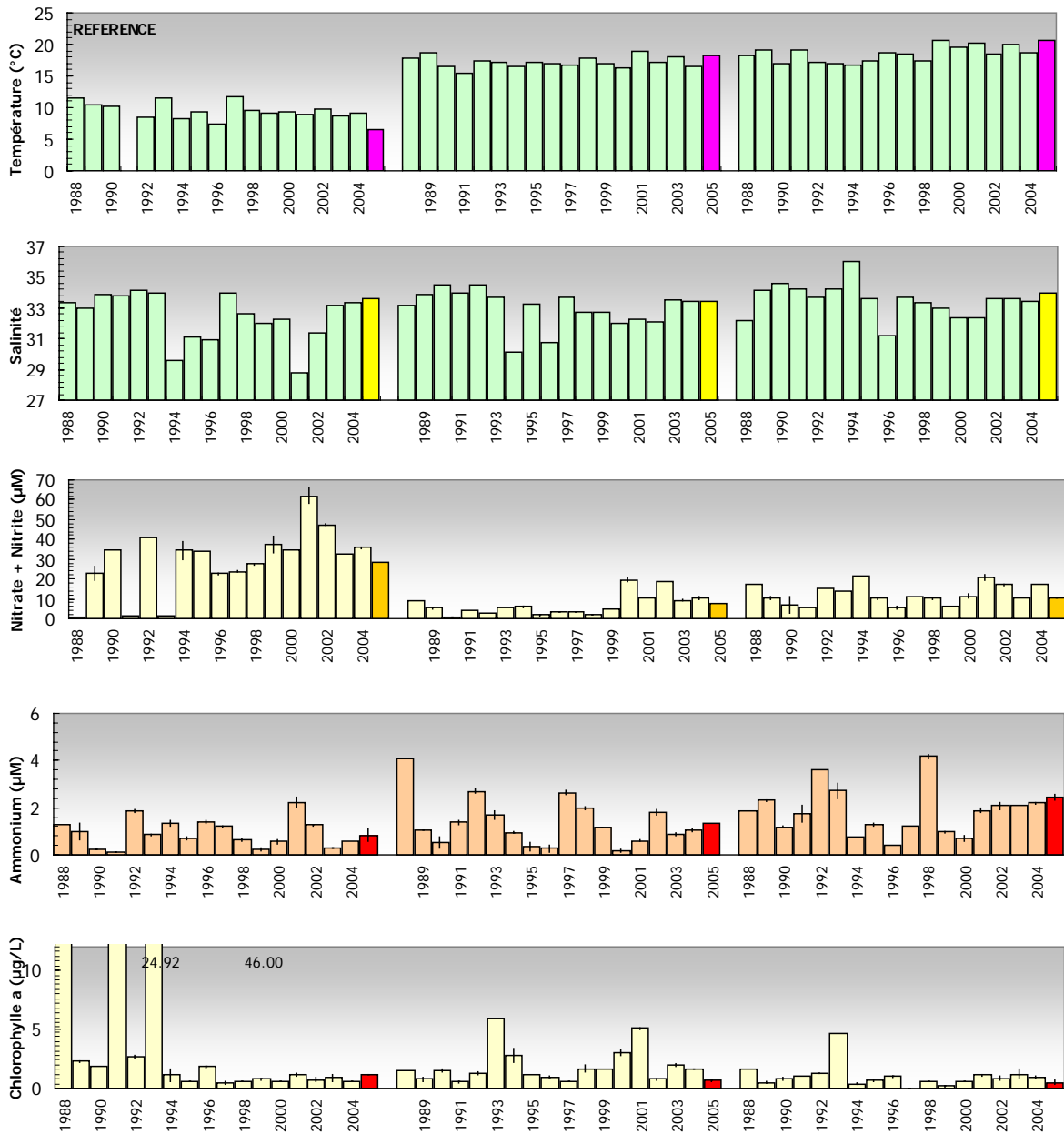


Figure 55 : Evolution des paramètres hydrologiques à la station « référence » de Paluel entre 1988 et 2005 (données EDF).

2.17.2 St Aubin

Les données hydrologiques acquises à St Aubin en 2004 et 2005 sont rassemblées sur les Figure 56 à 58.

Les variations de salinité à St Aubin sont peu importantes en 2004 et 2005 (1.5 pour mille au maximum sur les deux années de suivi).

Les turbidités atteignent par contre fréquemment 10 NTUI, ce qui peut, en partie, expliquer la biomasse chlorophyllienne relativement faible de cette masse d'eau : maximum de 8.57 µg/L de chlorophylle a atteint le 12 avril 2005, mais valeur moyenne sur les 2 années de suivi de 2.6µg/L, et percentile 90% (indicateur DCE) de 5.90 µg/L, ce qui situe cette masse d'eau, d'après ce paramètre, dans la classe « bon état ».

En 2005, la production a pu être limitée par le phosphore : biomasse chlorophyllienne inférieure à 2µg/L de début juin à fin septembre (Figure 57), avec un ratio azote/phosphore supérieur à 16 durant cette période (Figure 56). En 2004 les productions étaient plus élevées (légèrement) durant la période estivale, tout comme l'étaient les concentrations en phosphore, et le ratio N/P est passé par une valeur très basse, proche de zéro, à la mi août, indiquant une courte période de carence en azote, ce qui s'est traduit par une baisse de la biomasse chlorophyllienne de 4 à moins de 1 µg/L.

Aucune désoxygénation inférieure à 7.21 mg/L à signaler sur les deux années de suivi.

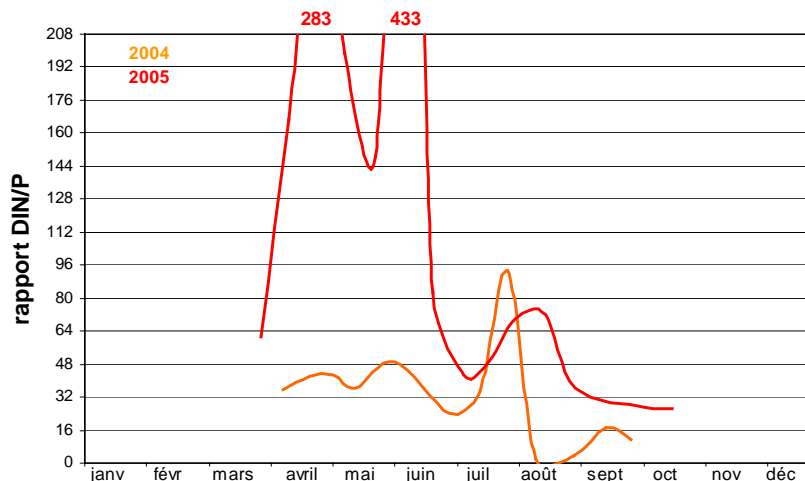


Figure 56 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur le point de suivi de St Aubin (masse d'eau HC17). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplanctonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

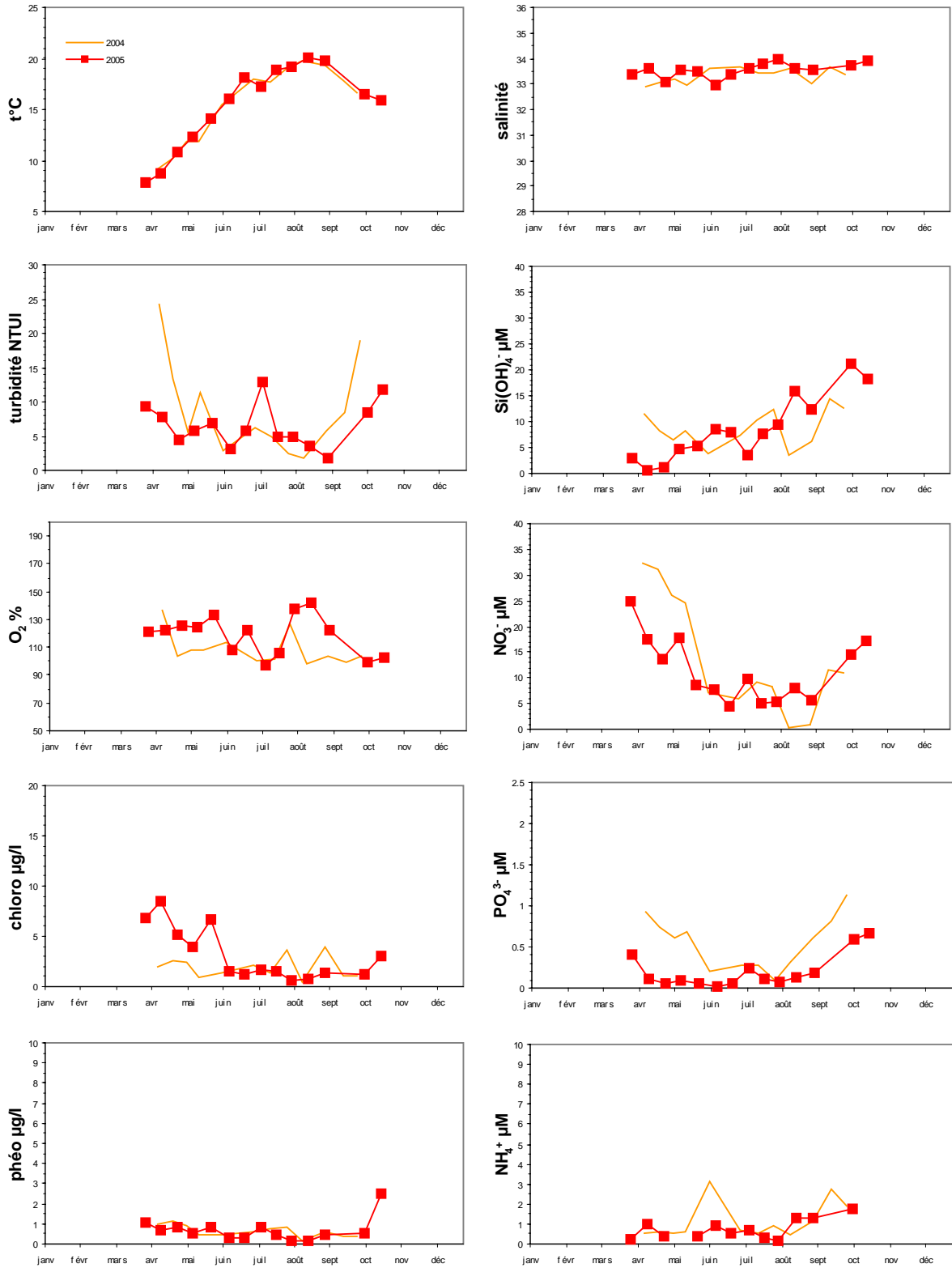


Figure 57 : Evolution des paramètres hydrologiques à St Aubin en 2004 et 2005.

