

Laboratoire Environnement Ressources de Normandie

Ronan LE GOFF, Philippe RIOU, Claude ETOURNEAU, Frank MAHEUX, Olivier PIERRE DUPLESSIX, Vincent JUSTOME, Franck JACQUELINE, Liliane FIANT, Sylvaine FRANCOISE, Luis LAMPERT, Michel ROPERT et Anne DANIEL

LERN

Rapport Ifremer RST. LERN/05.09/PB

Décembre 2005

Réseau Hydrologique Littoral Normand

RHLN

RAPPORT 2005

- *cycles hydrobiologiques annuels (2001-2004)*
- *évaluation des niveaux trophiques*
- *proposition de réseau hydrologique pérenne de suivi de la qualité des masses d'eau DCE*

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST.LERN/05.09/PB 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 : 132 bibliographie: oui illustration(s): cartes et tableaux langue du rapport: français
Titre et sous-titre du rapport : Réseau Hydrologique Littoral Normand (RHLN) : Rapport 2005 Cycles hydrobiologiques annuels 2001-2004, évaluation des niveaux trophiques et proposition de réseau hydrologique pérenne de suivi de la qualité des masses d'eau DCE		
Rapport intermédiaire		Rapport définitif : oui
Auteur(s) principal(aux) : R. Le Goff, P. Riou, A. Daniel, ainsi que Cl. Etourneau, F. Maheux, Olivier Pierre-Duplessix, Vincent Justome, Franck Jacqueline, Liliane Fiant, Sylvaine Françoise, Luis Lampert, Floriane Girard et Michel Ropert. Coordination - composition- édition : R. Le Goff, P. Riou, Cl. Etourneau	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/LERN et IFREMER/DYNECO IFREMER/LERN IFREMER/LERN	
Collaborateur(s) : Fabienne Rauflet, Hervé du Boullay, Laure Lamort, Référés/relecture : Alain Ménesguen et Anne Daniel Luis Lampert	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/LERN IFREMER/Dyneco IFREMER/LERN	
Cadre de la recherche : Contrat AESN/DEPEE délégation du Littoral ; DIREN Basse Normandie ; DIREN Haute Normandie Programme : PGB01 surveillance Convention : OUI Projet : PJB0113 réseaux locaux, régionaux		
Résumé : <p>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 2006. Ce rapport réalise la synthèse des résultats obtenus entre 2001 et 2004.</p> <p>La première partie du rapport décrit et compare les variations saisonnières et interannuelles des cycles hydrobiologiques au sein des différentes masses d'eau normandes.</p> <p>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. 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. En outre, le suivi 2004 réalisé le long des côtes de Seine Maritime montre que la qualité des masses d'eau y est meilleure que dans la zone de l'estuaire, comparable à celle des masses d'eau du Nord Cotentin.</p> <p>Enfin, une proposition de dimensionnement du RHLN pérenne est formulée. Cette proposition repose sur l'expérience acquise depuis le lancement des phases préparatoires de ce réseau en septembre/octobre 2000, ainsi que sur l'étude de l'homogénéité des masses d'eau, et la recherche du positionnement optimal des points de suivi au sein des masses d'eau au moyen de modèles hydrodynamiques et d'images satellites.</p>		
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) et des DIREN de Basse et de Haute Normandie. Il bénéficie également du soutien scientifique du Département Dyneco de l'Ifremer (Brest), et notamment d'Alain Ménesguen, de Philippe Cugier, de Franck Dumas, de Francis Gohin, d'Alain Aminot et de Roger Kerouel auxquels les auteurs souhaitent adresser leurs remerciements.

Sommaire

1	Matériel et méthodes	9
1.1	LES POINTS DE PRELEVEMENT	9
1.2	TYPES DE PRELEVEMENT	9
1.3	PERIODE ET FREQUENCE DE PRELEVEMENT	10
1.4	METHODES D'ANALYSE	11
1.4.1	<i>Température, salinité, oxygène dissous</i>	11
1.4.2	<i>Sels nutritifs</i>	11
1.4.3	<i>Chlorophylle a et phéophytine</i>	11
1.4.4	<i>Flores phytoplanctoniques</i>	11
1.4.5	<i>Turbidité</i>	11
2	Evolution saisonnière des cycles hydrobiologiques au sein des masses d'eaux cotieres normandes en 2004	13
2.1	FACTEURS METEOROLOGIQUES	13
2.1.1	<i>Pluviométrie</i>	13
2.1.2	<i>Débits fluviaux</i>	14
2.2	MASSE D'EAU GC01 : CANCALE	15
2.3	MASSE D'EAU HC01 : CHAUSEY	17
2.4	MASSE D'EAU HC02 : HACQUEVILLE	19
2.5	MASSE D'EAU HC03 : DONVILLE, AGON, PIROU	21
2.5.1	<i>Donville</i>	21
2.5.2	<i>Agon</i>	21
2.5.3	<i>Pirou</i>	21
2.6	MASSE D'EAU HC04 : FLAMANVILLE	25
2.7	MASSES D'EAUX HC05 (GRUCHY), HC06 (CHERBOURG), HC07 (CAP LEVY- OU LEVI-)	28
2.8	MASSE D'EAU HC08 : REVILLE	32
2.9	MASSE D'EAU HC09 : ST VAAST	34
2.10	MASSE D'EAU HC10 : ST GERMAIN DE VARREVILLE, GEFOSSE ET GRANDCAMP	36
2.11	MASSE D'EAU HC11 : PORT EN BESSIN	40
2.12	MASSE D'EAU HC12 : MEUVAINES ET ESSARTS	42
2.13	MASSE D'EAU HC13 : LUC SUR MER	45
2.14	MASSE D'EAU HC14 : OUISTREHAM (1 MILLE)	47
2.15	MASSE D'EAU HT04 : OUISTREHAM CANAL	49
2.16	MASSE D'EAU HC15 : CABOURG	51
2.17	MASSE D'EAU HT03 : MAREL CAROSSE	53
2.18	MASSE D'EAU HC16 : ANTIFER	55
2.19	MASSE D'EAU HC17 : PALUEL ET ST AUBIN	57
2.19.1	<i>Paluel</i>	57
2.19.2	<i>St Aubin</i>	57
2.20	MASSE D'EAU HC18 : DIEPPE ET PENLY	60
2.20.1	<i>Dieppe</i>	60
2.20.2	<i>Penly</i>	60
3	Evaluation des niveaux d'eutrophisation	63
3.1	INDICATEUR CHLOROPHYLLE	64
3.2	INDICATEUR OXYGENE DISSOUS	65
3.3	INDICATEUR SI/DIN	66
3.4	INDICATEUR DINOFLAGELLES/DIATOMEES	67
3.4.1	<i>Evolution saisonnière</i>	67
3.4.2	<i>Classification annuelle</i>	68
3.5	SYNTHESE DES INDICATEURS POUR CLASSIFICATION DES POINTS DE PRELEVEMENT	69

4	Définition du RHLN : représentativité des points de suivi au sein des masses d'eau DCE, fréquences, et types de suivis.....	75
4.1	FREQUENCES DE SUIVI.....	75
4.2	HOMOGENEITE DES MASSES D'EAU ET REPRESENTATIVITE DES POINTS DE SUIVI.	78
4.3	DESCRIPTION DU RHLN PERENNE, MASSE D'EAU PAR MASSE D'EAU.....	80
4.3.1	<i>Masses d'eau HT5M et HC2</i>	80
4.3.2	<i>HC1</i>	82
4.3.3	<i>HC3</i>	83
4.3.4	<i>HC4</i>	87
4.3.5	<i>HC5 et HC6</i>	89
4.3.6	<i>HC6M</i>	90
4.3.7	<i>HC7</i>	91
4.3.8	<i>HC8</i>	93
4.3.9	<i>HC9</i>	94
4.3.10	<i>HC10 et HT6M</i>	97
4.3.11	<i>HC11</i>	99
4.3.12	<i>HC12, HC13 et HC14</i>	101
4.3.13	<i>HC15</i>	103
4.3.14	<i>HT1M et HT2M</i>	105
4.3.15	<i>HT3M</i>	106
4.3.16	<i>HC16</i>	106
4.3.17	<i>HC17</i>	108
4.3.18	<i>HC18</i>	109
4.4	RHLN PERENNE : RECAPITULATIFS DU POSITIONNEMENT DES POINTS DE SUIVI, DES FREQUENCES DE PRELEVEMENT, ET DU NOMBRE ANNUEL D'ANALYSES.	111
5.	Conclusion	115

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) à partir de fin 2006.

Le présent rapport est le troisième 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.

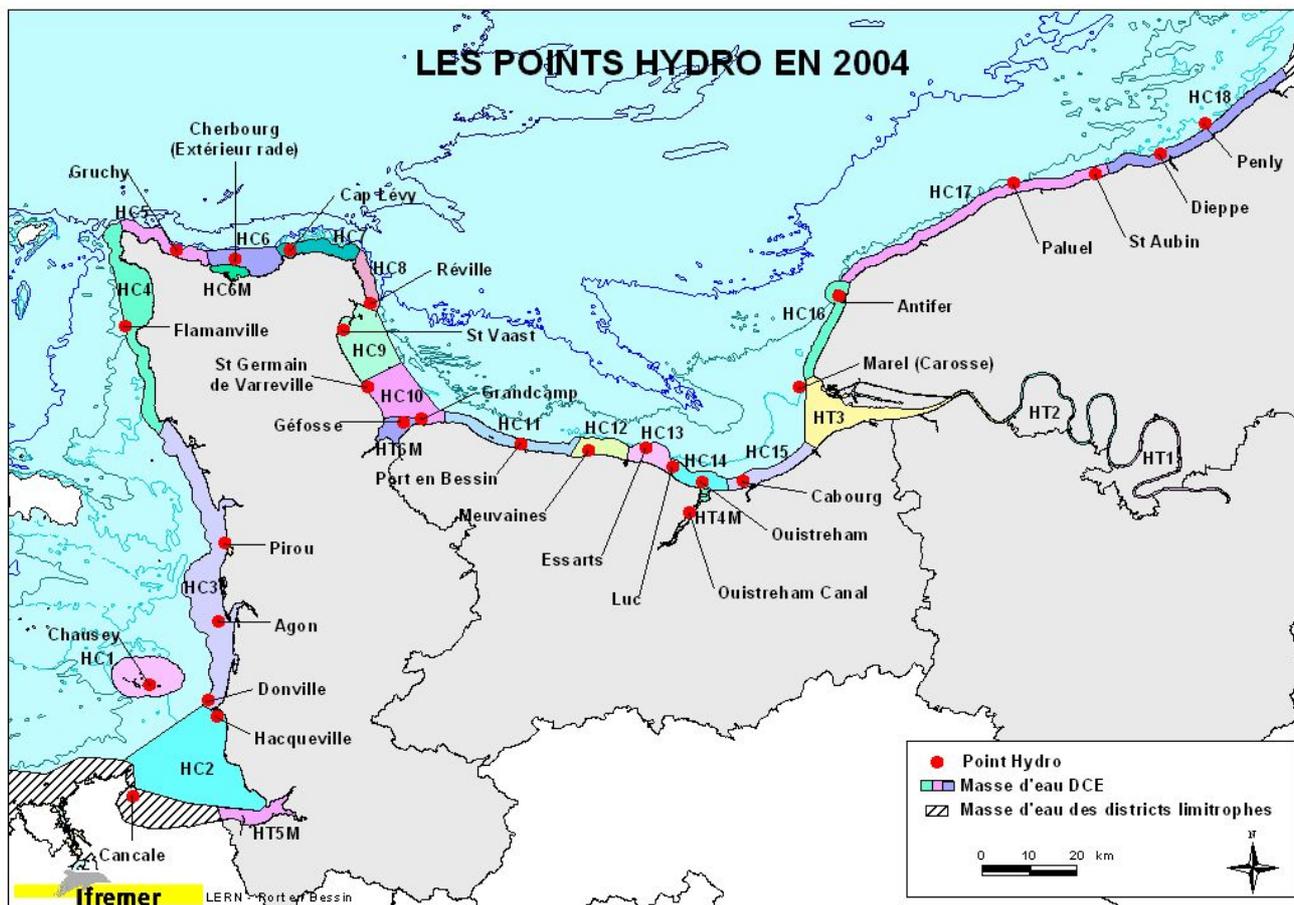
Une seconde synthèse, portant sur l'ensemble des résultats acquis entre 2001 et 2003 a été réalisée en 2004 par A. Daniel. Ce travail, plus conséquent, a permis de décrire et de comparer les cycles hydrologiques dans les différentes masses d'eau DCE normandes en observant à la fois les variations saisonnières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

Le présent rapport poursuit cette description des cycles hydrologiques se déroulant au sein des masses d'eau normandes, en prenant en compte les résultats du suivi réalisé en 2004, et réévalue les niveaux d'eutrophisation au moyen des indicateurs définis en 2004 (Daniel, 2004), et retenus par le comité ad hoc phytoplancton/DCE. Il présente également une évaluation de la représentativité des points de prélèvement retenus au sein de chacune des masses d'eau suivies, et propose, dans certains cas, un repositionnement desdits points.

Enfin, il s'achève sur une proposition de réseau hydrologique à mener en Normandie de façon à parfaitement suivre l'évolution des paramètres hydrologiques au sein des différentes masses d'eau, réseau permettant à la fois de répondre aux exigences de la DCE, mais aussi à celles d'Ospar en matière de suivi de l'eutrophisation.

1 MATERIEL ET METHODES

1.1 les points de prélèvement



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

Figure 1 : situation géographique des points de prélèvement du RHLN en 2004 et des masses d'eaux côtières DCE.

Le nombre de points de prélèvement du RHLN a augmenté en 2004 de façon à permettre un suivi hydrologique de l'ensemble des masses d'eaux côtières DCE du littoral normand (Figure 1). Ainsi, en plus des 16 points de prélèvement étudiés en 2003 (Daniel, 2004), le suivi RHLN 2004 s'est étendu aux zones de Cancale, Hacqueville, Gruchy, Cherbourg, Cap Lévi, Réville, Port en Bessin, Meuvaines, Essarts, Ouisseham canal, St Aubin et Dieppe. De plus, pour répondre aux exigences de la DCE, le point de prélèvement de Luc sur Mer a été rapproché de la côte en 2004 (1 mille au lieu de 3 milles en 2003).

1.2 Types de prélèvement

Le RHLN repose sur deux types de prélèvement : le prélèvement dit « phytoplancton » et le prélèvement dit « hydrologie ».

Le prélèvement « phytoplancton » est effectué uniquement dans les eaux de surface. Il consiste à mesurer *in situ* la température et la salinité et à prélever des échantillons d'eau pour détermination de la flore phytoplanctonique partielle (« indicatrice ») ou totale et pour analyse de la turbidité, de la chlorophylle-a et des phéopigments.

Le prélèvement « hydrologie » consiste en un prélèvement « phytoplancton » auquel sont rajoutées des mesures *in situ* d'oxygène dissous en surface et de température, de salinité et d'oxygène dissous au fond. Des prélèvements d'eau sont également effectués en surface pour la mesure des sels nutritifs (nitrate + nitrite, ammonium, silicate et phosphate).

1.3 Période et fréquence de prélèvement

Point de prélèvement	Période de prélèvement	Fréquence de prélèvement	PT*	PP*	H*
Cancale	Janv-déc	Quinzaine		Janv-déc	Avril-oct
Hacqueville	Mars-sept	Quinzaine		Mars-sept	Mars-sept
Donville	Janv-déc	Quinzaine	1 flore totale/mois 1 flore partielle/mois		Mars-sept
Chausey	Mars-sept	Quinzaine		Mars-sept	Mars-sept
Agon	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	
Pirou	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	
Flamanville	Mars, juillet, septembre	3 sorties annuelles	1/sortie		1/sortie
Gruchy	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
Cherbourg	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
Cap Lévi	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
Réville	Mai-sept	Quinzaine		Mai-sept	Mai-sept
St Vaast	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
St Germain de Varreville	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	
Géfosse	Janv-déc	Quinzaine	1 flore totale/mois 1 flore partielle/mois		Mars-sept
Grandcamp	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
Port en Bessin	Avril-sept	Hebdomadaire		Avril-sept	Avril-sept
Meuvaines	Avril-sept	Hebdomadaire		Avril-sept	Avril-sept
Essarts	Avril-sept	Hebdomadaire		Avril-sept	Avril-sept
Luc 1 m	Avril-sept	Hebdomadaire		Avril-sept	Avril-sept
Ouistreham 1 m	Avril-sept	Hebdomadaire		Avril-sept	Avril-sept
Ouistreham canal	Avril-sept	Hebdomadaire		Avril-sept	Avril-sept
Cabourg	Janv-déc	Quinzaine d'oct à mars Hebdomadaire d'avril à sept.	2 flore totale/mois toute l'année 2 flore partielle/mois entre mai et sept.		Avril-sept
MAREL - Carosse	Mai-sept	Quinzaine	Mai-sept		Mai-sept
Antifer	Janv-déc	Quinzaine d'oct à mars Hebdomadaire d'avril à sept.	1 flore totale/mois 1 à 3 flore partielle/mois		Avril-sept
Paluel	Mars, juillet, septembre	3 sorties annuelles	1/sortie		1/sortie
St Aubin	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
Dieppe	Avril-sept	Quinzaine		Avril-sept	Avril-sept
Penly	Mars, juillet, septembre	3 sorties annuelles	1/sortie		1/sortie

Tableau 1 : Présentation des périodes de prélèvement, des fréquences de prélèvement et du type de prélèvement de chaque point de prélèvement du RHLN en 2004.

(*PT = prélèvement phytoplancton avec flore phytoplanctonique totale, *PP = prélèvement phytoplancton avec flore phytoplanctonique partielle (ou « indicatrice »), *H = prélèvement hydrologie)

La période et la fréquence de prélèvement sont adaptées au « risque d'eutrophisation » de la zone étudiée. Ainsi, au cours de la période productive, les prélèvements sont effectués deux fois par mois sur les côtes ouest, nord et est Cotentin alors qu'ils sont effectués toutes les semaines sur les côtes du Calvados et à Antifer. Seul un point de prélèvement de chaque façade est suivi sur l'ensemble de l'année (Donville, Géfosse, Cabourg, 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 multiparamètre 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 de nitrate–nitrite et de phosphate sont conservés dans des flacons en polypropylène au congélateur (pendant 2 mois au maximum) et ceux 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 nitrate-nitrite, de 0,05 µM pour le silicate et de 0,01 µM pour le 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 et de $\pm 10\%$ pour les phéopigments.

1.4.4 Flores phytoplanctoniques

Les échantillons de flores phytoplanctoniques sont immédiatement fixés par une solution de lugol acide. 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 celle-ci est caractéristique.

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.

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 ; extraits d'une note interne de F. Jacqueline de 2004) 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 avec les données antérieures sur les graphes présentés dans ce rapport

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>

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

2.1 Facteurs météorologiques

2.1.1 Pluviométrie

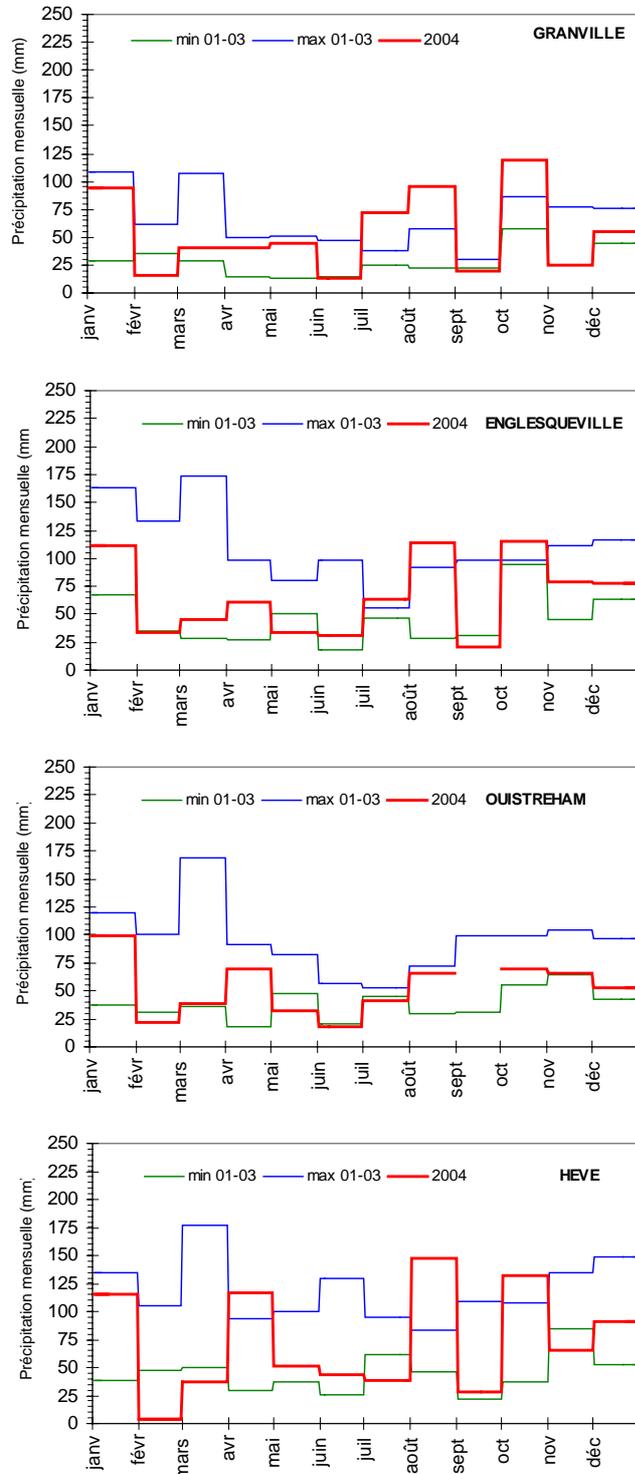


Figure 2 : Evolution de la pluviométrie mensuelle à Granville, Englesqueville la percée, Ouistreham et au Cap de la Hève en 2004 (données Météo France). Comparaison avec les moyennes mensuelles minimales et maximales mesurées entre 2001 et 2003.

La Figure 2 compare les valeurs de pluviométrie mensuelle enregistrées en 2004 par rapport aux valeurs de pluviométrie maximales et minimales enregistrées entre 2001 et 2003. Elle met en évidence des précipitations mensuelles 2004 proches des valeurs minimales entre février et juin, en septembre, novembre et décembre. Par contre les valeurs mensuelles de janvier et du tout début février, puis d'août et enfin d'octobre sont proches des valeurs maximales de la période 2001-2003.

Par rapport aux trois premières années de suivi du RHLN (2001-2003), l'année 2004 est donc caractérisée par une fin d'hiver et un printemps sec, mais par un mois d'août relativement pluvieux.

2.1.2 Débits fluviaux

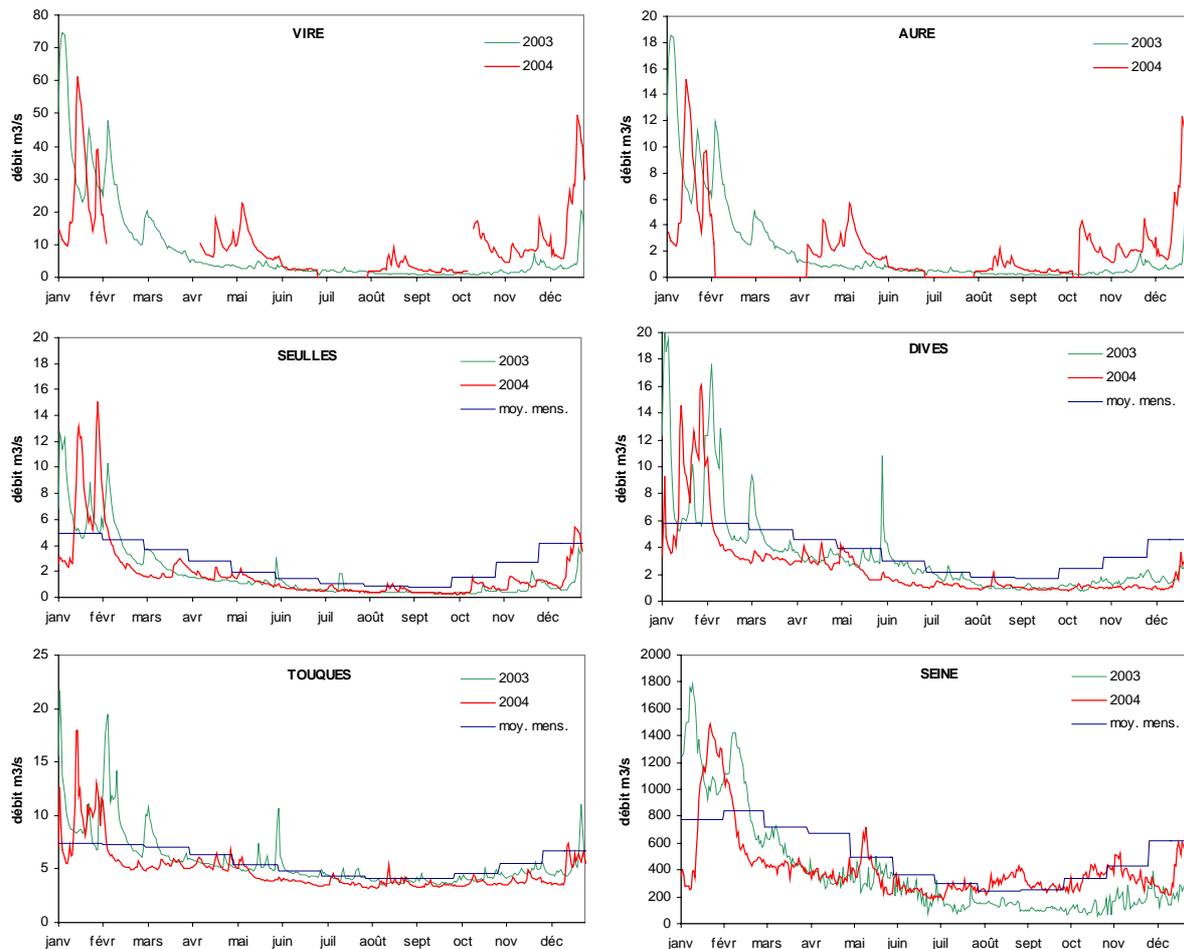


Figure 3 : Evolution des débits journaliers des différents fleuves normands en 2003 et 2004 (données banque HYDRO du RNDE). La moyenne mensuelle est calculée à partir des 33 dernières années pour la Dives, des 35 dernières années pour la Seulles, des 23 dernières années pour la Touques et des 30 dernières années pour la Seine. Le débit de l'Aure est déduit du débit de la Vire après extrapolation des surfaces des deux bassins versants.

Les débits de l'Orne, de la Douves, de la Taute et de la Sienne n'ont pas été suivis par la banque Hydro en 2004.

Les débits des différents fleuves normands en 2004 sont largement inférieurs aux moyennes mensuelles enregistrées depuis une trentaine d'années, notamment sur les périodes février-juillet et novembre-décembre. Les débits 2004 sont comparables, voire inférieurs, à ceux enregistrés en 2003 entre début février et fin juin. De juillet à octobre, le débit de la Seine 2004 est comparable au débit mensuel moyen et supérieur au débit enregistré en 2003.

2.2 Masse d'eau GC01 : Cancale

Les données hydrologiques mesurées en surface à Cancale en 2004 sont rassemblées sur la Figure 4.

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 en attendant qu'un réseau hydrologique Breton puisse se mettre en place. Les prélèvements et les mesures physicochimiques 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 minimum de 33.7) : les concentrations hivernales en sels nutritifs (9 μM de silicate, 15 μM de nitrate, 0.8 μM de phosphate, 1.5 μM d'ammonium), ainsi que la turbidité, sont relativement peu élevées par rapport aux autres points de suivi du RHLN. La salinité reste stable entre 34.5 et 35 d'avril à fin septembre (Cf. Fig. 4 page suivante).

La période productive débute début avril avec un pic de chlorophylle de 2.2 $\mu\text{g/l}$. Ce bloom a pour conséquence de diminuer les teneurs de nitrate (16 à 4 μM) et de phosphate (0.8 à 0.3 μM). Si la chlorophylle n'a pas pu être mesurée entre le 26 avril et le 22 juin, aucune efflorescence importante n'est mise en évidence par les dénombrements phytoplanctoniques. De juin à octobre, la concentration de chlorophylle reste inférieure à 2 $\mu\text{g/l}$. Suite au bloom, si le nitrate est épuisé dès la mi-mai et si la concentration en phosphate est minimale et stable tout au long de l'été (0.4-0.5 μM), la concentration en silicate est relativement élevée (5-8 μM) au cours de la période estivale. La régénération du nitrate débute début septembre pour atteindre une concentration de 6 μM mi-octobre. Il faut noter que la concentration en ammonium est généralement plus élevée à Cancale que sur les autres points de prélèvement RHLN de la côte ouest Cotentin (respectivement 1 à 2 μM par rapport à 0.5 à 1 μM).

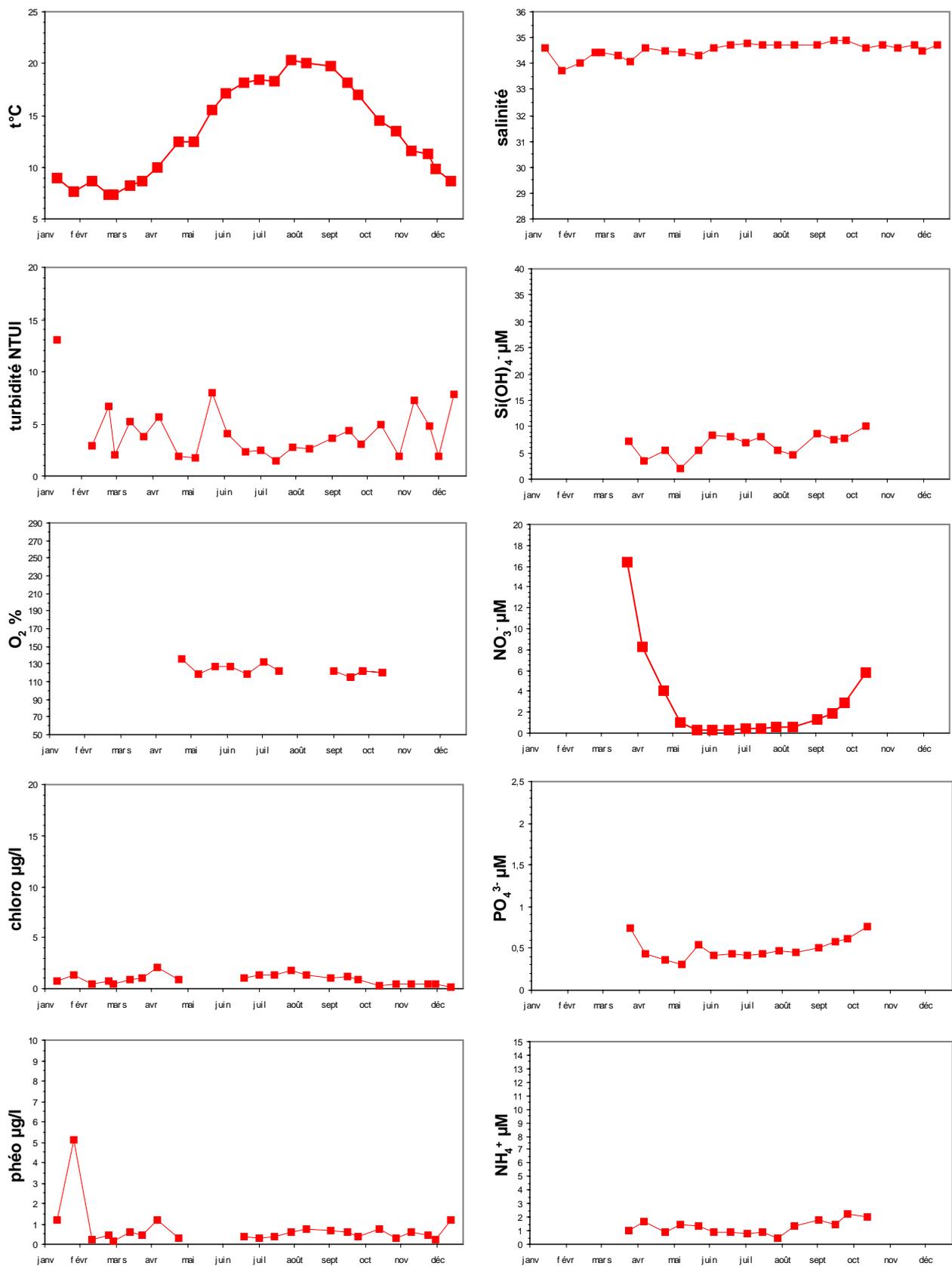


Figure 4 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Cancale en 2004 (données labo Ifremer St Malo).

2.3 Masse d'eau HC01 : Chausey

Les données hydrologiques mesurées en surface à Chausey entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 5.

Le premier bloom observé fin mars à Donville n'est pas relevé à Chausey. On observe sur ce point une augmentation progressive de la chlorophylle a entre la mi-avril et la mi-mai qui atteint une valeur maximale de l'ordre de 2 µg/l au moment où est observé le deuxième bloom à Donville. L'allure et la concentration des sels nutritifs sont comparables à celles observées sur Donville malgré un léger retard (2 semaines) dans l'épuisement en nitrate. Le reste de la période productive est caractérisé par une faible biomasse chlorophyllienne (<1.5 µg/l) sans efflorescence phytoplanctonique particulière.

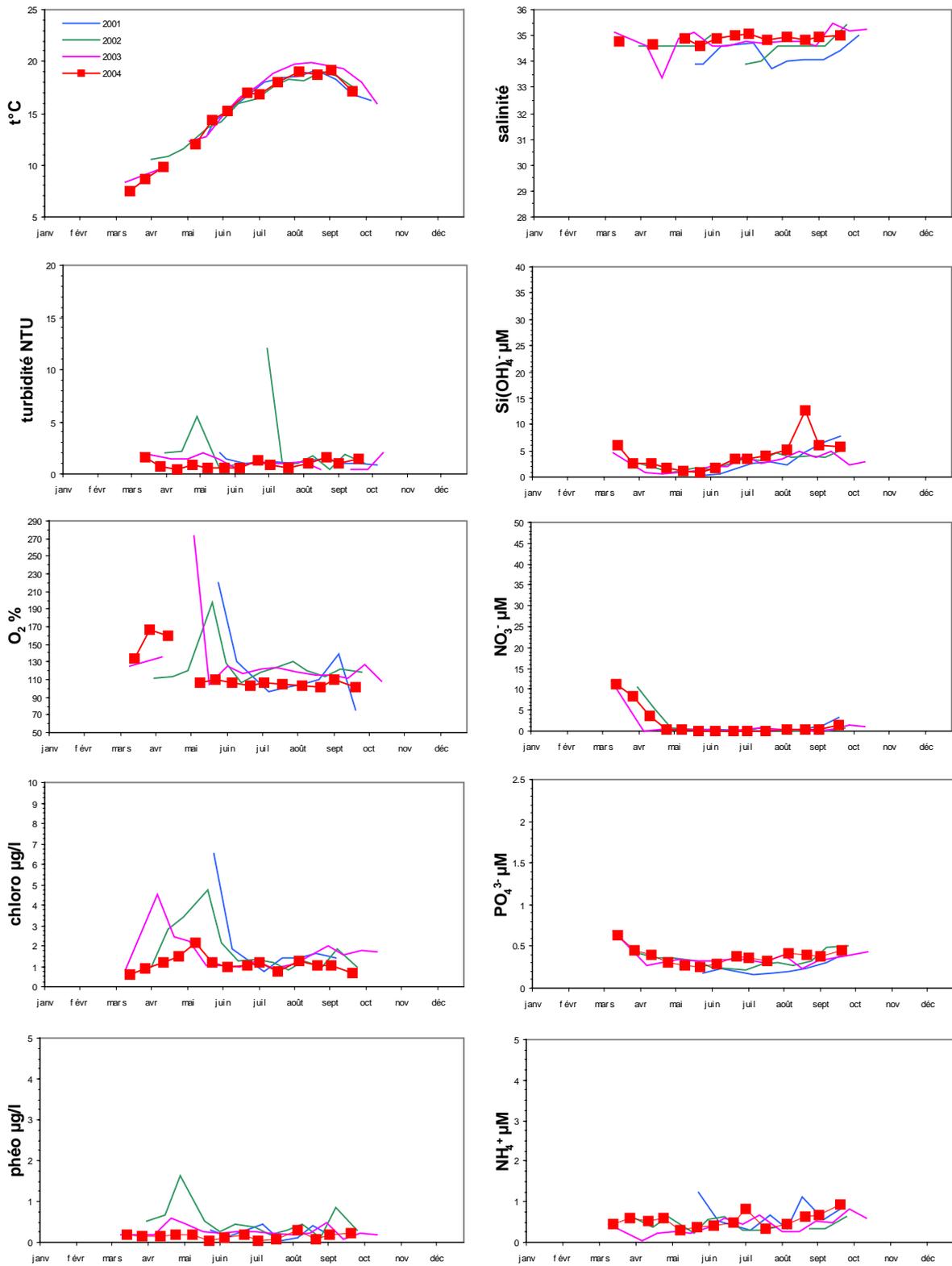


Figure 5 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Chausey entre 2001 et 2004.

2.4 Masse d'eau HC02 : Hacqueville

Les données hydrologiques mesurées en surface à Hacqueville en 2004 sont rassemblées sur la Figure 6.

L'allure du cycle hydrologique à Hacqueville est identique à celui observé à Donville, mis à part l'apport d'eau douce du 25 août qui entraîne une dessalure, un pic de turbidité (15 NTU) et un apport conséquent de sels nutritifs (18 μM de silicate, 5 μM de nitrate, 1 μM de phosphate et 4 μM d'ammonium). Cet apport provoque un pic de chlorophylle de l'ordre de 5 $\mu\text{g/l}$ alors que celui observé sur Donville à la même date est seulement de 2 $\mu\text{g/l}$.

NB : Une autre caractéristique de cette masse d'eau est qu'elle est depuis quelques années (2000) le siège de développement d'algues vertes, parfois importants, et obligeant, du fait de la gêne produite, à des ramassages durant les périodes estivales et automnales.

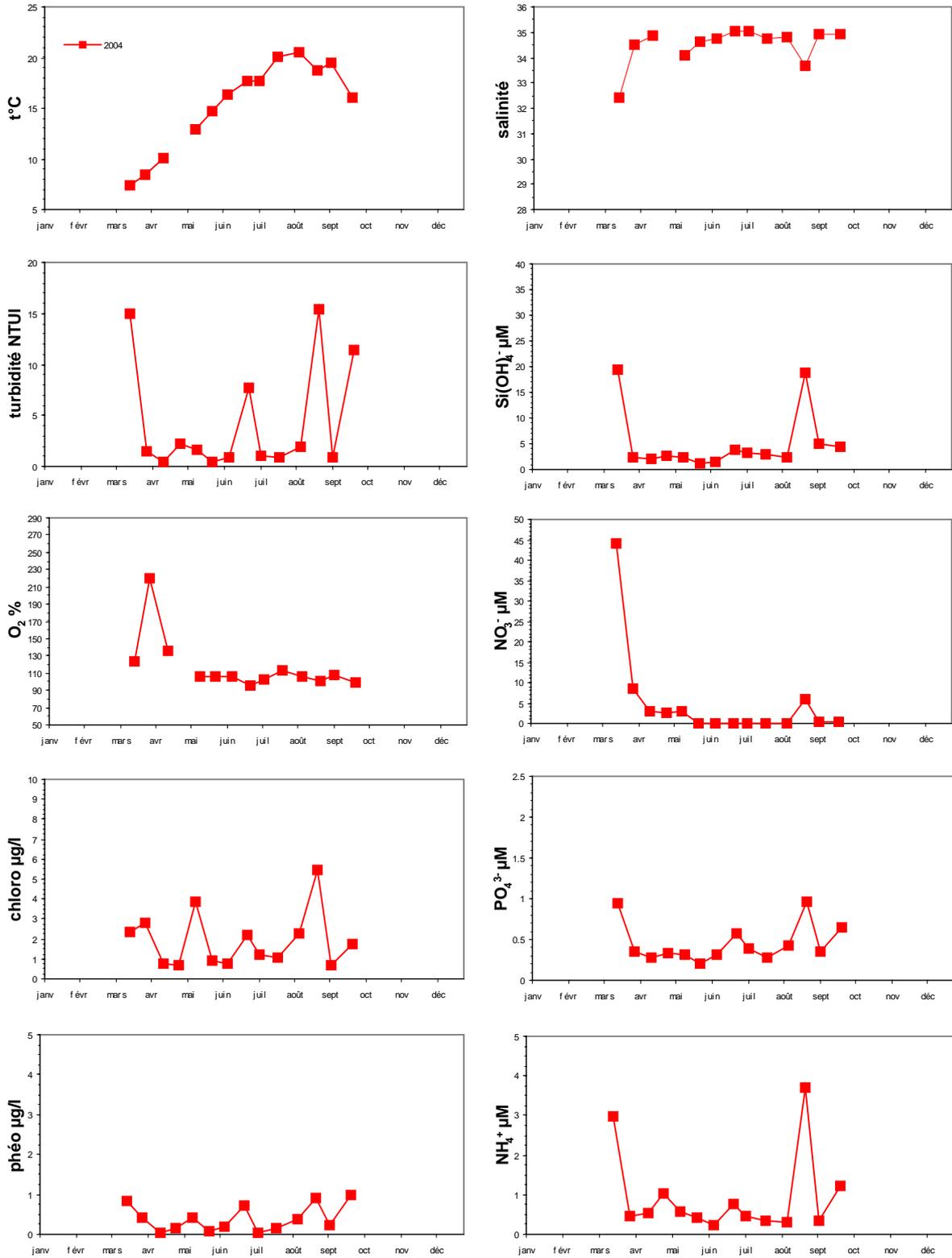


Figure 6 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Hacqueville en 2004.

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

2.5.1 Donville

Les données hydrologiques mesurées en surface à Granville (2001) et à Donville (2002-2004) sont rassemblées sur la Figure 7.

L'année 2004 est caractérisée par une salinité très stable au cours de la période productive (supérieure à 34.5) et une turbidité inférieure à 3 NTU.

L'allure du cycle hydrologique de Donville en 2004 est comparable à celles des trois années précédentes :

- fin de période hivernale caractérisée par la présence de la diatomée *Skeletonema*,
- période productive débutant fin mars par un bloom (4 µg/l de chlorophylle) majoritairement constitué des diatomées du genre *Thalassiosira*, et provoquant une sursaturation en oxygène de 210%,
- présence de la diatomée *Pseudonitzschia* (40 000 cell/l) entre les deux premiers blooms,
- deux blooms secondaires en mai et juin (respectivement de 3 et 2 µg/l de chl_a) respectivement constitués des diatomées du genre *Rhizosolenia* et des cryptophycées monophytoplanctoniques,
- une période estivale caractérisée par de faibles teneurs de chlorophylle, un épuisement du milieu en nitrate, une légère dissolution de la silice biogénique et des teneurs de phosphate et d'ammonium stables à environ 0.4 µM,
- un petit bloom automnal (2 µg/l de chlorophylle) provoqué par des diatomées du genre *Rhizosolenia*.

2.5.2 Agon

Les données hydrologiques mesurées en surface à Agon entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 8.

Comme les années précédentes, la biomasse chlorophyllienne est très faible (< 2 µg/l) sur l'ensemble de la période de suivi (mi-mars-septembre). Toutefois, au regard de la valeur d'oxygène dissous mesurée le 29 mars (210 %), et en raison de la présence significative de diatomées du genre *Thalassiosira* (72 000 cell/l), il se pourrait qu'un bloom se soit déroulé mi-mars à Agon avant de se déplacer vers le sud (Donville et Chausey ; Cf. Fig. 9 ci dessous).

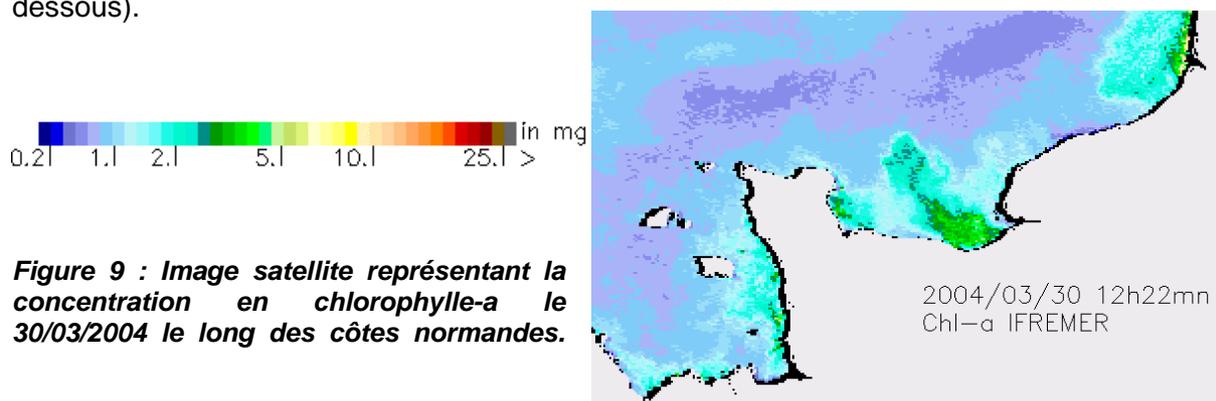


Figure 9 : Image satellite représentant la concentration en chlorophylle-a le 30/03/2004 le long des côtes normandes.

2.5.3 Pirou

Les données hydrologiques mesurées en surface à Pirou entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 10.

La situation de fin de bloom observée le 29 mars à Pirou est comparable à celle relevée à Agon : concentration de chlorophylle de 2 µg/l, valeur élevée du pourcentage d'oxygène dissous et présence importante de diatomées du genre *Thalassiosira*. Un autre bloom (4 µg/l de chlorophylle) se déroule début mai. Il est constitué principalement de diatomées du genre *Asterionella* et se développe alors que la turbidité est élevée (25 NTU). L'activité phytoplanctonique est ensuite relativement limitée au cours de l'été.

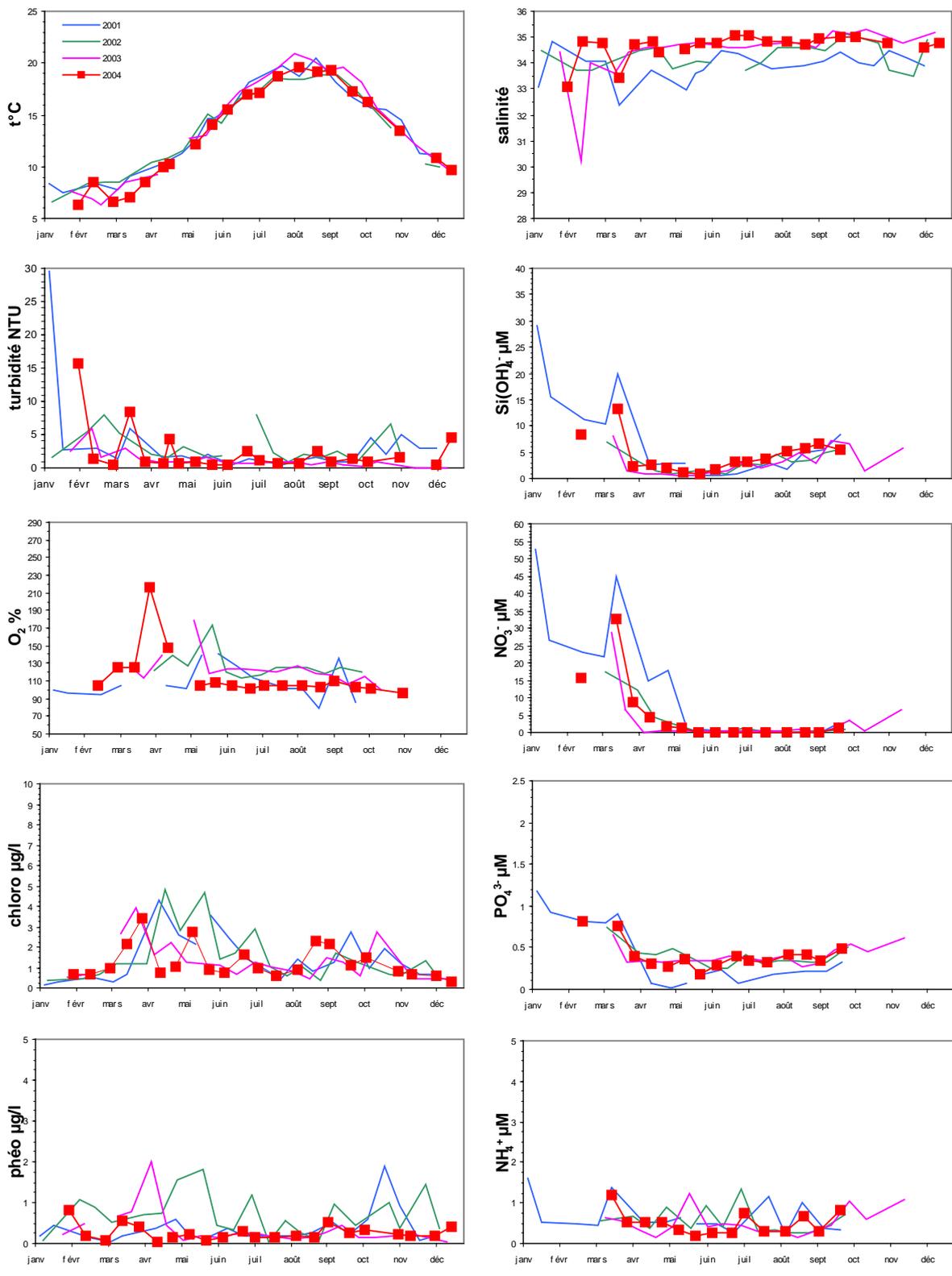


Figure 7 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Donville entre 2001 et 2004.

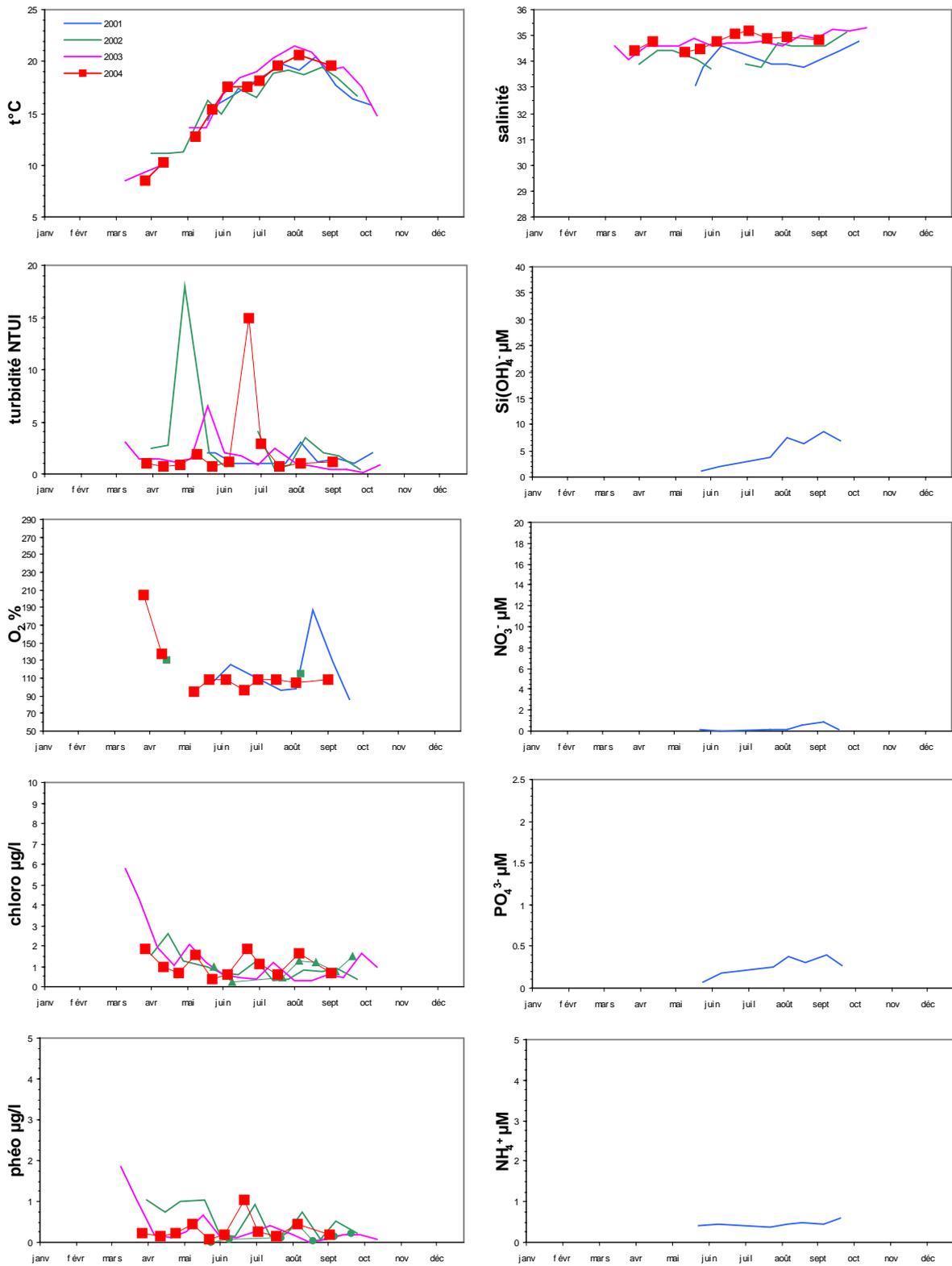


Figure 8 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Agon entre 2001 et 2004.

