

2011 – Domaine IV - Action XXXX



Classement DCE des masses d'eau côtières et de transition des bassins Loire-Bretagne et Seine-Normandie

**Élément de qualité biologique
macroalgues de bloom**

Rapport final

Nadège ROSSI (CEVA)

Décembre 2011



- **AUTEURS**

Nadège ROSSI, Ingénieur d'étude (CEVA), nadege.rossi@ceva.fr

- **CORRESPONDANTS**

Onema : **Marie-Claude XIMENES**, coordinatrice DCE eaux littorales,
marie-claude.ximenes@onema.fr

Partenaire : **Laurence MIOSSEC**, Coordinatrice DCE (ifremer), laurence.miossec@ifremer.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : National

Couverture géographique : Façade Manche-Atlantique

Niveau de lecture : professionnels, experts

- **RESUME**

Dans le cadre de la DCE, une évaluation de l'état écologique des masses d'eau doit être menée. Cette évaluation repose sur plusieurs éléments de qualité biologique dont les macroalgues de blooms responsables des marées vertes. Trois types de marées vertes ont lieu sur le littoral Manche-Atlantique. Cette étude présente la méthode permettant d'établir le ratio de qualité écologique (EQR) pour les masses d'eau présentant des marées vertes à ulves dérivantes dans les systèmes sableux et ouverts (généralement les masses d'eau côtières) et des marées vertes de vasières dans les systèmes vaseux et enclavés (généralement les masses d'eau de transition). Les masses d'eau présentant des marées vertes d'arrachage n'ont pas été traitées dans cette étude.

Concernant le bassin Loire Bretagne, 52 masses d'eau ont fait l'objet d'une évaluation écologique (28 MEC et 24 MET). Parmi elles, 9 MET et 7 MEC ne sont pas en bon état écologique. Concernant le bassin Seine-Normandie, 11 masses d'eau ont fait l'objet d'une évaluation écologique (10 MEC et 1 MET). Parmi elles, 2 MEC ne sont pas en bon état écologique.

Une relation pression-impact significative a été établie à la fois pour les masses d'eau côtières et de transition entre l'EQR et la concentration hivernale en azote dissous.

L'impact du ramassage sur la qualité écologique des masses d'eau a été évalué et les résultats montrent que le ramassage tel qu'il est conduit actuellement réduit l'impact visuel des marées vertes mais n'améliore pas la qualité écologique évaluée par la méthodologie DCE.

En outre, un essai d'intégration des gracilaires pour l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau de transition a été effectué. L'ajout des gracilaires n'entraîne pas de modification notable de la qualité écologique des masses d'eau initialement évaluées sur la base des macroalgues vertes uniquement. En revanche, les caractéristiques écophysiologicals des gracilaires permettent d'envisager que l'évolution de la surface d'estran qu'elles recouvrent pourrait être représentative d'une diminution du niveau d'eutrophisation. Leur considération dans les prochaines évaluations de qualité écologique des masses d'eau de transition est donc à envisager.

- **MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)**

Directive cadre sur l'eau, Façade Manche-Atlantique, EQB Macroalgues de bloom, relation pression-impact, ramassage des algues, *Ulva*, *Gracilaria*.

- **WATER FRAMEWORK DIRECTIVE CLASSIFICATION OF LOIRE-BRITTANY AND SEINE-NORMANDY COASTAL AND TRANSITIONAL WATER BODIES – BIOLOGICAL QUALITY ELEMENT OPPORTUNISTIC MACROALGAE**

- **ABSTRACT**

Under the Water Framework Directive (WFD), an assessment of the ecological status of water bodies must be conducted. This assessment is based on several biological quality elements including macroalgae blooms responsible for green tides. Three types of green tides occur on the western coasts of France. This study presents the methodology for assessing the ecological quality ratio (EQR) for water bodies with green tides in drifting *Ulva* in sandy and open systems (usually coastal waters (CW)) and the green tides of mudflats in muddy and enclosed systems (usually transitional waters (TW)). Water bodies with green tides made from algae which grow on rocky shore before building up on beaches were not addressed in this study.

On the Loire Brittany basin, 52 water bodies have been assessed (28 CW and 24 TW). Among them, 7 CW and 9 TW do not reach a good ecological status. On the Seine-Normandy basin, 11 water bodies have been assessed (10 CW and 1 TW). Among them, 2 CW do not reach a good ecological status.

A significant impact-pressure relationship was established for both water bodies and coastal transition between the QRA and the concentration of dissolved nitrogen in winter.

The impact of algal harvesting on the ecological quality of water bodies was evaluated and the results show that harvesting as it is currently conducted reduces the visual impact of green tides but does not improve the ecological quality assessed by WFD methodology.

In addition, an integration test of *Gracilaria* for assessing the ecological quality in transitional waters was made. The addition of *Gracilaria* does not cause significant change in the ecological quality of water bodies initially evaluated on the basis of green macroalgae only. However, according to the ecophysiological characteristics of *Gracilaria*, the evolution of the foreshore covered by these algae could be indicative of a decreased level of eutrophication. Their consideration in next assessments of ecological quality of transitional waters is a possibility.

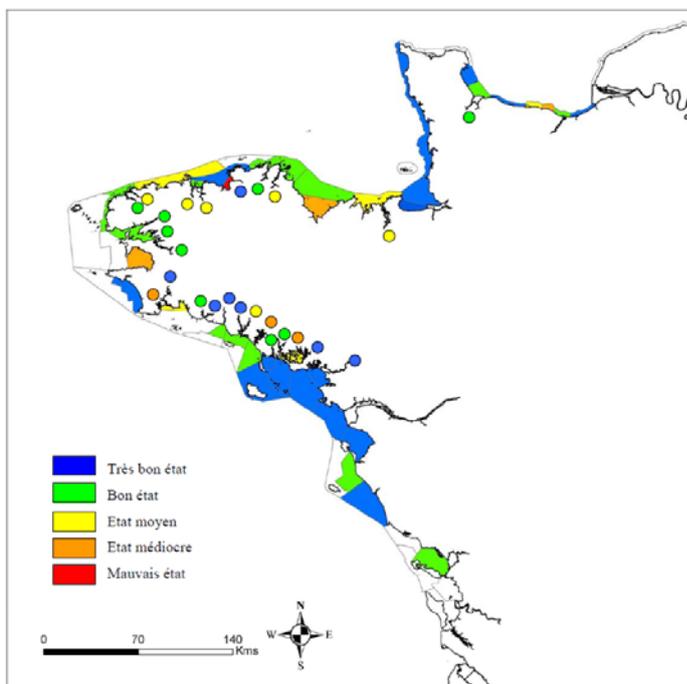
- **KEY WORDS (THEMATIC AND GEOGRAPHICAL AREA)**

Water Framework Directive, Western coasts of France, BQE opportunistic macroalgae, pressure-impact relationship, algal harvesting, *Ulva*, *Gracilaria*

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

Les travaux de ce contrat s'inscrivent dans la continuité des actions entreprises au CEVA depuis 2007 dans le cadre de la coordination nationale pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les Masses d'Eau Côtière (MEC) et les Masses d'Eau de Transition (MET), pour l'élément de qualité « macroalgues de bloom ». L'objectif principal de l'étude conduite en 2011 est l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières et de transition des bassins Loire-Bretagne et Seine-Normandie sur la base des grilles développées et testées depuis 2007. En parallèle, ce travail constitue une base d'échange permettant de participer aux travaux européen d'intercalibration (GIG NEA).

Deux grilles d'évaluation ont été mises en place adaptées d'une part aux marées vertes à ulves dérivantes et d'autre part aux marées vertes de vasière. La première se base sur 3 métriques permettant de qualifier l'importance des blooms en termes de recouvrement de l'estran et de la persistance du bloom. La seconde se base sur 2 métriques caractérisant le degré de recouvrement de l'estran par les algues. Pour les masses d'eau bretonnes, les surfaces algales acquises par suivi aérien permettent de faire une évaluation de la qualité écologique basée sur une moyenne annuelle de 6 ans exceptés pour les masses d'eau de transition sur lesquelles des données ne sont disponibles que depuis 2008 ou 2009. De même pour les masses d'eau en dehors de la Bretagne, les données ne sont acquises que depuis 2008. Basée sur ces éléments, une première carte de la qualité écologique des masses d'eau a été établie, la dernière année de données utilisées pour cette étude étant celles de 2010.



Evaluation de la qualité écologique des masses d'eau avec l'élément de qualité biologique macroalgues de bloom pour la période 2005-2010 (ou 2008-2010 ou 2009-2010 selon les masses d'eau).
Sources : CEVA

Pour les masses d'eau ne bénéficiant pas d'un suivi minimum de 6 années, le classement de la qualité écologique de la masse d'eau est considéré comme provisoire.

- **SOMMAIRE**

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | Introduction | 7 |
| 2. | Matériel et méthode | 7 |
| 2.1. | Acquisition des données | 7 |
| 2.1.1. | Protocole initial | 7 |
| 2.1.2. | Adaptation au protocole DCE | 10 |
| 2.1.2.1. | Masses d'eau côtières | 10 |
| 2.1.2.2. | Masses d'eau de transition (MET) | 10 |
| 2.1.2.3. | Aire potentiellement colonisable | 10 |
| 2.2. | Classement des masses d'eau | 11 |
| 2.2.1. | Systèmes sableux | 11 |
| 2.2.1.1. | Masses d'eau concernées | 11 |
| 2.2.1.2. | Description des métriques..... | 12 |
| 2.2.1.3. | Définition des seuils | 13 |
| 2.2.1.4. | Implication du ramassage dans l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau..... | 14 |
| 2.2.2. | Systèmes vaseux | 14 |
| 2.2.2.1. | Masses d'eau concernées | 14 |
| 2.2.2.2. | Description des métriques..... | 15 |
| 2.2.2.3. | Définition des seuils | 15 |
| 2.2.2.4. | Comparaison des méthodes française et anglo-irlandaise..... | 16 |
| 2.2.2.5. | Prise en compte des autres algues opportunistes : gracilaires | 17 |
| 2.2.3. | Calcul du Ratio de Qualité Ecologique (EQR) | 17 |
| 2.2.4. | Relation pression-impact | 17 |
| 3. | Résultats-Discussion | 18 |
| 3.1. | Systèmes sableux | 18 |
| 3.1.1. | EQR 2004-2009..... | 18 |
| 3.1.2. | EQR 2005-2010..... | 18 |
| 3.1.3. | Impact du ramassage sur l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau..... | 19 |
| 3.2. | Systèmes vaseux | 23 |
| 3.2.1. | EQR 2008-2010..... | 23 |
| 3.2.2. | Comparaison entre la grille française et la grille anglo-irlandaise.... | 23 |
| 3.2.3. | Prise en compte des gracilaires..... | 24 |
| 3.2.3.1. | Eléments bibliographiques | 24 |
| 3.2.3.2. | Prise en compte des gracilaires dans le calcul de l'EQR | 27 |
| 3.2.4. | Mise en évidence d'une relation pression-impact | 28 |
| 3.2.4.1. | Système sableux..... | 28 |
| 3.2.4.2. | Système vaseux..... | 29 |
| 4. | Conclusion | 31 |
| 5. | Sigles & Abréviations | 33 |
| 6. | Bibliographie | 34 |
| 7. | Table des illustrations | 36 |
| 8. | Annexes | 37 |

- **CLASSEMENT DCE DES MASSES D'EAU COTIERES ET DE TRANSITION DES BASSINS LOIRE-BRETAGNE ET SEINE-NORMANDIE- ELEMENT DE QUALITE BIOLOGIQUE « MACROALGUES DE BLOOM »**

1. Introduction

L'application de la DCE nécessite la mise en place de contrôles pour évaluer et suivre dans le temps l'état écologique des masses d'eau côtières et de transition. Ces contrôles doivent s'appliquer à un certain nombre d'éléments de qualité biologique du milieu, dont les macroalgues de bloom. Cette étude a pour objectifs :

➤ la présentation des grilles d'évaluation de la qualité des masses d'eau avec :

- une grille adaptée aux milieux **vaseux et abrités** majoritairement représentés par les masses d'eau de transition. Cette grille a été établie sur la base des travaux anglo-irlandais et a permis d'établir un premier classement de 12 masses d'eau de transition (cf. rapport 2009 : Développement d'outils de classement des eaux côtières et de transition par l'EQB « blooms macroalgues »).
- une grille adaptée aux milieux **sableux et ouverts** se référant majoritairement aux masses d'eau côtières. Les blooms macroalgues sur systèmes sableux tels que connus en Bretagne sont un phénomène unique en Europe. De ce fait, aucune grille n'avait été préalablement établie par d'autres états membres. Le CEVA travaille donc depuis 2007 à la mise en place d'une grille d'évaluation permettant de transcrire l'importance du phénomène de marée verte par masse d'eau.

➤ une première mise en évidence de la **relation pression-impact** existante entre le ratio de qualité écologique et la concentration hivernale en azote inorganique dissous.

➤ une réflexion quant à la considération d'autres éléments dans l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau tels que :

- la prépondérance de gracilaires dans certaines masses d'eau de transition
- les conséquences de la mise en place d'un ramassage intensif des algues vertes dans les masses d'eau côtières sur l'évaluation de la qualité écologique.

2. Matériel et méthode

2.1. Acquisition des données

L'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau se base sur des données surfaciques de couverture algale. Ces données sont acquises grâce à l'exploitation de clichés aériens pris en mai, juillet et septembre.

2.1.1. Protocole initial

L'ensemble du linéaire côtier des bassins Loire-Bretagne et Seine-Normandie est suivi régulièrement et selon le même protocole (depuis 2002 pour la Bretagne et depuis 2008 pour le sud-Loire et la Normandie). Pour faciliter le suivi et être en mesure de fournir un état des lieux local de l'importance des marées vertes, le CEVA a découpé le littoral par site selon la continuité et la nature des dépôts algaux mais également en considérant les zones *a priori* homogènes en termes d'apports en nutriments. A titre d'exemple, le découpage de la côte bretonne est présenté Figure 1.

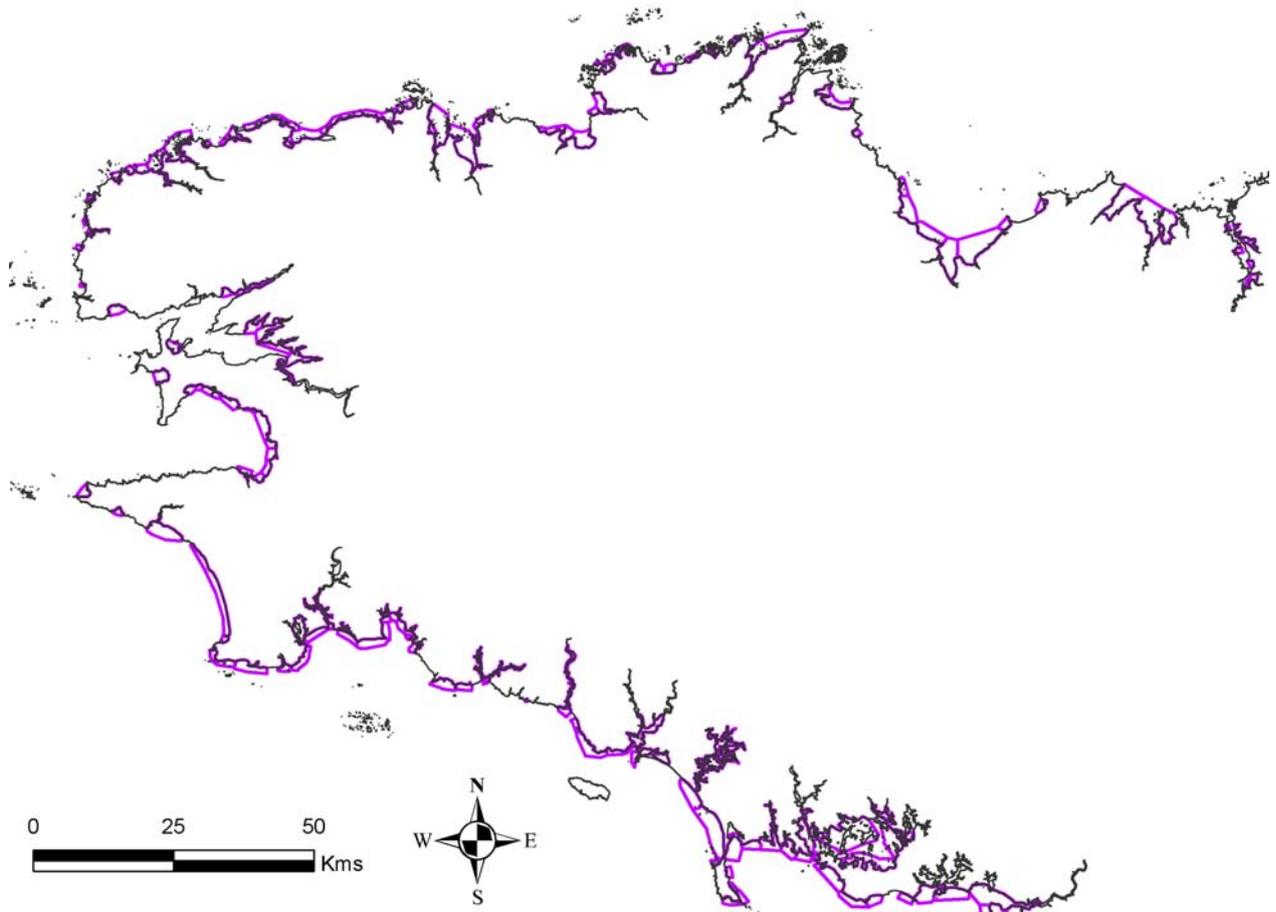


Figure 1 : Illustration du découpage de l'estran breton par site à marées vertes (tracé violet)

Chaque site est également qualifié selon le type de dépôt algal observé et la nature du substrat sur lequel sont les dépôts. Ainsi, les sites dits « **ouverts** » sont les sites sableux sur lesquels se trouvent des dépôts algaux mobiles, tels que les plages de la baie de Lannion, de la baie de Douarnenez... Les sites vaseux avec des dépôts d'algues peu mobiles sont dits « **enclavés** ». Cette catégorie rassemble les vasières comme la Rance, la ria d'Etel...

A l'issue de chaque survol, chaque site est classé comme étant touché par une marée verte si les dépôts visibles sur les clichés aériens sont constitués à plus de 30 % d'algues vertes. Cette estimation est faite à partir des vérités-terrain qui sont effectuées sur un maximum de sites dans les jours suivant la campagne aérienne. Seuls les sites classés font l'objet de digitalisations (Figure 2); les dépôts des sites ouverts sont digitalisés à chaque fois qu'un site est classé et les dépôts des sites enclavés sont digitalisés uniquement au maximum annuel (estimé visuellement) parmi les mois classés. L'organigramme de la procédure est présenté Figure 3.



Figure 2 : Géoréférencement des clichés aériens et digitalisation des dépôts algaux (tracé vert) avec attribution des pourcentages de recouvrement en algues (chiffre en noir) en baie de Guissény

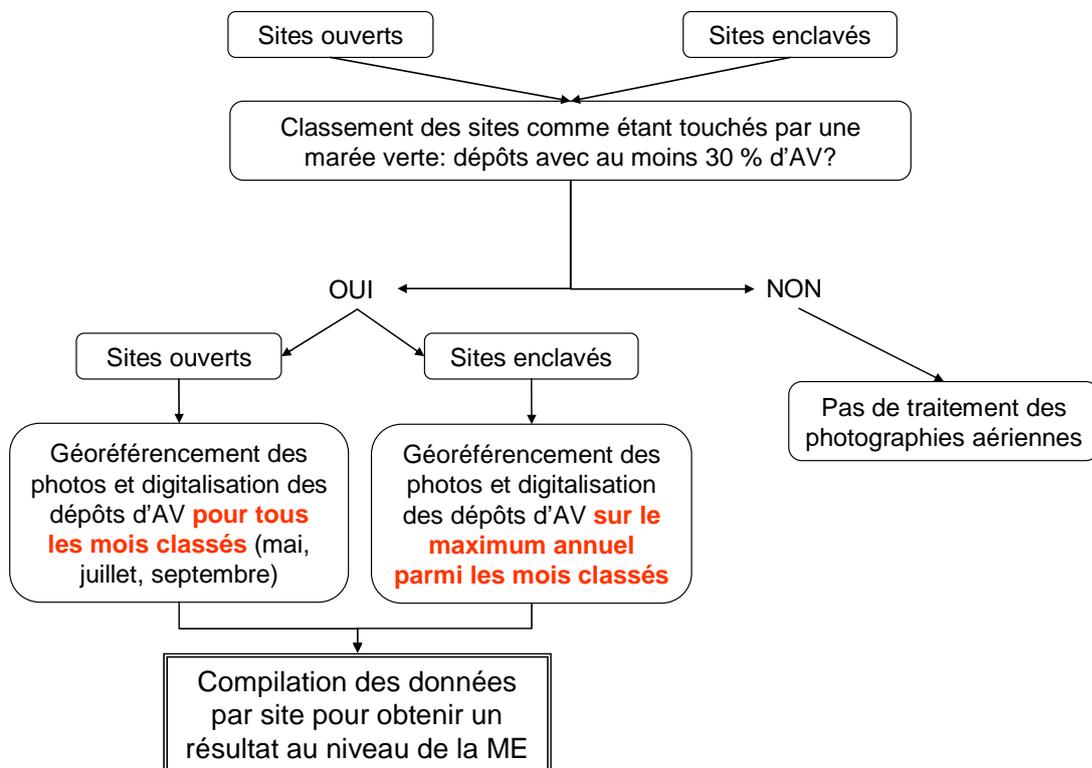


Figure 3 : Organigramme de procédure d'acquisition des données surfaciées de marées vertes par sites

2.1.2. Adaptation au protocole DCE

2.1.2.1. Masses d'eau côtières

Les masses d'eau côtières DCE contiennent plusieurs sites à marée verte. A titre d'exemple, la FRGC09 (Figure 4) se compose de 9 sites à marées vertes dont 3 sites enclavés et 6 sites ouverts.