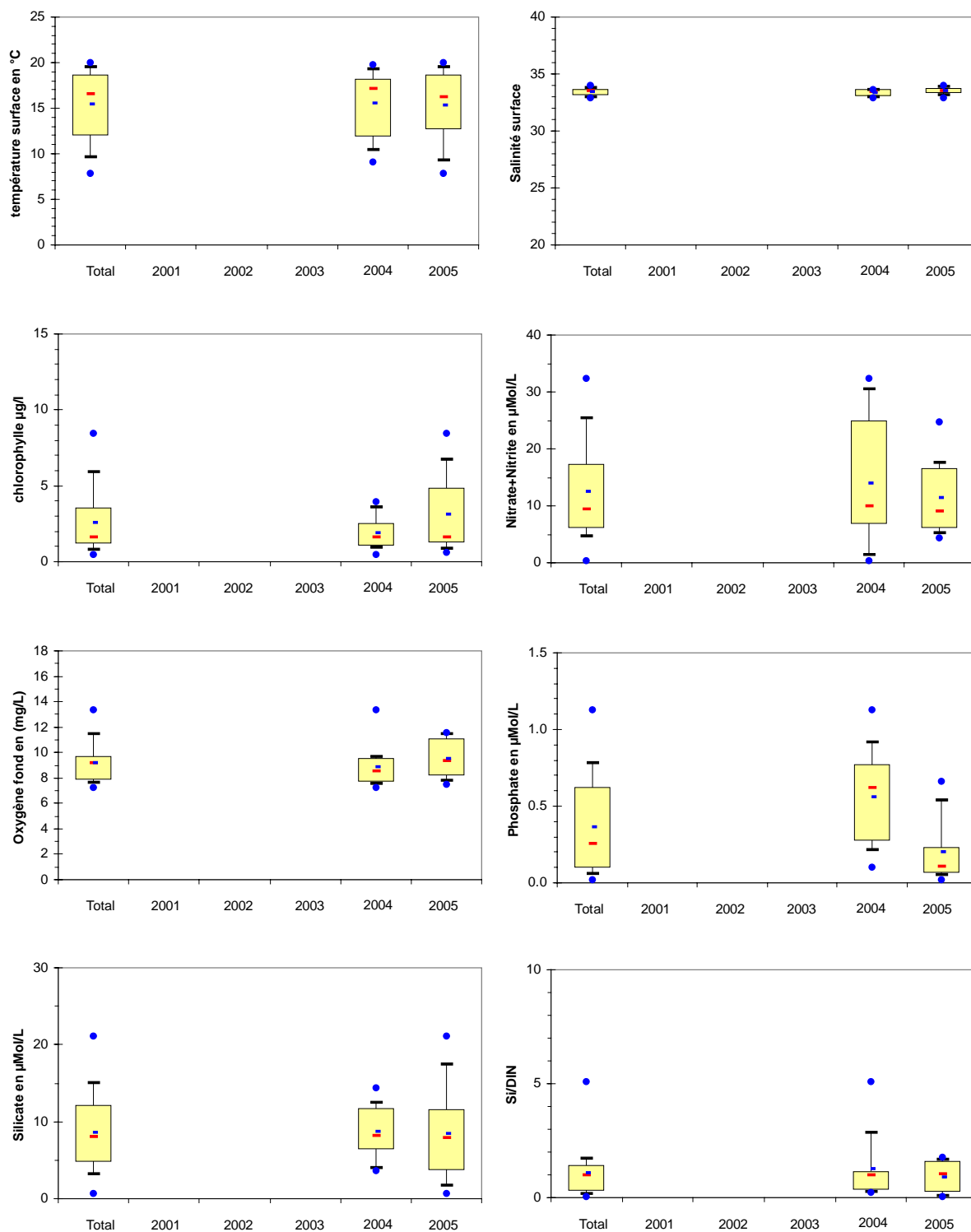


Figure 58 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à St Aubin en 2004 et 2005.

La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●).

2.18 Masse d'eau HC18: Dieppe et Penly

2.18.1 Dieppe

Les données hydrologiques mesurées à Dieppe en 2004 et 2005 sont rassemblées sur les Figures 59 à 61.

Ce point de suivi ne connaît que très peu de dessalures, qui plus de très faible amplitude. La turbidité maximale y culmine à 5 NTUI, bien que les biomasses chlorophylliennes y atteignent 10 µg/L. Deux blooms se sont succédés en début de période productive en 2005 : le premier a couvert tout le mois d'avril (biomasse chlorophyllienne comprise en 8 et 10 µg/L d'eau de mer), reposant principalement sur l'espèce *Rhizosolenia delicatula* (360 000 cell/L), mais aussi sur *Rhizosolenia imbricata* (82 000 cell/L) et *Rhizosolenia fragilissima* (25 000 cell/L), ainsi que sur *Pseudo-nitzschia* sp. (76 000 cell/L). Le deuxième bloom 2005 a été enregistré mi mai (8.24 µg/L de chlorophylle a), et reposait essentiellement sur *Rhizosolenia delicatula* (520 000 cell/L).

A partir du début du mois de juillet 2005, les concentrations en chlorophylle a sont restées inférieures à 2 µg/L, le nutriment probablement responsable de la carence étant le phosphore (comme en 2004 ; une carence potentielle par l'azote apparaît fin juillet 2004 sur la Figure 58, mais elle correspond à une petite efflorescence phytoplantonique, visible sur la Figure 60).

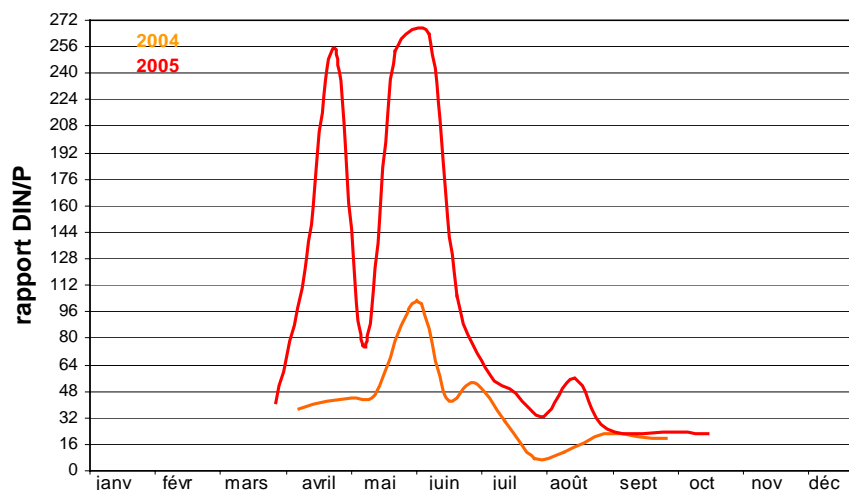


Figure 59 : évolutions mensuelles du rapport Azote sur Phosphore en 2004 et 2005 sur le point de suivi de Dieppe (masse d'eau HC18). La valeur 16 représente le rapport molaire théorique « d'équilibre » au large, ce qui correspond également à l'optimum de croissance phytoplantonique donné par Redfield et al en 1963 et DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) représente la somme des teneurs obtenues par date (en µM) en nitrate, nitrite et ammonium.

Cette masse d'eau n'a pas connu de désoxygénation marquée au cours des deux années de suivi (minimum de 7.41 mg/L enregistré le 31 août 2004).

Enfin, on peut noter que la régénération de l'ammonium semble très peu marquée au niveau de ce point de suivi.

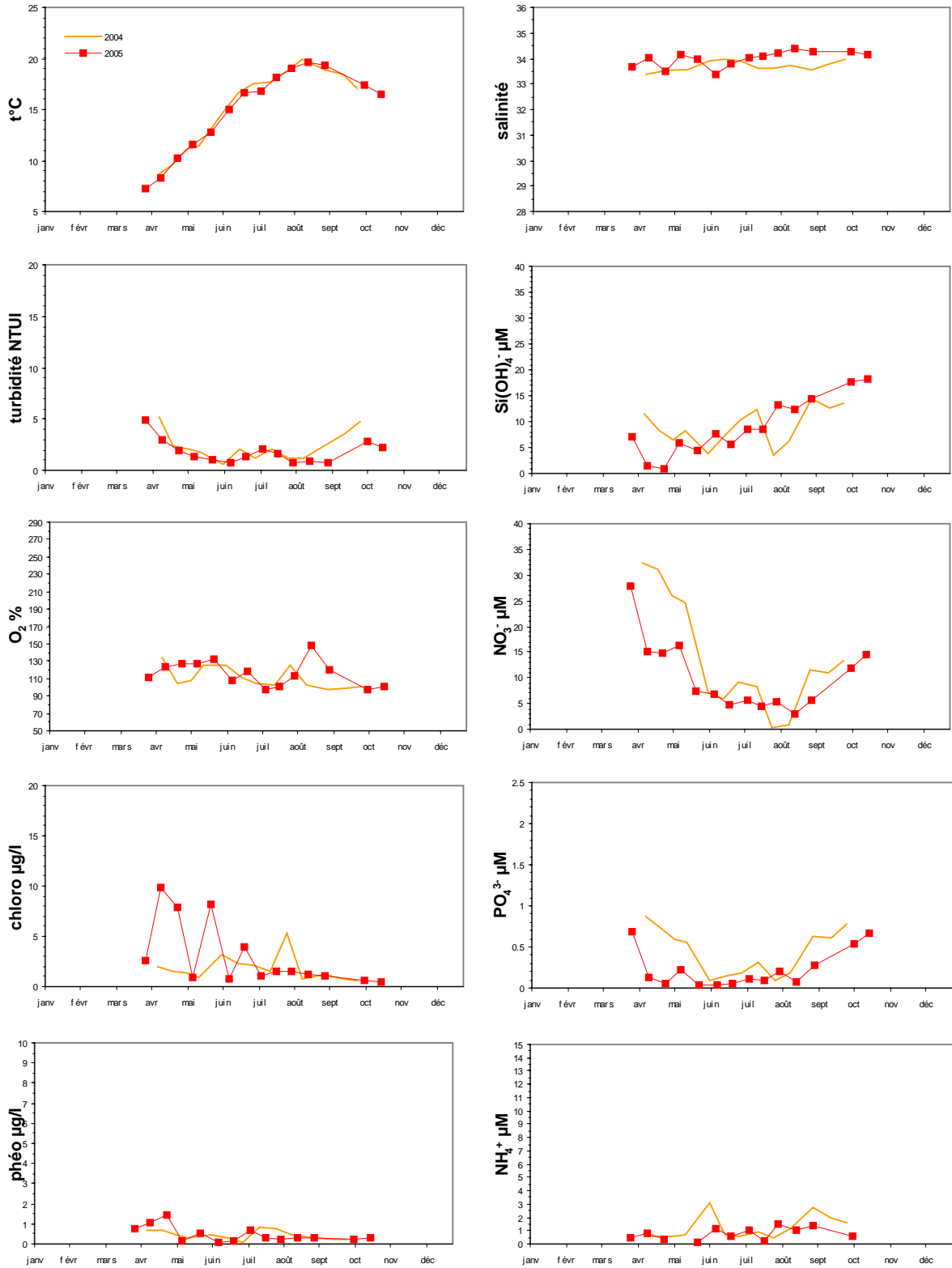


Figure 60 : Evolution des paramètres hydrologiques à Dieppe en 2004 et 2005.