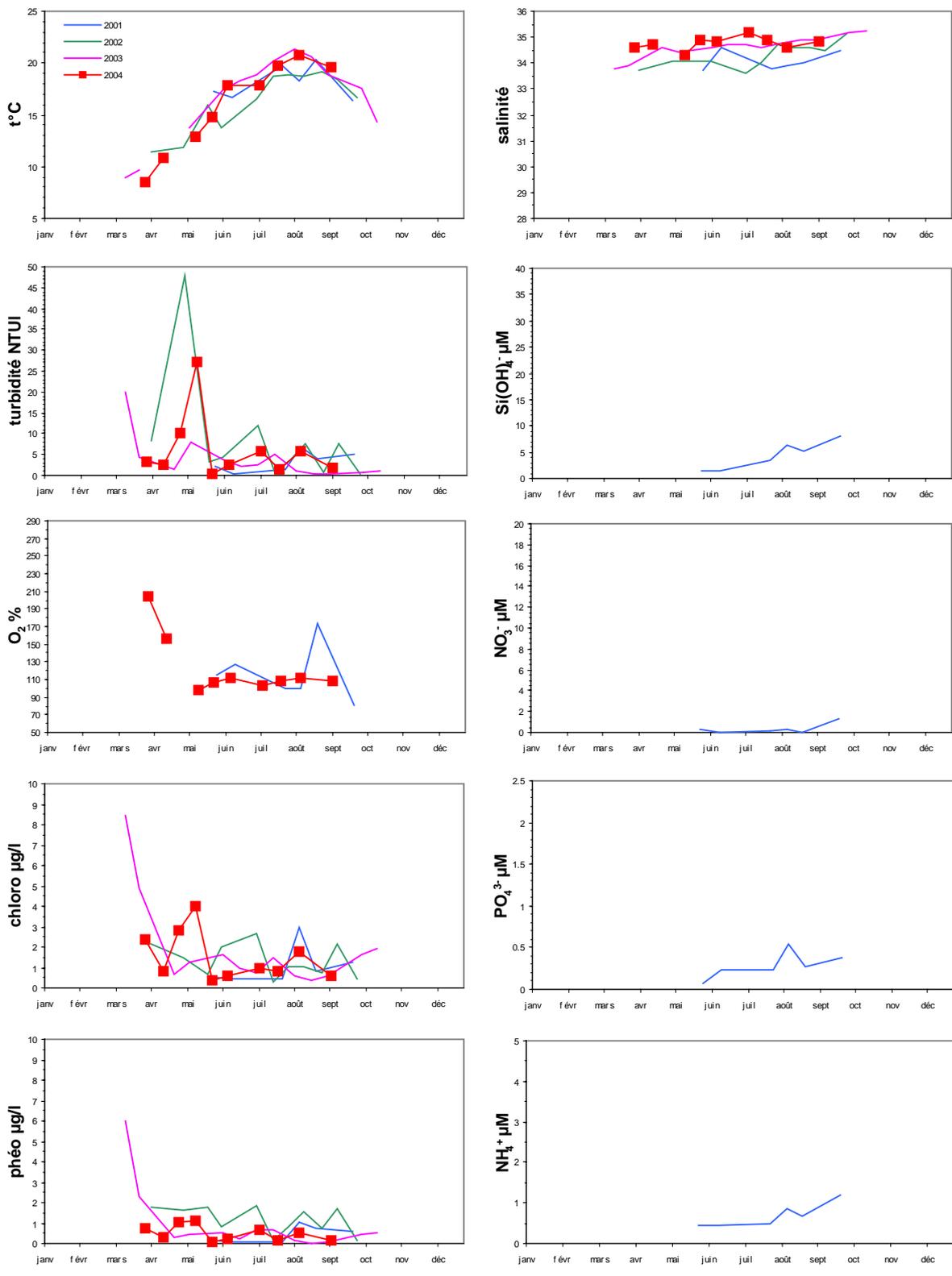


Figure 10 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Pirou entre 2001 et 2004.

2.6 Masse d'eau HC04 : Flamanville

Les données hydrologiques mesurées en surface à Flamanville entre 1987 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 11. 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.

Si la réalisation de trois campagnes annuelles de prélèvement est suffisante pour appréhender l'impact des rejets d'eaux chaudes et chlorées sur le milieu, elle n'est pas suffisante pour pouvoir décrire dans le détail le cycle hydrologique d'une masse d'eau, et ses variations fines interannuelles. Par contre, sur le long terme, les grandes évolutions ou tendances peuvent ressortir.

Ainsi, les résultats de surveillance du site de Flamanville depuis 1987 permettent tout de même de mettre en évidence un cycle saisonnier classique :

- concentrations maximales de sels nutritifs et concentration minimale de chlorophylle en hiver,
- consommation des sels nutritifs et augmentation de la concentration de chlorophylle 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). Par ailleurs, les dénombrements microphytoplanctoniques montrent une régularité dans 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 2004 sont conformes au schéma observé depuis 1987.

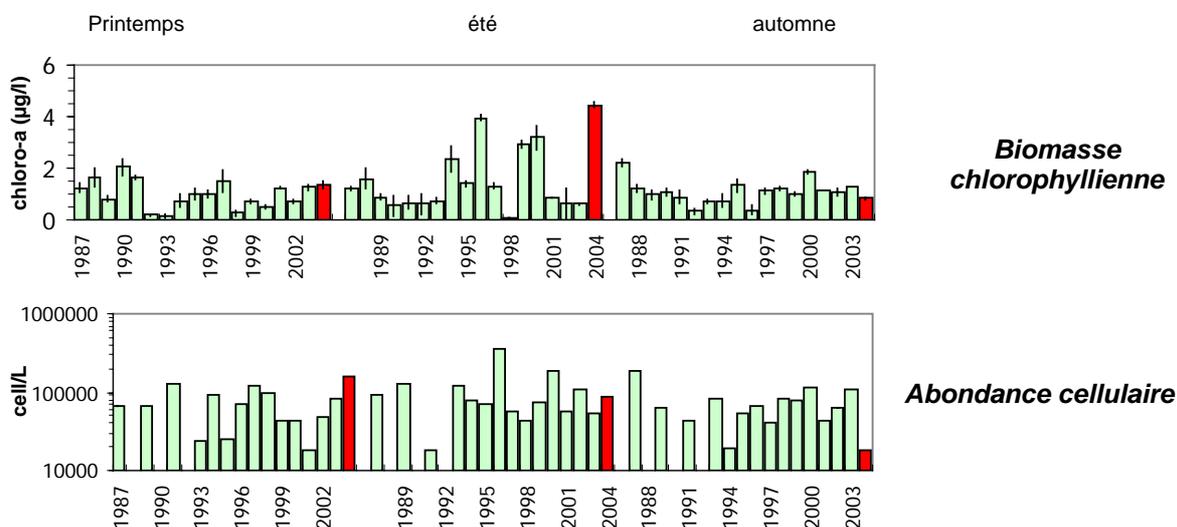


Figure 11 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Flamanville entre 1987 et 2004 (figure ci dessus et page suivante ; données EDF).

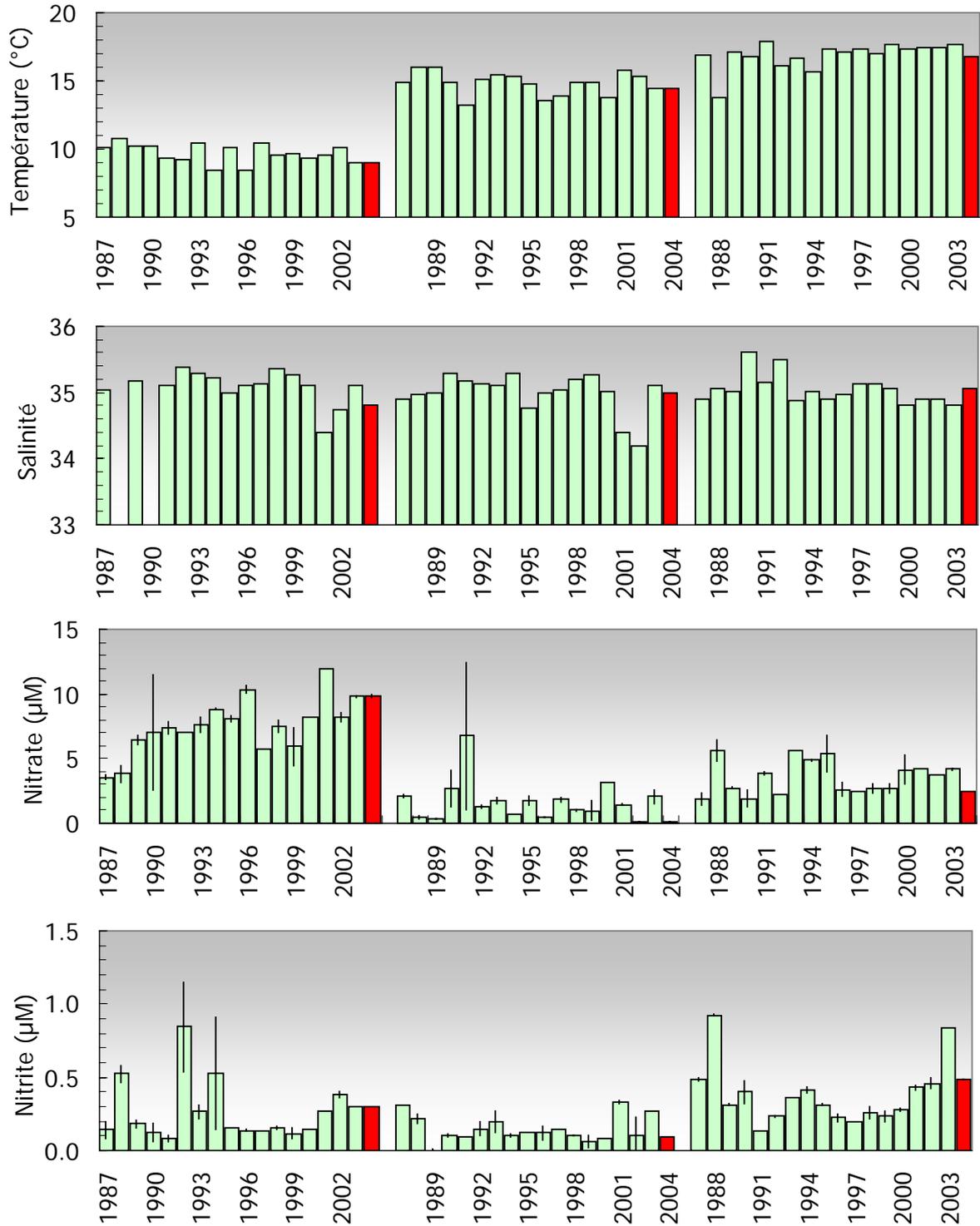


Figure 11 suite : évolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Flamanville entre 1987 et 2004 (figure ci dessus et pages précédente et suivante ; données EDF).

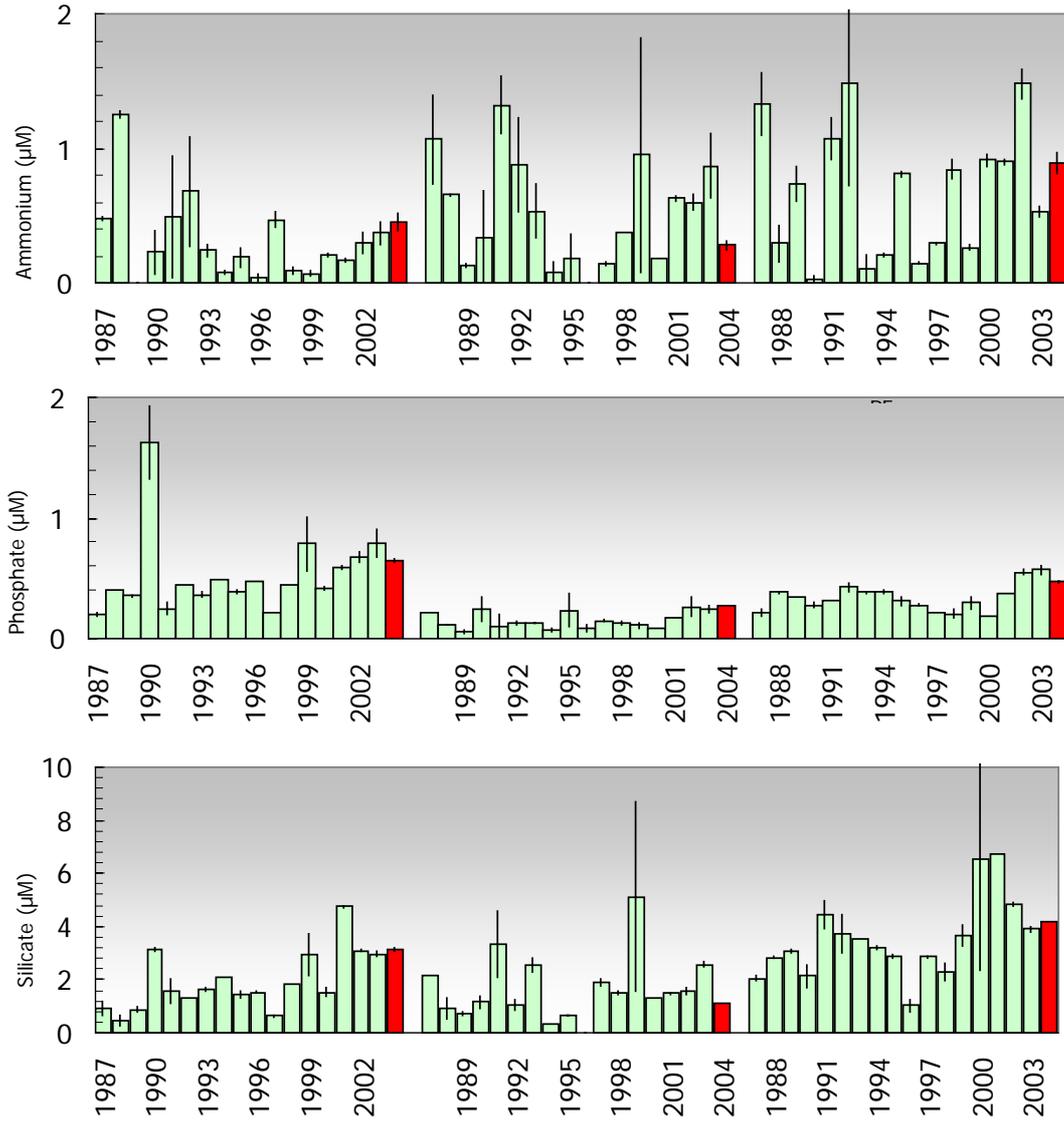


Figure 11 suite : évolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Flamanville entre 1987 et 2004 (figure ci dessus et pages précédentes ; données EDF).

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

Les données hydrologiques mesurées en surface à Gruchy, Cherbourg et au cap Lévy en 2004 sont respectivement rassemblées sur les Figures 12, 13 et 14.

Ces trois masses d'eaux présentent un cycle hydrologique comparable. Le début de bloom observé mi avril (2 µg/l de chlorophylle) épuise pratiquement le milieu en silicate. Le bloom s'amplifie au cours du mois de mai pour atteindre un pic de chlorophylle d'environ 10 µg/l, majoritairement constitué de *Rhizosolenia spp.*, qui épuise la masse d'eau en nitrate. Les concentrations de chlorophylle sont ensuite relativement faibles (1 µM) tout au long de l'été. La régénération de la silice biogénique et du nitrate sont significatives à partir de début juillet. La reminéralisation bactérienne et l'excrétion des niveaux trophiques supérieurs provoquent une augmentation significative de la teneur en ammonium (0.5 à 1.5 µM) entre juillet et septembre. La concentration en phosphate est stable à environ 0.4 µM.

Les images satellites disponibles depuis 1999 ne permettent pas de mettre en évidence de bloom avant la mi-avril. La côte nord Cotentin est donc le secteur où la période productive se déclenche le plus tardivement de tout le littoral normand.

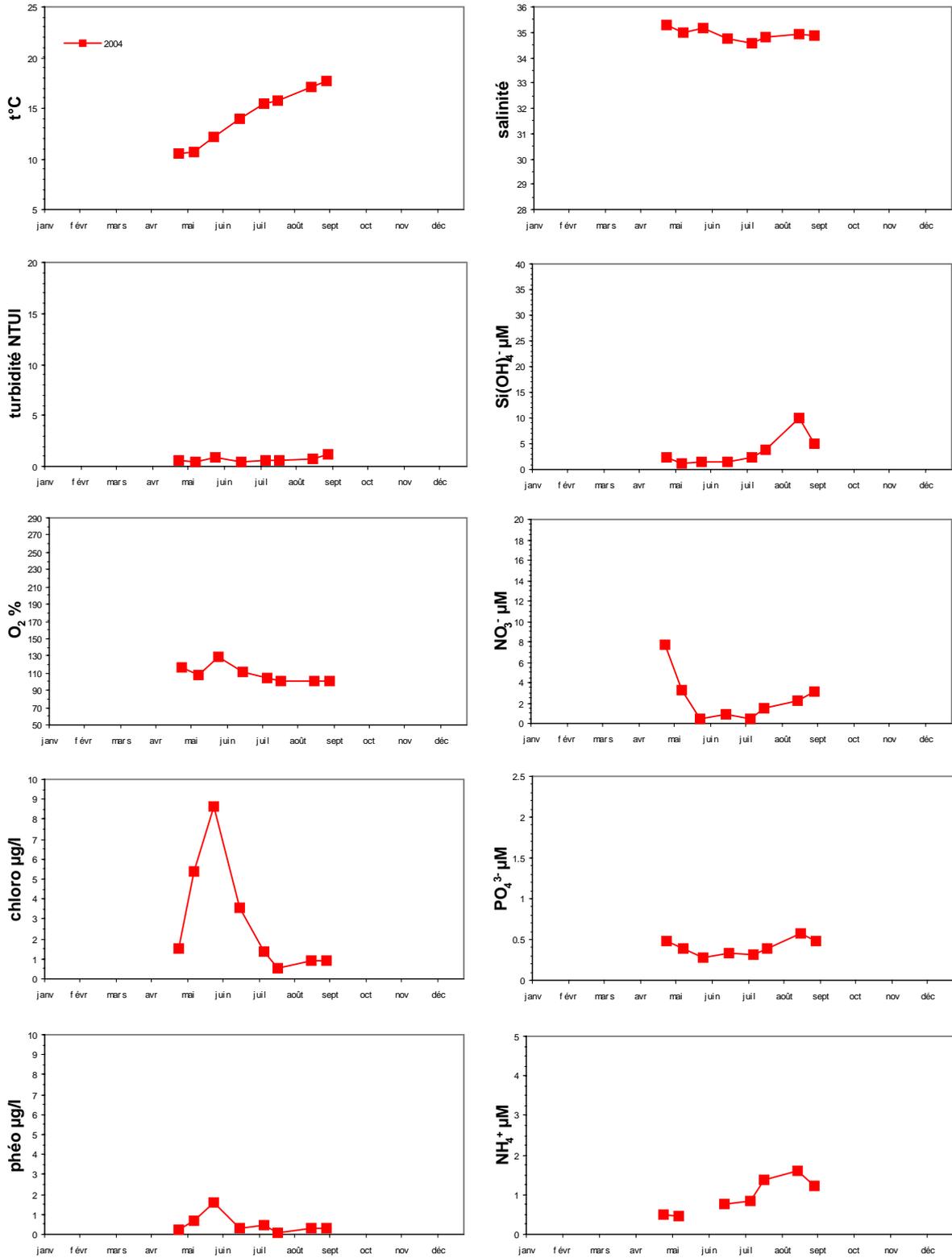


Figure 12 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Gruchy en 2004.

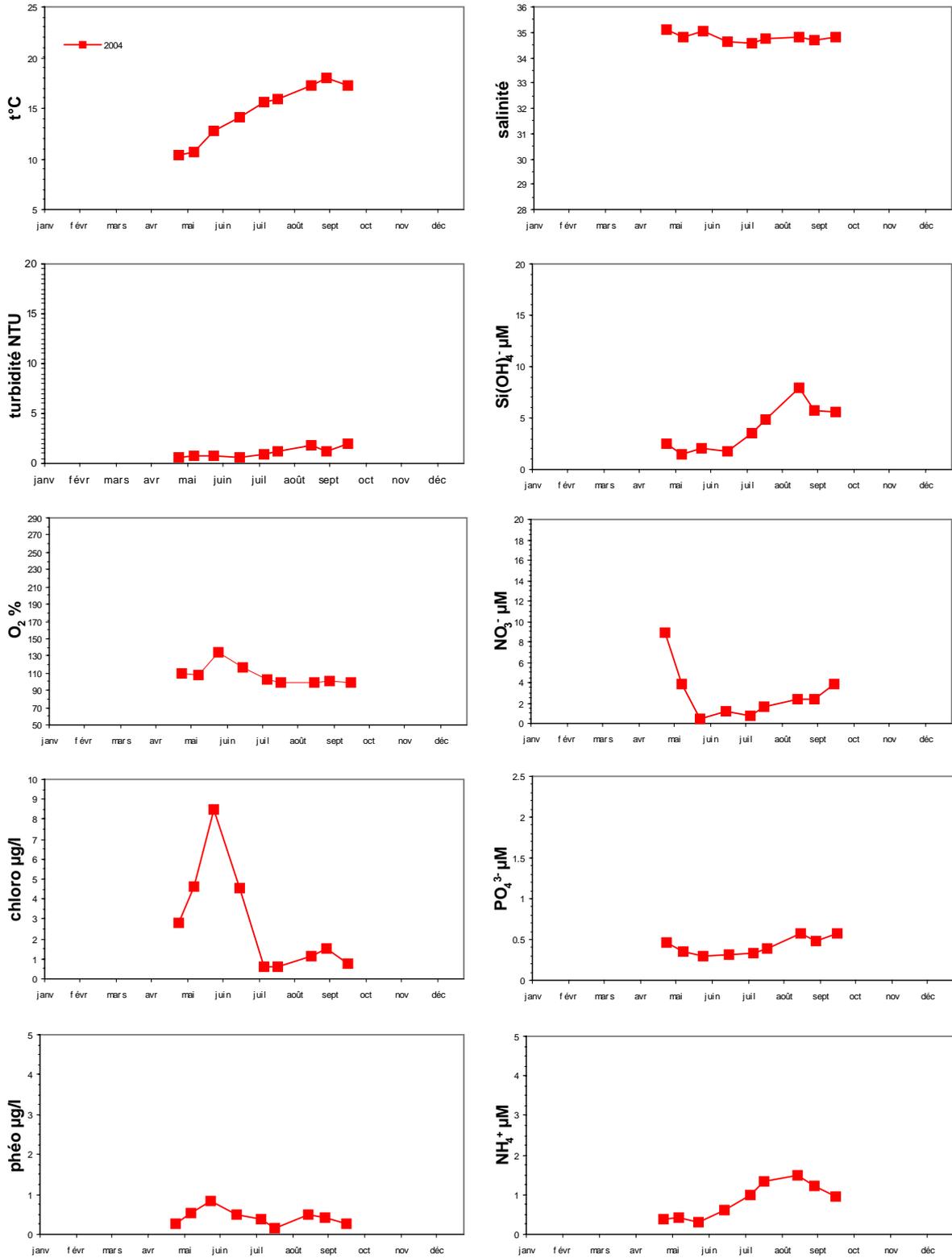


Figure 13 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Cherbourg en 2004.

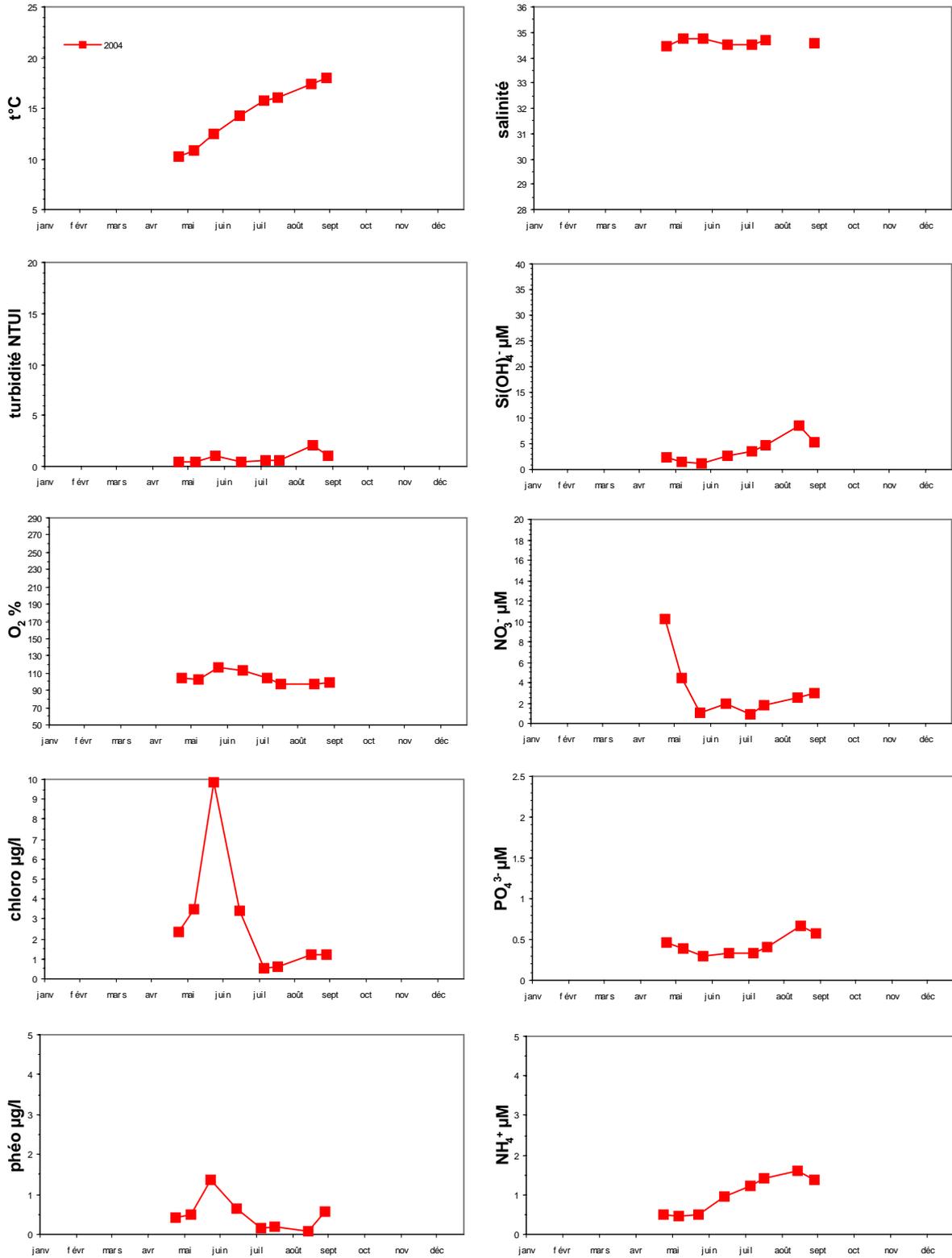


Figure 14 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface au cap Lévy en 2004.

2.8 Masse d'eau HC08 : Réville

Les données hydrologiques mesurées en surface à Réville en 2004 sont rassemblées sur la Figure 15.

Bien que le suivi hydrologique de Réville n'ait débuté que début mai, l'allure du cycle est comparable à celui observé à St Vaast pour l'ensemble des paramètres :

- zone très peu turbide marquée par une dessalure fin juin produisant une recharge en nitrate, ammonium et silicate dans la colonne d'eau,
- deuxième et troisième bloom phytoplanctonique mi-juin et mi-juillet respectivement dominés par *Leptocylindrus spp.* et *Rhizosolenia spp.*,
- dissolution progressive de la silice biogénique et épuisement de la colonne d'eau en nitrate au début du mois de juillet,
- régénération du phosphate début août et de l'ammonium début septembre.

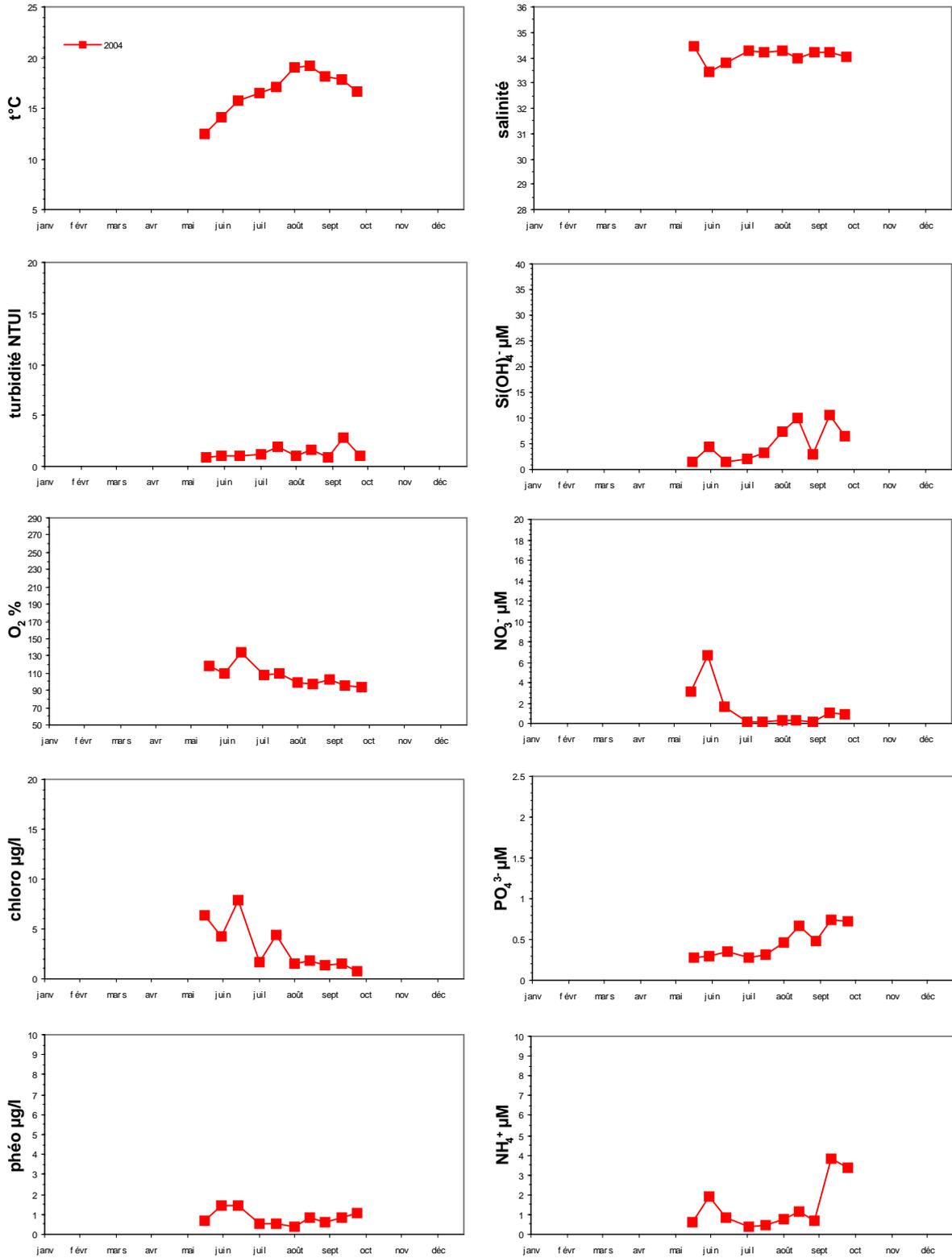


Figure 15 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Réville en 2004.

2.9 Masse d'eau HC09 : St Vaast

Les données hydrologiques mesurées en surface à St Vaast en 2003 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 16.

Le petit bloom précoce observé mi-mars a pour effet de diminuer la concentration en silicate, nitrate et phosphate. La période productive débute réellement mi-avril alors que la concentration en silicate est relativement faible ($2 \mu\text{M}$) et que la concentration en nitrate est proche de $15 \mu\text{M}$. Le bloom s'étend alors de mi-avril à début juin. Avant d'atteindre le pic chlorophyllien ($11 \mu\text{M}$) mi-mai, les espèces *Phaeocystis spp.* et *Pseudonitzschia spp.* sont détectées début mai en période de « dystrophie » (déséquilibre) entre le silicate et le nitrate. Le pic du bloom correspond à l'efflorescence de diatomées *Rhizosolenia*. La colonne d'eau est épuisée en nitrate à la suite de ce bloom. L'apport d'eau douce qui génère une légère dessalure début juin va enrichir le milieu en silicate ($6 \mu\text{M}$), nitrate ($6 \mu\text{M}$) et ammonium ($3 \mu\text{M}$). Cet apport de sels nutritifs va déclencher un second bloom ($7 \mu\text{M}$ de chlorophylle) constitué de la diatomée *Leptocylindrus spp.*. La dissolution de la silice biogénique permet l'apparition de deux petits blooms estivaux ($3 \mu\text{g/l}$) à la mi-juillet et la mi-août constitués de diatomées (*Rhizosolenia spp.*). Il faut noter la forte reminéralisation de l'ammonium au cours du mois de septembre (maximum de $7 \mu\text{M}$).

Comme en 2003, ce point de suivi est sensible à l'apport d'eaux douces pouvant provoquer des blooms secondaires. La différence majeure entre 2003 et 2004 est la dystrophie entre nitrate et silicate début mai qui permet l'apparition, en faible quantité, d'espèces phytoplanctoniques nuisibles (*Phaeocystis spp.* et *Pseudonitzschia spp.*).

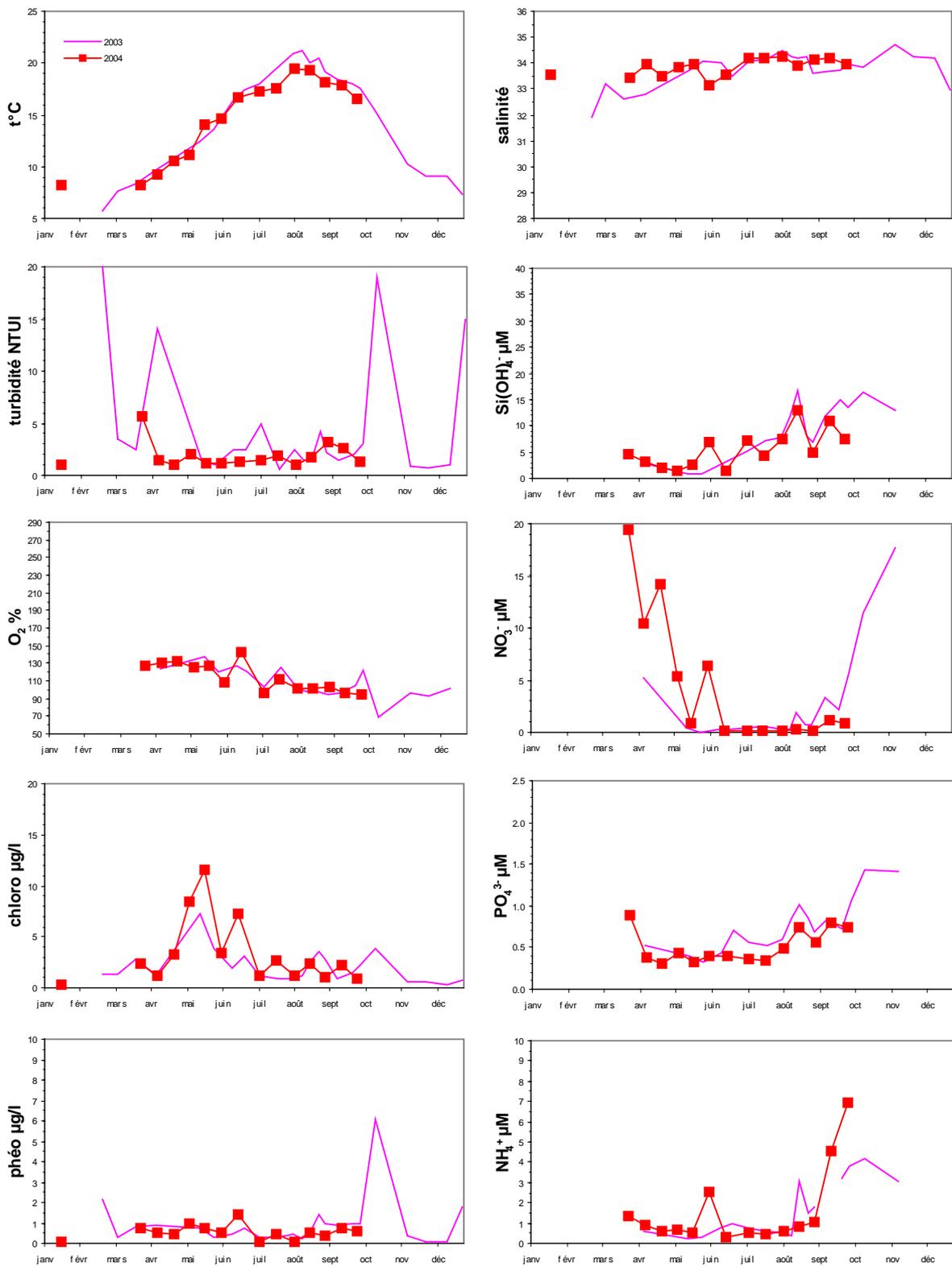


Figure 16 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à St Vaast en 2003 et 2004.

2.10 Masse d'eau HC10 : St Germain de Varreville, G fosse et Grandcamp.

Les données hydrologiques mesurées en surface à St Germain, G fosse et Grandcamp entre 2001 (2002 pour G fosse) et 2004 sont respectivement rassemblées sur les Figures 17, 18 et 19 .

La succession des espèces phytoplanctoniques à St Germain de Varreville, Grandcamp et G fosse est la même que celle observée sur St Vaast et Réville, c'est à dire un petit bloom précoce mi-mars constitué majoritairement des diatomées *Skeletonema sp.* et *Thalassiosira sp.*, un bloom principal mi-mai constitué de *Rhizosolenia sp.*, un troisième bloom mi-juin dominé par *Leptocylindrus sp.* et deux blooms estivaux mi-juillet et mi-août respectivement constitués de *Rhizosolenia sp.* et de *Chaetoceros sp.*

Le premier bloom (4 $\mu\text{g/l}$ à St Germain et 5 $\mu\text{g/l}$   G fosse) a pour conséquence de diminuer le stock de sels nutritifs. Le bloom principal de début mai (entre 8 et 12 $\mu\text{g/l}$ de chlorophylle suivant le point) n'épuise pas le milieu en nitrate (5 μM) : on observe alors la présence en faible quantité de *Phaeocystis sp.* et *Pseudonitzschia sp.* Une dessalure provoque début juin une recharge en sels nutritifs, notamment en nitrate et ammonium, et permet l'apparition du troisième bloom. Les petits blooms estivaux sont entretenus par la dissolution de la silice biogénique et la reminéralisation du phosphate qui débutent respectivement début juillet et début août.

En septembre, la reminéralisation de l'ammonium est moins importante à G fosse et Grandcamp qu'à St Vaast et Réville. Mais elle reste plus importante sur la côte est Cotentin que sur les côtes ouest et nord Cotentin.

L'allure du cycle hydrologique de 2004 reste globalement comparable à celles des cycles de 2001, 2002 et 2003 en baie des Veys, malgré quelques décalages temporels.

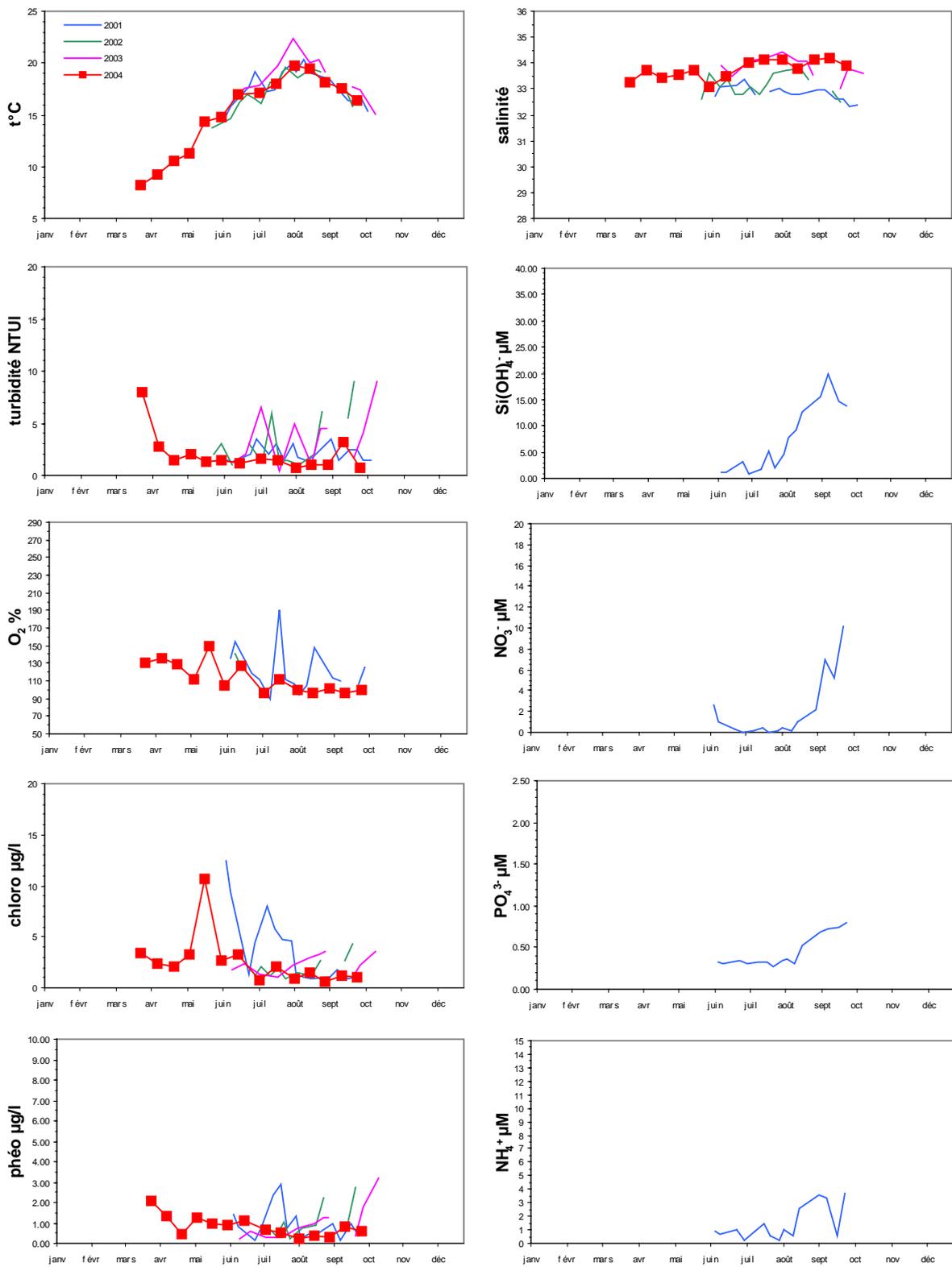


Figure 17 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à St Germain de Varreville entre 2001 et 2004.

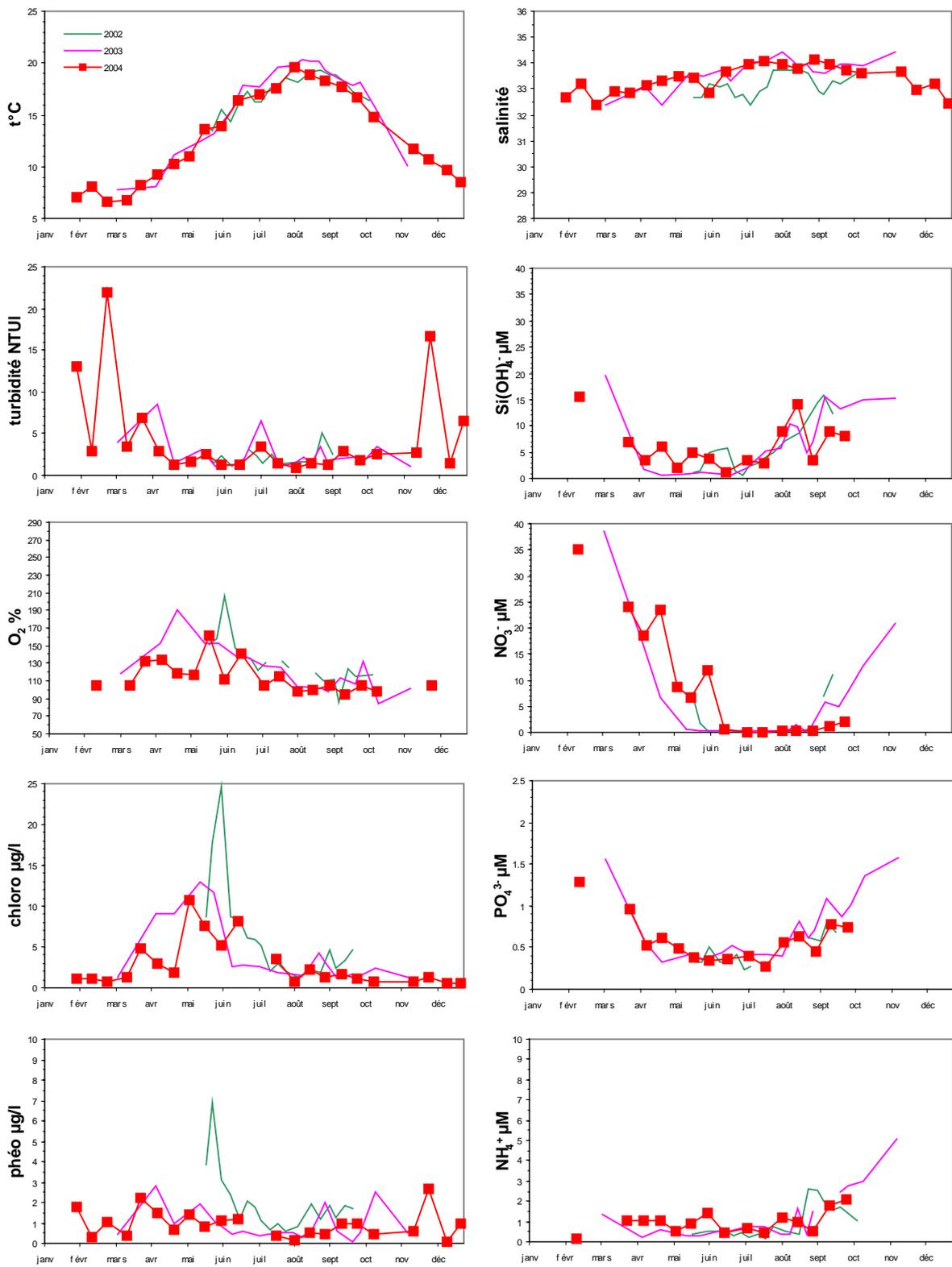


Figure 18 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Géfosse entre 2002 et 2004.

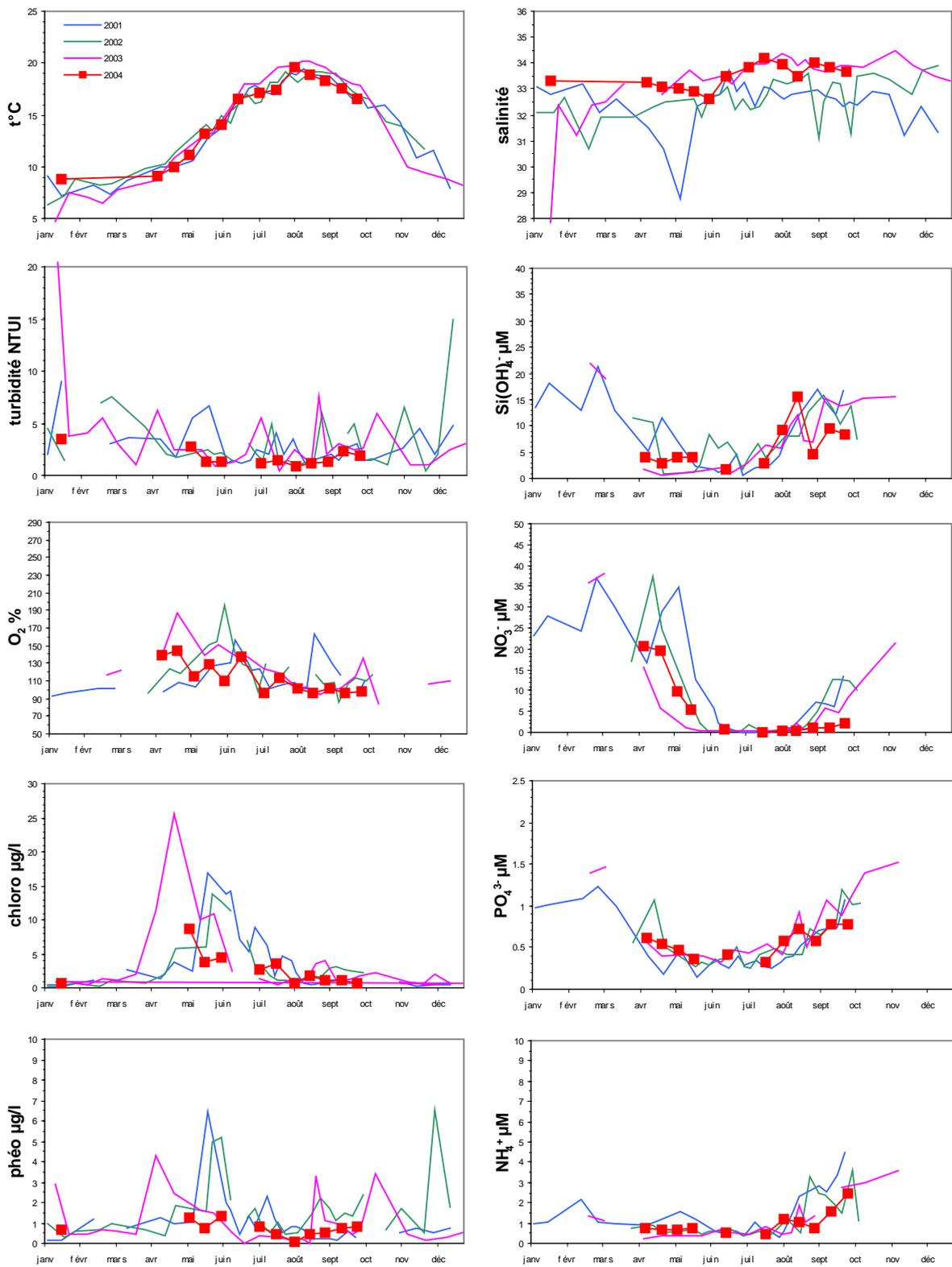


Figure 19 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Grandcamp entre 2001 et 2004.

2.11 Masse d'eau HC11 : Port en Bessin

Les données hydrologiques mesurées en surface à Port en Bessin en 2004 sont rassemblées sur la Figure 20.

Le suivi hydrologique du point de Port en Bessin a débuté fin avril. La concentration en silicate y est déjà très faible ($2 \mu\text{M}$) et laisse penser qu'un premier bloom a déjà eu lieu fin mars, similairement aux évolutions observées sur la côte est Cotentin et en baie des Veys. Cette faible teneur en silicate est observée alors que la teneur en phosphate est minimale ($0.4 \mu\text{M}$), mais que la concentration en nitrate est toujours élevée ($25 \mu\text{M}$). Cette dystrophie est favorable à l'apparition de *Phaeocystis sp.* et *Pseudonitzschia sp.* en quantités importantes début mai (respectivement 1 270 000 et 151 000 cell/l) en période de début de bloom. Le maximum de ce bloom est atteint mi-mai ($12 \mu\text{g/l}$) : il est alors dominé par la diatomée *Rhizosolenia sp.* Il faut noter à la fin de ce bloom une sous saturation en oxygène dissous (70 %) et une dessalure rechargeant le milieu en sels nutritifs. Cet apport nutritif permet le déclenchement d'un autre bloom dominé par la diatomée *Leptocylindrus sp.* et atteignant un maximum de $14 \mu\text{g/l}$ de chlorophylle mi-juin. La concentration en nitrate est épuisée à la suite de ce bloom et reste négligeable tout au long de l'été. La dissolution de la silice biogénique va permettre l'apparition de blooms estivaux dominés par les diatomées *Rhizosolenia sp.* et *Skeletonema sp.* Les concentrations en ammonium et phosphate en fin d'été restent négligeables.

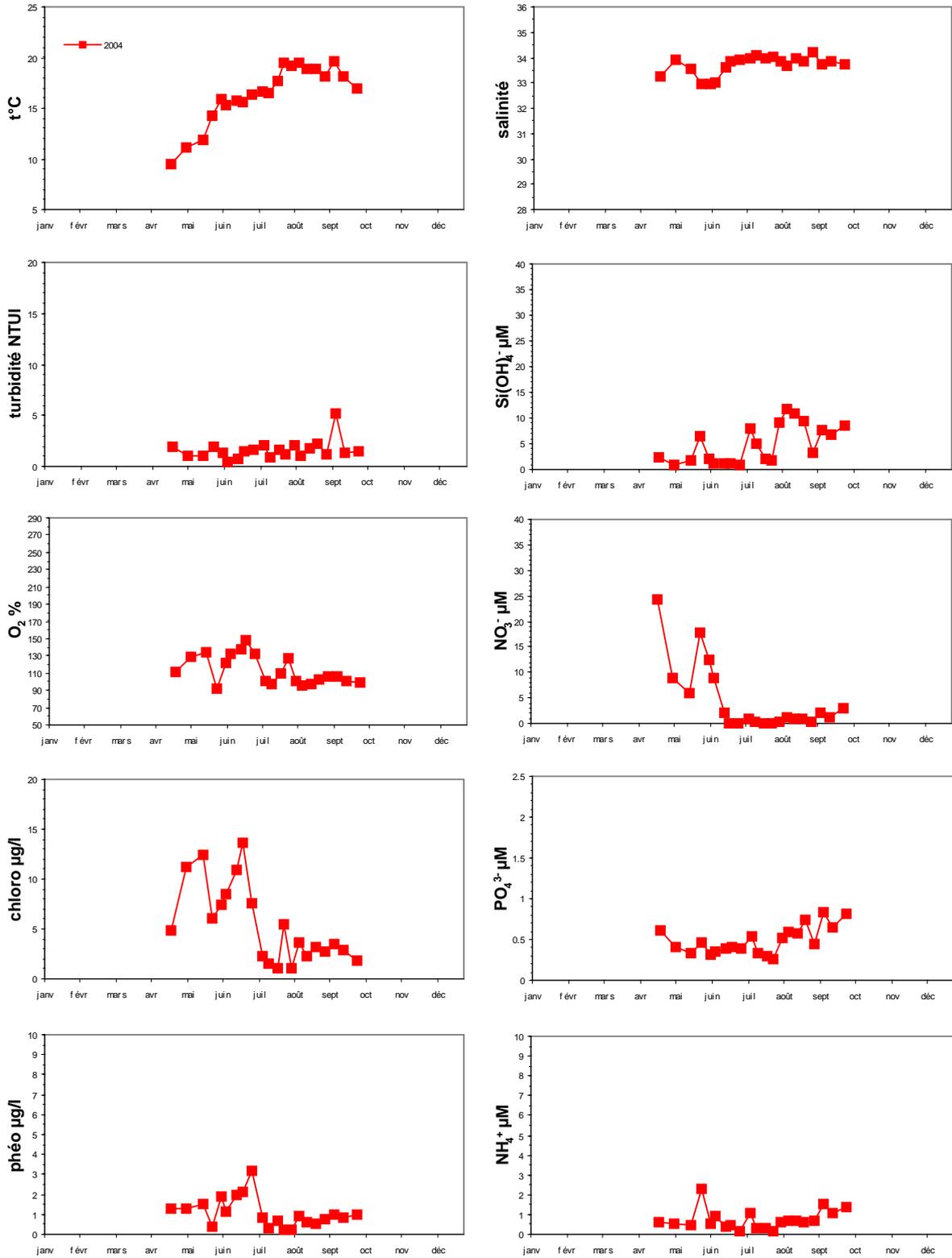


Figure 20 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Port en Bessin en 2004.

2.12 Masse d'eau HC12 : Meuvaines et Essarts

Les données hydrologiques mesurées en surface à Meuvaines et aux Essarts en 2004 sont respectivement rassemblées sur les Figures 21 et 22.

