



IFREMER

**UTILISATION DU MODELE ECO-MARS 3D POUR
EVALUER LE BON ETAT ECOLOGIQUE DE LA FAÇADE
MANCHE-ATLANTIQUE AU REGARD DU DESCRIPTEUR 5
« EUTROPHISATION » DE LA DCSMM**

Phase 2

IFREMER	Rapport n°10.XX	V1.0	28/11/2011
----------------	------------------------	-------------	-------------------

SUIVI DES MODIFICATIONS

Version	Date	Modifications	Auteurs	Validé par
1.0	28/11/2011	Création.	M Dussauze	A. Menesguen

LISTE DE DIFFUSION

Nom	Organisme	Date de relecture
Patrick Camus	Ifremer	
Caroline Gernez	Ifremer	
Alain Lefebvre	Ifremer	
Pierre Le Hir	Ifremer	
Alain Menesguen	Ifremer	

INTRODUCTION	4
1 PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES NORMES CONSIDEREES	5
1.1 NORME DCE	5
1.2 NORME OSPAR.....	8
1.3 NORME HELCOM (HEAT)	12
2 CLASSIFICATIONS SELON LES NORMES	15
2.1 NORME DCE	15
2.2 NORME OSPAR.....	24
2.3 NORME HELCOM (HEAT)	35
CONCLUSION.....	43
RÉFÉRENCES	45

INTRODUCTION

Dans la phase 1 de l'étude, les résultats du modèle ECO-MARS 3D appliqué à l'emprise Manche/Golfe de Gascogne ont été confrontés aux mesures in situ et satellitaires. Cette comparaison a mis en relief une bonne représentation de la variation saisonnière des nutriments et de la chlorophylle à la côte au niveau des points de mesures et une représentation correcte de la chlorophylle de surface sur l'ensemble de la zone d'étude. Les principaux biais entre le modèle et les mesures ont été identifiés et des pistes d'amélioration du modèle ont été suggérées (certaines étant déjà en cours de réalisation).

La deuxième phase de cette étude consiste à déterminer des classes de qualité pour chaque paramètre de l'eutrophisation, en appliquant les grilles de qualité existantes (OSPAR, DCE, HELCOM). Ces différentes grilles seront appliquées à la simulation de référence (période 2001-2003), à deux simulations représentant respectivement un abattement de 50% et 70% des apports en nitrate et phosphate (scénarios testés par le groupe de travail OSPAR ICG-EMO) et une dernière simulation avec des rejets « pristine » en nitrate, phosphate et ammonium. La situation « pristine » représente des rejets naturels des cours d'eaux. Les valeurs « pristine » utilisées sont proches des valeurs citées par la littérature ((Meybeck, 1982), (Meybeck et Helmer, 1989)) (NO_3 : 1,5 mg/L, NH_4 : 0.5 mg/L, PO_4 : 0.05 mg/L). Par exemple, pour la Loire, ces teneurs représentent un abattement d'environ 90% des apports en nitrate et d'environ 80% des apports en phosphate.

La première partie du rapport présente rapidement les différentes normes considérées ainsi que les métriques et les seuils utilisés pour effectuer les classifications.

La deuxième partie présente l'application de ces différentes grilles aux quatre simulations ainsi que l'évaluation pour chacune d'entre elles, de l'aire des zones dont l'état écologique est susceptible d'être amélioré.

1 PRESENTATION DES DIFFERENTES NORMES CONSIDEREES

1.1 NORME DCE

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE 2000/60/CE) établit un cadre pour une politique communautaire et fixe des objectifs de préservation et de restauration de l'état des eaux souterraines et des eaux de surface (eaux douces et eaux côtières). Les masses d'eaux côtières et de transition sont incluses dans cette dernière catégorie. L'objectif principal est d'atteindre d'ici à 2015 le bon état (écologique et chimique) des différents milieux sur tout le territoire européen. Pour cela, un programme de surveillance a été établi. Ce programme comprend quatre types de contrôles (surveillance, opérationnel, enquête et additionnel). Les éléments de qualité permettant de définir la qualité de l'état chimique sont listés dans l'annexe 3 de la circulaire 2007/20.

Les éléments de qualité permettant de définir la qualité de l'état écologique (d'une masse d'eau sont constitués d'éléments biologiques (phytoplancton, macroalgues, angiospermes, invertébrés, poissons), physico-chimiques (température, oxygène dissous, nutriments, salinité, turbidité) ou hydromorphologiques. Actuellement, il n'y a pas de méthodologie retenue pour l'évaluation des éléments salinité, turbidité et nutriments (silice et phosphore).

Pour notre étude, les éléments de qualité phytoplancton (biomasse), oxygène dissous et nutriments (azote) peuvent être évalués. Les paramètres phytoplancton et oxygène dissous ont déjà fait l'objet d'une évaluation basée sur des plans de gestion d'une durée de 6 ans (par exemple : 2003-2008) (Soudant et Belin, 2010), (Daniel et Soudant, 2009). Le *Tableau 1* et le *Tableau 2* présentent les grilles de classement retenues respectivement pour la biomasse phytoplanctonique et l'oxygène dissous.

		Percentile 90 chlorophylle a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)				
période productive		très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
manche atlantique	mars – octobre	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	> 40
eaux côtières et de transition sauf grands estuaires						

Tableau 1 : Grille de classement pour l'indice biomasse en phytoplancton des masses d'eaux DCE pour la zone Manche/Atlantique.

		Percentile 10 oxygène dissous (mg.L ⁻¹)				
	période	très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
Toutes zones	juin – septembre	≥ 5	≥3 - <5	≥2 - <3	≥1 - <2	< 1

Tableau 2 : Grille de classement pour l'indice « oxygène dissous » (eaux côtières).

Une méthodologie pour évaluer l'élément de qualité nutriments « azote » (indice NID : concentration azote inorganique dissous) a été proposée (Daniel et Soudant, 2010) mais elle ne concerne que 3 grandes zones d'influence ou « écotypes » représentatifs des bassins hydrographiques de la Loire, de la Seine et du Bassin d'Arcachon qui disposent de données suffisantes. Ces écotypes regroupent plusieurs masses d'eaux côtières et de transition.

Cette méthode permet de pondérer la concentration en nutriments (moyennée sur la période hivernale : décembre à mars), qui est une pression sur l'écosystème, par la chlorophylle qui est un symptôme d'eutrophisation.

L'indice permet de conclure quant à l'état de la masse d'eau au regard de l'élément « azote » par comparaison de la concentration de nutriment normalisée pour une salinité de 33 avec un seuil dépendant du percentile 90 de chlorophylle normalisée sous la forme d'EQR (Ecological Quality Ratio) (Figure 1). Les EQR de chlorophylle sont calculés à partir de l'ensemble des valeurs de chlorophylle de chaque écotype mesurées entre mars et octobre sur les 6 années du plan de gestion.

La droite obtenue Figure 1 donne les deux valeurs seuils entre les 3 états : « très bon état », « bon état » et « état moyen ». Ces valeurs égales à 16 µmol/L et 29 µmol/L, sont susceptibles d'être modifiées au regard des futures évaluations.

Le classement s'effectue de manière suivante (Figure 2) :

- Si la valeur normalisée de NID de l'écotype est inférieure à 16 µmol/L, les masses d'eaux de l'écotype sont classées en « très bon état ».
- Si la valeur normalisée de NID est comprise entre 16 et 29 µmol/L, les masses d'eaux de l'écotype sont classées en « bon état ».
- Si la valeur normalisée de NID est supérieure à 29 µmol/L, on relativise par rapport à l'EQR de chlorophylle :
 - ❖ Si l'EQR de chlorophylle est au moins classé en « bon état », l'indice NID est classé en « bon état ».
 - ❖ Sinon, l'indice NID est classé en « état moyen ».

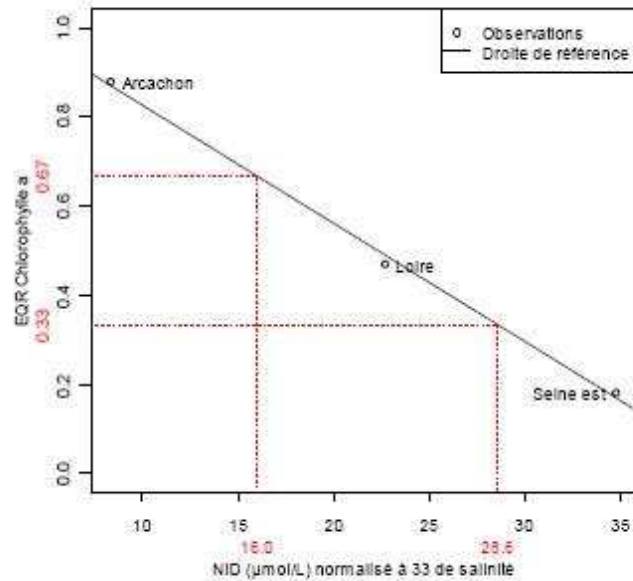


Figure 1: Distribution des valeurs de NID normalisées à 33 de salinité des 3 écotypes évalués par rapport à leur EQR de chlorophylle. Les valeurs seuil de NID correspondant à l'EQR « très bon état/bon état » et à l'EQR « bon état/moyen état » de chlorophylle sont obtenues graphiquement (Daniel et Soudant, 2010).

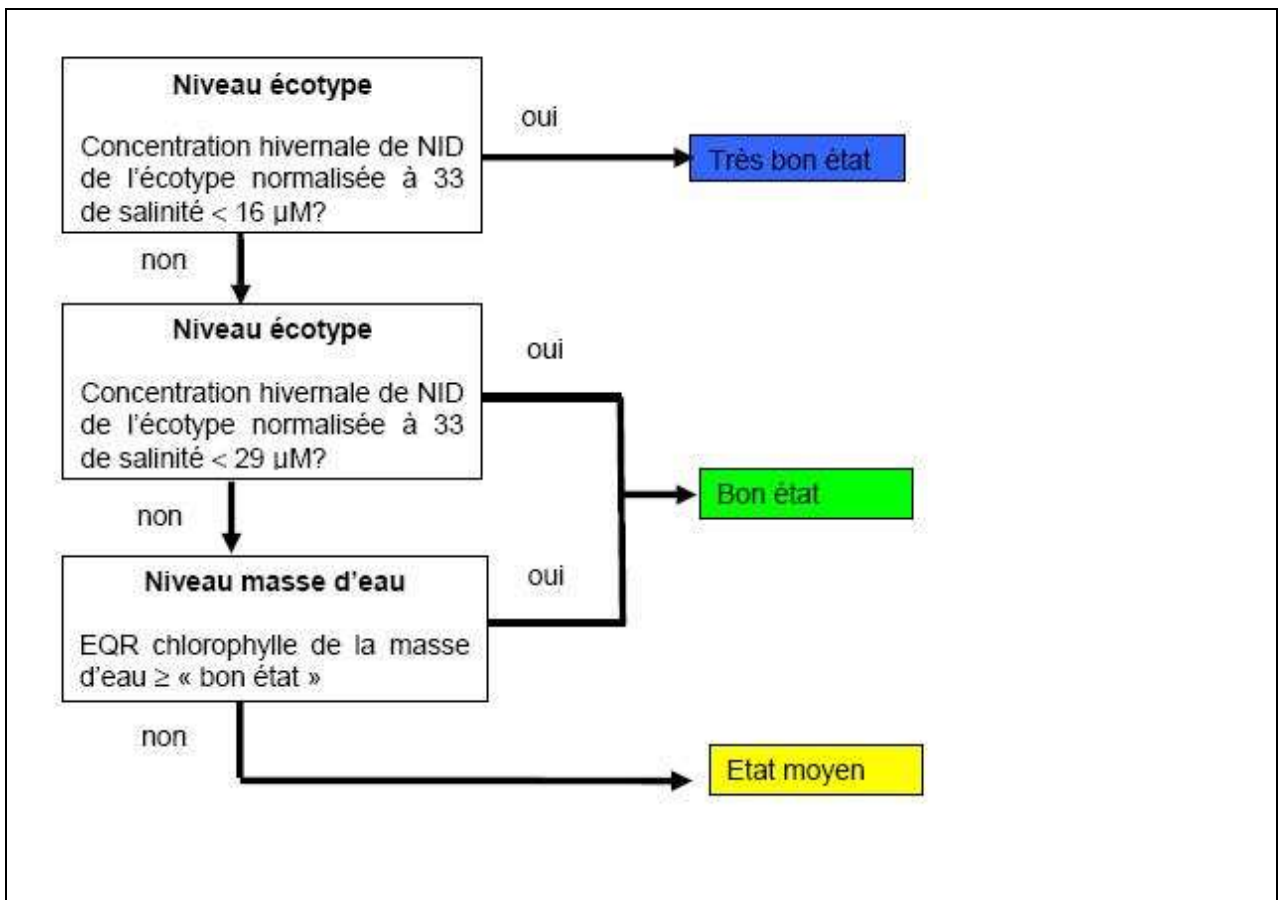


Figure 2 : Arbre de décision pour l'évaluation de l'indice NID (Daniel et Soudant, 2010).

1.2 NORME OSPAR

La commission OSPAR (<http://www.ospar.org>) résulte d'une coopération entre quinze gouvernements des côtes et îles occidentales d'Europe, avec la Communauté européenne, dans le but de protéger l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est (divisé en cinq régions (Figure 3)). Elle développe des stratégies d'évaluation et de surveillance pour 5 grands thèmes : biodiversité et écosystèmes, eutrophisation, substances dangereuses, industrie du pétrole et du gaz en offshore, et substances radioactives.