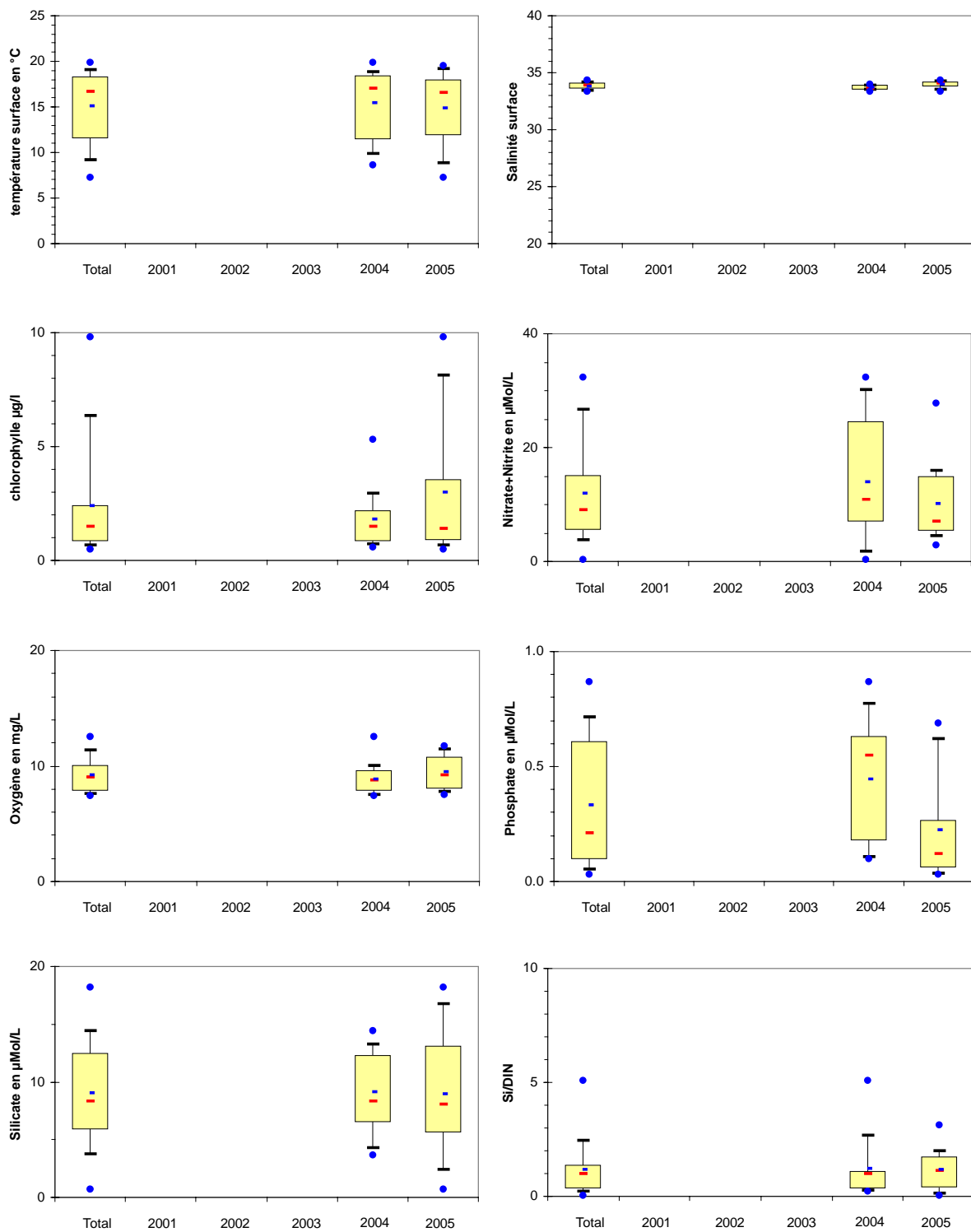


Figure 61 : Distributions des principaux paramètres hydrologiques enregistrés à Dieppe en 2004 et 2005.
La barre rouge représente la médiane (-) et le trait bleu la moyenne (-) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches, 80 % des valeurs (-). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (•).

2.18.2 Penly

Les données hydrologiques acquises à Penly entre 1989 et 2005 dans le cadre du programme IGA et exploitées par le RHLN avec l'accord d'EDF sont rassemblées sur la Figure 62. Le point de prélèvement est le point dit de « référence » de Penly, c'est à dire situé hors de l'influence des rejets de la centrale nucléaire.

Les résultats obtenus en 2005 s'inscrivent dans l'évolution classique des paramètres hydrologiques mesurés depuis 1989.

Comme à Flamanville et Paluel, les résultats de la surveillance portant sur trois prélèvements annuels permettent de mettre en évidence un cycle saisonnier classique :

- concentrations maximales de sels nutritifs et concentration minimale de chlorophylle a en hiver,
- consommation des sels nutritifs et augmentation de la concentration de chlorophylle a au printemps,
- processus de régénération des nutriments en automne.

Les biomasses chlorophylliennes enregistrées depuis 1989 sont comprises entre 1 et 16 µg/L de chlorophylle a.

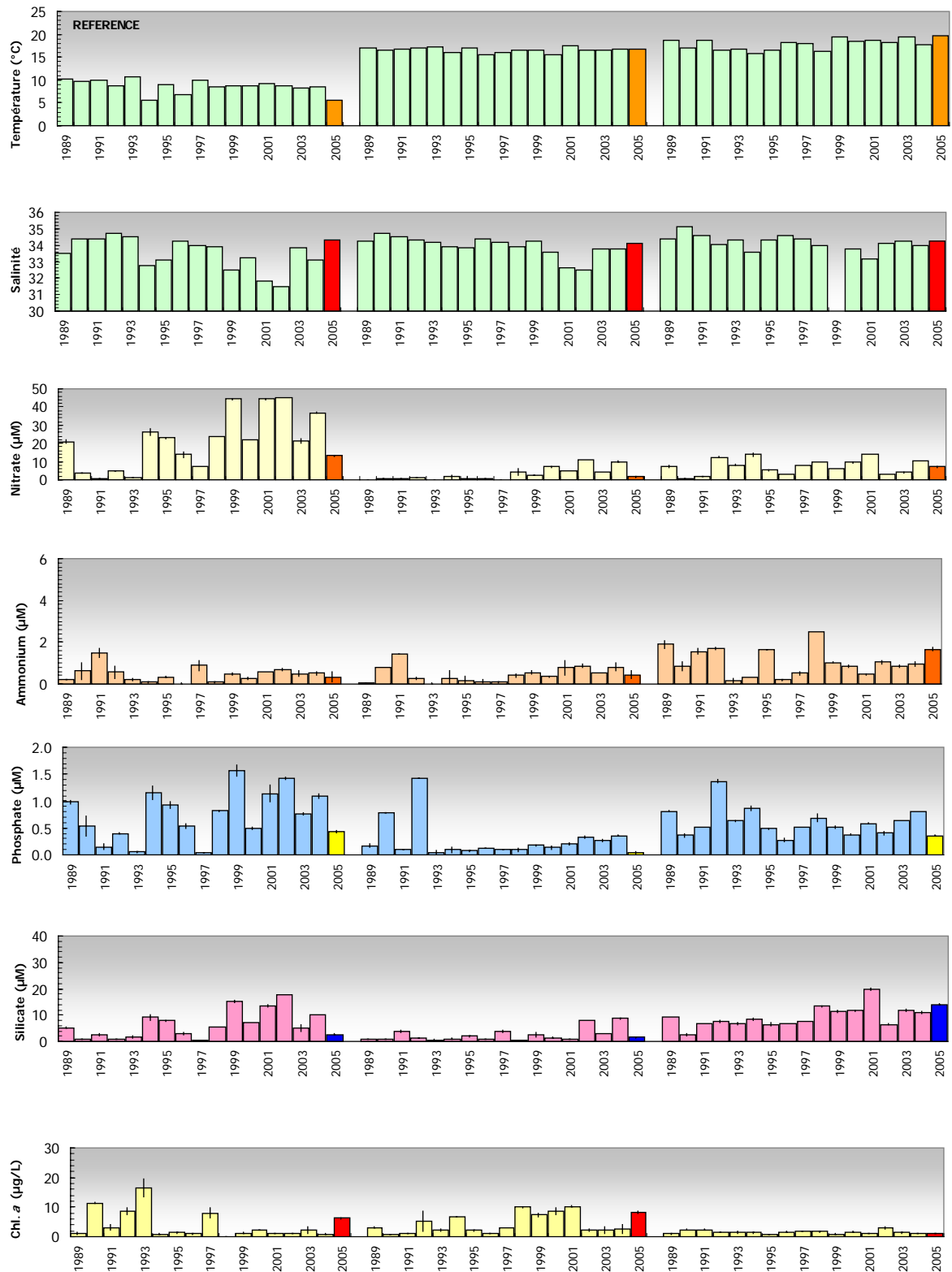


Figure 62 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Penly entre 1989 et 2005 (données EDF).

3 EVALUATION DES NIVEAUX D'EUTROPHISATION

Les abréviations suivantes sont couramment utilisées dans ce chapitre : Canc pour Cancale, Hacq pour Hacqueville, Donv pour Donville, Chau pour Chausey, Gruch pour Gruchy, CHpo pour Cherbourg Port, ChLa pour Cherbourg large, Lévy pour Cap Lévy, Revi pour Réville, StVa pour St Vaast la Hougue, StGer pour St Germain de Varreville, Géfo pour Géfosse, Gran pour Grandcamp, PB pour Port en Bessin, Meuv pour Meuvaines, Essa pour les Essarts, Luc pour Luc sur Mer, Ouist pour Ouistreham, Cabo pour Cabourg, Antif pour Antifer, Aubin pour St Aubin, et Diep pour Dieppe.

Lors des premières phases préparatoires du RHLN, différents indicateurs permettant de qualifier la qualité des eaux littorales normandes ont été testés (Daniel et Le Goff, 2002 ; Daniel, 2004 ; Le Goff, Riou et Daniel, 2005), avec pour objectif de retranscrire au mieux le gradient d'eutrophisation existant depuis la côte Ouest Cotentin jusqu'à la partie la plus orientale de la baie de Seine, entre Cabourg et Antifer, zone qui présente des signes manifestes d'eutrophisation certaines années.

Parallèlement, des groupes de travail DCE phytoplancton nationaux et européens ont également travaillé sur cette problématique, mais à leurs échelles, i.e. en utilisant des jeux de données dépassant largement celui fourni par le RHLN.

Rien n'est, à la fin décembre 2006, définitivement arrêté, et il n'y a pas d'accord entre les propositions Ifremer, les recommandations du groupe européen, et la position du MEDD.

Il semblerait cependant que sur les 4 indicateurs proposés par le RHLN en 2005, seuls deux seraient retenus : il s'agit des indicateurs percentile 90 de la chlorophylle a mesurée en sub-surface (en µg/L) et du percentile 10 de l'oxygène dissous mesuré au fond (exprimé en mg/L).

Les indicateurs « Si/DIN », et « Dinoflagellés/Diatomées » ne seraient pas repris dans le projet (de fin décembre 2006) du MEDD de « circulaire relative à la mise en œuvre des programmes de surveillance pour les eaux littorales en application de la Directive DCE 2000/60/DCE du 23 octobre 2000 ».

Les indicateurs « nombre de blooms dépassant les 100 000 cell/L » (par espèce, quelles que soient les espèces) d'une part, et « nombre de blooms dépassant le million de cell/L » (espèces « toxiques ») leur seraient préférés, mais sans que nous ne sachions, à ce jour, si les blooms supérieurs à 1 million de cellules ne doivent concerner que *Phaeocystis sp.*, ou également d'autres espèces « nuisibles » (on peut penser à *Pseudo-nitzschia sp.* notamment).