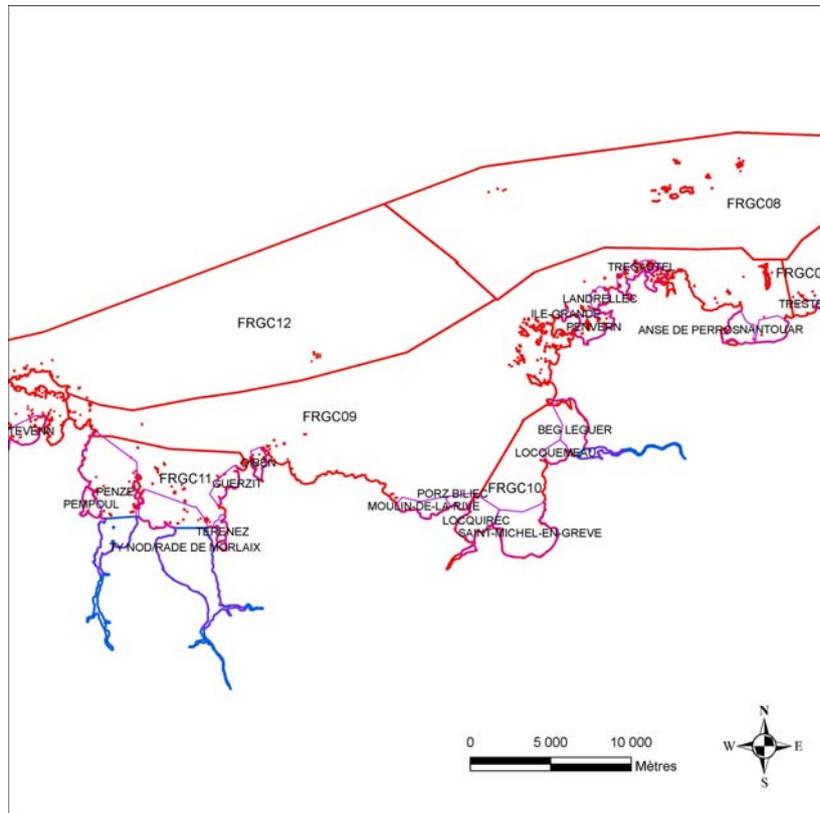


Figure 4 : Découpage des masses d'eau sur la côte nord de la Bretagne (FRGC en rouge et FRGT en bleu) combiné au découpage par sites à marées vertes (violet)

La somme des dépôts digitalisés est effectuée par masse d'eau et par mois et ce sont ces données qui sont utilisées pour le calcul des différentes métriques. Dans la mesure où les sites enclavés ne sont digitalisés qu'une seule fois par an, une faible sous-estimation des dépôts algaux est possible à l'échelle de la masse d'eau.

2.1.2.2. Masses d'eau de transition (MET)

Les masses d'eau de transition correspondent généralement à un ou plusieurs sites enclavés. Lorsque plusieurs sites enclavés sont compris dans la même MET (cas de la Rance), les digitalisations sont faites à la même date d'inventaire pour chaque site, la date choisie représentant le maximum de couverture algale à l'échelle de la masse d'eau et non site par site.

2.1.2.3. Aire potentiellement colonisable

Pour l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau, il est nécessaire de définir l'aire potentiellement colonisable par les algues vertes. Cette aire est définie comme étant l'aire de substrat meuble de la zone d'estran comprise entre le trait de côte et le niveau de basse mer à coefficient 120 (0 SHOM). Pour chaque masse d'eau, les zones de sable, vase, roches et schorre ont été digitalisées à une échelle 1/10000^e. Les orthophotos littorales, les cartes IGN et les photos aériennes ont été utilisées pour identifier chaque zone de substrat. **L'aire potentiellement colonisable a été établie en effectuant la somme des zones sableuses et vaseuses.** La distinction entre sable et vase est faite sur la base de la connaissance du terrain complétée par un travail de photo-interprétation, le sable étant plus clair que la vase. Cette distinction reste néanmoins grossière et une utilisation des résultats qui en découlent dans un autre contexte que celui de la présente étude doit être faite avec précaution.

2.2. Classement des masses d'eau

Deux grilles de classement ont été établies ; l'une destinée aux marées vertes se développant dans les baies sableuses et dont les dépôts sont mobiles et l'autre étant adaptée aux marées vertes se développant sur les vasières avec des dépôts peu mobiles. Ces deux grilles répondent aux deux types de marées vertes les plus généralement observés. Néanmoins, un troisième type de marée verte qualifié de marée verte « d'arrachage » existe. Elle se caractérise par une phase fixée de la croissance des algues vertes sur les platiers rocheux. Les algues sont ensuite arrachées lors d'épisodes météorologiques entraînant un fort hydrodynamisme et s'échouent sur les plages. Ce type de marée verte est le plus souvent observé au sud de la Loire et en Normandie. A partir des connaissances actuelles et des suivis sur le terrain, les masses d'eau **FRGC28, FRGC47, FRGC51, FRHC07 et FRHC08** semblent touchées quasiment exclusivement par ce type de marée verte. Ainsi, bien que disposant de données sur ces masses d'eau, leur état écologique sur la base de l'EQB macroalgues de blooms n'a pas été évalué, les grilles d'évaluation mises en place n'étant pas adaptées à des masses d'eau exclusivement touchées par des marées vertes d'arrachage. Par ailleurs, les algues vertes présentes sur les platiers rocheux sont déjà considérées dans le cadre de l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau à partir de l'élément de qualité « macroalgues intertidales de substrat dur » (Ar Gall et Le Duff, 2012). Une grille d'évaluation spécifique aux marées vertes d'arrachage devra être établie sans que celle-ci soit redondante avec les résultats obtenus à partir des macroalgues intertidales de substrat dur.

2.2.1. Systemes sableux

2.2.1.1. Masses d'eau concernées

Le Tableau 1 présente les 35 masses d'eau qui ont été évaluées avec la grille destinée aux systèmes ouverts et sableux et les années pour lesquelles des données sont existantes. Les masses d'eau concernées sont toutes des masses d'eau côtières à l'exception de la FRHT06 (Baie des Veys : fond de baie estuarien et chenaux d'Isigny et de Carentan) caractérisée par un substrat sableux et un hydrodynamisme fort. Le classement est effectué par tranche de 6 ans (durée d'un plan de gestion) ou sur la période pour laquelle des données sont disponibles lorsqu'elle est inférieure à 6 ans. Un classement annuel peut être effectué dans la mesure où les données sont acquises chaque année selon le même protocole. Néanmoins, la variabilité interannuelle de l'ampleur des marées vertes est importante et est dépendante des conditions climatiques. De ce fait, une évaluation basée sur une moyenne des données sur 6 ans permet de lisser les variations dues aux événements climatiques et d'avoir une vision la plus réaliste possible de l'état écologique de la masse d'eau.

Tableau 1 : Masses d'eau des bassins Loire Bretagne et Seine Normandie classées par la grille destinée aux systèmes ouverts et sableux

| Code ME | Nom ME | Données utilisées |
|---------|--|-------------------|
| FRGC01 | Baie du Mont Saint Michel | 2004-2010 |
| FRGC03 | Rance Fresnaye | 2004-2010 |
| FRGC05 | Fond baie de Saint Briec | 2004-2010 |
| FRGC06 | Saint Briec large | 2004-2010 |
| FRGC09 | Perros Guirec-Morlaix large | 2004-2010 |
| FRGC10 | Baie de Lannion | 2004-2010 |
| FRGC12 | Leon Tregor (large) | 2004-2010 |
| FRGC13 | Les Abers (large) | 2004-2010 |
| FRGC20 | Baie de Douarnenez | 2004-2010 |
| FRGC26 | Baie d'Audierne | 2004-2010 |
| FRGC29 | Baie de Concarneau | 2004-2010 |
| FRGC32 | Laïta - Pouldu | 2004-2010 |
| FRGC34 | Lorient -Groix | 2004-2010 |
| FRGC35 | Baie d'Étel | 2004-2010 |
| FRGC36 | Baie de Quiberon | 2004-2010 |
| FRGC38 | Golfe du Morbihan (large) | 2004-2010 |
| FRGC42 | Belle-Ile | 2004-2010 |
| FRGC44 | Baie de Vilaine (côte) | 2004-2010 |
| FRGC45 | Baie de Vilaine (large) | 2004-2010 |
| FRGC46 | Loire large | 2004-2010 |
| FRGC48 | Baie de Bourgneuf | 2008-2010 |
| FRGC49 | La Barre de Monts | 2008-2010 |
| FRGC50 | Nord Sables d'Olonne | 2008-2010 |
| FRGC53 | Pertuis breton | 2008-2010 |
| FRHC02 | Baie du Mont Saint Michel: centre baie | 2008-2010 |
| FRHC03 | Ouest Cotentin | 2008-2010 |
| FRHC04 | Cap de Carteret - Cap de la Hague | 2008-2010 |
| FRHC09 | Anse de Saint-Vaast la hougue | 2008-2010 |
| FRHC10 | Baie des Veys | 2008-2010 |
| FRHC11 | Côte du Bessin | 2008-2010 |
| FRHC12 | Côte de Nacre Ouest | 2008-2010 |
| FRHC13 | Côte de Nacre Est | 2008-2010 |
| FRHC14 | Baie de Caen | 2008-2010 |
| FRHC15 | Côte Fleurie | 2008-2010 |
| FRHT06 | Baie des Veys: fond de baie estuarien et chenaux d'Isigny et de Carentan | 2008-2010 |

2.2.1.2. Description des métriques

En 2009, le CEVA a proposé les 3 métriques suivantes pour le classement des masses d'eau côtières :

- le pourcentage maximum de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes
- l'aire affectée par les dépôts algaux
- la longueur de bloom

Ces trois métriques ont donc été retravaillées pour établir le classement des eaux côtières. Les premiers essais avaient montré en 2009 les limites d'application des métriques relatives à l'aire affectée et à la longueur de bloom.

Concernant l'aire affectée par les dépôts algaux (somme des aires des dépôts sans prise en compte du taux de recouvrement), la répartition des algues sur certaines baies amène à des aires affectées très importantes avec des taux de recouvrement très faibles. Elles sont difficiles à délimiter et sont davantage liées à une dispersion hydrodynamique des algues qu'à une zone d'impact précise des arrivées de sels nutritifs. De plus l'hétérogénéité des dépôts entraîne une forte variabilité de cette métrique liée directement à l'opérateur, qui selon l'échelle de photo-interprétation ou la qualité des photos, va faire le choix soit de digitaliser l'ensemble du dépôt diffus et lui attribuer un faible taux de couverture, soit de faire plusieurs petits polygones avec des taux de couverture plus élevé. La couverture finale rapportée à l'équivalent 100 % de couverture sera identique mais l'aire affectée pourra être ainsi très variable d'un opérateur à un autre. Il a donc été décidé de supprimer cette métrique inadaptée aux systèmes ouverts sableux. L'aire affectée reste néanmoins bien adaptée aux systèmes vaseux sur lesquels la variabilité est moindre du fait de la grande homogénéité et du développement « en patch » des couvertures algales.

Concernant la longueur de bloom, le calcul tel qu'il était présenté ne permettait pas d'intégrer de valeur nulle. Cette métrique reste néanmoins importante pour qualifier l'ampleur du phénomène de marée verte sur chaque masse d'eau. Pour répondre aux contraintes de calcul imposées par la DCE, la longueur de bloom a été décrite à travers deux nouvelles métriques :

- le pourcentage moyen de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes
 - la fréquence des dépôts d'algues vertes > 1.5 % de l'aire potentiellement colonisable (limite de bon état de la première métrique).
- Ces deux dernières métriques ajoutées à la métrique du pourcentage maximum de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes constituent les 3 métriques utilisées pour l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau côtières du bassin Loire-Bretagne et Seine-Normandie.

2.2.1.2.1. Métrique 1 : Pourcentage maximum de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes (% couv max APC)

Pour le calcul de cette métrique, la moyenne des maximums annuels de couverture algale (ha équi 100¹) (parmi les trois inventaires) a été effectuée sur 6 ans (durée d'un plan de gestion) entre 2004 et 2009 et entre 2005 et 2010. Lorsque les données n'étaient pas disponibles sur 6 ans, la moyenne a été effectuée sur les années pour lesquelles des données existaient (Tableau 1). La moyenne a ensuite été rapportée à l'aire potentiellement colonisable par les algues vertes définie par la zone d'estran meuble (sable ou vase) comprise entre le trait de côte et le niveau de basse mer à coefficient 120.

Cette métrique permet d'évaluer la colonisation maximale d'une masse d'eau par les algues vertes par rapport à son potentiel maximum. Elle permet d'identifier les masses d'eau touchées par d'importantes marées vertes. Néanmoins, elle ne discrimine pas les sites fréquemment touchés par d'importants échouages des sites ponctuellement touchés par d'importants échouages.

2.2.1.2.2. Métrique 2 : Pourcentage moyen de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes (% couv moy APC)

Pour le calcul de cette métrique, la moyenne des moyennes annuelles de couverture algale (ha équi 100) (moyenne des surfaces algales mesurées aux mois de mai, juillet et septembre) a été effectuée entre 2004 et 2009 (ou pour les années pour lesquelles les données étaient disponibles (Tableau 1). Cette valeur a ensuite été rapportée à l'aire potentiellement colonisable par les algues vertes définie par la zone d'estran meuble (sable ou vase) comprise entre le trait de côte et le niveau de basse mer à coefficient 120.

Cette métrique permet d'évaluer la colonisation moyenne d'une masse d'eau par les algues vertes par rapport à son potentiel maximum. A l'inverse de la première métrique, elle permet d'introduire une notion d'importance de la marée verte au cours du temps.

2.2.1.2.3. Métrique 3 : fréquence des dépôts d'algues vertes > 1.5 % de l'aire potentiellement colonisable

Le calcul de cette métrique s'effectue en divisant le nombre de fois où la surface des dépôts d'algues vertes (ha équi 100) est représentative d'un état écologique moyen (surface > 1.5 % de l'aire potentiellement colonisable) par le nombre total d'inventaires effectués, le résultat étant multiplié par 100 pour obtenir un pourcentage. Cette métrique est une métrique d'occurrence du phénomène et permet de discriminer les masses d'eau sur lesquelles les échouages importants sont rares, des masses d'eau toujours touchées par des dépôts notables d'algues vertes.

La combinaison des trois métriques permet donc de bien discriminer les masses d'eau touchées selon l'importance et la fréquence des échouages, une masse d'eau régulièrement touchée étant de moins bonne qualité écologique qu'une masse d'eau plus occasionnellement touchée, même par d'importants échouages.

2.2.1.3. Définition des seuils

Pour les masses d'eau côtières, les données historiques couplées au dire d'expert

¹ La couverture algale en hectares équivalent 100% (ha équi 100) exprime la surface d'estran recouverte à 100 % par les algues. Elle est obtenue en multipliant l'aire du dépôt algal par son taux de recouvrement. Un dépôt algal de 2 ha avec un taux de recouvrement de 50 % aura une couverture algale de 1 ha équi 100.

indiquent que le bon état écologique des masses d'eau côtières s'apparente à la quasi absence d'échouage d'algues vertes. Les seuils ont donc été fixés à des niveaux très bas reflétant ainsi le dire d'expert. Les seuils des différentes métriques sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 2 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 1 (en %)

| Seuils | Etat écologique | EQR |
|-----------|-----------------|-----------|
| [0 -0.5[| Très bon | [1-0.8[|
| [0.5-1.5[| Bon | [0.8-0.6[|
| [1.5-4[| Moyen | [0.6-0.4[|
| [4-10[| Médiocre | [0.4-0.2[|
| [10-100] | Mauvais | [0.2-0] |

Tableau 3 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 2 (en %)

| Seuils | Etat écologique | EQR |
|-------------|-----------------|-----------|
| [0 -0.25[| Très bon | [1-0.8[|
| [0.25-0.75[| Bon | [0.8-0.6[|
| [0.75-2[| Moyen | [0.6-0.4[|
| [2-5[| Médiocre | [0.4-0.2[|
| [5-100] | Mauvais | [0.2-0] |

Tableau 4 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 3 (en %)

| Seuils | Etat écologique | EQR |
|----------|-----------------|-----------|
| [0 -10[| Très bon | [1-0.8[|
| [10-30[| Bon | [0.8-0.6[|
| [30-60[| Moyen | [0.6-0.4[|
| [60-90[| Médiocre | [0.4-0.2[|
| [90-100] | Mauvais | [0.2-0] |

2.2.1.4. Implication du ramassage dans l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau

L'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau se base sur l'exploitation des données de surfaces algales. Depuis plusieurs années, des campagnes de ramassage sont effectuées sur les baies touchées par des échouages algaux. Pour l'évaluation de la qualité écologique de ces masses d'eau, les surfaces ramassées le jour du vol sont toujours considérées puisque les traces de ramassage sont visibles sur les photos aériennes. Néanmoins, l'effet cumulé du ramassage sur plusieurs jours n'est pas pris en considération. Pour établir un effet éventuel de ce ramassage sur l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau, il a été choisi de compiler les données de ramassage et de cumul annuel des surfaces algales (cumul des surfaces mesurées en mai, juillet et septembre) de 2005 à 2010 pour les masses d'eau du bassin Loire-Bretagne pour lesquelles un EQR a été calculé sur cette même période. L'analyse conjointe de ces données permet l'évaluation de l'effort de ramassage sur chaque masse d'eau.

2.2.2. Systèmes vaseux

2.2.2.1. Masses d'eau concernées

Le Tableau 5 présente les 28 masses d'eau qui ont été évaluées avec la grille destinée aux systèmes enclavés et vaseux. Les masses d'eau concernées sont essentiellement des masses d'eau de transition. Néanmoins, quatre masses d'eau côtières ont été intégrées à cette liste car elles sont composées par un substrat majoritairement vaseux et des dépôts algaux peu mobiles représentatifs des marées vertes de vasière (FRGC07, FRGC11, FRGC16 et FRGC39). Les données utilisées sont celles acquises entre 2008 et 2010 excepté pour les FRGT17, FRGT18 et FRGT19 dont les données ne sont disponibles qu'à partir de 2009. Comme pour les systèmes sableux, l'évaluation sera à terme conduite à partir de données moyennées sur 6 ans afin de lisser les variations dues à des phénomènes climatiques. Néanmoins, des évaluations annuelles peuvent être menées à titre indicatif.

Tableau 5 : Masses d'eau des bassins Loire Bretagne et Seine Normandie classées par la grille destinée aux systèmes enclavés et vaseux

| Code ME | Nom ME | Données utilisées |
|---------|-----------------------------|-------------------|
| FRGT02 | Bassin maritime de la rance | 2008-2010 |
| FRGT03 | Le Trieux | 2008-2010 |
| FRGT04 | Le Jaudy | 2008-2010 |
| FRGT05 | Le Léguer | 2008-2010 |
| FRGT06 | Rivière de Morlaix | 2008-2010 |
| FRGT07 | La Penzé | 2008-2010 |
| FRGT08 | L'Aber Wrac'h | 2008-2010 |
| FRGT09 | L'Aber Benoît | 2008-2010 |
| FRGT10 | l'Elorn | 2008-2010 |
| FRGT11 | Rivière de Daoulas | 2008-2010 |
| FRGT12 | l'Aulne | 2008-2010 |
| FRGT14 | Rivière de Pont-l'Abbé | 2008-2010 |
| FRGT15 | l'Odet | 2008-2010 |
| FRGT16 | l'Aven | 2008-2010 |
| FRGT17 | La Belon | 2009-2010 |
| FRGT18 | La Laïta | 2009-2010 |
| FRGT19 | Le Scorff | 2009-2010 |
| FRGT20 | Le Blavet | 2008-2010 |
| FRGT21 | Rivière d'Etel | 2008-2010 |
| FRGT22 | Rivière de Crac'h | 2008-2010 |
| FRGT23 | Rivière d'Auray | 2008-2010 |
| FRGT24 | Rivière de Vannes | 2008-2010 |
| FRGT25 | Rivière de Noyal | 2008-2010 |
| FRGT27 | La Vilaine | 2008-2010 |
| FRGC07 | Paimpol-Perros-Guirec | 2008-2010 |
| FRGC11 | Baie de Morlaix | 2008-2010 |
| FRGC16 | Rade de Brest | 2008-2010 |
| FRGC39 | Golfe du Morbihan | 2008-2010 |

2.2.2.2. Description des métriques

2.2.2.2.1. *Métrique 1 : Pourcentage de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes (% couv APC)*

Pour les systèmes vaseux, une seule donnée est acquise par an au maximum annuel de la couverture en algues vertes. Le calcul de cette métrique est donc fait en divisant la moyenne des maximums annuels de couverture algale (ha équi 100) (calculée sur les années 2008 à 2010 ou 2009 à 2010 selon la masse d'eau) par l'aire potentiellement colonisable. Cette métrique permet d'évaluer la colonisation maximale d'une masse d'eau par les algues vertes par rapport à son potentiel maximum.

2.2.2.2.2. *Métrique 2 : Aire Affectée (ha)*

L'aire affectée est obtenue en effectuant la somme des aires brutes des dépôts algaux c'est-à-dire des polygones tracés sous SIG sans tenir compte du taux de recouvrement des algues dans chaque polygone. Cette métrique permet l'évaluation de l'aire de substrat sur laquelle sont présentes les algues vertes, quel que soit le degré de colonisation.

2.2.2.3. Définition des seuils

Les métriques présentées ci-dessus sont communes à la méthode anglo-irlandaise d'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau. De plus, les marées vertes observées en eaux de transition en Irlande et en Angleterre sont comparables aux marées vertes des systèmes vaseux présentés dans ce rapport. De ce fait, les seuils retenus pour les deux métriques sont identiques à ceux de la méthode anglo-irlandaise (Tableau 6 et Tableau 7).