Le cycle hydrologique 2004 observé à Meuvaines est comparable à celui observé à Port en Bessin :

- début de suivi fin avril caractérisé par de faibles teneurs en silicate vraisemblablement à la suite d'un premier bloom courant mars,
- dystrophie entre nitrate et silicate mais par contre, sans apparition notable de *Pseudonitzschia sp.* et *Phaeocystis sp.*,
- début mai, bloom de l'ordre de 8 µg/l de chlorophylle dominé par *Rhizosolenia sp.*,
- fin mai, légère dessalure provoquant une recharge en nitrate et l'apparition d'un second bloom constitué de *Leptocylindus sp.* mi-juin (maximum de chlorophylle de 7 µg/l),
- mois de juillet caractérisé par un épuisement en nitrate, la « régénération » (dissolution) de la silice biogénique et l'apparition d'un bloom estival (5 µg/l de chlorophylle),
- reminéralisation du phosphate et de l'ammonium à partir du mois d'août.
- la dessalure de début septembre, faisant suite à une tempête, provoque des pics de turbidité et de phéopigments nettement plus importants qu'à Port en Bessin.

Le suivi des Essarts a débuté fin mai. L'allure du cycle est comparable à celle observée sur Meuvaines.

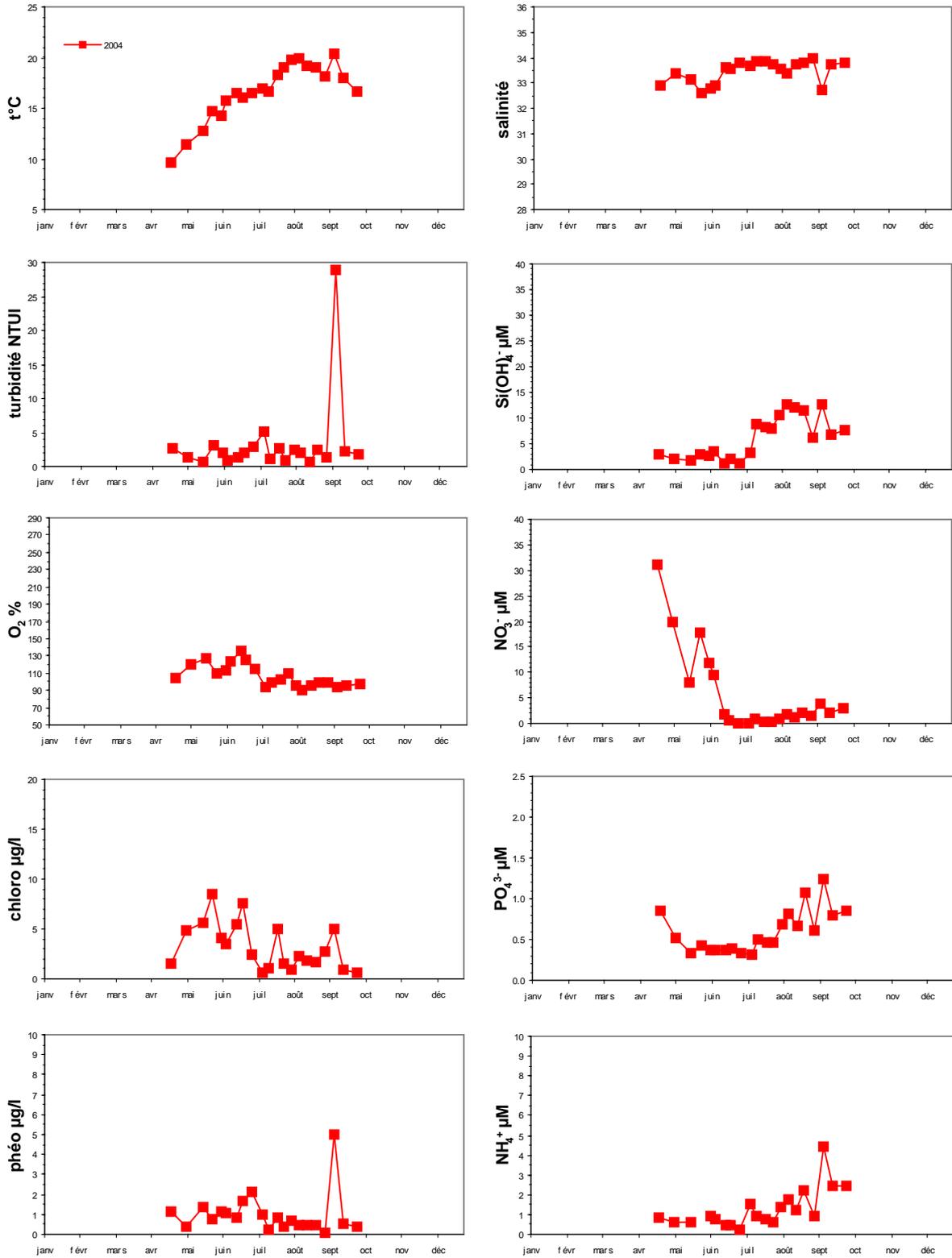


Figure 21 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Meuvaines en 2004.

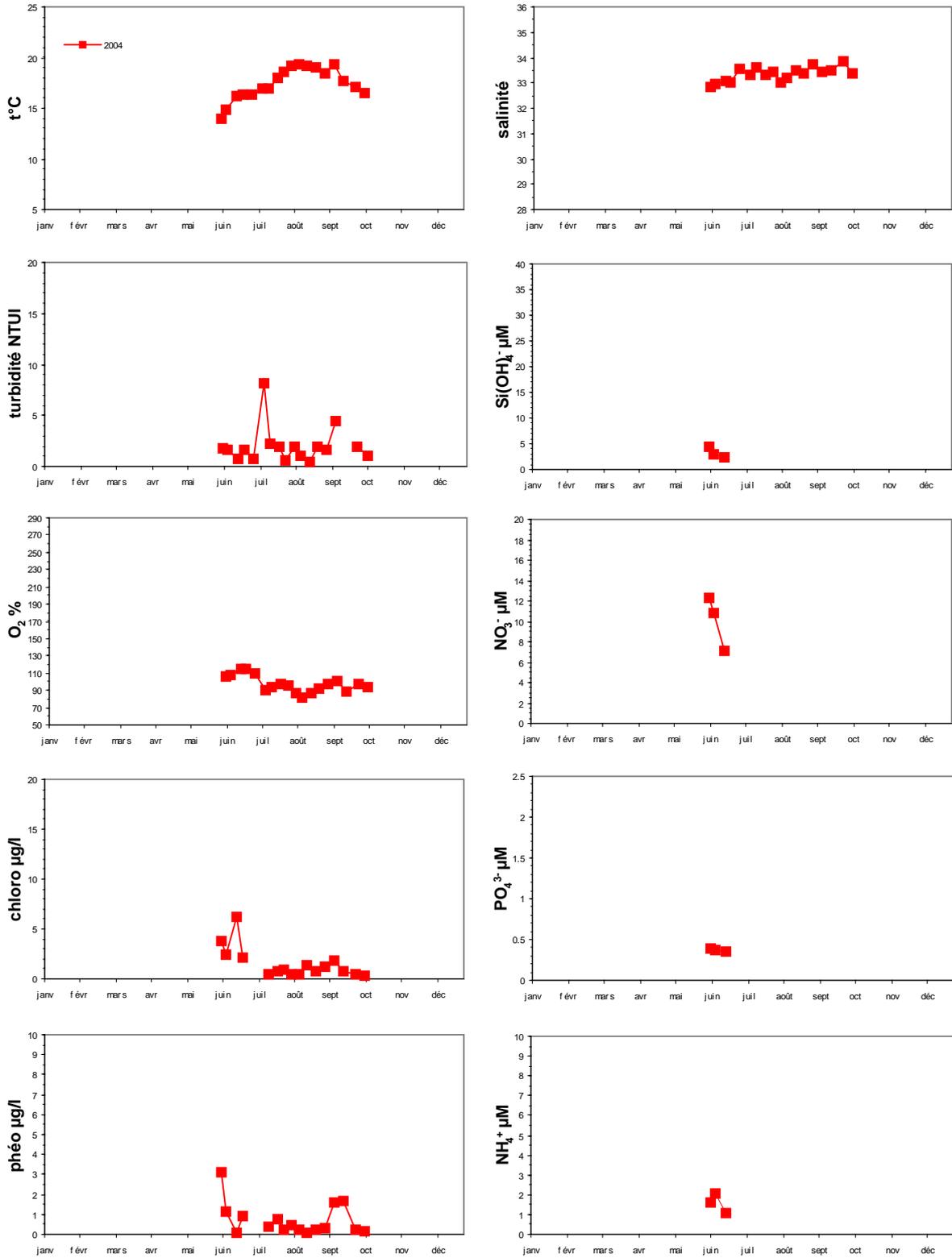


Figure 22 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface aux Essarts en 2004.

2.13 Masse d'eau HC13 : Luc sur Mer

Les données hydrologiques mesurées en surface à Luc/mer entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 23. Le point de suivi a été rapproché de la côte en 2004 (1 mille au lieu de 3 milles).

Le premier bloom se déroule tout au long du mois d'avril : il se caractérise par une concentration maximale de chlorophylle de 9 µg/l et est dominé par *Rhizosolenia sp.* Il a pour conséquence un appauvrissement du milieu en silicate, phosphate et ammonium. La teneur en nitrate reste relativement élevée (20 µM). La dessalure observée mi-mai provoque une augmentation des concentrations en silicate, nitrate et ammonium qui permet le déclenchement d'un second bloom (17 µg/l de chlorophylle) majoritairement constitué des diatomées *Lauderia sp.* et *Pseudonitzschia sp.* Ce bloom ne permet pas l'épuisement du milieu en nitrate. Un troisième bloom est généré mi-juin par la diatomée *Leptocylindrus sp.* : sa concentration maximale de chlorophylle est de 4 µg/l. C'est à la fin de ce troisième bloom que le nitrate est épuisé. Au mois de juillet, la dissolution de la silice biogénique permet l'apparition d'un bloom estival dominé par la diatomée *Chaetoceros sp.*, toutefois accompagnée par le dinoflagellé *Gymnodinium sp.* Suite à ce bloom, on observe en août la reminéralisation de l'ammonium et du phosphate. C'est à cette période qu'apparaît *Dinophysis sp.* (concentration maximale de 2100 cell/l). Le début septembre est caractérisé par un bloom automnal (8 µg/l de chlorophylle) associé à une efflorescence de nanoplancton.

L'année 2004 est caractérisée par une salinité relativement stable et élevée (33) par rapport aux trois années de suivi précédentes. Cette différence est sans doute à associer au fait que le point de prélèvement a été rapproché de la côte (1 mille) et est donc moins soumis aux influences du panache de la Seine.

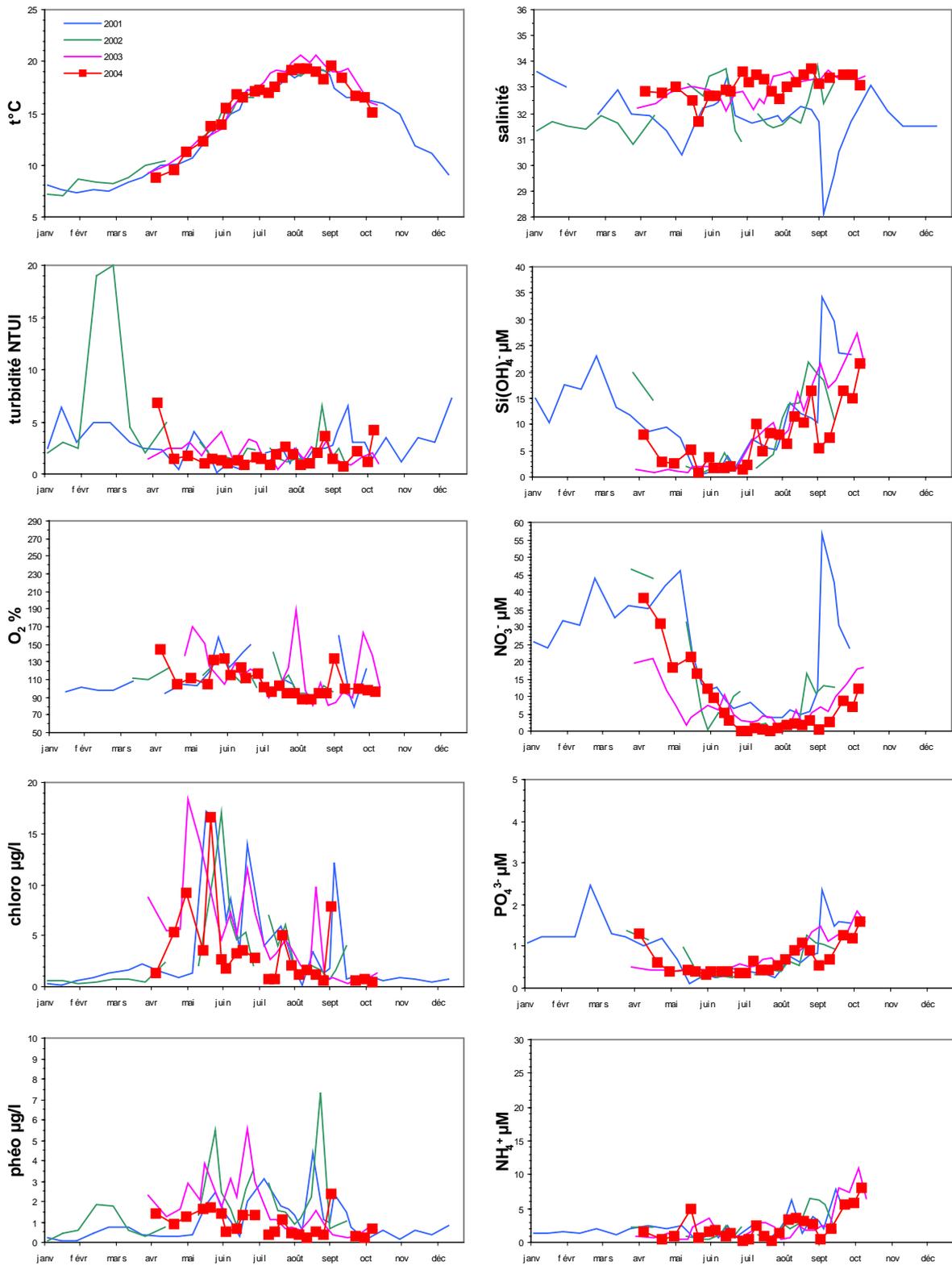


Figure 23 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Luc sur Mer entre 2001 et 2004.

2.14 Masse d'eau HC14 : Ouistreham (1 mille)

Les données hydrologiques mesurées en surface à Ouistreham entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 24 . Le point de suivi était situé à 3 milles de la côte en 2001, puis a été rapproché à 1 mille pour les suivis de 2002, 2003 et 2004.

Comme à Luc, le premier bloom se déroule au cours du mois d'avril pour atteindre une valeur maximale de 25 µg/l de chlorophylle. S'il est également constitué de *Rhizosolenia sp.* comme à Luc, il faut relever la très forte abondance de *Phaeocystis sp.* Une dessalure est également observée début mai à Ouistreham. Elle provoque une augmentation de la teneur en silicate et nitrate. C'est alors qu'est observé le deuxième bloom (25 µg/l de chlorophylle) constitué, comme à Luc, des diatomées *Lauderia sp.* et *Pseudonitzschia sp.* C'est le troisième bloom s'étalant sur le mois de juin qui va épuiser le milieu en nitrate. Ce bloom est dû à une efflorescence de la diatomée *Leptocylindrus sp.* et du dinoflagellé *Gymnodinium sp.* La période estivale se distingue par un long bloom d'environ 5 µg/l de chlorophylle. Ce bloom est entretenu par la dissolution de la silice biogénique et par la dessalure de mi-juillet qui permet une augmentation de la concentration en nitrate. Cette période estivale voit les efflorescences successives de *Chaetoceros sp.*, *Rhizosolenia sp.* et *Leptocylindrus sp.*, ainsi que l'apparition de *Dinophysis sp.* mi-juillet. Si la reminéralisation du phosphate est effective début août comme à Luc, la reminéralisation de l'ammonium débute seulement début septembre.

L'année 2004 se distingue notamment des années 2001 et 2002 par une salinité relativement stable à 32.5 de juin à septembre.

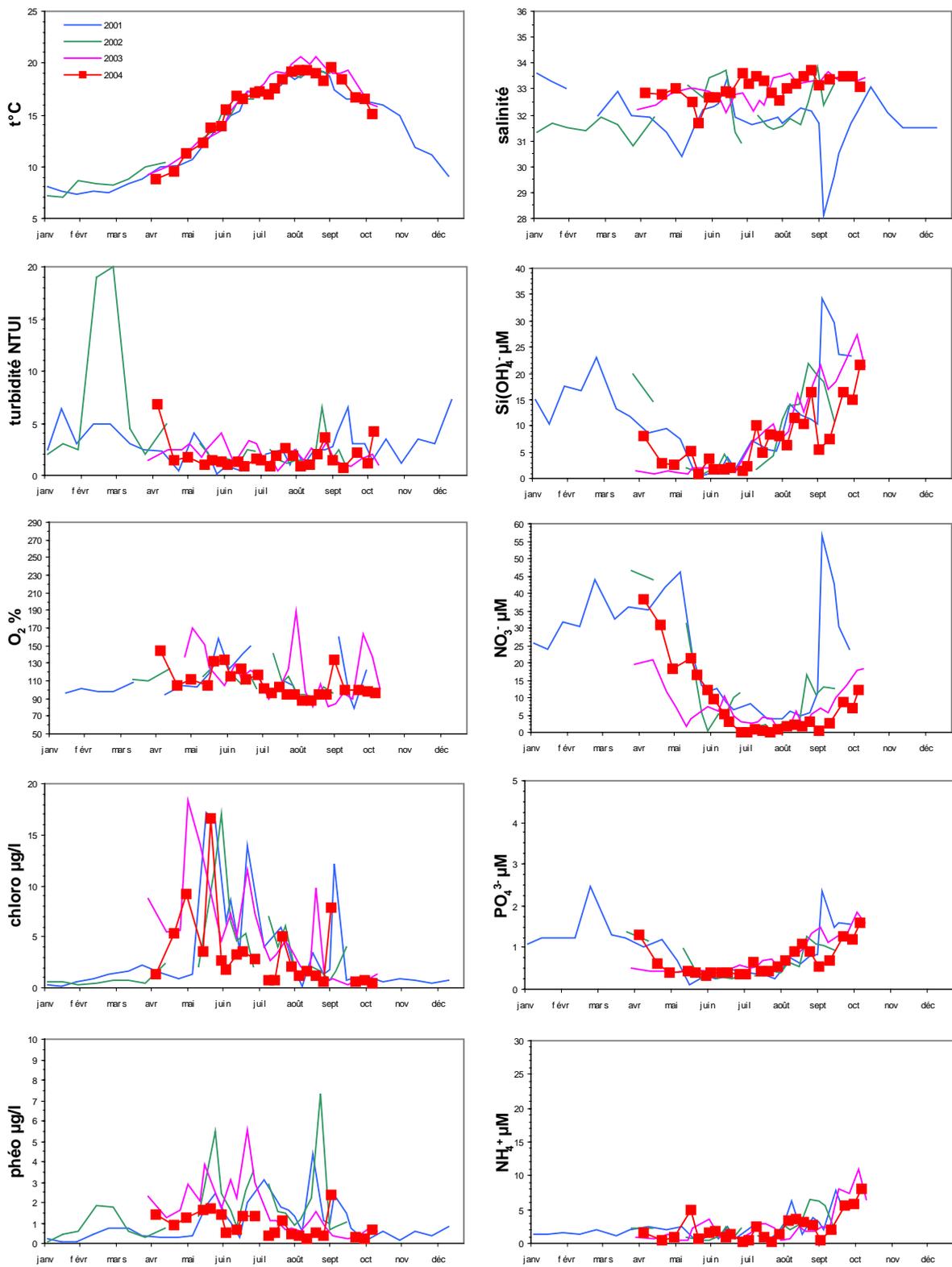


Figure 24 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Ouistreham entre 2001 et 2004.

2.15 Masse d'eau HT04 : Ouistreham canal

Les données hydrologiques mesurées en surface à Ouistreham canal en 2004 sont rassemblées sur la Figure 25. Le point de Ouistreham canal est situé dans une masse d'eau de transition. Les résultats obtenus sur ce point ne sont donc pas comparables avec ceux des autres points de prélèvement du RHLN situés dans des masses d'eaux côtières.

La principale caractéristique de ce point est la stratification de la masse d'eau. La surface est constituée d'eaux fluviales de salinité comprise entre 4 et 9 et de température comprise entre 13 et 25°C. Le fond est constitué d'eaux saumâtres de salinité comprise entre 13 et 25 et de température environ 2 °C inférieure à celle des eaux de surface entre avril et août. De plus, si les eaux de surface présentent une sursaturation en oxygène dissous d'avril à début août, les eaux du fond sont sous-saturées en oxygène pratiquement tout au long de la période productive. Les eaux de surface sont, de plus, marquées par une faible turbidité au cours de l'ensemble de la période productive.

La période de suivi débute mi-avril au cours d'un bloom générant une concentration de chlorophylle de 350 µg/l et correspondant à une population d'euglénophycées de plus de 80 millions de cell/l. Une concentration de 190 µg/l de phéopigments est observée lors du pic de ce bloom. Au cours des mois de mai et de juin, la concentration de chlorophylle est comprise entre 10 et 70 µg/l. Un deuxième bloom se déroule au cours du mois de juillet : il est principalement constitué de cryptophycées. Les mois d'août et de septembre sont caractérisés par des valeurs de chlorophylle inférieures à 10 µg/l et par une sous-saturation des eaux de surface (environ 90 %). C'est à cette période que la reminéralisation de l'ammonium et du phosphate est très importante. L'allure de la courbe de concentration en nitrate est inversement proportionnelle à celle de la salinité de surface, c'est à dire qu'elle diminue graduellement d'avril à septembre. L'ammonium est relativement stable d'avril à juillet (2 µg/l) puis augmente brusquement en août (20 µg/l). La chute de la teneur en phosphate de 6 à 1 µM en mai est associée à la fin du premier bloom printanier. Puis, simultanément au pic d'ammonium, la teneur en phosphate augmente de 1 à 9 µM en août. La concentration de silicate fluctue entre 60 et 120 µM tout en étant marquée par deux chutes importantes fin mai et fin juillet. Ces périodes correspondent à la présence massive de la diatomée *Skeletonema costatum* (respectivement 13 211 000 et 15 510 000 cell/l) dans les eaux de surface.

Cette masse d'eau de transition présente donc un cycle hydrologique très différent de ceux des masses d'eau côtières adjacentes. Les pics de chlorophylle y atteignent des valeurs 10 à 15 fois supérieures, et les compositions floristiques sont fort différentes. La stratification très marquée pose également un problème en matière de suivi.

Nous préconisons donc à l'avenir, soit d'arrêter le suivi phytoplanctonique et hydrologique de ces masses d'eau de transition, soit, si cela en vaut vraiment la peine, d'y développer des suivis parfaitement adaptés¹ (ainsi que des indicateurs d'évaluation de la qualité spécifiques). L'idéal serait alors très vraisemblablement de pouvoir disposer de systèmes d'acquisition de données haute fréquence (type Marell) qui seuls permettent de suivre les variations très importantes et très rapides dont ces masses d'eau de transition sont, comme leur nom l'indique, le siège, et, après filtration des signaux multiples (de type marées, ou crues...), de déceler d'éventuelles dérives de certains des paramètres hydrobiologiques.

Il appartiendra aux experts hydrologie et phytoplancton, à la fois « eau de mer » et « eau douce », de trancher sur cette question. A tout le moins pouvons nous suggérer que de bons suivis hydrobiologie et phytoplancton menés d'une part en eau douce, et d'autre part en eaux côtières, devraient permettre de bien cerner la qualité globale des masses d'eau d'un secteur ou d'une région, et ainsi répondre aux exigences de la DCE.

¹ ce qui ne veut pas dire que les suivis de certains paramètres, comme par exemple l'halieutique ou encore la végétation des schorres, ne soient pas à réaliser dans ces masses d'eau de transition ; il n'est question ici que de suivis phytoplanctoniques et hydrologiques.

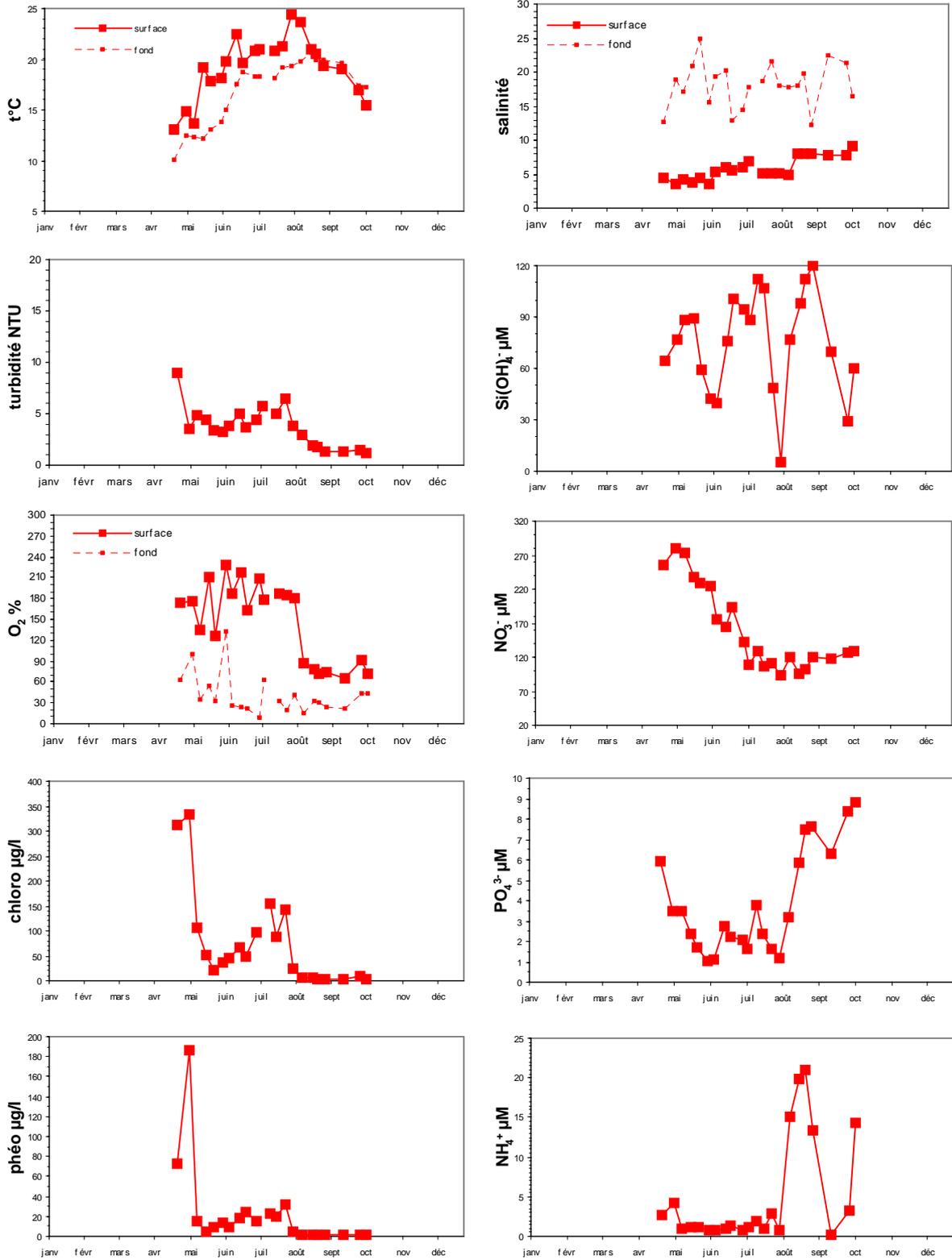


Figure 25 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface et du fond à Ouistreham Canal en 2004.

2.16 Masse d'eau HC15 : Cabourg

Les données hydrologiques mesurées en surface à Cabourg entre 2001 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 26.

La fin de la période hivernale (mars) est dominée par la diatomée *Skeletonema sp.* qui commence à consommer le stock hivernal de nutriments et produit une biomasse chlorophyllienne de l'ordre de 5 µg/l. Un bloom de *Chaetoceros sp.* (12 µg/l de chlorophylle) est détecté mi-avril : il appauvrit le milieu en silicate, phosphate et ammonium, mais la concentration en nitrate reste supérieure à 30 µM. Une importante dessalure est observée début mai : elle recharge le milieu en sels nutritifs et permet le déclenchement d'un troisième bloom (32 µg/l de chlorophylle) constitué d'un mélange de diatomées (*Rhizosolenia sp.*, *Lauderia sp.*, *Thalassiosira sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Skeletonema sp.*), de *Phaeocystis sp.* et de cryptophycées. La fin de ce bloom est caractérisée par une efflorescence de *Chaetoceros sp.* (5 µg/l) et par l'apparition de *Dinophysis sp.* Une nouvelle dessalure est observée mi juin et entraîne notamment une augmentation des concentrations de phosphate et d'ammonium. Il s'ensuit un quatrième bloom (45 µg/l de chlorophylle) correspondant à une efflorescence de *Gymnodinium sp.* qui épuise le milieu en nitrate et ammonium et produit une importante quantité de phéophytine (10 µg/l). Le mois de juillet est également caractérisé par une dessalure provoquant une importante augmentation de phosphate et un bloom (45 µg/l) majoritairement constitué de *Prorocentrum sp.* et de *Chaetoceros sp.* Le genre *Prorocentrum sp.* provoque une importante eau colorée à cette période. Le mois d'août est peu soumis aux apports d'eaux douces mais présente une reminéralisation du phosphate et de l'ammonium ainsi qu'une importante dissolution de la silice biogénique. Ces sels nutritifs entretiennent une biomasse chlorophyllienne d'environ 5 µg/l correspondant à des efflorescences de *Rhizosolenia sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Skeletonema sp.* et de cryptophycées. La dessalure de début septembre permet l'apparition d'un dernier bloom (6 µg/l) constitué de la diatomée *Leptocylindrus sp.*

2004 présente des dessalures moins importantes que 2001 et 2002, ce qui explique très vraisemblablement que les concentrations en silicate et en nitrate sont plus faibles de juin à août. La concentration en phosphate reste par contre comparable à celles mesurées les années précédentes.

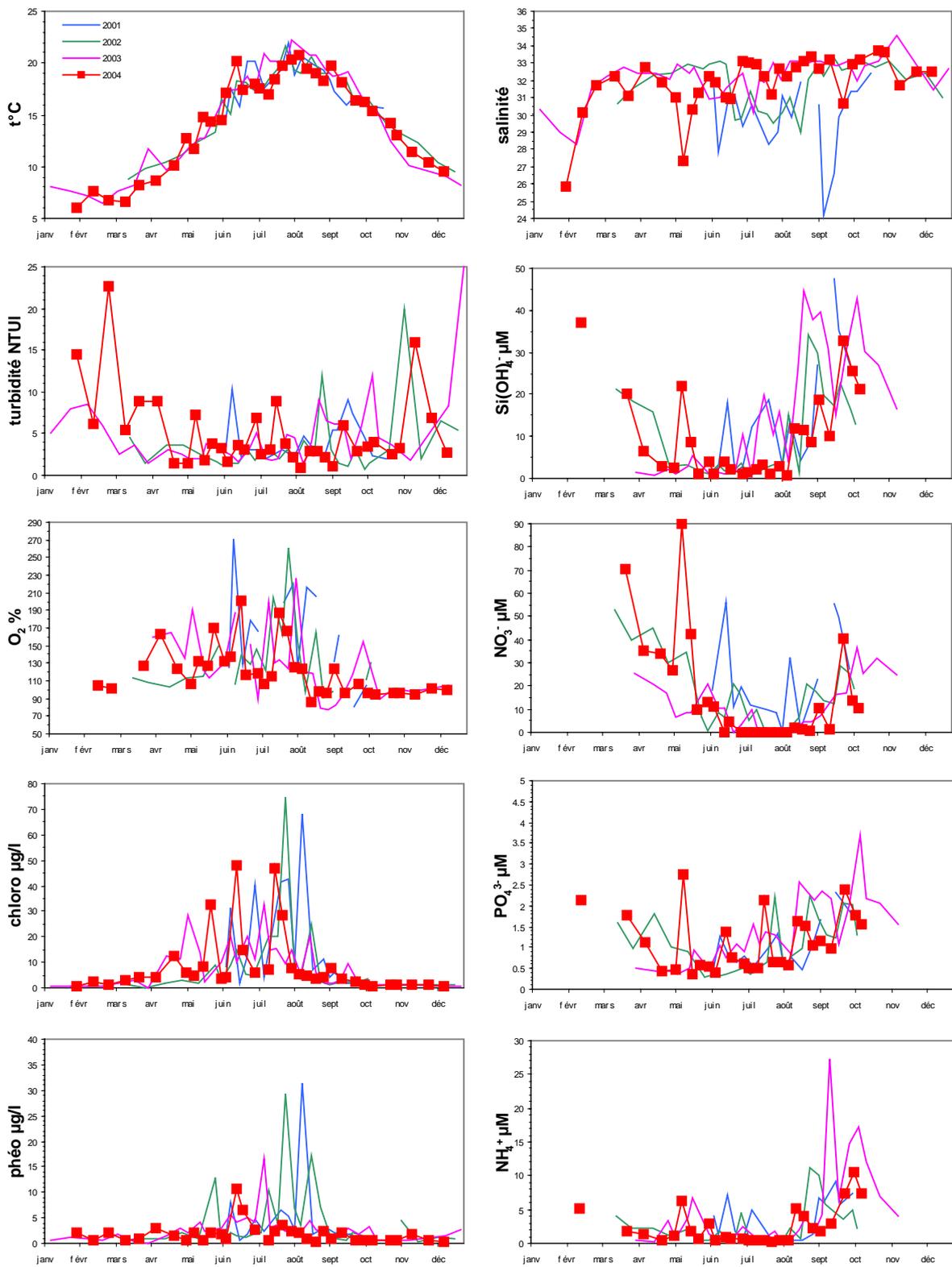


Figure 26 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Cabourg entre 2001 et 2004.

2.17 Masse d'eau HT03 : Marel Carosse

Les données hydrologiques mesurées en surface à la bouée MAREL Carosse² entre 2003 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 27.

Le scénario observé à la bouée MAREL de La Carosse est globalement similaire à celui observé à Cabourg, bien que la fréquence de prélèvement y soit moins élevée (bimensuelle à La Carosse et hebdomadaire à Cabourg).

Ainsi, au début du suivi mi-avril, un bloom (12 µg/l), majoritairement constitué de diatomées (*Cerataulina sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Rhizosolenia sp.*), est détecté à La Carosse : il a également comme effet de faire baisser les teneurs en silicate jusqu'à 3 µM, en phosphate jusqu'à 1.5 µM, en ammonium jusqu'à 1 µM, et en nitrate jusqu'à 60 µM.

L'importante dessalure de début mai a également pour effet de recharger considérablement la colonne d'eau en sels nutritifs (25 µM de silicate, 140 µM de nitrate, 4 µM de phosphate et 9 µM d'ammonium). Par contre, l'absence de prélèvement mi-mai ne permet pas de détecter le troisième bloom observé à Cabourg.

La dessalure de mi-juin ne crée pas d'augmentation de concentration de sels nutritifs mais permet l'entretien d'un important bloom (32 µg/l de chlorophylle) de diatomées (*Chaetoceros sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Rhizosolenia sp.*, *Skeletonema sp.*, *Asterionella sp.*) et non du dinoflagellé *Gymnodinium sp.* comme à Cabourg. Ce bloom génère une forte concentration de phéopigments (14µg/l) et un appauvrissement du milieu en silicate. Mais contrairement à ce que nous observons sur Cabourg au même moment, les concentrations en nitrate restent élevées (>20 µM).

La fin juillet est caractérisée par une dessalure qui permet l'entretien d'un bloom (25 µg/l de chlorophylle) de *Rhizosolenia sp.*

De façon similaire à ce qui se passe sur Cabourg, le mois d'août est caractérisé par une reminéralisation du phosphate et de l'ammonium et par une dissolution de la silice biogénique. La population phytoplanctonique est alors majoritairement constituée de *Chaetoceros sp.* et produit une concentration de chlorophylle d'environ 3 µg/l.

² Cette masse d'eau est une masse d'eau de transition. Bien que nettement moins dessalée (en moyenne) que la masse d'eau HT04, il aurait été utile de pouvoir disposer, comme par le passé, des données produites par la Bouée Marel Carosse. Celle-ci a malheureusement connu de nombreuses pannes durant l'année 2004, et les séries de données disponibles présentent trop de ruptures pour être utilisables.

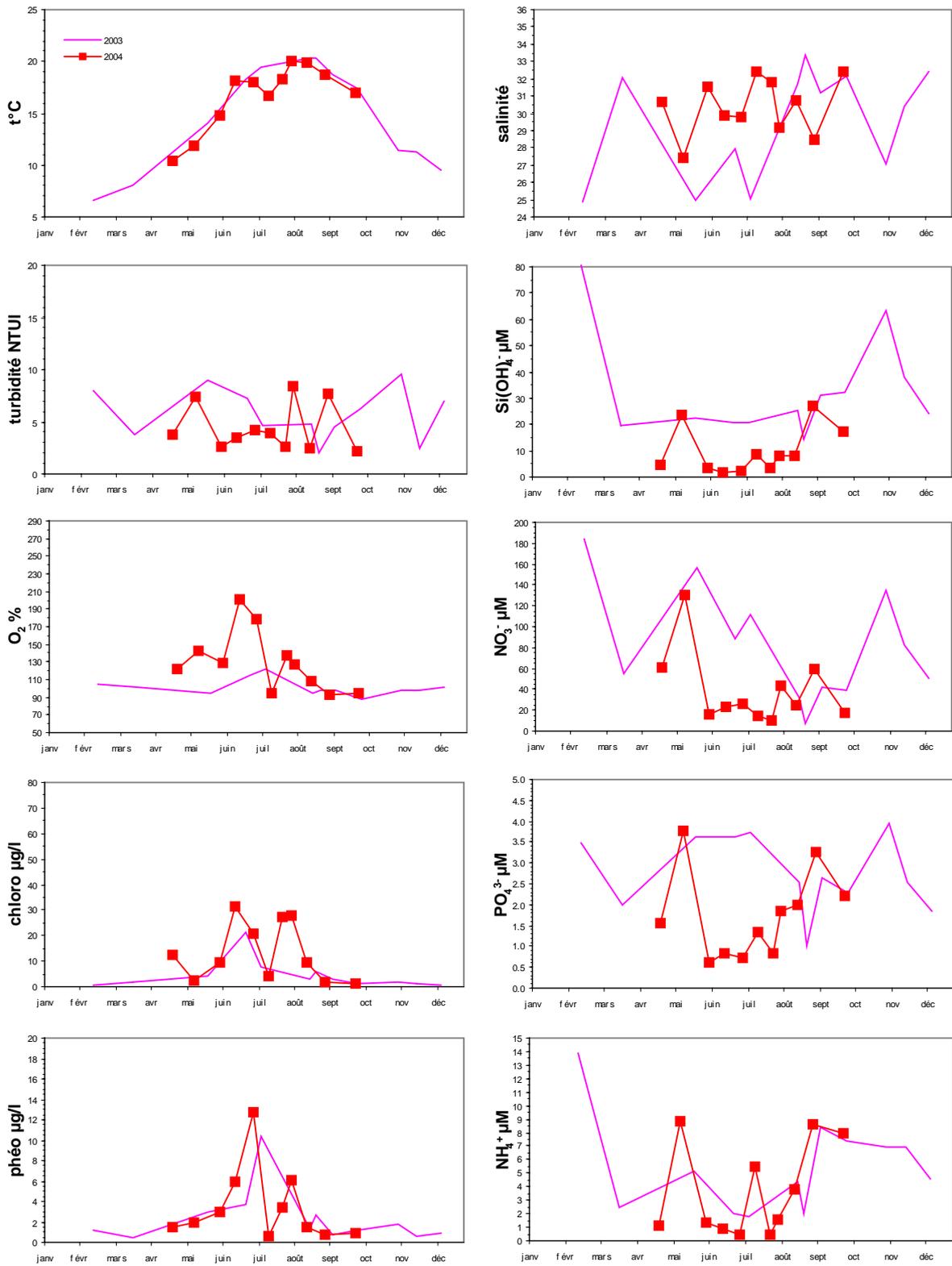


Figure 27 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface du secteur de La Carosse (estuaire de Seine) en 2003 et 2004.

2.18 Masse d'eau HC16 : Antifer

Les données hydrologiques mesurées en surface à Antifer entre 2002 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 28.

La période productive débute début avril par un bloom (10 µg/l de chlorophylle) constitué de *Thalassiosira sp.* qui entame le stock hivernal de sels nutritifs (notamment de silicate) dans les eaux de surface.

Le mois de mai présente une biomasse chlorophyllienne stable (de l'ordre de 5 µg/l de chlorophylle) qui épuise le milieu en silicate, phosphate et nitrate. La population phytoplanctonique est représentée par une importante concentration de *Rhizosolenia sp.* C'est à la suite de ce bloom qu'apparaît le dinoflagellé *Dinophysis sp.*

Un important bloom (30 µg/l de chlorophylle) se produit mi-juin lors de l'augmentation de la concentration en silicate et en nitrate produite par de légères dessalures : ce bloom est essentiellement composé de diatomées (*Chaetoceros sp.*, *Leptocylindrus sp.*, *Skeletonema sp.*, *Asterionella sp.*).

Le mois de juillet est caractérisé par un bloom présentant une concentration exceptionnelle de chlorophylle (75 µg/l de chlorophylle) provoqué par des efflorescences de *Gymnodinium sp.*, *Skeletonema sp.* et *Chaetoceros sp.* Ce bloom entraîne une importante concentration de phéophytine (9 µg/l).

Un dernier bloom (10 µg/l) de *Chaetoceros sp.* est observé mi août alors que les concentrations en silicate, ammonium et nitrate augmentent significativement suite aux processus de régénération.

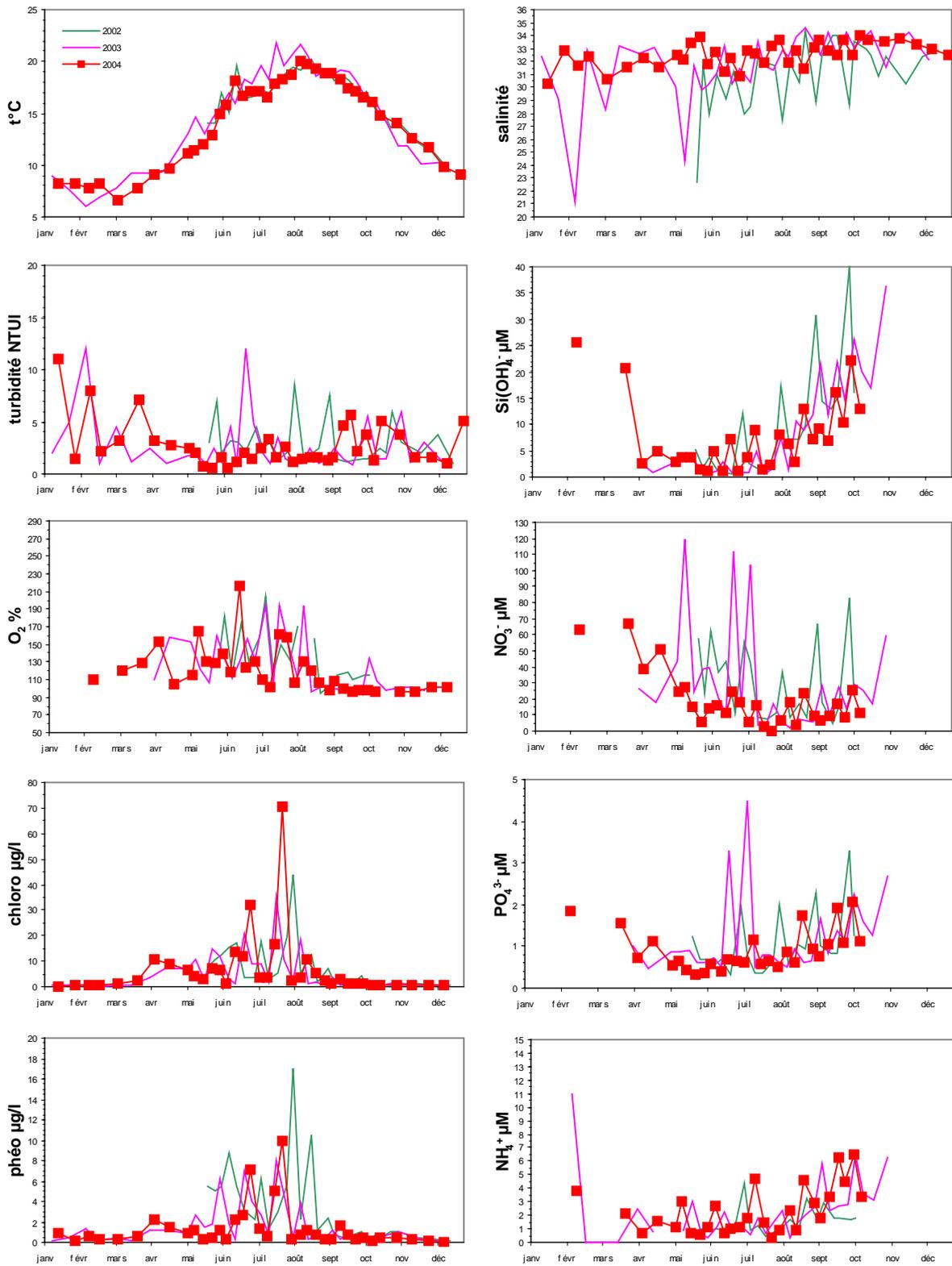


Figure 28 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Antifer entre 2001 et 2004.

2.19 Masse d'eau HC17 : Paluel et St Aubin

2.19.1 Paluel

Les données hydrologiques mesurées en surface à Paluel entre 1988 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 29. Il s'agit de données acquises dans le cadre du programme IGA et exploitées par RHLN avec l'accord d'EDF. 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 2004 s'inscrivent dans l'évolution classique des paramètres hydrologiques mesurés depuis 1988, bien que, contrairement à l'année 2003, 2004 ait été caractérisée par des températures d'eau plus faibles que les médianes observées depuis 1988 et par des valeurs de salinité plus élevées lors du prélèvement de printemps.

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 en hiver,
- consommation des sels nutritifs et augmentation de la concentration de chlorophylle au printemps,
- processus de régénération 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 ont respectivement été enregistrées. Ce secteur peut donc être le siège de développements phytoplanctoniques importants.

Il faut par ailleurs noter que les dénombrements microphytoplanctoniques 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.

2.19.2 St Aubin

Les données hydrologiques mesurées en surface à St Aubin en 2004 sont rassemblées sur la Figure 30.

Le cycle hydrologique de St Aubin en 2004 a été caractérisé par une forte turbidité (25 FNU) en début de printemps (avril). La salinité est restée stable au long de la période productive (33). La biomasse chlorophyllienne a été faible : un premier bloom (2 µg/l) fin avril a eu pour effet de diminuer les concentrations hivernales de sels nutritifs. Un deuxième bloom (4 µg/l) a eu lieu fin juillet et a épuisé le milieu en nitrate. Un troisième bloom (4 µg/l) est apparu fin août lors de la reminéralisation du phosphate et de l'ammonium.

Aucune efflorescence phytoplanctonique supérieure à 100 000 cell/l n'a été observée.

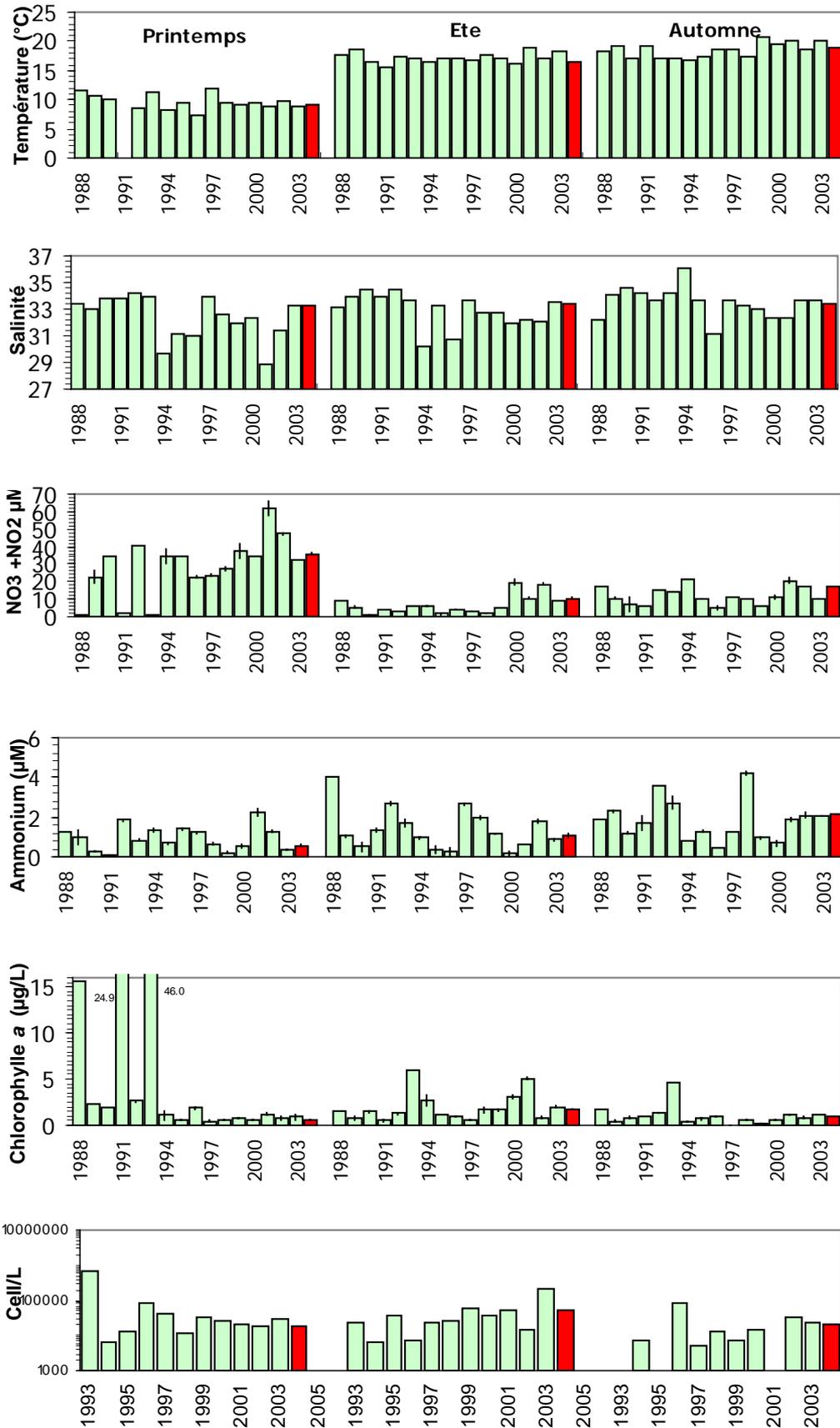


Figure 29 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Paluel entre 1988 et 2004 (données EDF).

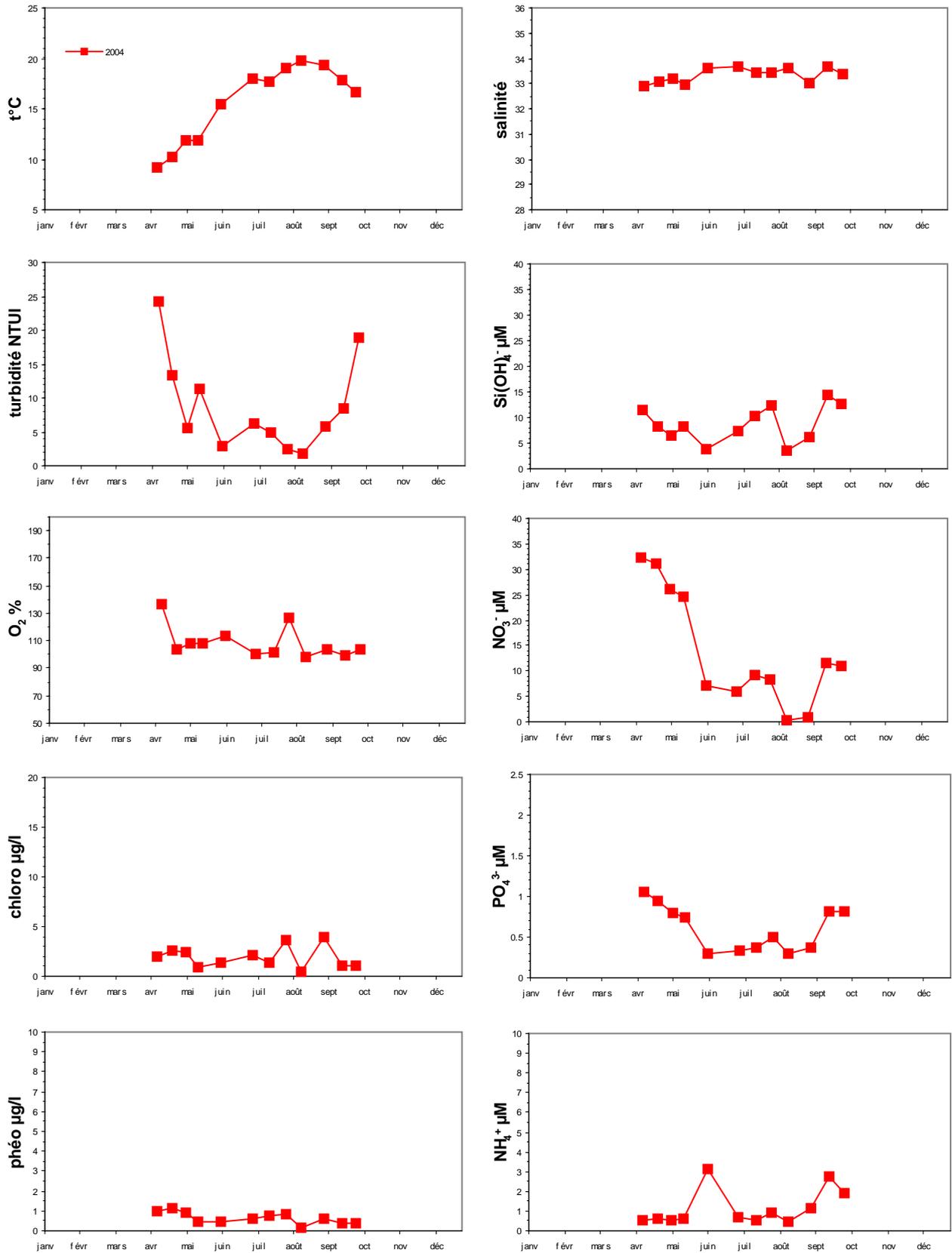


Figure 30 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à St Aubin en 2004.