Nous avons testé cet indicateur « nombre de blooms » dans le cadre des phases préparatoires du RHLN (Daniel, 2004), mais ne l'avons pas retenu à l'époque car les résultats qu'il produit sont sous la dépendance directe des fréquences d'échantillonnage. Les fréquences du RHLN à l'époque étaient calquées sur celles du Réphy, réseau qui impose d'augmenter les fréquences de prélèvements lors des blooms. Ceci avait pour conséquence de biaiser les jeux de données, avec renforcement des prélèvements sur les secteurs les plus productifs (prélèvements hebdomadaires vs bimensuels sur les secteurs moins productifs). Les fréquences des réseaux phytoplancton DCE (et donc du RHLN) ne sont toujours pas fixées à la fin décembre 2006, mais seront *a priori* « régulières », avec le même

nombre de prélèvements sur tous les points de suivi, ce qui permettra de redonner de la robustesse à cet indicateur, et de justifier sa ré-utilisation.

La grille «pressentie » (à la fin 2006) peut donc être synthétisée comme ci dessous (Figure 63), en sachant qu'il se pourrait qu'elle évolue encore avant la fin 2007.

Indicateur	Variable	unité	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Etat médiocre	Etat mauvais
Chlorophylle surface	percentile 90	µg/L	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	> à 5	de 3 à 5	de 2 à 3	de 1 à 2	< à 1
Nombre de blooms avec dépassement du seuil de 100 000 cell/L sur 6 ans	moyenne annuelle	nombre	de 0 à 15 ou	de 15 à 30 ou	de 30 à 45 ou	de 45 à 60 ou	> à 60 ou
	pourcentage	pourcentage	< à 20%	de 20 à 40%	de 40 à 70%	de 70 à 90%	> à 90%
Nombre de blooms d'espèces nuisibles (>1 000 000 cell/L) sur 6 ans	moyenne annuelle	nombre	de 0 à 1 ou	de 2 à 3 ou	de 3 à 6 ou	de 6 à 10 ou	> à 10 ou
	pourcentage	pourcentage	< à 10%	de 10 à 18%	de 18 à 36%	de 36 à 80%	ou > à 80%

Figure 63 : Grille des indicateurs d'eutrophisation en cours de définition/validation par le MEDD et l'UE à la fin décembre 2006.

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

Les boîtes à moustaches obtenues sur la période 2001/2005 avec l'indicateur chlorophylle a (Figure 64) confirment le gradient entre les points de la côte Ouest Cotentin (Hacqueville, Donville, Causey) et ceux de la partie orientale de la baie de Seine (Ouireham, Cabourg, Antifer). Le nord Cotentin (Gruchy, Cherbourg Port et Large, Cap Lévy), étudié en 2004 et 2005, présente des boîtes à moustaches comparables à celles des points de la Seine Maritime (St Aubin et Dieppe).

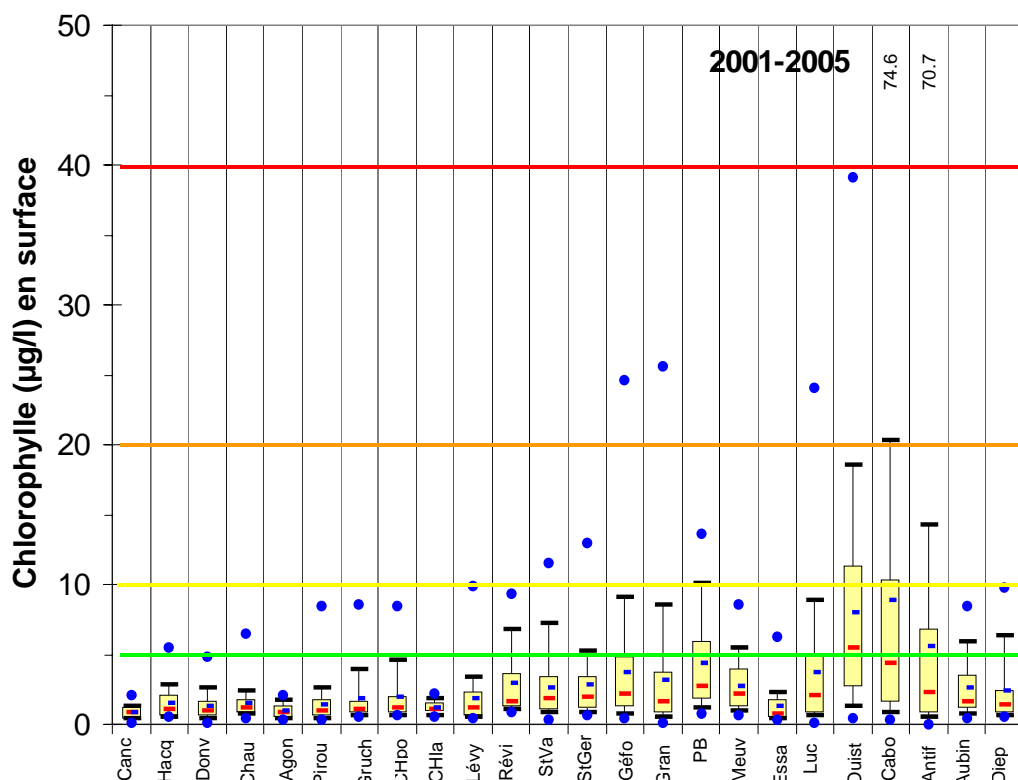


Figure 64: « Boîtes à moustaches » obtenues avec les données de chlorophylle-a mesurées en surface lors des périodes productives entre 2001 et 2005 pour l'ensemble des points de prélèvement suivis par le RHLN (les lignes de couleur correspondent aux valeurs seuils des différentes classes de qualité retenues)

la boîte englobe 50% des valeurs (□).

Les moustaches englobent 80% des valeurs (┌, ┐), et leurs extrémités représentent donc les percentiles 10 et 90%.

Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (•). Le trait rouge représente la médiane (-) et le trait bleu (-) la moyenne.

L'évaluation de la qualité des masses d'eau selon les seuils proposés (Figure 63) est donnée par la Figure 65.

A quelques exceptions près, les classements ont tendance à s'améliorer entre 2001 (année pluvieuse) et 2005 (année sèche, faisant elle même suite à 2 années sèches, 2003 et 2004). Les plus mauvais résultats sont enregistrés dans la zone de l'estuaire de Seine au sens large (de Ouistreham, et même Luc sur Mer, jusqu'à Antifer).

Au contraire, tous les résultats annuels obtenus sur la côte ouest du Cotentin (de Hacqueville à Pirou) font état d'une très bonne qualité des masses d'eau.

Le long de la côte Nord Cotentin, et jusqu'à St Vaast la Hougue (Gruchy, Cherbourg Port et Cherbourg Large, Cap Lévy, Réville/Barfleur et St Vaast), nous ne disposons que de 3 années de suivi au maximum, entre 2003, 2004 et 2005, années plutôt « sèches », et où les biomasses chlorophylliennes sont restées contenues. Les résultats obtenus classent ces masses d'eau entre le très bon état et le bon état, mais ces résultats ne doivent être considérés que comme provisoires, et seront affinés au fur et à mesure du suivi (qui sera réalisé en un point situé à la limite entre les masses d'eau HC6 et HC6M Cherbourg Port « digue de Querqueville » à l'avenir).

La baie des Veys (Géfosse et Grandcamp) est classée entre le bon état et l'état moyen selon que l'on considère le percentile 90 de l'ensemble des résultats obtenus depuis 2001, ou le plus mauvais résultat obtenu annuellement sur toute la durée du suivi³. Il s'agit de deux masses d'eau qui présentent chaque année des premiers blooms de forte intensité (jusqu'aux alentours de 25 µg/L de chlorophylle a), mais dont la biomasse chlorophyllienne baisse rapidement par la suite, pour ne plus excéder 3 à 5 µg/L durant l'été et l'automne.

Selon la méthode d'évaluation globale de la qualité, Ouistreham est soit en état moyen, soit en état médiocre, et Cabourg, masse d'eau la plus mal classée des côtes de Normandie, se situe entre l'état médiocre et le mauvais état (maximum de 74.6µg/L de chlorophylle a enregistré en 2001).

Antifer, bien qu'ayant présenté un maximum comparable (70.7 µg/L en 2002) est mieux classé, dans la catégorie état moyen.

Nom du point	Masse d'eau						Synthèse globale	
		2001	2002	2003	2004	2005	percentile 90 période 2001-2005	plus mauvais classement annuel
Cancale	Bretagne				1.4	1.5	1.5	1.5
Hacqueville	HC02				3.5	2.3	2.9	3.5
Chausey	HC01	3.7	3.3	2.4	1.4	2.1	2.4	3.7
Roc&Donville	HC03	2.8	2.9	2.6	2.3	1.8	2.7	2.9
Agon	HC03	1.4	1.5	3.2	1.8	1.4	1.8	3.2
Pirou	HC03	2.1	2.1	4.3	2.9	1.8	2.7	4.3
Gruchy	HC05				6.4	1.9	3.4	6.4
Cherbourg large	HC06					1.9	1.9	1.9
Cherbourg Port	HC6M				5.4	1.9	4.6	5.4
Cap Lévy	HC07				5.4	2.1	3.4	5.4
Réville (+Barfleur)	HC08				6.6	6.8	6.8	6.8
St Vaast Sud	HC09			3.8	8.0	7.2	7.2	8.0
St Germain de Varreville	HC10	8.8	4.1	3.5	3.3	5.1	5.3	8.8
Géfosse	HT6M		10.6	9.6	7.4	6.8	9.1	10.6
Grandcamp	HC10	9.9	8.7	10.1	4.4	6.2	8.6	10.1
Port en Bessin	HC11				11.2	8.3	10.1	11.2
Meuvaines	HC12				5.6	3.5	5.5	5.6
Les Essarts	HC13				3.1	2.3	2.4	3.1
Luc sur Mer	HC14	11.1	6.9	11.8	7.6	5.2	8.9	11.8
Ouistreham	HC14	15.9	16.3	22.3	21.1	9.9	18.6	22.3
Cabourg	HC15	41.9	20.0	20.1	24.5	15.7	20.3	41.9
Antifer	HC16		16.7	13.3	12.6	9.6	14.3	16.7
St Aubin Seine Maritime	HC17				3.6	6.8	5.9	6.8
Dieppe	HC18				3.0	8.2	6.4	8.2

Figure 65 : Percentile 90 des valeurs de chlorophylle-a au cours des périodes productives de 2001 à 2005, ainsi que sur le cumul 2001-2005. Evaluation de la qualité des masses d'eau au moyen de l'indicateur chlorophylle a actuellement retenu, par année, puis globalement sur la période 2001-2005, et enfin en utilisant le plus mauvais classement annuel obtenu sur chacun des points.

Enfin, les 2 points du nord-est de la Seine Maritime, St Aubin et Dieppe, sont classés en bon état quelle que soit la méthode de synthèse. Mais là encore, les suivis n'ont porté que sur les

³ nous ne disposons pas à la fin décembre 2006 d'instruction de la part du MEDD ou de l'UE concernant la méthode de synthèse pluriannuelle des indicateurs, mais ceci devrait être précisé par la circulaire du MEDD en cours d'élaboration.