Tableau 6 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 1 (en %)

| Seuils | Etat écologique | EQR |
|----------|-----------------|-----------|
| [0 -5[| Très bon | [1-0.8[|
| [5-15[| Bon | [0.8-0.6[|
| [15-25[| Moyen | [0.6-0.4[|
| [25-75[| Médiocre | [0.4-0.2[|
| [75-100] | Mauvais | [0.2-0] |

Tableau 7 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 2 (en ha)

| Seuils | Etat écologique | EQR |
|------------|-----------------|-----------|
| [0 -10[| Très bon | [1-0.8[|
| [10-50[| Bon | [0.8-0.6[|
| [50-100[| Moyen | [0.6-0.4[|
| [100-250[| Médiocre | [0.4-0.2[|
| [250-6000] | Mauvais | [0.2-0] |

2.2.2.4. Comparaison des méthodes française et anglo-irlandaise

La méthode d'évaluation anglo-irlandaise considère, en plus des deux métriques surfaciques communes à la méthode française, trois autres métriques : la biomasse algale rapportée à l'aire potentiellement colonisable, la biomasse algale rapportée à l'aire affectée et le pourcentage d'algues enfouies (Tableau 8).

Tableau 8 : Grille anglo-irlandaise

| Métriques | % Cover AIH | AA (ha) | Biomass AIH (g.m ⁻²) | Biomass AA (g.m ⁻²) | % quadrats entrained | Note finale | Etat de la masse d'eau |
|---------------------------------|-------------|------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| Grille de lecture des résultats | [0-5[| [0-10[| [0-100[| [0-100[| [0-1[| [0.8-1[| Très bon |
| | [5-15[| [10-50[| [100-500[| [100-500[| [1-5[| [0.6-0.8[| Bon |
| | [15-25[| [50-100[| [500-1000[| [500-1000[| [5-20[| [0.4-0.6[| Moyen |
| | [25-75[| [100-250[| [1000-3000[| [1000-3000[| [20-50[| [0.2-0.4[| Mauvais |
| | [75-100] | [250-6000] | [3000-6000] | [3000-6000] | [50-100] | [0-0.2] | Très mauvais |

L'acquisition des données de biomasse et d'enfouissement induit des campagnes de terrain coûteuses (utilisation d'un aéroglisseur) et ne permettent pas d'acquérir, au cours de la même année, les données sur l'ensemble des masses d'eau. La croissance algale étant influencée par les conditions météorologiques de l'année, la méthode française, qui ne se base que sur les métriques surfaciques, permet l'acquisition de données sur toutes les masses d'eau et chaque année. Les résultats sont par la suite moyennés pour l'établissement de la qualité écologique des masses d'eau ce qui permet une évaluation basée sur une situation moyenne lissant ainsi l'effet potentiel de conditions climatiques exceptionnelles. Néanmoins pour évaluer les différences de résultats induites par l'utilisation de chacune des méthodes, 6 masses d'eau (Tableau 9) ont fait l'objet, en 2011, de campagnes de terrain en aéroglisseur pour acquérir les données de biomasses et d'enfouissement nécessaires à l'évaluation de l'EQR des systèmes vaseux selon la méthode anglo-irlandaise.

Tableau 9 : Liste des masses d'eau sur lesquelles ont été évalués la biomasse algale et l'enfouissement

| Code ME | Nom ME | Date d'échantillonnage |
|---------|--------------------|------------------------|
| FRGT04 | Le Jaudy | 15/09/2011 |
| FRGT06 | Rivière de Morlaix | 14/09/2011 |
| FRGT23 | Rivière d'Auray | 01/09/2011 |
| FRGT24 | Rivière de Vannes | 30/08/2011 |
| FRGT25 | Rivière de Noyal | 29/08/2011 |
| FRGC39 | Golfe du Morbihan | 29/08 au 01/09/2011 |

Sur chacune des masses d'eau, les zones algales homogènes ont été préalablement repérées par photos aériennes. Sur chacune de ces zones, trois quadrats de 0.25 m² ont été disposés, si possible, sur des surfaces couvertes à 100 % et les algues présentes à l'intérieur du quadrat ont été prélevées. Les échantillons ont été ramenés au laboratoire, rincés, essorés à la main puis pesés. Les dépôts ont été digitalisés sous SIG à partir des photos aériennes (protocole identique à celui présenté Figure 2). A chaque dépôt est affectée une biomasse correspondant à la moyenne des trois mesures issues des prélèvements terrain. Lorsqu'aucune mesure n'est disponible, la mesure du dépôt visuellement similaire et géographiquement proche est attribuée.

2.2.2.5. Prise en compte des autres algues opportunistes : gracilaires

Depuis le début du suivi des vasières dans leur intégralité, il semble que la colonisation du substrat meuble par les gracilaires progresse. Pour confirmer cette tendance et pour voir l'impact de l'ajout des surfaces de gracilaires aux surfaces d'algues vertes sur l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau, les zones de gracilaires ont été cartographiées à partir des clichés aériens de l'année 2009 et selon la même méthodologie que présentée Figure 2. Les EQR obtenus à partir des surfaces d'algues vertes ont été comparés aux EQR obtenus à partir des surfaces algues vertes + gracilaires et ce pour l'année 2009.

2.2.3. Calcul du Ratio de Qualité Ecologique (EQR)

Pour calculer la valeur de l'EQR d'une masse d'eau, il faut préalablement calculer l'EQR de chaque métrique avec la formule suivante :

$$EQR_m = \frac{EQR_{sup} - [(Valeur_{métrique} - seuil_{inf}) / (seuil_{sup} - seuil_{inf})] \times (EQR_{sup} - EQR_{inf})}{EQR_{sup} - EQR_{inf}}$$

Exemple (valeurs hypothétiques): Dans une masse d'eau d'un système sableux, le pourcentage de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les algues vertes est de 12 % en 2005, 8 % en 2006, 9 % en 2007, 15 % en 2008, 8 % en 2009 et 7 % en 2010. La moyenne de ces valeurs est de 9.83 %. Dans le Tableau 2, cette valeur correspond au seuil [4-10[et à l'EQR]0.2-0.4]. Pour calculer l'EQR correspondant à 9.83, le calcul suivant doit être effectué :

$$EQR_m = 0.4 - [(9.83 - 4) / (10 - 4)] \times (0.4 - 0.2) = 0.21$$

L'EQR final correspond à la moyenne des EQR de chaque métrique.

2.2.4. Relation pression-impact

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) impose que le résultat de l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau réponde à une pression identifiée. Concernant l'Elément de Qualité Biologique (EQB) « macroalgues de bloom », il a été établi au niveau européen que le Ratio de Qualité Ecologique (EQR) obtenu devrait répondre aux concentrations hivernales en azote dissous. Pour que les résultats puissent être comparés entre les différents pays européens, les concentrations hivernales en azote dissous ont été normalisées à 32 p.s.u. pour les masses d'eau côtières et 25 p.s.u. pour les masses d'eau de transition. La normalisation a été faite à partir de droite de dilution constituée par la relation linéaire liant, en hiver, la salinité à la concentration en azote dissous. Cette relation a été établie à partir des données issues de la base de données QUADRIGE². Les critères d'extraction ont permis de cibler les années entre 2004 et 2009 en ne sélectionnant que les données hivernales (novembre, décembre, janvier, février et mars), seuls les points d'échantillonnage pour lesquels sont disponibles les données en nutriments couplées aux données de salinité sont considérés.

3. Résultats-Discussion

3.1. Systèmes sableux

3.1.1. EQR 2004-2009

Sur les 35 masses d'eau évaluées avec la grille des systèmes sableux entre 2004 et 2009 (ou les années disponibles jusqu'en 2009), 17 sont classées en très bon état écologique, 10 en bon état, 4 en état moyen, 2 en état médiocre et 2 en mauvais état (Tableau 10). L'analyse des résultats par bassin hydrographique montre que 25 % des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne sont en dessous du seuil de bon état écologique contre 18 % des masses d'eau du bassin Seine-Normandie. Les aires potentiellement colonisables de chacune des masses d'eau évaluées sont présentées en Annexe 1.

Tableau 10 : Classement DCE des masses d'eau des bassins Loire-Bretagne (FRG) et Seine-Normandie (FRH) avec la grille des systèmes sableux sur la base de l'EQB macroalgues opportunistes (2004-2009)

| Code ME | Nom ME | Métrieque 1 (%) | Métrieque 2 (%) | Métrieque 3 (%) | EQR M1 | EQR M2 | EQR M3 | EQR FINAL |
|---------|--|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|-----------|
| FRGC01 | Baie du Mont-Saint-Michel | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| FRGC03 | Rance - Fresnaye | 3.18 | 1.96 | 55.56 | 0.47 | 0.41 | 0.43 | 0.43 |
| FRGC05 | Fond Baie de Saint-Brieuc | 8.62 | 6.11 | 94.44 | 0.25 | 0.20 | 0.11 | 0.18 |
| FRGC06 | Saint-Brieuc (large) | 0.69 | 0.42 | 11.11 | 0.76 | 0.73 | 0.79 | 0.76 |
| FRGC09 | Perros-Guirrec - Morlaix (large) | 0.45 | 0.20 | 0.00 | 0.82 | 0.84 | 1.00 | 0.89 |
| FRGC10 | Baie de Lannion | 11.69 | 8.83 | 94.44 | 0.20 | 0.19 | 0.11 | 0.17 |
| FRGC12 | Léon - Trégor (large) | 2.60 | 1.51 | 44.44 | 0.51 | 0.48 | 0.50 | 0.50 |
| FRGC13 | Les Abers (large) | 0.75 | 0.35 | 5.56 | 0.75 | 0.76 | 0.89 | 0.80 |
| FRGC20 | Baie de Douarnenez | 6.43 | 4.25 | 88.89 | 0.32 | 0.25 | 0.21 | 0.26 |
| FRGC26 | Baie d'Audierne | 0.30 | 0.17 | 0.00 | 0.88 | 0.87 | 1.00 | 0.92 |
| FRGC29 | Baie de Concarneau | 2.96 | 2.05 | 55.56 | 0.48 | 0.40 | 0.43 | 0.44 |
| FRGC32 | Laïta - Pouldu | 1.93 | 0.80 | 16.67 | 0.57 | 0.59 | 0.73 | 0.63 |
| FRGC34 | Lorient - Groix | 1.59 | 0.60 | 11.11 | 0.59 | 0.66 | 0.79 | 0.68 |
| FRGC35 | Baie d'Étel | 1.62 | 0.85 | 16.67 | 0.59 | 0.58 | 0.73 | 0.64 |
| FRGC36 | Baie de Quiberon | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 0.99 |
| FRGC38 | Golfe du Morbihan (large) | 0.19 | 0.09 | 0.00 | 0.92 | 0.93 | 1.00 | 0.95 |
| FRGC42 | Belle-Ile | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 0.99 |
| FRGC44 | Baie de Vilaine (côte) | 0.56 | 0.36 | 0.00 | 0.79 | 0.76 | 1.00 | 0.85 |
| FRGC45 | Baie de Vilaine (large) | 0.34 | 0.20 | 0.00 | 0.86 | 0.84 | 1.00 | 0.90 |
| FRGC46 | Loire (large) | 0.39 | 0.17 | 0.00 | 0.85 | 0.86 | 1.00 | 0.90 |
| FRGC48 | Baie de Bourgneuf | 0.54 | 0.32 | 0.00 | 0.79 | 0.77 | 1.00 | 0.85 |
| FRGC49 | La Barre-de-Monts | 1.61 | 0.93 | 16.67 | 0.59 | 0.57 | 0.73 | 0.63 |
| FRGC50 | Nord Sables-d'Olonne | 0.12 | 0.04 | 0.00 | 0.95 | 0.97 | 1.00 | 0.97 |
| FRGC53 | Pertuis Breton | 1.38 | 0.89 | 16.67 | 0.62 | 0.58 | 0.73 | 0.64 |
| FRHC02 | Baie du Mont Saint Michel: centre baie | 0.18 | 0.08 | 0.00 | 0.93 | 0.94 | 1.00 | 0.95 |
| FRHC03 | Ouest Cotentin | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| FRHC04 | Cap de Carteret - Cap de la Hague | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| FRHC09 | Anse de Saint-Vaast la hougue | 0.15 | 0.05 | 0.00 | 0.94 | 0.96 | 1.00 | 0.97 |
| FRHC10 | Baie des Veys | 1.21 | 0.57 | 16.67 | 0.66 | 0.67 | 0.73 | 0.69 |
| FRHC11 | Côte du Bessin | 0.57 | 0.21 | 0.00 | 0.79 | 0.83 | 1.00 | 0.87 |
| FRHC12 | Côte de Nacre Ouest | 2.43 | 1.57 | 33.33 | 0.53 | 0.47 | 0.58 | 0.52 |
| FRHC13 | Côte de Nacre Est | 6.49 | 3.55 | 66.67 | 0.32 | 0.30 | 0.36 | 0.32 |
| FRHC14 | Baie de Caen | 1.51 | 0.68 | 16.67 | 0.60 | 0.63 | 0.73 | 0.65 |
| FRHC15 | Côte Fleurie | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 0.99 |
| FRHT06 | Baie des Veys: fond de baie estuarien et chenaux d'Isigny et de Carentan | 1.32 | 0.95 | 16.67 | 0.64 | 0.57 | 0.73 | 0.65 |

3.1.2. EQR 2005-2010

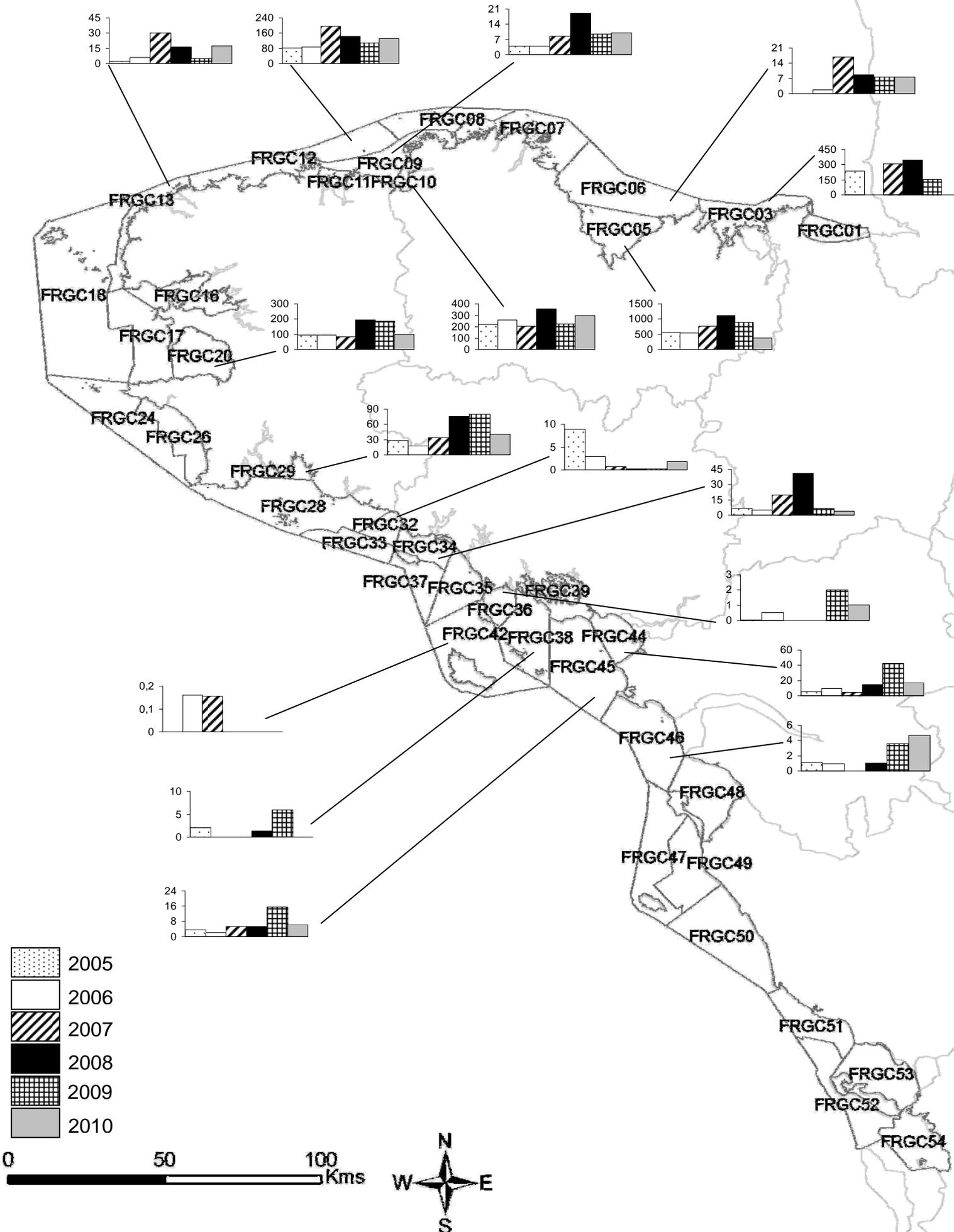
Sur les 35 masses d'eau évaluées avec la grille des systèmes sableux entre 2005 et 2010 (ou les années disponibles jusqu'en 2010), 17 sont classées en très bon état écologique, 10 en bon état, 4 en état moyen, 3 en état médiocre et 1 en mauvais état. Comme sur la période 2004-2009, l'analyse des résultats par bassin hydrographique montre que 25 % des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne sont en dessous du seuil de bon état écologique contre 18 % des masses d'eau du bassin Seine-Normandie. La comparaison des EQR 2004-2009 et 2005-2010 montre un changement de classe des masses d'eau Rance-Fresnaye (FRGC03) et Fond de baie de Saint-Brieuc (FRGC05) qui passe d'un état écologique médiocre à un état moyen pour la première et d'un état écologique mauvais à un état écologique médiocre pour la seconde.

Tableau 11 : Classement DCE des masses d'eau des bassins Loire-Bretagne (FRG) et Seine-Normandie (FRH) avec la grille des systèmes sableux sur la base de l'EQB macroalgues opportunistes (2005-2010)