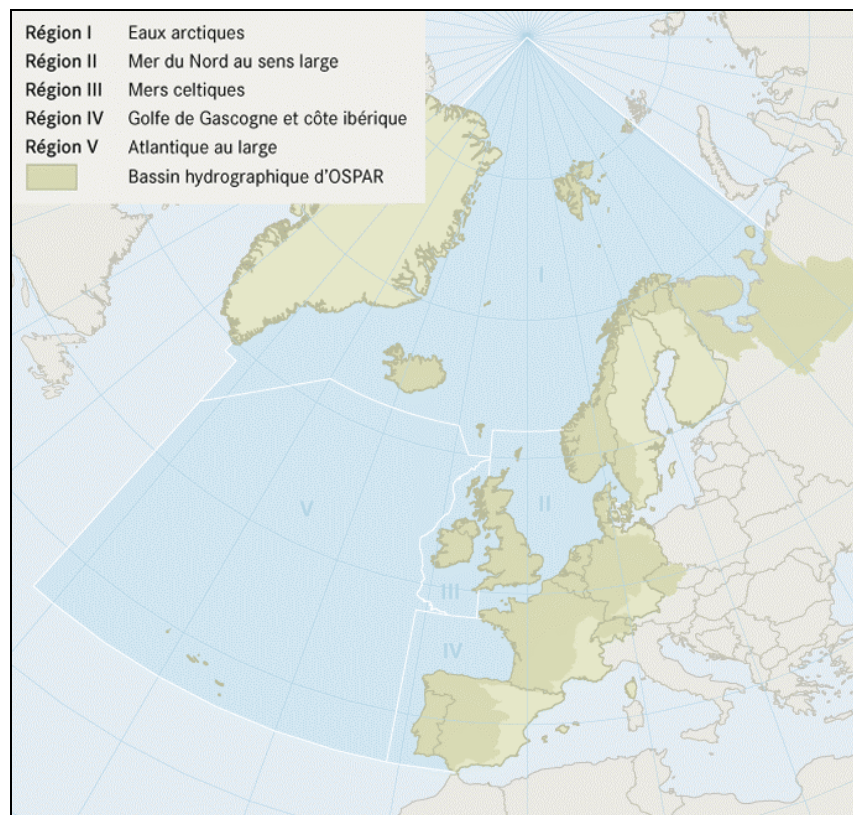


Figure 3: Domaine marin OSPAR et ses régions.

OSPAR a défini une Procédure Commune d'évaluation du niveau d'eutrophisation de sa zone maritime. Cette évaluation s'effectue sur dix paramètres (listés *Tableau 3*), répartis en quatre catégories (degré d'enrichissement en nutriments, effets directs de l'enrichissement, effets indirects de l'enrichissement et effets supplémentaires potentiels comme la présence de toxines dans les coquillages). L'évaluation se base sur l'atteinte ou non de l'EcoQO (Ecological Quality Objectives) (OSPAR, 2005) similaire aux objectifs de qualité environnementale des masses d'eaux définis dans le cadre de la DCE. La Procédure Commune a permis de déterminer le statut des différentes régions de la zone OSPAR vis-à-vis de l'eutrophisation en les classant selon trois catégories : « zone sans problème », « zone à problème potentiel » et « zones à problème » (OSPAR, 2009) (*Figure 4*).

<p>Category I Degree of nutrient enrichment</p> <p>1 Riverine inputs and direct discharges (area-specific) Elevated inputs and/or increased trends of total N and total P (compared with previous years)</p> <p>2 Nutrient concentrations (area-specific) Elevated level(s) of winter DIN and/or DIP</p> <p>3 N/P ratio (area-specific) Elevated winter N/P ratio (Redfield N/P = 16)</p> <p>Category II Direct effects of nutrient enrichment (during growing season)</p> <p>1 Chlorophyll a concentration (area-specific) Elevated maximum and mean level</p> <p>2 Phytoplankton indicator species (area-specific) Elevated levels of nuisance/toxic phytoplankton indicator species (and increased duration of blooms)</p> <p>3 Macrophytes including macroalgae (area-specific) Shift from long-lived to short-lived nuisance species (e.g. <i>Ulva</i>). Elevated levels (biomass or area covered) especially of opportunistic green macroalgae.</p> <p>Category III Indirect effects of nutrient enrichment (during growing season)</p> <p>1 Oxygen deficiency Decreased levels (< 2 mg/l: acute toxicity; 4 - 6 mg/l: deficiency) and lowered % oxygen saturation</p> <p>2 Zoobenthos and fish Kills (in relation to oxygen deficiency and/or toxic algae) Long-term area-specific changes in zoobenthos biomass and species composition</p> <p>3 Organic carbon/organic matter (area-specific) Elevated levels (in relation to III.1) (relevant in sedimentation areas)</p> <p>Category IV Other possible effects of nutrient enrichment (during growing season)</p> <p>1 Algal toxins Incidence of DSP/PSP mussel infection events (related to II.2)</p>
--

Tableau 3 : Listes des dix paramètres évalués dans le cadre de la convention OSPAR.

Pour classer les masses d'eau selon la norme OSPAR, la méthode utilisée sera celle appliquée par le groupe de travail d'OSPAR ICG-EMO (Intersessional Correspondence Group on Eutrophication Modelling) pour déterminer, pour chaque zone de la Manche/Mer du Nord (Figure 5), la réduction des apports en nutriments nécessaire pour atteindre le bon état écologique défini par des valeurs seuils (Lenhart et al., 2010). Ces valeurs sont spécifiques à chaque zone et celles à appliquer pour les masses d'eaux françaises sont présentées Tableau 4. Elles correspondent, notamment pour les variables DIN, DIP et rapport N/P à des valeurs de référence (10 µmol/L de DIN, 0,8 µmol/L de DIP, rapport N/P=16) auxquelles on a rajouté 50%, déviation considérée comme acceptable par la procédure commune d'évaluation. Les variables considérées comme indicatrices de l'eutrophisation par OSPAR et pouvant être extraites du modèle sont : la concentration en azote inorganique dissous, la concentration en phosphore inorganique dissous et le rapport N/P en période hivernale (janvier-février) ; la concentration en chlorophylle et oxygène dissous en période productive (mars à octobre).

DIN (µmol/L)	DIP (µmol/L)	Chla mean (µg/L)	Chla max (µg/L)	N/P	Oxygen (mg/L)
15	1,2	4	10	24	6

Tableau 4 : Valeurs seuils à appliquer pour les masses d'eaux françaises.

Le classement se fera de la façon suivante :

- **'+ ou zone à problème (PA)'** si la moyenne ou le maximum dépasse la valeur seuil,
- **'O ou zone à problème potentiel (PPA)'** si la moyenne + l'écart type dépasse la valeur seuil,
- **'- ou zone sans problème (NPA)'** sinon.

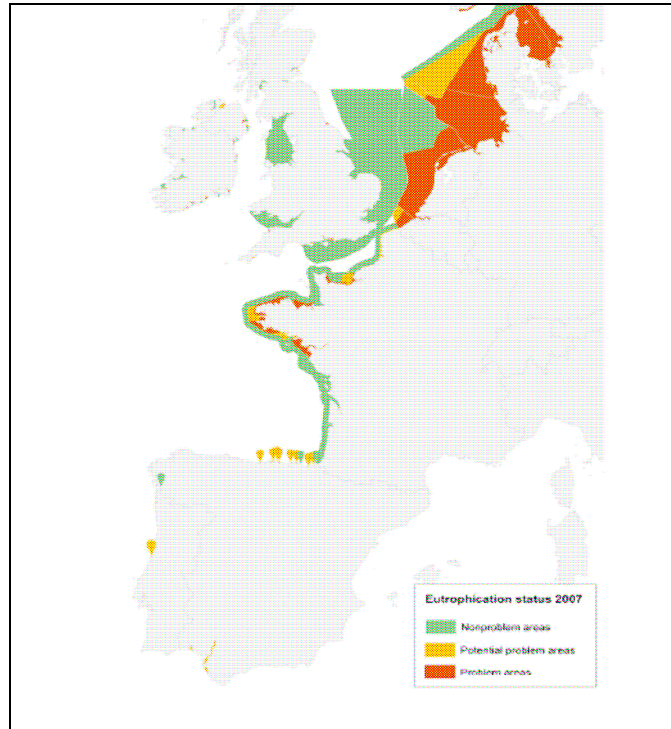


Figure 4: Classification OSPAR selon la Procédure Commune en utilisant des données de la période 2000-2005.

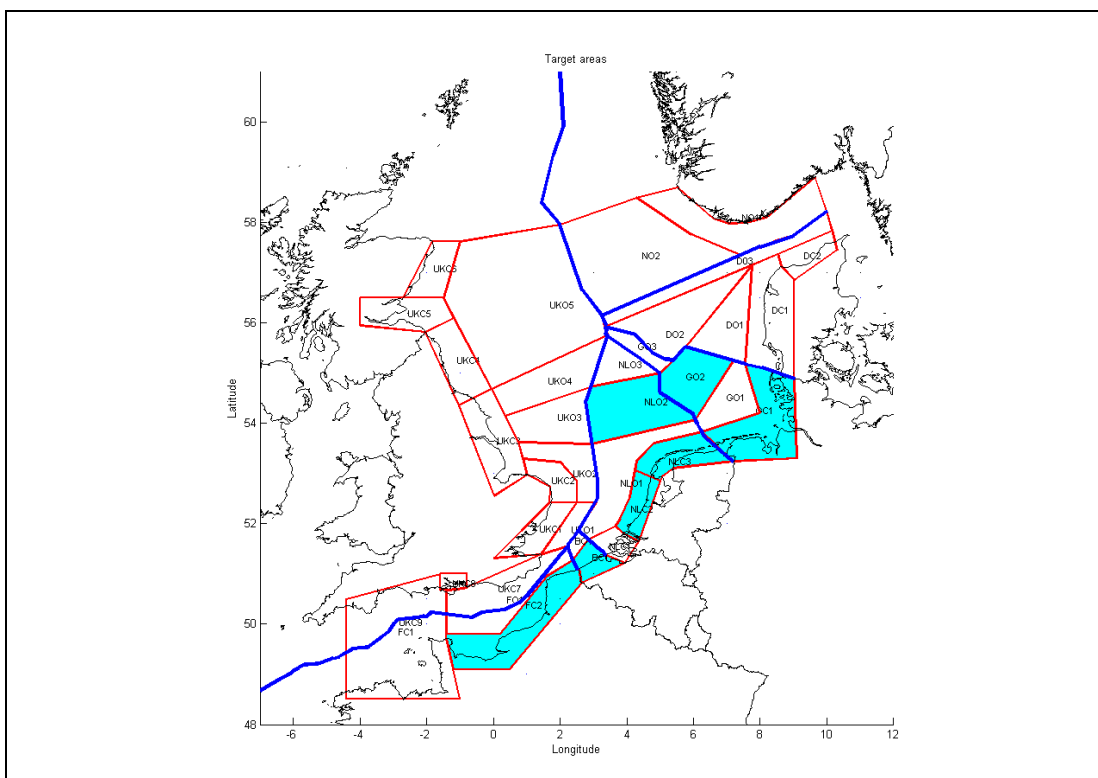


Figure 5 : Zones d'évaluation de ICG-EMO (les lignes rouges délimitent les différentes zones, les lignes bleues délimitent les eaux territoriales).

1.3 NORME HELCOM (HEAT)

La commission HELCOM (HELSinki COMmission : <http://www.helcom.fi>) résulte d'une coopération, initiée en 1992 par la convention d'Helsinki, entre la communauté Européenne et les états bordant la Mer Baltique (Danemark, Estonie, Finlande, Allemagne, Lettonie, Lituanie, Pologne, Russie et Suède) dans le but de la protéger de toute source de pollution (*Figure 6*).



Figure 6 : Domaine marin HELCOM.

Pour le volet « eutrophisation », la commission HELCOM a mis en place un plan d'action (BSAP : « Baltic Sea Action Plan ») dont le but est d'atteindre des niveaux proches de l'état naturel pour les teneurs en nutriments et en oxygène dissous, la transparence, les blooms algaux et la distribution de la faune et de la flore aquatique. L'outil utilisé par tous les contractants afin d'évaluer l'état d'eutrophisation pour ces indicateurs est l'outil **HEAT (HELCOM Eutrophication Assessment Tool)** (Andersen et al., 2010).

La méthode de classification s'appuie sur la méthode OSPAR mais a été réarrangée pour correspondre à celle de la DCE (*Figure 7*). Pour qu'une masse d'eau soit classée en « bon état écologique », son statut actuel (**AcStat** : calculé selon les métriques explicitées *Tableau 5*) ne doit pas s'éloigner de plus de **50%** (**AcDev : Acceptable Deviation**) de la valeur de référence (**RefCon**) pour un indicateur ayant une réponse positive à l'enrichissement (concentrations en nutriments et en chlorophylle) et de plus de **25%** pour un indicateur ayant une réponse négative à l'enrichissement (concentration en oxygène, transparence).

Les valeurs de références pour les variables DIN, DIP et rapport N/P ont été choisies identiques à celles utilisées pour la procédure commune OSPAR. La valeur de référence pour la chlorophylle est identique à celle utilisée pour la DCE.

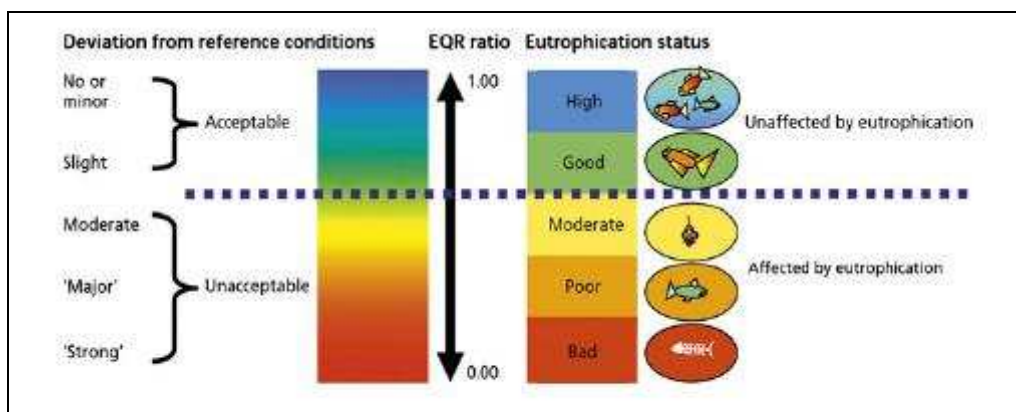


Figure 7: Illustration des différentes catégories de classification (sensu DCE).