3 dernières années, et ces résultats demanderont confirmation (dans le cadre d'IGA, des pics de biomasse dépassant 25µg/L ont déjà été enregistrés sur le point « référence » de Paluel, démontrant le potentiel important de production chlorophyllienne de cette masse d'eau).

3.2 Evaluation au moyen de l'indicateur oxygène dissous

Tous les points de prélèvement (Figures 66 et 67) ont présenté au cours de la période productive de 2001 à 2005 des percentiles 10 % de leurs concentrations en oxygène dissous au fond supérieurs au seuil séparant le très bon état du bon état écologique (5 mg/L).

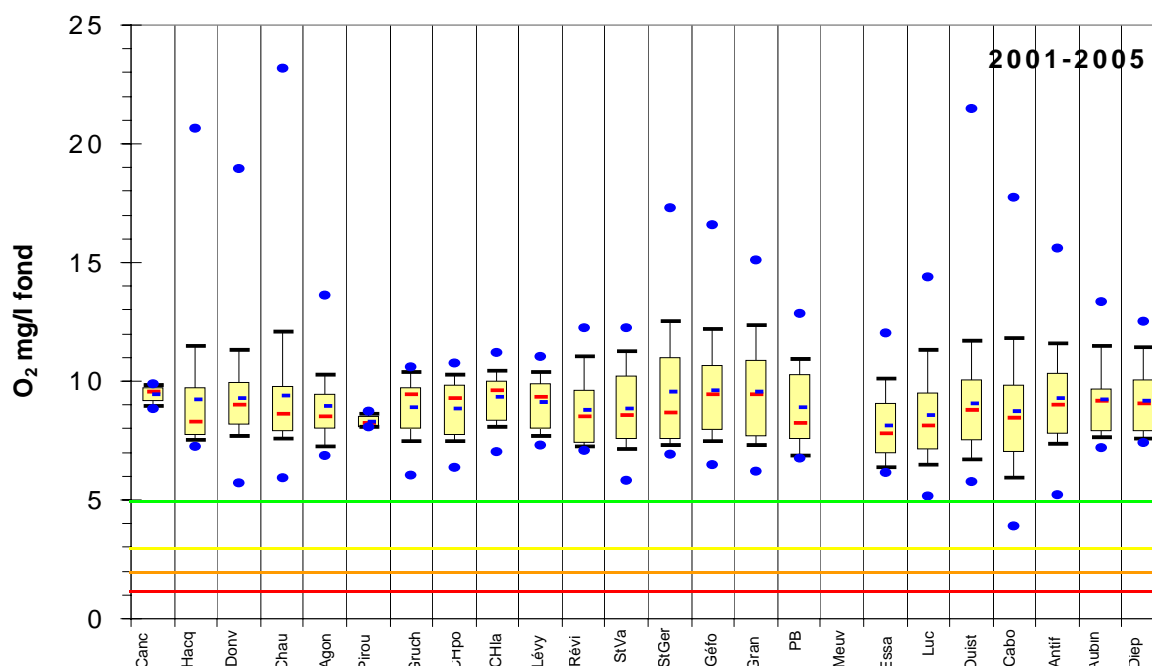


Figure 66 : Boîte à moustaches obtenues pour les données de concentration d'oxygène dissous mesurées au fond de la colonne d'eau au cours des périodes productives entre 2001 et 2005 sur l'ensemble des points de prélèvements suivis par le RHLN. la boîte englobe 50% des valeurs (□) et les moustaches 80% des valeurs (┘). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le trait rouge représente la médiane (-) et le trait bleu (-) la moyenne.

Seuls les quatre plus mauvais résultats obtenus dans le cadre du RHLN, tous enregistrés à Cabourg en 2003 et 2004, ont été inférieurs à 5 mg/L (4.22 mg/L le 11 juillet 2003, 4.55 mg/L le 16 juillet 2003, 3.89 mg/L le 2 août 2004 et 4.47 mg/L le 9 août 2004). On peut donc conclure que les masses d'eau normandes ne connaissent pas véritablement d'hypoxie liée au phénomène d'eutrophisation⁴.

⁴ Des phénomènes extrêmement localisés, à l'occasion d'échouage d'algues épaves arrachées de leurs supports rocheux à l'occasion de coups de vent, ont été rapportés (Le Goff, Riou et Daniel, 2005 ; échouages majoritairement composés d'algues brunes) le long des côtes du Calvados, mais ces désoxygénations très passagères ne constituent pas une manifestation d'eutrophisation car les développements algaux qui les génèrent n'ont rien d'exceptionnel. Des développements et échouages d'algues vertes (ulves et entéromorphes) sont par contre constatés de plus en plus fréquemment dans le sud de Granville, mais nous ne disposons pas de données relatives aux éventuelles hypoxies qu'elles sont susceptibles de générer, et qui constitueraient des manifestations d'eutrophisation du fait du caractère excessif des développements algaux.

Ceci est confirmé par les enregistrements des bouées Marel Seine, positionnées dans l'estuaire de Seine (Daniel et Le Goff 2002 ; Daniel 2004), et qui n'ont jamais détecté de sous saturations en oxygène inférieures à 60 %.

De ce fait, toutes les masses d'eau normandes apparaissent comme étant en très bon état (Cf. Figure 67) du point de vue de cet indicateur.

Nom du point	Masse d'eau	2001	2002	2003	2004	2005	Synthèse globale	
							percentile 10 période 2001-2005	plus mauvais classement annuel
Cancale	Bretagne							
Hacqueville	HC02				7.5	7.6	7.6	7.5
Chausey	HC01	7.0	7.9	7.6	7.8	7.6	7.6	7.0
Roc&Donville	HC03	6.4	8.2	7.6	7.8	7.7	7.7	6.4
Agon	HC03	7.1			8.0		7.3	7.1
Pirou	HC03	8.1					8.1	8.1
Gruchy	HC05				7.7	6.9	7.5	6.9
Cherbourg large	HC06					8.1	8.1	8.1
Cherbourg Port	HC6M				7.7	7.0	7.5	7.0
Cap Lévy	HC07				7.6	7.0	7.3	7.0
Réville (+Barfleur)	HC08				7.3	7.3	7.3	7.3
St Vaast Sud	HC09			7.0	7.4	7.4	7.1	7.0
St Germain de Varreville	HC10	7.1			7.5	8.2	7.3	7.1
Géfosse	HT6M		7.8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Grandcamp	HC10	7.7	7.7	7.1	7.5	7.4	7.3	7.1
Port en Bessin	HC11				7.3	6.8	6.9	6.8
Meuvaines	HC12				7.1	7.9	7.3	7.1
Les Essarts	HC13				6.9	6.3	6.4	6.3
Luc sur Mer	HC14	6.3	7.1	6.4	6.7	6.5	6.5	6.4
Ouistreham	HC14	6.1	7.6	6.5	7.3	6.6	6.7	6.1
Cabourg	HC15	6.6	7.2	5.7	6.3	6.2	5.9	5.7
Antifer	HC16		7.6	7.2	7.6	7.3	7.3	7.2
St Aubin Seine Maritime	HC17				7.6	7.8	7.6	7.6
Dieppe	HC18				7.6	7.8	7.6	7.6

Figure 67 : Classification du percentile 10 des concentrations en oxygène dissous (et valeurs en mg/L de ces percentiles 10) mesurées au fond lors des périodes productives de 2001 à 2005, par année, puis globalement (percentile 10 de l'ensemble des données acquises sur le point entre 2001 et 2005 d'une part, et plus mauvais résultat annuel enregistré sur le point d'autre part).

3.3 Evaluation de la qualité des eaux normandes au moyen des deux indicateurs « nombre de blooms »

Le nombre de prélèvements au cours desquels une ou plusieurs espèces phytoplanctoniques ont dépassé les valeurs seuils de 100 000 ou d'un million de cellules par litre a été recensé sur chacun des points de suivi (base Quadrigé, données RHLN, Réphy et IGA ; Figure 68).

Nom du point	Masse d'eau	nombre de flores réalisées au total sur le point	Nombre de prélèvements où au moins une espèce présente une concentration supérieure à 100 000 cellules par litre d'eau de mer		Nombre de prélèvements où au moins une espèce présente une concentration supérieure à 1 000 000 de cellules par litre d'eau de mer	
			Nombre	%	nombre	%
Cancale	Bretagne	177	12	6.8	4	2.3
Hacqueville	HC02	30	4	13.3		0.0
Chausey	HC01	79	9	11.4	4	5.1
Roc&Donville	HC03	135	17	12.6	6	4.4
Agon	HC03	70	8	11.4	3	4.3
Pirou	HC03	61	9	14.8	3	4.9
Gruchy	HC05	19	1	5.3		0.0
Cherbourg large	HC06	13	1	7.7		0.0
Cherbourg Port	HC6M	20	1	5.0		0.0
Cap Lévy	HC07	19	2	10.5		0.0
Réville (+Barfleur)	HC08	35	16	45.7	3	8.6
St Vaast Sud	HC09	59	15	25.4	5	8.5
St Germain de Varreville	HC10	98	21	21.4	6	6.1
Géfosse	HT6M	92	34	37.0	8	8.7
Grandcamp	HC10	160	35	21.9	9	5.6
Port en Bessin	HC11	46	23	50.0	10	21.7
Meuvaines	HC12	47	11	23.4	3	6.4
Les Essarts	HC13	57	7	12.3		0.0
Luc sur Mer	HC14	174	52	29.9	17	9.8
Ouistreham	HC14	145	60	41.4	30	20.7
Cabourg	HC15	174	80	46.0	36	20.7
Bouée Carosse	HT3M	27	10	37.0	9	33.3
Antifer	HC16	220	58	26.4	29	13.2
St Aubin Seine Maritime	HC17	26	3	11.5	1	3.8
Dieppe	HC18	46	6	13.0	2	4.3

Figure 68 : Classification des masses d'eau en fonction du nombre de blooms dépassant les valeurs seuils de 100 000 et de un million de cellules par litre sur les 6 dernières années (entre 2000 et 2005).

L'indicateur reposant sur le seuil de 100 000 cellules par litre (sur la période de 6 ans comprise entre 2000 et 2005) semble être légèrement plus discriminant que celui basé sur le dépassement du seuil de un million de cellules par litre.

Les deux font apparaître Port en Bessin comme étant de qualité moyenne, ce qui confirme l'évaluation de qualité fournie par l'indicateur chlorophylle a.

Cabourg apparaît également comme étant de qualité moyenne avec ces deux indicateurs, mais Ouistreham figure dans la catégorie bon état avec l'indicateur « 1 million de cellules/L ».

Réville est un point sur lequel seules 35 flores ont été réalisées à ce jour⁵, et où 16 d'entre elles ont présenté au moins une espèce phytoplanctonique dépassant le seuil de 100 000 cellules par litre. Ceci entraîne un classement de la masse d'eau HC08 en état moyen, mais mériterait d'être évalué/confirmé sur du plus long terme.