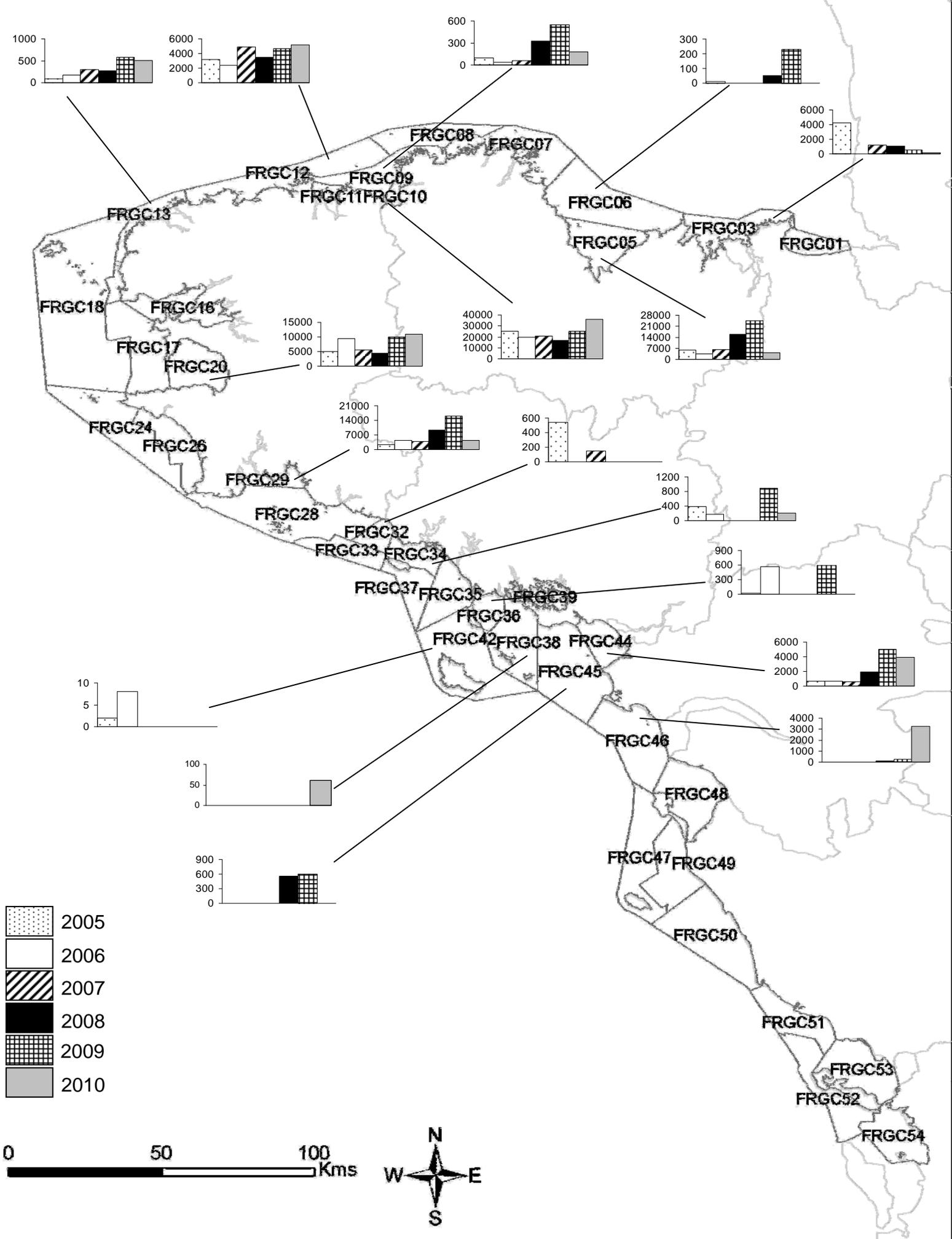
| Code ME | Nom ME | Métrie 1 (%) | Métrie 2 (%) | Métrie 3 (%) | EQR M1 | EQR M2 | EQR M3 | EQR FINAL |
|---------|--|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|-----------|
| FRGC01 | Baie du Mont-Saint-Michel | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| FRGC03 | Rance - Fresnaye | 2.74 | 1.57 | 38.89 | 0.50 | 0.47 | 0.54 | 0.50 |
| FRGC05 | Fond Baie de Saint-Brieuc | 8.04 | 5.33 | 88.89 | 0.27 | 0.20 | 0.21 | 0.22 |
| FRGC06 | Saint-Brieuc (large) | 0.88 | 0.50 | 11.11 | 0.72 | 0.70 | 0.79 | 0.74 |
| FRGC09 | Perros-Guirrec - Morlaix (large) | 0.54 | 0.24 | 0.00 | 0.79 | 0.81 | 1.00 | 0.87 |
| FRGC10 | Baie de Lannion | 12.54 | 9.52 | 94.44 | 0.19 | 0.19 | 0.11 | 0.17 |
| FRGC12 | Léon - Trégor (large) | 2.72 | 1.59 | 50.00 | 0.50 | 0.47 | 0.47 | 0.48 |
| FRGC13 | Les Abers (large) | 0.77 | 0.38 | 5.56 | 0.75 | 0.75 | 0.89 | 0.79 |
| FRGC20 | Baie de Douarnenez | 6.47 | 4.31 | 88.89 | 0.32 | 0.25 | 0.21 | 0.26 |
| FRGC26 | Baie d'Audierne | 0.29 | 0.17 | 0.00 | 0.88 | 0.86 | 1.00 | 0.91 |
| FRGC29 | Baie de Concarneau | 3.36 | 2.18 | 55.56 | 0.45 | 0.39 | 0.43 | 0.42 |
| FRGC32 | Laïta - Pouldu | 2.07 | 0.89 | 16.67 | 0.55 | 0.58 | 0.73 | 0.62 |
| FRGC34 | Lorient - Groix | 1.63 | 0.61 | 11.11 | 0.59 | 0.66 | 0.79 | 0.68 |
| FRGC35 | Baie d'Étel | 1.20 | 0.71 | 11.11 | 0.66 | 0.62 | 0.79 | 0.69 |
| FRGC36 | Baie de Quiberon | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 0.99 |
| FRGC38 | Golfe du Morbihan (large) | 0.19 | 0.09 | 0.00 | 0.92 | 0.93 | 1.00 | 0.95 |
| FRGC42 | Belle-Ile | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.98 | 0.99 | 1.00 | 0.99 |
| FRGC44 | Baie de Vilaine (côte) | 0.63 | 0.40 | 0.00 | 0.77 | 0.74 | 1.00 | 0.84 |
| FRGC45 | Baie de Vilaine (large) | 0.38 | 0.22 | 0.00 | 0.85 | 0.82 | 1.00 | 0.89 |
| FRGC46 | Loire (large) | 0.45 | 0.20 | 0.00 | 0.82 | 0.84 | 1.00 | 0.89 |
| FRGC48 | Baie de Bourgneuf | 0.38 | 0.22 | 0.00 | 0.85 | 0.83 | 1.00 | 0.89 |
| FRGC49 | La Barre-de-Monts | 1.54 | 0.81 | 11.11 | 0.60 | 0.59 | 0.79 | 0.66 |
| FRGC50 | Nord Sables-d'Olonne | 0.11 | 0.04 | 0.00 | 0.96 | 0.97 | 1.00 | 0.98 |
| FRGC53 | Pertuis Breton | 0.95 | 0.62 | 11.11 | 0.71 | 0.65 | 0.79 | 0.72 |
| FRHC02 | Baie du Mont Saint Michel: centre baie | 0.17 | 0.09 | 0.00 | 0.93 | 0.93 | 1.00 | 0.95 |
| FRHC03 | Ouest Cotentin | 0.08 | 0.03 | 0.00 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 0.98 |
| FRHC04 | Cap de Carteret - Cap de la Hague | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| FRHC09 | Anse de Saint-Vaast la Hougue | 0.11 | 0.04 | 0.00 | 0.95 | 0.97 | 1.00 | 0.97 |
| FRHC10 | Baie des Veys | 0.86 | 0.42 | 11.11 | 0.73 | 0.73 | 0.79 | 0.75 |
| FRHC11 | Côte du Bessin | 0.47 | 0.20 | 0.00 | 0.81 | 0.84 | 1.00 | 0.88 |
| FRHC12 | Côte de Nacre Ouest | 1.92 | 1.22 | 22.22 | 0.57 | 0.52 | 0.68 | 0.59 |
| FRHC13 | Côte de Nacre Est | 4.97 | 2.96 | 77.78 | 0.37 | 0.34 | 0.28 | 0.33 |
| FRHC14 | Baie de Caen | 1.18 | 0.55 | 11.11 | 0.66 | 0.68 | 0.79 | 0.71 |
| FRHC15 | Côte Fleurie | 0.09 | 0.03 | 0.00 | 0.96 | 0.98 | 1.00 | 0.98 |
| FRHT06 | Baie des Veys: fond de baie estuarien et chenaux d'Isigny et de Carentan | 1.00 | 0.71 | 11.11 | 0.70 | 0.62 | 0.79 | 0.70 |

3.1.3. Impact du ramassage sur l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau

L'analyse de l'évolution annuelle du ramassage par masse d'eau montre que les années pour lesquelles le cumul annuel est fort ne correspondent pas forcément avec les années pour lesquelles ont été enregistrés les ramassages les plus importants (Carte 1 et Carte 2). A titre d'exemple, l'effort de ramassage le plus important a été fait en 2009 avec un total de près de 89 500 m³ d'algues vertes collectées sur l'ensemble des masses d'eau considérées dans cette étude pour un total de 1815 ha équivalant à 100% de couverture algale. En comparaison, la couverture algale totale était de 2373 ha équivalant à 100% en 2008 mais le ramassage ne s'est pourtant élevé qu'à 54 262 m³ d'algues vertes. L'effort de ramassage est différent d'une commune à une autre et de ce fait d'une masse d'eau à une autre selon la politique de ramassage adoptée. De plus, les chiffres de ramassage sont issus d'une enquête conduite chaque année par le CEVA auprès des différentes communes, enquête à laquelle toutes les communes ne donnent pas suite.



Carte 1 : Cumul annuel des surfaces d'échouages (ha équi100) observées lors des survols effectués en mai, juillet et septembre entre 2005 et 2010 (1 survol par mois)
 (© CEVA)
 20 / 60



Carte 2 : Volume annuel d'algues vertes ramassées (m-3) pour chaque masse d'eau entre 2005 et 2010 sur la base des déclarations effectuées par les communes. Seules les données concernant les masses d'eau présentées dans la Carte 1 ont été reprises (© CEVA)

Pour parvenir à estimer l'effet du ramassage sur l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau, il a été choisi de quantifier l'**effort de ramassage**. Pour cela, la moyenne du ramassage annuel entre 2005 et 2010 (m^3) a été divisée par la moyenne des surfaces annuelles cumulées entre 2005 et 2010 (ha). Plus la valeur issue de ce calcul est grande, plus l'effort de ramassage est important. L'EQR 2005-2010 de chaque masse a été associé à l'effort de ramassage (Figure 5). La Figure 5 montre une évolution linéaire entre l'EQR et l'effort de ramassage entre 0 et 100 ($R^2 = 0.41$) démontrant ainsi que plus l'effort de ramassage est important, plus la masse d'eau est en mauvais état écologique. En revanche, lorsque l'effort de ramassage est supérieur à 100, la tendance s'inverse, avec une amélioration de l'état écologique de la masse d'eau avec l'effort de ramassage. Il semble donc qu'un effort de ramassage supérieur à 100 tende à améliorer artificiellement la qualité écologique de la masse d'eau. Ici, quatre masses d'eau pourraient avoir un EQR surestimé grâce aux efforts de ramassage entrepris : la FRGC29, la FRGC36, la FRGC44 et la FRGC45.

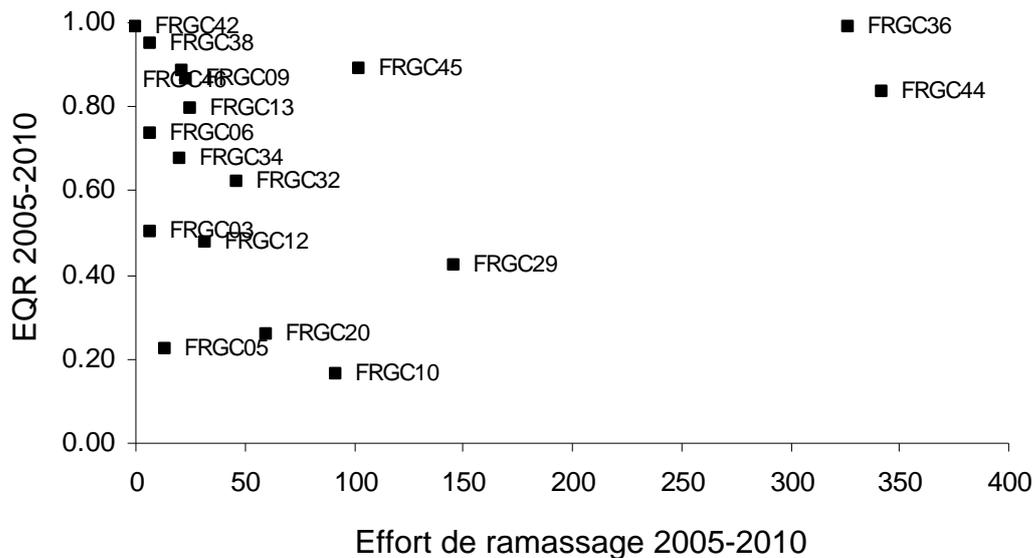


Figure 5 : Influence de l'effort de ramassage sur l'EQR

Concernant les FRGC44 et FRGC36, la relation pression-impact (voir § 3.2.4.1) indique que l'EQR établi est cohérent avec la concentration hivernale en azote dissous. Si l'effort de ramassage avait permis d'améliorer la qualité écologique de la masse d'eau alors l'EQR calculé n'aurait pas été en accord avec la pression représentée par la concentration hivernale en azote dissous. L'effort de ramassage sur ces deux masses d'eau n'influence donc pas significativement leur EQR final.

Concernant les FRGC29 et FRGC45, la concentration en azote dissous hivernal n'a pas pu être établie. Il n'est donc pas possible de vérifier si l'EQR calculé est en adéquation avec la pression établie. La FRGC29 est classée en dehors du bon état écologique. Le ramassage important sur cette masse d'eau ne permet donc pas de réduire suffisamment les surfaces d'échouage pour pallier au problème de marée verte et atteindre artificiellement un bon état écologique de la masse d'eau. En revanche, l'EQR calculé sur cette masse d'eau (0.42) étant proche de la limite entre l'état moyen et l'état médiocre (0.40), il est envisageable que l'absence de ramassage aurait pu conduire au classement de cette masse d'eau en état médiocre.

Les concentrations en azote dissous hivernal ne sont pas disponibles pour la FRGC45. Cette masse d'eau se situe néanmoins dans le prolongement direct de la FRGC44 dont la concentration hivernale en azote dissous est associée à un très bon état écologique. De ce fait, il est probable que l'EQR établi pour la FRGC45 ne soit pas influencé par le ramassage.

Sur l'ensemble des masses d'eau, l'amélioration de la qualité des masses d'eau par suite de ramassage n'est qu'apparente. Il ne s'agit pas d'une réelle amélioration de l'état écologique. Néanmoins, la poursuite du suivi du ramassage combinée à l'évaluation de la pression (concentration hivernale en azote dissous) et de l'EQR est nécessaire. L'effort de ramassage pourrait encore s'intensifier avec la mise au point de nouvelles techniques (ramassage dans l'eau) qui pourraient, à terme, permettre l'amélioration significative de la qualité écologique des masses d'eau.

3.2. Systèmes vaseux

3.2.1. EQR 2008-2010

Sur les 28 masses d'eau évaluées avec la grille des systèmes vaseux (grille française basée sur 2 métriques) entre 2008 et 2010 (ou les années disponibles jusqu'en 2010), 7 sont classées en très bon état écologique, 11 en bon état, 7 en état moyen, 3 en état médiocre et aucune en mauvais état (Tableau 12). En d'autres termes, 36 % des masses d'eau évaluées avec la grille des systèmes vaseux sont en dehors du bon état écologique. Les aires potentiellement colonisables de chacune des masses d'eau évaluées sont présentées en Annexe 1.

Tableau 12 : Classement DCE des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne (FRG) avec la grille des systèmes vaseux sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2008-2010)

| Code ME | Nom ME | Métrique 1 (%) | Métrique 2 (ha) | EQR M1 | EQR M2 | EQR final |
|---------|-----------------------------|----------------|-----------------|--------|--------|-----------|
| FRGT02 | Bassin maritime de la rance | 8.66 | 171.60 | 0.73 | 0.30 | 0.52 |
| FRGT03 | Le Trieux | 11.75 | 77.27 | 0.66 | 0.49 | 0.58 |
| FRGT04 | Le Jaudy | 5.17 | 19.05 | 0.80 | 0.75 | 0.78 |
| FRGT05 | Le Léguer | 1.59 | 2.93 | 0.94 | 0.94 | 0.94 |
| FRGT06 | Rivière de Morlaix | 8.72 | 183.04 | 0.73 | 0.29 | 0.51 |
| FRGT07 | La Penzé | 19.74 | 140.31 | 0.51 | 0.35 | 0.43 |
| FRGT08 | L'Aber Wrac'h | 12.52 | 109.77 | 0.65 | 0.39 | 0.52 |
| FRGT09 | L'Aber Benoît | 4.21 | 24.39 | 0.83 | 0.73 | 0.78 |
| FRGT10 | L'Elorn | 10.38 | 49.38 | 0.69 | 0.60 | 0.65 |
| FRGT11 | Rivière de Daoulas | 3.90 | 27.74 | 0.84 | 0.71 | 0.78 |
| FRGT12 | L'Aulne | 6.61 | 90.13 | 0.77 | 0.44 | 0.60 |
| FRGT14 | Rivière de Pont-l'Abbé | 23.08 | 173.41 | 0.44 | 0.30 | 0.37 |
| FRGT15 | L'Odet | 2.65 | 18.80 | 0.89 | 0.76 | 0.82 |
| FRGT16 | L'Aven | 7.41 | 14.08 | 0.75 | 0.78 | 0.77 |
| FRGT17 | La Belon | 1.49 | 8.38 | 0.94 | 0.83 | 0.89 |
| FRGT18 | La Laïta | 0.20 | 1.33 | 0.99 | 0.97 | 0.98 |
| FRGT19 | Le Scorff | 3.45 | 4.34 | 0.86 | 0.91 | 0.89 |
| FRGT20 | Le Blavet | 17.33 | 171.39 | 0.55 | 0.30 | 0.43 |
| FRGT21 | Rivière d'Etel | 18.85 | 425.16 | 0.52 | 0.19 | 0.36 |
| FRGT22 | Rivière de Crac'h | 10.34 | 39.65 | 0.69 | 0.65 | 0.67 |
| FRGT23 | Rivière d'Auray | 9.15 | 30.90 | 0.72 | 0.70 | 0.71 |
| FRGT24 | Rivière de Vannes | 39.09 | 158.11 | 0.34 | 0.32 | 0.33 |
| FRGT25 | Rivière de Noyal | 1.73 | 7.99 | 0.93 | 0.84 | 0.89 |
| FRGT27 | La Vilaine | 0.01 | 0.12 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| FRGC07 | Paimpol-Perros-Guirec | 1.88 | 132.14 | 0.92 | 0.36 | 0.64 |
| FRGC11 | Baie de Morlaix | 4.06 | 43.66 | 0.84 | 0.63 | 0.73 |
| FRGC16 | Rade de Brest | 3.03 | 73.25 | 0.88 | 0.51 | 0.69 |
| FRGC39 | Golfe du Morbihan | 4.32 | 492.46 | 0.83 | 0.19 | 0.51 |

3.2.2. Comparaison entre la grille française et la grille anglo-irlandaise

En 2008, 2009 et 2011, des campagnes de terrain ont été menées sur 16 masses d'eau pour acquérir les données nécessaires à l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau selon la grille d'anglo-irlandaise. Parmi ces 16 masses d'eau, 2 ont été évaluées lors de 2 années différentes : la rivière de Vannes a été évaluée en 2008 et en 2011 et le Jaudy a été évalué en 2009 et en 2011. Sur les 18 évaluations effectuées, 13 atteignent le même état écologique avec l'outil anglo-irlandais ou l'outil français. Pour 4 évaluations, la méthode française aboutit à un classement plus sévère qu'avec la méthode anglo-irlandaise (FRGT21, FRGT08, FRGC39 et FRGT24). Enfin, la FRGT04 est favorisée par la méthode française lors de son évaluation sur la base des données de 2009 pour laquelle elle est en bon état contrairement à la méthode anglo-irlandaise où elle apparaît en état moyen.

Tableau 13 : Comparaison entre les résultats obtenus avec la méthode anglo-irlandaise et avec la méthode française sur une seule année d'évaluation

| Code ME | Nom ME | Année | Couverture algale (ha équi 100) | Biomasse totale (t) | %cover AIH | AA (ha) | Biom/AIH (g/m ²) | Biom/AA (g/m ²) | % algues enfouies | EQR % cover AIH | EQR AA | EQR Biom/AIH | EQR Biom/AA | EQR Enfouissement | EQR anglo-irlandais | EQR français |
|---------|-----------------------------|-------|---------------------------------|---------------------|------------|---------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|--------|--------------|-------------|-------------------|---------------------|--------------|
| FRGT02 | Bassin maritime de la Rance | 2008 | 144.30 | 2153 | 10 | 187.00 | 156 | 1151 | 25 | 0.69 | 0.28 | 0.77 | 0.38 | 0.37 | 0.50 | 0.49 |
| FRGT03 | Le Trieux | 2008 | 55.60 | 780 | 13 | 86.00 | 178 | 907 | 30 | 0.65 | 0.46 | 0.76 | 0.44 | 0.33 | 0.53 | 0.55 |
| FRGT10 | L'Elorn | 2008 | 28.50 | 360 | 9 | 48.00 | 112 | 750 | 20 | 0.72 | 0.61 | 0.79 | 0.50 | 0.40 | 0.61 | 0.67 |
| FRGT20 | Le Blavet | 2008 | 109.00 | 2149 | 19 | 171.00 | 371 | 1257 | 17 | 0.52 | 0.31 | 0.66 | 0.37 | 0.44 | 0.46 | 0.41 |
| FRGT21 | Rivière d'Étel | 2008 | 302.00 | 3334 | 21 | 461.00 | 231 | 723 | 15 | 0.48 | 0.19 | 0.73 | 0.51 | 0.47 | 0.48 | 0.34 |
| FRGT24 | Rivière de Vannes | 2008 | 139.00 | 1720 | 48 | 184.00 | 590 | 935 | 22 | 0.31 | 0.29 | 0.56 | 0.43 | 0.39 | 0.39 | 0.30 |
| FRGT18 | La Laita | 2009 | 0.39 | 1.05 | 0.40 | 1.86 | 1.07 | 56.20 | 0.00 | 0.98 | 0.96 | 1.00 | 0.89 | 1.00 | 0.97 | 0.97 |
| FRGT16 | L'Aven | 2009 | 14.60 | 117.71 | 11.99 | 21.50 | 96.64 | 547.61 | 0.00 | 0.66 | 0.74 | 0.81 | 0.58 | 1.00 | 0.76 | 0.70 |
| FRGT17 | La Belon | 2009 | 3.02 | 18.77 | 2.32 | 6.74 | 14.38 | 278.53 | 0.00 | 0.91 | 0.87 | 0.97 | 0.71 | 1.00 | 0.89 | 0.89 |
| FRGT08 | L'Aber Wrac'h | 2009 | 58.27 | 680.48 | 12.62 | 103.71 | 147.36 | 656.16 | 0.00 | 0.65 | 0.40 | 0.78 | 0.54 | 1.00 | 0.67 | 0.52 |
| FRGT04 | Le Jaudy | 2009 | 17.84 | 437.81 | 6.88 | 21.80 | 168.93 | 2008.61 | 29.03 | 0.76 | 0.74 | 0.77 | 0.30 | 0.34 | 0.58 | 0.75 |
| FRGT07 | La Penzé | 2009 | 92.01 | 1594.99 | 21.09 | 131.21 | 365.64 | 1215.56 | 26.32 | 0.48 | 0.36 | 0.67 | 0.38 | 0.36 | 0.45 | 0.42 |
| FRGC39 | Golfe de Morbihan | 2011 | 153.38 | 1679.27 | 2.50 | 272.52 | 27.41 | 616.20 | 11.90 | 0.90 | 0.20 | 0.95 | 0.55 | 0.51 | 0.62 | 0.55 |
| FRGT23 | Rivière d'Auray | 2011 | 48.89 | 1009.09 | 21.79 | 79.45 | 449.78 | 1270.10 | 8.33 | 0.46 | 0.48 | 0.63 | 0.37 | 0.56 | 0.50 | 0.47 |
| FRGT24 | Rivière de Vannes | 2011 | 98.31 | 950.89 | 33.75 | 160.39 | 326.39 | 592.85 | 15.00 | 0.37 | 0.32 | 0.69 | 0.56 | 0.47 | 0.48 | 0.34 |
| FRGT25 | Rivière de Noyal | 2011 | 67.02 | 676.42 | 22.97 | 92.82 | 231.84 | 728.70 | 16.67 | 0.44 | 0.43 | 0.73 | 0.51 | 0.44 | 0.51 | 0.43 |
| FRGT06 | Rivière de Morlaix | 2011 | 115.56 | 586.50 | 10.16 | 189.24 | 51.54 | 309.92 | 82.61 | 0.70 | 0.28 | 0.90 | 0.70 | 0.07 | 0.53 | 0.49 |
| FRGT04 | Le Jaudy | 2011 | 17.60 | 113.44 | 6.79 | 24.69 | 43.77 | 459.49 | 56.25 | 0.76 | 0.73 | 0.91 | 0.62 | 0.18 | 0.64 | 0.75 |

La méthode française est généralement en accord avec les résultats trouvés selon la méthode anglo-irlandaise et peut être pour certaines masses d'eau plus contraignante. Dans ce dernier cas, le classement obtenu reste néanmoins en accord avec le dire d'expert.