2.20 Masse d'eau HC18 : Dieppe et Penly

2.20.1 Dieppe

Les données hydrologiques mesurées en surface à Dieppe en 2004 sont rassemblées sur la Figure 31.

Contrairement à St Aubin, le point de suivi de Dieppe présente des turbidités faibles (inférieures à 5 FNU). Le site est également peu influencé par des dessalures et présente une salinité relativement stable. Par contre, tout comme à St Aubin, la biomasse chlorophyllienne est faible au printemps mais consomme tout de même progressivement le stock hivernal de nutriments. Le bloom le plus important (3 µg/l) se déroule début juin et est constitué de *Rhizosolenia sp.* Ce bloom est accompagné d'une augmentation significative de la concentration en ammonium et d'une baisse conséquente des concentrations de nitrate et de phosphate. Un deuxième bloom (5 µg/l de chlorophylle) apparaît mi-juillet alors que la concentration en silicate redevient supérieure à 10 µM. Ce bloom, comme le premier, est produit pas une efflorescence de *Rhizosolenia sp.*

2.20.2 Penly

Les données hydrologiques mesurées en surface à Penly entre 1989 et 2004 sont rassemblées sur la Figure 32. Il s'agit de données acquises dans le cadre du programme IGA et exploitées par le RHLN avec l'accord d'EDF. 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 2004 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 tout de même de mettre en évidence un cycle saisonnier classique :

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

Les biomasses chlorophylliennes sont comprises entre 1 et 16 µg/L de chlorophylle.

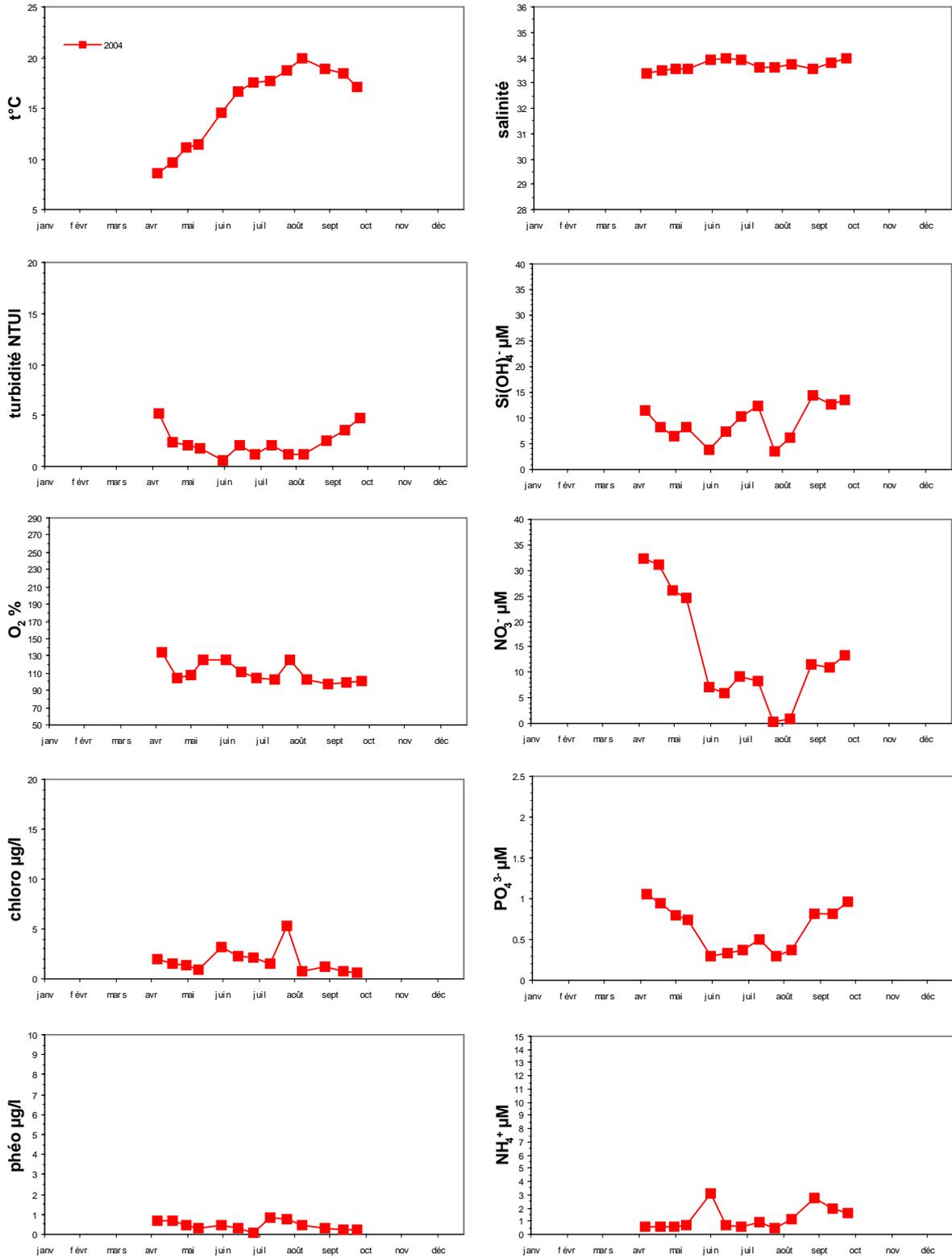


Figure 31 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à Dieppe en 2004.

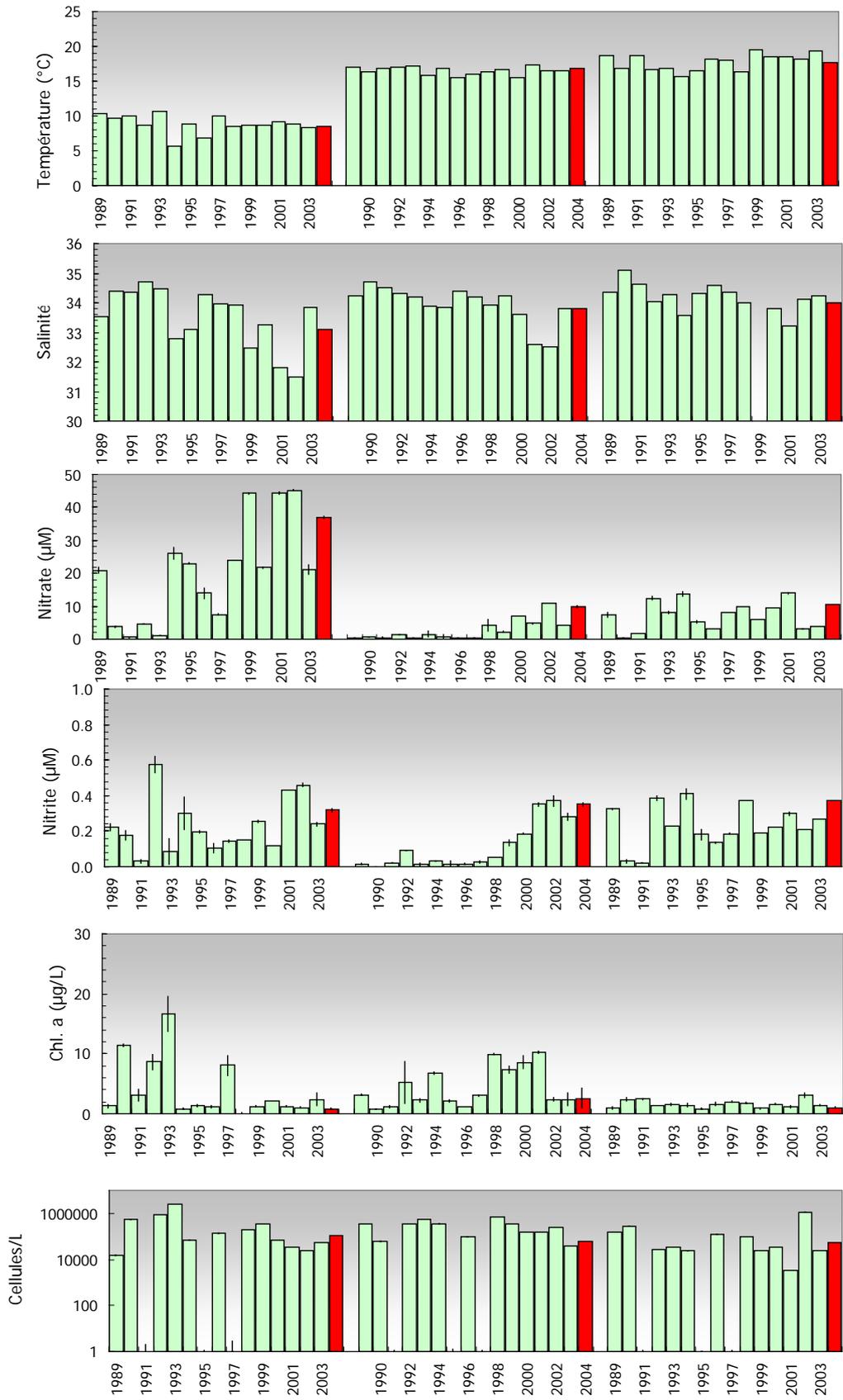


Figure 32 : Evolution des paramètres hydrologiques dans les eaux de surface à la station « référence » de Penly entre 1989 et 2004 (données EDF).

3 EVALUATION DES NIVEAUX D'EUTROPHISATION

Les abréviations suivantes sont couramment utilisées dans ce chapitre : CC pour Cancale, HA pour Hacqueville, DO pour Donville, CH pour Chausey, AG pour Agon, PI pour Pirou, GU pour Gruchy, CH pour Cherbourg, CL pour Cap Lévi, RE pour Réville, SV pour St Vaast, SG pour St Germain de Varreville, GE pour Géfosse, GC pour Grandcamp, PB pour Port en Bessin, ME pour Meuvaines, ES pour les Essarts, LU pour Luc/Mer, OU pour Ouistreham, CA pour Cabourg, MA pour bouée MAREL Carosse, AN pour Antifer, SA pour St Aubin, DI pour Dieppe.

Les premières phases préparatoires du RHLN (Daniel et Le Goff, 2002, et Daniel, 2004), ont permis de tester lors des périodes productives³ de 2001, 2002 et 2003 la pertinence de différents indicateurs d'eutrophisation adaptés aux eaux normandes : les seuils proposés pour chacun des indicateurs, et les variables retenues pour les décrire (moyenne, médiane, valeur maximale ou minimale, percentile) l'ont été afin de permettre de balayer l'intégralité des 5 états écologiques retenus par la DCE à partir du jeu de données récolté en Normandie.

A l'issue de ces premières phases d'étude, certains indicateurs n'ont pas été jugés assez discriminants pour les eaux littorales normandes, ou bien encore trop redondants entre eux (Daniel, 2004).

Au final, seuls 4 indicateurs ont été retenus (Figure 33) : il s'agit du percentile 90 de la chlorophylle en sub-surface (-1 mètre), du percentile 10 de la concentration d'oxygène dissous au fond, de la médiane du rapport Si/N (en sub-surface) et du percentile 90 du $\log(1 + \text{dinoflagellés/diatomées})$ en sub-surface.

Ces quatre indicateurs sont utilisés dans les chapitres suivants pour classifier l'ensemble des résultats obtenus au cours de la période productive 2004, les comparer avec ceux des périodes productives précédentes, et ainsi évaluer les niveaux d'eutrophisation des eaux normandes.

Indicateur	Variable	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Etat médiocre	Etat mauvais
Chlorophylle en sub-surface	percentile 90	0 – 5 µg/l	5 – 10 µg/l	10 – 20 µg/l	20 – 40 µg/l	> 40 µg/l
Concentration en oxygène dissous au fond	percentile 10	> 5 mg/l	3 – 5 mg/l	2 – 3 mg/l	1 – 2 mg/l	< 1 mg/l
Rapport Si/N en sub-surface	médiane	> 1,5	0,75 - 1,50	0,50 - 0,75	0,25 - 0,50	< 0,25
Rapport (en sub-surface) du $\log[1+(\text{dinoflagellés/diatomées})]$ *	percentile 90	< 0,01	0,010 – 0,050	0,050 – 0,100	0,100 - 0,250	> 0,250

Figure 33 : Grille des indicateurs d'eutrophisation déterminée pour les données recueillies au cours de périodes productives. * indique que l'indicateur n'est utilisé que dans le cas où des flores phytoplanctoniques totales ont été réalisées.

³ La période productive a été définie dans le cadre des phases préparatoires du RHLN comme débutant lorsque la concentration de chlorophylle dépasse la valeur de 2 µg/l (ceci étant associé à une diminution de la teneur en sels nutritifs), et comme s'achevant à la fin du mois de septembre.

3.1 Indicateur chlorophylle

Comme les années précédentes, les boîtes à moustaches obtenues en 2004 avec l'indicateur chlorophylle (Fig. 34) mettent en évidence un important gradient entre les points de la côte Ouest Cotentin et ceux situés en baie de Seine Est. Parmi les nouvelles zones étudiées en 2004, le nord Cotentin présente des boîtes à moustaches comparables à celles de l'Est Cotentin et de la baie des Veys alors que le nord de la Seine Maritime présente des boîtes comparables à celles de la côte Ouest Cotentin.

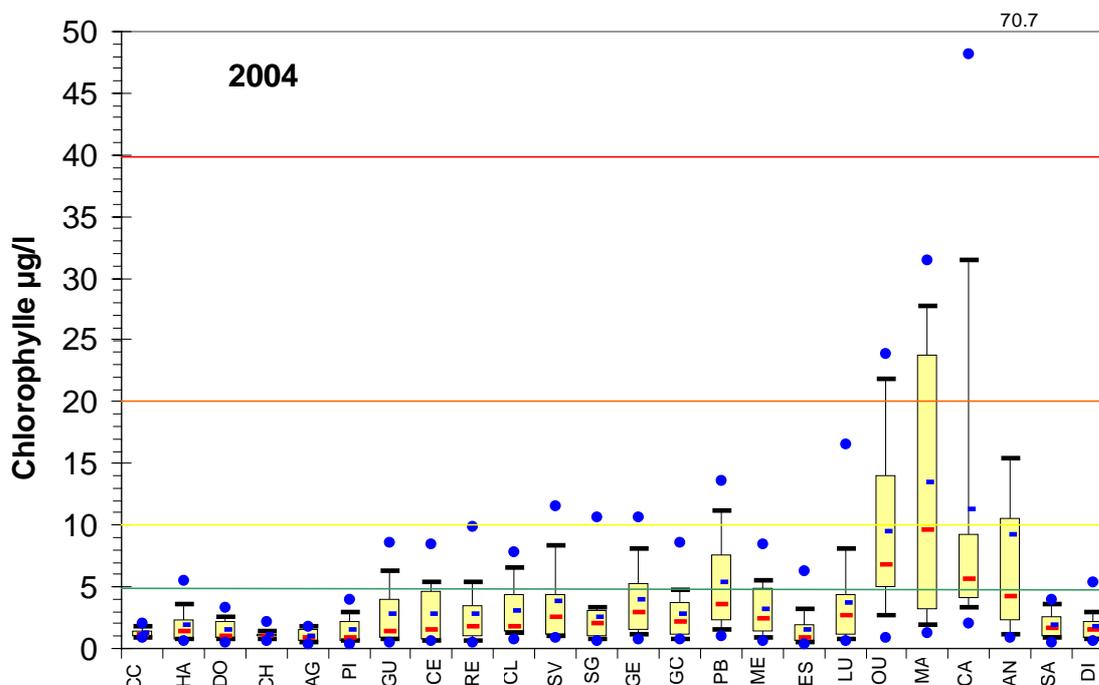


Figure 34 : « Boîte à moustaches » obtenues avec les données de chlorophylle-a mesurées en surface au cours de la période productive 2004 pour l'ensemble des points de prélèvement suivis par le RHLN (les lignes de couleur correspondent aux valeurs seuils retenues)

(• : valeurs maximales et minimales; — médiane; — moyenne; □ : quartile, — centile)

La classification des points de prélèvement selon les seuils proposés en 2004 (Figure 35) est globalement similaire à celle des années précédentes.

	CC	HA	DO	CH	AG	PI	GU	CE	CL	RE	SV	SG	GE	GC	PB	ME	ES	LU	OU	MA	CA	AN	SA	DI	
2001			3,5	3,7*	1,4*	2,1*						2,0*		14,0				14,6	15,1*		12,0*				
2002			4,5	3,3	1,3	2,1						4,3*	11,3	11,7				8,6	16,6		20,3	17,8			
2003			2,5	2,4	3,6	4,9					3,8	3,3*	9,9	10,8				13,6	22,3		23,6	17,2			
2004	1,8	3,5	2,6	1,4	1,8	2,9	6,4	5,4	5,4	6,5	8,4	3,3	8,1	4,8*	11,2	5,6	3,21	8,1	21,9	27,8	31,5	15,5	3,6	3,0	
2002-2004			2,9	2,7	2,0	2,8						3,5	10,4	11,1				10,3	18,5		23,6	18,1			
2001-2004			3,4	2,8	1,9	2,9						3,2		11,4				11,7	18,4		30,3				

Figure 35 : Classification du percentile 90 des valeurs de chlorophylle-a mesurées en sub-surface au cours de chaque période productive de 2001 à 2004, ainsi que sur le cumul de l'ensemble des périodes productives de 2001 à 2004 et de 2002 à 2004.

* indique qu'il n'y a pas de valeur lors du premier bloom printanier ; + indique de nombreuses données manquantes au cours de la période productive

Le passage de Grandcamp du jaune au bleu en 2004 est très vraisemblablement dû à une sous-estimation de la biomasse chlorophyllienne au cours des mois de mai et juin 2004 (données manquantes). Le passage de Luc sur Mer du jaune au vert s'explique sans doute par le déplacement géographique de ce point en 2004 (de 3 milles à un mille de la côte) vers une zone *a priori* moins impactée ou moins influencée par les apports de la Seine et de l'Orne. On peut néanmoins remarquer que sur nombre de points de suivi, les biomasses maximales ainsi que les percentiles 90 ont été inférieurs en 2004 à ceux obtenus les années précédentes. Ce constat pourrait globalement trouver son origine dans la faiblesse des débits fluviaux durant la période productive, et donc la faiblesse des recharges en sels nutritifs.

Les classifications globales (pluriannuelles), obtenues au moyen des jeux de données collectés au cours des périodes productives 2001 à 2004 d'une part, et 2002 à 2004 d'autres part, donnent des résultats identiques.

La plus mauvaise classification est obtenue sur le point Cabourg dont l'état, du point de vue de l'indicateur chlorophylle, peut donc être considéré comme médiocre. Les points Antifer, Ouistreham, Luc sur Mer, Grandcamp et Gêfosse apparaissent comme étant de qualité moyenne, et les points St Germain de Varreville, Pirou, Agon, Chausey et Donville de bonne qualité. Sur tous les autres points il n'est pas encore possible de conclure du fait du manque de recul (1 à 2 années de données uniquement).

3.2 Indicateur oxygène dissous

Tous les points de prélèvement (Figures 36 et 37) présentent au cours de la période productive 2004 des percentiles 10 %, ainsi que des valeurs minimales de concentration en oxygène dissous au fond, largement supérieures au seuil séparant le très bon état du bon état écologique (5 mg/l). Ce classement est identique à celui observé les années précédentes⁴.

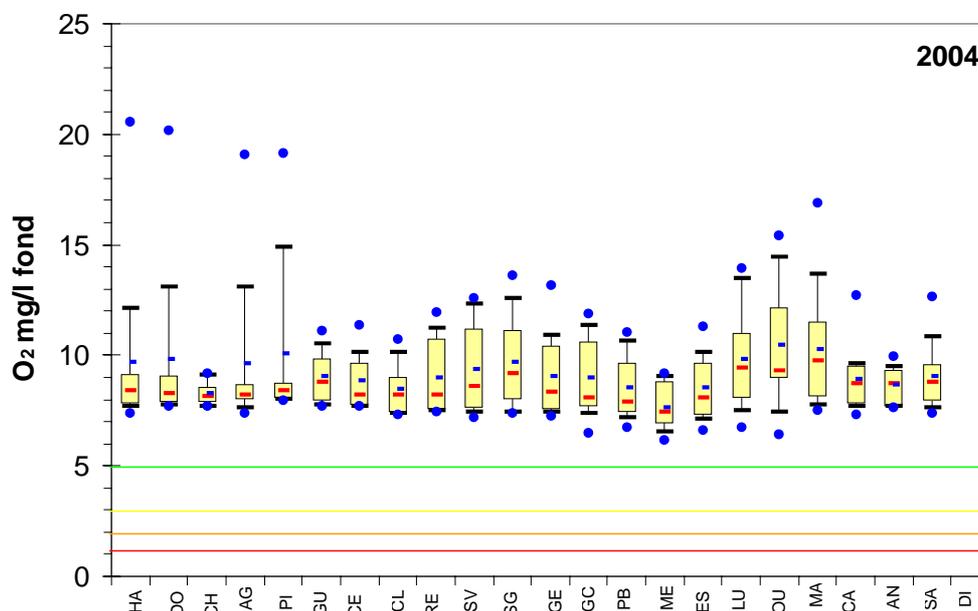


Figure 36 : Boîte à moustaches obtenues pour les données de concentration d'oxygène dissous mesurés au fond de la colonne d'eau au cours de la période productive 2004 sur l'ensemble des points de prélèvements suivis par le RHLN.

(• : valeurs maximales et minimales; — médiane; — moyenne; □ : quartile, — centile)

⁴ 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 (exceptionnelles) en oxygène inférieures à 60 %.

	HA	DO	CH	AG	PI	GU	CE	CL	RE	SV	SG	GE	GC	PB	ME	ES	LU	OU	MA	CA	AN	SA	DI
2001		5,8	7,0	7,1	6,9						7,2*		7,4				6,1	6,7		6,5			
2002		8,4	8,3									7,7	7,5				7,1	7,6		7,1	7,4		
2003		7,7	7,7							7,1		7,4	7,2				6,2	6,4		5,3	7,2		
2004	7,5	7,7	7,7			7,7	7,7	7,6	7,3	7,4	7,5	7,4	7,4	7,3	7,1	6,8	6,5	7,3	7,4	6,2	7,6	7,5	7,5
01-04		7,9	7,8										7,5				6,5	7,2		5,7			

Figure 37 : Classification du percentile 10 des concentrations en oxygène dissous mesurées au fond lors des périodes productives de 2001 à 2004, par année, et globalement.

Les eaux normandes ne semblent donc pas être sujettes à des hypoxies⁵ liées à des phénomènes d'eutrophisation.

3.3 Indicateur Si/DIN

Cet indicateur a pour but de mettre en évidence l'influence des apports anthropiques. En effet, le silicium provenant essentiellement du lessivage des sols, il peut être considéré comme un facteur d'origine « naturelle ». Au contraire, l'azote est considéré comme un sel dont l'origine est essentiellement anthropique (engrais, déjections d'animaux en élevage, et notamment en « hors sol », stations d'épuration, industries...). De ce fait, plus le rapport Si/DIN est faible, plus la part des apports anthropiques peut être considérée comme importante.

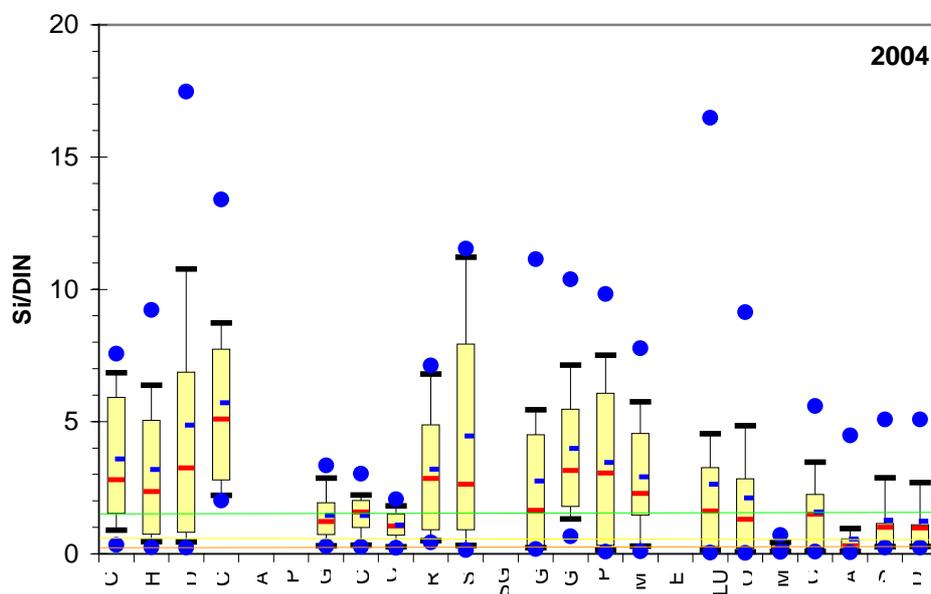


Figure 38 : Boîte à moustaches obtenues pour le rapport Si/DIN mesuré au cours de la période productive 2004 sur l'ensemble des points de prélèvement suivis par le RHLN.
(● : valeurs maximales et minimales; — : médiane; — : moyenne; □ : quartile, — : centile)

⁵ Des désoxygénations « furtives » et très localisées ont été signalées çà et là, dans des zones d'échouage d'algues. Ce fut le cas en tout début de marée montante sur un secteur très localisé de la baie des Veys entre les 15 et 20 septembre 2004, où la désoxygénation (pouvant descendre jusqu'à 6% de saturation ; 0.5 mg/l) a entraîné une mortalité de quelques kilogrammes de poissons et de crevettes (Michel Ropert, comm. Pers. ; Cf. Annexe 4). Ces désoxygénations, liées à des échouages d'algues, n'ont rien à voir avec les phénomènes d'eutrophisation.

D'après la figure 38, l'influence anthropique de la Seine est très perceptible sur les points situés à proximité de l'estuaire (Marel, Cabourg, Antifer), puis, dans une moindre mesure, à Ouistreham et sur les côtes de Seine Maritime (influence vraisemblable du « fleuve côtier », mais aussi d'apports locaux par l'Arques et les autres fleuves de Seine Maritime).

Il est également intéressant de noter la grande variabilité interannuelle de cet indicateur sur Cabourg (Fig. 39), mettant en évidence l'impact du débit de la Seine.

Le classement en vert des points Gruchy et Cap Lévy (côte nord Cotentin) est vraisemblablement à nuancer : 3 des 8 prélèvements réalisés sur ces 2 points l'ont été au cours du premier bloom printanier, à un moment où le stock hivernal de silicate était déjà consommé alors qu'il restait encore des nitrates en quantité non négligeable dans l'eau. Les suivis prévus dans le cadre du RHLN permettront d'affiner ces classements à l'avenir.

	CC	HA	DO	CH	AG	PI	GU	CH	CL	RE	SV	SG	GE	GC	PB	ME	LU	OU	MA	CA	AN	SA	DI	
2001			2,34	3,26										1,56			0,62	0,70		0,64				
2002			2,81	3,51									5,71	2,29			0,86	0,65		0,32	0,15			
2003			3,28	5,22							3,54		2,63	2,97			1,28	0,90		1,44	0,44			
2004	2,81	2,35	3,25	5,10			1,22	1,58	1,05	2,84	2,64		1,64	3,15	3,06	2,28	1,62	1,31	0,19	1,49	0,30	1,00	0,98	
02-04			2,14	3,76									2,61	2,66			1,14	0,86		1,49	0,24			
01-04			2,24	3,67										2,41			0,98	0,84		1,50				

Figure 39 : Classification de la médiane des rapports Si/DIN mesurés en surface au cours de chaque période productive de 2001 à 2004 et sur l'ensemble des périodes productives de 2001 à 2004 et de 2002 à 2004.

3.4 Indicateur dinoflagellés/diatomées

En baie des Veys, les flores totales ont été effectuées sur le point de Grandcamp en 2002 et 2003 puis sur le point de Géfosse en 2004. Les résultats obtenus sont regroupés sous l'appellation « Géfosse ».

3.4.1. Evolution saisonnière

Les points de Donville et de Géfosse présentent un nombre important de prélèvements dans lesquels aucun dinoflagellé n'a été identifié ($\log[1+(\text{dinoflagellés/diatomées})] = 0$) alors que cette situation est plutôt exceptionnelle à Cabourg et Antifer (Fig. 40).

Les valeurs du $\log[1+(\text{dinoflagellés/diatomées})]$ restent globalement comprises entre 0 et 0.01 toute l'année à Donville et Géfosse. C'est également le cas sur Cabourg et Antifer, mais seulement de janvier à fin juin. Au contraire, le dernier semestre de l'année est caractérisé sur ces deux points par des valeurs de $\log[1+(\text{dinoflagellés/diatomées})]$ comprises entre 0.01 et 1.

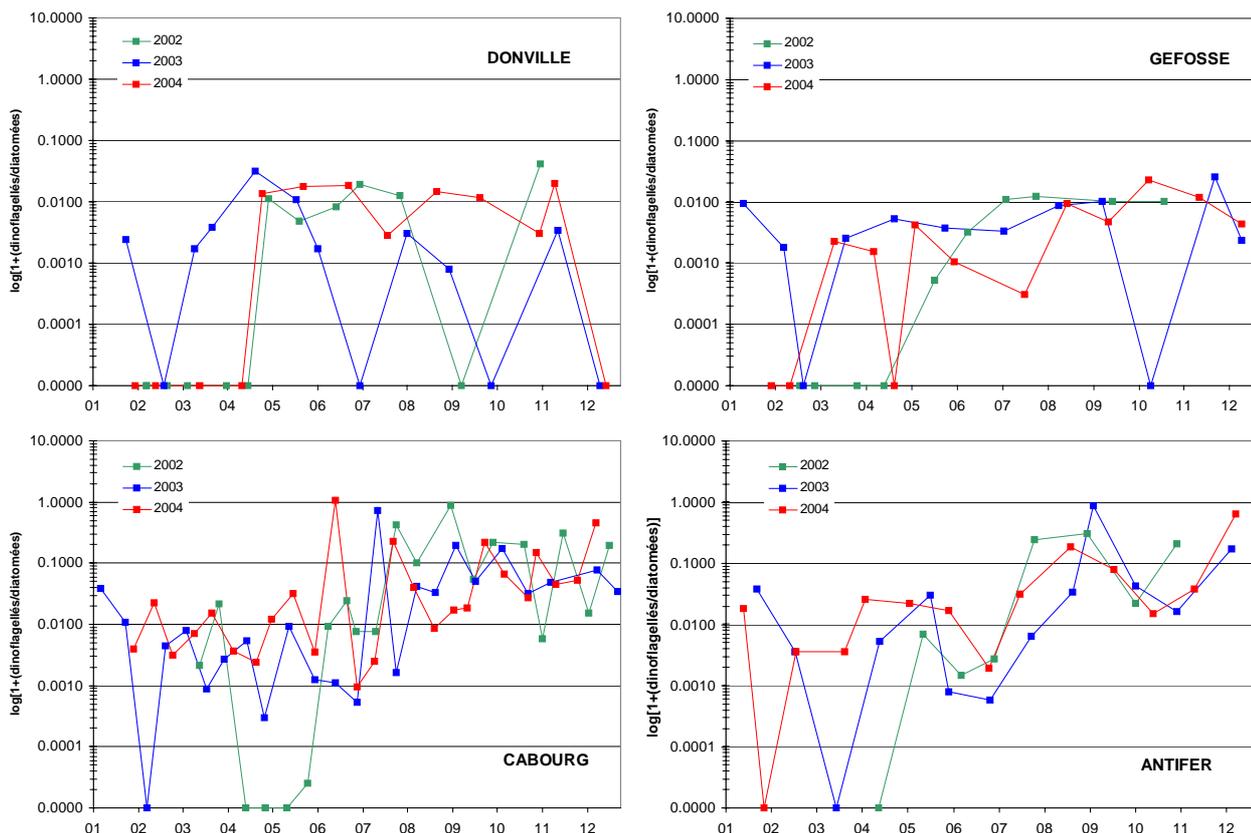


Figure 40 : Evolution saisonnière du $\log[1+(\text{dinoflagellés/diatomées})]$ déterminé à partir des flores totales réalisées au cours des périodes productives 2002 à 2004 sur les points de Donville, Géfosse (Grandcamp), Cabourg et Antifer.

3.4.2. Classification annuelle

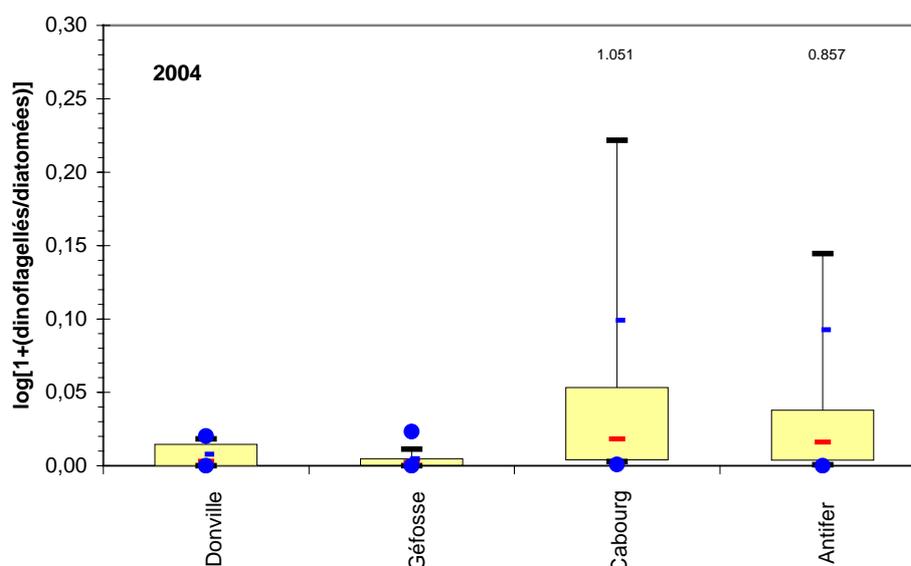


Figure 41: « Boîte à moustaches » obtenues avec le $\log[1+(\text{dinoflagellés/diatomées})]$ obtenu au cours de la période productive 2004 sur les points où sont effectuées des lectures de flores phytoplanctoniques totales (Donville, Géfosse, Cabourg et Antifer).

(● : valeurs maximales et minimales; — médiane; — moyenne; □ : quartile, — centile)

	Donville	Géfosse	Cabourg	Antifer
2002	0,006	0,011	0,356	0,268
2003	0,006	0,009	0,139	0,288
2004	0,018	0,011	0,222	0,144
02-04	0,011	0,011	0,208	0,154

Figure 42 : Classification du percentile 90 % des $\log[1+(\text{dinoflagellés}/\text{diatomées})]$ déterminés (en surface) au cours de chaque période productive de 2002 à 2004, puis sur l'ensemble des périodes productives de 2002 à 2004.

Cet indicateur de composition phytoplanctonique (Figures 41 et 42) met en évidence une nette différence entre les points de Donville et de Géfosse, et les points de Cabourg et Antifer. Les deux premiers points sont en effet dominés par les diatomées alors que les deux derniers sont caractérisés par une plus forte présence de dinoflagellés. Les classements des points de Donville et Géfosse fluctuent entre le très bon état et le bon état écologique alors que ceux des points de Cabourg et d'Antifer fluctuent entre les états mauvais et médiocre.

3.5. Synthèse des indicateurs pour classification des points de prélèvement

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

Daniel a montré en 2004 en utilisant la méthode dite « des rangs pondérés », fréquemment utilisée en écologie, que les pondérations jouaient un rôle tout à fait prépondérant dans l'évaluation du niveau trophique des masses d'eau. L'attribution des pondérations pouvant revêtir un caractère subjectif, dépendant des auteurs, des secteurs, des données disponibles..., il est nécessaire d'attendre que le groupe d'expertise français phytoplancton, puis son homologue européen, aient arrêté une méthode de synthèse globale pour chacune des grandes zones littorales de l'Union.

Ne disposant pas à ce jour de cette méthode de synthèse globale, nous nous contenterons d'une représentation cartographique simple⁶ de l'ensemble des résultats obtenus annuellement pour les 4 indicateurs depuis le lancement du RHLN, et sur chacun des points de suivi (Fig. 43a et 43b).

⁶ Ce mode de représentation a le mérite d'être simple, et de présenter de manière exhaustive l'ensemble des résultats obtenus. C'est aussi son principal défaut, qui le rendra inadapté dans le cas de séries historiques longues de données.

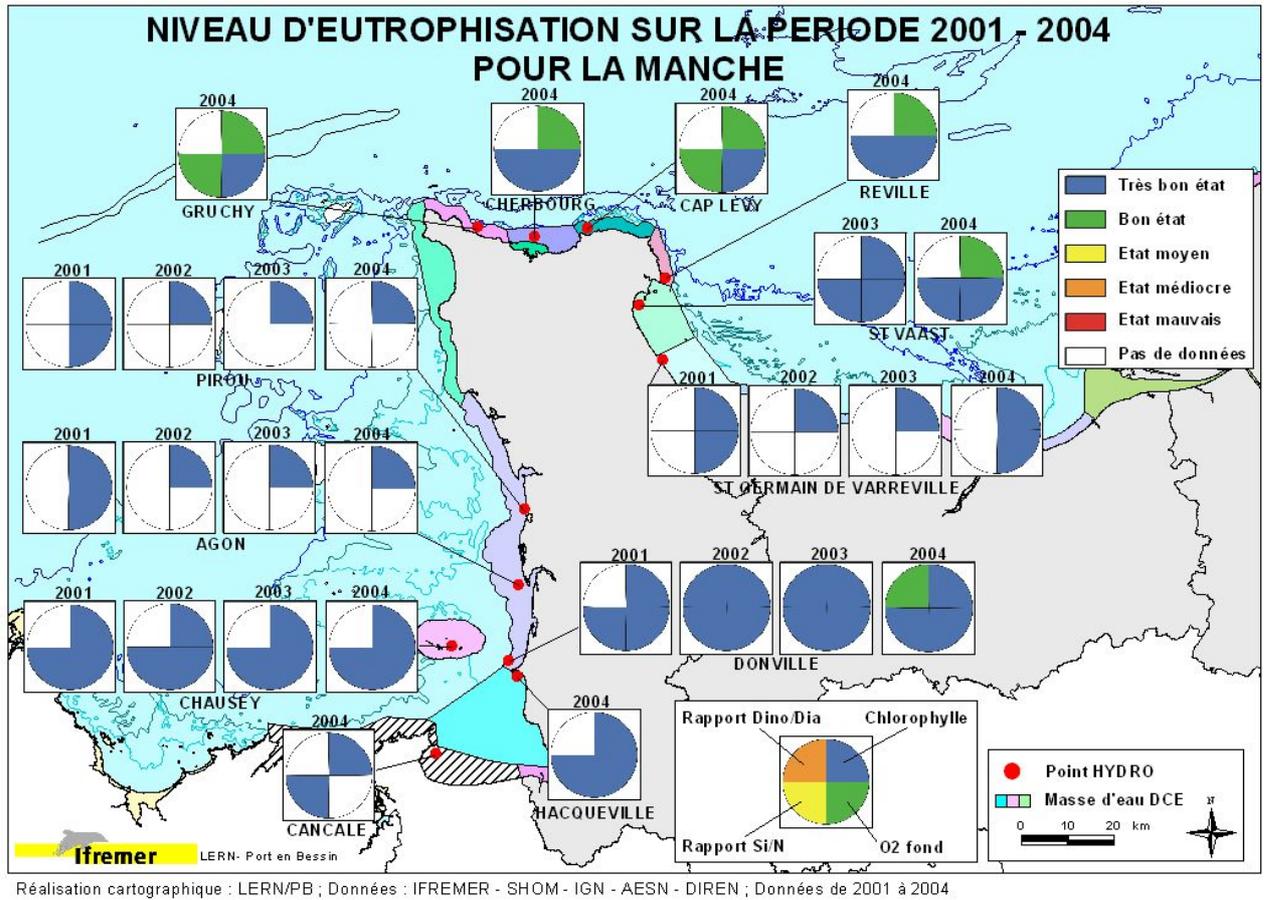


Figure 43a : représentation cartographique de la qualité des masses d'eau DCE du département de la Manche au moyen des indicateurs chlorophylle a, oxygène de fond, rapport Si/N, et rapport dinoflagellés sur diatomées de 2001 à 2004.

Ce mode de représentation permet de bien faire ressortir le gradient d'eutrophisation mis en évidence par Daniel en 2004 : la zone de l'estuaire de Seine (de Cabourg à Antifer) présente pour plusieurs indicateurs un état médiocre, voire même mauvais selon les années. Au contraire, les côtes ouest, nord et est Cotentin, ainsi que celles du nord est de la Seine Maritime, présentent, au pire, des indicateurs classés « bon état » (en vert sur la figure 43). Les côtes du Calvados, depuis la baie des Veys jusqu'à Ouistreham, sont dans un état intermédiaire, leurs indicateurs étant classés du bleu (très bon état) jusqu'au orange (état médiocre).

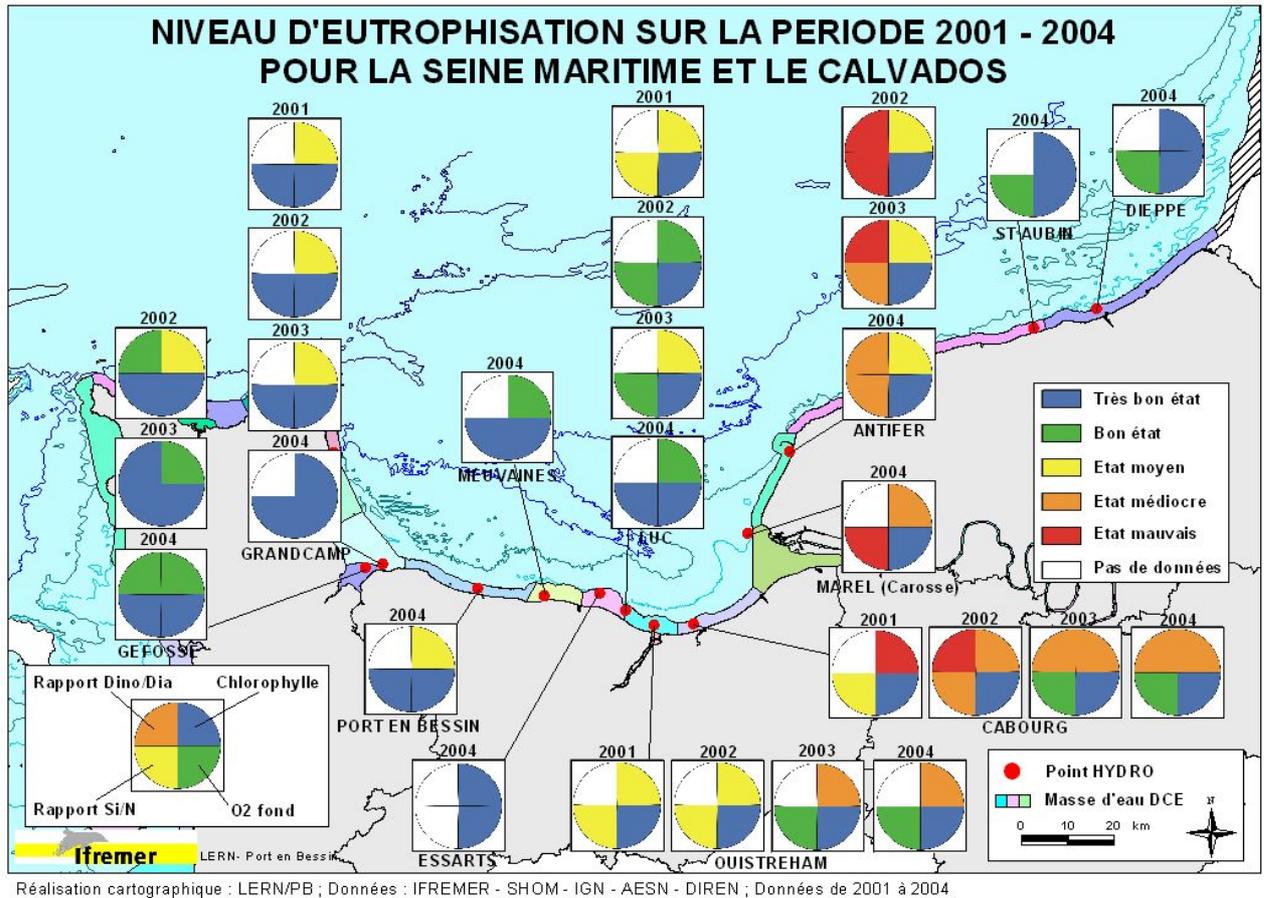


Figure 43b : représentation cartographique de la qualité des masses d'eau DCE du département du Calvados au moyen des indicateurs chlorophylle a, oxygène de fond, rapport Si/N, et rapport dinoflagellés sur diatomées de 2001 à 2004.

Sur plusieurs points de suivi, les résultats de 2004 sont meilleurs que la plupart de ceux des années précédentes ; cela semblerait pouvoir s'expliquer par des pics de biomasses moins élevés que les années précédentes (sauf sur Antifer), et pourrait donc trouver son origine dans la faiblesse des apports fluviaux au cours de la période productive. Il est encore trop tôt pour pouvoir conclure, mais il faudra à l'avenir, quand le RHLN disposera d'un jeu de données suffisant, évaluer si des corrélations ressortent clairement entre la pluviométrie annuelle, ou hivernale, ou printanière... (2001, et même 2002 ont été des années très pluvieuses, alors que 2004 et surtout 2003 ont présenté des déficits pluviométriques importants ; Cf. Fig.3) et les niveaux trophiques, voire d'eutrophisation.

A ce sujet, on peut noter qu'une telle corrélation, mais inverse, existe bien entre la pluviométrie et les abondances de dinoflagellés vs diatomées en baie de Seine. Les suivis réalisés dans le cadre du Réphy depuis plus de 20 ans indiquent que ce sont principalement lors des été ou automnes secs, d'étiage, que nous connaissons les plus importants développements de *Dinophysis*, générant des fermetures de zones de pêche et d'élevage des coquillages pour cause de toxicité DSP avérée, principalement le long des côtes du Calvados et du sud ouest de la Seine Maritime (Fig. 49), *Dinophysis* se développant dans un premier temps dans le secteur compris entre Antifer et Cabourg, puis gagnant peu à peu de part et d'autre, vers l'ouest ou le nord est (Fig. 49).

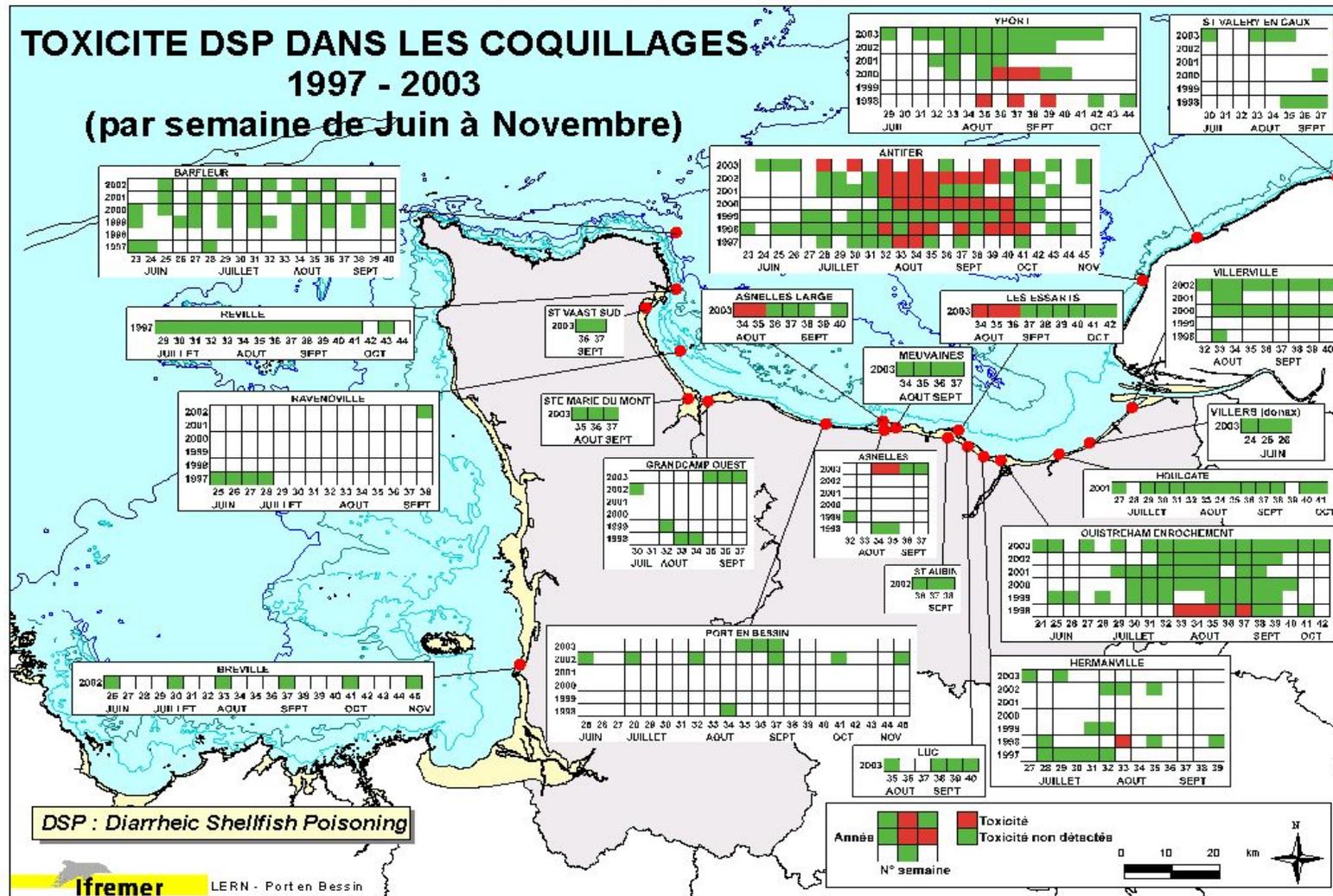


Figure 49 : présentation synthétique de l'ensemble des épisodes toxiques à DSP dans les coquillages du Calvados, de Seine Maritime et de Manche entre juin 1997 et novembre 2003. Ces épisodes toxiques débutent entre juillet et août dans le secteur d'Antifer, et gagnent parfois vers l'ouest pour atteindre Ouistreham ou Les Essarts, voire Asnelles, ou vers l'est pour toucher Yport. Des contaminations exceptionnelles des coquillages ont également déjà été enregistrées sur le banc de Barfleur (1983) dans l'ouest, ou sur Fécamp (1988, 1989, 1990, 1992), St Valéry en Caux (1992, 1994), et même Pourville (i.e. Dieppe) en 1989) dans le nord est, ainsi que dans l'ensemble de la baie de Seine (coquilles St jacques) en 2005.

Guillaud et Ménesguen (1998), puis Cugier, Billen, Guillaud, Garnier et Menesguen (2005) ont expliqué le mécanisme de ces développements par la modélisation. Ils ont en effet montré, en utilisant le modèle Elise Baie de Seine (Fig. 50a, Cugier 2005), que lors des années pluvieuses (exemple de 1994) les développements de dinoflagellés sont moins importants que lors des années sèches (exemple de 1990). Le modèle confirme bien également que c'est dans le secteur de l'estuaire que les productions maximales de dinoflagellés (et également de diatomées) sont enregistrées.

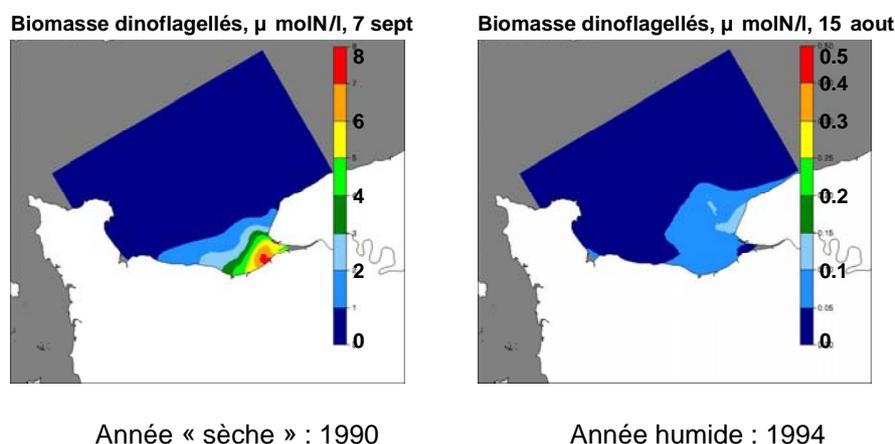


Figure 50a : simulation du développement de flagellés dans le secteur de l'estuaire de Seine au moyen du modèle hydrobiologique Elise (in Cugier, 2005). Comparaison de ce développement lors d'une année sèche (1990) et d'une année humide (1994).

En reprenant le modèle développé par Cugier, en y appliquant les conditions hydro/météorologiques de l'année 2003 (débits de la Seine, coefficients de marée, conditions réelles de vent), nous arrivons également à retrouver le développement tout à fait particulier des dinoflagellés cette année là, avec 2 zones de concentrations, l'une au large d'Antifer, et l'autre sur le secteur central des côtes de Calvados, autour de Meuvaines/asnelles, alors que les secteurs plus à l'est, entre Ouistreham et Cabourg connaissaient des développements moindres (Fig. 50b).

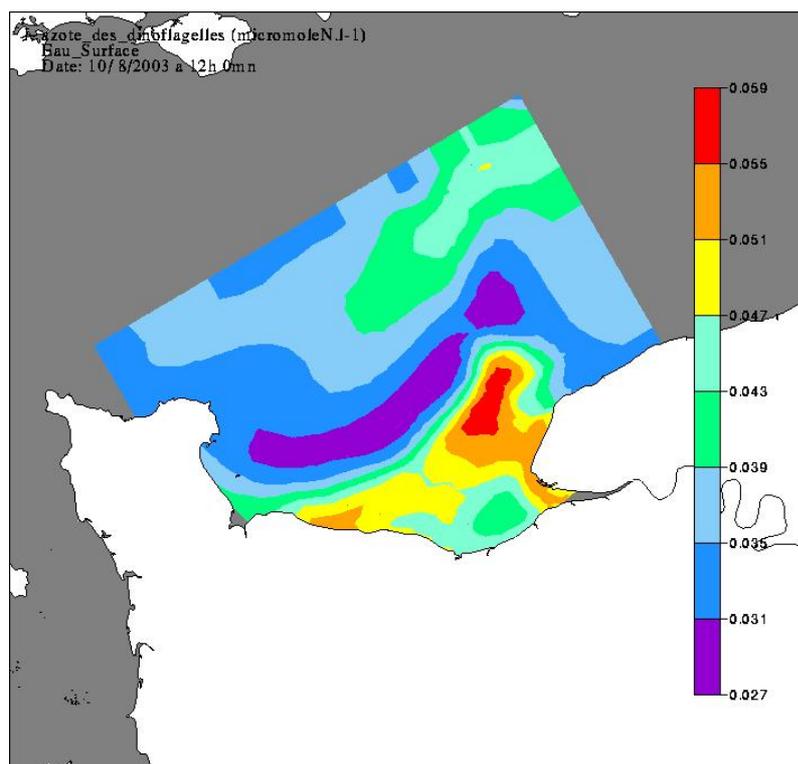


Figure 50b : simulation du développement de flagellés en baie de Seine au moyen du modèle hydrobiologique Elise lors du mois d'août 2003, et mise en évidence de 2 cellules de développement, l'une au large d'Antifer, et l'autre sur le secteur Asnelles/Meuvaines.