La toute première hypothèse formulée pour tenter d'expliquer ce nombre important d'efflorescences découle des travaux de Ménesguen et Gohin. (2006) qui confirment l'existence de différents types de gyres à l'échelle de la Manche : gyres « confinants » (tourbillons qui vont confiner les particules injectées) et « gyres expulsants » (tourbillons qui vont au contraire expulser les particules injectées). Au regard de la Figure 69, on constate que les tourbillons de la baie de Seine, et notamment ceux d'Antifer (B), de Port-en-Bessin (D), et de Ouistreham (C) sont plus confinants que ceux observés autour des îles de la côte ouest Cotentin (N, Q, R). Cette propriété pourrait être une des origines de la moindre qualité des masses d'eau de la Baie de Seine, renforçant encore l'effet des apports nutritifs qui y

⁵ 25 données sur le point RHLN de Réville situé à 1 mille de la côte auxquelles ont été ajoutées les 10 données Réphy disponibles acquises sur le point « Barfleur » situé à 5 milles de la côte.

sont déjà plus importants que dans nombre d'autres masses d'eau. En ce qui concerne plus précisément la masse d'eau HC08, située en périphérie du grand tourbillon confinant de Barfleur (A), Ménesguen (comm.pers.) estime cependant que la répétition des blooms qu'on y enregistre serait plus un effet de la remontée vers le nord des eaux côtières de l'est Cotentin, enrichies par les estuaires de la Baie des Veys, (ainsi que par les apports de la Saire, de la Sinope, de la bonde... et de tous les petits ruisseaux côtiers locaux), qu'un effet lié strictement au confinement généré au sein du tourbillon de Barfleur. Ce dernier opère en effet un confinement sensible sur les substances ayant une demi-vie de 3 à 4 semaines, mais son influence est vraisemblablement bien moins marquée pour les éléments moins conservatifs (comme le sont les blooms phytoplanctoniques). Les résultats du suivi du gisement moulier de Barfleur (positionné sur le gyre A) obtenus dans le cadre du réseau Réphy continueront à être utilisés par le RHLN à l'avenir afin de vérifier sur le long terme si cette masse d'eau est bien de qualité « moyenne », et les modèles SIAM et MARS seront utilisés afin d'essayer de mieux en cerner les causes.

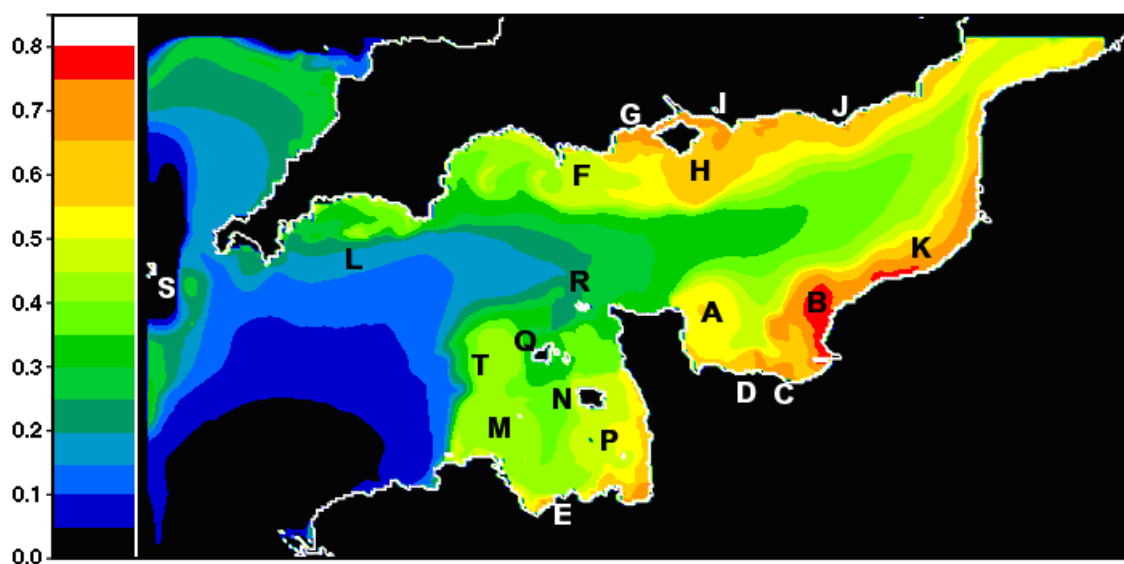


Figure 69 : Distribution à l'équilibre d'un traceur injecté de façon homogène dans toutes les mailles du modèle MARS (in Ménesguen et Gohin, 2006)

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

La synthèse des 4 indicateurs d'eutrophisation précités peut, *a priori*, être envisagée de différentes manières.

L'UE et le MEDD n'ayant pas, à la fin décembre 2006, arrêté de méthode, le plus simple (mais aussi le plus déclassant) consiste à présenter un tableau récapitulatif reprenant pour chaque masse d'eau les résultats annuels les plus déclassants (Cf. Figure 70) obtenus au moyen des indicateurs chlorophylle a et oxygène sur la période 2001-2005, et à retenir, au final, les plus déclassants de tous ces résultats.

Ainsi, la masse d'eau HC15 serait classée en mauvais état (point de suivi Cabourg). La Masse d'eau HC14 (point de suivi Ouistreham) serait classée en état médiocre.

Les masses d'eau HC08 (Réville), HT6M (Géfosse), HC10 (grandcamp, mais pas St germain de Varreville), HC11 (Port en Bessin) et HC16 (Antifer) seraient classées en état moyen. Toutes les autres masses d'eau seraient soit en bon, soit en très bon état du point de vue du paramètre phytoplancton et de ses indicateurs associés.

Cet exercice d'évaluation de la qualité des masses d'eau au moyen d'indicateurs ne doit être considéré que comme provisoire. Il devra être repris en utilisant les indicateurs mais aussi les modes de traitement dès qu'il auront été définitivement arrêtés par le groupe de travail DCE phytoplancton national, et validés par le MEDD.

Nom du point	Masse d'eau	Plus mauvais classement annuel obtenu pour l'oxygène et la chlorophylle				Classement final
		blooms sup 100 000	blooms sup 1 million	oxygène	chloro	
Cancale	Bretagne	6.8	2.3		1.5	
Hacqueville	HC02	13.3	0.0	7.6	2.9	
Chausey	HC01	11.4	5.1	7.6	2.4	
Roc&Donville	HC03	12.6	4.4	7.7	2.7	
Agon	HC03	11.4	4.3	7.3	1.8	
Pirou	HC03	14.8	4.9	8.1	2.7	
Gruchy	HC05	5.3	0.0	7.5	6.4	
Cherbourg large	HC06	7.7	0.0	8.1	1.9	
Cherbourg Port	HC6M	5.0	0.0	7.5	5.4	
Cap Lévy	HC07	10.5	0.0	7.3	5.4	
Réville (+Barfleur)	HC08	45.7	8.6	7.3	6.6	
St Vaast Sud	HC09	25.4	8.5	7.1	8.0	
St Germain de Varreville	HC10	21.4	6.1	7.3	8.8	
Géfosse	HT6M	37.0	8.7	7.5	10.6	
Grandcamp	HC10	21.9	5.6	7.3	10.1	
Port en Bessin	HC11	50.0	21.7	6.9	11.2	
Meuvaines	HC12	23.4	6.4	7.3	5.6	
Les Essarts	HC13	12.3	0.0	6.4	3.1	
Luc sur Mer	HC14	29.9	9.8	6.5	11.8	
Ouistreham	HC14	41.4	20.7	6.7	22.3	
Cabourg	HC15	46.0	20.7	5.9	41.9	
Antifer	HC16	26.4	13.2	7.3	16.7	
St Aubin Seine Maritime	HC17	11.5	3.8	7.6	6.8	
Dieppe	HC18	13.0	4.3	7.6	8.2	

Figure 70 : synthèse des évaluations de qualité obtenues au moyen des 4 indicateurs « DCE phytoplancton » retenus à la fin décembre 2006. Seuls les résultats les plus déclassants sont pris en compte.

4 DEFINITION DU RHLN 2007.

Ainsi qu'il est mentionné en introduction, le RHLN a pour double objectif de répondre aux exigences de la DCE en matière de suivi du phytoplancton et des paramètres associés, mais aussi de permettre un vrai suivi de l'évolution de la qualité hydrobiologique des masses d'eau normandes.

Ce réseau devra en particulier permettre, à terme, d'évaluer si les masses d'eau de la partie orientale de la baie de Seine connaissent véritablement une augmentation des manifestations d'eutrophisation.

Il est en effet difficile d'être affirmatif aujourd'hui concernant une éventuelle dérive vers l'eutrophisation de ces masses d'eau jouxtant l'estuaire, d'abord parce qu'il n'y a toujours pas véritablement de consensus scientifique sur ces questions (il serait souhaitable en 2007 de pouvoir disposer d'une grille d'indicateurs et de valeurs seuils validées par les groupes d'expertise Phytoplancton français et européen), mais aussi parce que le jeu de données dont nous disposons ne porte que sur une période trop réduite pour pouvoir conclure de façon définitive.

4.1 Types de contrôles selon les masses d'eau

La DCE imposait aux Etats membres de publier le programme de surveillance des masses d'eau côtières et de transition avant fin 2006, programme qui devait notamment comporter un « contrôle de surveillance » à mettre en oeuvre à partir de janvier 2007, et un « contrôle opérationnel » à lancer au plus tard en 2009.

Ce programme de surveillance n'étant pas arrêté à la fin décembre 2006, nous devons nous contenter de proposer dans le présent rapport un suivi sur 2007 uniquement.

Ce qui est fixé à ce jour est que le contrôle de surveillance doit donner une image globale de l'état des masses d'eau. Il doit porter sur l'ensemble des paramètres physicochimiques, chimiques, biologiques et hydromorphologiques visés par la DCE. Ce contrôle 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).

En complément de ce contrôle de surveillance, un contrôle opérationnel doit donc également 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) et ne doit porter que sur les paramètres à l'origine du RNABE.

En prenant d'ores et déjà en compte ces obligations futures pour le réseau pérenne, les résultats des suivis réalisés jusqu'à présent, et les préconisations du groupe de travail DCE et SDDE littoral du district Seine Normandie, 16 masses d'eau méritent de faire l'objet d'un **contrôle de surveillance**.

Sur ces 16 masses d'eau, 2 doivent faire l'objet en 2007 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 (points rouges sur la Figure 71). 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.

Sur ces 16 masses d'eau, 2 feront également l'objet d'un **contrôle opérationnel** du fait de leur qualité « moyenne à mauvaise », (risque RNABE avéré selon les indicateurs DCE actuels). Il s'agit des masses d'eau HC14 et HC15 qui seront suivies en 3 points : Luc sur Mer, Ouistreham et Cabourg (étoiles roses sur la Figure 71).

Une autre masse d'eau, la HC10, identifiée par le groupe de travail DCE - SDDE Seine Normandie comme présentant un risque « RNABE » dans sa partie la plus orientale, fera également l'objet d'un **contrôle opérationnel** sur son point de Grandcamp.

Enfin, les masses d'eau hébergeant d'importantes activités conchylicoles ou de pêche de coquillages, ou étant le siège de rejets importants, feront l'objet d'un « **suivi complémentaire régional** » (7 points représentés par un triangle vert sur la Figure 71).

Au total, 12 points seront donc suivis au moyen d'un contrôle de surveillance, 2 points au moyen d'un contrôle d'enquête, 4 points au moyen d'un contrôle opérationnel, et enfin 7 points dans le cadre d'un suivi complémentaire régional.