La méthode française semble favoriser la FRGT04. Le fait de disposer de deux évaluations (en 2009 et en 2011) permet de comprendre que les dépôts algaux sur cette masse d'eau restent stables en termes de surface d'une année sur l'autre et que l'amélioration de la qualité écologique de cette masse d'eau semble passer avant tout par une diminution de la biomasse des dépôts avant la réduction de leur surface. Dans ce cas précis, l'analyse de la relation pression-impact (voir § 3.2.4.2) démontre que la concentration hivernale en azote dissous correspond à un état écologique moyen. Pour cette masse d'eau particulière, la combinaison du résultat attendu selon la relation pression-impact avec le résultat issu du calcul de l'EQR permet d'estimer au plus juste la classe de qualité à laquelle appartient une masse d'eau. Néanmoins, la relation pression-impact ne tient pas compte de la turbidité qui peut induire une limitation de la croissance algale par manque de lumière en dépit d'un apport suffisant en azote.

3.2.3. Prise en compte des gracilaires

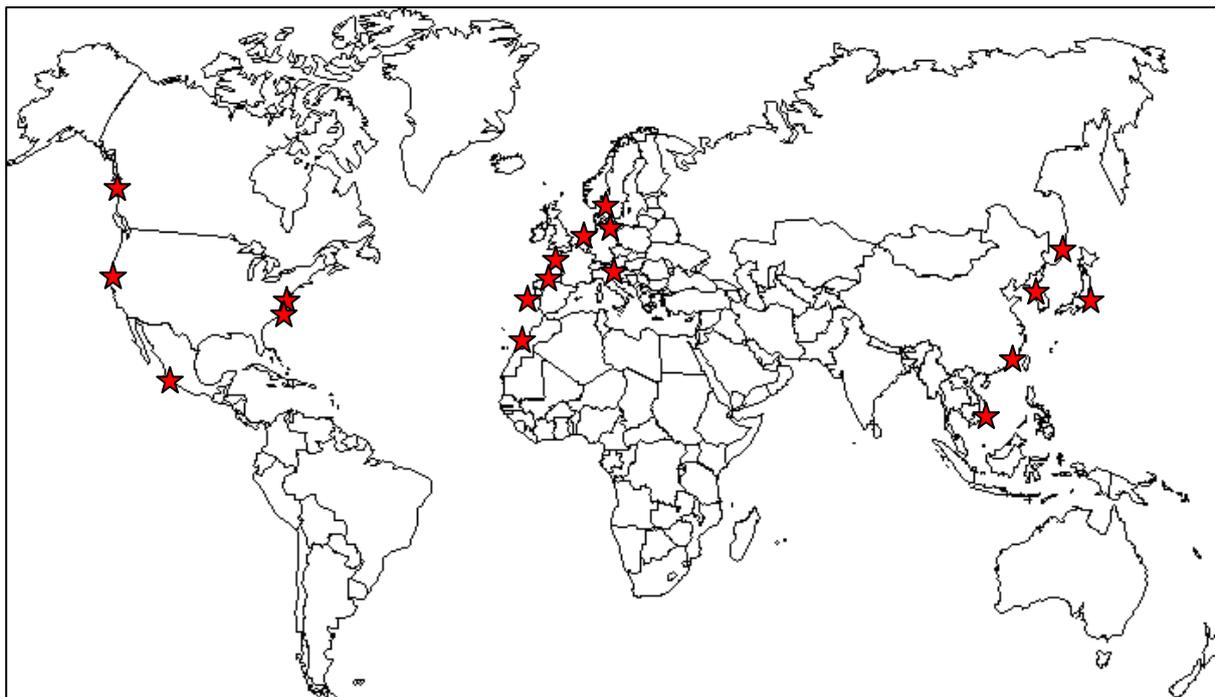
3.2.3.1. Éléments bibliographiques

Signalée pour la première fois sur les côtes bretonnes (dans l'estuaire de la Belon) en 1996 (Rueness, 2005), l'espèce *Gracilaria vermiculophylla* a été par la suite observée à Roscoff (Mollet et al., 1998). Cette espèce originaire du Japon, semble avoir été introduite accidentellement par le biais de l'importation des huîtres japonaises (Rueness et Beaupoil, 2003).

3.2.3.1.1. Distribution mondiale

D'après la distribution géographique compilée à partir des données bibliographiques, il semble que *Gracilaria vermiculophylla* soit présente à toutes les longitudes et à des latitudes comprises entre l'équateur et le 60ème parallèle (Carte 3).

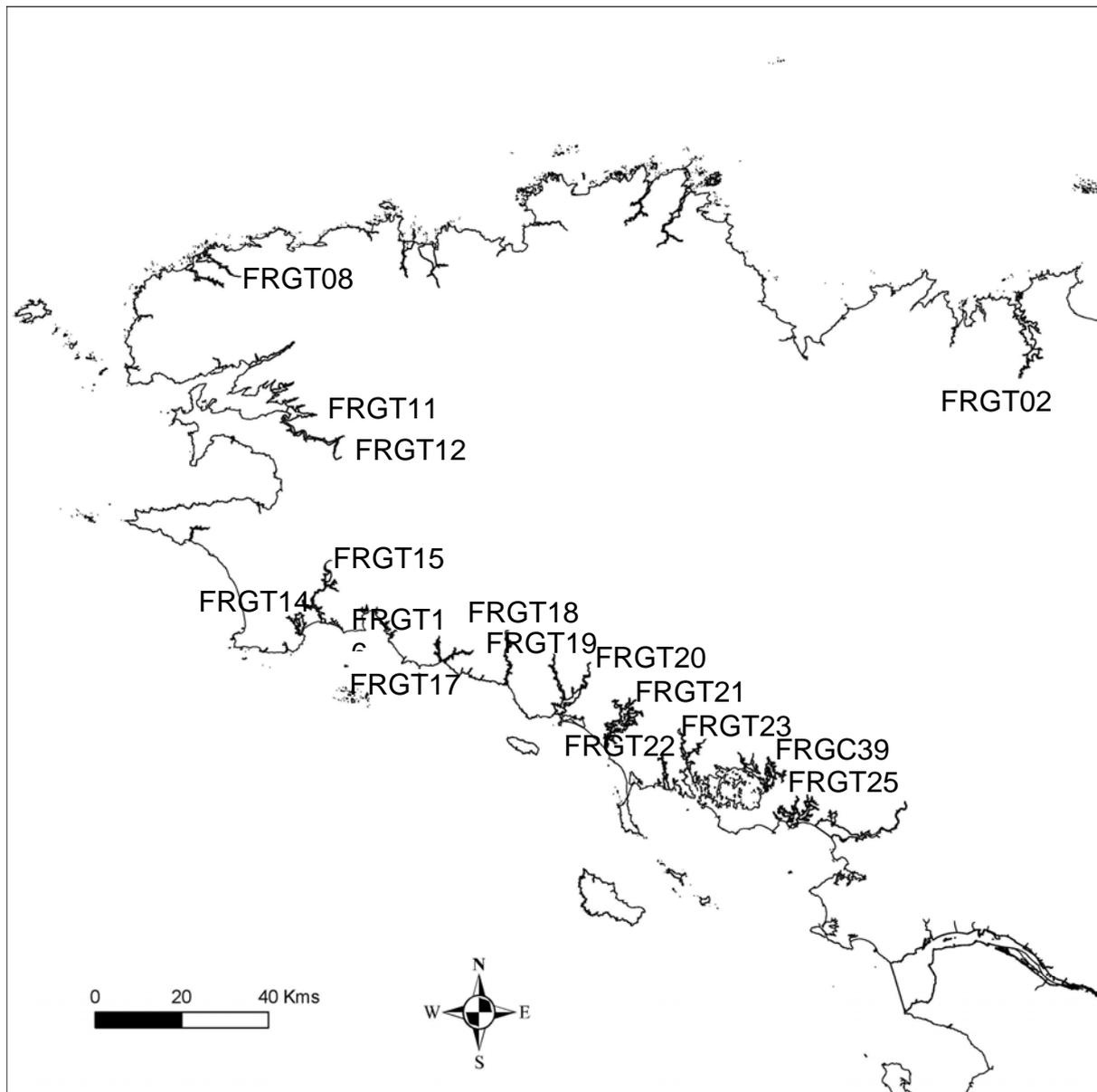
Gracilaria vermiculophylla a été décrite pour la première fois dans la lagune d'Akkeshi, située à l'Est d'Hokkaido, au Japon (Ohmi, 1956). Sur la côte ouest du Pacifique, elle a été signalée en Russie (Skriptsova et Choi, 2009), en Corée (Rueness, 2005), en Chine (Tseng et Xia, 1999 ; Xia et Zhang, 1999) et au Vietnam (Nguyen, 1992 ; Tseng et Xia, 1999 ; Tsutsui et al., 2005). Sur la côte est du Pacifique, elle est présente en Colombie Britannique (Saunders, 2009), en Californie et au Mexique (Bellorin et al., 2004). En Europe, elle a été décrite en France (Rueness, 2005), au Danemark, en Suède, au nord de l'Allemagne (Thomsen, 2007 ; Nejrup et Pedersen, 2010), au Portugal (Abreu, 2011), en Italie (Sfriso, 2010). Elle a également été retrouvée en Virginie (Thomsen et al., 2005) et à Rhode Island (Thorner et al., 2008) ainsi qu'au Maroc (Guillemin et al., 2008).



Carte 3 : Distribution mondiale de l'espèce *Gracilaria vermiculophylla* (© CEVA)

3.2.3.1.2. *Distribution en Bretagne*

Les dernières observations que le CEVA a pu effectuer ainsi que les travaux de Rueness (2005) ont mis en évidence la présence de cette espèce sur la Penzé, l'Aber Wrac'h, l'Aber Benoît, l'Aulne et l'Elorn pour le nord Bretagne et sur Concarneau (ruisseau du Minaouët), l'Aven, la Belon, la Laïta, le Scorff, le Blavet, la Ria d'Etel et la rivière de Vannes pour le sud Bretagne. En l'espace d'une quinzaine d'années, cette espèce s'est donc étendue sur l'ensemble des côtes bretonnes démontrant ainsi son caractère invasif, principalement au niveau des vasières abritées des eaux de transition. La Carte 4 présente les masses d'eau sur lesquelles les gracilaires sont présentes de manière remarquable par photos aériennes. Cet inventaire a été effectué à partir des photographies aériennes prises durant l'été 2009. Une exploration de terrain serait nécessaire pour confirmer quelle est l'espèce de gracilaires présente. Chaque masse d'eau a fait l'objet d'une cartographie individuelle présentée en Annexe 2.



Carte 4 : Masses d'eau sur lesquelles des tapis de gracilaires visibles sur les photos aériennes prises en été 2009 ont été répertoriées (© CEVA)

Le Tableau 14 montre que les gracilaires initialement recensées dans la Belon, sont aujourd'hui significativement présentes dans 19 masses d'eau de Bretagne. Les plus grandes surfaces se retrouvent dans le Golfe du Morbihan ainsi que dans le Blavet et la Ria d'Étel. Cette cartographie n'ayant été faite que sur la base de photointerprétation, il serait nécessaire de la compléter par une identification au microscope pour confirmer que *Gracilaria vermiculophylla* est bien l'espèce présente dans toutes ces masses d'eau.

Tableau 14 : Surface des gracilaires estimée à partir des photographies aériennes prises en été 2009

| Code ME | Surface gracilaires (ha équi100) |
|---------|----------------------------------|
| FRGT02 | 6.14 |
| FRGT08 | 1.28 |
| FRGT11 | 9.01 |
| FRGT12 | 6.08 |
| FRGT14 | 9.04 |
| FRGT15 | 7.14 |
| FRGT16 | 1.69 |
| FRGT17 | 6.77 |
| FRGT18 | 1.60 |
| FRGT19 | 9.08 |
| FRGT20 | 10.36 |
| FRGT21 | 10.26 |
| FRGT22 | 1.56 |
| FRGT23 | 1.98 |
| FRGC39 | 18.73 |
| FRGT25 | 3.57 |

3.2.3.2. Prise en compte des gracilaires dans le calcul de l'EQR

La prise en compte des gracilaires dans l'évaluation de la qualité écologique d'une masse d'eau a pour conséquence la rétrogradation d'une classe pour 4 masses d'eau (FRGT11, FRGT15, FRGT17 et FRGT19) qui passent d'un très bon état à un bon état écologique. Les autres masses d'eau gardent le même classement (Tableau 15).

Tableau 15 : Comparaison de l'EQR obtenu à partir des données algues vertes seules et des données algues vertes + gracilaires pour l'année 2009

| Code ME | Nom ME | EQR FINAL 2009 Algues vertes | EQR Final 2009 Algues vertes + gracilaires |
|---------|-----------------------------|------------------------------------|---|
| FRGT02 | Bassin maritime de la Rance | 0.60 | 0.58 |
| FRGT08 | L'Aber Wrac'h | 0.52 | 0.52 |
| FRGT11 | Rivière de Daoulas | 0.83 | 0.72 |
| FRGT12 | L'Aulne | 0.55 | 0.54 |
| FRGT14 | Rivière de Pont-l'Abbé | 0.44 | 0.40 |
| FRGT15 | L'Odet | 0.84 | 0.78 |
| FRGT16 | L'Aven | 0.70 | 0.67 |
| FRGT17 | La Belon | 0.84 | 0.73 |
| FRGT18 | La Laïta | 0.97 | 0.91 |
| FRGT19 | Le Scorff | 0.97 | 0.73 |
| FRGT20 | Le Blavet | 0.44 | 0.42 |
| FRGT21 | Rivière d'Etel | 0.45 | 0.44 |
| FRGT22 | Rivière de Crac'h | 0.66 | 0.64 |
| FRGT23 | Rivière d'Auray | 0.75 | 0.73 |
| FRGT25 | Rivière de Noyal | 0.86 | 0.81 |
| FRGC39 | Golfe du Morbihan | 0.50 | 0.50 |

En ne considérant que l'année 2009, la prise en compte des gracilaires n'induit pas de changement important dans le classement finale des masses d'eau, aucune ne sortant du bon état écologique du fait de l'ajout des gracilaires. Néanmoins, il est important de savoir (1) si le développement des gracilaires répond à la même pression que les algues vertes, (2) si les gracilaires sont en mesure d'entrer en compétition avec les algues vertes vis-à-vis de l'espace et des nutriments, ces deux points vérifiés permettant alors de justifier l'ajout des gracilaires à la grille initialement établie pour les algues vertes. Les études de Tyler et al. (2005), Tyler et McGlathery (2006) et Jensen et al. (2007) montrent qu'*Ulva* sp. et *Gracilaria vermiculophylla* ont des paramètres écophysologiques leur permettant de profiter de très faibles concentration en azote dans le milieu. Pour les faibles concentrations d'ammonium, *Gracilaria vermiculophylla* est plus compétitive qu'*Ulva* sp. (Tableau 16). Pour rappel, un V_{max} élevé traduit une forte capacité d'absorption dans les milieux riches en nitrates

tandis qu'un K_m faible traduit une forte capacité à absorber dans les milieux pauvres en nitrates.

Tableau 16 : Vitesse maximale d'absorption (V_{max}) et constante de demi-saturation (K_m) pour l'ammonium (NH_4^+)

| | V_{max} ($\mu\text{mol.gPS}^{-1}.\text{h}^{-1}$) | K_m (μM) |
|-----------------------------------|--|-------------------------|
| <i>Gracilaria vermiculophylla</i> | 11.93 | 7.27 |
| <i>Ulva</i> sp. | 146.00 | 14.40 |

Ces deux algues ont la capacité de stocker l'azote dans leur tissu et de l'utiliser lorsque celui-ci est absent du milieu (Rosenberg et Ramus, 1982). Néanmoins, le renouvellement tissulaire est plus important pour *Ulva* que pour *Gracilaria* induisant une meilleure persistance de *Gracilaria* dans un milieu en déficience d'azote (Fujita, 1985).

Concernant le paramètre lumière, les points de compensation et de saturation de la lumière démontrent que *Gracilaria vermiculophylla* est avantagée dans des conditions d'éclairement faible.

Tableau 17 : Point de compensation (I_c) et de saturation de la lumière (I_k) pour *Gracilaria vermiculophylla* et *Ulva lactuca* (d'après Merceron et al., 2007 et Sand-Jensen, 1988)

| | I_c ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) | I_k (μM) |
|-----------------------------------|--|-------------------------|
| <i>Gracilaria vermiculophylla</i> | 11.93 | 7.27 |
| <i>Ulva lactuca</i> | 146.00 | 14.40 |

Enfin, *Gracilaria vermiculophylla* a un taux de croissance maximum d'environ 8 % par jour (Nejrup et Pedersen, 2010) contre 10 % à 20 % par jour pour *Ulva* sp. (Taylor et al., 2001)

En prenant en compte l'ensemble des éléments écophysologiques ci-dessus, *Gracilaria vermiculophylla* ne semble pas entrer directement en compétition avec *Ulva* sp. *Gracilaria vermiculophylla* semble se développer là où la prolifération d'algues vertes n'est pas favorisée à savoir des eaux peu transparentes et plutôt pauvres en termes de nutriments. *Gracilaria vermiculophylla* pourrait néanmoins remplacer petit à petit *Ulva* sp. en réponse à la reconquête de la qualité écologique des eaux. Par conséquent, inclure telles quelles les surfaces de gracilaires dans la grille actuelle d'évaluation de la qualité des masses d'eau ne semble pas adapté. En effet, de part les caractéristiques écophysologiques différentes entre les ulves et les gracilaires, il est probable qu'elles ne répondent pas au même degré de pression. Néanmoins, l'évolution des gracilaires peut à la fois être un bon indicateur de l'évolution de la turbidité mais aussi du niveau d'eutrophisation d'une masse d'eau. Leur prise en compte dans l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau est à envisagée mais nécessitera un réajustement des grilles actuelles d'évaluation.

3.2.4. Mise en évidence d'une relation pression-impact

3.2.4.1. Système sableux

L'établissement des droites de dilution sur les masses d'eau ayant suffisamment de données a permis de calculer la concentration hivernale en azote dissous (normalisée à une salinité de 32) pour 9 masses d'eau côtières (Tableau 18). Les droites de dilution utilisées sont présentées en Annexe 3. La mise en relation entre la concentration hivernale en azote inorganique dissous et l'EQR calculé sur la base des années 2004 à 2009 montre une bonne corrélation ($R^2= 0.84$) (Figure 6). Néanmoins, le nombre de masses d'eau grâce auxquelles cette relation pression-impact est établie étant réduit, il semble nécessaire de poursuivre la recherche de données pour confirmer ce premier résultat. De plus, une relation pression-impact basé sur les flux d'azote permettrait de prendre en considération l'évolution des débits des cours d'eau au cours de la saison de croissance des algues vertes. En effet, même si un cours d'eau présente une concentration hivernale forte en azote dissous, les conséquences seront différentes selon le débit qui sera soutenu durant la saison de croissance des algues vertes.

Tableau 18 : Concentration hivernale en azote inorganique dissous normalisée à une salinité de 32 et EQR correspondant

| Code ME | Nom ME | DIN (32 psu) | EQR Final 2004-2009 |
|---------|--------------------------|--------------|---------------------|
| FRGC03 | Rance Fresnaye | 82.67 | 0.43 |
| FRGC05 | Fond baie de Saint Briec | 79.69 | 0.18 |
| FRGC26 | Baie d'Audierne | 33.55 | 0.92 |
| FRGC34 | Lorient -Groix | 44.57 | 0.68 |
| FRGC35 | Baie d'Etel | 38.55 | 0.64 |
| FRGC36 | Baie de Quiberon | 35.54 | 0.99 |
| FRGC38 | Golfe du Morbihan large | 38.07 | 0.95 |
| FRGC44 | Baie de Vilaine (côte) | 34.11 | 0.85 |
| FRGC46 | La Loire large | 39.33 | 0.90 |

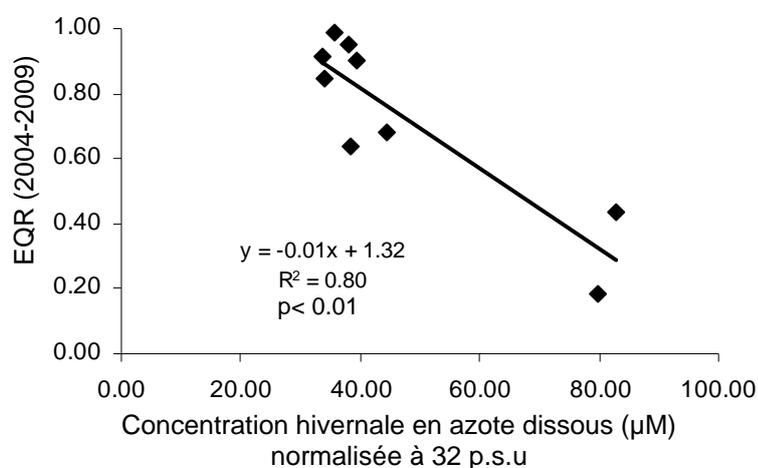


Figure 6 : Relation entre l'EQR 2004-2009 et la concentration hivernale en azote dissous

3.2.4.2. Système vaseux

L'établissement des droites de dilution sur les masses d'eau ayant suffisamment de données a permis de calculer la concentration hivernale en azote dissous (normalisée à une salinité de 25) pour 19 masses d'eau de transition (Tableau 19). Les droites de dilution utilisées sont présentées en Annexe 4. La mise en relation entre la concentration hivernale en azote inorganique dissous et l'EQR calculé sur la base des années 2004 à 2009 montre une corrélation plus faible que celle calculée pour les systèmes vaseux ($R^2 = 0.42$) (Figure 7). Cela peut s'expliquer par le fait que la turbidité de chaque masse d'eau ne soit pas prise en compte. Or, dans une masse d'eau turbide, la lumière limitera la croissance en dépit de fortes concentrations en azote.