Pour certains auteurs, ces développements plus importants des dinoflagellés lors des années sèches s'expliqueraient par un déséquilibre du rapport Si/N, déséquilibre lui même généré par la faiblesse des débits des fleuves et donc la limitation des apports, de silice notamment.

Ceci confirme tout l'intérêt des indicateurs Si/N et Dino/Dia qui méritent d'être conservés lors de la phase pérenne du RHLN.

4 DEFINITION DU RHLN : REPRESENTATIVITE DES POINTS DE SUIVI AU SEIN DES MASSES D'EAU DCE, FREQUENCES, ET TYPES DE SUIVIS.

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 hydrologique des masses d'eau normandes.

Le RHLN 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'autant qu'il n'y a toujours pas véritablement de consensus scientifique sur ces questions. On peut néanmoins constater ces dernières années, notamment en 2001 et 2002, l'importance des proliférations phytoplanctoniques ayant donné lieu à l'apparition d'eaux colorées en fin d'été et en automne dans les masses d'eau HC15, HT3M et HC16, et, dans une moindre mesure, dans les masses d'eau HC14, HC13 et HC17 (partie sud uniquement).

Il faut aussi noter le développement tout à fait exceptionnel du *Pseudonitzschia* dans toute la baie de Seine lors de l'automne 2004, et celui, non moins exceptionnel du *Dinophysis* lors des automnes 2003 et 2005. Pour certains scientifiques, ces développements de phytoplancton toxique ne doivent pas être assimilés à des phénomènes d'eutrophisation, alors que pour d'autres, comme ils trouvent leur origine dans des déséquilibres des rapports entre sels nutritifs, déséquilibres dont l'origine est anthropique, ils sont des manifestations d'eutrophisation, capables notamment de générer des nuisances (toxicité des coquillages entraînant des fermetures administratives des zones de production).

Il appartiendra aux spécialistes de ces questions de trancher. Quoi qu'il en soit, le RHLN doit aussi pouvoir, au delà des « simples » exigences de la DCE, suivre ces phénomènes dans les eaux normandes et permettre de déceler leurs tendances évolutives, et ainsi servir d'outil d'évaluation de l'efficacité des politiques d'assainissement ou de réduction des flux nutritifs menées sur les bassins versants amont.

Afin de définir un réseau pérenne cohérent et permettant d'atteindre les objectifs précités, une réflexion a été menée sur :

- le choix des masses d'eau à suivre,
- les fréquences de suivi
- et le positionnement optimal des points de suivi au sein des masses d'eau retenues,

4.1 Fréquences de suivi

Dans le cadre de la DCE, chaque Etat membre a, pour chacun des paramètres de qualité retenus, à identifier les masses d'eau présentant un Risque de Non Atteinte du Bon Etat (RNABE) en 2015, et celles pour lesquelles ce risque n'existe vraisemblablement pas. La DCE prévoit alors différents types de « contrôles » (suivis), selon le risque RNABE, et donc différentes fréquences de suivi.

En Normandie, cette évaluation du risque RNABE a été du ressort du Groupe de travail DCE eaux côtières et de transition copiloté par l'AESN et la DIREN de Haute Normandie. Ce groupe associe une trentaine de membres, représentant les services de l'Etat, les partenaires professionnels (CRPM, SRC, Ports autonomes, CCI), le monde associatif, et quelques représentants scientifiques, dont l'IFREMER. Ce groupe s'est réuni à de

nombreuses reprises depuis 2002, date de sa création, et a donc, entre autres, réalisé le classement des masses d'eau en fonction du risque RNABE chimique ou biologique.

Pour le RNABE chimique sont pris en compte 3 types de contaminations : les contaminations métalliques, par les pesticides, ou par les autres micropolluants organiques.

Les compartiments biologiques à prendre en compte pour identifier le RNABE biologique sont le phytoplancton (avec quelques paramètres hydrologiques reconnus comme « explicatifs », i.e. indispensables pour comprendre les phénomènes observés au niveau du phytoplancton), les invertébrés benthiques (macrozoobenthos), les macroalgues, les herbiers de zostères, les angiospermes des schorres, et, pour les eaux de transition uniquement, les poissons.

En ce qui concerne le phytoplancton, le groupe de travail DCE eaux côtières et de transition de Normandie a considéré que 11 masses d'eau présentaient le risque RNABE, et méritaient par conséquent de faire l'objet d'un **contrôle opérationnel** (masses d'eau HC3, HC9, HC10, HT6M, HC12, HC13, HC14, HC15, HC16M, HT3M, HC17). Le groupe a également proposé que 2 masses d'eau fassent l'objet d'un **contrôle d'enquête**, en 2005/2006/2007, car les données y sont trop parcellaires pour pouvoir réellement statuer sur leur état. Il s'agit des masses d'eau HC6M et HT4M. Les autres masses d'eau normandes ne présentant pas de risque RNABE ne nécessitent donc *a priori* qu'un **contrôle de surveillance**.

Selon le type de contrôle, la DCE propose des fréquences minimales d'échantillonnage. Ces fréquences ont été réévaluées par différents groupes de travail et d'expertise ad hoc. En ce qui concerne le phytoplancton et les paramètres associés, il s'agit d'un groupe IFREMER piloté par C. Belin et A. Daniel qui a formulé ses recommandations dans le document intitulé «Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE». Ce groupe n'a pas retenu la proposition DCE d'adaptation de l'intensité du suivi en fonction du Risque de Non Atteinte du Bon Etat écologique, mais préconise plutôt d'adapter la fréquence de suivi selon qu'on a affaire à une masse d'eau côtière ou de transition.

Les deux auteurs précités préconisent en effet, quelle que soit la masse d'eau, de réaliser les échantillonnages tous les ans, sans interruption sur la période de gestion (6 ans). Pour les masses d'eau côtières, échantillonnage tous les 15 jours pendant la période productive (*a priori* de mars à octobre, mais à adapter selon les secteurs), et pour les masses d'eau de transition, une fois par mois, mais tout au long de l'année.

Avec le recul acquis aujourd'hui grâce aux phases préparatoires du RHLN menées depuis 4 ans, ainsi qu'au programme IGA mené depuis plus de 20 ans, nous proposons pour notre part d'utiliser les recommandations les plus pertinentes localement, qu'elles émanent de la DCE ou du groupe d'experts pour définir un RHLN répondant à la fois aux objectifs de la DCE et au besoin de suivi de l'eutrophisation en Normandie.

Ainsi, dans le cadre du RHLN nous préconisons :

- D'échantillonner chaque année les masses d'eau côtières à suivre, et donc de ne pas se contenter d'une seule année d'échantillonnage par plan DCE de 6 ans. Ceci découle de la forte variabilité inter annuelle mise en évidence notamment par le RHLN (Cf. résultats obtenus par exemple en 2001 et 2003 sur tous les points de suivi dans la première partie du présent rapport), et est conforme à la recommandation du groupe français d'expertise,
- De tenir compte du classement RNABE des masses d'eau pour dimensionner au mieux le RHLN pérenne, en axant l'essentiel de notre effort de prélèvement et d'analyse sur les masses d'eau nécessitant un contrôle opérationnel.

Ainsi, nous souscrivons à la proposition du groupe français d'expertise qui propose que ces masses d'eau soient suivies tous les 15 jours durant la période productive. Les données acquises par les bouées Marel positionnées dans la

zone de l'estuaire de Seine montrent en effet que même dans cette zone qui est la plus productive de toutes les côtes de Normandie, et qui est celle qui connaît les alternances de blooms les plus rapides, cette fréquence bimensuelle de suivi sera suffisante pour bien enregistrer les variations intra annuelles des paramètres retenus. Par contre, nous rajouterons un prélèvement juste avant le démarrage de cette période productive, afin d'évaluer le stock hivernal en sels nutritifs, et son évolution au fil des années.

De plus, nous proposons que les masses d'eau non RNABE ne soient suivies que trois fois par an, comme cela se fait dans le cadre du programme IGA qui nous démontre que cette fréquence suffit dans les masses d'eau sans enjeux pour déceler d'éventuelles dérives de l'hydrosystème sur le long terme⁷. Ces prélèvements seront réalisés fin février/début mars, fin mai/début juin, et fin août/début septembre chaque année,

- D'adapter le début des suivis dans les masses d'eau RNABE aux périodes productives telles qu'elles se déroulent localement. En Normandie, l'expérience acquise lors des phases préparatoires du RHLN, et les images satellites acquises depuis 1998 (Cf. Annexe 1), permettent de positionner le début de cette période productive sur chacune des masses d'eau, avec un démarrage précoce vers fin mars sur la côte ouest Cotentin alors, par exemple, que ce démarrage n'a lieu que vers fin avril dans la partie centrale de la côte nord Cotentin, pourtant proche. L'expérience nous montre que la fin de la période productive est plus difficile à positionner très exactement, des blooms de faible intensité pouvant se produire durant l'automne. Nous retiendrons donc la proposition du groupe d'experts qui consiste à considérer que la période productive s'achève partout fin octobre⁸, quelle que soit la masse d'eau normande. Pour chacune des masses d'eau RNABE, la durée de la période productive, et donc le nombre d'échantillonnages à y réaliser annuellement seront précisés dans les pages qui suivent.
- De ne pas faire de distinguo entre les masses d'eau côtières et de transition en matière de suivi, mais uniquement s'attacher au risque RNABE pour définir les fréquences de suivi. Ainsi, les masses d'eau de transition retenues ne seront suivies que pendant la période productive, soit tous les 15 jours, soit 3 fois par an, selon leur classement RNABE, et non pas une fois par mois sur l'ensemble de l'année,
- De réaliser un suivi de type contrôle opérationnel pendant 3 ans sur les masses d'eau retenues pour un contrôle d'enquête et sur lesquelles nous ne disposons à ce jour d'aucune donnée ; à l'issue de ces 3 années de suivi, une première évaluation des résultats obtenus devrait permettre de statuer si elles doivent être classées RNABE ou non, et ainsi de définir le suivi adéquat. En ce qui concerne le cas particulier de création de nouveaux points au sein de masses d'eau déjà suivies, nous préconisons d'adopter sur ces nouveaux points la fréquence correspondant au classement RNABE ou non de la masse d'eau (3 prélèvements par an dans les masses d'eau non RNABE, et un contrôle de type opérationnel dans les autres).
- De retenir la proposition du groupe d'experts concernant les paramètres à suivre : chlorophylle a, abondance de toutes les espèces phytoplanctoniques constitutives des peuplements (« flores totales »), et abondance des espèces phytoplanctoniques nuisibles pour l'écosystème (« flores partielles indicatrices » ;

⁷ Ces suivis reposant sur 3 prélèvements annuels ne permettent pas de suivre précisément les évolutions intra-annuelles des différents paramètres. Ils permettent par contre, sur le plus long terme, de mettre en évidence d'éventuelles dérives des hydrosystèmes. Si tel venait à être le cas, l'examen des résultats obtenus sur les masses d'eau les plus proches, et bénéficiant d'un contrôle opérationnel, permettrait de comprendre les possibles causes de l'évolution constatée.

⁸ Lors des phases préparatoires du RHLN, les suivis se sont achevés chaque année fin septembre. Les blooms tardifs de 2003 et de 2005 démontrent la nécessité de repousser cet arrêt des suivis jusqu'à la fin octobre, ainsi que le préconise le groupe français d'expertise phytoplancton.

une liste des espèces toxiques est fournie en Annexe 3) en tant que paramètres principaux ; d'autres paramètres, considérés comme paramètres complémentaires, de soutien et d'interprétation, sont également retenus. Il s'agit des 3 paramètres physiques température, salinité, et transparence (mesure de la FNU), ainsi que les paramètres chimiques oxygène et sels nutritifs⁹ (nitrate, nitrite, ammonium, orthosilicate, orthophosphate).

- De retenir, autant que faire se peut, la proposition du groupe d'experts de réaliser les prélèvements en dehors de la zone de balancement des marées, entre PM-2 et PM+2, en sub-surface pour tous les paramètres, ainsi qu'au fond pour l'oxygène,
- et enfin, d'évaluer l'homogénéité des différentes masses d'eau en se servant des images satellites (Annexe 1) ou des modélisations hydrodynamiques afin de statuer sur le nombre de points de suivi nécessaires, ainsi que sur leurs positionnements respectifs.

4.2 homogénéité des masses d'eau et représentativité des points de suivi.

A l'origine du RHLN, lors de la première phase pilote lancée en septembre/octobre 2000, les points de suivi au sein des différentes masses d'eau ont été positionnés en s'appuyant sur les réseaux existants, afin de limiter les coûts de prélèvement. Ce sont ainsi essentiellement les points Réphy qui ont été utilisés, ainsi que les points « référence » du programme Impact des Grands Aménagements¹⁰, les points estuariens du réseau RNO, et enfin les points « MAREL », correspondant au positionnement des bouées de la Carosse et de la Grande Rade en estuaire de Seine. Tous ces points, « déjà existants », avaient été positionnés afin de répondre au mieux aux objectifs particuliers de chacun des réseaux ou programmes précités. Ainsi, par exemple, la plupart des points du Réphy est positionnée au plus près des zones de production conchylicole afin de bien suivre l'évolution des peuplements phytoplanctoniques, et en particulier celle des espèces toxiques.

La définition du réseau hydrologique pérenne DCE en Normandie nécessite donc d'évaluer la pertinence des points de suivi retenus jusqu'à présent, c'est-à-dire la représentativité spatiale de l'échantillon qu'on prélève par rapport à la qualité de l'ensemble de la masse d'eau. Pour évaluer cette représentativité, ou tester celles de nouveaux points, nous disposons à la fois d'images satellites de la production chlorophyllienne, et de modèles hydrodynamiques permettant de retranscrire les courants de marée et leurs effets sur les masses d'eau en Manche.

Les images satellites utilisées, disponibles depuis 1998 sont produites par le capteur SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) embarqué à bord du satellite SeaStar, lancé le 1^{er} août 1997 par la NASA et positionné sur une orbite héliosynchrone à 700 km d'altitude. Ce capteur SeaWiFS est prévu pour fournir des données "couleur de l'eau" des océans mondiaux en utilisant 8 bandes spectrales différentes dont les longueurs d'ondes s'étendent de 400 à 885 nm. Sa résolution est de 1.1 km pour une largeur fauchée de 2800 km.

⁹ Le groupe d'expertise phytoplancton ne recommande de suivre les sels nutritifs que dans les masses d'eau nécessitant un contrôle opérationnel. Nous suivons également ce groupe de paramètres dans les masses d'eau non RNABE (3 prélèvements par an), à l'instar de ce que nous faisons dans le cadre de suivis IGA, car ces données, sur le long terme, devraient permettre de conforter les suivis en eau douce qui concluent depuis une trentaine d'année maintenant à l'augmentation des apports à la mer côtière, augmentation qui serait à l'origine des dérives constatées dans les peuplements phytoplanctoniques, ainsi que de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des blooms.

¹⁰ IGA ; programme EDF de suivi de l'impact des rejets non actifs des centrales électronucléaires littorales ; les points « référence » correspondent aux points de suivi positionnés hors de l'influence des rejets d'eau chaude et chlorée des centrales, et permettent donc de caractériser les masses d'eau où s'effectuent ces rejets.

Les données brutes sont traitées au moyen d'un algorithme empirique développé au laboratoire DYNECO/EP de l'Ifremer Brest par F. Gohin et al (2001 et 2003), et adapté aux eaux côtières. L'outil perd en performance dans les zones très côtières et surtout fortement turbides, le signal chlorophyllien pouvant être perturbé par les matières en suspension ainsi que par les aérosols. Les calages/adaptations réalisés localement permettent néanmoins d'obtenir une bonne évaluation des biomasses chlorophylliennes sur l'ensemble du littoral normand, et ainsi d'observer la répartition spatiale des blooms phytoplanctoniques (à la condition qu'il n'y ait pas de couverture nuageuse). Cet outil permet par conséquent d'évaluer l'homogénéité de la biomasse chlorophyllienne au sein des différentes masses d'eau.

Pour ce faire, toutes les données acquises et interprétables ont été moyennées par période de 10 jours (36 décades au total sur une année) depuis 1998. A chaque pixel est donc attribuée la valeur moyenne des concentrations en chlorophylle obtenues lors des 10 journées de chaque décade, et ce depuis 1998 (Cf. Annexe 1).

Les cartes ainsi produites ont été intégrées dans le Système d'Information Géographique du LERN afin de pouvoir y surimposer le découpage des masses d'eau DCE.

La modélisation hydrodynamique permet de développer 2 types d'approches complémentaires, la première visant conforter l'étude précitée sur l'homogénéité des masses d'eau au moyen de données satellitaires, et la seconde de positionner au mieux les points de suivi au sein des masses d'eau.

Certaines masses d'eau, réceptacles de rejets anthropiques ou d'apports d'eau douce (fleuves) importants, peuvent en effet présenter des hétérogénéités (halines, et donc de concentration en sels nutritifs par exemple), peu mises en évidence au moyen des images satellites, mais méritant d'être prises en compte, et nécessitant donc la réalisation de suivis en plusieurs points. L'homogénéité des masses d'eau peut donc être testée en réalisant des simulations des panaches de « rejets ».

Une fois l'homogénéité des masses d'eau évaluée, les modèles permettent aussi de réaliser des calculs de trajectoire de particules non diffusives et en iso densité avec l'eau de mer, et ainsi de visualiser la circulation au cours de plusieurs cycles de marée. Plusieurs points de prélèvement peuvent être testés, et ceux « produisant » des trajectoires s'inscrivant le mieux au sein de la masse d'eau sont à retenir.

Pour ce faire, le modèle hydrodynamique « Normandie » 2D, à maille de 400 m et dont l'emprise s'étend de la pointe du Grouin (en Bretagne) à la baie de Somme (dans la Région Picardie), développé dans le cadre du contrat de plan Etat/Région de Basse Normandie (Conseil Régional de Basse Normandie, Conseil Général de la Manche/SMEL, Conseil Général du Calvados, Agence de l'Eau Seine Normandie et Ifremer) a été utilisé.

Les conditions de simulation ont toujours été identiques, avec un lâcher des particules à pleine mer (i.e. au moment préconisé pour la réalisation des prélèvements par le cahier des procédures Hydrologiques DCE), lors d'une marée de coefficient 95 (coefficient de marée important, générant des courants de marée supérieurs à la moyenne, de façon à maximiser les déplacements des particules), et avec un vent nul. Les simulations ont été réalisées sur 7 jours (15 alternances de marée), avec des coefficients descendants (conditions réelles). Il est à noter que le modèle disponible ne peut être utilisé en zones découvrantes, qui sont importantes sur certaines masses d'eau (94% de la masse d'eau HT5M dans le fond de la baie du Mont St Michel par exemple), et qu'il convient donc de relativiser ses prévisions.

En dernier lieu, des considérants d'ordre pratique, mais aussi d'économie de moyen (points déjà suivis dans le cadre d'autres réseaux ou programmes comme le Réphy, le RNO, IGA, Cogéma, ...), ou encore relatifs à l'existence de séries « historiques » de données, ont également été pris en compte dans cette recherche d'optimisation, à la fois du positionnement du ou des points de suivi au sein de chacune des masses d'eau, et de

détermination des fréquences, recherche qui a parfois été réalisée simultanément sur plusieurs masses d'eau concomitantes en fonction de l'hydrodynamique locale.

4.3 Description du RHLN pérenne, masse d'eau par masse d'eau.

4.3.1 Masses d'eau HT5M et HC2

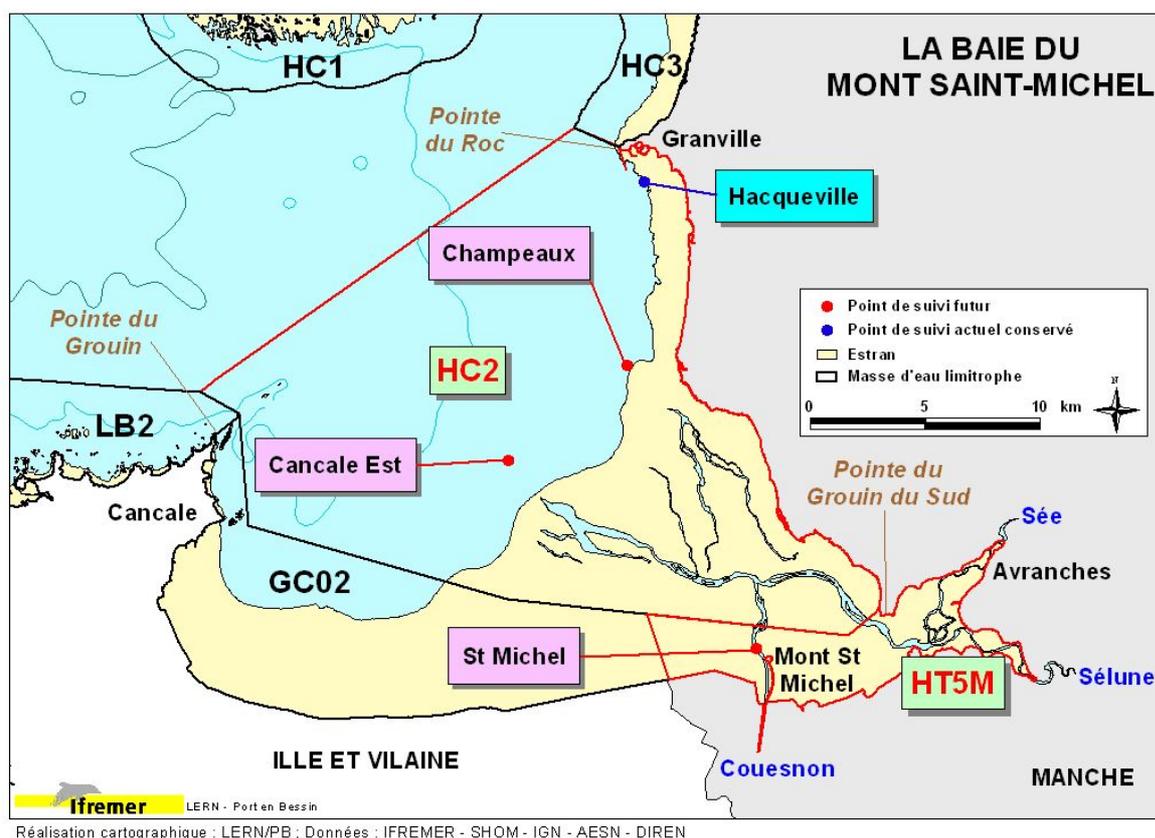
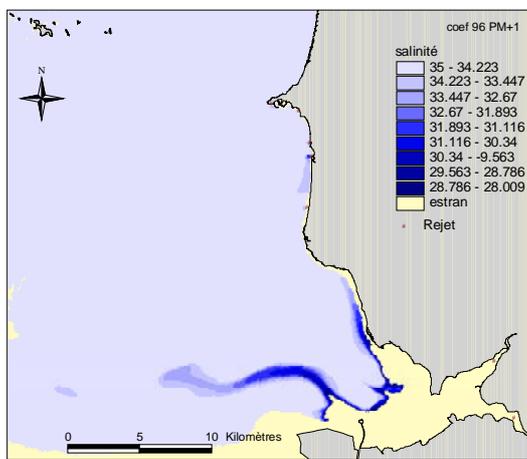


fig. 51 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables des masses d'eau HC2, HT5M, GC02 et LB2.

HT5M : cette masse d'eau de transition occupe le fond de la baie du Mont St Michel (Fig. 51 ci dessus). Ses 42.7 Km² de surface sont situés à 94% au dessus du zéro des cartes marines (SHOM).

Le modèle hydrodynamique n'y est donc pas utilisable, pas plus que les images satellites du fait de la turbidité trop élevée, générant une trop grande imprécision du signal chlorophyllien. Cette masse d'eau se vidant totalement à chaque basse mer, elle peut être considérée comme une zone d'échanges entre les apports fluviaux de la Sée, de la Sélune et du Couesnon, et les 2 masses d'eau adjacentes, et en particulier la HC2.

HC2 est une très vaste masse d'eau de 357 Km² de surface (la plus grande de toutes les masses d'eau normandes ; Fig. 51), couvrant 70% environ de la superficie de la baie du Mont st Michel, s'étendant de la pointe du Roc dans le nord, jusqu'au nord ouest de la pointe du Grouin (Ille et Vilaine) dans le sud ouest et jusqu'à la pointe du Grouin du sud (Manche) dans l'est. 67 % de sa superficie (239 Km²) se trouvent en zone subtidale.



Les images satellites y sont utilisables, et ne permettent pas de mettre en évidence une hétérogénéité marquée de la production chlorophyllienne de cette zone malgré sa taille.

Par contre, les simulations hydrodynamiques montrent que les influences des 3 fleuves précités s'y font sentir, en générant des panaches de

dessalure (Fig. 52), et donc une hétérogénéité de la masse d'eau.

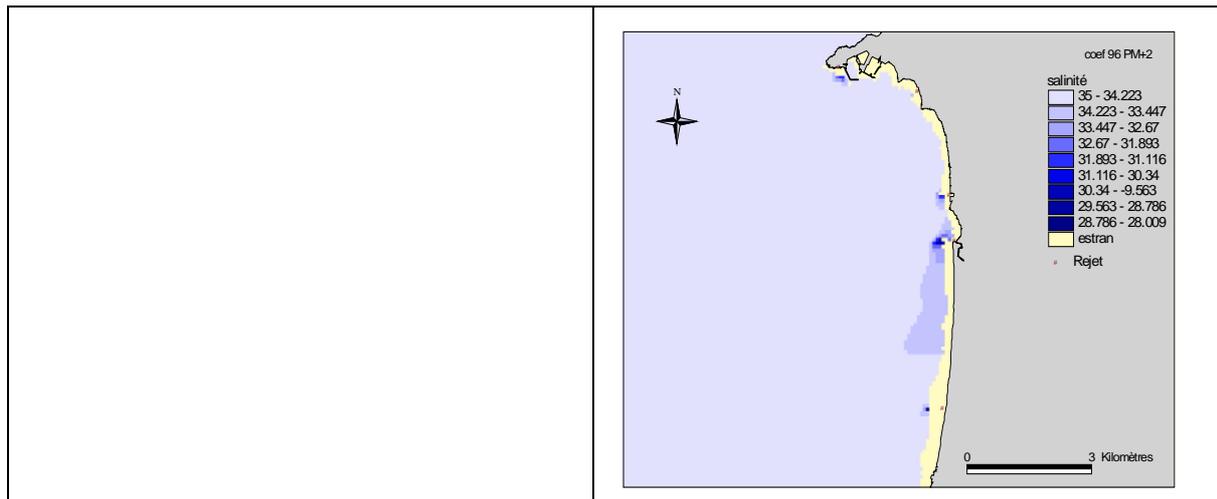


Figure 52 : simulation des panaches de dessalure en baie du Mont St Michel¹¹

Le point de « Hacqueville », au nord de la masse d'eau, et dans le sud immédiat de Granville, a été échantillonné dans le cadre du RHLN en 2004 et 2005. La simulation du devenir d'une particule lâchée sur ce point montre (Fig. 53) le caractère relativement confiné de ce secteur, avec, pour les lâchers les plus sud, une résiduelle peu importante mais orientée vers le sud, et pour les lâchers les plus nord, des oscillations de la particule de part et d'autre de la pointe du Roc.

¹¹ Ainsi qu'indiqué page 78, la non prise en compte des bancs découvrants par le modèle 2D utilisé ici, notamment dans la partie de cette masse d'eau située dans la zone de balancement des marées (simulation de gauche), peut avoir pour conséquence de quelque peu fausser les résultats. Il est fort probable que dans la réalité, les panaches de dessalure soient plus étalés. Quoi qu'il en soit, ces simulations montrent que cette masse d'eau ne peut être considérée comme totalement homogène, et que de ce fait son suivi doit reposer sur plusieurs points

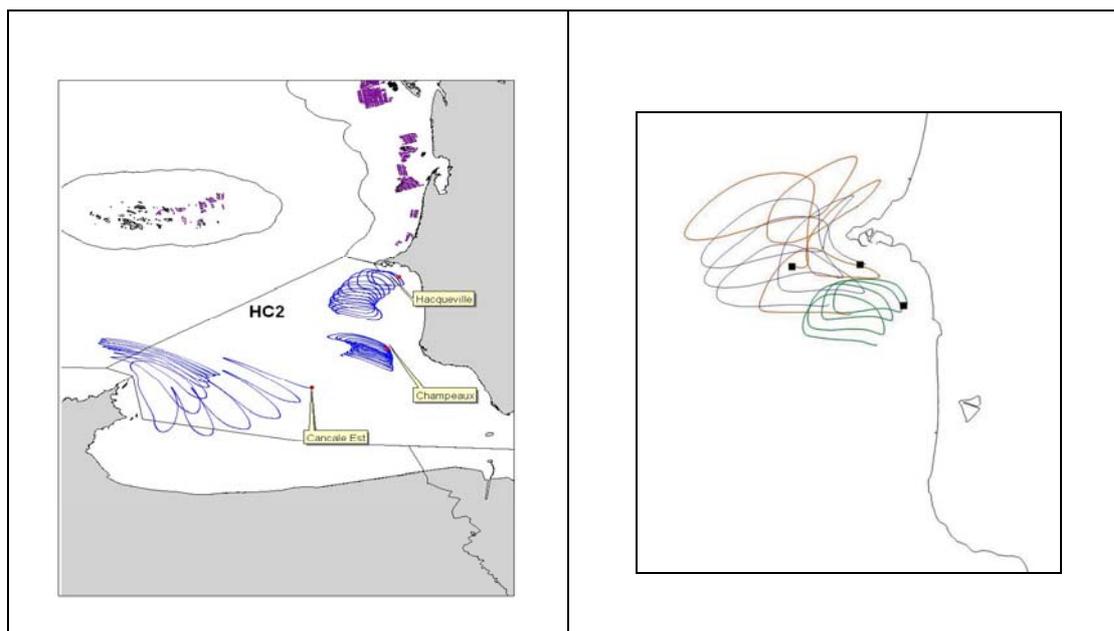


Figure 53 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée à gauche, et 4 alternances à droite. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours (2 à droite) jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Il sera donc nécessaire de réaliser le suivi des 2 masses d'eau HT5M et HC2 à partir de 4 points de prélèvement.

Le point de « Hacqueville » sera conservé du fait de son intérêt pour suivre l'influence des côtières granvillais. 2 points proches du centre de cette masse d'eau HC2 seront rajoutés, l'un dans l'est, « Champeaux », présentant une résiduelle vers le sud, et l'autre plus dans l'ouest, « Cancale est », présentant une résiduelle ouest, de façon à « balayer » au mieux l'ensemble de la masse d'eau. Enfin, un 4^{ème} point sera positionné très légèrement dans l'ouest du Mont St Michel (point « Poulard »), pour couvrir à la fois la masse d'eau HT5M, et évaluer la qualité des eaux qui pénètrent dans la masse d'eau HC2 par le sud est.

HT5M et HC2 étant classées hors RNABE, elles doivent faire l'objet d'un contrôle de surveillance, et seront donc échantillonnées 3 fois par an.

4.3.2 HC1

cette masse d'eau correspond à l'archipel des îles Chausey. D'une superficie de 106 Km², dont 76 en zone subtidale (72% du total), elle ne connaît pas d'apport terrigène important susceptible de dégrader son homogénéité en matière de production chlorophyllienne, homogénéité confirmée par les images satellites de l'Annexe 1.

Les trajectoires des particules (Fig. 54) démontrent le caractère relativement confiné de cette masse d'eau en décrivant une trajectoire ovale autour de l'archipel (au moins pendant les premiers cycles de marée), s'étalant sur une dizaine de milles dans le sens ouest/est, et sur 5 milles environ du nord au sud.

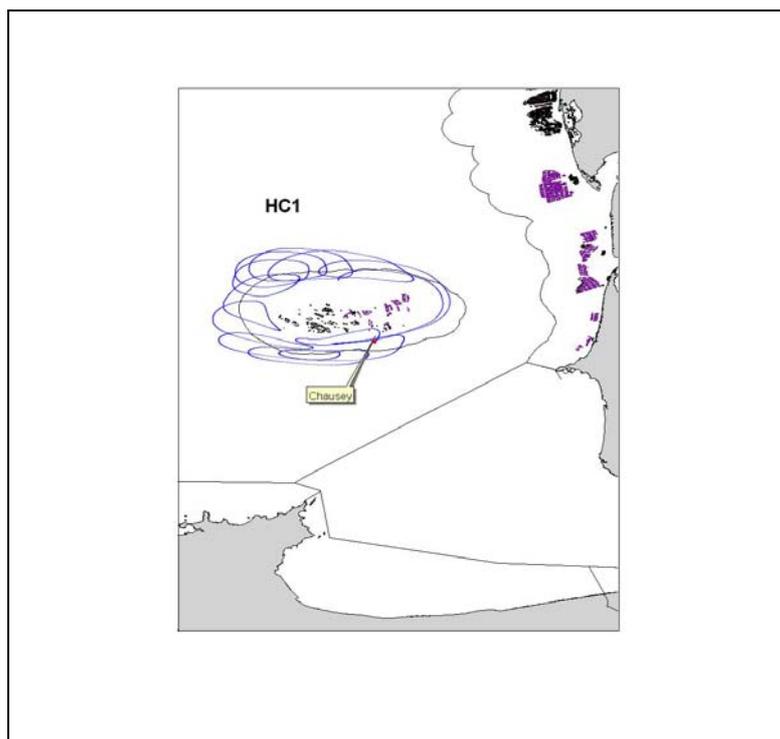


Figure 54 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Le point retenu lors des phases préparatoires du RHLN, au centre de l'archipel, s'inscrivant parfaitement au sein de cette trajectoire, peut donc être considéré comme bien représentatif de la masse d'eau, et sera conservé pour le suivi pérenne.

Cette masse d'eau, ne présentant pas de risque RNABE, fera l'objet d'un contrôle de surveillance, et sera donc échantillonnée 3 fois par an.

4.3.3 HC3

Cette masse d'eau s'étend de la pointe du Roc au cap de Carteret sur environ 30 milles de longueur. Elle couvre une superficie de 346Km² (c'est la plus grande de Normandie après la HC2) et se caractérise par un estran large (163 Km², soit 47% du total de la masse d'eau), la présence de 8 havres (du sud au nord, havres de la Vanlée, de Regnéville, de Blainville, de Géffosses, de Lessay, de Surville, de Portbail et de Carteret ; Cf. Fig. 55), et l'importance de ses productions conchylicoles (commercialisation d'un peu moins de 22 000 tonnes d'huîtres par an, et d'environ 13 500 tonnes de moules de bouchots).

Du fait de son étirement, trois points y sont suivis depuis le lancement des phases préparatoires du RHLN. En partant du sud vers le nord, il s'agit des points de « Donville¹² », « Agon » et « Pirou ».

¹² un point plus sud, situé dans l'ouest immédiat de la pointe du Roc, a été suivi en 2000, 2001 et 2002 ; le point actuel de Donville lui a été préféré les années suivantes, car s'inscrivant mieux dans la masse d'eau HC3

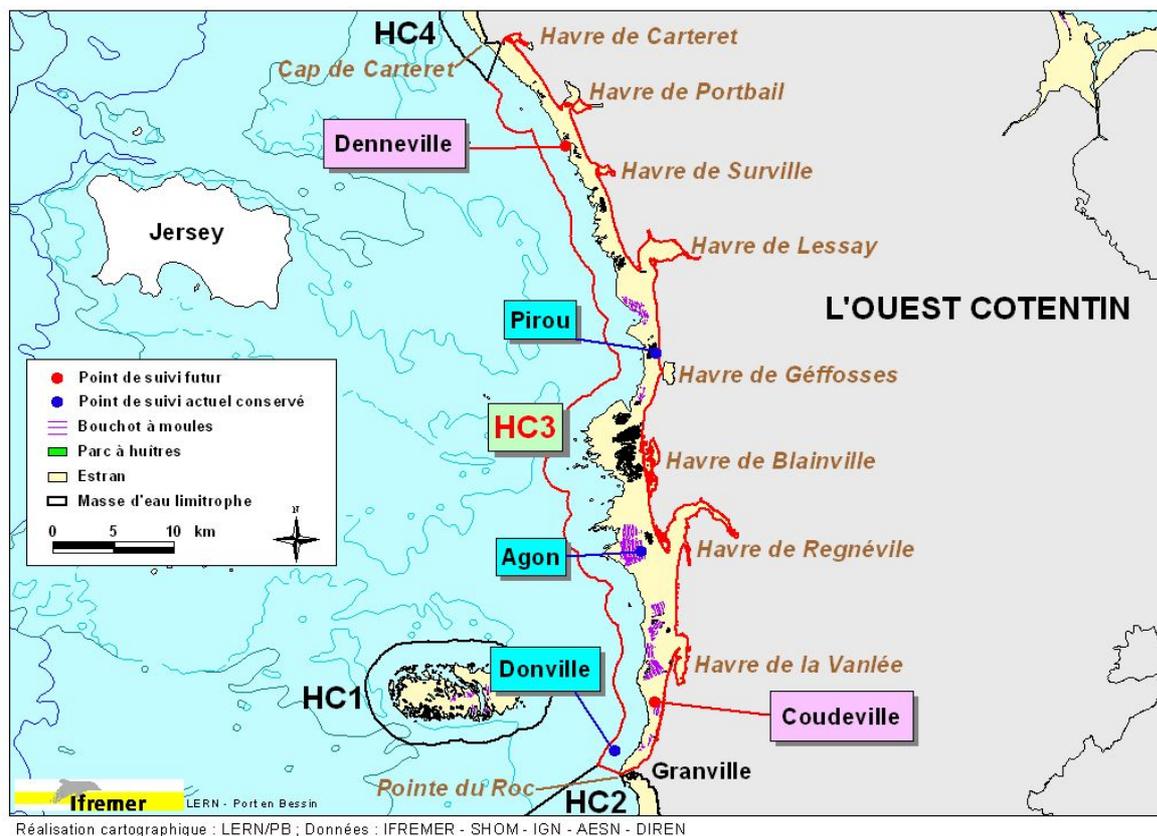


Figure 55 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC3.

Les images satellites (celles obtenues au cours des 13^{ème}, 15^{ème}, 17^{ème} et 28^{ème} décades sont données par la figure 56 à titre d'illustration), mettent fréquemment en évidence une certaine hétérogénéité de la production chlorophyllienne au sein de cette masse d'eau, la partie sud apparaissant comme étant plus productive que la partie nord.

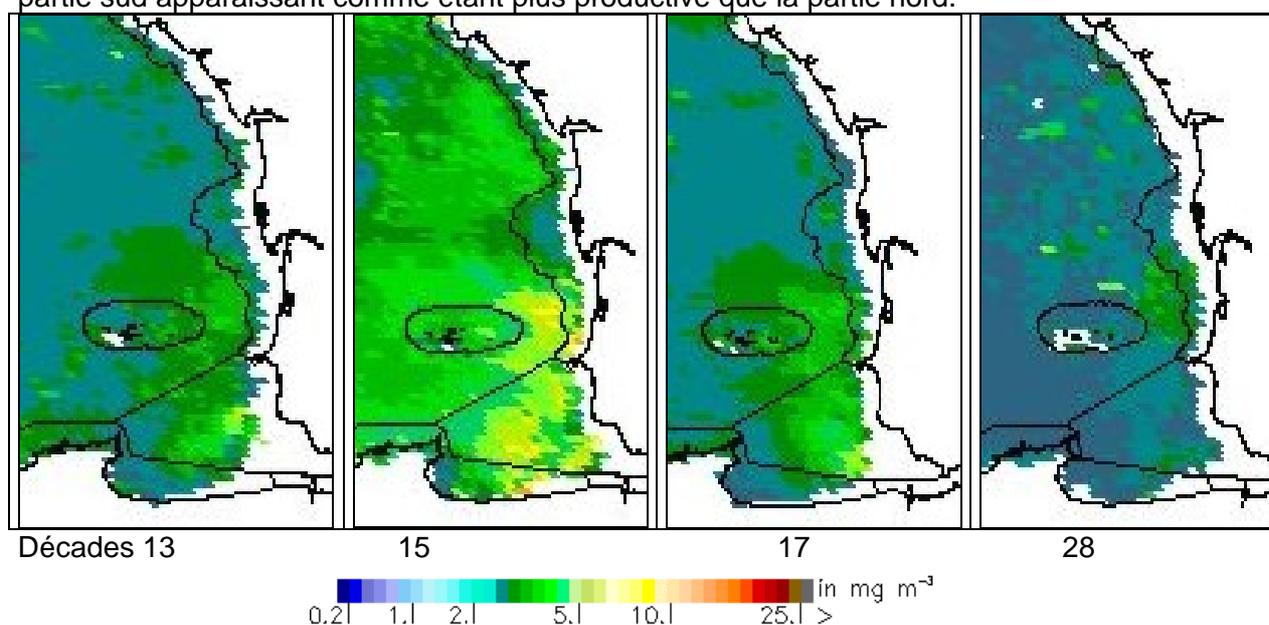
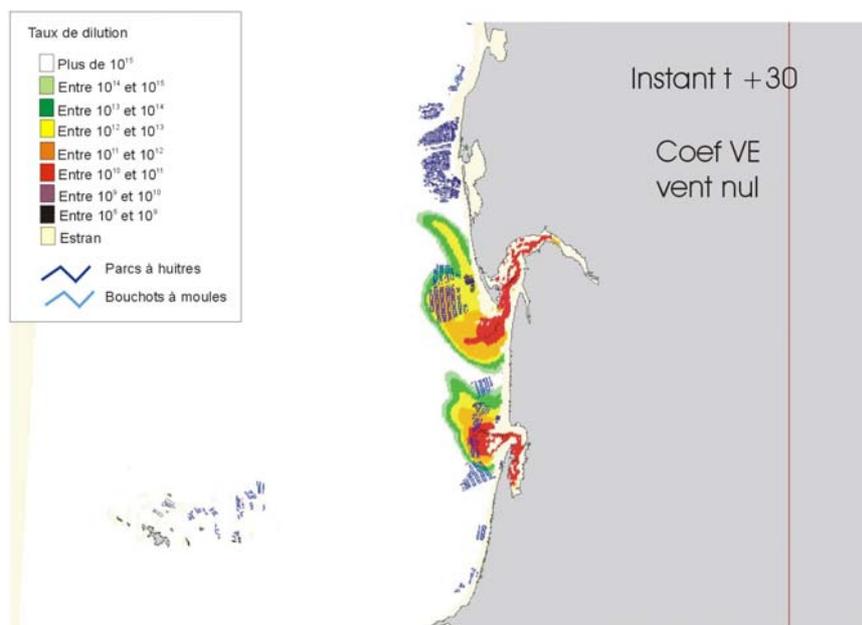


Figure 56 : biomasse chlorophyllienne moyennée par décade entre 1998 et 2004 au sein de la masse d'eau normande HC3 (côte ouest Cotentin) ; décades 13, 15, 17 et 28 ; données NASA traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dyneco/F. Gohin.

Une hétérogénéité est également générée à la sortie des havres par le simple fait des apports d'eau douce qui y transitent (et des molécules transportées), en provenance des bassins versants, ainsi que le montrent les panaches de dilution théoriques obtenus par simulation hydrodynamique (Fig. 57).



Modèle développé dans le cadre du CPER Basse Normandie /CRBN/AESN/CG50/CG14

Figure 57 : panaches de dilution au sortir des havres de Régnéville et de la Vanlée ; modélisation hydrodynamique 2D réalisée à partir de flux théoriques.

Cette hétérogénéité oblige à suivre cette grande masse d'eau en plusieurs points. Le modèle hydrodynamique montre qu'il existe une frontière hydrologique dans le nord de la pointe du Roc, engendrant une rupture des courants de marée entre la baie de Granville d'une part (HC2) et la côte ouest cotentin (HC3) d'autre part. En effet, une particule lâchée à PM (Pleine Mer) à la pointe du Roc, ou sur le point Donville présente une trajectoire qui oscille entre les masses d'eau HC2 & HC3, alors que pour le reste de la masse d'eau HC3 (à partir du point « Coudeville ») les courants résiduels de marée longent la côte en présentant une résultante généralement orientée sud/nord (avec une composante ouest pouvant être marquée en certains secteurs ; Cf. fig. 58).

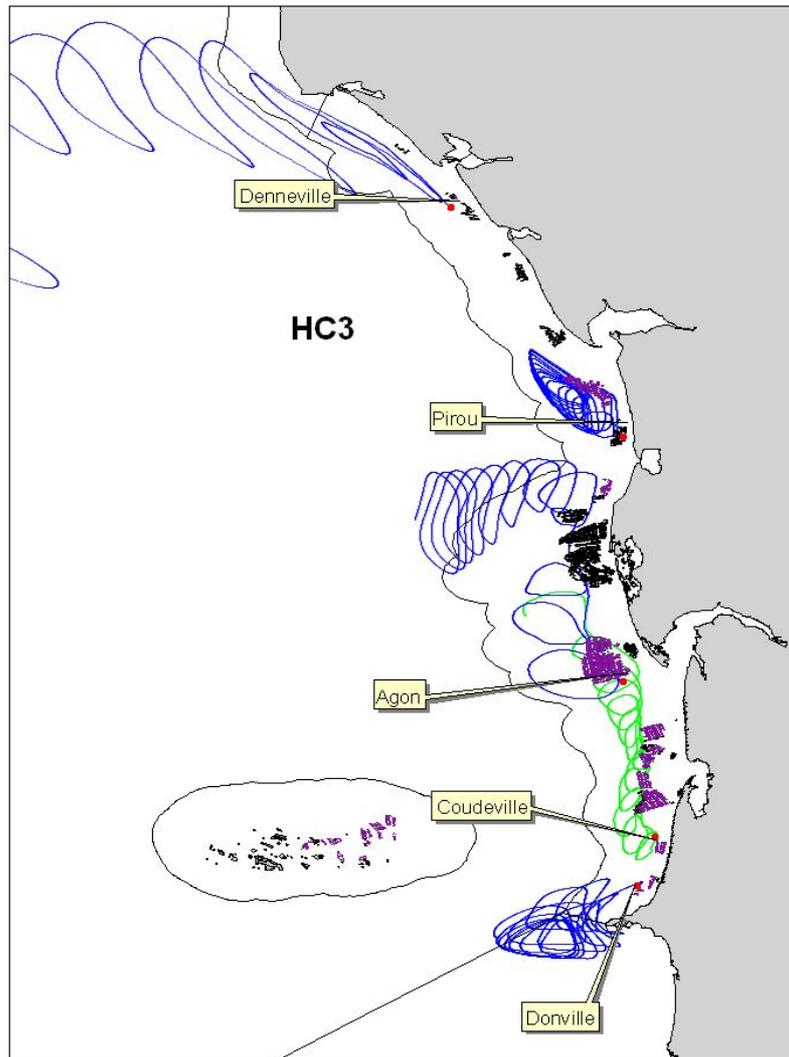


Figure 58 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Il faudra donc continuer à suivre cette masse d'eau à partir du point actuel de Donville (qualité des eaux de part et d'autre de la pointe du Roc), mais également rajouter un point de suivi sur Coudeville (qualité des eaux entre Coudeville et Agon).

Les trajectoires issues des points d'Agon et de Pirou s'inscrivant parfaitement dans cette masse d'eau, ces deux points de suivi seront conservés.

Enfin, étant donnée la taille de cette masse d'eau, il est souhaitable de rajouter un point devant Denneville permettant d'en suivre la partie la plus nord.

Nous proposons que les 2 nouveaux points de « Deneville » et de « Coudeville » fassent l'objet d'un contrôle d'enquête pendant 3 ans, et qu'à l'issue de cette période, l'utilité de leur suivi soit réévaluée.

Cette masse d'eau étant classée RNABE, et la période productive y débutant véritablement lors de la 8^{ème} décade de mars (Cf. Fig 59 ci dessous ; apparition des tous premiers

développements phytoplanctoniques en toute fin de décade 7), elle fera l'objet de 16 échantillonnages par an.

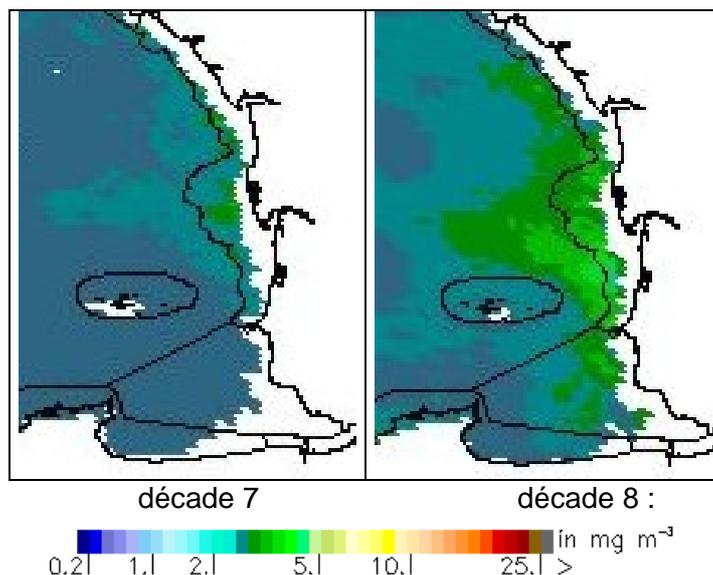


Fig. 59 : mise en évidence du déclenchement de la période productive lors de la 8^{ème} décade (2^{ème} décade du mois de mars) le long de la côte ouest Cotentin au moyen de données « couleur de l'eau » produite par la Nasa et traitée par l'algorithme OC5 Ifremer Dynéco/F. Gohin (données 1998/2004).

4.3.4 HC4

Cette zone s'étend du cap de Carteret au cap de la Hague (Fig. 60 ci dessous). Sa superficie couvre 171 Km², avec seulement 11 Km² d'estran.

Dans le cadre des programmes IGA et COGEMA, des données sont acquises de longue date sur les trois points de Barneville, Flamanville et Jobourg. L'hydrodynamisme très marqué de cette masse d'eau est un facteur d'homogénéisation, ce que confirment les images satellites (Annexe 1) qui présentent des teneurs en chlorophylle uniformes.

La simulation hydrodynamique (Fig. 61) montre une remontée vers le nord des particules lâchées sur Barneville, la poursuite de cette remontée, mais avec une intrusion dans l'anse de Vauville de celles lâchées sur Flamanville, remontée qui se prolonge depuis le fond de l'Anse de Vauville jusqu'au point de Jobourg d'où les particules gagnent très rapidement le raz Blanchard et sortent de la masse d'eau pour osciller de part et d'autre du cap de la Hague.

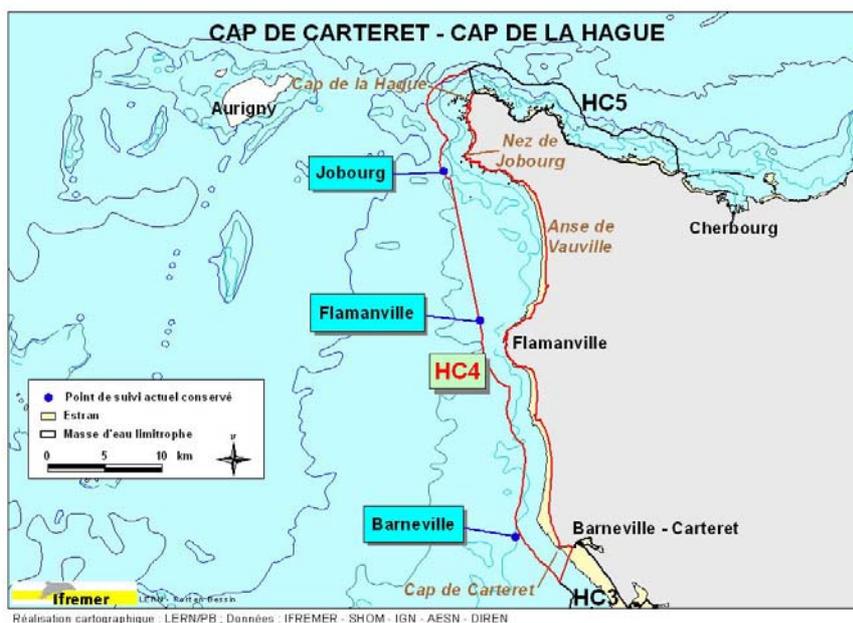


Figure 60 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC4.

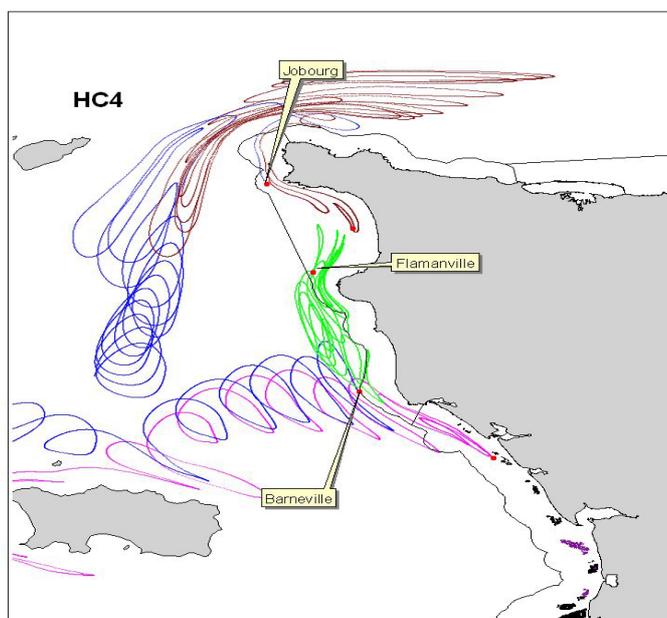


Figure 61 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Les points de suivi actuels sont donc bien placés pour décrire la qualité de cette masse d'eau.

Cette masse d'eau n'étant pas classée RNABE, elle devra faire l'objet de 3 prélèvements annuel, ce qui pourrait être réalisé dans le cadre des programmes IGA (EDF) et COGEMA, en cas d'accord de ces 2 partenaires.

4.3.5 HC5 et HC6

La masse d'eau HC5 englobe le linéaire côtier situé entre les pointes de la Hague et de Querqueville. D'une superficie de 51 Km² (dont 10% d'estran), elle est actuellement suivie à partir du point de Gruchy (Fig. 62) qui se situe approximativement en son milieu. La masse d'eau HC6 couvre la partie centrale du nord cotentin, depuis la pointe de Querqueville jusqu'à l'ouest du cap Lévy (pointe du vieux fort), en passant par le large du port de Cherbourg. Cette masse d'eau qui s'étend sur 64 Km² (dont 2 d'estran), est suivie depuis début 2004 dans le cadre des phases préparatoires du RHLN au niveau du point « Cherbourg extérieur rade » qui est positionné dans le nord de la partie centrale de la grande digue.