4.2 Fréquences des prélèvements, paramètres suivis et collaborations envisagées.

Quel que soit le type de contrôle, et afin de pouvoir effectuer des comparaisons entre les masses d'eau, le groupe d'expertise Ifremer mandaté par le MEDD préconise que les suivis soient réalisés à 16 reprises chaque année, tous les 15 jours entre début mars et fin octobre (ce qui correspond à la période productive) ainsi que l'indique le tableau 1. Il faut noter à ce sujet que cette préconisation n'est toujours pas validée par le MEDD (à la fin du mois de décembre 2006) et que les fréquences de suivi sont susceptibles d'évoluer à partir de 2008.

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

Les identifications au laboratoire de flores phytoplanctoniques « indicatrices », (dont la définition précise est donnée dans le cahier des procédures hydrologiques IFREMER), ainsi que les analyses de chlorophylle a et phaeopigments, de nitrate + nitrite, d'ammonium, de silicate et de phosphate seront réalisées à partir de prélèvements de sub-surface (-1m). Les analyses seront réalisées dans le respect des préconisations et protocoles retenus par Aminot et Kérouel (2004).

La température, la salinité et la turbidité seront mesurées à la sonde multiparamètres de terrain en sub-surface également

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

Les prélèvements et analyses seront réalisés pour la plupart par le LERN, sauf en ce qui concerne les points :

- « Mont St Michel » : les prélèvements et analyses à la sonde seront réalisés par la CQEL50 ; les analyses au laboratoire (chlorophylle a, sels nutritifs et lectures de flores) seront réalisées au LERN.
- « Baie du Mont » et « Chausey » qui seront échantillonnés par les Gardes Littoraux du SYMEL (sonde vérifiée métrologiquement par le LERN et analyses LERN).
- « Deneville » et « Pirou » seront échantillonnés par le SMEL qui réalisera également les mesures de terrain à la sonde, ainsi que les analyses de

chlorophylle a et de sels nutritifs. Le LERN ne réalisera que les flores sur ces deux points.

- « Dielette » qui sera échantillonné par la Marine Nationale. Le LERN remettra au LASEM une sonde de terrain ad hoc, et réalisera les différentes analyses au laboratoire
- « estuaire de l'Orne » qui sera échantillonné par la CQEL14 (qui réalisera également les mesures à la sonde).
- « estuaire de Seine aval/La Carosse » qui sera échantillonné par le Service de navigation de la Seine, qui réalisera également les mesures à la sonde, ainsi que les analyses de chlorophylle a et de sels nutritifs. Le LERN ne réalisera que les flores sur ces deux points.
- « Dieppe » qui sera échantillonné par la CQEL76, également chargée des mesures à la sonde. Les analyses au laboratoire (chlorophylle a, sels nutritifs et lectures de flores) seront réalisées au LERN.

Le RHLN portera donc sur l'ensemble des masses d'eau côtières normandes, hormis HC5, HC7, HC8, et HC11, ainsi que sur les masses d'eau de transition HT3M, HT4M, HT5M et HT6M, dont le caractère marin est affirmé. Les masses d'eau HT1M et HT2M de l'amont de l'estuaire de Seine devront être prises en charge par les réseaux de suivi en eau douce.

4.3 Rendu des résultats

Les données acquises dans le cadre du RHLN 2007 seront enregistrées dans la base de données Quadrige (ou Quadrige² dès que cette nouvelle base sera opérationnelle). Le processus qualité Quadrige leur sera appliqué (saisie/vérification/validation-qualification). Ces données seront alors publiques, i.e. accessibles (consultables et téléchargeables) via le site Web du LERN⁶.

Elles feront ensuite l'objet d'un rapport de synthèse qui comprendra :

- l'évaluation des niveaux trophiques des masses d'eau côtières Normandes au moyens des indicateurs qui auront été validés par le MEDD,
- les tendances évolutives de ces niveaux trophiques : les résultats annuels seront comparés à ceux obtenus depuis 2000/2001,
- une veille relative à d'éventuelles dérives des peuplements phytoplanctoniques,
- une très courte synthèse, à objectif de vulgarisation et de diffusion grand public, et utilisable par les partenaires qui le souhaiteront.

Après réception par les partenaires, le rapport et la synthèse grand public seront rendus accessibles via le site Web du LERN Ils pourront également être rendus consultables et téléchargeables à partir des sites Web des partenaires précités qui le souhaiteront.

⁶ <http://www.ifremer.fr/lern/>

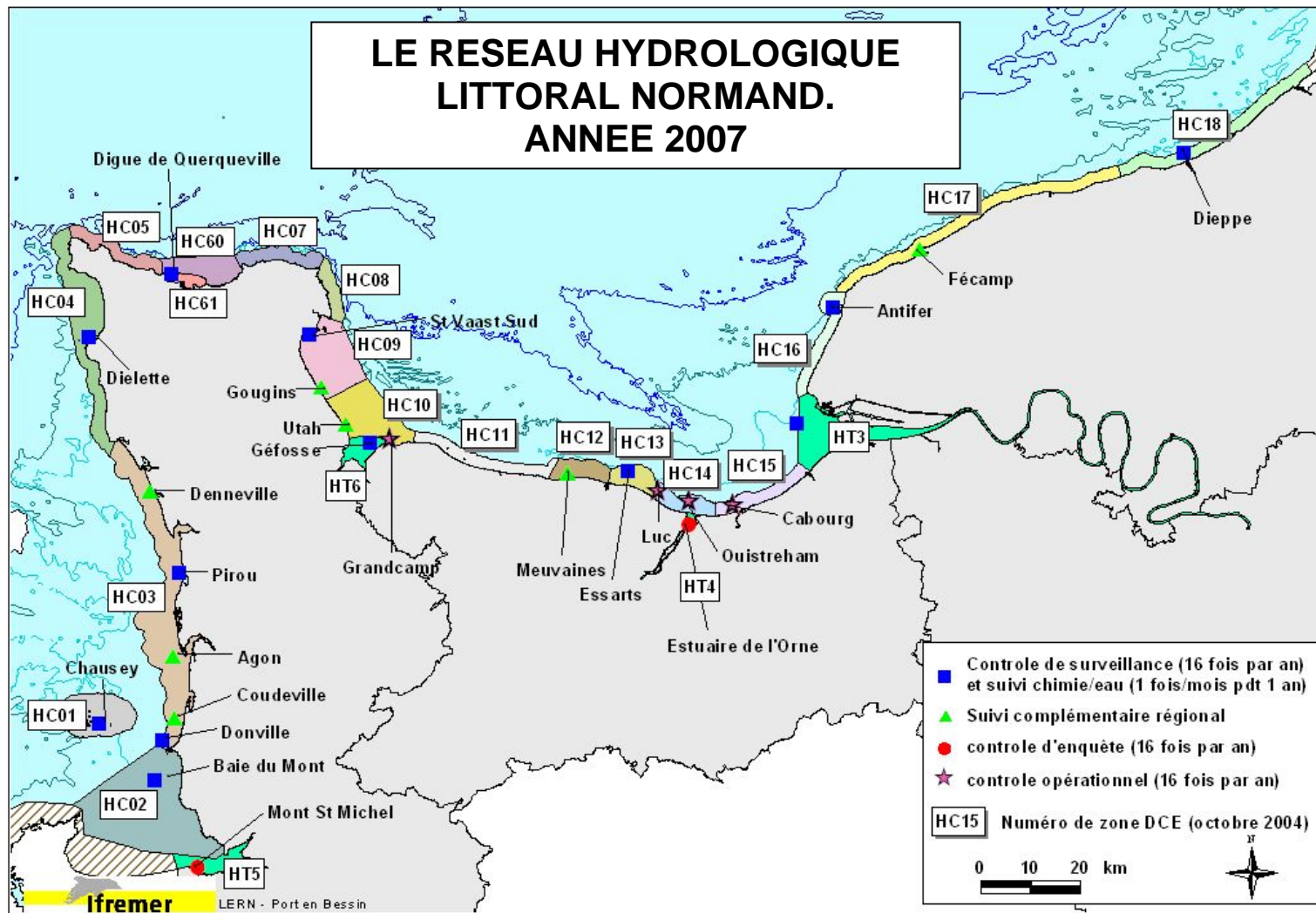


Figure 71 : positionnement des points de suivi du RHLN en 2007 ; types de contrôles selon les masses d'eau.

Tableau 1 : masses d'eau, points de suivi, organisation des tournées, et fréquences des prélèvements du RHLN en 2007.

masse d'eau	nom de la masse d'eau	Points	type de suivi	nombre par an (2 par mois de mars à oct.)	prélèvement	mesures à la sonde	analyses chlorophylle & phéopigments	analyses des sels nutritifs	lectures des flores
HT5M	Amont de la baie du Mont St Michel	Mont St michel	enquête	16	CQEL50	CQEL50	LERN	LERN	LERN
HC2	baie du Mt St Michel centre	baie du Mont	surveillance	16	SYMEL	LERN	LERN	LERN	LERN
HC1	chausey	Chausey	référence	16	50				
HC3	Ouest Cotentin	Donville	surveillance	16	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
		Coudeville	régional	16					
		Agon	régional	16					
		Pirou	Surveillance	16	SMEL50	SMEL50	SMEL50	SMEL50	LERN
		Deneville	régional	16					
HC4	Cap de Carteret / Cap de la Hague	Dielette	surveillance	16	Mar Nat	Mar Nat & LERN	LERN	LERN	LERN
HC6M et HC6	Grande rade de Cherbourg	Cherbourg	surveillance	16	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
HC9	Anse de St vaast	St Vaast sud	opérationnel	16	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
		Les Gougins	régional	16					
HC10	Baie des Veys	Utah	régional	16					
		Grandcamp	surveillance	16					
T6M	Baie des Veys ; fond de baie estuaire	Géfosse	surveillance	16					
C12	Plateau du calvados	Meuvaines	opérationnel	16	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
C13	Côte de nacre	Les essarts	surveillance	16					
C14	baie de Caen	Luc	opérationnel	16	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
		Ouistreham	opérationnel	16					
C15	côte fleurie	Cabourg	surveillance	16					
HT4M	estuaire et canal de l'Orne	estuaire Orne	enquête	16	CQEL14	CQEL14	LERN	LERN	LERN
HT3M	estuaire de Seine aval	Carosse	opérationnel	16	SNS	SNS	SNS	SNS	LERN
C16M	le Havre/Antifer	Antifer	surveillance	16	LERN	LERN	LERN	LERN	LERN
C17	Sud pays de Caux	Fécamp	régional	16					
C18	Nord pays de Caux	Dieppe	surveillance	16	CQEL76	CQEL76	LERN	LERN	LERN
		TOTAL		400					

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

Les deux conclusions principales du suivi mené lors de cette année 2005 sont :

- une amélioration de la qualité des masses d'eau normandes par rapport aux évaluations de 2001, 2002 et même 2003. Cette amélioration doit pouvoir s'expliquer par les pluviométries de faibles intensités enregistrées avant et au cours de la période productive (si on les compare à celles enregistrées en 2002 et surtout 2001) : l'absence d'apport en provenance des bassins versants après les premières efflorescences printanières n'a pas permis la re-fertilisation des masses d'eau côtières, et la production n'a pu se poursuivre qu'à partir de sels régénérés. Les biomasses phytoplanctoniques ont donc été, après les premiers blooms printaniers, de faible importance, et des carences nettes, principalement en azote (mais aussi en phosphore sur quelques masses d'eau) ont pu être constatées.
- et, malgré cette amélioration, la confirmation du gradient d'eutrophisation mis en évidence lors des premières phases préparatoires du réseau, avec des qualités mauvaises ou médiocre des deux masses d'eau HC15 et HC14 situées dans l'est immédiat de l'estuaire de Seine.