	DIN	DIP	N/P	chlorophylle	oxygène
métrique	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	Percentile 25
période	Décembre-Mars	Décembre-Mars	Décembre-Mars	Juin-Septembre	Toute l'année
Valeur de référence	10 µmol/L	0,8 µmol/L	16	3,33 µg/L	5 mg/L

Tableau 5 : Métriques utilisées pour chaque indicateur pour l'évaluation des masses d'eaux selon HEAT (HELCOM, 2009).

Le Tableau 6 et la Figure 8 présentent respectivement le calcul des valeurs des EQR séparant les différentes classifications des masses d'eaux et la représentation graphique de ces valeurs seuils en fonction de l'AcDev. On déduit du Tableau 6 et de la Figure 8 que l'Acdev ne peut pas excéder 110% pour un indicateur avec une réponse positive à l'enrichissement et 52.5% pour un indicateur avec une réponse négative, la valeur de l'EQR séparant l'état « Moyen » de l'état « Mauvais » deviendrait alors négative.

Indicateur avec une réponse positive (Acdev=50%)	Indicateur avec une réponse négative (AcDev=25%)
$EQR = RefCon / AcStat$	$EQR = AcStat / RefCon$
$EQR_{Bon/Moyen} = 1 / (1 + AcDev)$	$EQR_{Bon/Moyen} = 1 - AcDev$
$EQR_{Mediocre/Mauvais} = 2EQR_{Bon/Moyen} - EQR_{Reference/Tres Bon}$ $EQR_{Tres Bon/Bon} = 0.5EQR_{Reference/Tres Bon} + 0.5EQR_{Bon/Moyen}$ $EQR_{Moyen/mediocre} = 0.5EQR_{Bon/Moyen} + 0.5EQR_{Mediocre/Mauvais}$	

Tableau 6 : Valeurs seuils des EQR pour une réponse positive (à gauche) et négative (à droite) à l'enrichissement en nutriments.

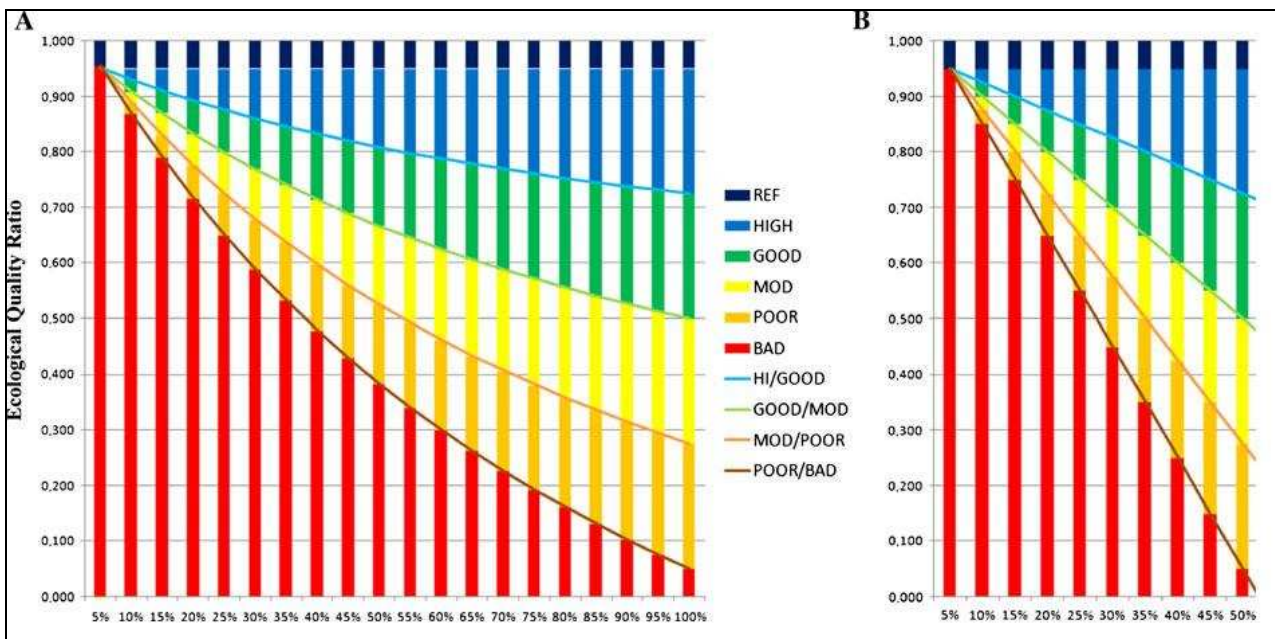


Figure 8: Illustration des frontières entre les différents classements de HEAT pour une réponse positive (A) et négative (B) à l'enrichissement en nutriments.

2 CLASSIFICATIONS SELON LES NORMES

Dans cette partie, X % des sous-régions Mer Celtique et Golfe de Gascogne correspond à X % de l'aire de ces sous-régions présente dans le domaine de calcul.

2.1 NORME DCE

Le rapport de la phase 1 de l'étude a mis en lumière une assez mauvaise représentation de l'oxygène dissous notamment le long de la côte landaise dans la sous-région marine Golfe de Gascogne. Ce paramètre n'a donc pas été évalué.

Pour la norme DCE, seuls les paramètres 'chlorophylle_a' et 'nutriments azote inorganique dissous' sont évalués. Basées sur seulement 3 années (2001-2003), les classifications présentées ne sont pas *stricto sensu* conformes aux classements DCE qui doivent normalement se faire sur un plan de gestion de 6 ans mais elles permettent d'avoir une bonne indication sur le comportement des deux paramètres suivant les différentes réductions des apports en azote et phosphore.

La méthodologie appliquée pour effectuer la classification du paramètre 'azote inorganique dissous' se basant sur une concentration normalisée à 33 de salinité, le classement a été effectué uniquement pour les mailles enregistrant un minimum de salinité au plus égal à 33 sur la période 2001-2003. La normalisation par la salinité a été effectuée sur la période de la manière suivante : en chaque maille enregistrant un minimum de salinité au plus égal à 33, la concentration en nitrate a été tracée en fonction de la salinité pour les valeurs hivernales (décembre à mars) puis la droite de régression du nuage de point obtenu a été calculée. La valeur normalisée à 33 est ensuite déduite (la Figure 9 présente les droites de régression obtenues pour 2 mailles proches de la Loire et de la Seine et les valeurs de DIN normalisées qui sont déduites).

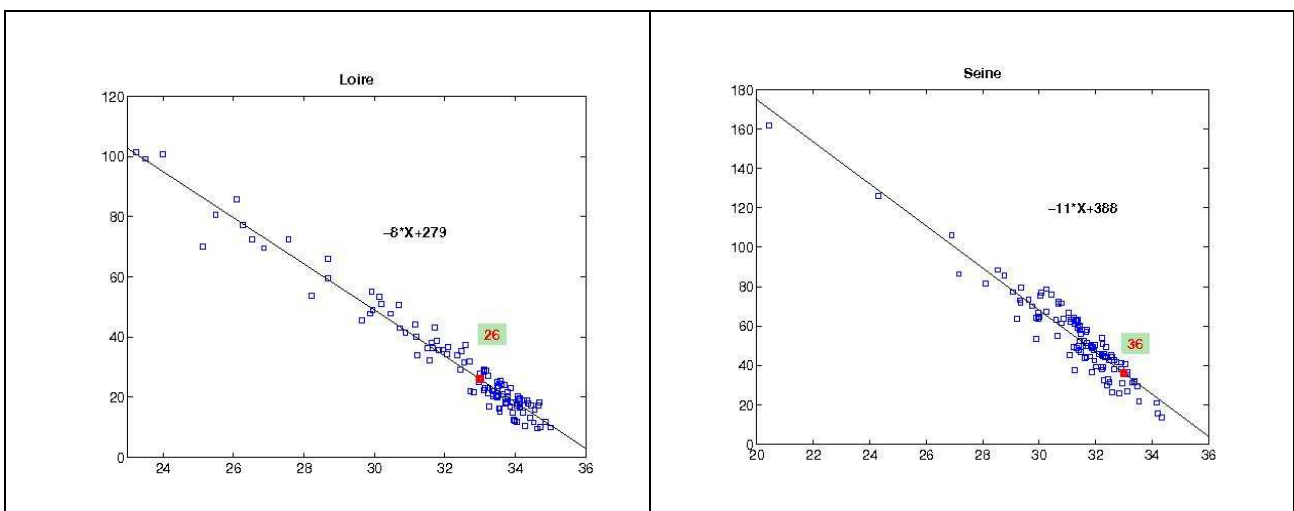


Figure 9 : Concentration en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) en fonction de la salinité dans une maille de surface proche de la Loire (à gauche) et dans une maille de surface proche de la Seine (à droite). Le point rouge correspond à la concentration en nitrate à salinité 33.

Pour le paramètre 'DIN', par souci de simplification, nous n'avons pas considérés des écotypes mais effectués les calculs maille par maille. La concentration normalisée a été calculée dans ces mailles pour les 4 simulations (*Figure 10*) et la classification sans prise en compte de l'EQR de chlorophylle a été établie (*Figure 11*). L'EQR de chlorophylle n'a pas été pris en compte dans un premier temps car pratiquement toutes les mailles auraient été classées au moins en bon état. Afin de pouvoir observer une évolution de la classification suivant l'abattement, nous avons donc modifié légèrement la classification (seul le troisième cas diffère) :

- Si la valeur normalisée de NID en une maille est inférieure à 16 $\mu\text{mol/L}$, la maille est classée en « très bon état ».
- Si la valeur normalisée de NID est comprise entre 16 et 29 $\mu\text{mol/L}$, la maille est classée en « bon état ».
- Si la valeur normalisée de NID est supérieure à 29 $\mu\text{mol/L}$, la maille est classée en « bon ou moyen état selon l'EQR de chlorophylle ».

Les mailles non évaluées (dont le minimum de salinité simulée est supérieur à 33) représentent plus de 75% de la sous-région Manche/Mer du Nord (soit plus de 33 800 km^2), plus de 80% de la sous-région Golfe de Gascogne (soit plus de 127 000 km^2) et la totalité de la sous-région Mer Celtique (*Tableau 7* et *Tableau 8*).

Pour la situation de référence, presque 24% de sous-région Manche/Mer du Nord et seulement 0,5% de la sous-région Golfe de Gascogne sont potentiellement classés en « état moyen ». Cette proportion baisse quasiment jusqu'à 0% pour un abattement de 50% des apports.

La résolution du modèle (4km) ne permet pas de voir de manière précise les zones principalement estuariennes (Baie de Vilaine, Baie de Seine, Loire) pour lesquelles certaines masses d'eaux DCE sont classées en « état moyen » du point de vue des mesures (Soudant et Belin, 2010) (*Figure 12*). Seuls 0,6% (soit 269 km^2) de la sous-région Manche/Mer du Nord et 0,1% de la sous-région Golfe de Gascogne (soit 159 km^2) sont classés en « état moyen » dans la situation de référence (*Tableau 9* et *Tableau 10*). Pour la sous-région Manche/Mer du Nord, les pourcentages passent respectivement de 0,6 à 0,4% (179 km^2) et de 0,4 à 0,25% (112 km^2) pour un abattement de 50% et 75% des apports. Pour la région Golfe de Gascogne, on passe à 0% de la zone en « état moyen » à partir d'un abattement de 50% des apports. La sous-région Mer Celtique est en « très bon état » quel que soit le scénario de réduction.