Tableau 19 : Concentration hivernale en azote inorganique dissous normalisée à une salinité de 25 et EQR correspondant

| Code ME | Nom ME | DIN (25 psu) | EQR final |
|---------|-----------------------------|--------------|-----------|
| FRGT02 | Bassin maritime de la Rance | 152.61 | 0.52 |
| FRGT03 | Le Trieux | 176.36 | 0.58 |
| FRGT04 | Le Jaudy | 192.68 | 0.78 |
| FRGT05 | Le Léguer | 114.70 | 0.94 |
| FRGT07 | La Penzé | 219.18 | 0.43 |
| FRGT08 | L'Aber Wrac'h | 185.35 | 0.52 |
| FRGT09 | L'Aber Benoît | 191.38 | 0.78 |
| FRGT10 | L'Elorn | 167.83 | 0.65 |
| FRGT11 | Rivière de Daoulas | 108.28 | 0.78 |
| FRGT12 | L'Aulne | 136.06 | 0.60 |
| FRGT15 | L'Odet | 120.75 | 0.82 |
| FRGT16 | L'Aven | 126.93 | 0.77 |
| FRGT17 | La Belon | 115.59 | 0.89 |
| FRGT18 | La Laïta | 105.88 | 0.98 |
| FRGT19 | Le Scorff | 142.49 | 0.89 |
| FRGT22 | Rivière de Crac'h | 116.37 | 0.67 |
| FRGT23 | Rivière d'Auray | 120.51 | 0.71 |
| FRGT25 | Rivière de Noyal | 113.45 | 0.89 |
| FRGT27 | La Vilaine | 124.62 | 1.00 |

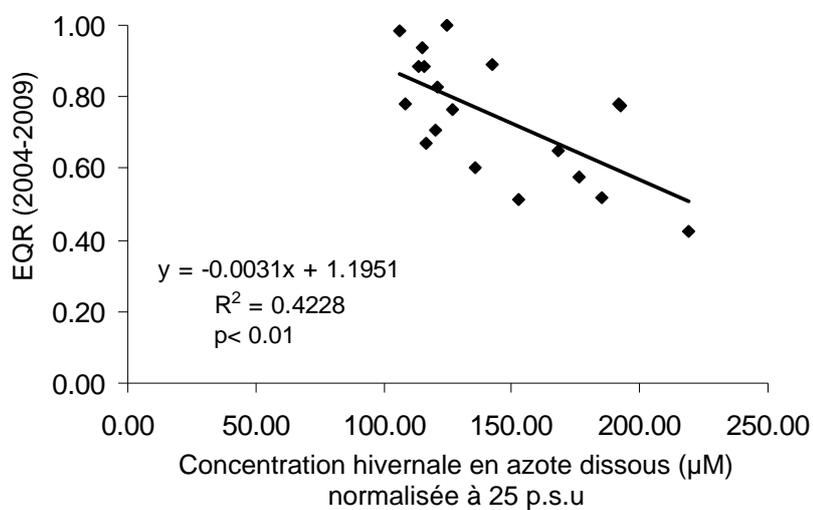
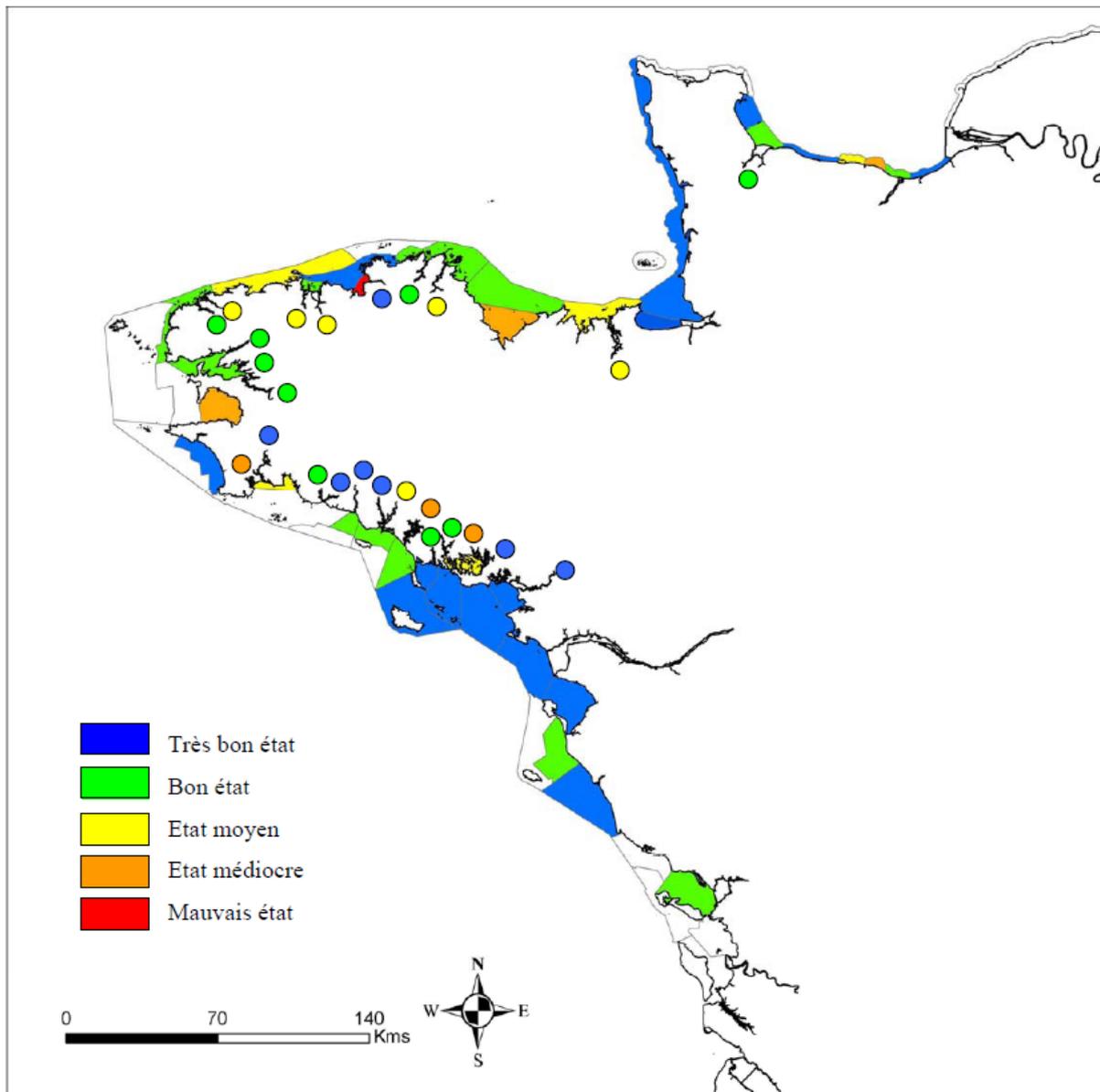


Figure 7 : Relation entre l'EQR 2004-2009 et la concentration hivernale en azote dissous

4. Conclusion

➤ Concernant le classement des masses d'eau, sur les 63 évaluées sur la base des années 2005 à 2010, 18 sortent du bon état écologique (Carte 5).



Carte 5 : Résultat cartographique du classement DCE avec l'EQB macroalgues de bloom sur la base des années 2005 à 2010 (ou de 2008 à 2010 ou de 2009 à 2010 selon les masses d'eau)

➤ Les grilles d'évaluation mises en place aboutissent à des résultats de qualité des masses d'eau en accord avec le dire d'expert. De plus, les relations pression-impact mises en évidence confirment que les grilles d'évaluation de la qualité des masses d'eau répondent à la pression visée, l'eutrophisation. Néanmoins la considération des flux d'azote à la place de la concentration hivernale en azote dissous ainsi que la prise en compte de la turbidité permettraient d'affiner cette relation pression-impact.

➤ La grille française d'évaluation de la qualité écologique des systèmes vaseux permet l'évaluation de l'ensemble des masses d'eau chaque année et à moindre coût que la méthode anglo-irlandaise. De plus, cette étude a montré l'obtention de résultats similaires avec les deux outils.

➤ Dans cette étude, le ramassage des algues vertes ainsi que la présence de gracilaires ont été envisagés comme pouvant intervenir sur la qualité écologique d'une masse d'eau. Cette étude a pu mettre en évidence que le ramassage n'entraîne qu'une amélioration apparente d'une masse d'eau qui ne se reflète pas au niveau de l'évaluation de l'état écologique. Néanmoins, avec l'intensification du ramassage et le développement de nouvelles techniques, cela pourrait être possible à terme.

Concernant les gracilaires, même si le caractère invasif de *Gracilaria vermiculophylla* est avéré, l'étude de leur caractéristiques écophysiological démontre qu'elles ne peuvent être compétitives avec les algues vertes que dans des conditions lumineuses et nutritives réduites. Elles pourraient être un indicateur d'un niveau d'eutrophisation intermédiaire. Leur prise en compte dans de futures évaluations de la qualité écologique des systèmes vaseux est donc à envisager.

➤ Les grilles actuellement mises en place permettent d'évaluer la qualité écologique des masses d'eau sur lesquelles ont lieu les marées vertes à ulves dérivantes et les marées vertes de vase. Il reste à adapter ces grilles pour permettre l'évaluation des masses d'eau touchées par les marées vertes d'arrachage. Ce type de marées vertes se développant initialement sur les platiers rocheux avant leur échouage sur les plages, les algues vertes peuvent être à la fois considérées dans la grille d'évaluation destinée des EQB « macroalgues intertidales de substrat dur » et « macroalgues de bloom ». Un développement de grille pour les marées vertes d'arrachage devra tenir compte de ces aspects pour éviter toute redondance entre les différents EQB.

5. Sigles & Abréviations

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EQB : Elément de Qualité Biologique

EQR : Ecological Quality Ratio (Ratio de Qualité Ecologique)

ME : Masse d'Eau

MEC : Masse d'Eau Côtière

MET : Masse d'Eau de Transition

6. Bibliographie

- Ar Gall E. & Le Duff M. 2012. Expertise et traitement de l'ensemble des données DCE macroalgues intertidales -MEC en Manche - Atlantique, intercalibration européenne et représentation au GIG NEA, échantillonnage et mise au point d'un indice MET. Rapport final, 39p.
- Abreu, M.H., Pereira, R., Buschmann, A.H., Sousa-Pinto, I. & Yarish, C. 2011. Nitrogen uptake responses of *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss under combined and single addition of nitrate and ammonium. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 407: 190-199.
- Bellorin, A.M., Oliveira, M.C. & Oliveira, E.C. 2004. *Gracilaria vermiculophylla*: A western Pacific species of Gracilariaceae (Rhodophyta) first recorded from the eastern Pacific. *Phycological Research* 52: 69-79.
- Fujita, R.M. 1985. The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 92: 283-301.
- Guillemin, M., Akki, S., Givernaud, T., Mouradi, A., Valero, M. & Destombe, C. 2008. Molecular characterisation and development of rapid molecular methods to identify species of Gracilariaceae from the Atlantic coast of Morocco. *Aquatic Botany* 89: 324-330.
- Jensen, A.T., Uldahl, A.G., Sjogren, K.P. & Khan, M. 2007. The invasive macroalgae *Gracilaria vermiculophylla* - Effects of Salinity, Nitrogen availability, Irradiance and Grazing on the growth rate. Report. 25 p.
- Merceron, M., Antoine, V., Auby, I. & Morand, P. 2007. In situ growth potential of the subtidal part of green tide forming *Ulva* spp. Stocks. *Science of the Total Environment* 384: 293-305.
- Mollet, J.C., Rahaoui, A. & Lemoine, Y. 1998. Yield, chemical composition and gel strength of agarocolloids of *Gracilaria gracilis*, *Gracilariopsis longissima* and the newly reported *Gracilaria* cf. *vermiculophylla* from Roscoff (Brittany, France). *Journal of Applied Phycology* 10: 59-66.
- Nejrup, L.B. & Pedersen, M.F. 2010. Growth and biomass development of the introduced red alga *Gracilaria vermiculophylla* is unaffected by nutrient limitation and grazing. *Aquatic Biology* 10: 249-259.
- Nguyen, H. D. 1992. Vietnamese species of *Gracilaria* and *Gracilariopsis*. In: *Taxonomy of Economic Seaweeds*. (Abbott, I.A. Eds) Vol.3, pp. 207-210. La Jolla, California: California Sea Grant College.
- Ohmi, H. 1956. On a new species of the genus *Gracilariopsis* with some considerations on its ecology. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University* 6: 217-219.
- Rosenberg, G. & Ramus, J. 1982. Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): soluble nitrogen and reserve carbohydrates. *Marine Biology* 66: 251-259.
- Rueness, J. 2005. Life history and molecular sequences of *Gracilaria vermiculophylla* (Gracilariales, Rhodophyta), a new introduction to European waters. *Phycologia* 44: 120-128.
- Rueness, J. & Beupoil, C. 2003. *Gracilaria* sp. (Gracilariales, Rhodophyta): a Pacific species spreading in estuaries of western France. In: *Abstracts, Third European Phycological Congress*. Queen's University, Belfast, p. 66.
- Sand-Jensen, K. 1988. Minimum light requirements for growth in *Ulva lactuca*. *Marine Ecology Progress Series* 50: 187-193.
- Saunders, G.W. 2009. Routine DNA barcoding of Canadian Gracilariales (Rhodophyta) reveals the invasive species *Gracilaria vermiculophylla* in British Columbia. *Molecular Ecology Resources* 9: 140-150.
- Sfriso, A. 2010. First record of *Gracilaria vermiculophylla* (Gracilariales, Rhodophyta) in the Po delta lagoons, Mediterranean sea (Italy). *Journal of Phycology* 46: 1024-1027.
- Skriptsova, A.V. & Choi, H.-G. 2009. Taxonomic revision of *Gracilaria "verrucosa"* from the Russian Far East based on morphological and molecular data. *Botanica Marina* 52: 331-340.
- Taylor, R., Fletcher, R.L. & Raven, J.A. 2001. Preliminary studies on the growth of selected 'green tide' algae in laboratory culture: effects of irradiance, temperature, salinity and nutrients on growth rate. *Botanica Marina* 44: 327-336.
- Thomsen, M. S., Gurgel, C. F. D., Fredericq, S. & McGlathery, K. J. 2005. *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta, Gracilariales) in Hog Island bay, Virginia: a cryptic alien and invasive macroalga and taxonomic correction. *Physiological Society of America* 42: 139-141.
- Thomsen, M.S., Staehr, P.A., Nyberg, C.D., Schwaerter, S., Krause-Jensen, D. & Siliman, B.R. 2007. *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss, 1967 (Rhodophyta, Gracilariaceae) in northern Europe, with emphasis on Danish conditions, and what to expect in the future. *Aquatic Invasions* 2: 83-94.
- Thornber, C. S., DiMilla, P., Nixon, S.W. & McKinney, R.A. 2008. Natural and anthropogenic nitrogen uptake by bloom-forming macroalgae. *Marine Pollution Bulletin* 56: 261-269.
- Tseng, C.K. & Xia, B.M. 1999. On the *Gracilaria* in the western Pacific and southeastern Asia region. *Botanica Marina* 42: 209-218.
- Tsutsui, I., Huybh, Q.N., Nguyễn, H.D., Arai, S. & Yoshida, T. 2005. *The common marine plants of southern Vietnam*. pp. 1-250 + [1], numerous colour photographs. Usa: Japan Seaweed Association.

- Tyler, A.C. & McGlathery, K.J. 2006. Uptake and release of nitrogen by the macroalgae *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta). *Journal of Phycology* 42: 515–525
- Tyler, A.C., McGlathery, K.J. & Macko, S.A. 2005. Uptake of urea and amino acids by the macroalgae *Ulva lactuca* (Chlorophyta) and *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta). *Marine Ecology Progress Series* 294: 161-172
- Xia, B. & Zhang, J. 1999. *Flora algarum marinarum sinicarum Tomus II Rhodophyta No. V Ahnfeltiales Gigartinales Rhodymeniales*. pp. 201, 11 pls. (In Chinese). Beijing: Science Press.

7. Table des illustrations

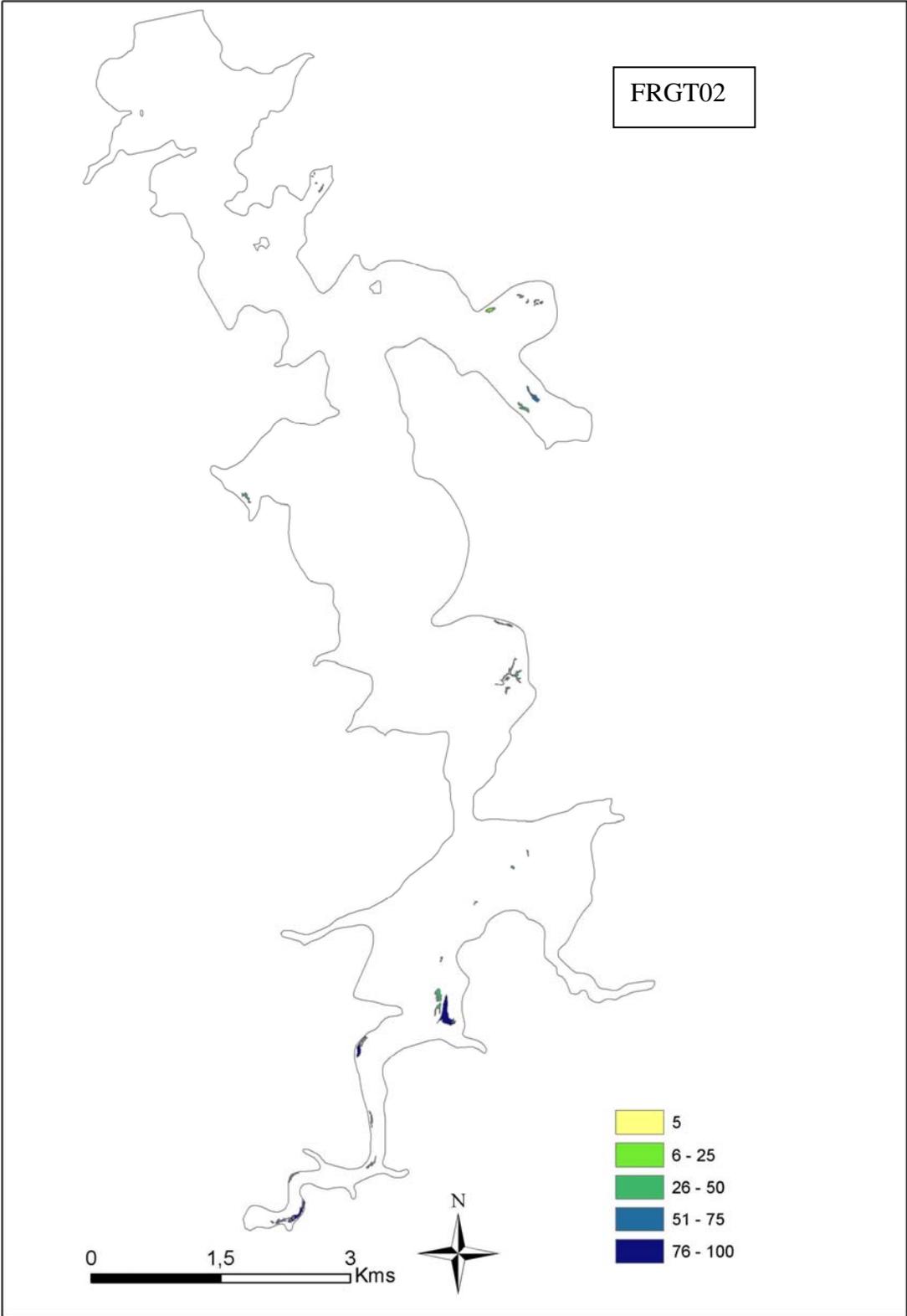
| | |
|--|----|
| Figure 1 : Illustration du découpage de l'estran breton par site à marées vertes (tracé violet) | 8 |
| Figure 2 : Géoréférencement des clichés aériens et digitalisation des dépôts algaux (tracé vert) avec attribution des pourcentages de recouvrement en algues (chiffre en noir) en baie de Guissény..... | 9 |
| Figure 3 : Organigramme de procédure d'acquisition des données surfaciques de marées vertes par sites | 9 |
| Figure 4 : Découpage des masses d'eau sur la côte nord de la Bretagne (FRGC en rouge et FRGT en bleu) combiné au découpage par sites à marées vertes (violet)..... | 10 |
| Figure 5 : Influence de l'effort de ramassage sur l'EQR | 22 |
| Figure 6 : Relation entre l'EQR 2004-2009 et la concentration hivernale en azote dissous..... | 29 |
| Figure 7 : Relation entre l'EQR 2004-2009 et la concentration hivernale en azote dissous..... | 30 |
| | |
| Tableau 1 : Masses d'eau des bassins Loire Bretagne et Seine Normandie classées par la grille destinée aux systèmes ouverts et sableux..... | 12 |
| Tableau 2 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 1 (en %)..... | 14 |
| Tableau 3: Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 2 (en %)..... | 14 |
| Tableau 4 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 3 (en %)..... | 14 |
| Tableau 5 : Masses d'eau des bassins Loire Bretagne et Seine Normandie classées par la grille destinée aux systèmes enclavés et vaseux | 15 |
| Tableau 6 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 1 (en %)..... | 16 |
| Tableau 7 : Seuils des différents états écologiques établis pour la métrique 2 (en ha)..... | 16 |
| Tableau 8 : Grille anglo-irlandaise..... | 16 |
| Tableau 9 : Liste des masses d'eau sur lesquelles ont été évalués la biomasse algale et l'enfouissement..... | 16 |
| Tableau 10 : Classement DCE des masses d'eau des bassins Loire-Bretagne (FRG) et Seine-Normandie (FRH) avec la grille des systèmes sableux sur la base de l'EQB macroalgues opportunistes (2004-2009) | 18 |
| Tableau 11 : Classement DCE des masses d'eau des bassins Loire-Bretagne (FRG) et Seine-Normandie (FRH) avec la grille des systèmes sableux sur la base de l'EQB macroalgues opportunistes (2005-2010) | 19 |
| Tableau 12 : Classement DCE des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne (FRG) avec la grille des systèmes vaseux sur la base de l'EQB macroalgues opportunistes (2008-2010)..... | 23 |
| Tableau 13 : Comparaison entre les résultats obtenus avec la méthode anglo-irlandaise et avec la méthode française sur une seule année d'évaluation..... | 24 |
| Tableau 14 : Surface des gracilaires estimée à partir des photographies aériennes prises en été 2009 | 27 |
| Tableau 15 : Comparaison de l'EQR obtenu à partir des données algues vertes seules et des données algues vertes + gracilaires pour l'année 2009..... | 27 |
| Tableau 16 : Vitesse maximale d'absorption (V_{max}) et constante de demi-saturation (K_m) pour l'ammonium (NH_4^+)..... | 28 |
| Tableau 17 : Point de compensation (I_c) et de saturation de la lumière (I_k) pour <i>Gracilaria vermiculophylla</i> et <i>Ulva lactuca</i> (d'après Merceron et al., 2007 et Sand-Jensen, 1988) | 28 |
| Tableau 18 : Concentration hivernale en azote inorganique dissous normalisée à une salinité de 32 et EQR correspondant..... | 29 |
| Tableau 19 : Concentration hivernale en azote inorganique dissous normalisée à une salinité de 25 et EQR correspondant..... | 30 |
| | |
| Carte 1 : Cumul annuel des surfaces d'échouages (ha équi100) observées lors des survols effectués en mai, juillet et septembre entre 2005 et 2010 (1 survol par mois) (© CEVA) | 20 |
| Carte 2 : Volume annuel d'algues vertes ramassées (m-3) pour chaque masse d'eau entre 2005 et 2010 sur la base des déclarations effectuées par les communes. Seules les données concernant les masses d'eau présentées dans la Carte 1 ont été reprises (© CEVA) | 21 |
| Carte 3 : Distribution mondiale de l'espèce <i>Gracilaria vermiculophylla</i> (© CEVA) | 25 |
| Carte 4 : Masses d'eau sur lesquelles des tapis de gracilaires visibles sur les photos aériennes prises en été 2009 ont été répertoriées (© CEVA) | 26 |
| Carte 5 : Résultat cartographique du classement DCE avec l'EQB macroalgues de bloom sur la base des années 2005 à 2010 (ou de 2008 à 2010 ou de 2009 à 2010 selon les masses d'eau) | 31 |