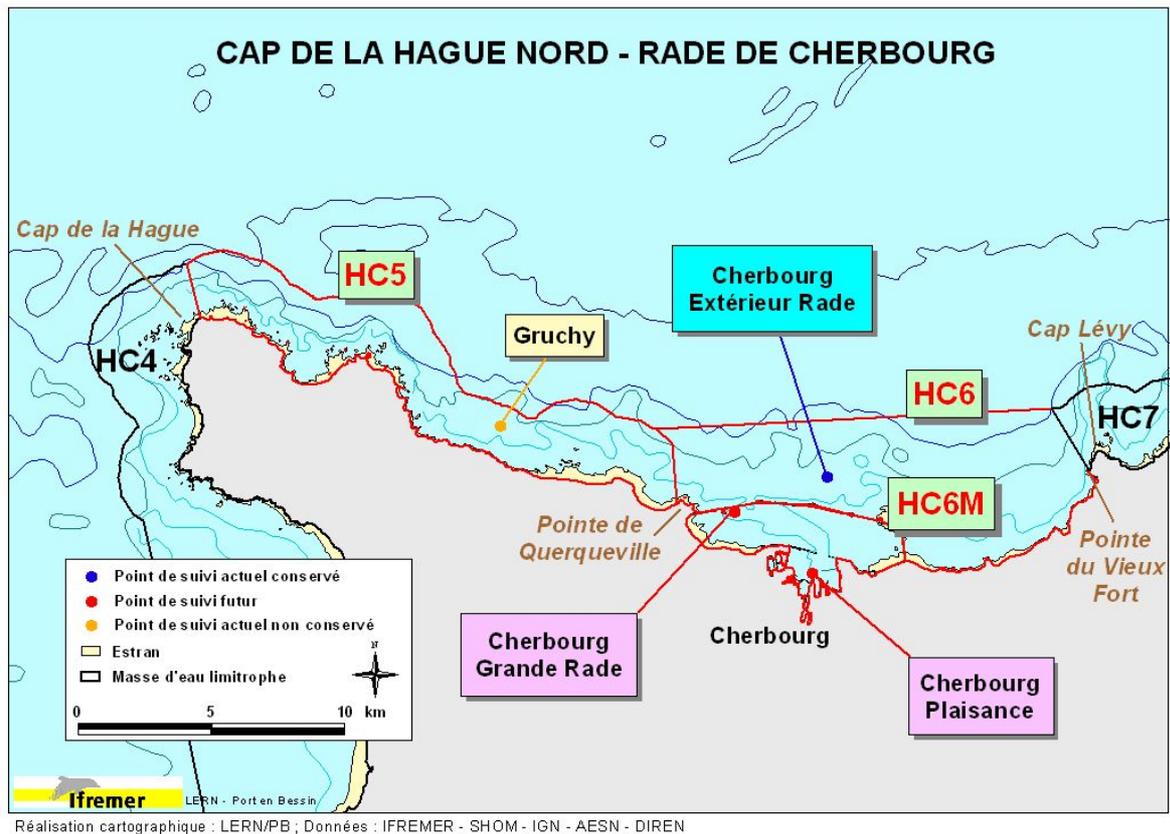


fig.62 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC5.

Ces 2 masses d'eau sont caractérisées par de très forts courants de marée (qui permettent leur bonne homogénéisation), présentant des résiduelles (Fig. 63) très nettement orientées vers l'ouest.

Du fait de la composante est/ouest de la résultante de courant de marée très marquée, de la similarité des trajectoires obtenues à partir des 4 points testés, et de l'homogénéisation de ces 2 masses d'eau, nous proposons de ne conserver qu'un seul point pour réaliser leur suivi. Pour des raisons pratiques, mais aussi parce qu'il est le plus à l'est des 2, nous conserverons pour le RHLN pérenne le point de suivi de « Cherbourg extérieur rade » qui sera échantillonné 3 fois par an, les 2 masses d'eau n'ayant pas été classées RNABE, et ne nécessitant donc qu'un contrôle de surveillance.

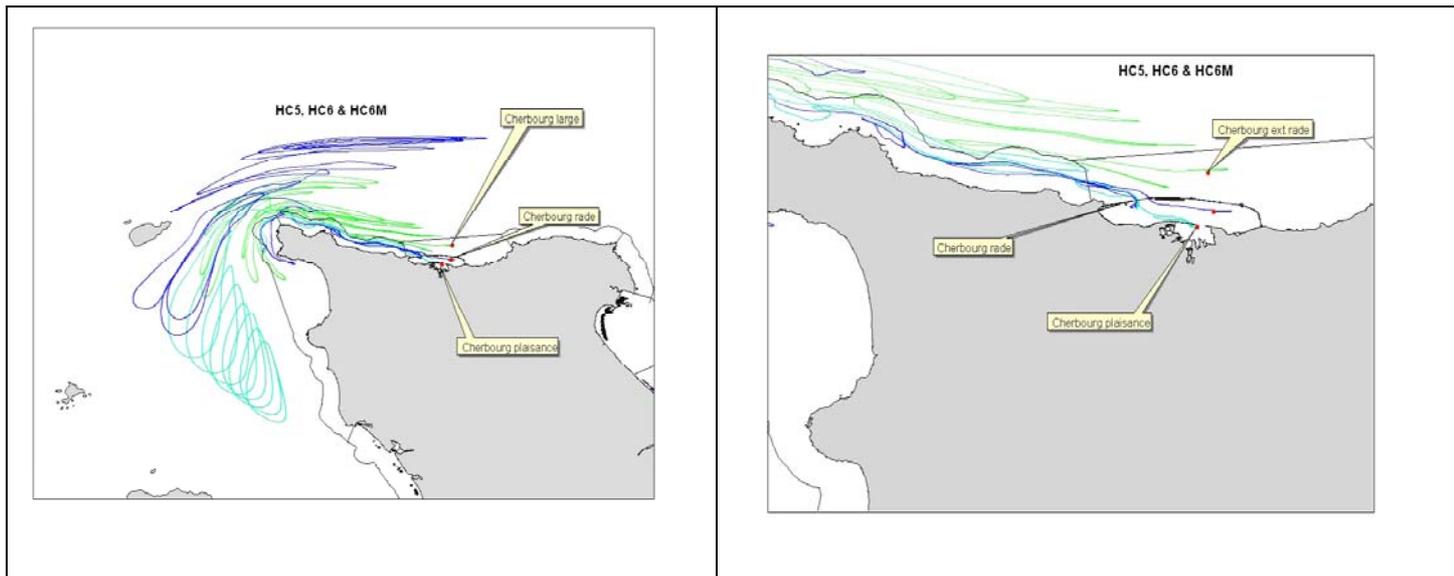


Figure 63 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

4.3.6 HC6M

Cette masse d'eau correspond au port, ou plus exactement, à la rade de Cherbourg (Cf. Fig. 62 page précédente). D'une superficie de 16.1 Km² (dont 1.7, soit 11% en zone découvrente), elle n'a jamais été suivie lors des phases préparatoires du RHLN, ayant été créée en 2004 uniquement.

Les courants de marée y sont complexes du fait de la conformation des digues, zones portuaires, enrochements, quais...créant des zones confinées, ou, au contraire, des zones d'accélération des courants (dans les passes), pourtant déjà violents sur l'ensemble du littoral nord Cotentin.

Cette masse d'eau ne présente donc *a priori* pas un caractère homogène, d'autant que les apports ou rejets y sont nombreux. Il n'est cependant pas envisageable de la suivre en de très nombreux points, du fait même de son extrême complexité, et nous proposons donc de n'en créer qu'un, positionné à la sortie ouest du port. Ce point dénommé « Grande Rade » sera positionné dans la passe de l'ouest, à l'extrémité de la digue de Querqueville, passe représente en quelque sorte l'exutoire de l'ensemble de la zone portuaire.

Face au manque de données concernant cette masse d'eau, le groupe de travail DCE Normandie a décidé d'y effectuer un contrôle d'enquête.

La période productive débutant véritablement lors de la décade 12 (toute fin avril ; Cf. Fig. 64 ci après), les 2 points retenus seront donc échantillonnés à 14 reprises lors des 3 prochaines années.

A l'issue de ces trois années de suivi, il deviendra possible de statuer sur le risque RNABE ou non pour cette masse d'eau, et de définir le suivi pérenne idoine.

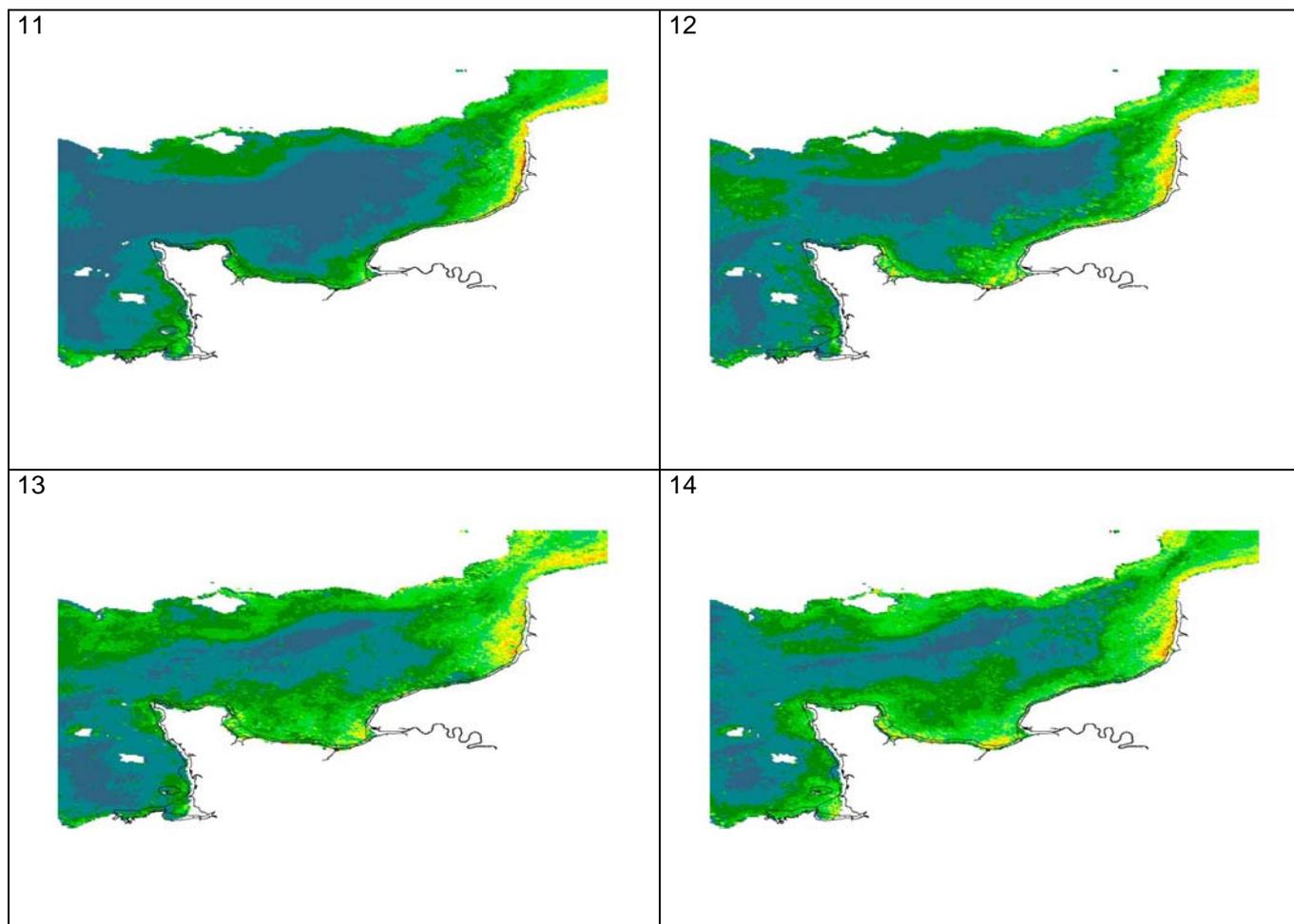


Fig. 64 : mise en évidence du déclenchement de la période productive lors de la 12^{ème} décade (1^{ère} décade du mois de mai) dans la zone centrale et ouest du nord Cotentin au moyen de données « couleur de l'eau » produite par la Nasa et traitée par l'algorithme OC5 Ifremer Dynéco/F. Gohin (données 1998/2004 ; les n° des décades sont donnés sur chacune des images satellites).

4.3.7 HC7

Cette masse d'eau englobe toute la pointe nord est Cotentin, du cap Lévy sur la commune de Fermanville jusqu'à Barfleur. Elle est suivie depuis début 2004 au niveau du point « cap Lévy » ; Fig. 65). Sa superficie est de 46.3Km², dont 3.6 d'estran.

D'un point de vue hydrologique, la pointe du cap Lévy constitue une rupture courantologique entre l'ouest et l'est du nord Cotentin : alors que la circulation résiduelle est orientée de l'est vers l'ouest sur tout le nord ouest Cotentin, elle s'oriente à partir de Fermanville d'ouest en est, et ce jusqu'à la pointe de Barfleur (Fig. 66).

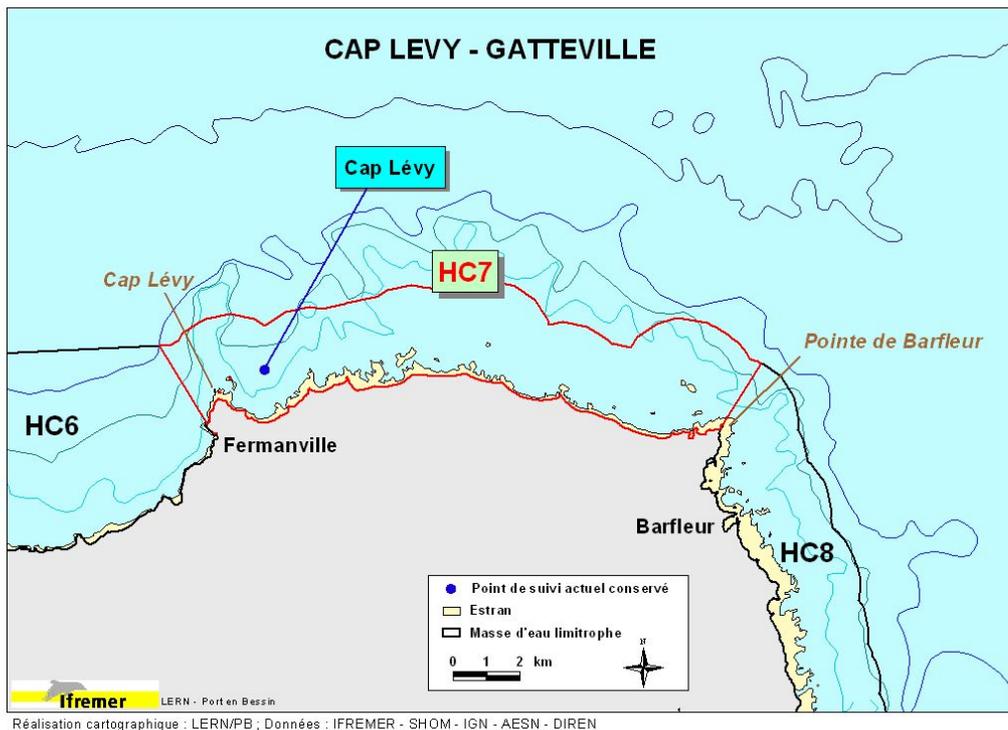


Figure 65 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC7.

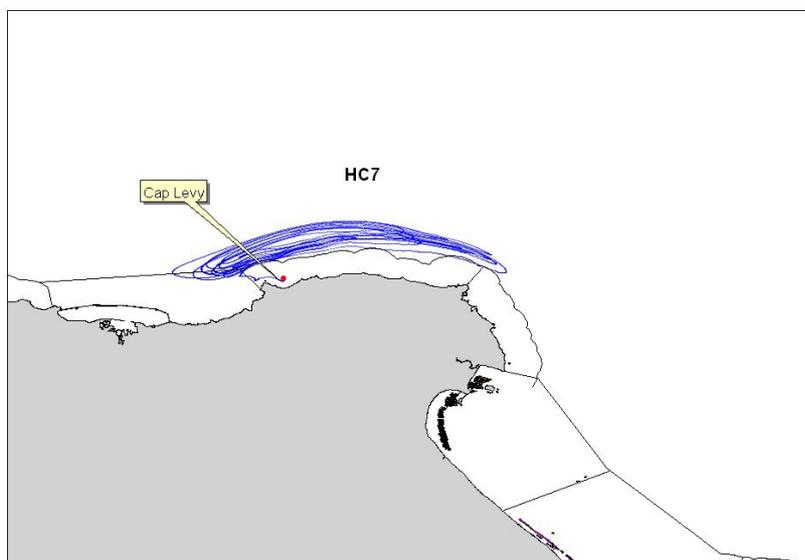


Figure 66 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Cette inversion courantologique ne change par contre en rien le caractère homogène de cette masse d'eau (Cf. images satellite en Annexe 1), du fait de l'hydrodynamisme très marqué dont elle aussi est le siège. Le point de suivi actuel, à partir duquel une particule lâchée à pleine mer balaye l'intégralité de la masse d'eau (plus précisément l'extérieur de la

masse d'eau), semble donc placé « au mieux », et mérite d'être conservé. Cette masse d'eau ne présentant pas de risque RNABE, elle fera l'objet d'un simple contrôle de surveillance, et sera donc échantillonnée 3 fois par an.

4.3.8 HC8

Cette masse d'eau s'étend de la pointe de Barfleur à la pointe de Saire (Cf. Fig. 67) et est suivie depuis début 2004 au niveau du point « Réville ». Sa superficie s'élève à 32.2 Km², dont 5.2 Km² d'estran.

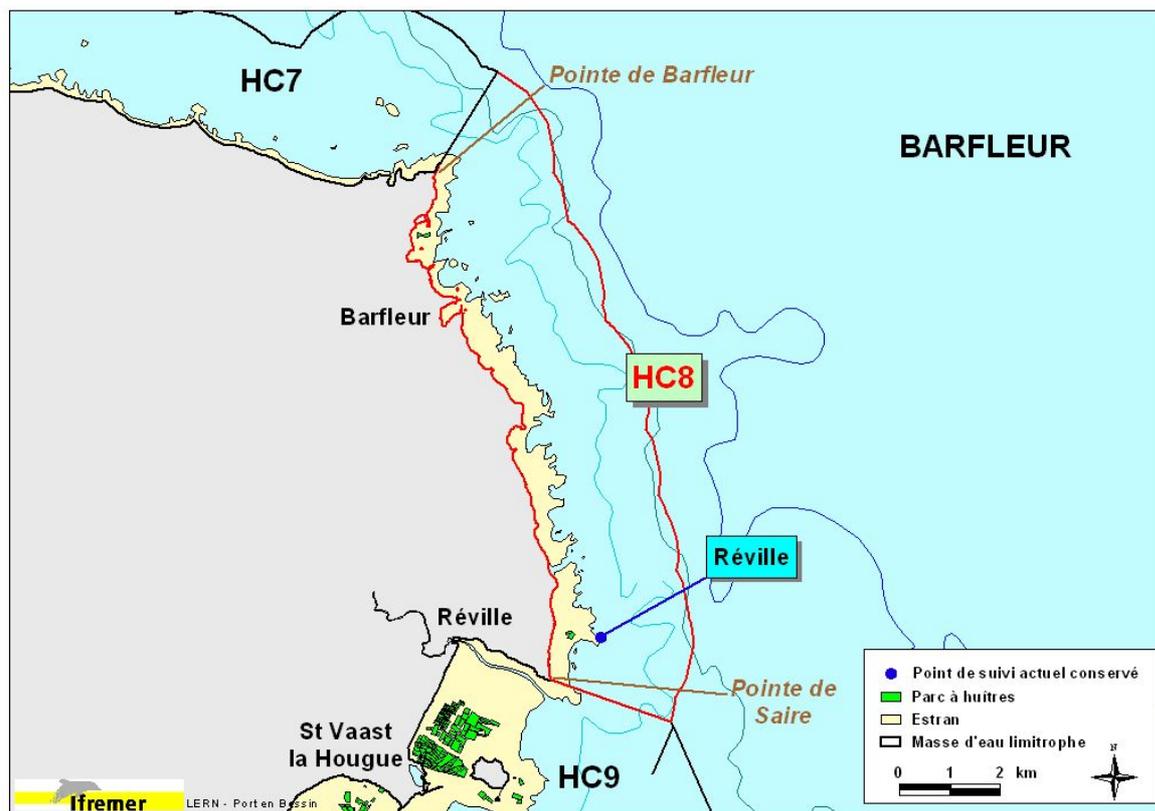


Figure 67 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC8.

Le brassage lié à l'hydrodynamisme (gyre de Barfleur à proximité) permet une bonne homogénéisation de cette masse d'eau, avec, à partir de Réville (point de suivi actuel), une composante nord-sud du courant dominante dans un premier temps (6 cycles de marée environ), puis, une fois la particule sortie de la masse d'eau par son extrémité nord, la reprise des oscillations est/ouest mises en évidence sur le nord Cotentin (Fig. 68).

De ce fait, la position sud du point Réville au sein de la masse d'eau est intéressante pour en évaluer la qualité moyenne.

Cette masse d'eau qui sera échantillonnée 3 fois par an (non RNABE ; contrôle de surveillance).

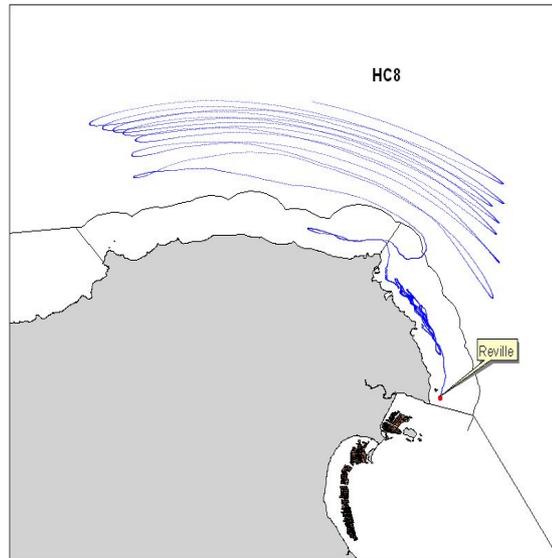


Figure 68 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

4.3.9 HC9

Cette masse d'eau s'étend de la pointe de Réville à Ravenoville le long de la côte est Cotentin, et jusqu'aux îles St Marcouf au large (Fig. 69). Elle couvre une superficie de 132 Km², dont 26 Km² d'estran qui hébergent une très importante activité conchylicole (essentiellement ostréicole, avec une production annuelle de l'ordre de 13 000 tonnes d'huîtres). Elle a été suivie à partir du point « St Vaast sud » pendant les phases préparatoires du RHLN.

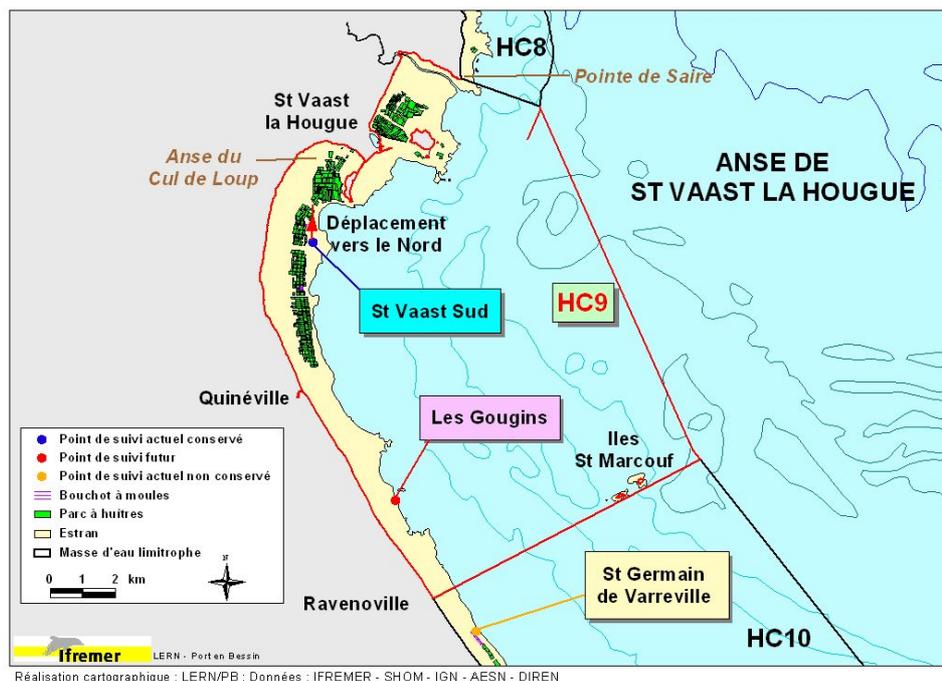


Figure 69 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC9.

Les images satellites permettent de déceler une certaine hétérogénéité de la concentration chlorophyllienne au sein de cette masse d'eau. La décade 17 est donnée à titre d'exemple par la Fig. 70 ci dessous. Cette hétérogénéité dans la production primaire est confirmée par d'autres images satellites de synthèse consultables à l'Annexe 1.

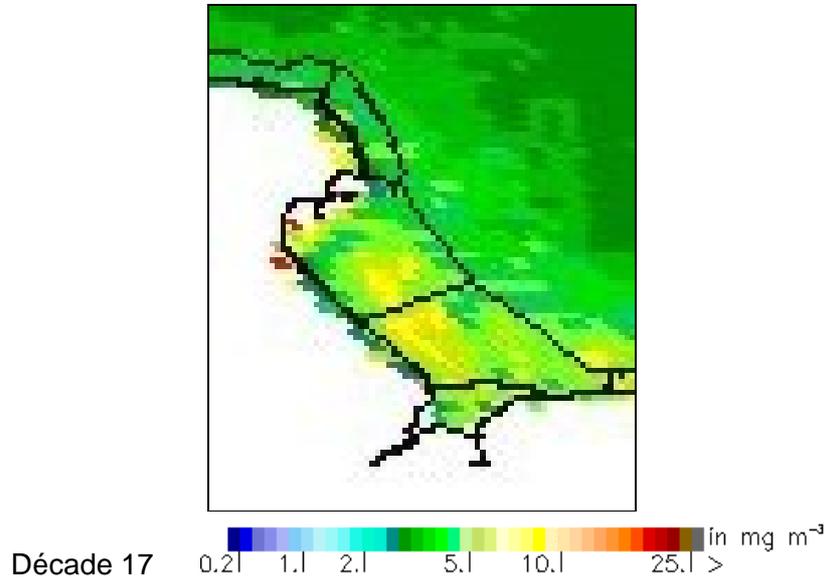


Figure 70 : biomasse chlorophyllienne moyennée par décade entre 1998 et 2004 au sein de la masse d'eau normande HC9 (côte est Cotentin) ; décade 17 ; données NASA traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dyneco/F. Gohin.

Les résiduelles de courant de marée au sein de cette masse d'eau sont dirigées vers le nord, et font de l'anse du Cul du Loup un réceptacle où convergent les eaux de l'est Cotentin (Fig. 71), et dont ne s'écoulent que difficilement les apports locaux provenant des bassins versants (Fig. 72).

Il semble par conséquent judicieux de déplacer le point St Vaast Sud très légèrement vers l'anse du Cul de Loup et de déplacer le point de St Germain de Varreville (qui se trouve dans la masse d'eau HC10) vers nord et le secteur de Ravenoville (point « Les Gougins ») de façon à mieux suivre la qualité des eaux dans la partie sud de cette masse d'eau

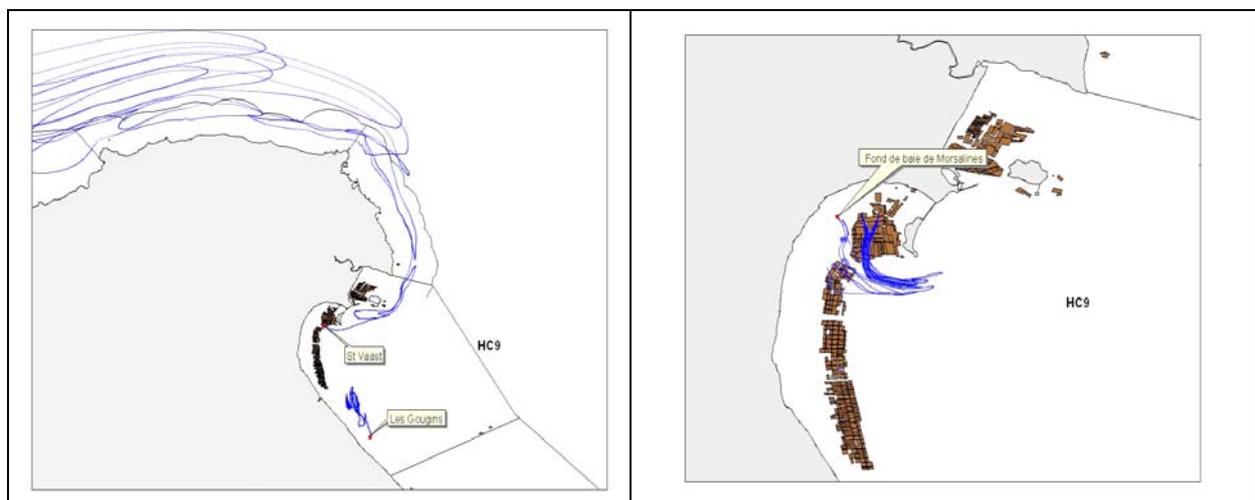


Figure 71 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la

marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

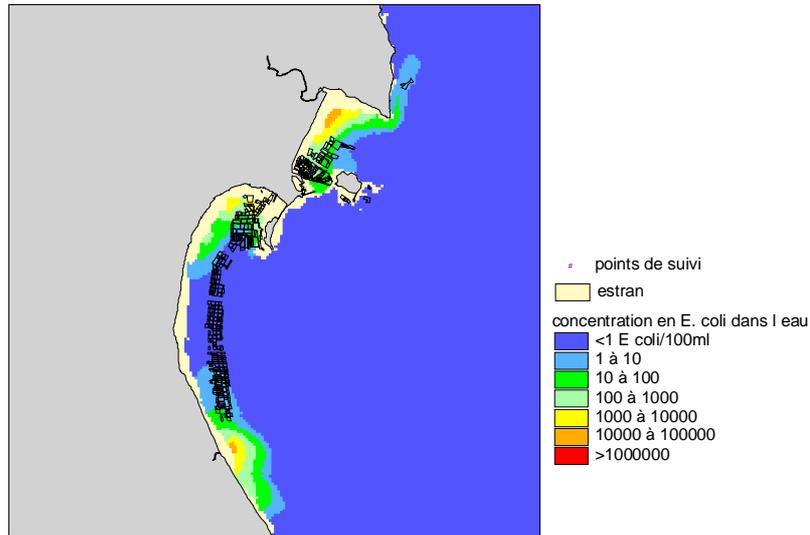


Figure 72 : panaches de dilution générés par les principaux fleuves côtiers du nord est Cotentin ; modélisation hydrodynamique 2D à partir de flux théoriques (d'E. Coli).

Cette masse d'eau étant classée RNABE, et la période productive y démarrant lors de la 8^{ème} décade (Fig. 73 ci dessous), les deux points de suivi précités feront l'objet de 14 échantillonnages annuels.

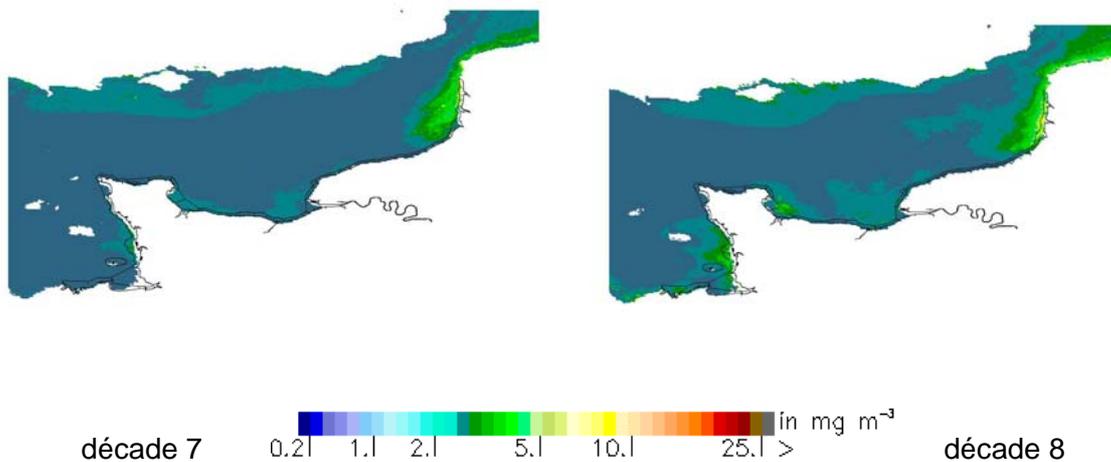


Fig. 73 : mise en évidence du déclenchement de la période productive lors de la 8^{ème} décade (2^{ème} décade du mois de mars) le long de la côte est Cotentin (masses d'eau HC9, HC10 et HT6M) au moyen d'images composites moyennes de données de type « couleur de l'eau » permettant d'évaluer les teneurs en chlorophylle a. Données produites par la Nasa sur la période 1998/2004, et traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dynéco/F. Gohin.

4.3.10 HC10 et HT6M

La masse d'eau HC10 englobe le linéaire côtier compris entre Ravenoville et la pointe du Hoc, hors baie des Veys qui constitue la masse d'eau HT6M.

HC10 s'étend au large jusqu'aux îles St Marcouf (Cf. Fig 74 ci dessous), et couvre une surface de 118.3 Km², dont 15.8 Km² (13%) d'estran où s'est développée une importante activité conchylicole (productions, essentiellement mytilicoles, de l'ordre de 900 tonnes par an).

HT6M couvre une superficie de 31.7 Km², dont 27.6 Km² sont en zone découvrante (87% du total de la masse d'eau). Cette vaste zone d'estran, délimitée au nord par une courbe reliant la réserve de Beauguillot au port de Grandcamp Maisy, abrite une importante zone ostréicole, s'étendant entre Grandcamp Maisy et Géfosse sur 160 ha, et générant une production annuelle comprise entre 10 et 12 000 tonnes.

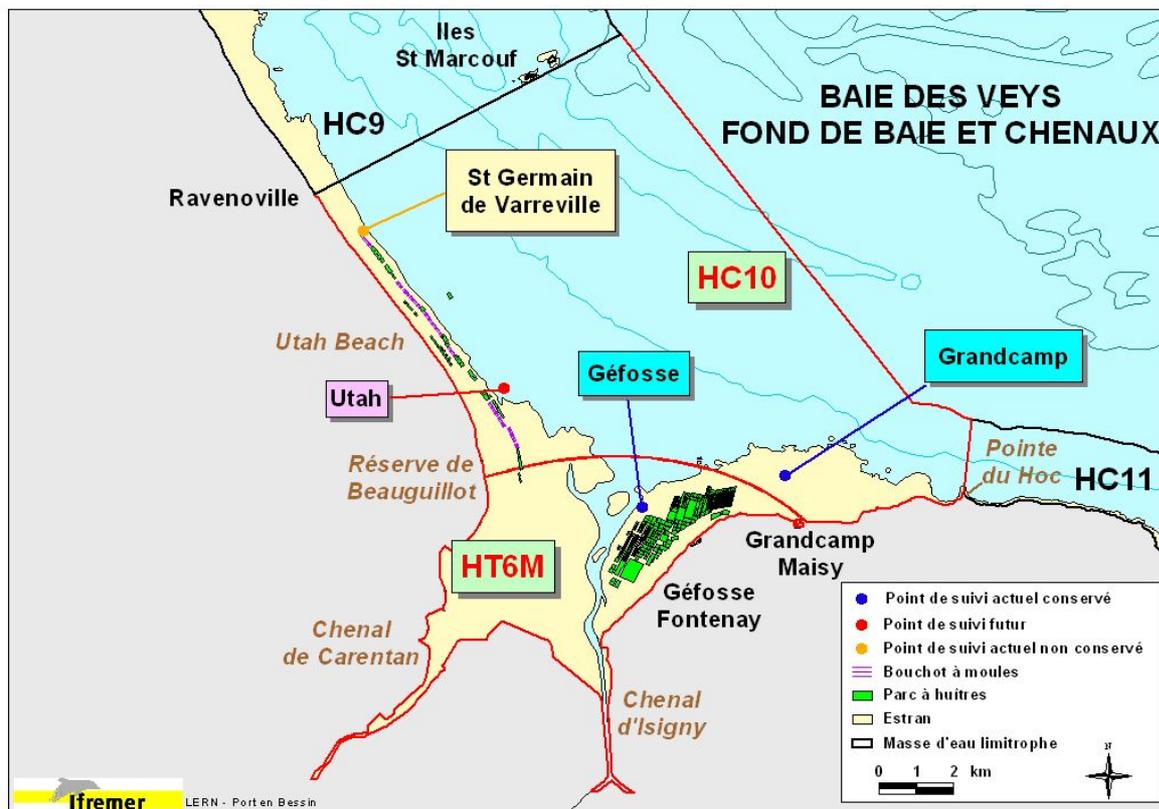
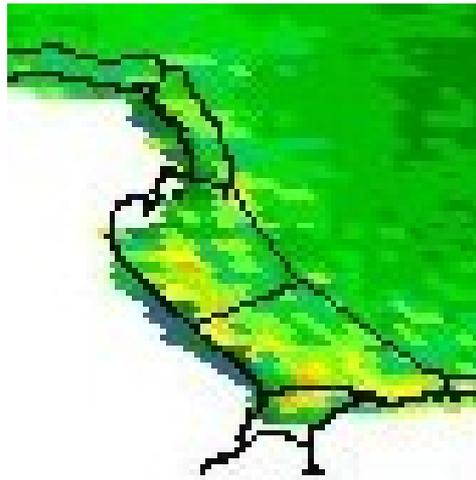


Figure 74 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables des masses d'eau HC10 et HT6M.

Durant les phases préparatoires du RHLN, 2 points ont été suivis au sein de la masse d'eau HC10 (« St Germain de Varreville » et « Grandcamp ») qui sont situés aux extrémités nord ouest et sud est de cette masse d'eau, et un (« Géfosse ») au sein de la masse d'eau HT6M.

La nécessité de disposer de plusieurs points de suivi dans la masse d'eau HC10 est confirmée par nombre d'images satellites (décade 17 page précédente, ou 14 ci après ; Fig. 75) qui mettent en évidence une hétérogénéité spatiale de la biomasse chlorophyllienne. Cette hétérogénéité est renforcée, notamment en HT6M par l'existence d'importants apports via les chenaux de Carentan et d'Isigny qui drainent un bassin versant d'environ 3500 Km².



Décade 14 in mg m⁻³

Figure 75 : biomasse chlorophyllienne moyennée par décade entre 1998 et 2004 au sein des masses d'eau normandes HC10 et HT6M (sud de la côte est Cotentin et baie des Veys) ; décade 14 ; données NASA traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dyneco/F. Gohin.

Les simulations courantologiques mettent bien en évidence une résiduelle de marée dirigée vers le nord ouest, depuis la baie des Veys vers St Vaast la Hougue en longeant la côte est du Cotentin (Fig. 76).

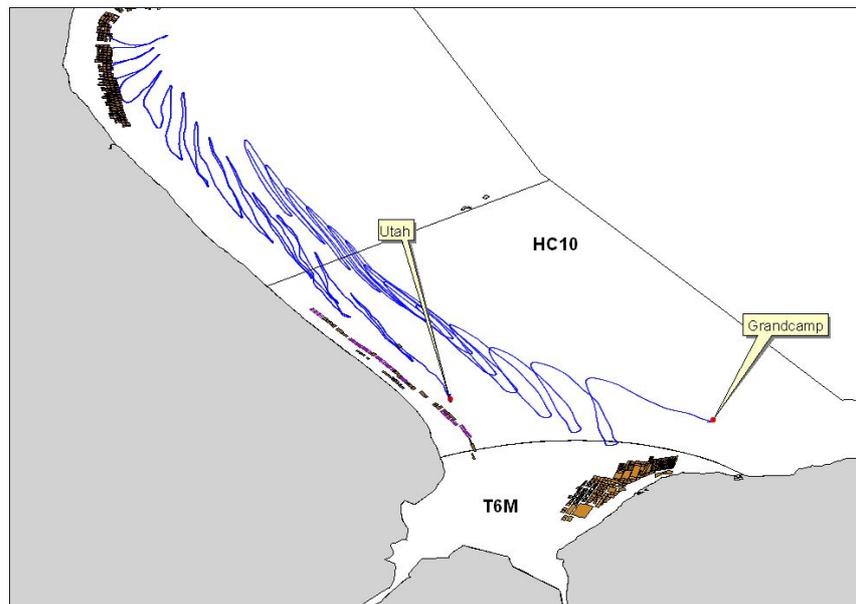


Figure 76 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Le point de « Grandcamp » est parfaitement placé pour suivre la partie est de cette masse d'eau, mais un nouveau point, positionné sur « Utah », dans le sud est du point actuel de « St germain de Varreville » viendrait utilement le remplacer pour couvrir la partie la plus sud est de la masse d'eau HC10.

Le point « Géfosse », suivi depuis 2002 dans le cadre de la phase préparatoire du RHLN, semble également être bien placé pour suivre la qualité de la masse d'eau HT6M : des simulations de trajectoires à partir de ce point (en orange sur la Fig. 77 ci dessous), et d'un point positionné sur le flanc est de la baie (point bleu) ont été réalisés par K Grangeré dans le cadre de son DEA en 2004, avec différents scénarios de vent. Quel que soit le vent testé, la particule lâchée sur le flanc est de la baie (en orange) fini toujours par traverser la baie pour rejoindre la côte est Cotentin, alors qu'une particule lâchée dans l'ouest de la baie peut, en cas de vents de secteur ouest, gagner le large.

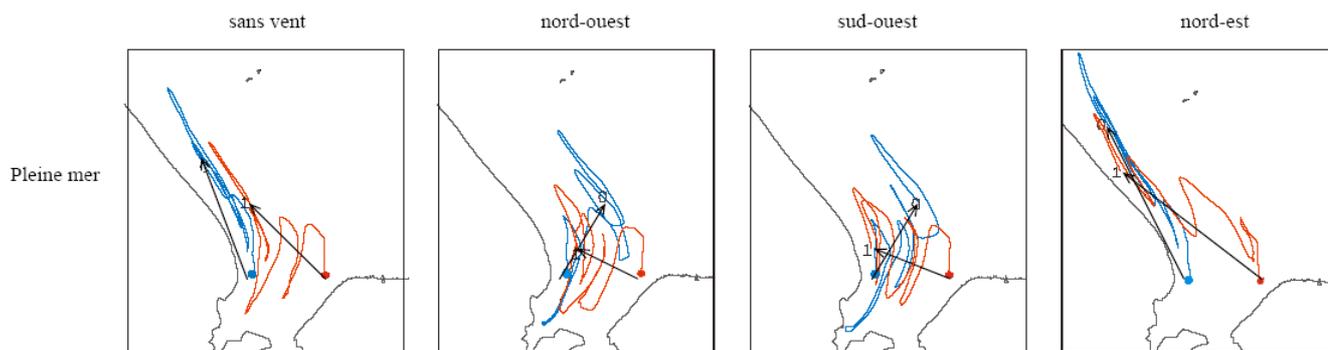


Figure 77 : trajectoires de particules pendant 3 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de 95. La vitesse du vent est soit nulle (première planche), soit de 7ms^{-1} mais de directions variables. La particule lâchée dans l'est de la baie décrit la trajectoire rouge, et celle lâchée dans l'ouest la trajectoire bleue. Les résiduelles figurent en noir. Les dessalures, et donc les courants de densité, ne sont pas pris en compte.

Ces simulations montrent que le positionnement optimal d'un point de suivi se situe bien dans l'est de la baie, et le point Géfosse sera donc retenu pour le RHLN pérenne.

Ces 2 masses d'eau étant classées RNABE, elles devront faire l'objet d'un contrôle opérationnel. Leur période productive débutant décade 8 (Cf. Fig 73 au § 5.3.9.), les 3 points de suivi retenus pour décrire leur qualité feront l'objet de 16 prélèvements annuels.

4.3.11 HC11

Cette longue masse d'eau s'étend de la pointe du Hoc au port d'Arromanches sur 20 milles environ dans le sens ouest/est (Fig. 78 ci dessous). Elle couvre une surface de 65.1 Km^2 , dont 8.6 en zone découvrante. Malgré son étirement en longitude, elle semble ne pas présenter d'hétérogénéité marquée en matière de production phytoplanctonique (Cf. images satellites de l'Annexe 1). Elle est suivie depuis 2004 au niveau du point « Port en Bessin ».

Tout comme dans le nord cotentin (HC5 & HC6), la composante résiduelle des courants de marée est orientée vers l'ouest, avec des courants de marée est/ouest, parallèles à la côte (Fig. 79).

Le positionnement actuel du point de suivi, au centre de la masse d'eau, semble donc judicieux : ce point est bien positionné sur la trajectoire d'une particule venant de l'extrémité est de la masse d'eau, et génère lui même une trajectoire balayant l'ensemble de la partie ouest de la masse d'eau. Il sera donc conservé.

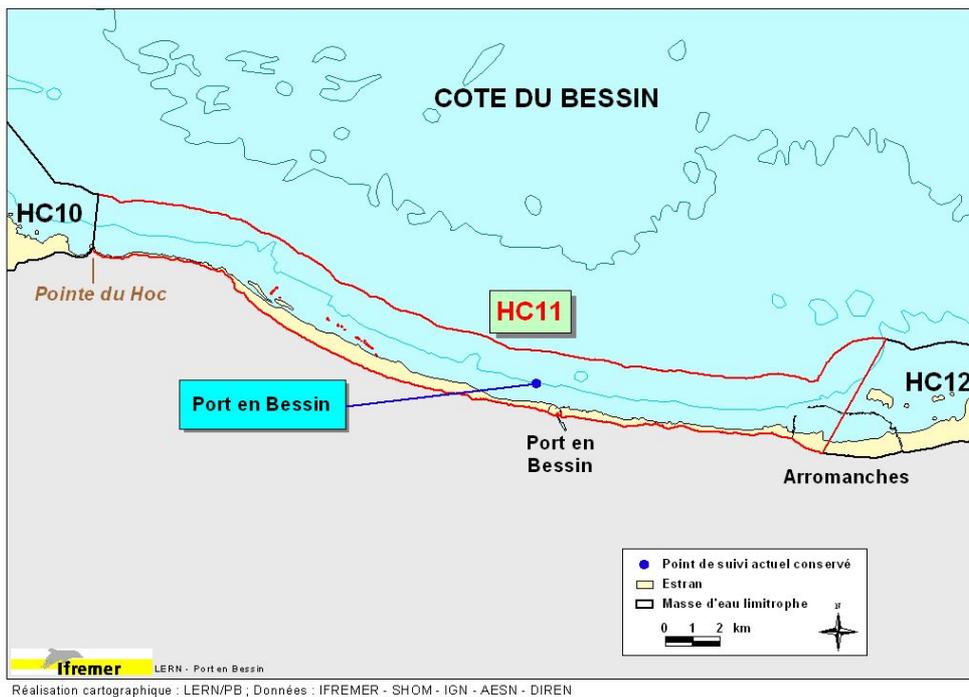


Figure 78 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC11.

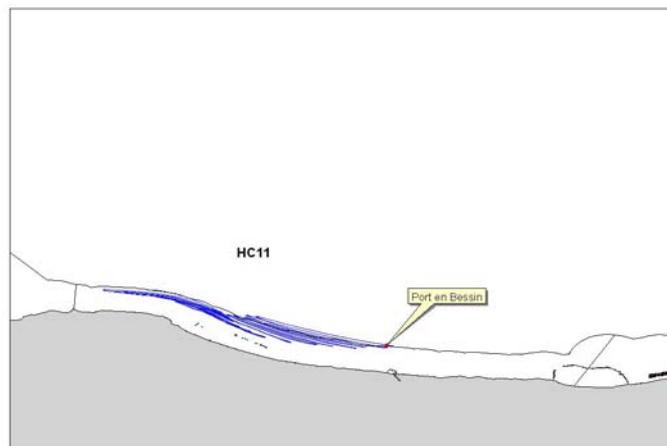


Figure 79 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

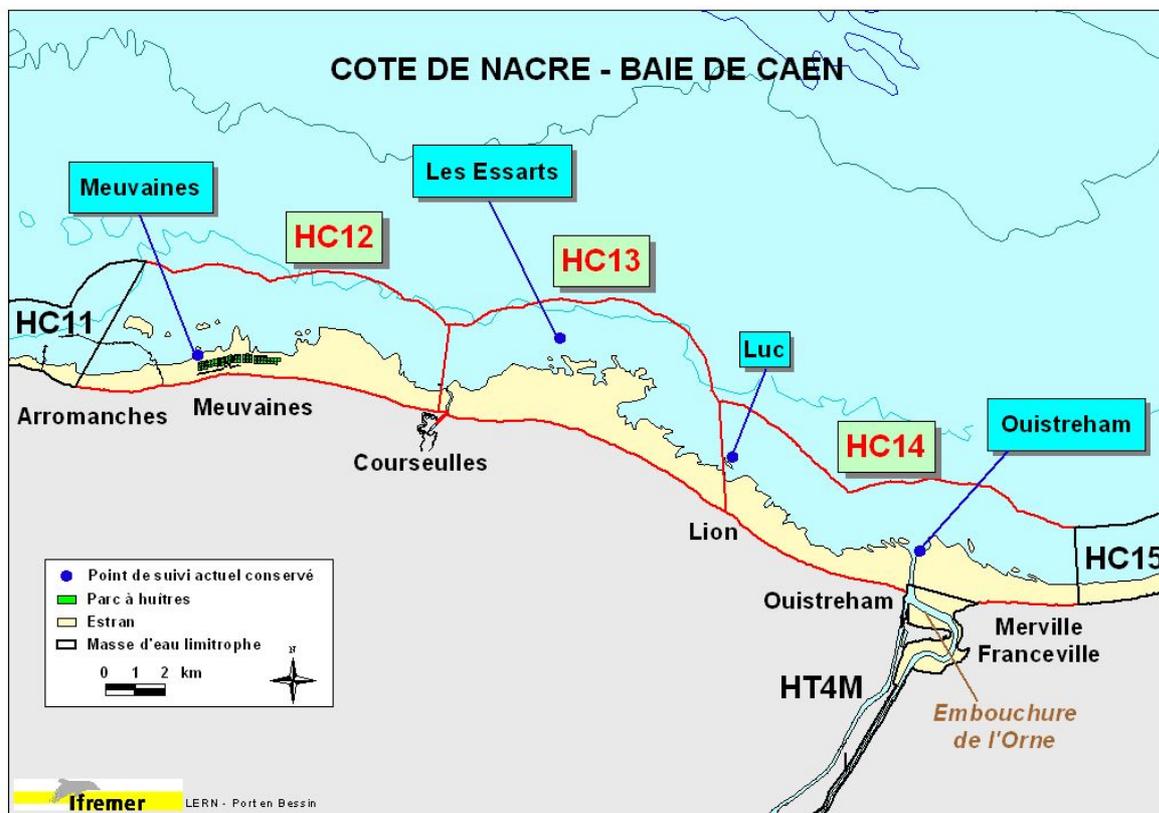
Cette masse d'eau n'est pas classée RNABE. Le point retenu fera donc l'objet de 3 prélèvements annuels.

4.3.12 HC12, HC13 et HC14

Ces trois masses d'eau s'étendent du port d'Arromanches jusqu'à la limite entre les communes de Merville Franceville et Varaville dans l'est de l'embouchure de l'Orne à la mer (canal de Ouistreham). Elles seront ici traitées ensemble car elles constituent un continuum hydrologique.

Leurs superficies respectives sont de 40.2 Km² (dont 12.5 d'estran ; présence de la zone de production d'Asnelles/Meuvaines ; 1400 tonnes d'huîtres par an), 38.4 Km² (dont 14.9 d'estran), et 39.9 Km² (dont 13.5 d'estran).

Le point de suivi actuel de la masse d'eau HC12 se trouve sur « Meuvaines », dans le nord ouest de la zone des parcs. La masse d'eau HC13 est suivie à partir du point « Les Essarts », et la HC14 à partir du point « Ouistreham », positionné à 1 mille au large de l'embouchure de l'Orne. De plus, le RHLN actuel suit également le point de « Luc sur Mer » situé très exactement entre les masses d'eau HC13 et HC14 (Fig. 80).



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

Figure 80 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables des masses d'eau HC12, HC13, et HC14.

Les images satellites (Cf. Fig. 81 de la décade 19 donnée ci dessous à titre d'exemple) confirment le bien fondé d'avoir découpé cette portion du littoral du Calvados en plusieurs masses d'eau : les productions chlorophylliennes moyennes y apparaissent en effet comme forts différentes.

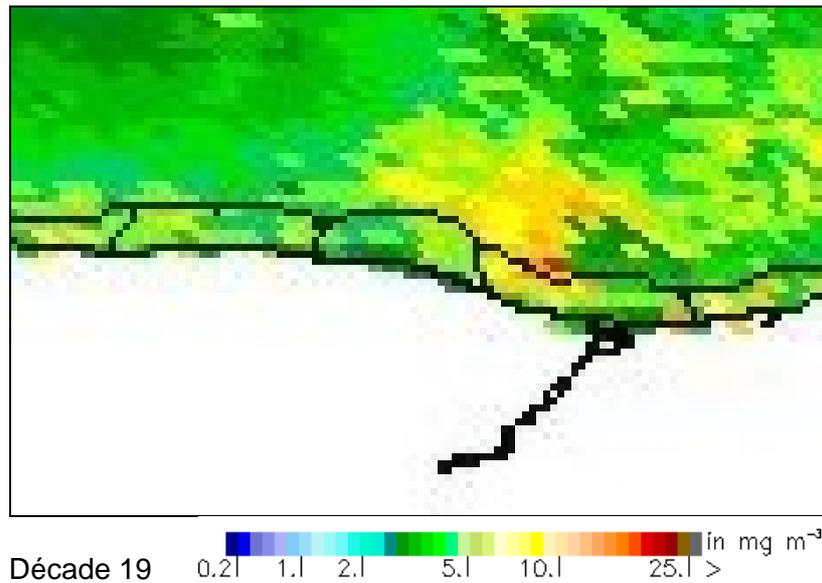


Figure 81 : biomasse chlorophyllienne moyennée par décennie entre 1998 et 2004 au sein des masses d'eau normandes HC12, HC13 et HC14 le long de la partie centrale des côtes du Calvados ; décennie 19 ; données NASA traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dyneco/F. Gohin.

La courantologie, par contre, est tout à fait comparable dans ces 3 masses d'eau (Fig. 82). Les courants de marée génèrent un déplacement rapide des eaux de l'est vers l'ouest jusqu'à atteindre le large immédiat des masses d'eau HC12 et HC11. Ensuite, les résiduelles prennent une direction nord.