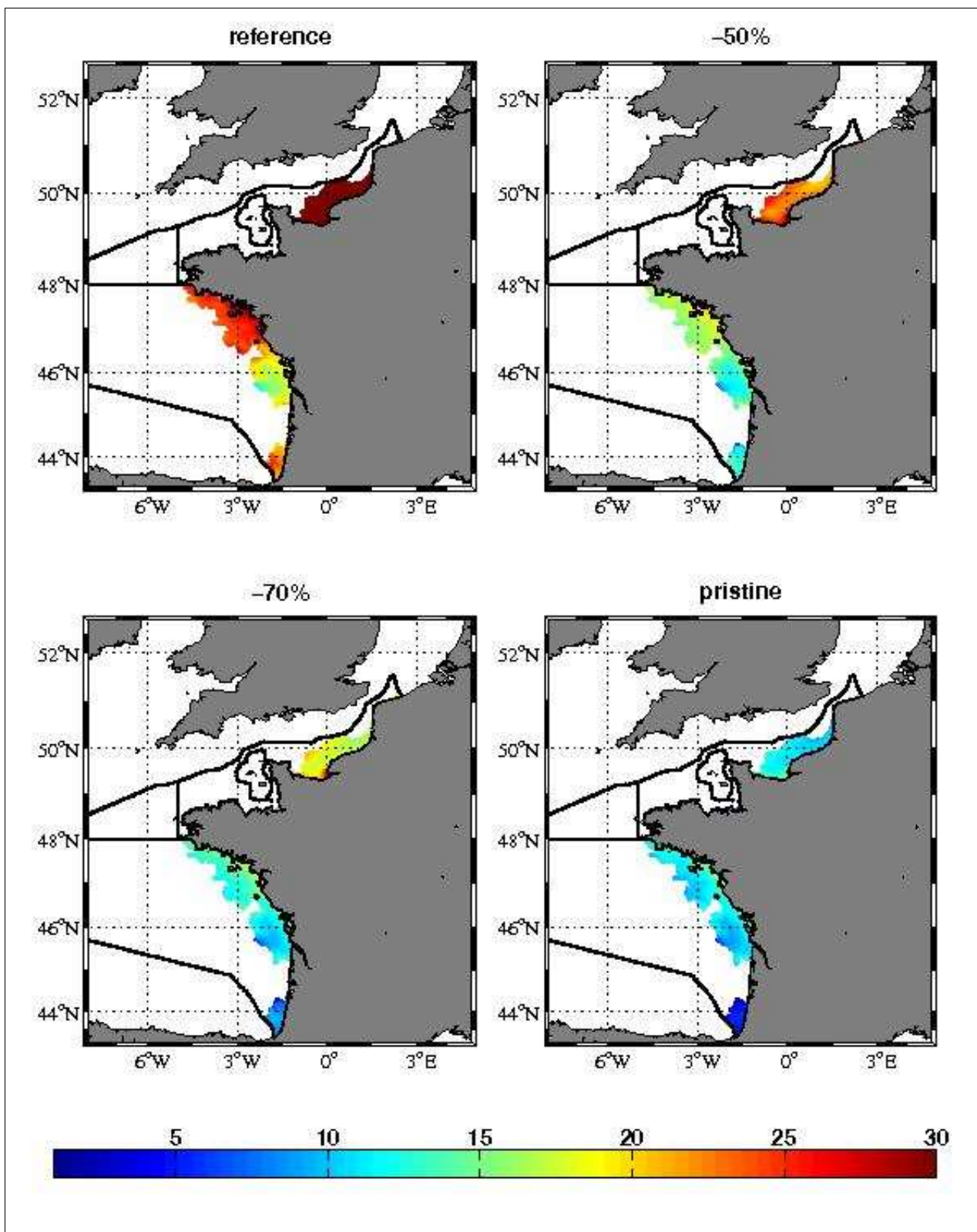


Figure 10: Concentration en azote inorganique dissous ($\mu\text{mol/L}$) normalisée à 33 de salinité.

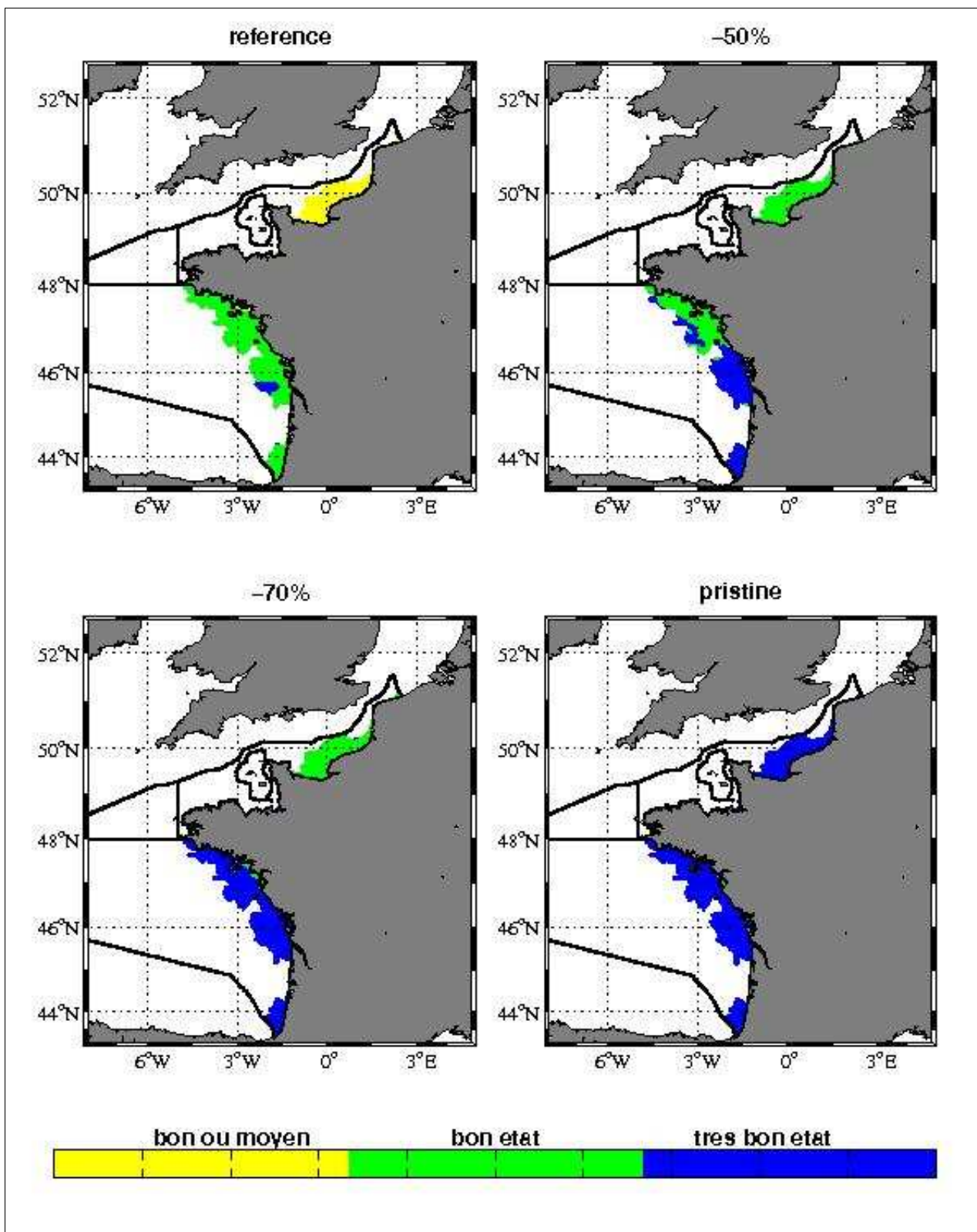


Figure 11: Classification DCE pour le paramètre azote inorganique dissous (par rapport à la valeur de DIN normalisée à 33 de salinité sur les mois de novembre à mars de la période 2001-2003).

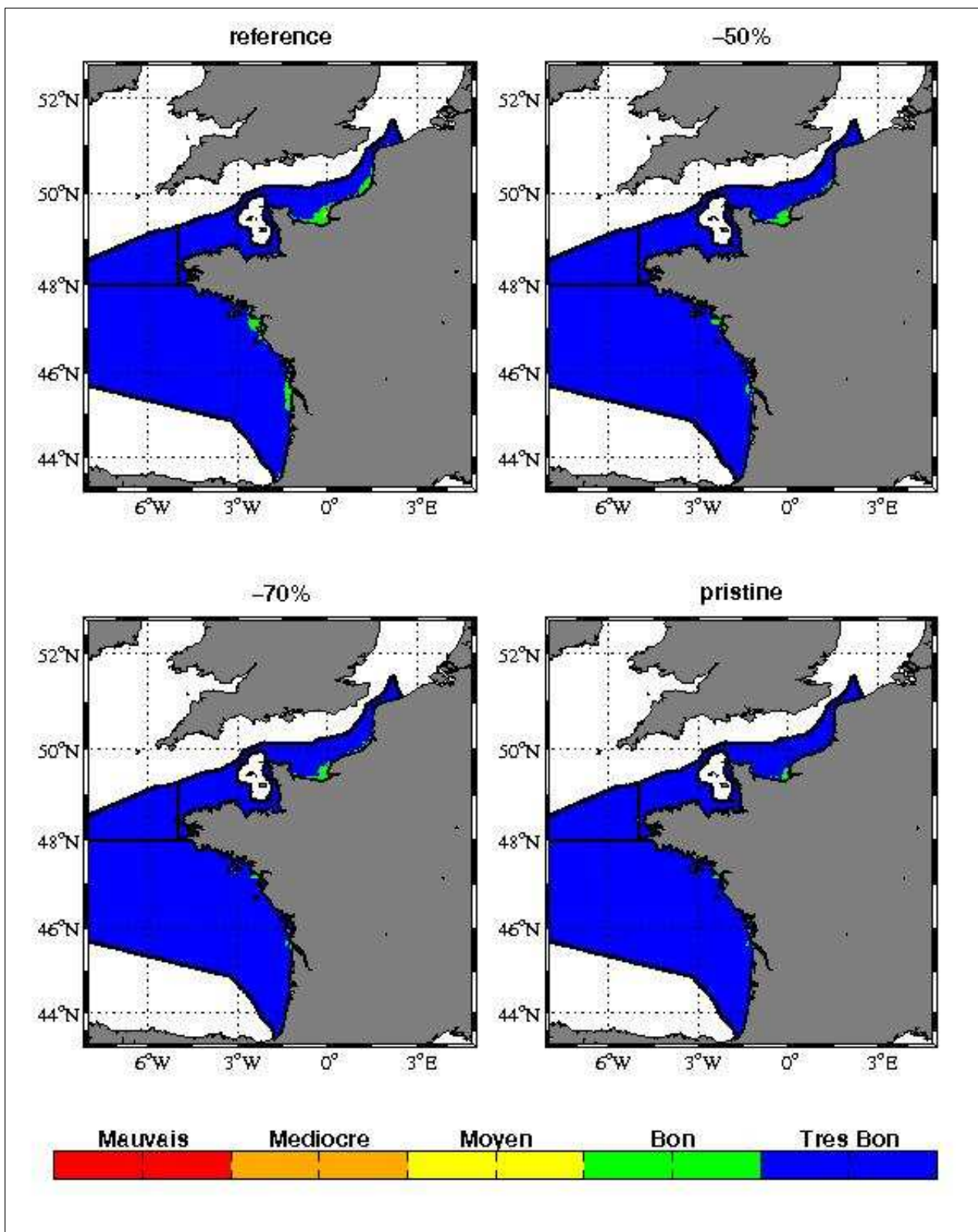


Figure 12 : Classification DCE pour le paramètre chlorophylle a (percentile 90 sur les mois de mars à octobre de la période 2001-2003).

		Manche/Mer du Nord				Mer Celtique				Golfe de Gascogne			
		Salinité min>33	Très bon	bon	Moyen ou bon	Salinité min>33	Très bon	bon	Moyen ou bon	Salinité min>33	Très bon	bon	Moyen ou bon
réf	DIN	75,5	0,3	0,4	23,8	100	0	0	0	80,5	1	18	0,5
-50%	DIN	75,5	0,5	23	1	100	0	0	0	80,5	11	8,5	0
-70%	DIN	75,5	1,2	23	0,3	100	0	0	0	80,5	18,5	1	0
pristine	DIN	75,5	24	0,5	0	100	0	0	0	80,5	19	0,5	0

Tableau 7 : Aire relative (%) des différentes classes de qualité de la norme DCE pour le paramètre DIN sur les sous-régions marines Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

		Manche/Mer du Nord				Mer Celtique				Golfe de Gascogne			
		Salinité min>33	Très bon	bon	Moyen ou bon	Salinité min>33	Très bon	bon	Moyen ou bon	Salinité min>33	Très bon	bon	Moyen ou bon
réf	DIN	33872	135	179	10678	25024	0	0	0	127731	1587	28561	793
-50%	DIN	33872	224	10319	449	25024	0	0	0	127731	17454	13487	0
-70%	DIN	33872	538	10319	135	25024	0	0	0	127731	29354	1587	0
pristine	DIN	33872	10767	224	0	25024	0	0	0	127731	30148	793	0

Tableau 8 : Aire absolue (km²) des différentes classes de qualité de la norme DCE pour le paramètre DIN sur les sous-régions marines Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

		Manche/Mer du Nord					Mer Celtique					Golfe de Gascogne				
		Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
réf	Chl_a	90,9	8,5	0,6	0	0	100	0	0	0	0	97	2,8	0,1	0	0
-50%	Chl_a	93,9	5,7	0,4	0	0	100	0	0	0	0	98,5	1,5	0	0	0
-70%	Chl_a	94,75	5	0,25	0	0	100	0	0	0	0	99	1	0	0	0
pristine	Chl_a	98	2	0	0	0	100	0	0	0	0	99,3	0,7	0	0	0

Tableau 9 : Aire relative (%) des différentes classes de qualité de la norme DCE pour le paramètre chlorophylle a sur les sous-régions marines Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

		Manche/Mer du Nord					Mer Celtique					Golfe de Gascogne				
		Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
réf	Chl_a	40781	3813	269	0	0	25024	0	0	0	0	153912	4443	159	0	0
-50%	Chl_a	42127	2557	179	0	0	25024	0	0	0	0	156292	2380	0	0	0
-70%	Chl_a	42509	2243	112	0	0	25024	0	0	0	0	157085	1587	0	0	0
pristine	Chl_a	43967	897	0	0	0	25024	0	0	0	0	157561	1111	0	0	0

Tableau 10 : Aire absolue (km²) des différentes classes de qualité de la norme DCE pour le paramètre chlorophylle a sur les sous-régions marines Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

2.2 NORME OSPAR

Les paramètres 'azote inorganique dissous (DIN)', 'phosphore inorganique dissous (DIP)', rapport N/P des formes inorganiques dissoutes et chlorophylle (moyenne et maximum) ont été évalués. Trois classes sont considérées : zones sans problèmes (NPA), zones à problèmes potentiels (PPA) et zones à problèmes (PA). Le *Tableau 11* et le *Tableau 12* présentent respectivement les aires relatives et absolues des différentes classes de qualité suivant les scénarios de réduction.

La première conclusion est que la totalité de la sous-région Mer Celtique est classée en « zone sans problème » quel que soit le paramètre considéré.