Les deux autres faits majeurs de l'année 2005 résident dans les contaminations des coquillages en baie de Seine, dans un premier temps (mai-juin 2005) par des toxines ASP liées au développement de *Pseudo-nitzschia sp.* dans la partie centrale et ouest de la baie de Seine (côtes du Calvados et de l'est Cotentin, masses d'eau comprises entre la HC08 et la HC12), puis par des toxines DSP en fin d'été et en début d'automne, liées au développement de *Dinophysis sp.* (masses d'eau HC16, HC15, et HC14).

La contamination ASP a donc trouvé son origine dans le développement de *Pseudo-nitzschia delicatissima* (jusqu'à 2 millions de cellules par litre) entre la fin mai et le début juin 2005 (Figure 72). Les concentrations en acide domoïque (Figure 73) ont atteint 10 à 11 µg/g dans les moules de Port en Bessin (HC11) et de Barfleur (HC08), 6 µg/g dans celles d'Asnelles (HC12) et de Ouistreham (HC14) et 2 µg/g dans les huîtres de la baie des Veys et de la côte Est Cotentin (HC10).

Cette contamination est restée inférieure au seuil d'alerte (20 µg d'acide domoïque par gramme de coquillage), et ne s'est pas faite sentir dans les coquilles St Jacques du large. Elle a également été beaucoup moins durable que celle de septembre/octobre 2004 puisque fin juin 2005, l'ASP ne se décelait plus qu'à l'état de traces dans les échantillons les plus contaminés (les cinétiques de décontamination dans les moules semblent être nettement plus rapides que dans les coquilles St Jacques).

En juillet, août et septembre, les suivis réalisés ont montré la très nette diminution des concentrations en *Pseudo-nitzschia sp.* (et même parfois leur absence).

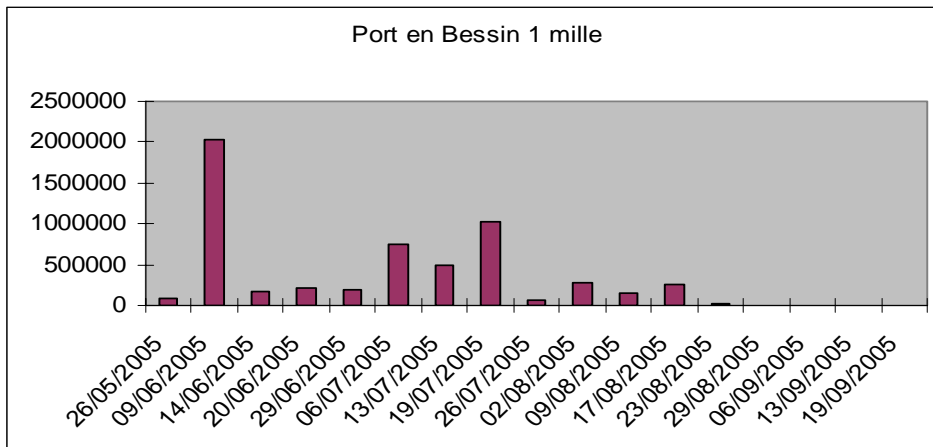


Figure 72 : concentration (en nombre de cellules par litre d'eau de mer) en *Pseudo-nitzschia delicatissima* et *Pseudo-nitzschia sp* au point de suivi « Port en Bessin » (masse d'eau HC11) au cours de l'année 2005.

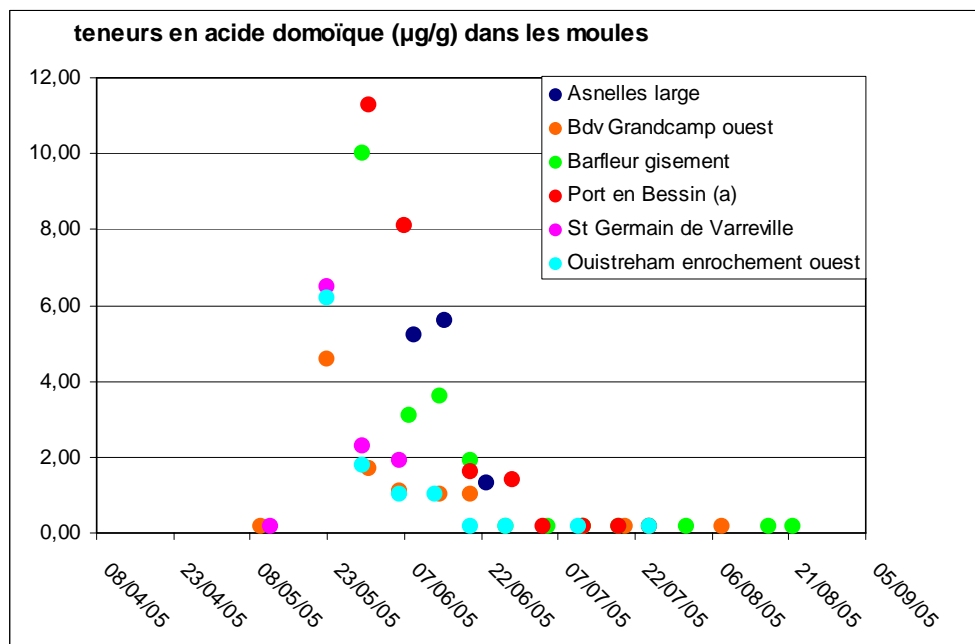


Figure 73 : concentration en acide domoïque (toxine ASP) exprimé en µg d'acide par gramme de coquillage entre mai et août 2005 sur les gisements et zones de production de coquillage de la partie occidentale de la baie de Seine, entre Ouistreham et Barfleur.

La contamination ASP n'ayant pas atteint la valeur seuil de 20 µg d'acide domoïque par gramme de coquillage, des arrêtés préfectoraux de fermeture de zones de production n'ont donc pas dû être prononcés. Il n'en demeure pas moins qu'après l'épisode toxique à ASP ayant affecté la pêcherie de coquilles St Jacques du large de la baie de Seine à l'automne 2004, cet épisode du printemps 2005 a confirmé l'existence d'un risque de toxicité ASP en baie de Seine, et la nécessité de conduire un suivi permanent des zones de production de coquillages et des gisements naturels durant leurs phases d'exploitation à l'avenir.

En ce qui concerne la toxicité DSP, elle a pour sa part généré des tests de toxicité des coquillages positifs, et donc des fermetures de zones de production. C'est durant l'été que *Dinophysis sp.* a commencé son développement, d'abord le long de la côte du Calvados et de l'ouest de la Seine Maritime, puis au large, dans la partie centrale de la baie de Seine.

A la côte, les premières fermetures ont été prononcées par arrêté préfectoral le 19 août 2005 entre Cabourg et l'estuaire de Seine (masses d'eau HC15 et partie est de la HC14), et ont gagné vers l'ouest peu à peu pour s'étendre à la mi octobre de l'estuaire jusqu'à l'ouest du port d'Arromanche (« pointe de Tracy sur Mer », de la masse d'eau HC15 à la masse d'eau HC12). Les dernières réouvertures n'ont pu avoir lieu qu'à la fin décembre 2005, ce qui est exceptionnellement tardif pour la Manche.

Mais outre sa durée, cet épisode toxique a également eu pour caractéristique de s'étendre vers le large à partir de la mi septembre, touchant début octobre l'ensemble de la baie de Seine jusqu'au parallèle 49°52' nord, et générant la première crise DSP sur un gisement de coquilles St-Jacques en France. Le seuil des 160µg d'équivalent Acide Okadaïque par gramme de chair de coquillage a été très largement dépassé, des teneurs supérieures à 3000 µg/g dans la chair totale, et supérieures à 20 000 µg/g dans l'hépatopancréas seul ayant été mesurées (Z. Amzil, spectrométrie de masse, laboratoire EMP/PHYC du centre Ifremer de Nantes). Les restrictions de pêche (fermetures de zone) ont perturbé toute la première moitié de la campagne 2005-2006 en baie de Seine, la levée des dernières fermetures de zones n'ayant pu intervenir que le 22 décembre 2005.

Ces développements de phytoplancton toxique ne sont pas considérés par certains experts comme des manifestations d'eutrophisation, ou de dystrophie. Pour d'autres au contraire, comme ils trouvent très vraisemblablement, au moins pour partie, leur origine dans des modifications des concentrations en sels nutritifs, modifications qui sont elles mêmes essentiellement d'origine anthropique, et qu'en plus ils génèrent des nuisances, ils peuvent être qualifiés de manifestations d'eutrophisation. Les indicateurs DCE en cours de définition ne les prendront vraisemblablement pas en compte, mais nous continuerons pour notre part à suivre ces phénomènes afin de prévenir les crises sanitaires (c'est une des missions de l'Ifremer et du réseau Réphy), mais aussi d'évaluer si les modifications des apports à la mer côtière résultant des activités humaines ainsi que des politiques menées sur les bassins versants (assainissement domestique et industriel, limitation des intrants, programmes de maîtrise des pollutions d'origine agricole...) se traduisent bien par leur diminution.

En ce qui concerne le réseau RHLN pérenne, rien n'est aujourd'hui définitivement arrêté, notamment au sujet des fréquences de suivi (tous les mois, y compris durant la période hivernale, ou tous les 15 jours durant la période productive ?), ni sur la nécessité ou non de réaliser un suivi hivernal, suivi qui présente l'avantage de permettre de cerner les stocks hivernaux en sels nutritifs, donnée indispensable pour :

- évaluer une éventuelle évolution (dérive) sur le moyen/Long terme dans les apports à la mer côtière
- alimenter les modèles de production du type SIAM3D (Elise)

La position du MEDD à ce sujet devrait être arrêtée en 2007, et le RHLN s'y conformera, tout en se réservant la possibilité d'étoffer le suivi minimal requis pour la DCE en cas de besoin (nombre de points, de masses d'eau, fréquences, paramètres...), la surveillance hydrologique représentant un enjeu majeur en Manche, et notamment en Manche Est du fait :

- de la productivité 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 d'ajouter les apports britanniques),
- 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 française productrices, ainsi que pour le développement du tourisme balnéaire.

Les développements récents des épisodes toxiques à DSP, qui prennent de l'ampleur ces dernières années, 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 interdiction de pêche sur certains secteurs qui se sont prolongées jusqu'à l'ouverture d'octobre 2005), la première crise DSP ayant affectée les coquilles St Jacques du même secteur à l'automne et à l'hiver 2005, et enfin la première crise à Azaspiracides ayant touché les gisements de pétoncles en Manche Ouest lors de l'été 2006, montrent que non seulement les suivis du RHLN et du Réphy méritent d'être poursuivis en Normandie, mais doivent être intensifiés. Il faudra également à l'avenir poursuivre l'utilisation des images satellites, ainsi que le calage et le développement des modèles de type SIAM3D/Elise afin de pouvoir passer de la description des phénomènes à leur compréhension fine, puis, espérons le, à terme, à leur prévision. C'est dans cette voie que souhaite s'engager le RHLN à partir de 2007.

Bibliographie

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

Aminot, A., Kérouel, 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.

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.