8. Annexes

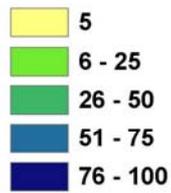
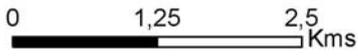
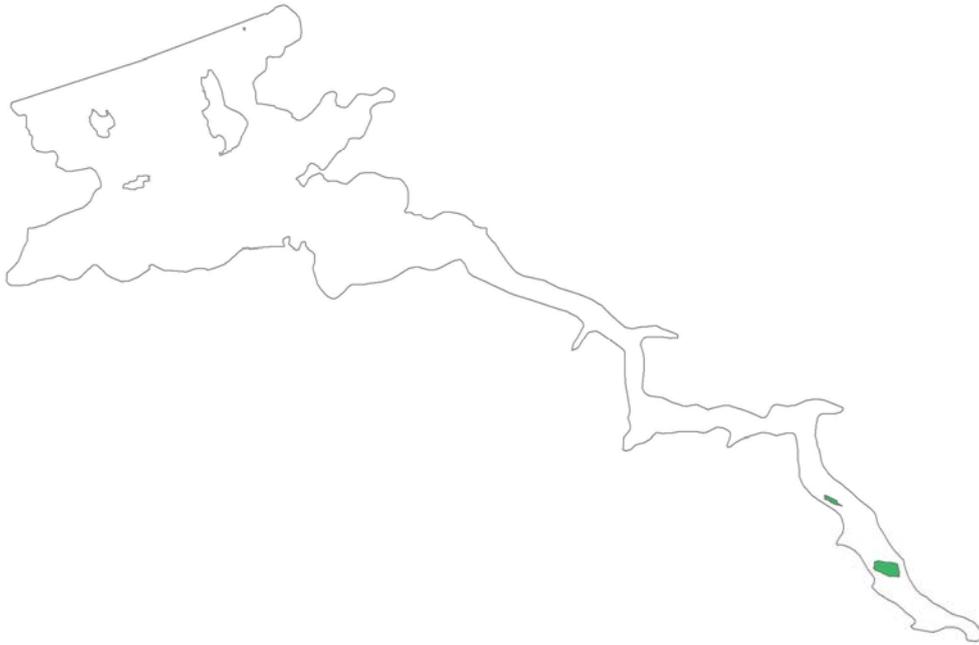
Annexe 1 : Aires potentiellement colonisables (AIH) issues de la somme des substrats meubles (sable et vase) sur les masses d'eau côtières et de transition des bassins Loire-Bretagne et Seine Normandie. Le classement d'un substrat en sable ou en vase est effectué par photointerprétation (échelle 1/10000ème) et ne repose donc pas sur des critères géologiques stricts

| CODE ME | Roches (ha) | Sable (ha) | Schorres (ha) | Vase (ha) | AIH (ha) |
|---------|-------------|------------|---------------|-----------|----------|
| FRGC01 | 170 | 8482 | 1138 | 0 | 8482 |
| FRGC03 | 648 | 3627 | 150 | 56 | 3683 |
| FRGC05 | 295 | 4432 | 105 | 11 | 4443 |
| FRGC06 | 279 | 471 | 23 | 0 | 471 |
| FRGC07 | 4652 | 457 | 27 | 3895 | 4352 |
| FRGC09 | 2155 | 890 | 23 | 374 | 1263 |
| FRGC10 | 325 | 911 | 10 | 0 | 911 |
| FRGC11 | 874 | 622 | 0 | 300 | 921 |
| FRGC12 | 2278 | 2548 | 144 | 74 | 2621 |
| FRGC13 | 1541 | 993 | 30 | 130 | 1123 |
| FRGC16 | 560 | 95 | 19 | 1340 | 1435 |
| FRGC20 | 260 | 946 | 14 | 23 | 969 |
| FRGC26 | 479 | 755 | 0 | 0 | 755 |
| FRGC29 | 285 | 564 | 47 | 145 | 709 |
| FRGC32 | 58 | 94 | 0 | 0 | 94 |
| FRGC34 | 271 | 276 | 69 | 472 | 749 |
| FRGC35 | 99 | 436 | 2 | 0 | 436 |
| FRGC36 | 216 | 872 | 72 | 334 | 1206 |
| FRGC38 | 426 | 474 | 15 | 108 | 582 |
| FRGC39 | 288 | 41 | 100 | 6084 | 6125 |
| FRGC42 | 130 | 126 | 0 | 0 | 126 |
| FRGC44 | 826 | 993 | 53 | 297 | 1290 |
| FRGC45 | 533 | 343 | 66 | 598 | 941 |
| FRGC46 | 243 | 318 | 0 | 0 | 318 |
| FRGC48 | 1537 | 303 | 41 | 9107 | 9409 |
| FRGC49 | 19 | 1793 | 0 | 0 | 1793 |
| FRGC50 | 495 | 778 | 0 | 0 | 778 |
| FRGC53 | 1023 | 2990 | 113 | 1379 | 4369 |
| FRHC02 | 419 | 10196 | 264 | 0 | 10196 |
| FRHC03 | 4605 | 10817 | 1483 | 0 | 10817 |
| FRHC04 | 590 | 1409 | 0 | 0 | 1409 |
| FRHC09 | 272 | 2114 | 33 | 0 | 2114 |
| FRHC10 | 564 | 1121 | 0 | 0 | 1121 |
| FRHC11 | 300 | 374 | 0 | 0 | 374 |
| FRHC12 | 42 | 808 | 0 | 0 | 808 |
| FRHC13 | 750 | 596 | 0 | 0 | 596 |
| FRHC14 | 118 | 1082 | 0 | 0 | 1082 |
| FRHC15 | 1 | 1183 | 11 | 0 | 1183 |
| FRGT02 | 11 | 0 | 225 | 1384 | 1384 |
| FRGT03 | 67 | 1 | 36 | 438 | 439 |
| FRGT04 | 43 | 1 | 18 | 259 | 259 |
| FRGT05 | 25 | 42 | 0 | 59 | 101 |
| FRGT06 | 34 | 17 | 16 | 1121 | 1138 |
| FRGT07 | 31 | 0 | 19 | 436 | 436 |
| FRGT08 | 108 | 7 | 0 | 455 | 462 |
| FRGT09 | 68 | 132 | 10 | 164 | 296 |
| FRGT10 | 57 | 1 | 73 | 319 | 320 |
| FRGT11 | 45 | 0 | 43 | 288 | 288 |
| FRGT12 | 117 | 0 | 232 | 753 | 753 |
| FRGT14 | 22 | 24 | 64 | 464 | 488 |
| FRGT15 | 22 | 8 | 9 | 514 | 522 |
| FRGT16 | 6 | 8 | 3 | 114 | 122 |
| FRGT17 | 3 | 2 | 11 | 129 | 130 |
| FRGT18 | 4 | 80 | 117 | 17 | 97 |
| FRGT19 | 0 | 0 | 79 | 87 | 87 |
| FRGT20 | 28 | 22 | 39 | 558 | 580 |
| FRGT21 | 27 | 26 | 268 | 1416 | 1441 |
| FRGT22 | 26 | 61 | 20 | 164 | 225 |
| FRGT23 | 0 | 0 | 116 | 224 | 224 |
| FRGT24 | 1 | 0 | 47 | 291 | 291 |
| FRGT25 | 0 | 0 | 511 | 292 | 292 |
| FRGT27 | 85 | 40 | 85 | 1015 | 1054 |
| FRHT06 | 205 | 2107 | 439 | 0 | 2107 |

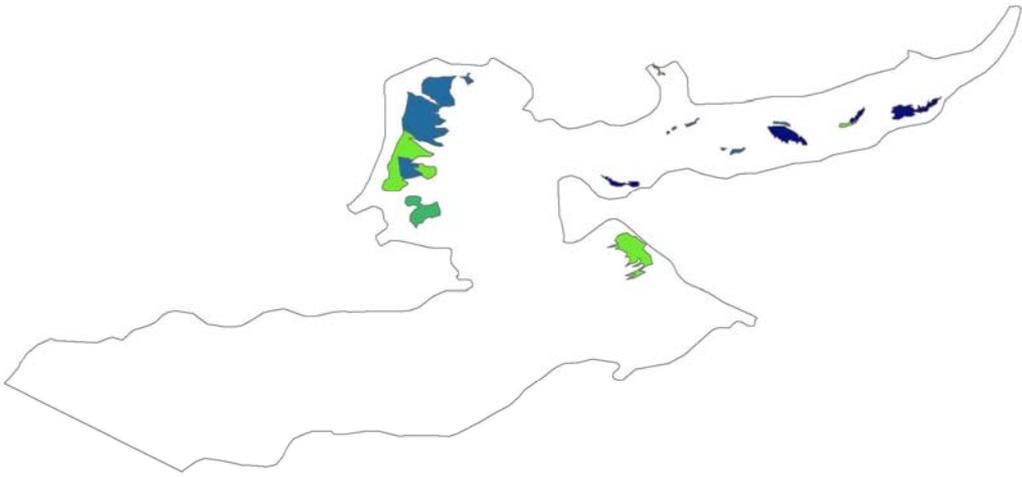
Annexe 2 : Cartographies détaillées des gracilaires par masses d'eau sur la base des photographies aériennes de l'été 2009



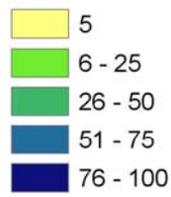
FRGT08



FRGT11



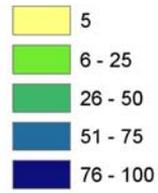
0 0,5 1 Kms

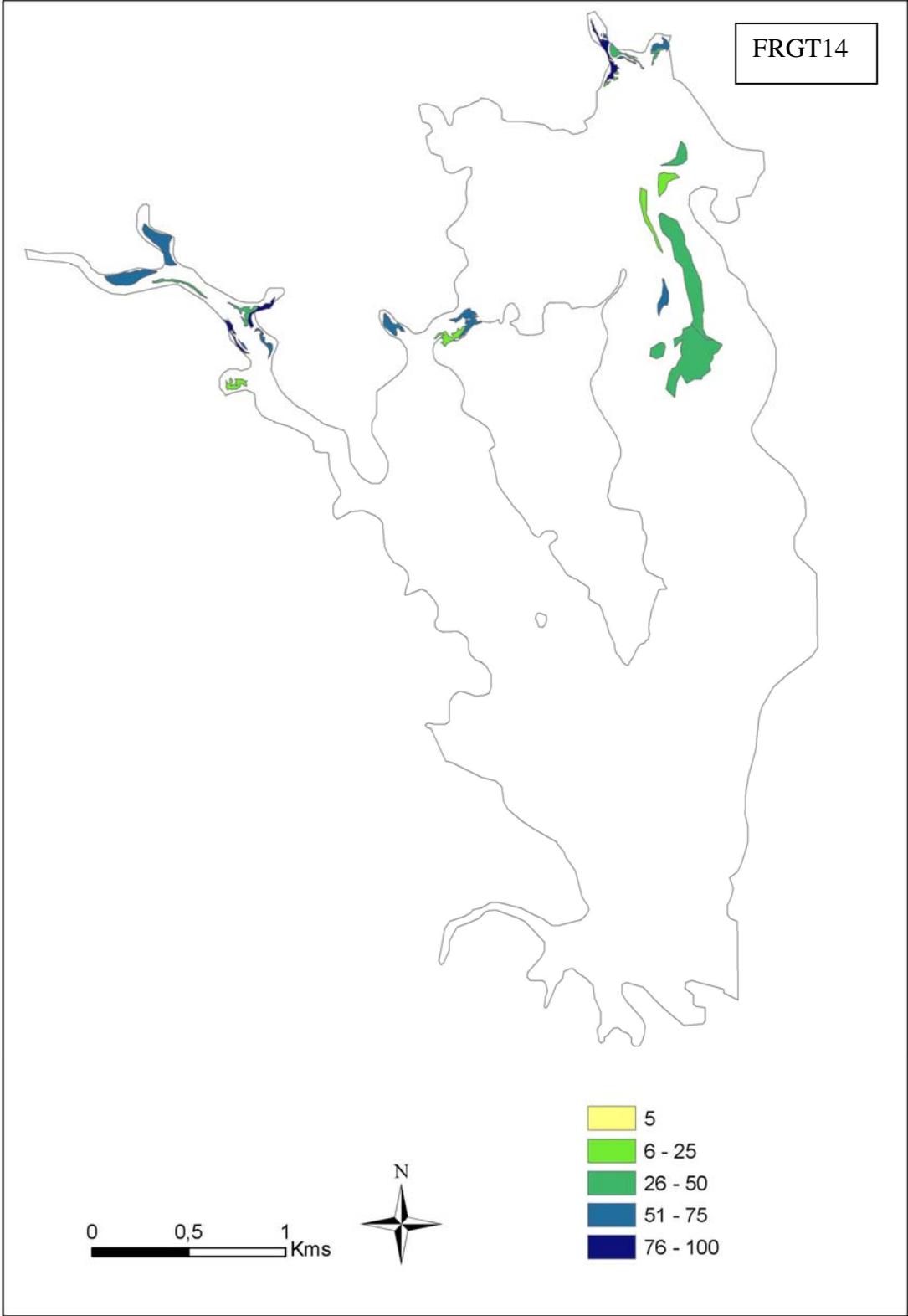


FRGT12



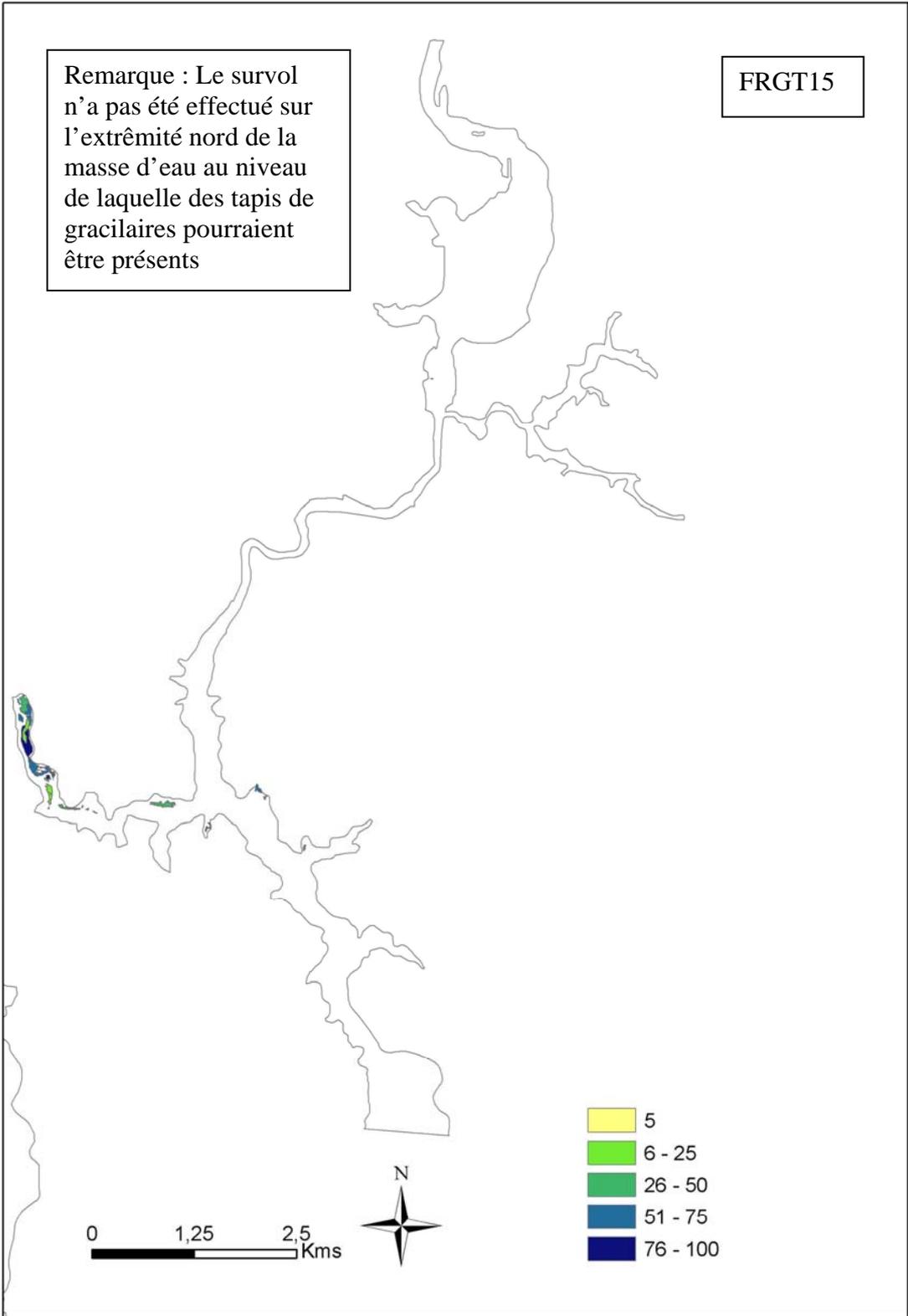
0 0,5 1 Kms



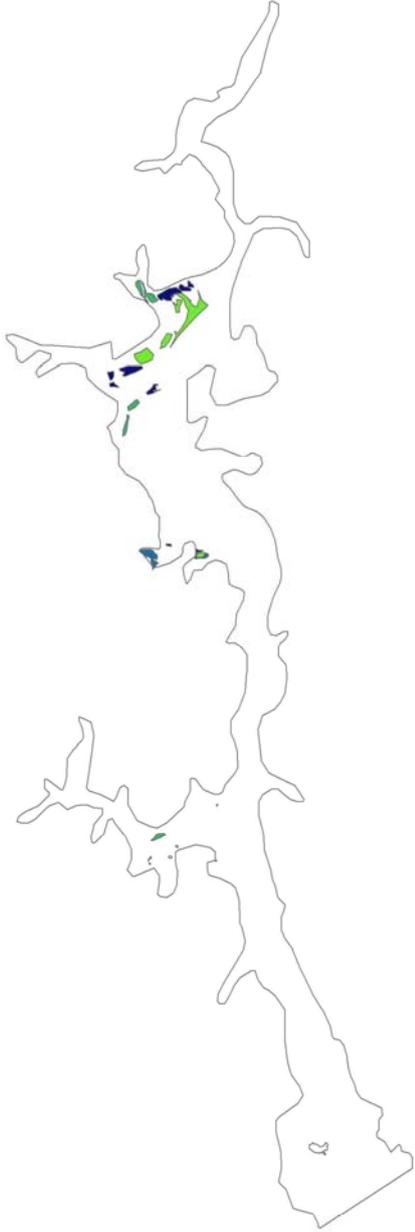


Remarque : Le survol n'a pas été effectué sur l'extrémité nord de la masse d'eau au niveau de laquelle des tapis de gracilaires pourraient être présents