En situation de référence, 36% de la sous-région Manche/Mer du Nord (plus de 16 000 km²) et 16% de la sous-région Golfe de Gascogne (plus de 25 000 km²) sont classés au mieux en « zones à problèmes potentiels » pour le paramètre DIN. Ces valeurs baissent respectivement jusqu'à environ 21% (9 500 km²) et 10% (15 000 km²) pour un abattement des apports de 50% ; 15% (7 000 km²) et 7% (10 500 km²) pour un abattement des apports de 70% et environ 5% (2000 km² et 8 500 km²) pour les deux sous-régions pour un retour à des teneurs pristines pour le nitrate et l'ammonium. Les zones sensibles seraient toujours la Baie de Seine pour la sous-région Manche/Mer du Nord et la zone Loire/Vilaine pour la sous-région Golfe de Gascogne (*Figure 13*).

Les abattements ont un effet plus rapide pour le paramètre DIP (*Figure 14*). La classification en situation de référence montre déjà que la surface représentant au mieux des zones à « problèmes potentiels » est relativement réduite : 7,5% (3000 km² principalement devant la Seine) pour la sous-région Manche/Mer du Nord et 2% (4000 km² dans la zone Loire/Vilaine et au niveau de l'Adour) pour la sous-région Golfe de Gascogne. Dès 50% d'abattement, seuls 4,5% de la sous-région Manche/Mer du Nord (2000 km²) et 1% (1500 km²) de la sous-région Golfe de Gascogne demeurent en « problèmes potentiels ». La proportion descend à 3% et 0,5% pour un abattement de 70% jusqu'à atteindre 1,5% et 0,4 % pour des teneurs pristines.

Pour le rapport N/P des formes inorganiques dissoutes, l'évolution des aires classées au mieux en « problèmes potentiels » est similaire à celle des aires générées pour le paramètre DIN (*Figure 15*). En situation de référence, la classification « problèmes potentiels » ou « problèmes » concerne 28% de la sous-région Manche/Mer du Nord (12 500 km²) et 17% (27 000 km²) de la sous-région Golfe de Gascogne. L'effet est sensible dès 50% d'abattement et s'accroît avec 70% de réduction des apports (respectivement 16,5% et 10,5% pour la sous-région Manche/Mer du Nord ; 11% et 7% pour la sous-région Golfe de Gascogne). Avec un retour à des teneurs pristines, seuls 0,8% (estuaire de la Seine) de la sous-zone Manche/mer du Nord et 4% de la sous-région Golfe de Gascogne (zone Loire/Vilaine) pourraient être concernés par un mauvais état.

Le paramètre 'chlorophylle a' est considéré en fonction de sa moyenne sur la période productive (mars à octobre) (*Figure 16*) et de son maximum atteint durant cette même période (*Figure 17*). De la même manière que les précédents paramètres, l'évolution des aires classées au mieux en « problèmes potentiels » en ce qui concerne la moyenne ou le maximum de chlorophylle est plus ou moins graduelle. La proportion des aires classées au mieux en

« problèmes potentiels » passe d'environ 12% (5000 km²) en situation de référence à 3,5% (1600 km²) en situation pristine pour la sous-région Manche/mer du Nord ; d'environ 4% (6 000 km²) à 1% (1500 km²) pour la sous-région Golfe de Gascogne.

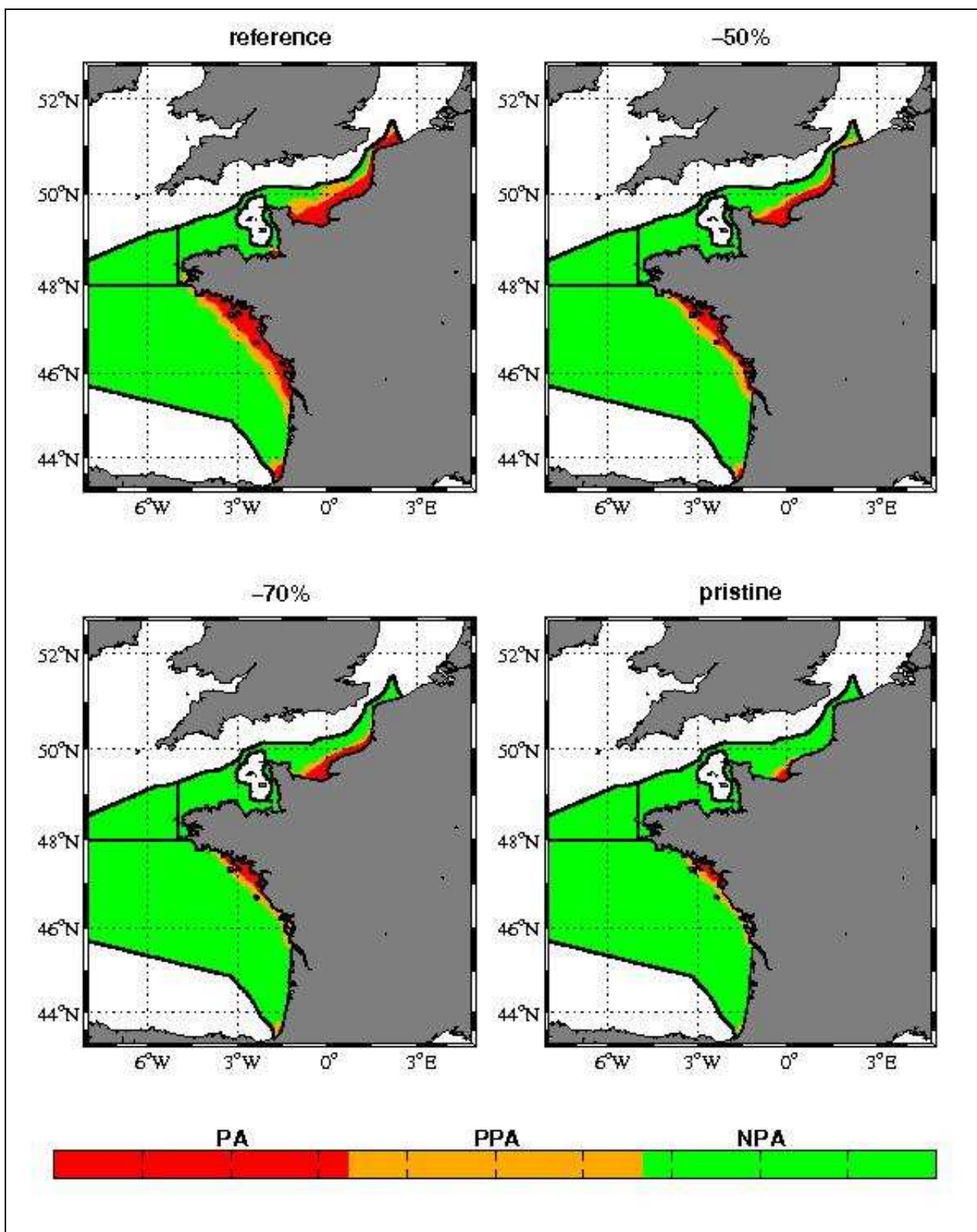


Figure 13 : Classification OSPAR pour le paramètre azote inorganique dissous (DIN) (mois de janvier et février de la période 2001-2003).

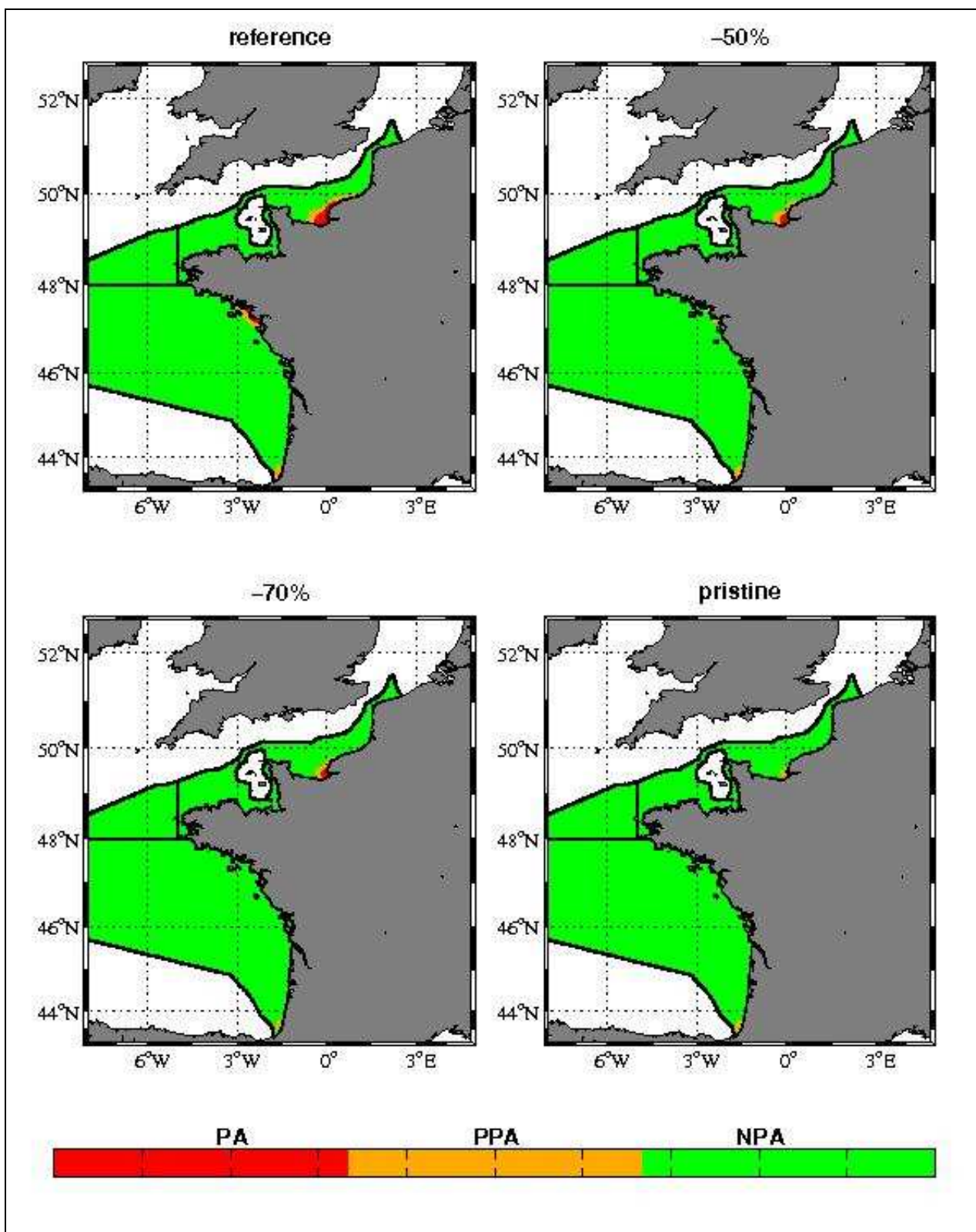


Figure 14: Classification OSPAR pour le paramètre phosphore inorganique dissous (DIP) (mois de janvier et février de la période 2001-2003).

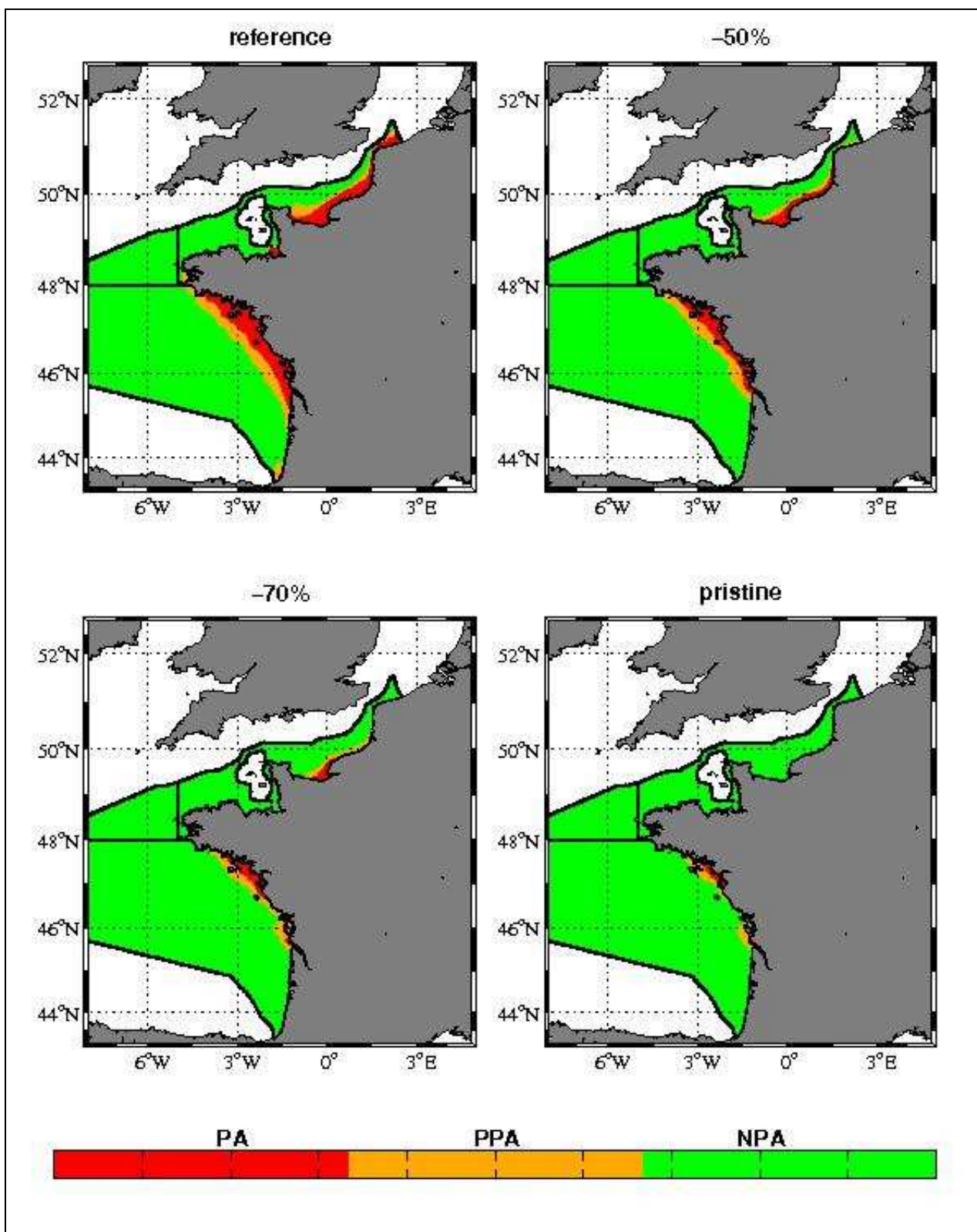


Figure 15: Classification OSPAR pour le paramètre rapport N/P des formes inorganiques dissoutes (mois de janvier et février de la période 2001-2003).