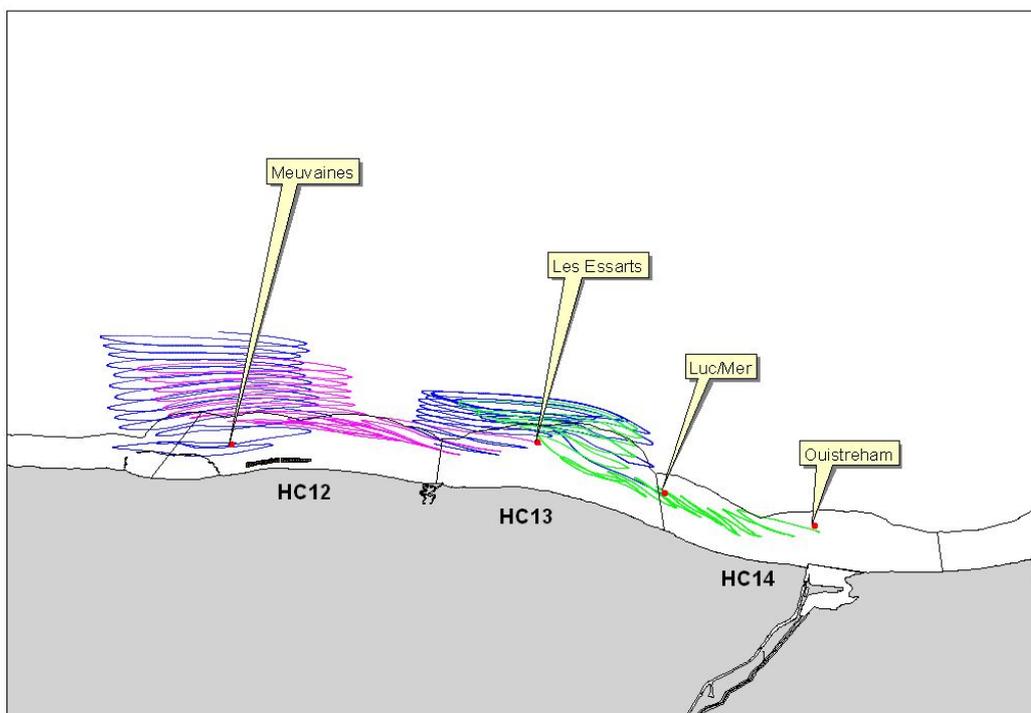


Figure 82 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Les simulations de déplacements de particules montrent que le positionnement des 4 points de suivi actuels permet de bien balayer les 3 masses d'eau, au moins à partir de l'ouest immédiat de la zone de l'estuaire de l'Orne. Nous proposons donc de conserver ces 4 points de suivi.

Ces 3 masses d'eau étant classées RNABE, elles feront l'objet d'un contrôle opérationnel. La période productive débute lors de la 10^{ème} décennie (Cf. Fig. 83 ci dessous), i.e. après le secteur de la baie des Veys, et même celui de la masse d'eau HC15, pourtant située plus à l'est. Les 4 points retenus feront donc l'objet de 15 échantillonnages annuels.

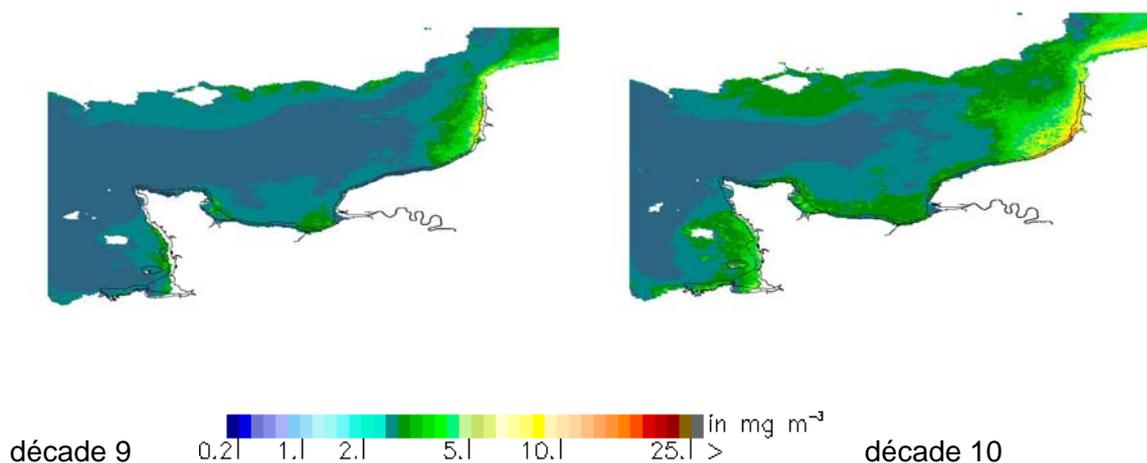


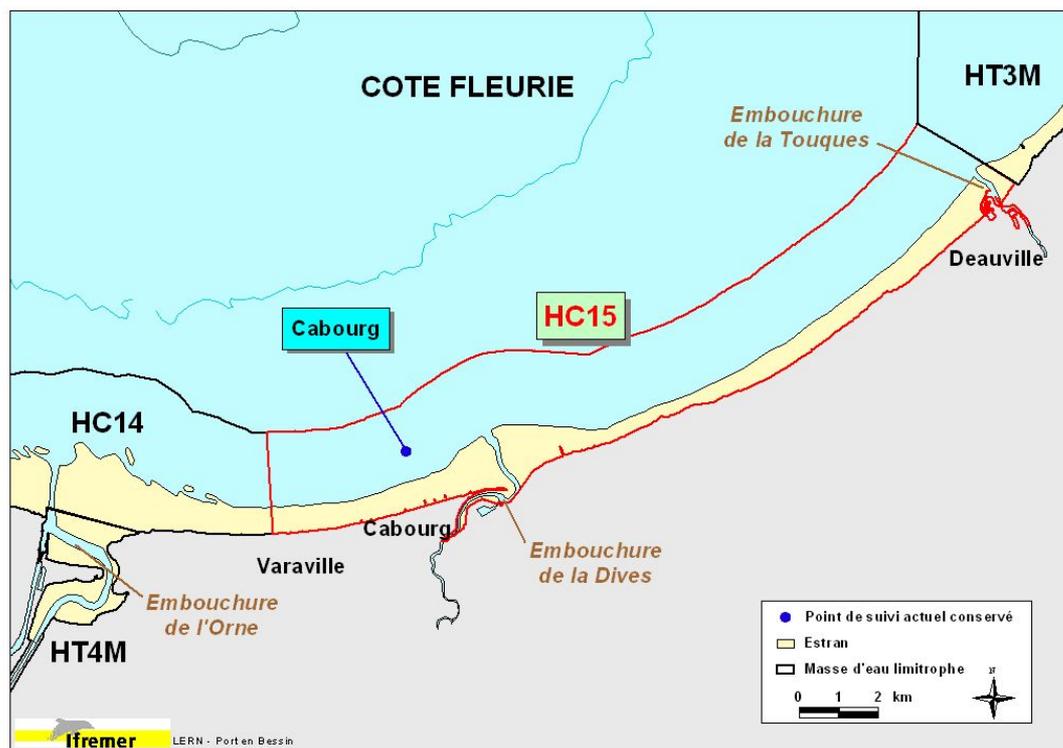
Fig. 83 : mise en évidence du déclenchement de la période productive lors de la 10^{ème} décennie (1^{ère} décennie du mois d'avril) le long de la partie centrale de la côte du Calvados (masses d'eau HC12, HC13 et HC14) au moyen d'images composites moyennes de données de type « couleur de l'eau » permettant d'évaluer les teneurs en chlorophylle a. Données produites par la Nasa sur la période 1998/2004, et traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dynéco/F. Gohin.

4.3.13 HC15

Cette masse d'eau s'étend entre la limite des communes de Merville Franceville et de Varaville dans l'ouest jusqu'à l'est de l'embouchure de la Touques. Elle représente la dernière zone du littoral du Calvados avant l'estuaire de Seine. Sa superficie est de 50.7 Km², dont 14.2 d'estran. Le point de suivi actuel est positionné sur « Cabourg » (Fig. 84).

D'un point de vue courantologique, les simulations réalisées (Fig. 85) montrent bien que l'estuaire de l'Orne constitue une zone de rupture dans la circulation résiduelle de marée. En effet, les trajectoires de particules lâchées à pleine mer sur le point de Cabourg présentent des excursions de marée très courtes, et une résiduelle de faible ampleur dirigée vers le nord ouest.

Le point de Cabourg peut donc être conservé car, bien qu'excentré géographiquement du côté ouest de cette masse d'eau, il se situe bien sur la trajectoire d'une particule qui aurait été lâchée dans l'est, à la frontière avec la masse d'eau HT3.



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

fig.83 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC15

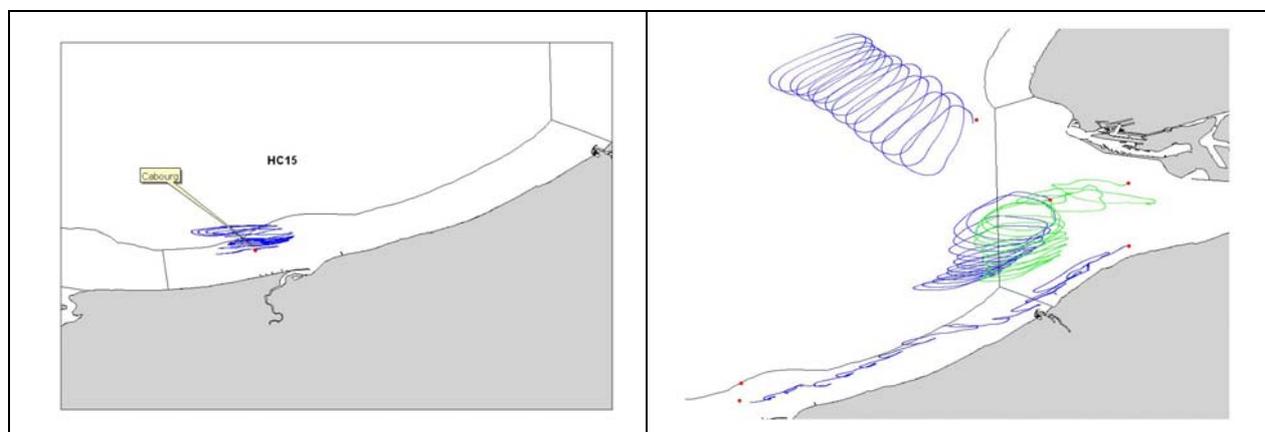


Figure 84 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Les images satellites confirment que cette masse d'eau est avec la HT3M et la HC16 l'une des plus productive des côtes normandes (Annexe 1). Elles montrent aussi que la période productive y débute dès la décade 9, soit fin mars (Fig. 85).

Cette masse d'eau étant classée RNABE, 16 prélèvements par an seront donc nécessaires pour réaliser le contrôle opérationnel dont elle doit faire l'objet.

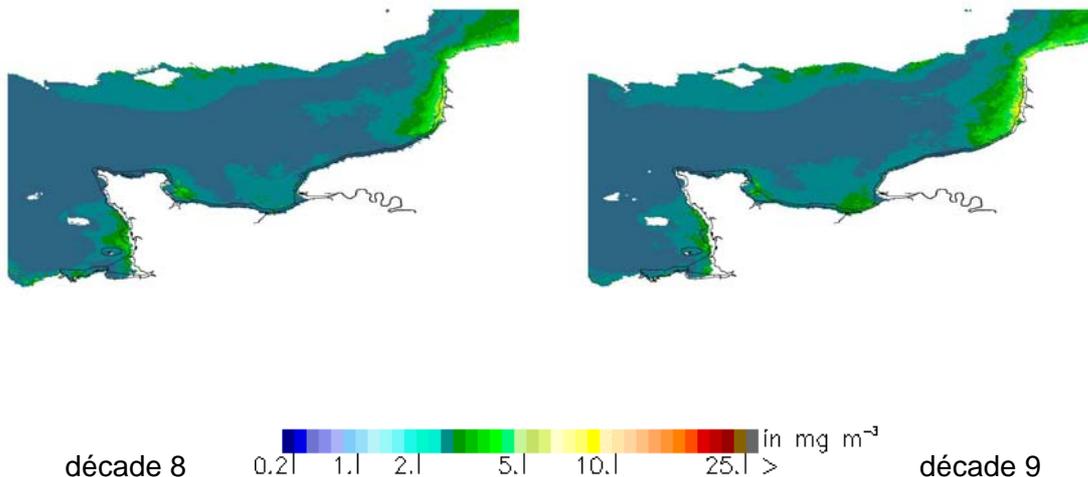


Fig. 85 : mise en évidence du déclenchement de la période productive lors de la 9^{ème} décade (3^{ème} décade du mois de mars) dans la partie orientale de la côte du calvados (masse d'eau HC15) au moyen d'images composites moyennes de données de type « couleur de l'eau » permettant d'évaluer les teneurs en chlorophylle a. Données produites par la Nasa sur la période 1998/2004, et traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dynéco/F. Gohin.

4.3.14 HT1M et HT2M

Ces deux masses d'eau de transition (Fig. 86) ont, entre autres caractéristiques, d'être totalement dessalées. Elles devront donc être prises en compte dans le cadre des suivis eaux douces.

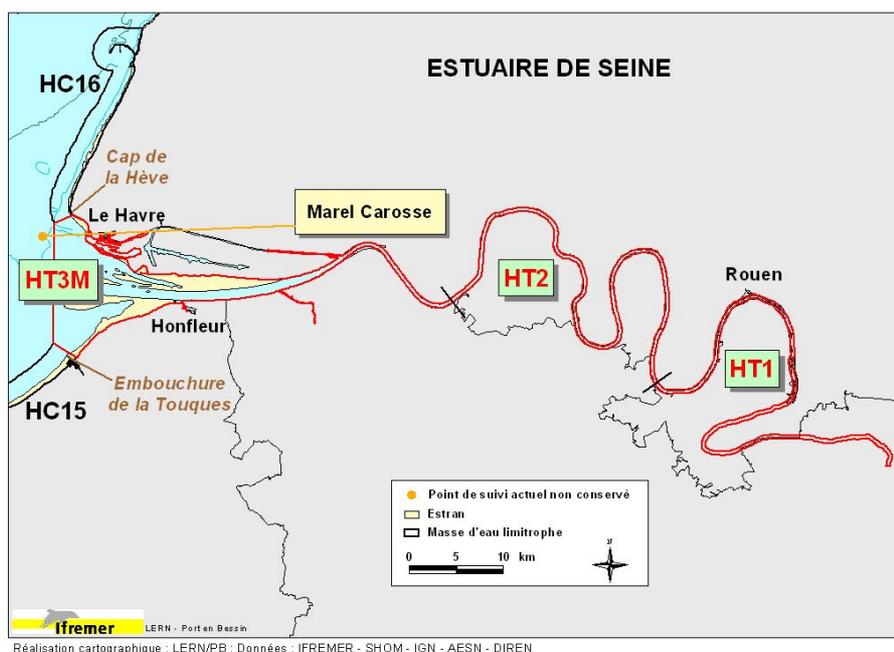


Figure 86 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HT3M.

4.3.15 HT3M

Cette masse d'eau de transition correspond à la partie aval de l'estuaire de Seine (148.3 Km², dont 59.7 Km² d'estran ; Fig. 86). Elle s'étend de l'embouchure de la Touques au cap de la Hève dans le nord du Havre. Elle est suivie jusqu'à présent :

- dans le cadre du RHLN au niveau du point « carosse »,
- par la cellule du Service de Navigation de la Seine (SNS),
- dans le cadre du projet Marel Seine (une bouée Marel sur le point « carosse », et une station à terre à Honfleur),
- et enfin dans le cadre du RNO hydro (radiale selon le gradient de dessalure).

L'idéal serait qu'elle puisse continuer à être suivie par le SNS dans le cadre du RHLN pérenne, au moins en un point positionné dans sa partie centrale.

Cette masse d'eau étant classée RNABE, et sa période productive débutant lors de la 9^{ème} décade (Cf. Fig.85 ci dessus), elle devrait faire l'objet de 16 séries de prélèvement par an.

4.3.16 HC16

Cette masse d'eau s'étend du cap de la Hève jusqu'au cap d'Antifer (56.7 Km², dont 5.2 d'estran ; Fig. 87). L'unique point d'échantillonnage suivi dans le cadre des phases préparatoires du RHLN se situe dans le port d'Antifer, au bout du ponton pétrolier.

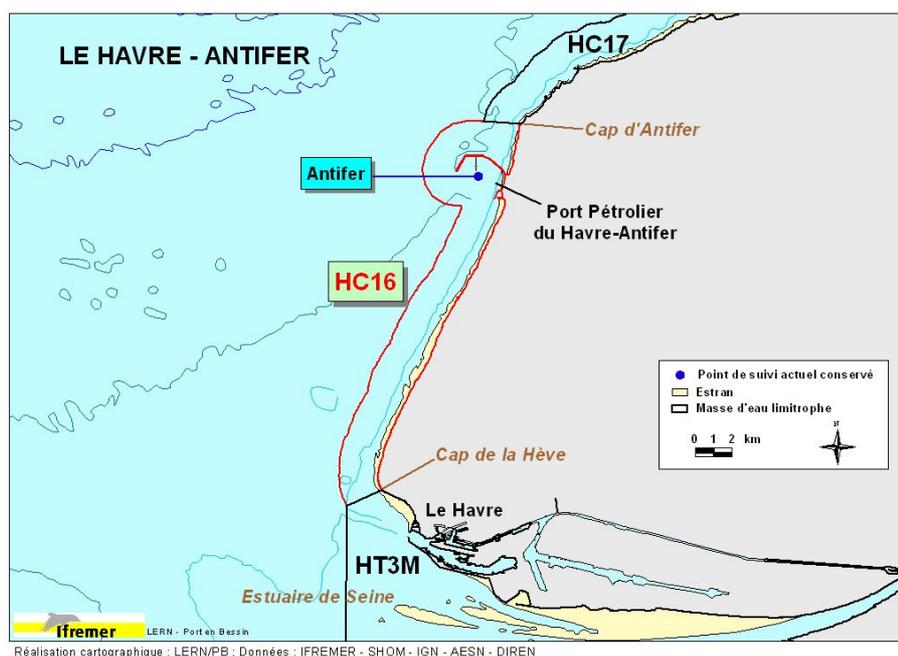


Figure 87 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC16.

Les images satellites de biomasse chlorophyllienne ne permettent pas d'y déceler une hétérogénéité marquée, bien que cette zone soit le siège de dessalures (panache de la Seine) qui sont plus importantes dans sa partie sud que dans sa partie nord (images satellites en Annexe 1).

Les courants résiduels de marée sont dirigés vers le nord. Les masses d'eau en provenance de la partie de la zone de l'embouchure de la Seine remontent le long de la côte jusqu'au port d'Antifer où la grande digue génère un gyre.

La trajectoire d'une particule lâchée à partir du point de suivi actuel présente une allure circulaire, et fini par osciller de part et d'autre de la grande digue en se décalant peu à peu vers l'ouest (Fig. 88 ci dessous) et vers le nord.

On peut donc considérer que ce point est bien placé pour caractériser la qualité de la partie nord de la masse d'eau HC16, car le plus possible en dehors de l'influence directe des apports de la Seine (apports qu'il sera plus judicieux de suivre directement dans les masses d'eau HT1M et HT2M).

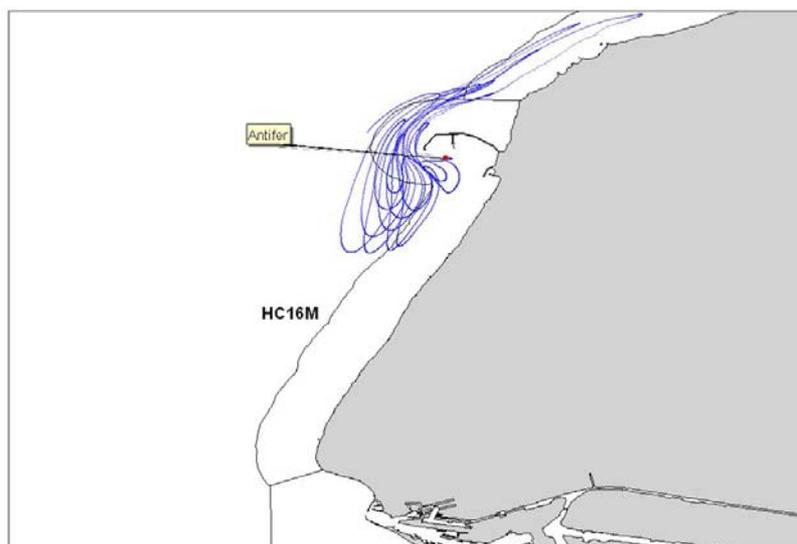


Figure 88 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

Cette masse d'eau étant classée RNABE, et sa période productive débutant décade 10 (Cf. Fig. 89), elle sera échantillonnée à 15 reprises chaque année.

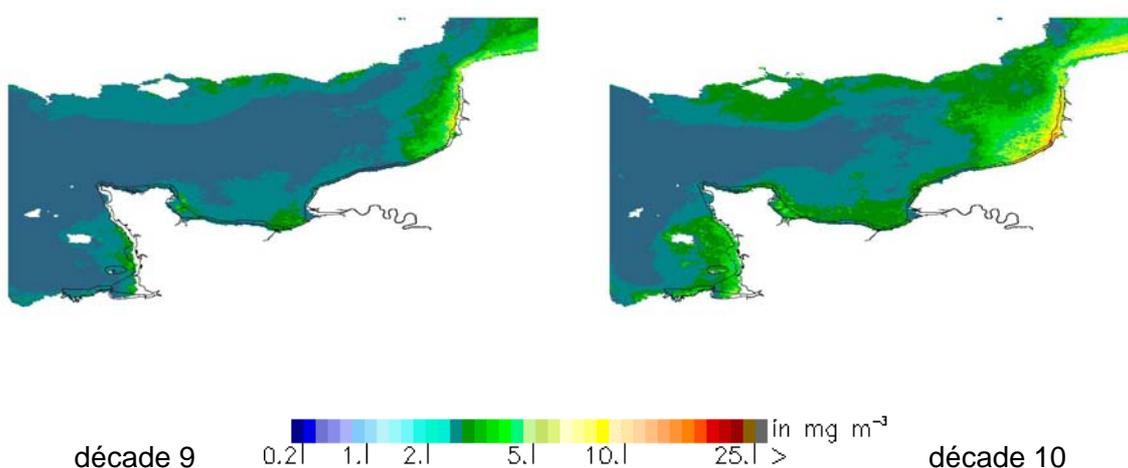


Fig. 89 : mise en évidence du déclenchement de la période productive lors de la 10^{ème} décade (1^{ère} décade du mois d'avril) le long des côtes de Seine Maritime (masses d'eau HC16 et HC17) au moyen d'images composites moyennes de données de type « couleur de l'eau » permettant d'évaluer les teneurs en chlorophylle a. Données produites par la Nasa sur la période 1998/2004, et traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dynéco/F. Gohin.

4.3.17 HC17

Cette masse d'eau est l'une des plus étendue du littoral normand. Elle s'étend du cap d'Antifer jusqu'à St Aubin (Fig. 90), soit sur un peu plus de 30 milles, pour une surface de 133.9 Km² (17.1 Km² d'estran). Actuellement, deux points sont suivis dans cette zone : l'un, dénommé « Paluel référence » l'est dans le cadre du programme IGA (point de référence, i.e. non impacté par le rejet d'eau chaude et chlorée de la centrale électronucléaire de Paluel) et l'autre, « St Aubin », qui est suivi dans le cadre des phases préparatoires du RHLN.

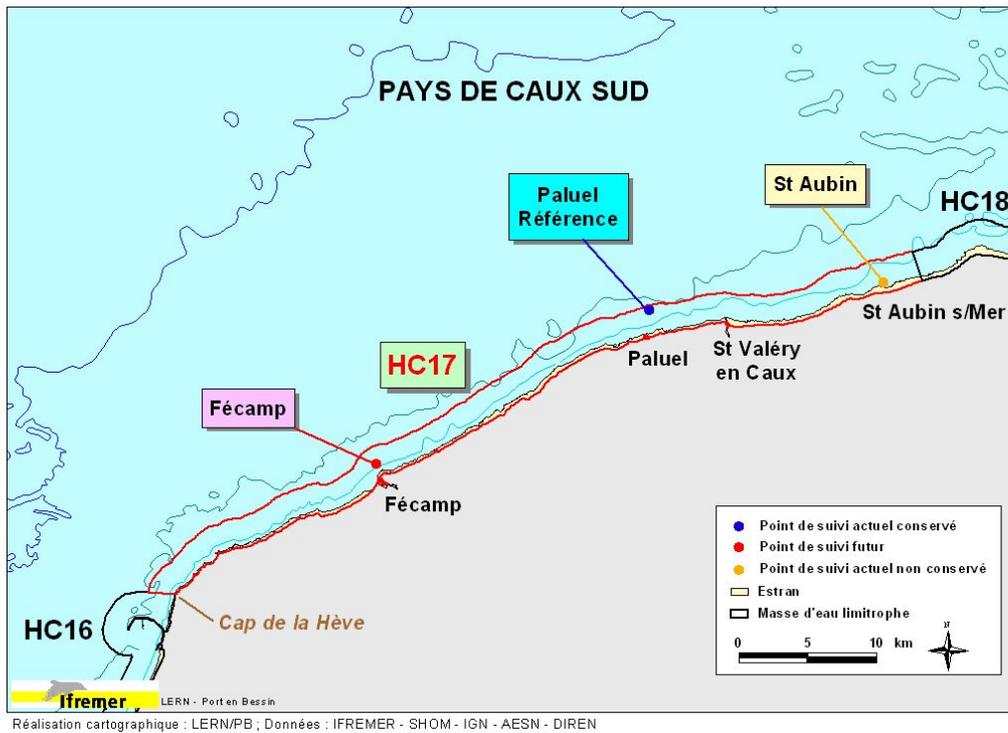


Figure 90 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC17.

Ces deux points sont situés très à l'est de cette masse d'eau qui semble présenter une certaine hétérogénéité au niveau de sa biomasse chlorophyllienne (Cf. valeurs moyennes obtenues sur la décade 15, Fig. 91 ci dessous).

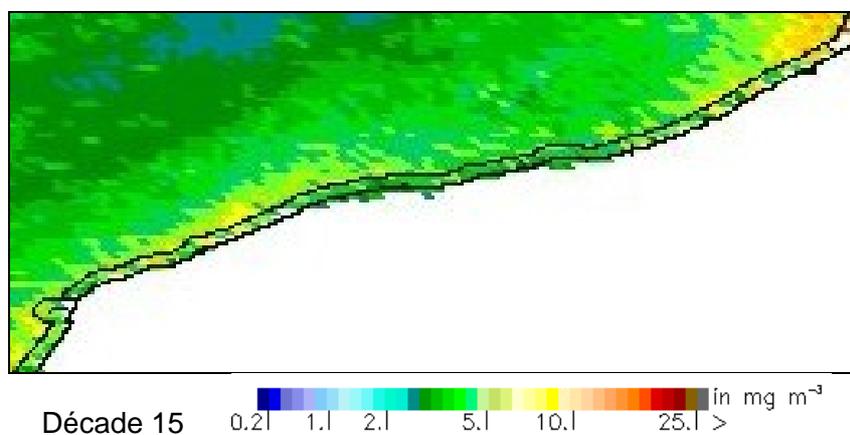


Figure 91 : biomasse chlorophyllienne moyennée par décade entre 1998 et 2004 au sein de la masse d'eau normande HC17 (côte de Seine Maritime) ; données NASA traitées au moyen de l'algorithme OC5 Ifremer Dyneco/F. Gohin.

Le suivi de particules lâchées sur les deux points actuels (Fig. 92) permet de vérifier que :

- le sud de la zone n'est pas couvert par les excursions de ces particules, malgré une résiduelle dirigée vers le sud ouest.
- les deux points actuels font doublons, le suivi d'un seul point étant suffisant pour caractériser la qualité du nord est de cette masse d'eau

Par conséquent, le rajout d'un point positionné sur Fécamp, et l'abandon d'un des deux points du nord est doit être envisagé.

Cette masse d'eau étant classée à risque RNABE, un suivi bimensuel lors de la période productive devrait y être réalisé. Néanmoins, comme seule la partie la plus sud ouest de cette masse d'eau présente ce risque RNABE, contrairement à la partie nord est, nous proposons de réaliser 2 types de suivis différents sur cette masse d'eau : Le point référence Paluel étant suivi 3 fois par an dans le cadre du programme IGA, nous proposons de le retenir. Le nouveau point « Fécamp » sera, lui, suivi à 15 reprises¹³, la période productive débutant lors de la décade 10 comme le montrent les images satellites de la figure 89 (§ 5.3.16.).

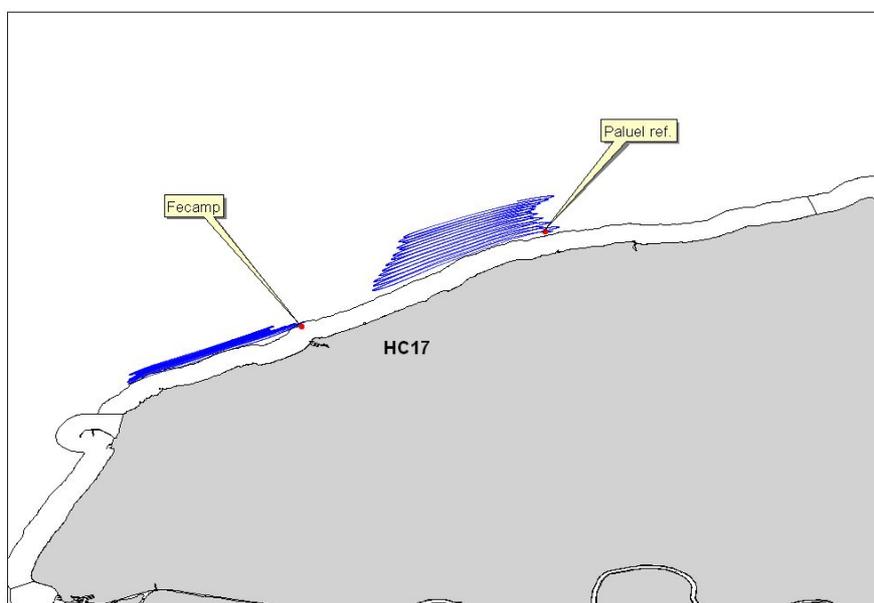


Figure 92 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vives eaux baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

4.3.18 HC18

Cette masse d'eau orientée sud-ouest/nord-est s'étend entre Quiberville et Le Tréport, soit sur 22 milles environ (106.9 Km², dont 19.1 d'estran ; Fig. 93). Deux points y sont actuellement suivis, dans le cadre de la phase préparatoire du RHLN pour l'un (« Dieppe »), et du programme IGA pour l'autre (« Penly référence »).

¹³ nous proposons que ce suivi de type « opérationnel » sur le point Fécamp dure 3 ans (de type contrôle d'enquête). Il sera alors possible d'évaluer si le sud de cette masse d'eau présente effectivement un risque RNABE. En ce cas, le contrôle opérationnel y sera poursuivi (et la masse d'eau sera éventuellement subdivisée en 2 masses d'eau distinctes). En cas contraire, un contrôle de surveillance remplacera ce contrôle opérationnel, et il conviendra de statuer sur l'intérêt de maintenir 2 points de suivi dans cette masse d'eau.

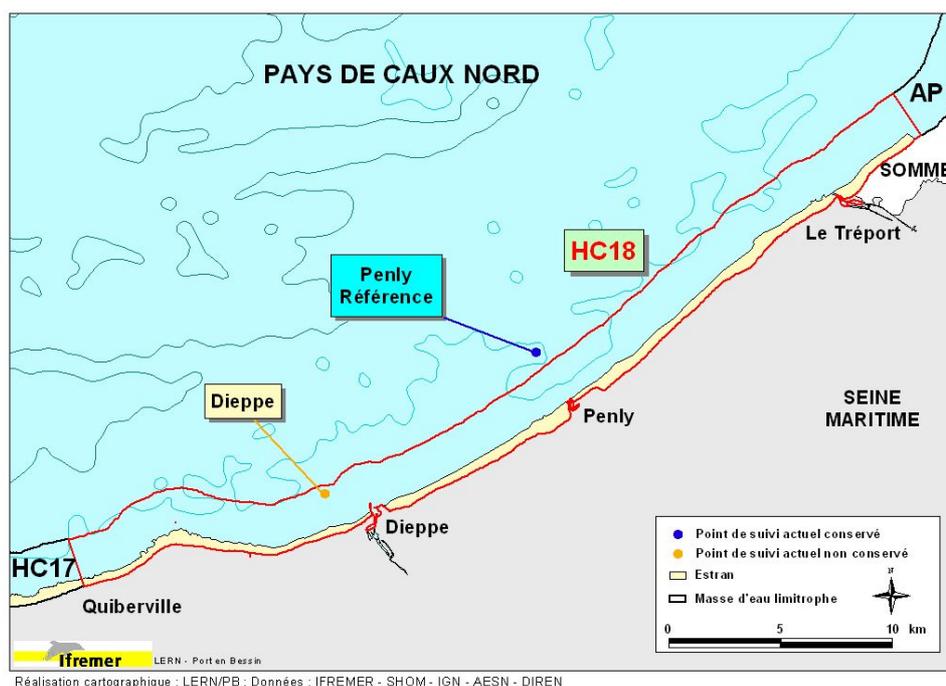


Figure 93 : carte de positionnement des principaux secteurs et points remarquables de la masse d'eau HC18.

Les simulations courantologiques (Fig. 94) montrent qu'un point positionné légèrement à terre du point « Penly référence », situé au milieu de cette zone, en « couvrira » une partie non-négligeable, et suffira pour apprécier la qualité moyenne de cette masse d'eau.

Du fait de l'existence de la centrale de Penly, les données produites dans le cadre du programme IGA pourront être utilisées, et suffiront pour le suivi de cette masse d'eau qui n'est pas classée à risque RNABE.

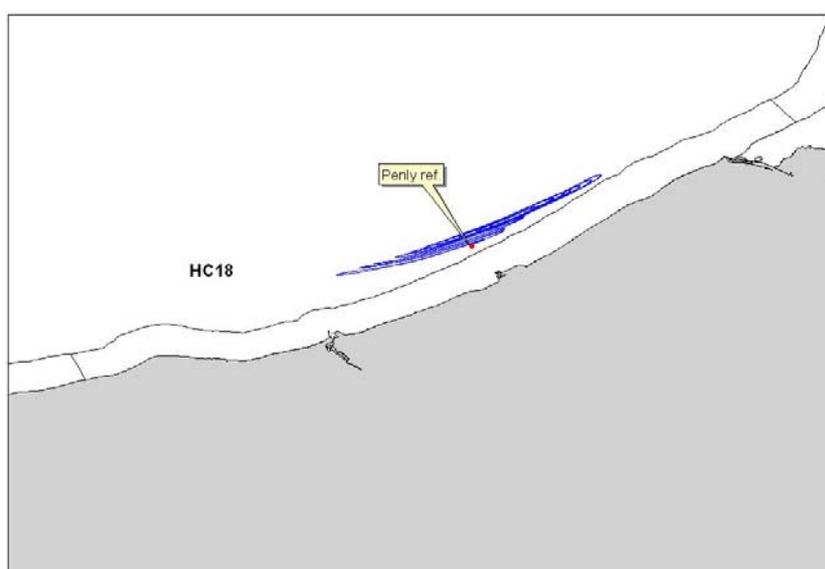


Figure 94 : trajectoires de particules pendant 15 alternances de marée. Les particules sont lâchées à PM par un coefficient de vive eau baissant, et suivies pendant 7 jours jusqu'à la marée de mortes eaux suivante. Ni l'influence du vent, ni les débits des fleuves, et donc les courants de densité, ne sont pris en compte.

4.4 RHLN pérenne : récapitulatifs du positionnement des points de suivi, des fréquences de prélèvement, et du nombre annuel d'analyses.

La figure 95 récapitule l'ensemble des points de suivi retenus pour le RHLN pérenne.

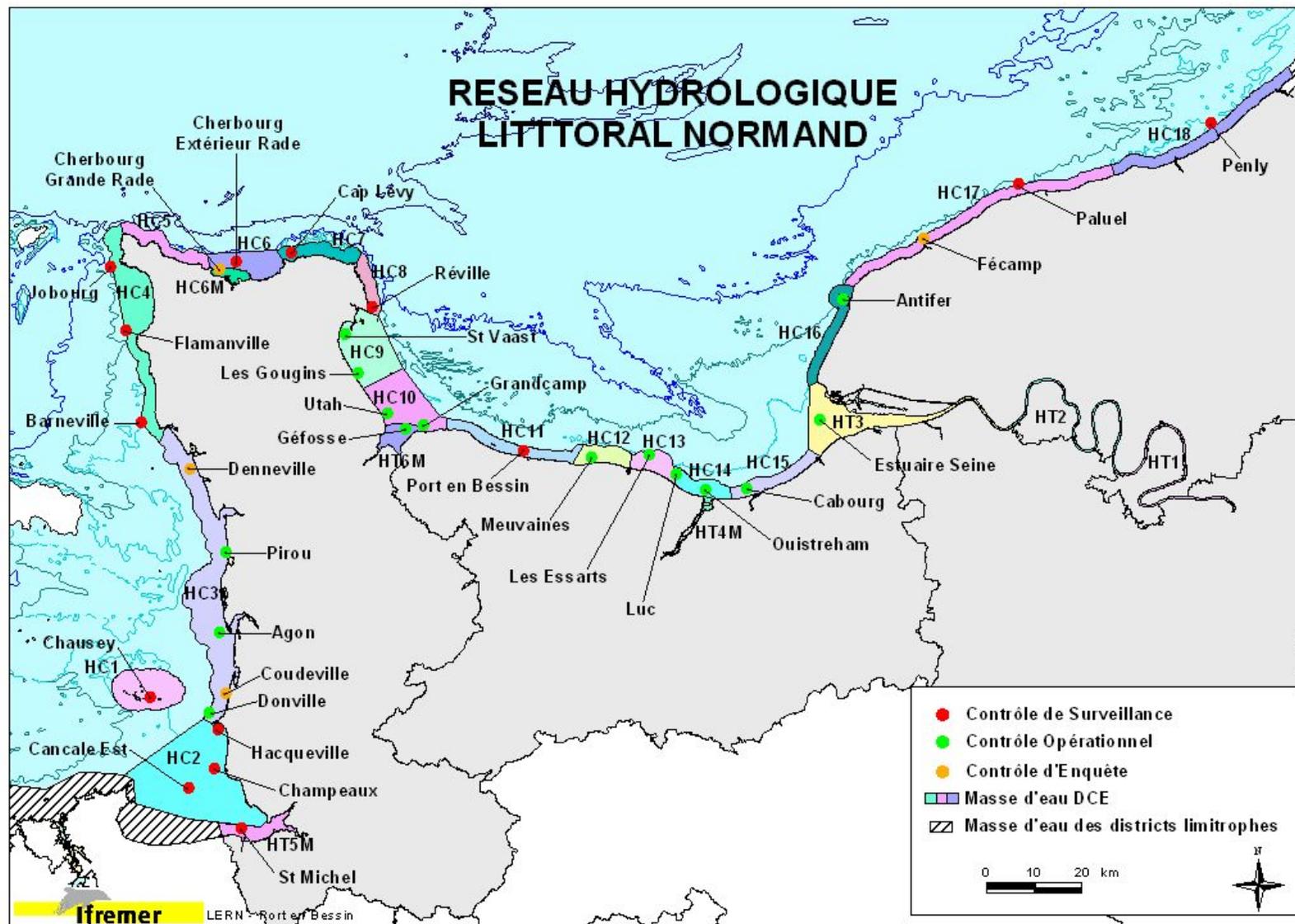
33 points de suivi seront donc échantillonnés, entre 3 et 16 fois par an selon le type de contrôle à développer (sans compter ceux des masses d'eau HT1 et HT2, à suivre dans le cadre du RNB, réseau de suivi des eaux douces).

Tous les points nécessitant un contrôle d'enquête seront échantillonnés avec une fréquence identique à celle exercée dans le cadre d'un contrôle opérationnel (tous les 15 jours entre le début de la période productive, variable selon les masses d'eau, et fin octobre), et ce pendant 3 ans afin d'obtenir un jeu de données suffisant pour statuer sur leur état, et donc sur le suivi à y opérer par la suite.

Ces 33 points de suivi seront échantillonnés dans le cadre de 11 tournées de prélèvement distinctes (Fig. 96 ; sans compter la masse d'eau HT4M de l'estuaire et du canal de l'Orne, ni les HTM1 et HTM2), et donneront lieu à 337 prélèvements annuels.

Les tous premiers prélèvements au sein de chaque masse d'eau sont programmés juste avant le déclenchement des périodes productives. Ils débiteront ainsi dès la première semaine de mars, à la fois dans la partie sud de la côte ouest Cotentin, et le long de la côte est Cotentin ainsi qu'en baie des Veys, qui sont les secteurs où les périodes productives sont les plus précoces en Normandie. *A contrario*, les suivis ne débiteront que lors de la dernière semaine de mars dans la partie centrale du Calvados et le long des côtes de Seine Maritime, et même lors de la seconde semaine d'avril sur la côte nord Cotentin.

Lors du prélèvement, la température, la salinité, et l'oxygène dissous seront mesurés en surface et au fond au moyen de sondes multiparamètres adaptées, et ayant subi les vérifications métrologiques telles que prévues par le protocole hydrologie du laboratoire (Cf. § 1.4. du présent rapport). Les prélèvements d'eau réalisés en sub surface (-1m) permettront de mesurer au laboratoire la turbidité, les teneurs en sels nutritifs (nitrate+ nitrite, ammonium, silicate et phosphate), ainsi qu'en chlorophylle a et en phaeopigments. Ils permettront également de réaliser un dénombrement des principales espèces phytoplanctoniques constituant le peuplement, conformément aux préconisations du groupe d'expertise phytoplancton français. Les flores réalisées seront de type « flores partielles Indicatrices », i.e. reposant sur l'identification et le dénombrement des espèces toxiques (*Alexandrium*, *Dinophysis*, *Pseudonitzschia*...), ainsi que toutes les espèces (Cf. Annexe 3) présentes à des concentrations supérieures à 100 000 cellules par litre.



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

Figure 95 : positionnement, au sein des masses d'eau DCE de Normandie, des points de suivi du RHLN à partir de 2006, et rappel des types de contrôle (de surveillance, opérationnel, ou d'enquête) à y réaliser.

5. CONCLUSION

Les deux conclusions principales du suivi mené lors de cette année 2004 sont :

- une amélioration de la qualité des masses d'eau normande par rapport aux évaluations de 2001, 2002 et 2003
- et, malgré cette amélioration, la confirmation du gradient d'eutrophisation mis en évidence lors des premières phases préparatoires du réseau.

L'application des 4 indicateurs de qualité des masses d'eau aux résultats du RHLN 2004 donne en effet, sur la plupart des points de suivi, un meilleur classement que ceux qui avaient été obtenus jusqu'à présent.

En baie de Seine, ceci s'explique par le fait que sur nombre de masses d'eau (exception faite d'Antifer), les pics de biomasses chlorophyllienne sont inférieurs en 2004 à ceux enregistrés entre 2001 et 2003.

Ce constat découle très vraisemblablement des faibles débits fluviaux enregistrés notamment en fin d'hiver, lors du printemps et au début de l'été (de fin février à fin juillet), c'est-à-dire juste avant et au moment où la production primaire est la plus intense.

Nous ne disposons pas de donnée sur une éventuelle baisse des apports en sels nutritifs liée à cette faiblesse des débits, mais nous pouvons constater que sur nombre de points proches de l'estuaire de Seine, pour la première année depuis le lancement du RHLN, le nitrate a été épuisé entre la fin du printemps et le début de l'été (fin juin/juillet), limitant ainsi la production de biomasse phytoplanctonique. Ceci apparaît nettement à Luc sur Mer (Fig. 23 page 43 ou Fig. 97 page suivante donnée à titre d'exemple), Ouistreham (Fig. 24 page 45), et même Cabourg (Fig. 26 page 49), mais pas sur Antifer (Fig. 28 page 55). Il n'y a pas non plus de recharge des eaux littorales en sel nutritifs en août/septembre 2004, et donc pas de bloom automnal marqué comme ce fut le cas en 2001, 2002, et même 2003.

Il est projeté en 2006 d'utiliser le modèle Elise Baie de Seine afin de mieux cerner les relations qui existent indubitablement entre la pluviométrie annuelle, ou hivernale, ou printanière... et les niveaux trophiques, voire d'eutrophisation.

Il faudra également, au moyen de ce modèle et des données acquises dans le cadre du RHLN 2004, essayer d'aborder la problématique du développement du *Pseudonitzschia* qui, fin août/début septembre, a généré une toxicité ASP (Amnesic Shellfish Poisoning) dans les coquilles St Jacques du large de la baie de Seine, mais pas dans les coquillages de l'intérieur des masses d'eau DCE qui sont très côtières.

Le deuxième constat est que, bien que permettant de conclure à de « meilleurs résultats » que les années précédentes, le suivi 2004 fait néanmoins parfaitement ressortir le gradient d'eutrophisation déjà mis en évidence : la zone de l'estuaire de Seine (de Cabourg à Antifer) présente pour plusieurs indicateurs un état médiocre, voire même mauvais selon les années, y compris 2004. Au contraire, les côtes ouest, nord et est du Cotentin, ainsi que celles du nord est de la Seine Maritime, présentent, au pire, des indicateurs classés « bon état » (Fig. 43a et b pages 69 et 70). Les côtes du Calvados, depuis la baie des Veys jusqu'à Ouistreham, sont dans un état intermédiaire, leurs indicateurs étant classés du bleu (très bon état) jusqu'à l'orange (état médiocre).

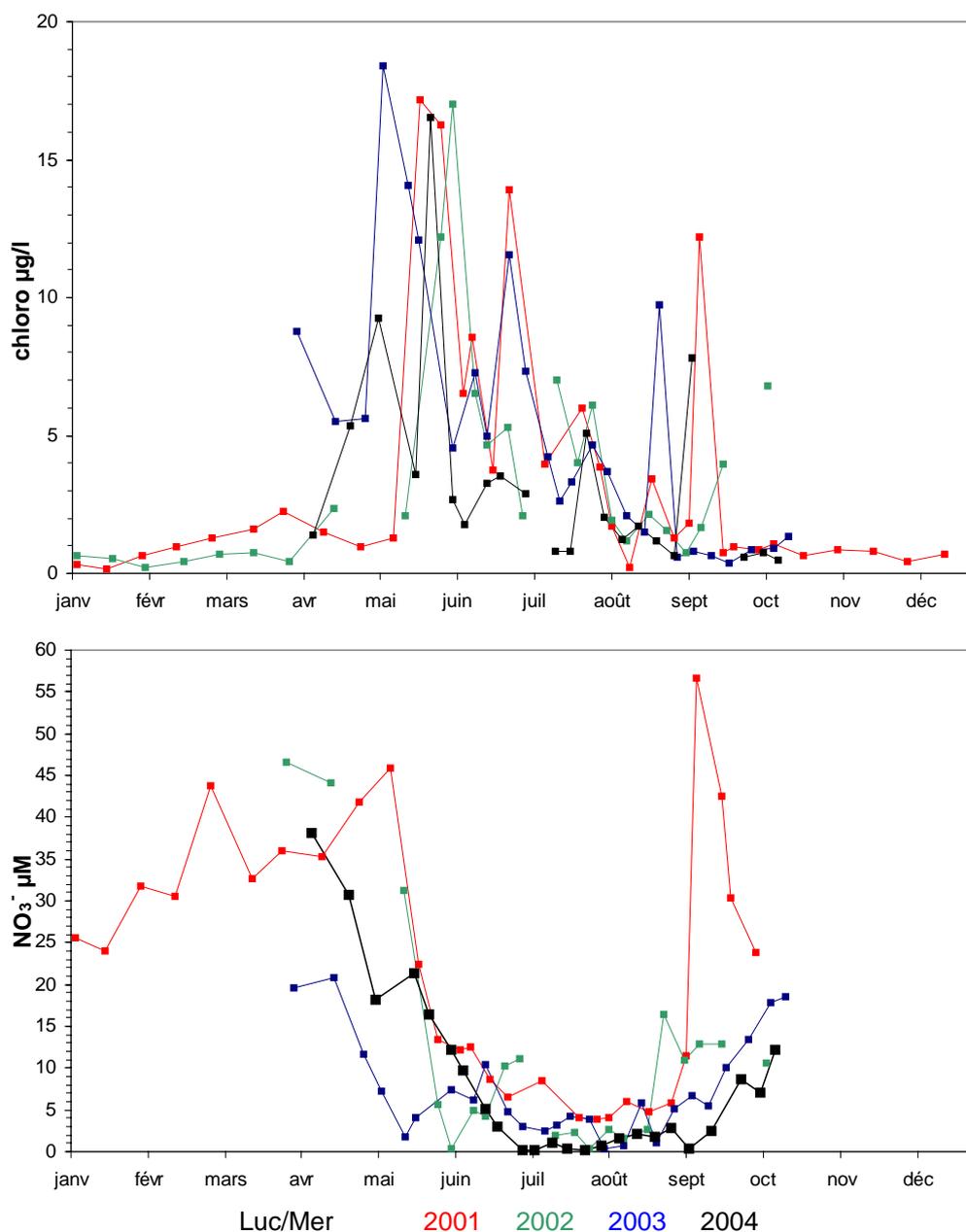


Figure 97 : évolution des biomasses chlorophylliennes et des teneurs en nitrate au point Luc sur Mer au cours des périodes productives de 2001, 2002, 2003 et 2004. Mise en évidence de la faible production 2004, et des faibles teneurs en nitrate lors du mois de juillet par rapport aux années précédentes.

En ce qui concerne la définition du RHLN pérenne, second objectif de l'année 2004, une étude de l'homogénéité des masses d'eau et une recherche des points de suivi les plus représentatifs au sein de chaque masse d'eau a été menée. L'utilisation d'images satellites et de modélisations 2D ont permis de définir le format d'un réseau permettant de poursuivre le double objectif assigné au RHLN, à savoir :

- répondre aux exigences de la DCE en matière de suivi du phytoplancton et des paramètres associés,
- mais aussi de bien suivre les niveaux trophiques des eaux littorales normandes, fragiles du fait de l'importance des apports nutritifs de la seine et autres fleuves régionaux, et ayant entraîné le classement de l'ensemble du bassin versant de la baie de Seine en zone vulnérable dans la cadre de la Directive Nitrates.

Le réseau optimal reposerait sur le suivi de 20 des 21 masses d'eau normandes au moyen de 33 points d'échantillonnage. 10 de ces masses d'eau présentant le « Risque de Non Atteinte du Bon Etat écologique » (RNABE) du point de vue du phytoplancton et des paramètres associés, les 15 points retenus pour les suivre devront faire l'objet d'un « contrôle opérationnel ». Ce contrôle opérationnel repose sur la réalisation d'un échantillonnage tous les 15 jours durant la période productive (dont la date de déclenchement a été évaluée dans le cadre du présent rapport masse d'eau par masse d'eau au moyen d'images satellites moyennées par décade sur les 7 dernières années). Un prélèvement supplémentaire sera également réalisé, juste avant le premier bloom printanier de façon à évaluer les niveaux des stocks hivernaux en sels nutritifs.

Trois masses d'eau sur lesquelles nos connaissances sont encore trop parcellaires feront l'objet d'un « contrôle d'enquête ». Ce contrôle d'enquête sera en tout point comparable au contrôle opérationnel, mais ne sera mené que pendant 3 années, de façon à acquérir suffisamment de données pour statuer sur la qualité des points en question, et sur la réalité du risque RNABE les concernant. Selon les conclusions qui seront apportées en 2008, ces points seront suivis au moyen d'un contrôle minimal, dit « de surveillance », ou, au contraire, continueront à faire l'objet d'un contrôle opérationnel.

Le contrôle de surveillance reposera sur 3 prélèvements annuels, le premier réalisé fin février/début mars, le second en juin (au plus fort de la période productive), et le troisième en septembre.

Cette étude 2004 a aussi confirmé la forte variabilité inter annuelle de la qualité des masses d'eau, et donc démontré qu'il ne sera pas possible de se contenter d'une seule année de suivi par plan de 6 ans, un suivi annuel s'avérant indispensable.

Bibliographie

- Aminot A., Chaussepied M., (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, BNDO/Documentation Brest, 395pp.
- 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.
- Cugier P., Billen G., Guillaud J.F., Garnier J., Ménesguen A., (2005). Modelling the eutrophication of Seine Bight (France) under historical, present and future riverine nutrients loading. *Journal of hydrology*, 304 (2005). P 381-396
- 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.
- Gohin F., Druon J-N., Lampert L. (2001). A five channel chlorophyll concentrations algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *Intern. J. of Remote Sensing* 23, 1639–1661.
- Gohin F, Lampert L, Guillaud J-F, Herbland A, Nézan E. (2003). Satellite and "in situ" observations of a late winter phytoplankton bloom in the Northern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research* 23 : 1117-1141.
- Grangeré K., 2004. Simulation de l'influence des apports des bassins versants sur les concessions ostréicoles de la baie des Veys. DEA Socrates/Erasmus Univ. Liège. 45p.
- Guillaud J.F., Ménesguen A., 1998. Modélisation sur vingt ans (1976-1995) de la production phytoplanctonique en baie de Seine (France). *Oceanol. Acta*, 21(6), 887-906.
- 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, Université de Bretagne Occidentale. 328 pp.

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

SMEL/Hydronor (2004). Suivi hydrologique de la côte Ouest et de la côte Est du Cotentin – Résultats 2003. Rapport SMEL/Conseil général 50 n°2004-01.