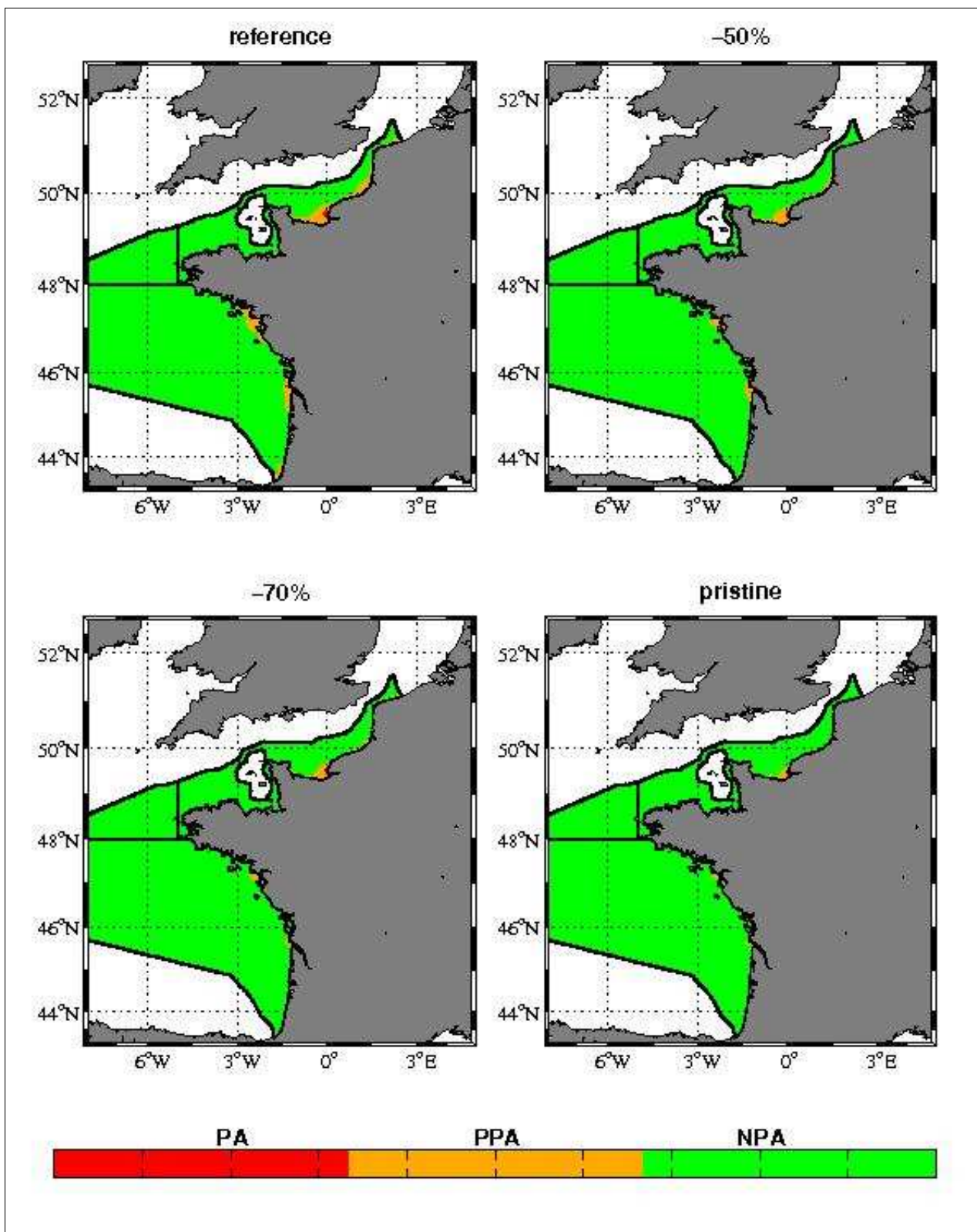


Figure 16: Classification OSPAR pour le paramètre chlorophylle a (valeur moyenne sur les mois de mars à octobre de la période 2001-2003).

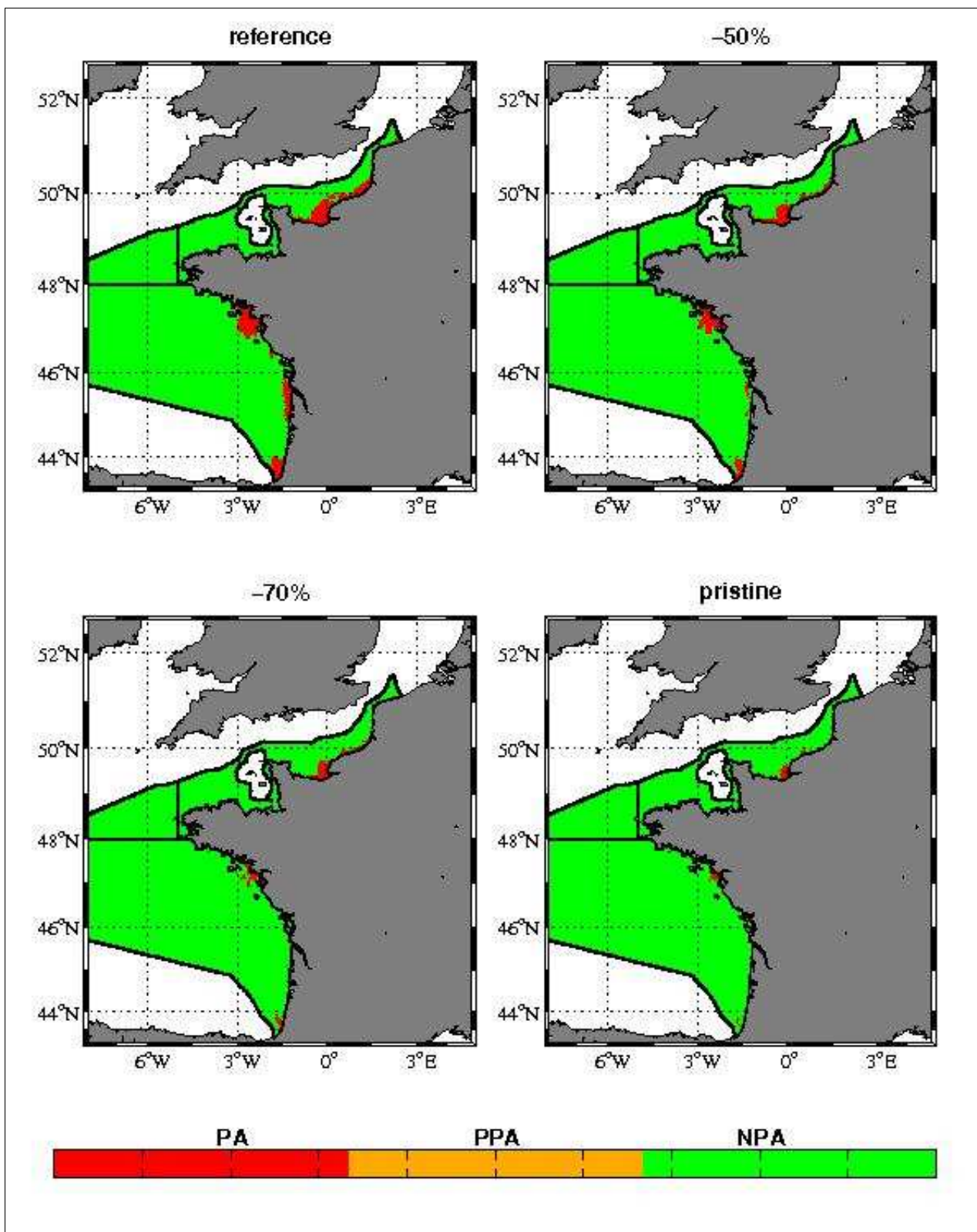


Figure 17: Classification OSPAR pour le paramètre chlorophylle a (valeur max sur les mois de mars à octobre de la période 2001-2003).

	Etat	Manche/Mer du Nord			Mer Celtique			Golfe de Gascogne		
		NPA	PPA	PA	NPA	PPA	PA	NPA	PPA	PA
référence	DIN	64,5	13,5	22,5	100	0	0	84	7	9
	DIP	92,5	4	3,5	100	0	0	98	1,5	0,5
	N/P	72	9	19	100	0	0	83	7,5	9,5
	Chl_a mean	88	11	1	100	0	0	96	3,8	0,2
	Chl_a max	87		13	100		0	94		6
- 50%	DIN	78,5	7,5	14	100	0	0	89,5	5	5,5
	DIP	95,5	2,5	2	100	0	0	99	0,7	0,3
	N/P	83,5	7	9,5	100	0	0	89	5	6
	Chl_a mean	91,5	8	0,5	100	0	0	97,9	2	0,1
	Chl_a max	91		9	100		0	96,5		3,5
-70%	DIN	84,5	5,5	10	100	0	0	93	4	3
	DIP	97	2	1	100	0	0	99,5	0,4	0,1
	N/P	89,5	6	4,5	100	0	0	93	4,5	2,5
	Chl_a mean	93	6,5	0,5	100	0	0	98,7	1,3	0
	Chl_a max									







	Chl_a max	92,5		7,5	100		0	98		2
pristine	DIN	95,5	2,5	2,5	100	0	0	94,5	3,5	2
	DIP	98,5	1	0,5	100	0	0	99,6	0,3	0,1
	N/P	99,2	0,7	0,1	100	0	0	95,5	2,5	1,5
	Chl_a mean	96,3	3,6	0,1	100	0	0	99	1	0
	Chl_a max	96		4	100		0	99		1

Tableau 11 : Aire relative (%) des différentes classes de qualité de la norme OSPAR sur les sous-régions marines Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

	Etat	Manche/Mer du Nord			Mer Celtique			Golfe de Gascogne		
		NPA	PPA	PA	NPA	PPA	PA	NPA	PPA	PA
référence	DIN	28937	6057	10094	25024	0	0	133284	11107	14280
	DIP	41499	1795	1570	25024	0	0	155499	2380	793
	N/P	32302	4038	8524	25024	0	0	131698	11900	15074
	Chl_a mean	39480	4935	449	25024	0	0	152325	6030	317
	Chl_a max	39032		5832	25024		0	149152		9520
- 50%	DIN	35218	3365	6281	25024	0	0	142011	7934	8727
	DIP	42845	1122	897	25024	0	0	157085	1111	476
	N/P	37461	3140	4262	25024	0	0	141218	7934	9520
	Chl_a mean	41051	3589	224	25024	0	0	155340	3173	159
	Chl_a max	40826		4038	25024		0	153118		5554
-70%	DIN	37910	2468	4486	25024	0	0	147565	6347	4760
	DIP	43518	897	449	25024	0	0	157879	635	159
	N/P	40153	2692	2019	25024	0	0	147565	7140	3967
	Chl_a mean	41724	2916	224	25024	0	0	156609	2063	0
	Chl_a max									

	Chl_a max	41499		3365	25024		0	155499		3173
pristine	DIN	42845	1122	1122	25024	0	0	149945	5554	3173
	DIP	44191	449	224	25024	0	0	158037	476	159
	N/P	44505	314	45	25024	0	0	151532	3967	2380
	Chl_a mean	43204	1615	45	25024	0	0	157085	1587	0
	Chl_a max	43069		1795	25024		0	157085		1587

Tableau 12 : Aire absolue (km²) des différentes classes de qualité de la norme OSPAR sur les sous-régions marines Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

2.3 NORME HELCOM (HEAT)

Les paramètres 'azote inorganique dissous (DIN)', 'phosphore inorganique dissous (DIP)', rapport N/P des formes inorganiques dissoutes et chlorophylle ont été évalués. Le *Tableau 13* et le *Tableau 14* présentent respectivement les aires relatives et absolues des différentes classes de qualité suivant les scénarios de réduction.

Comme pour la norme OSPAR, la Mer Celtique est classée en « très bon état » quel que soit le paramètre considéré.

Pour tous les paramètres évalués, la frontière entre « très bon état » et « bon état » est quasiment similaire à la frontière entre « sans problèmes » et « problèmes potentiels » de la norme OSPAR. Seule la décomposition des zones est différente, la grille de la norme HELCOM présentant plus de niveaux que celle de la norme OSPAR. La norme HELCOM est donc a priori plus permissive que la norme OSPAR.

Pour le paramètre DIN (*Figure 18*), en situation de référence environ 26% de la sous-région Manche/Mer du Nord et 9% de la sous-région Golfe de Gascogne sont classés au mieux en « état moyen ». Cette proportion atteint 13,5% et 5,5% pour un abattement de 50% des apports et 9,5% et 3% pour un abattement de 70% des apports. Il faut revenir à des teneurs pristines pour atteindre 2% de la sous-région Manche/Mer du Nord et 2% de la sous-région Golfe de Gascogne au mieux en « état moyen ».

Pour le paramètre DIP (*Figure 19*), seuls 2,5% de la sous-région Manche/Mer du Nord et 0,6% de la sous-région Golfe de Gascogne sont classés au mieux en « état moyen » en situation de référence. Dès 50% de réduction des apports, cette proportion descend à 1,5% pour la sous-région Manche/Mer du Nord et 0,3% pour la sous-région Golfe de Gascogne, pour atteindre 0,8% et 0,15% pour une réduction de 70% des apports.

En situation de référence, 19% de la sous-région Manche/Mer du Nord et 10% de la sous-région Golfe de Gascogne sont classés au mieux en « état moyen » pour le paramètre rapport N/P (*Figure 20*). Cette proportion est presque divisée par 2 pour un abattement de 50% des apports et par 5 pour un abattement de 70%. Un retour à des teneurs pristines classerait presque totalement en « bon état » ou « très bon état » la sous-région Manche/Mer du Nord (seuls 0,25% en « état moyen »). Seuls 1,5% de la sous-région Golfe de Gascogne seraient en « état moyen ».

Pour le paramètre 'chlorophylle' (*Figure 21*), une réduction de 70% des apports classerait la sous-région Golfe de Gascogne en « bon état ». Seuls 0,8% de la sous-région Manche/Mer du Nord ne serait pas au moins en « bon état ». Un retour à des teneurs pristines mettrait toute la zone en « bon état ». Toutefois, le choix de la période d'évaluation de ce paramètre (juin à septembre) ne semble pas adapté à notre zone d'étude où les blooms se déroulent majoritairement entre début avril et mi-mai (en dehors des zones très estuariennes peu limitées en nutriments).

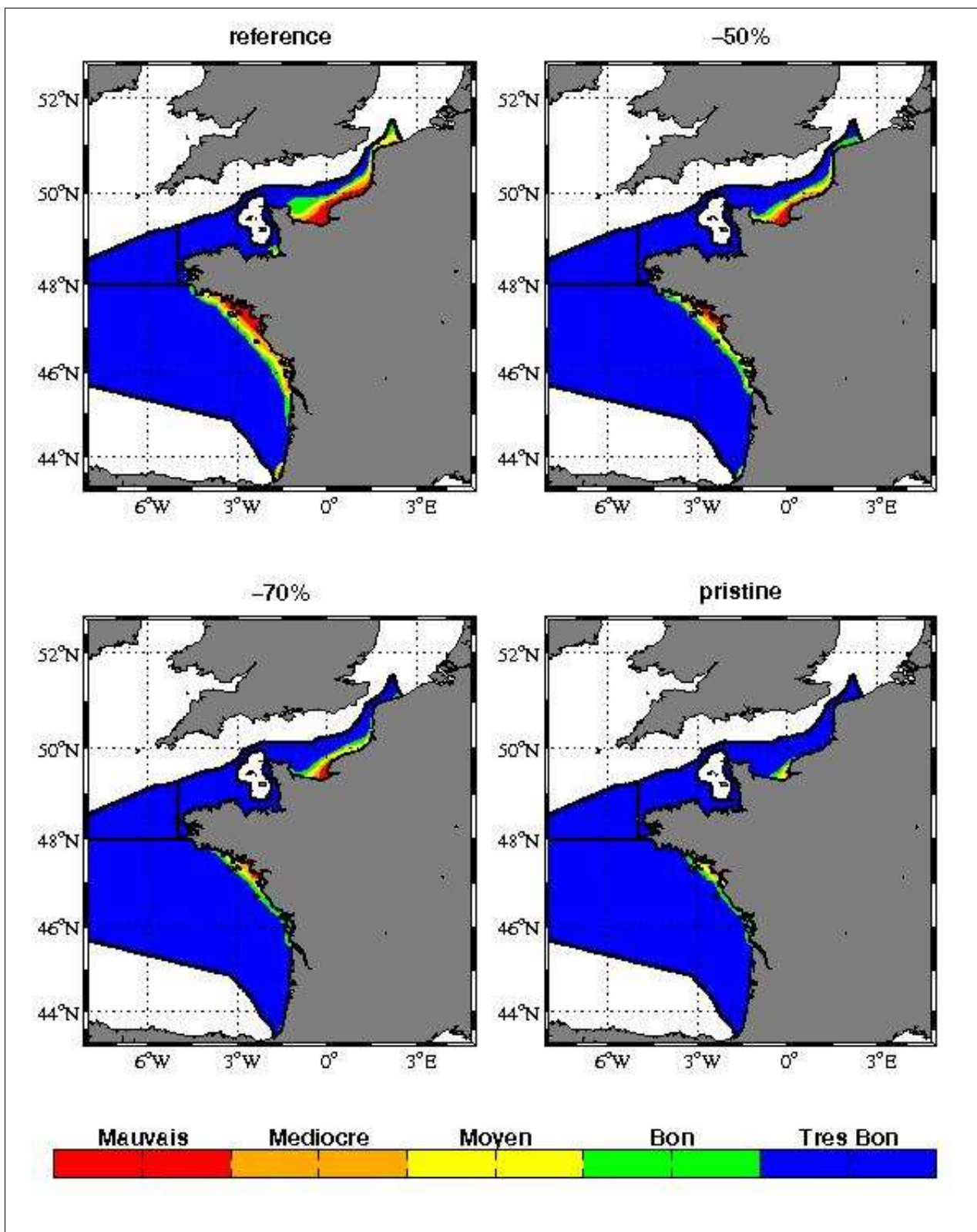


Figure 18: Classification HELCOM pour le paramètre azote inorganique dissous (DIN) (mois de décembre à mars de la période 2001-2003).

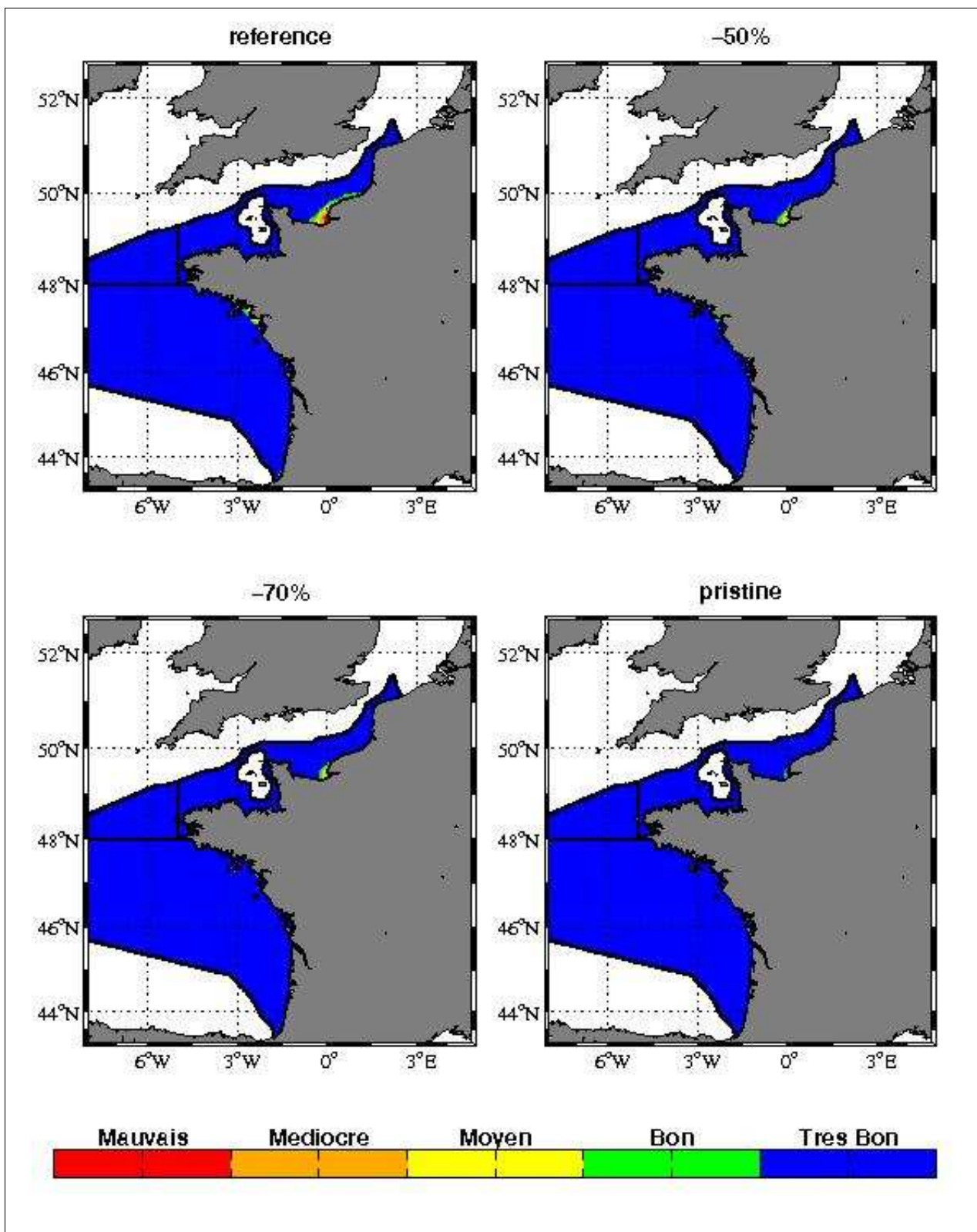


Figure 19: Classification HELCOM pour le paramètre phosphore inorganique dissous (DIP) (mois de décembre à mars de la période 2001-2003).

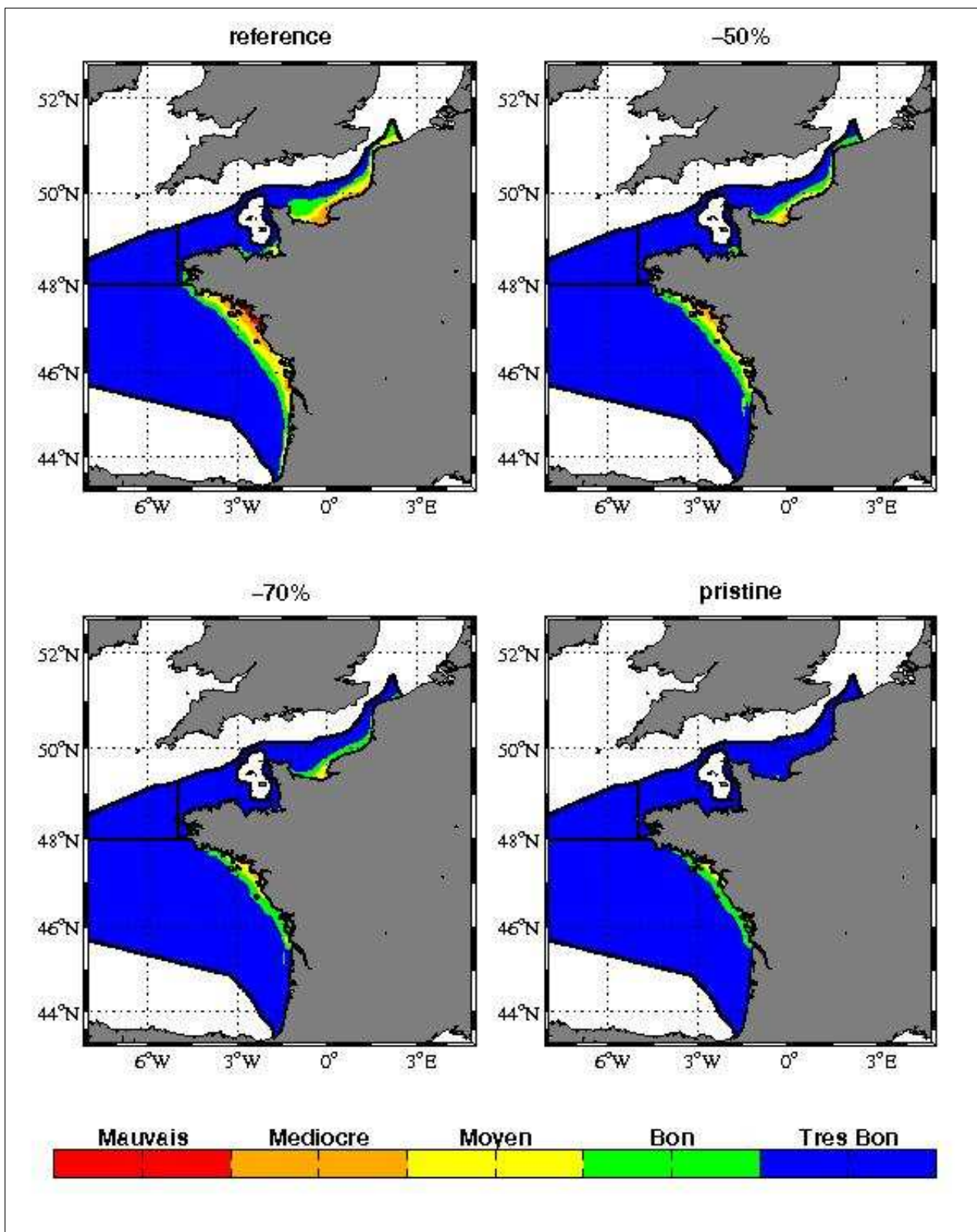


Figure 20: Classification HELCOM pour le paramètre rapport N/P des formes inorganiques dissoutes (mois de décembre à mars de la période 2001-2003).