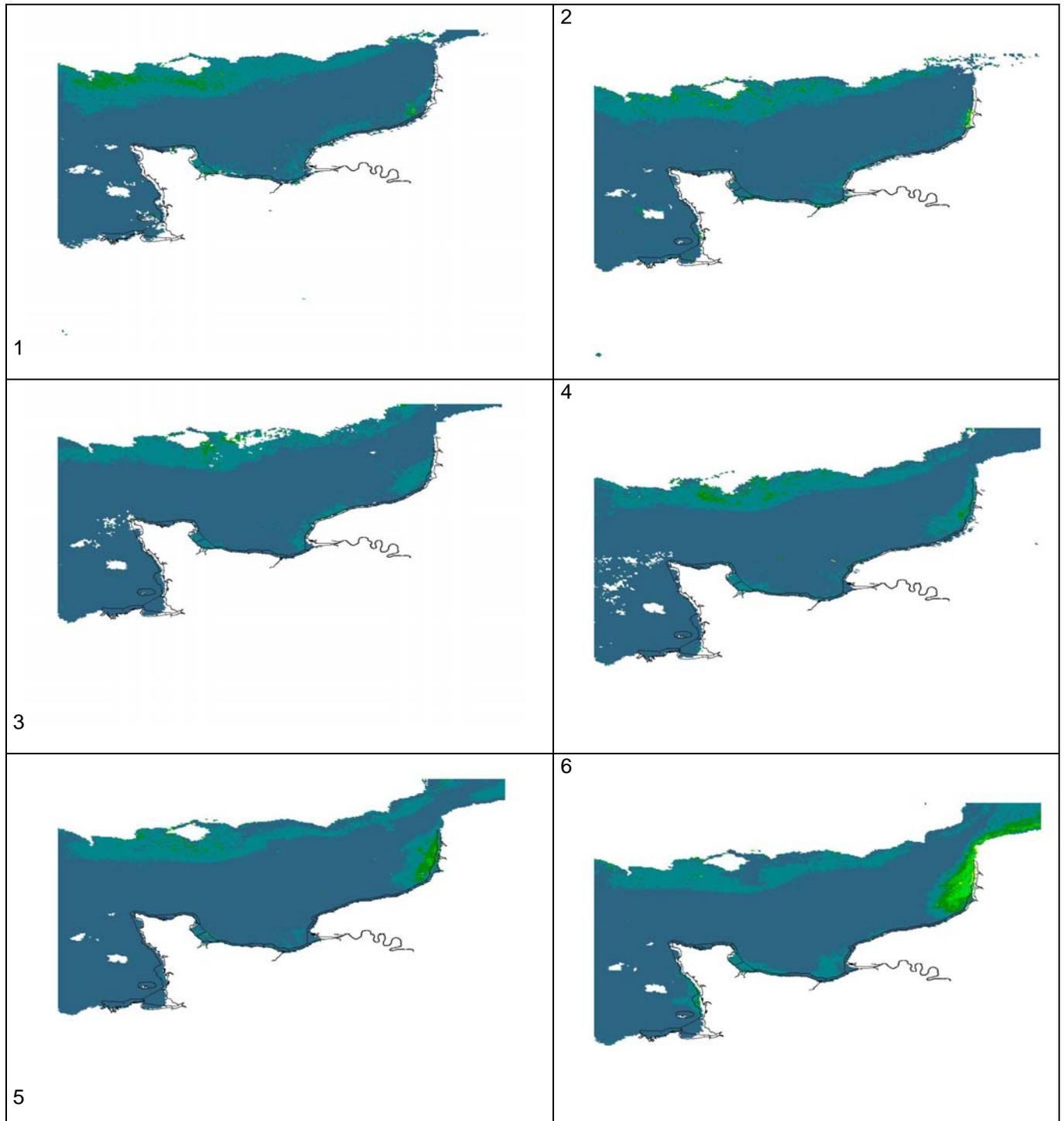
Tréguer P., Le Corre P., (1975). Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'autoanalyseur II Technicon, 2^{ème} édition. Université de Bretagne Occidentale, Brest, 110 p.

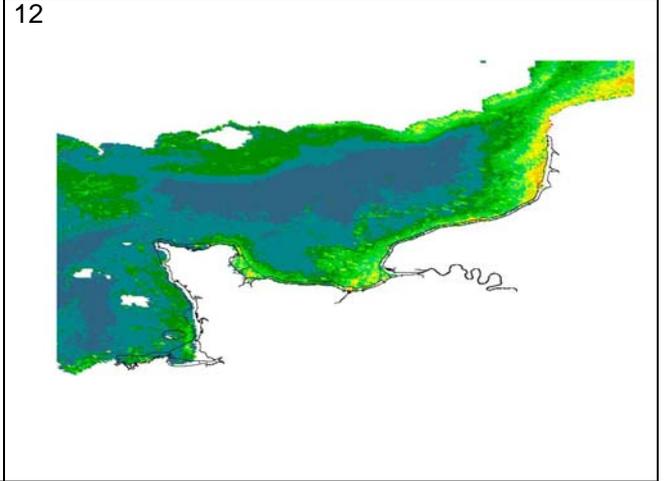
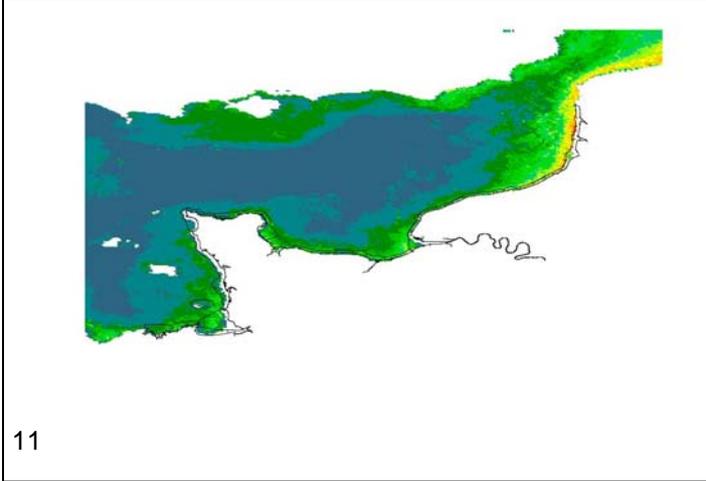
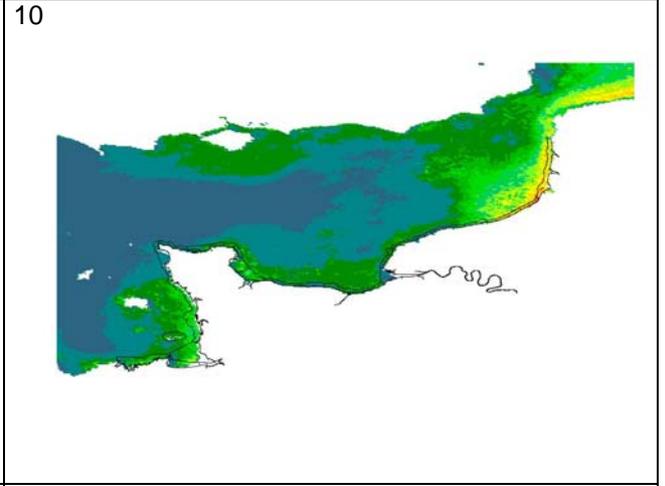
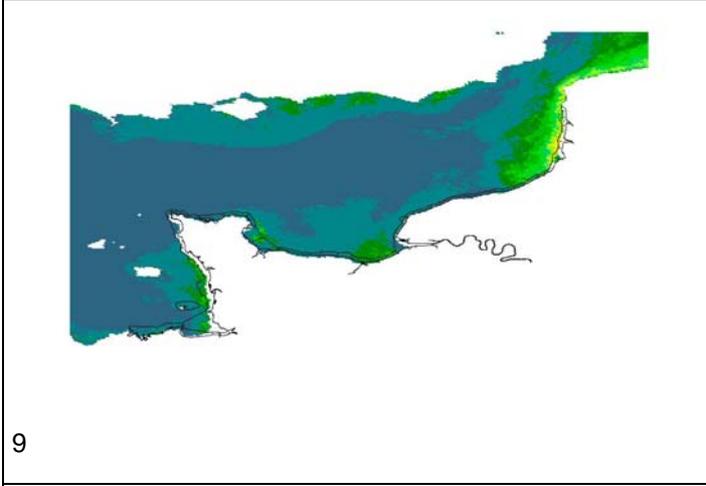
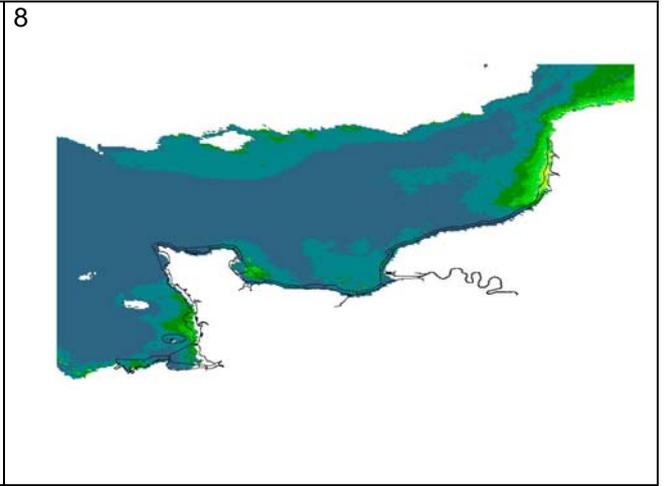
Utermöhl H., (1958). Zur vervollkommung der quantativen phytoplankton methodik. *Int. Ver. Theoret. Angew. Limnol.*, 9, 1-38.

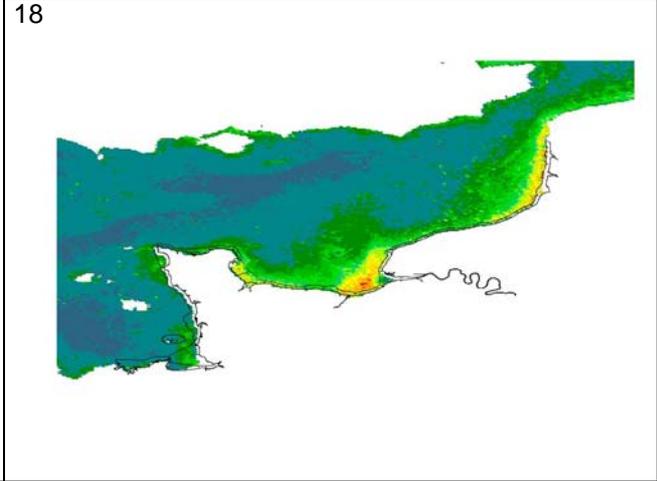
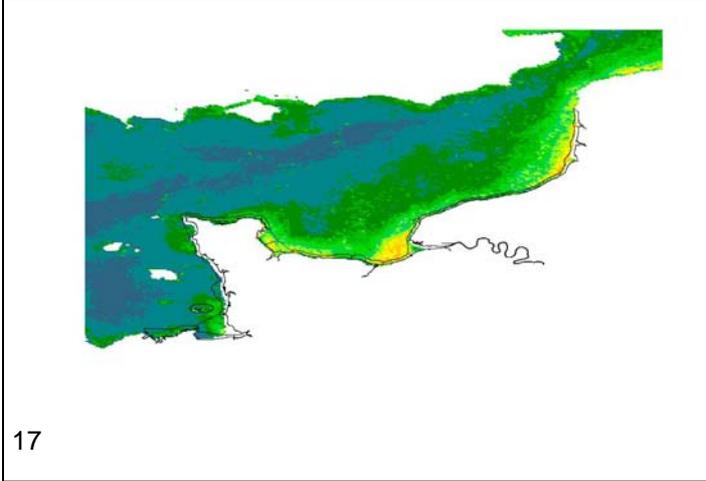
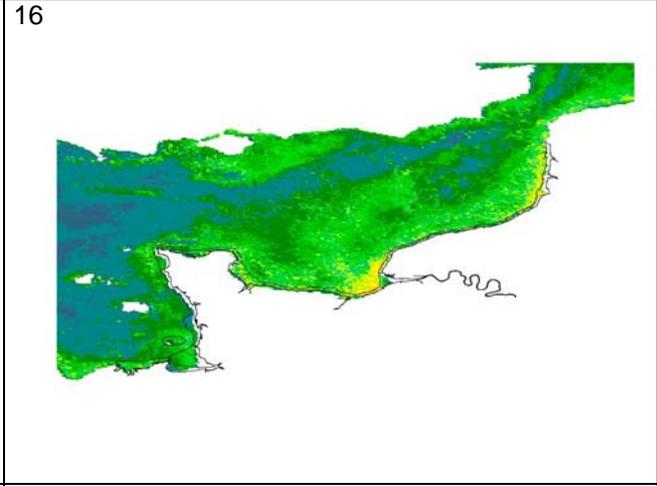
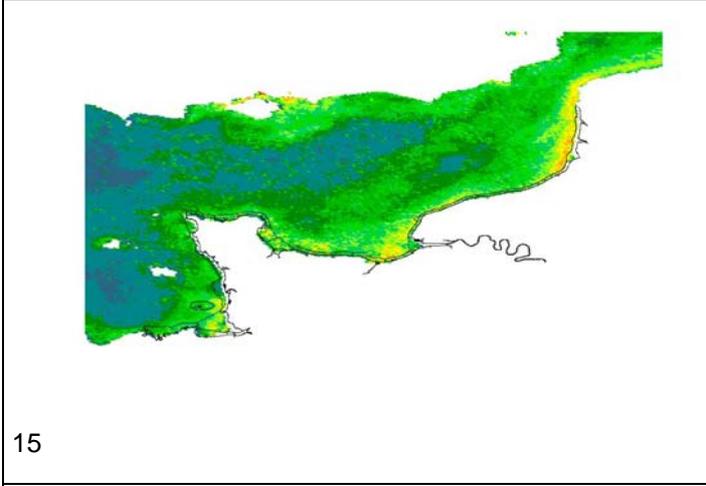
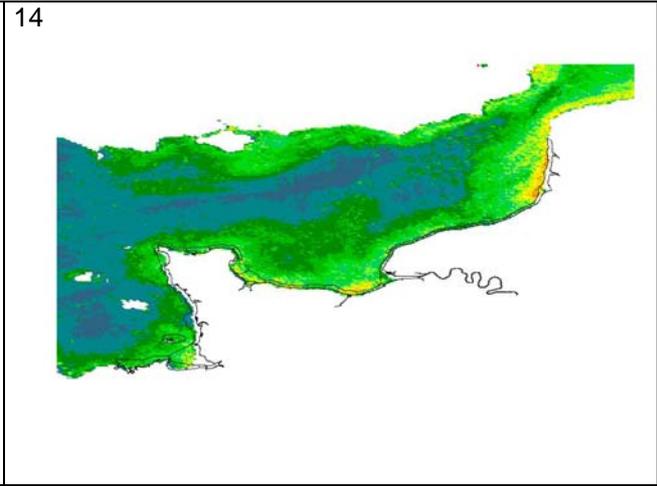
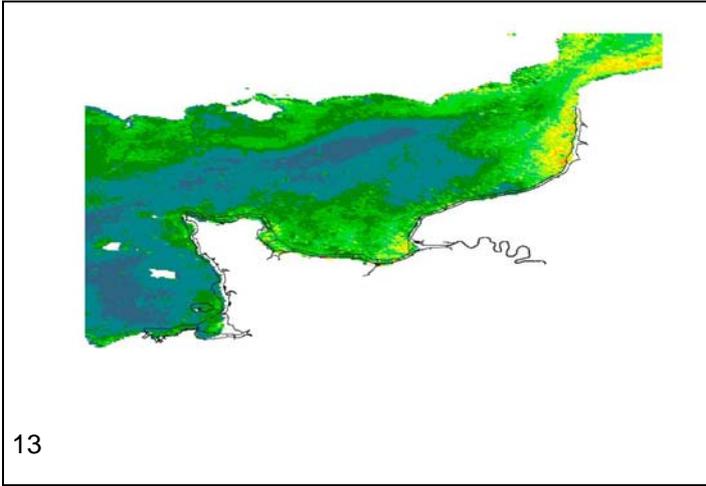
Annexes

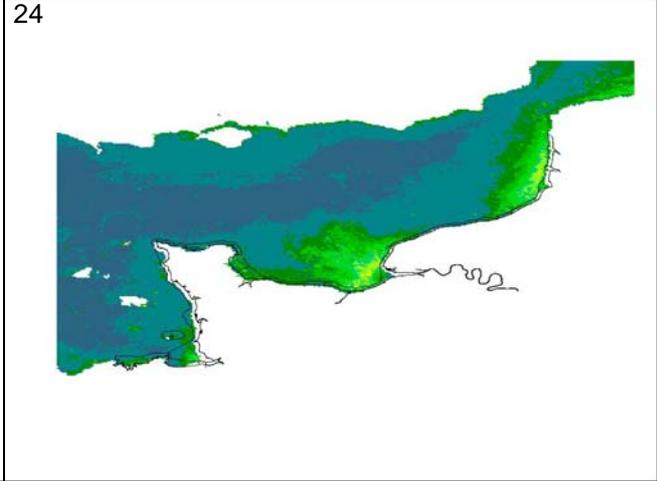
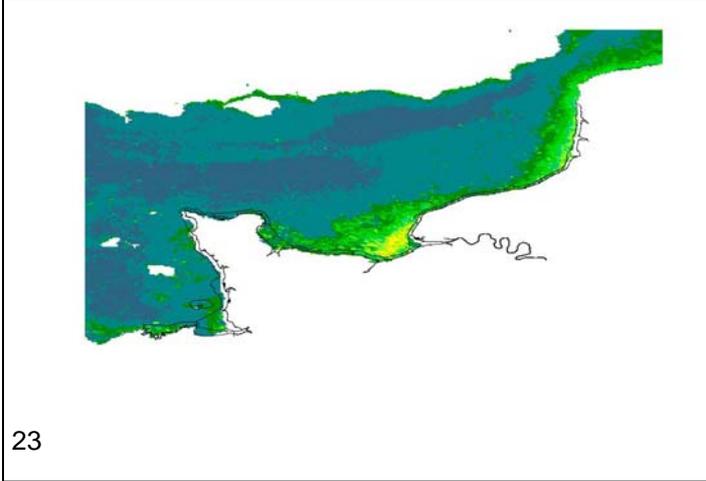
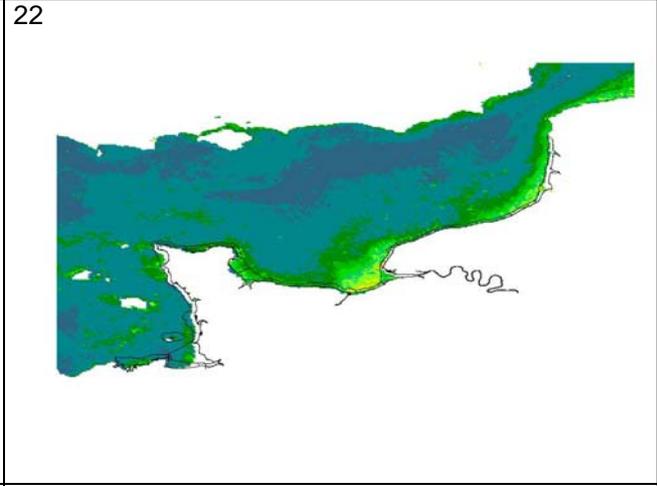
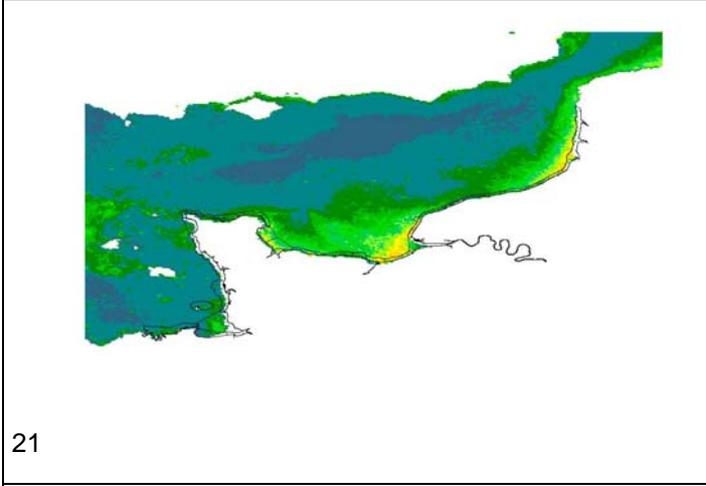
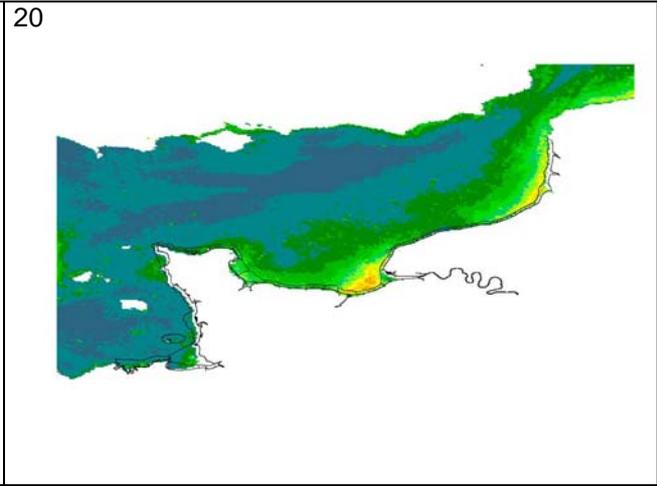
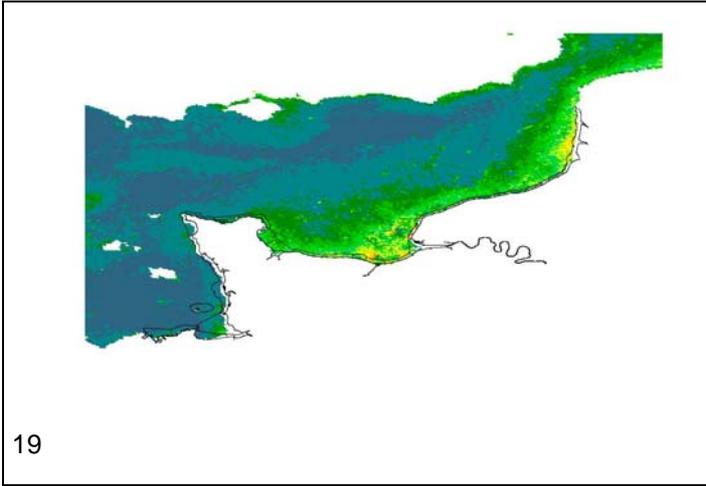
Annexe 1: représentation par décade des teneurs moyennes en chlorophylle a mesurées par le satellite SeaWifs sur la période 1998/2005 en Normandie.

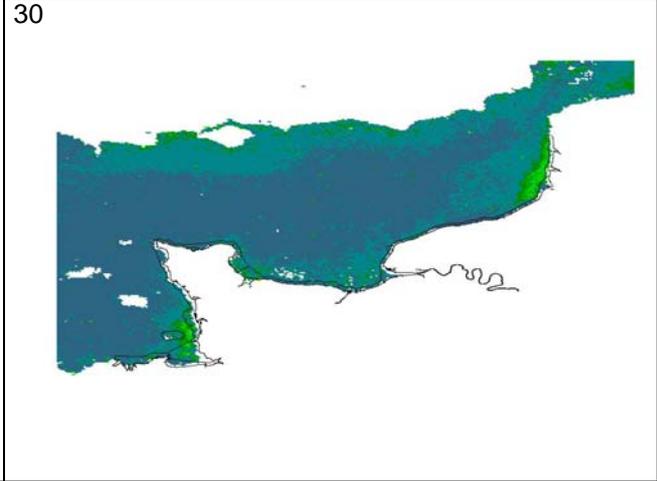
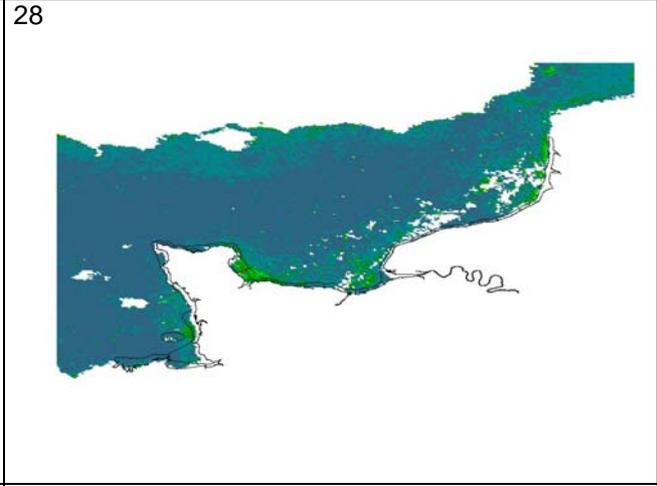
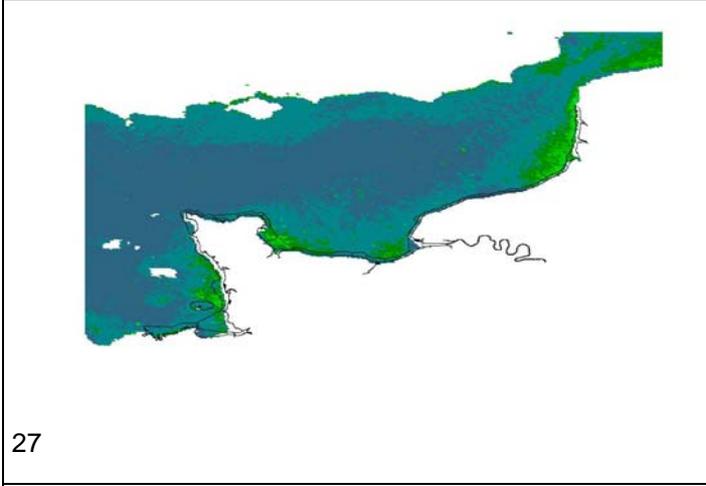
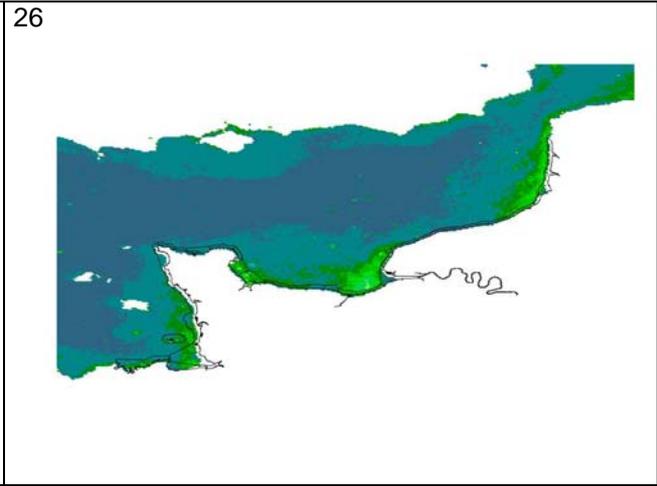
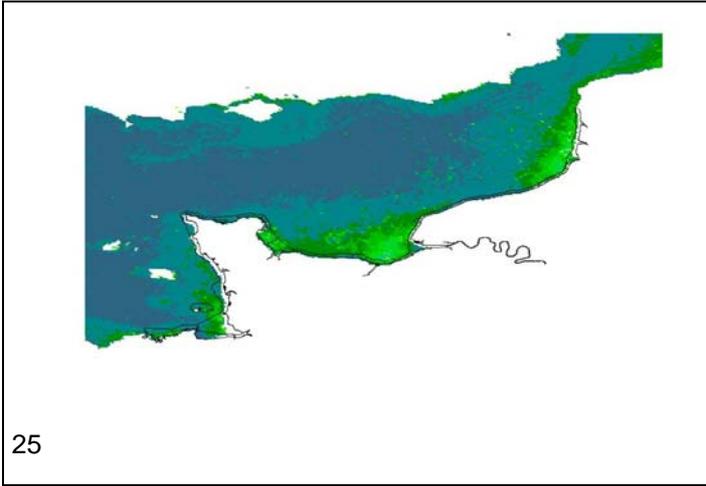
Toutes les données acquises (et interprétables) par le satellite SeaWifs de la Nasa ont été moyennées par période de 10 jours au moyen de l'algorithme OC5 développé par F. Gohin, Ifremer Dyneco Brest. A chaque pixel est attribuée la valeur moyenne des concentrations en chlorophylle obtenue lors des 10 journées de chaque décade (36 décades par an), et ce depuis 1998. Les cartes produites ont été intégrées dans un système d'information géographique afin de pouvoir y surimposer le découpage des masses d'eau DCE

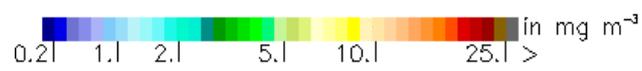
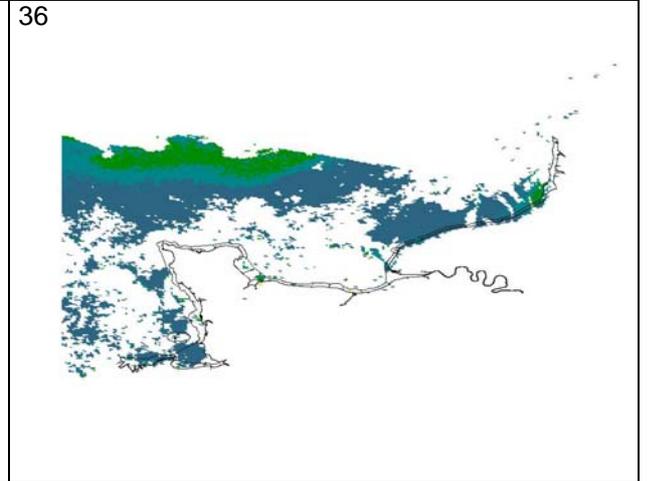
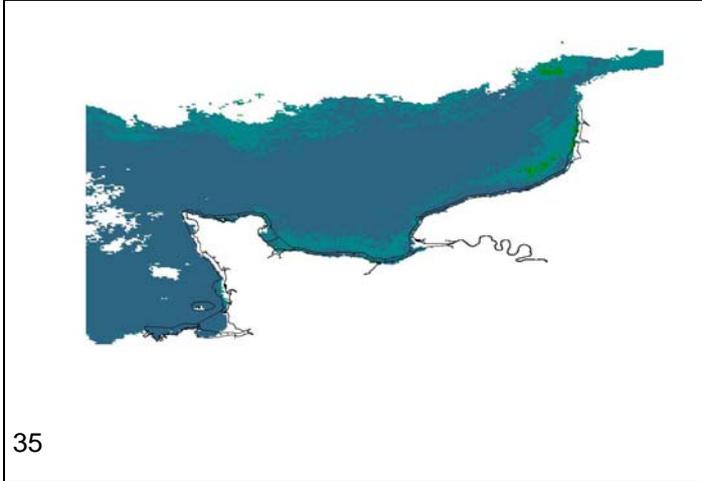
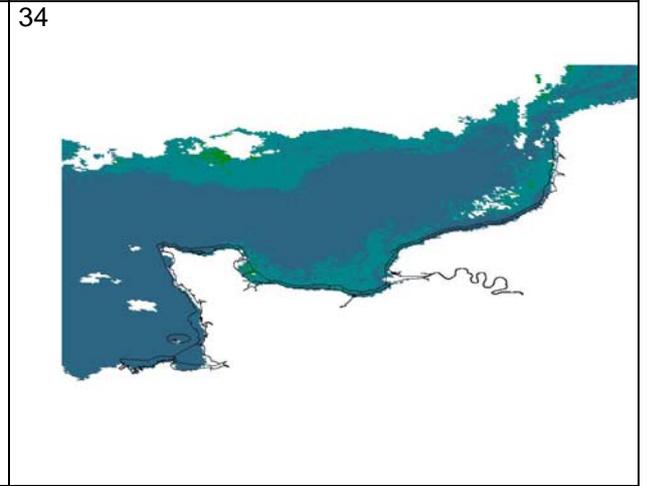
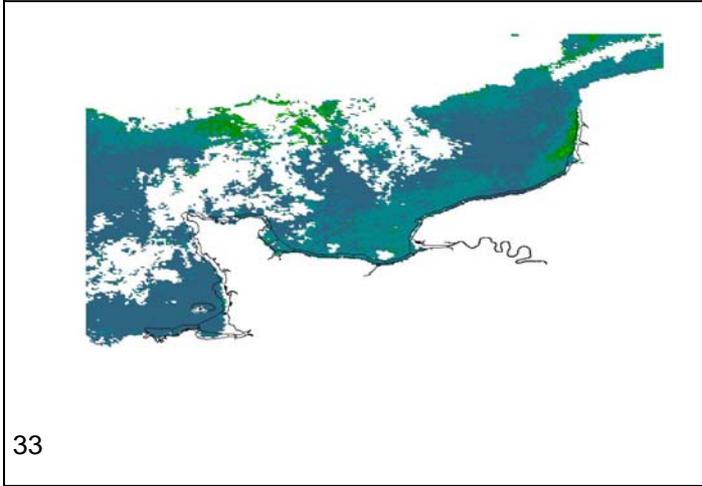
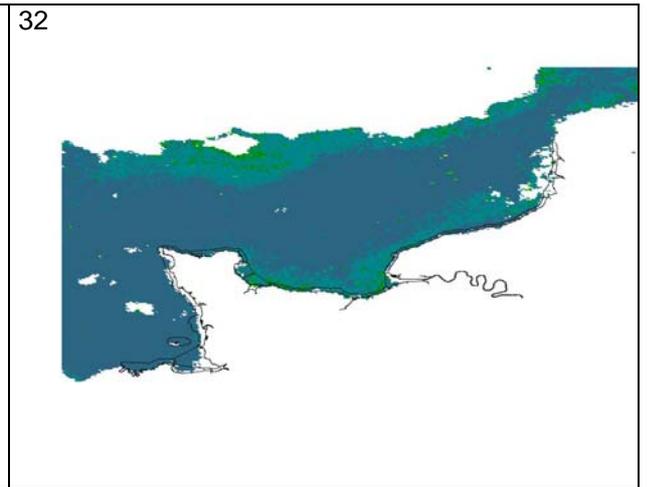
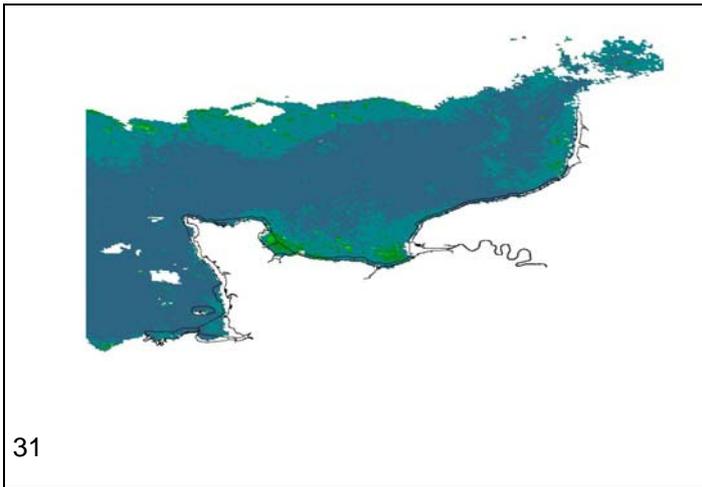












Annexe 2 : Intercomparaison des turbidimètres HACH 2100A et HACH 2100N IS

Extraits de la Note interne Ifremer de Franck JACQUELINE, Responsable métrologique LERN(2004)

La norme ISO 7027 de décembre 1999 intitulée Qualité de l'eau- Détermination de la turbidité, a institué un nouveau mode de mesurage de la turbidité. Le laboratoire s'est donc doté d'un nouveau turbidimètre Hach 2100N IS (référéncé me236), répondant à la nouvelle norme, pour remplacer son turbidimètre Hach 2100 A « ancienne norme », référéncé me7. Avant de réformer cet appareil, il nous sembla indispensable de les intercomparer afin de pouvoir garantir l'interprétation des mesurages de turbidité acquis dans le cadre du RHLN principalement.

1. Objectif et méthode :

Ce travail a pour objectif de tenter de déterminer un coefficient de conversion entre les 2 appareils dans la gamme de turbidité usuellement rencontrée par le LERN dans le cadre du RHLN permettant d'interpréter les mesurages effectués par ces 2 types d'appareils, et d'assurer la continuité des séries temporelles.

Pour déterminer ce coefficient de conversion entre les mesurages effectués suivant les 2 normes, les mesurages effectués par les 2 appareils durant plusieurs mois sur les échantillons du RHLN et dans le cadre du suivi des bouées Marel (3 séries de prélèvements en avril 2004) ont été utilisés.

2. Descriptif des appareils :

Turbidimètre HACH 2100 A (me7) : « précision » +/- 10%, résolution : 0.1 ntu, mesurage de néphélogétrie avec une source lumineuse à 180°, afficheur analogique, ajustage manuel, et mesurage instantané.



turbidimètre Hach 2100 A

Turbidimètre HACH 2100N IS (me 236) : - « précision » constructeur +/- 2%, « reproductibilité » de 1%, « variation » sur les suspensions de calibrage (étalon secondaire) indéterminée de 0 à 20, indéterminée et de 5% de 20 à 4000 NTU, mesurage de néphélogétrie avec une source lumineuse à 90°, résolution de 0.001 pour NTU<0.1, et de 0.01 pour la gamme de 0 à 20 ntu, le mesurage est issu d'un moyennage effectué par l'appareil, sur un laps de temps prédéfini.



turbidimètre Hach 2100N IS

3. Résultats des intercomparaisons

3.1. Résultats du 22/04/06

mesurages	échantillon A		échantillon B		échantillon C	
	me236	me7	me236	me 7	me236	me 7
1	246	455	3,63	2,7	2,09	1,4
2	250		3,46		2,48	
3	240		3,4		1,95	
4	245		3,28		2,14	
5	246		3,46		2	
6	246		3,58		1,89	
7	244		3,5		1,97	
8	247		3,52		2,02	
9	245		3,49		2,39	
10	247		3,48		1,88	
moyenne	245,6	455	3,48	2,7	2,081	1,4
écart type	2,55		0,10		0,20	
%	1,04		2,74		9,81	
rapport me236/me7		0,54		1,29		1,49

Tableau 1 : inter comparaison du 22/04/06

3.2. Résultats du 22/04/06

mesurages	échantillon D		échantillon E		échantillon F	
	me 236	me7	me236	me7	me236	me7
1	16,8	12	6,45	3,7	1,67	1,5
2	16,3	12	5,89	3,7	1,86	1,4
3	17,1	12	6,1	3,8	2,02	1,4
4	17	12	6,38	3,8	1,71	1,3
5	17,4	12	7,37	3,8	1,82	1,3
6	17,3	12	6,81	3,8	1,82	1,2
7	16,8	11	6,57	3,8	1,77	1,1
8	16,2	12	6,63	3,7	1,71	1,2
9	16,8	12	6,82	3,7	1,68	1,2
10	17,3	12	6,05	3,6	1,69	1,2
moyenne	16,9	11,9	6,507	3,74	1,775	1,28
écart type	0,41	0,32	0,44	0,07	0,11	0,12
%	2,42	2,66	6,73	1,87	6,14	9,60
rapport me236/me7		1,42		1,74		1,39

Tableau 2 : inter comparaison du 15/06/04

3.3. Moyenne des rapports me 236/me7 pour des turbidités < 20NTU

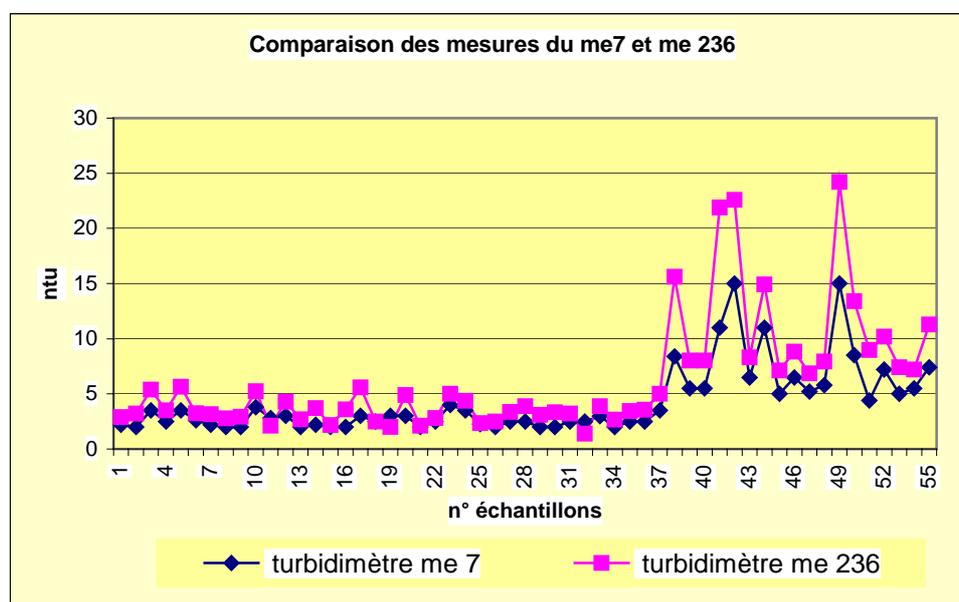
échantillon n°	rapport mesures me236/me7	valeurs moyennes me236
B	1,29	3,48
C	1,49	2,08
D	1,42	16,9
E	1,74	6,5
F	1,39	1,78
moyenne	1,47	
écart type	0,17	

Tableau 3 : rapport des mesurages du me236/me 7

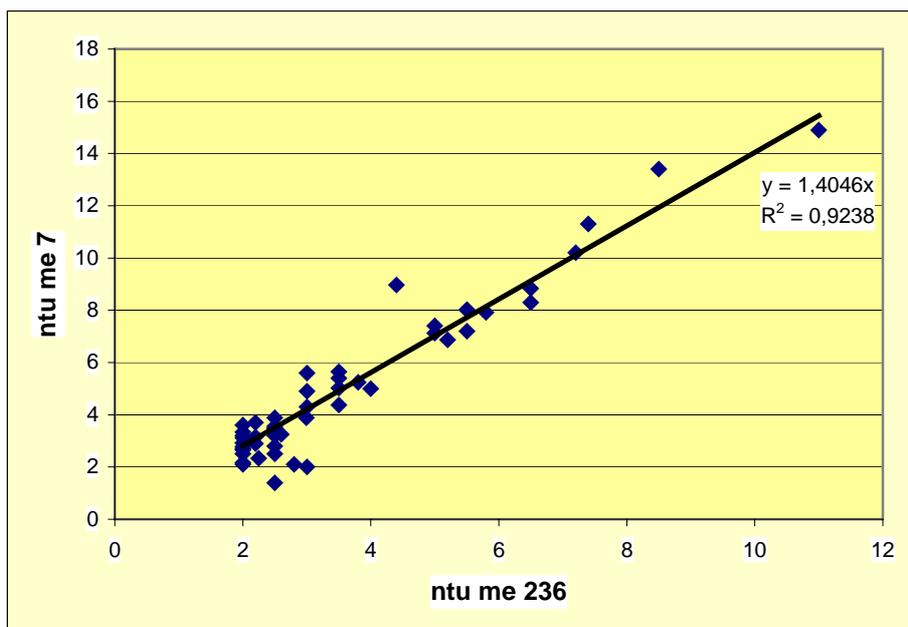
3.4 Résultats du double mesurage réalisé dans le cadre du RHLN lors du printemps 2004

Les résultats ci après proviennent de la comparaison des mesurages effectués avec les deux appareils sur les échantillons du RHLN du printemps 2004. L'étude a porté sur 56 couples de mesurages d'échantillons d'eau de mer provenant tant de Manche Ouest que de la Manche Est, et dont la turbidité était comprise entre 1 et 20 NTU.

Les valeurs brutes obtenues sont données par le graphe 1 ci dessous et le tableau 4. La droite de corrélation figure sur le graphe 2 page suivante.



graphe 1: valeurs brutes des mesurages effectués au moyen des deux turbidimètres ME 236 et ME 7 dans le cadre du RHLN lors du printemps 2004.



graphe 2 : droite de corrélation des résultats obtenus au moyen des deux turbidimètres

La moyenne des rapports de mesurages entre le me 236 et me7 est donc compris entre 1.74 et 1.29 dans la plage de valeurs de turbidités testées (de 1-2 à 20 NTU), ce qui correspond aux valeurs communément rencontrées en Manche dans le cadre du RHLN (hormis dans les secteurs de fond de baie, ou très estuariens, où l'on peut parfois enregistrer des turbidités supérieures).

Nous retiendrons donc le facteur 1.5 entre les anciennes données (jusqu'à fin 2003) et les nouvelles (à partir de 2004) acquises dans le cadre du RHLN.

n°	turbidimètre me 7	turbidimètre me 236	rapport me236/me7
12	2,2	2,9	1,32
22	2	3,2	1,60
23	3,5	5,4	1,54
24	2,5	3,5	1,40
31	3,5	5,64	1,61
35	2,6	3,25	1,25
38	2,2	3,15	1,43
43	2	2,78	1,39
45	2	2,92	1,46
47	3,8	5,24	1,38
57	2,8	2,1	0,75
58	3	4,3	1,43
59	2	2,7	1,35
61	2,2	3,7	1,68
77	2	2,16	1,08
82	2	3,6	1,80
86	3	5,6	1,87
90	2,5	2,5	1,00
91	3	2	0,67
97	3	4,9	1,63
98	2	2,1	1,05
99	2,5	2,8	1,12
102	4	5	1,25
118	3,5	4,38	1,25
119	2,25	2,34	1,04
125	2	2,5	1,25
127	2,5	3,35	1,34
130	2,5	3,89	1,56
138	2	3,11	1,56
153	2	3,34	1,67
155	2,5	3,2	1,28
156	2,5	1,39	0,56
161	2,99	3,88	1,30
169	2	2,65	1,33
175	2,5	3,46	1,38
179	2,5	3,55	1,42
182	3,5	5,02	1,43
10	8,4	15,6	1,86
11	5,5	8,02	1,46
13	5,5	8,02	1,46
17	11	21,9	1,99
18	15	22,6	1,51
25	6,5	8,3	1,28
27	11	14,9	1,35
28	5	7,12	1,42
29	6,5	8,83	1,36
30	5,2	6,87	1,32
32	5,8	7,92	1,37
46	15	24,2	1,61
62	8,5	13,4	1,58
64	4,4	8,97	2,04
78	7,2	10,2	1,42
100	5	7,4	1,48
101	5,5	7,2	1,31
113	7,4	11,3	1,53
		moyenne des rapports	1,40
		écart type	0,281

Tableau 4 : comparaison des mesurages : données brutes, moyenne des rapports et calcul d'écart type.

Annexe 3 : liste des espèces toxiques pour la faune et des espèces indicatrices pour l'eutrophisation (liste extraite de Belin et Laugier, 2005).

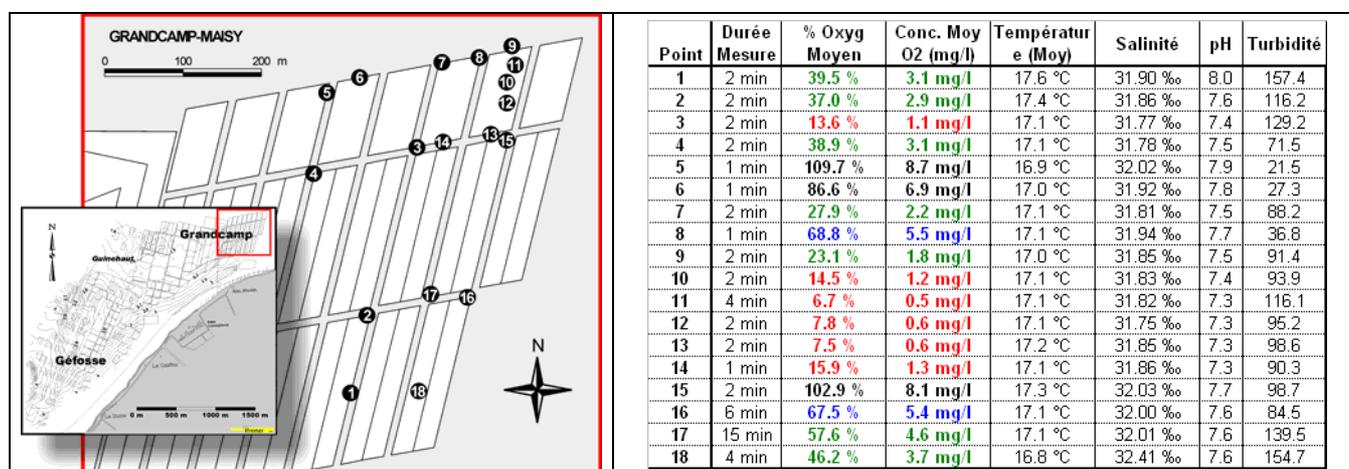
			observé en Atlantique		observé en Méditerranée	
en jaune : toxiques faune marine en vert : indicatrices eutrophisation		source COI : IOC taxonomic reference list of toxic plankton algae	sup 10 ⁵	sup 10 ⁶	sup 10 ⁵	sup 10 ⁶
classe des Dictyochophycées						
DICT	Dictyocha <i>stade nu</i>	Nézan				
CLDICTY	Dictyochophycées	??				
DICTFIB	Dictyocha fibula	??				
DICTSPE	Dictyocha speculum	??				
classe des Diatomophycées, ordre des Centrales						
CHAESOC	Chaetoceros sociale + C. radians	réunion 4 mai				
SKELCOS	Skeletonema costatum					
classe des Dinophycées, ordre des Gymnodiniales						
AMPD	Amphidinium sp.	COI carterae, operculatum				
COCO	Cochlodinium sp.	COI polykrikoides				
	Gymnodinium puchellum	COI				
GYMN	Gymnodinium <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
GYMN-82	Gymnodinium 'sp.1982'					
GYMNCAT	Gymnodinium catenatum					
GYMNLOH	Gymnodinium lohmanni					
GYMNSPL	Gymnodinium splendens					
	Karenia	COI brevisulcata				
GYMNBRE	Karenia brevis (Gymnodinium breve)	COI				
GYMNNAG	Karenia mikimotoi (Gymnodinium mikimotoi)	COI				
	Gyrodinium corsicum	COI				
GYRO	Gyrodinium <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
GYROSPI	Gyrodinium spirale					
	Karlodinium	COI micrum, veneficum				
classe des Dinophycées, ordre des Oxyrrhinales						
	Oxyrrhis <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
OXYRMAA	Oxyrrhis marina					
classe des Dinophycées, ordre des Peridinales						
ALEXHIR	Alexandrium hiranoi	COI				
ALEXMIN	Alexandrium minutum	COI				
ALEXTAM	Alexandrium tamarense	COI catenella et tamarense				
ALEX	Alexandrium <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
ALEXAFF	Alexandrium affine					
ALEXAND	Alexandrium andersoni					
ALEXINS	Alexandrium insuetum					
ALEXLEE	Alexandrium leei					
ALEXMAR	Alexandrium margalefi					
ALEXOST	Alexandrium ostenfeldii					
ALEXPSE	Alexandrium pseudogonyaulax					
ALEXTAY	Alexandrium taylori					
GONY	Gonyaulax <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
GONYSPI	Gonyaulax spinifera					
	Lingulodinium <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
LINGPOL	Lingulodinium polyedra (= Gonyaulax polyedra)					
	Kryptoperidinium <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				

KRYPFOL	Kryptoperidinium foliaceum					
SCRI	Scripsiella	Nézan				
	Bysmatrum	Nézan				
	Heterocapsa	COI circularisquama				
HETENIE	Heterocapsa niei	Nézan				
HETETRI	Heterocapsa triquetra					
PROIQUI	Peridinium quinquecorne	réunion 4 mai				
classe des Dinophycées, ordre des Prorocentrales						
PRORMEX	Prorocentrum mexicanum	COI				
PRORMIN	Prorocentrum minimum + balticum + cordatum	COI				
PROR	Prorocentrum <i>le genre dans son ensemble soit</i>	Nézan				
PRORCOM	Prorocentrum compressum					
PRORCON	Prorocentrum concavum					
PRORGRA	Prorocentrum gracile					
PRORLIM	Prorocentrum lima + P. marinum					
PRORMIC	Prorocentrum micans + arcuatum + gibbosum					
PRORTRI	Prorocentrum triestinum (= P. redfieldii)					
classe des Euglénophycées						
CLEUGLE	Euglénophycées	Nézan				
classe des Prymnésiophycées						
CLPRYMN	Prymnésiophycées	??				
ORPRYMN	Prymnésiales	??				
PHAE	Phaeocystis sp.	COI globosa, pouchetii				
CHRU	Chrysochromulina sp.	COI leadbeateri, polylepis				
PRYM	Prymnesium sp.	COI calathiferum, faveolatum, parvum, patelliferum, zebrinum				
classe des Raphidophycées						
CLRAPHI	Raphidophycées	??				
ORRAPHI	Raphidomonadales	??				
CHAT	Chattonella sp.	COI antiqua, globosa, marina, subsalsa, verruculosa				
CHATMIN	Chattonella minima	??				
FIBRJAP	Fibrocapsa japonica	COI				
HETGCAR	Heterosigma akashiwo	COI				
classe des Cyanobactéries						
CLCYANO	Cyanobactéries <i>filamenteuses</i>	Nézan				
ANAB	Anabaena sp.	??				
MERI	Merismopedia sp.	??				
MICO	Microcystis sp.	??				
NOST	Nostoc sp.	??				
OSCI	Oscillatoria sp.	??				

Annexe 4 : quelques données relatives à un épisode « anoxique » enregistré en septembre 2004 en baie des Veys.

Au mois de septembre 2004 et suite à un coup de vent de nordet, des échouages importants d'algues (essentiellement brunes, fucales, laminaires et sargasses, avec une faible proportion d'ulves et d'entéromorphes) mais localisés ont été observés en Baie des Veys. Très rapidement, ces algues sont entrées en décomposition. Entre le 15 et le 20 septembre 2004, l'écoulement sur l'estran des produits de décomposition a généré des anoxies très localisées (en tête de front de marée, sur une largeur de 200 mètres approximativement, et pendant une heure environ lors de la basse mer, le phénomène s'estompant lors des débuts de flot).

Le 17 septembre 2004, des mesures ont été réalisées au moyen d'une sonde multiparamètre ISY M 6600 entre la basse mer et la première heure de flot en différents points de la zone de production ostréicole de Grandcamp Maisy. Les résultats sont synthétisés ci-dessous.



Localisation des points de contrôle en Baie des Veys et résultats des mesures effectuées le 17 septembre 2004 lors de la basse mer et au début du flot.

L'anoxie constatée a généré une mortalité de poissons et de crustacés (de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes par marée), et était tout à fait remarquable du fait de l'odeur pestilentielle dégagée par les algues en décomposition, et de la nuée de mouettes et goélands accompagnant la remontée de ces eaux très noires (et très turbides comme l'indique le tableau ci-dessus) sur l'estran pour consommer les crustacés ou petits poissons asphyxiés au passage.

Ce phénomène a été tout à fait exceptionnel, et de mémoire d'ostréiculteur, si de petites « marées brunes » de ce type peuvent être enregistrées à pareille époque certaines années après des coups de vent, jamais phénomène aussi important n'avait eu lieu, et en particulier jamais n'avait été constatée de mortalité de la faune benthique, et encore moins pélagique. Aucune conséquence n'a cependant été observée sur les huîtres en élevage. Leur positionnement surélevé sur les tables ostréicoles les a préservés d'un contact avec ces masses d'eau anoxiques lors de la basse mer.

Il importe de préciser que de tels phénomènes (anoxie à seulement 6 % de saturation) présentent un caractère très ponctuel et se limitent à de petites échelles de temps et d'espace. Il est donc normal qu'ils ne puissent être perçus à l'échelle d'un réseau comme le RHLN. En aucun cas ils ne remettent donc en cause les conclusions du RHLN en 2002, 2004, ou 2005, montrant que les masses d'eau normandes ne connaissent pas d'anoxie à proprement parler, même dans les secteurs les plus productifs de l'estuaire de Seine.