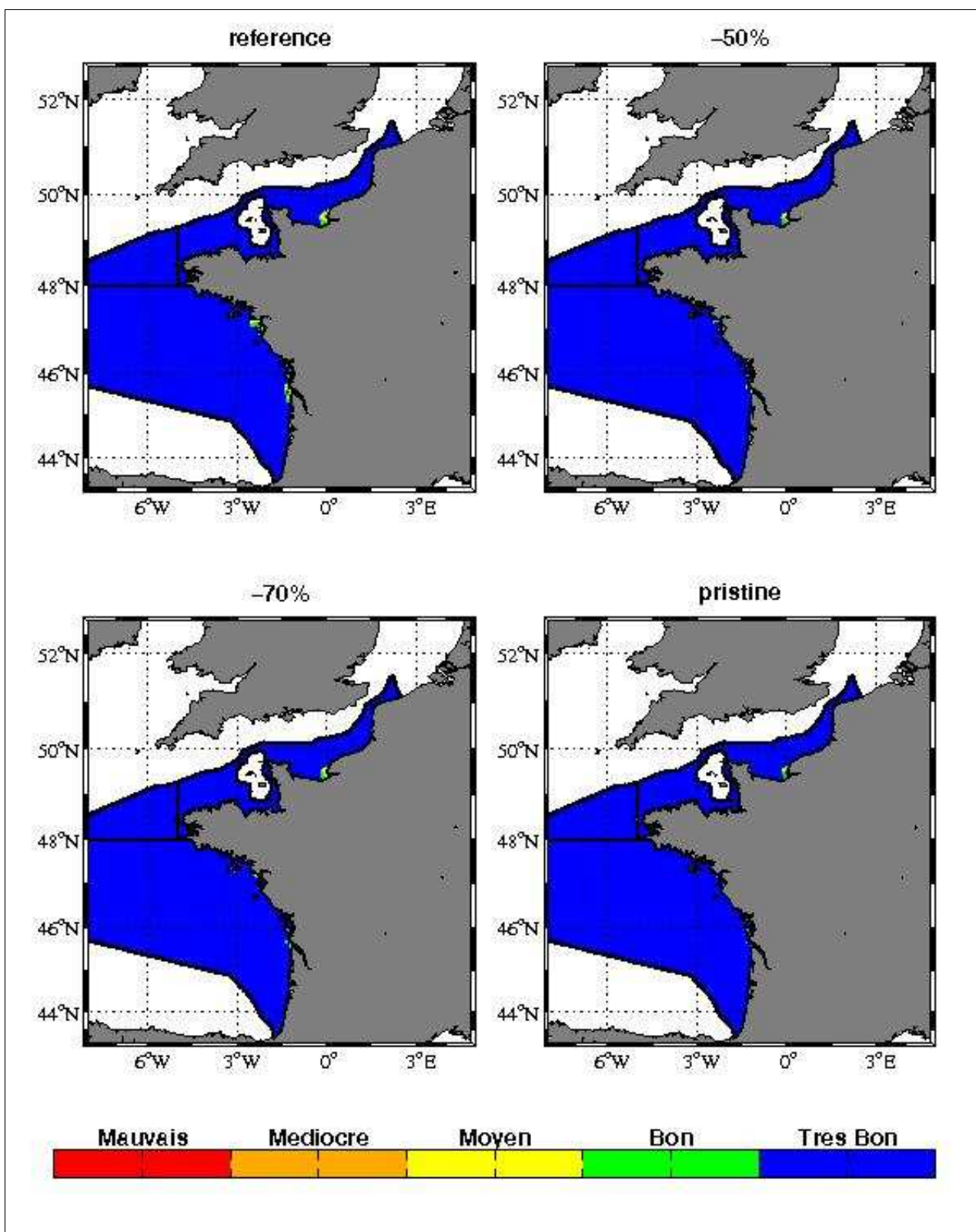


Figure 21: Classification HELCOM pour le paramètre chlorophylle a (mois de juin à septembre de la période 2001-2003).

		Manche/Mer du Nord					Mer Celtique					Golfe de Gascogne				
		Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
référence	DIN	68	9,5	7,5	6	9	100	0	0	0	0	88,5	3	2,5	3,5	2,5
	DIP	94	2,5	1,5	1	1	100	0	0	0	0	98,8	0,6	0,3	0,2	0,1
	N/P	66	15	12	6	1	100	0	0	0	0	85,5	4,5	5,5	3	1,5
	Chl_a	97,5	1	1	0,5	0	100	0	0	0	0	98,25	1	0,5	0,25	0
- 50%	DIN	80	6,5	5,5	4,5	3,5	100	0	0	0	0	92,5	2	3	1	1,5
	DIP	97,25	1,25	0,7	0,5	0,3	100	0	0	0	0	99,5	0,2	0,1	0,1	0,1
	N/P	80	10,5	7,25	2	0,25	100	0	0	0	0	90	4	4	1,5	0,5
	Chl_a	98,25	0,75	0,5	0,5	0	100	0	0	0	0	99,25	0,5	0,25	0	0
-70%	DIN	85,5	5	5,5	2	2	100	0	0	0	0	94	3	1,5	1	0,5
	DIP	98	1	0,5	0,3	0,2	100	0	0	0	0	99,75	0,1	0,1	0,05	0
	N/P	86,5	9,25	3,5	0,5	0,25	100	0	0	0	0	92,5	4,75	2	0,5	0,25
	Chl_a	98,5	0,7	0,5	0,3	0	100	0	0	0	0	99,5	0,5	0	0	0

pristine	DIN	96	1,8	1,3	0,7	0,2	100	0	0	0	0	95,5	2,5	1,25	0,5	0,25
	DIP	99	0,5	0,3	0,2	0	100	0	0	0	0	99,8	0,1	0,1	0	0
	N/P	98,5	1,25	0,25	0	0	100	0	0	0	0	94	4,5	1,25	0	0,25
	Chl_a	99	1	0	0	0	100	0	0	0	0	99,5	0,5	0	0	0

Tableau 13 : Aire relative (%) des différentes classes de qualité de la norme HELCOM (HEAT) sur les sous-zones Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

		Manche/Mer du Nord					Mer Celtique					Golfe de Gascogne				
		Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très bon	bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
référence	DIN	30508	4262	3365	2692	4038	25024	0	0	0	0	140425	4760	3967	5554	3967
	DIP	42172	1122	673	449	449	25024	0	0	0	0	156768	952	476	317	159
	N/P	29610	6730	5384	2692	449	25024	0	0	0	0	135665	7140	8727	4760	2380
	Chl_a	43742	449	449	224	0	25024	0	0	0	0	155895	1587	793	397	0
- 50%	DIN	35891	2916	2468	2019	1570	25024	0	0	0	0	146772	3173	4760	1587	2380
	DIP	43630	561	314	224	135	25024	0	0	0	0	157879	317	159	159	159
	N/P	35891	4711	3253	897	112	25024	0	0	0	0	142805	6347	6347	2380	793
	Chl_a	44079	336	224	224	0	25024	0	0	0	0	157482	793	397	0	0

-70%	DIN	38359	2243	2468	897	897	25024	0	0	0	0	149152	4760	2380	1587	793
	DIP	43967	449	224	135	90	25024	0	0	0	0	158275	159	159	79	0
	N/P	38807	4150	1570	224	112	25024	0	0	0	0	146772	7537	3173	793	397
	Chl_a	44191	314	224	135	0	25024	0	0	0	0	157879	793	0	0	0
pristine	DIN	43069	808	583	314	90	25024	0	0	0	0	151532	3967	1983	793	397
	DIP	44415	224	135	90	0	25024	0	0	0	0	158355	159	159	0	0
	N/P	44191	561	112	0	0	25024	0	0	0	0	149152	7140	1983	0	397
	Chl_a	44415	449	0	0	0	25024	0	0	0	0	157879	793	0	0	0

Tableau 14 : Aire absolue (km²) des différentes classes de qualité de la norme HELCOM (HEAT) sur les sous-zones Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios.

CONCLUSION

Les normes DCE, OSPAR et HELCOM ont été appliquées à l'emprise MANGA (Manche/Golfe de Gascogne : résolution 4km) sur la période 2001-2003 pour 4 simulations : une simulation de référence avec les rejets réalistes, deux simulations avec respectivement 50% et 70% d'abattement des apports en nitrate et phosphate et une quatrième simulation avec des teneurs pristines (proches des valeurs naturelles) pour le nitrate, le phosphate et l'ammonium. Les paramètres évalués ont été l'azote inorganique dissous (DIN), le phosphore inorganique dissous (DIP), le rapport N/P des formes inorganiques dissoutes et la chlorophylle.

Pour chacune de ces normes, les cartes des diverses classes de qualité ont été établies. L'aire respective qu'elles couvrent dans chaque sous-région, en valeurs absolue (km²) et relative (%) a été calculée.

La norme DCE ne permet pas une évaluation de tous les paramètres (seulement chlorophylle, oxygène dissous et nitrate). Les normes OSPAR et HELCOM sont très similaires et sont basées sur l'atteinte d'un état actuel ayant une déviation acceptable par rapport à un état de référence. Elles permettent d'évaluer l'ensemble des paramètres ciblés dans cette étude. Le *Tableau 15* regroupe les aires relatives des seuls paramètres les plus déclassants, quel que soit la norme utilisée (DCE, OSPAR, HELCOM), ceci pour chacun des quatre scénarios.

Quelle que soit la norme considérée, plusieurs constats apparaissent :

- **La sous-région marine Mer Celtique est en bon état écologique pour tous les paramètres évalués.**
- **Un abattement de 50% des apports a un effet sensible sur les différentes classifications mais un retour à un bon état écologique de la totalité des sous-régions Manche/Mer du Nord et Golfe de Gascogne pour les paramètres évalués passerait obligatoirement par une réduction d'au moins 70% des apports en nitrate et phosphate.**
- **La norme OSPAR serait potentiellement la plus déclassante à cause de son nombre de niveaux de qualité plus restreint.**
- **Les paramètres DIN et rapport N/P seraient les plus déclassants.**

Ces résultats donnent les grandes tendances de l'évolution de l'état actuel vers le BEE (bon état écologique) suivant différents scénarios de réduction. Pour autant, la dynamique des zones estuariennes, les plus susceptibles d'être classées en mauvais état, est certainement mal représentée avec une résolution de 4km. Une utilisation de modèles à résolution plus fine (mailles de côté inférieur à 800m), qui existe déjà à l'Ifremer, serait nécessaire afin d'évaluer de manière plus précise les zones dont l'état est susceptible d'être amélioré (notamment la zone Loire/Vilaine, l'estuaire de la Seine).

	Norme la plus déclassante	Paramètre le plus déclassant	Manche/Mer du Nord (1)		Mer Celtique (2)		Golfe de Gascogne (3)	
			atteint le BEE	n'atteint pas le BEE	atteint le BEE	n'atteint pas le BEE	atteint le BEE	n'atteint pas le BEE
référence	OSPAR	DIN (1) N/P (3)	64,5	35,5			84	16
- 50%	OSPAR	DIN	78,5	21,5			89,5	10,5
-70%	OSPAR	DIN (1) N/P (3)	84,5	15,5			93	7
pristine	OSPAR	DIN	95	5			94,5	5,5

Tableau 15 : Aire relative (%) des différentes classes de qualité dans le cas le plus déclassant sur les sous-régions Manche/Mer du Nord, Mer Celtique et Golfe de Gascogne pour la simulation de référence et pour les différents scénarios. L'atteinte du BEE correspond aux classifications « très bon état », « bon état » des normes DCE et HELCOM et à la classification « zone sans problèmes » de la norme OSPAR. La non atteinte du BEE correspond aux classifications « mauvais état », « état médiocre » et « état moyen » des normes DCE et HELCOM et aux classifications « zones à problèmes potentiels » et « zones à problèmes » de la norme OSPAR.

REFERENCES

- Andersen, J.H., Axe, P., Backer, H., Carstensen, J., Claussen, U., Fleming-Lehtinen, V., Jarvinen, M., Kaartokallio, H., Knuuttila, S., Korpinen, S, Kubiliute, A., Laamanen, M., Lysiak-Pastuszek, E, Martin, G., Murray, C., Møhlenberg, F., Nausch, G., Norkko, A., Villnas, A., 2010. Getting the measure of eutrophication in the Baltic Sea: towards improved assessment principles and methods. *Biogeochemistry*.
- Circulaire DCE 2007/20 du 5 mars 2007 relative à la constitution et la mise en oeuvre du programme de surveillance pour les eaux littorales en application de la directive 2000/60/CE.
- Daniel, A., Soudant, D., 2009. Évaluation DCE - Élément de qualité : bilan d'oxygène 2003-2008. R.INT.DIR/DYNECO/PELAGOS/09.02, 74 p.
- Daniel, A., Soudant, D., 2010. Évaluation DCE - Élément de qualité : nutriments. R.INT.DIR/DYNECO/PELAGOS/10.03, 109 p.
- Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement Européen et du Conseil, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
- HELCOM, 2009, Eutrophication in the Baltic Sea – an integrated assessment of the effects of nutrient enrichment in the Baltic Sea region. *Balt. Sea Environ. Proc.* 115B, p. 1-152.
- Lenhart H.-J., Mills D.K., Baretta-Bekker H., van Leeuwen S.M., van der Molen J., Baretta J.W., Blaas M., Desmit X., Kühn W., Lacroix G., Los H.J., Ménesguen A., Neves R., Proctor R., Ruardij P., Skogen M.D., Vanhoutte-Brunier A., Villars M.T., Wakelin S.L., 2010. Predicting the consequences of nutrient reduction on the eutrophication status of the North Sea. *J. Mar. Sys.*, 81, 148-170.
- Meybeck, M., 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, 282 401-450.
- Meybeck, M., Helmer, R., 1989. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 75 (1989): 283-309.
- OSPAR Commission, 2005. Synergies in assessment and monitoring between OSPAR and the European Union, Volume I. OSPAR Assessment and Monitoring Series, publication 230/2005. Commission OSPAR, Londres.
- OSPAR Commission, 2009. Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. Second OSPAR Integrated Report. Eutrophication Series. Publication Number: 372/2008.
- Soudant, D., Belin, C., 2010. Évaluation DCE - Élément de qualité : phytoplancton/Période 2003-2008. R.INT.DIR/DYNECO/VIGIES/10-03/DS, 199 p.