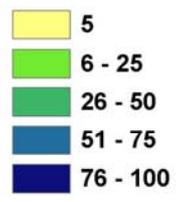
FRGT15



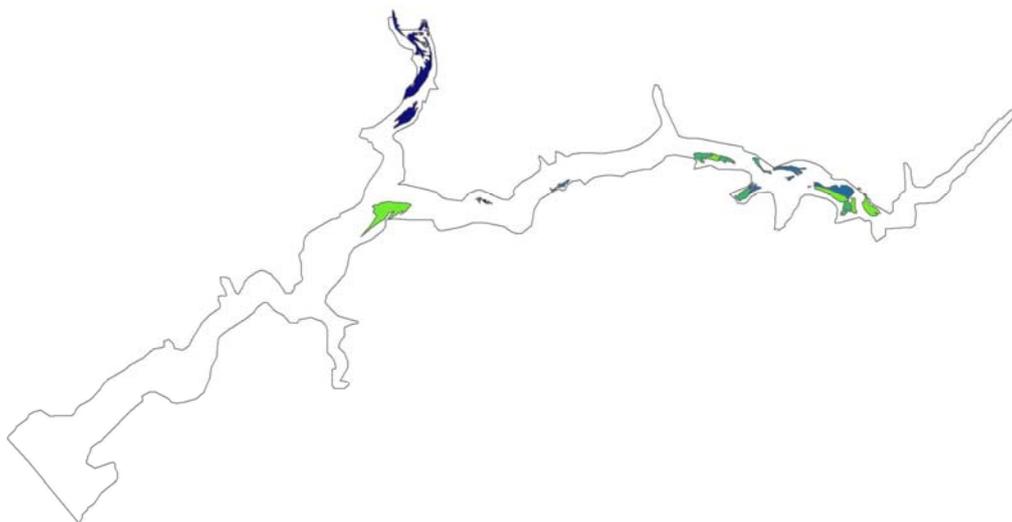
FRGT16



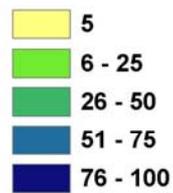
0 0,5 1 Kms



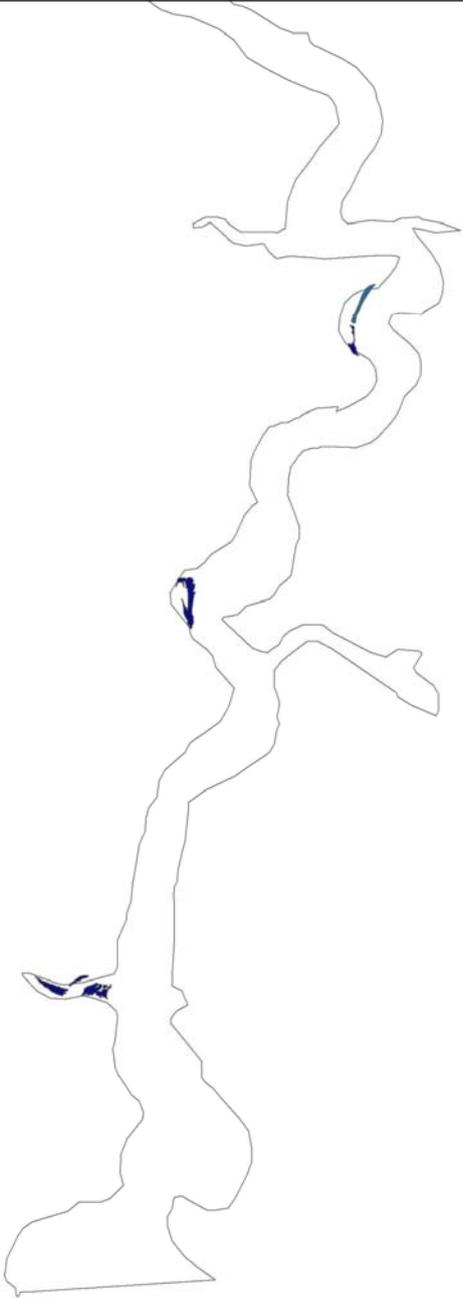
FRGT17



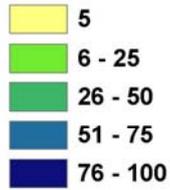
0 0,5 1 Kms



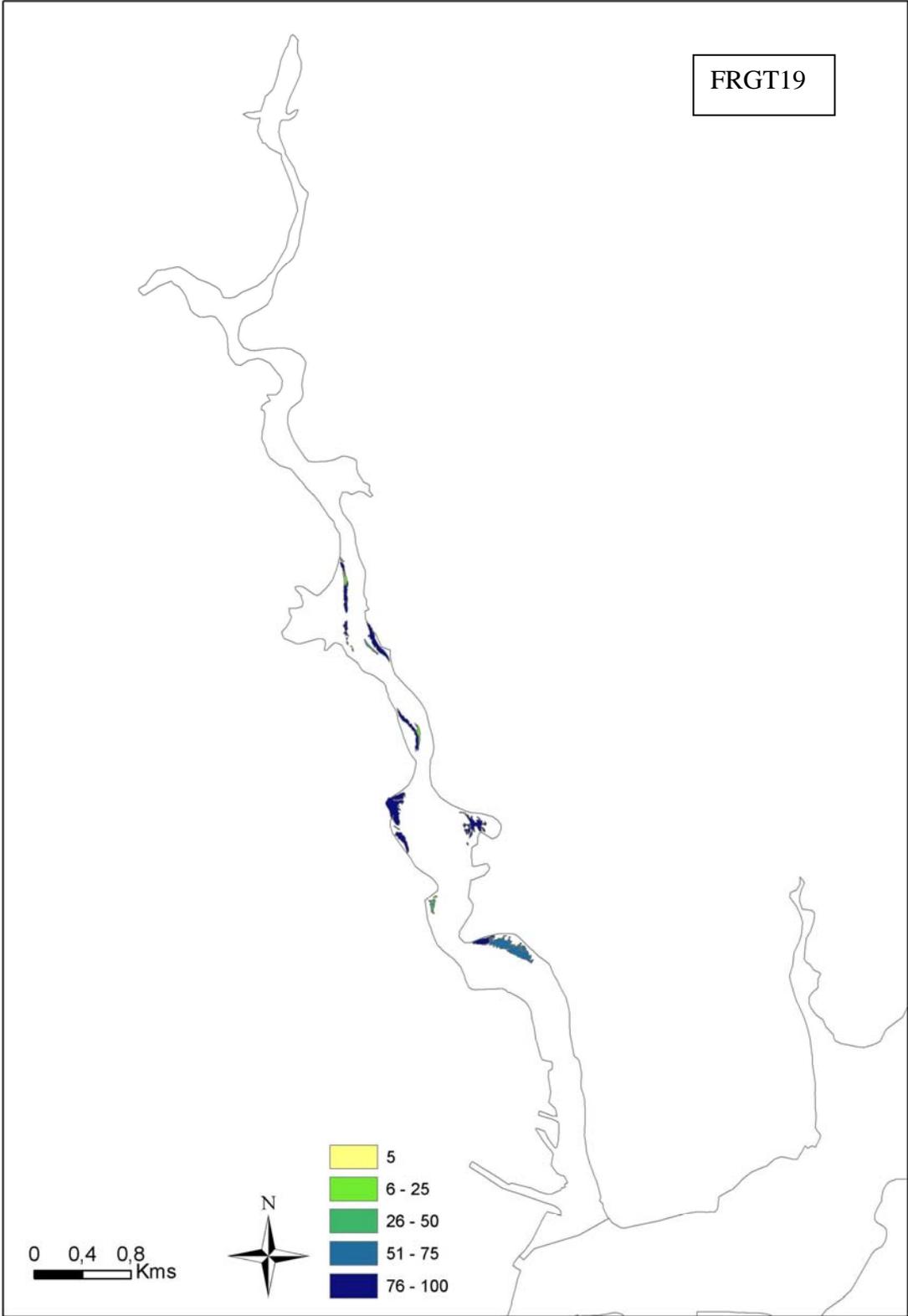
FRGT18



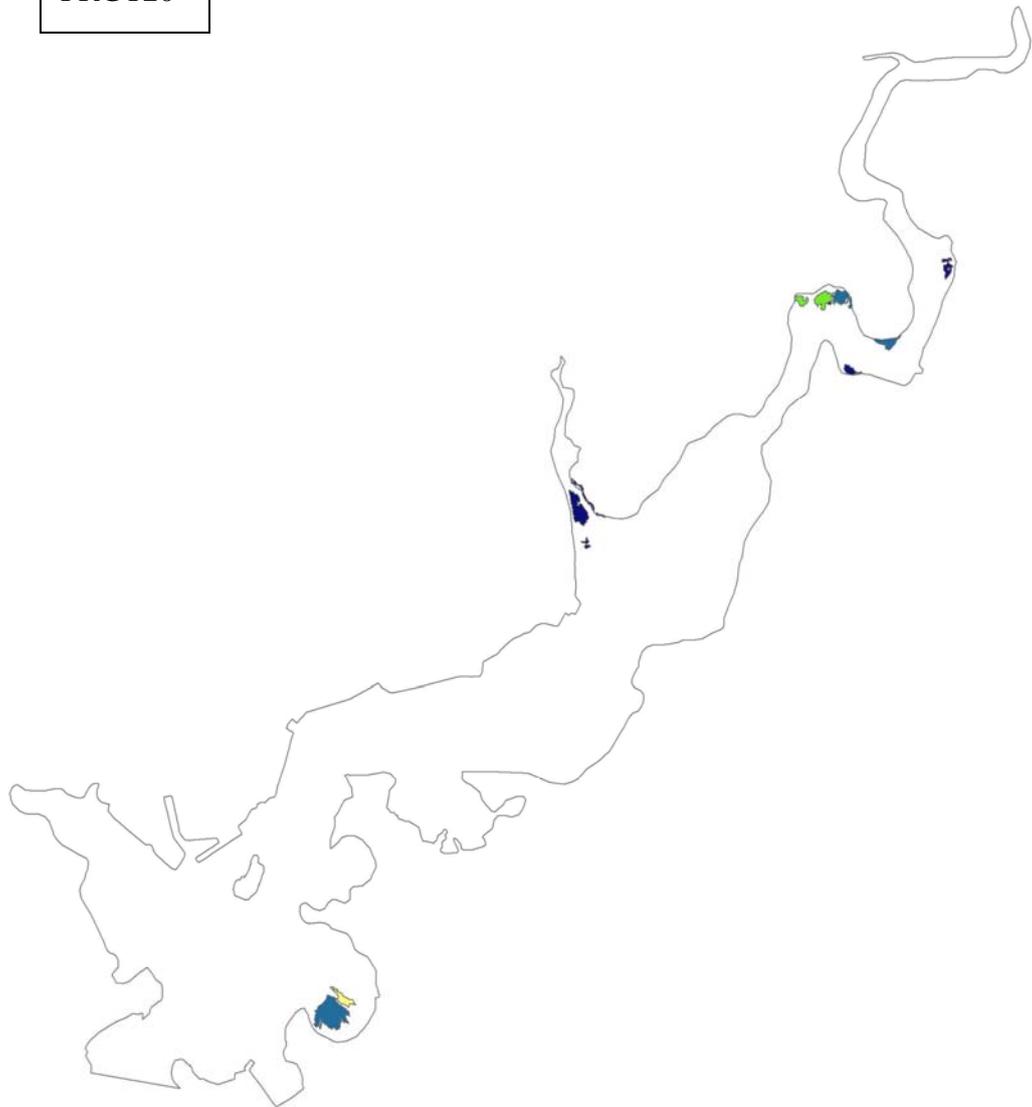
0 0,5 1 Kms



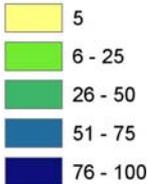
FRGT19



FRGT20

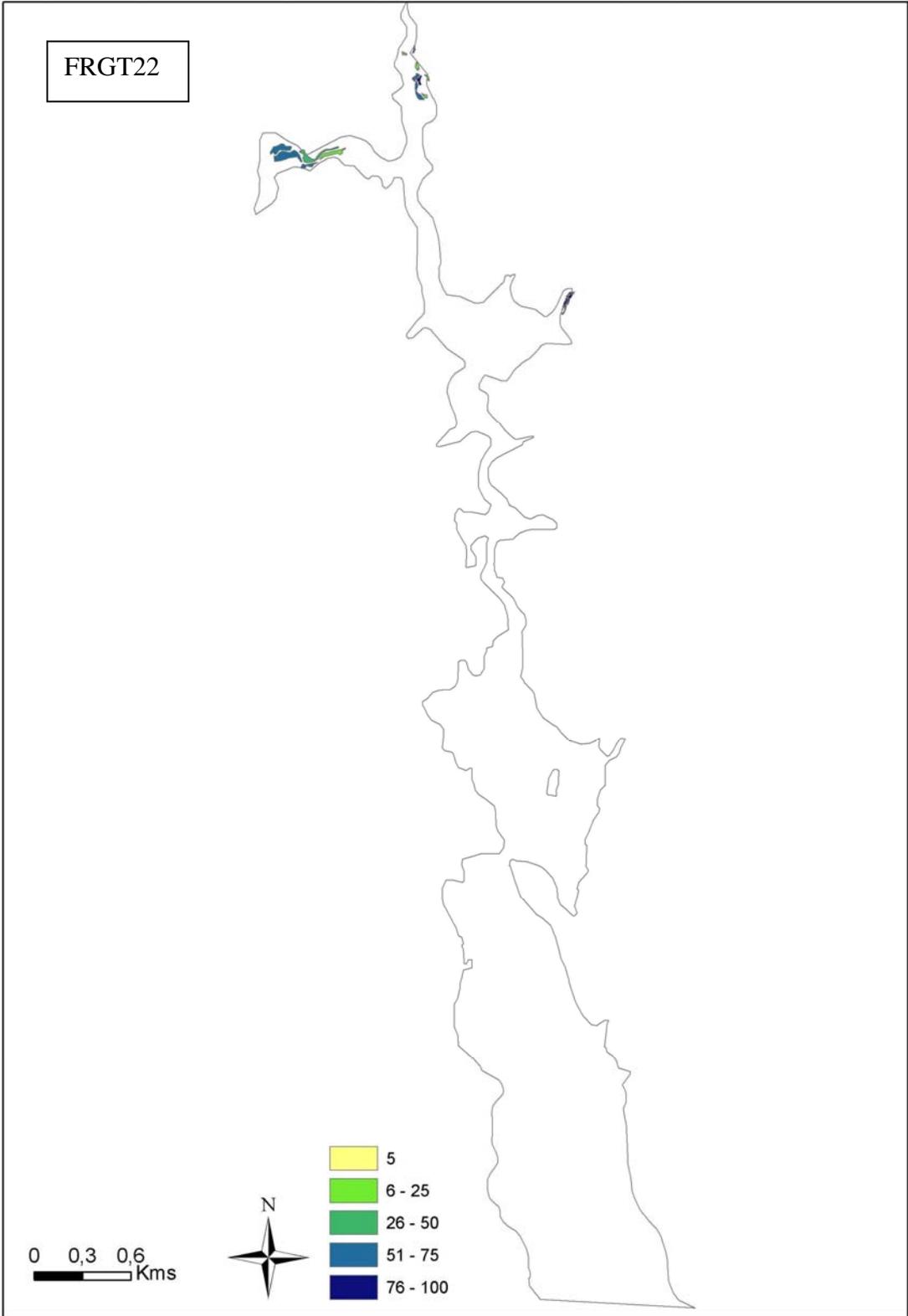


0 0,5 1 Kms

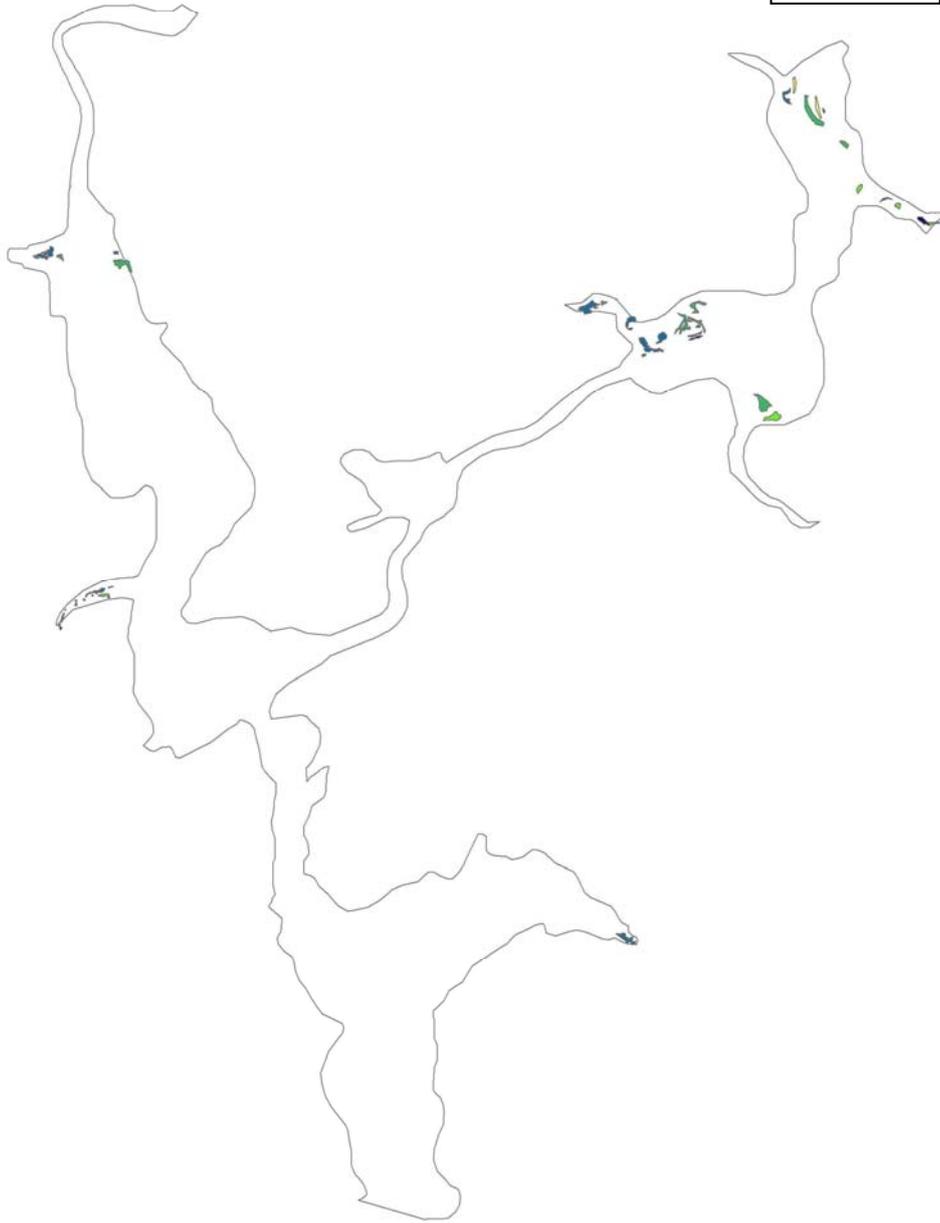


FRGT21

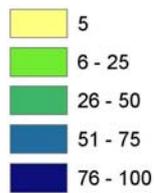




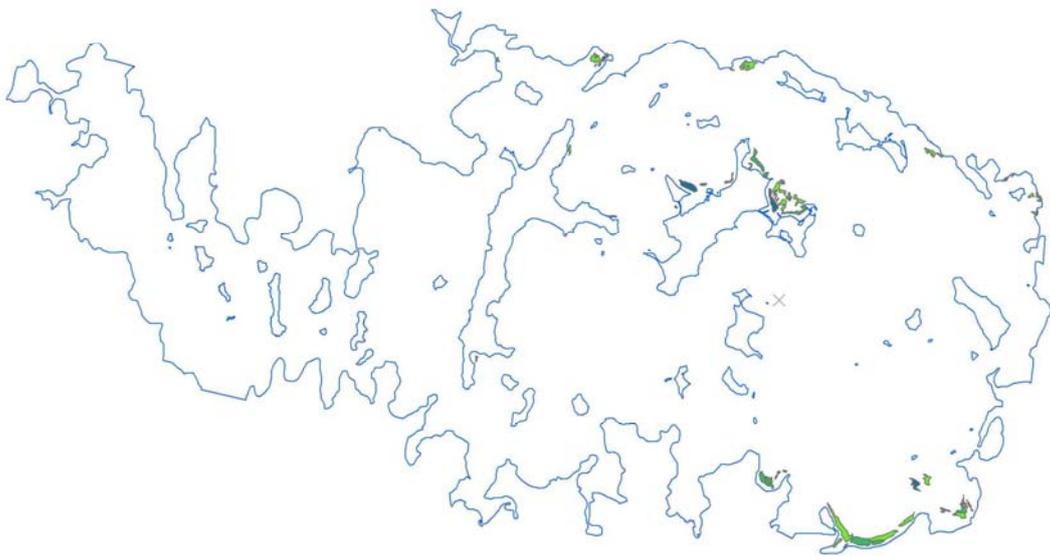
FRGT23



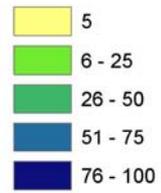
0 0,3 0,6
Kms

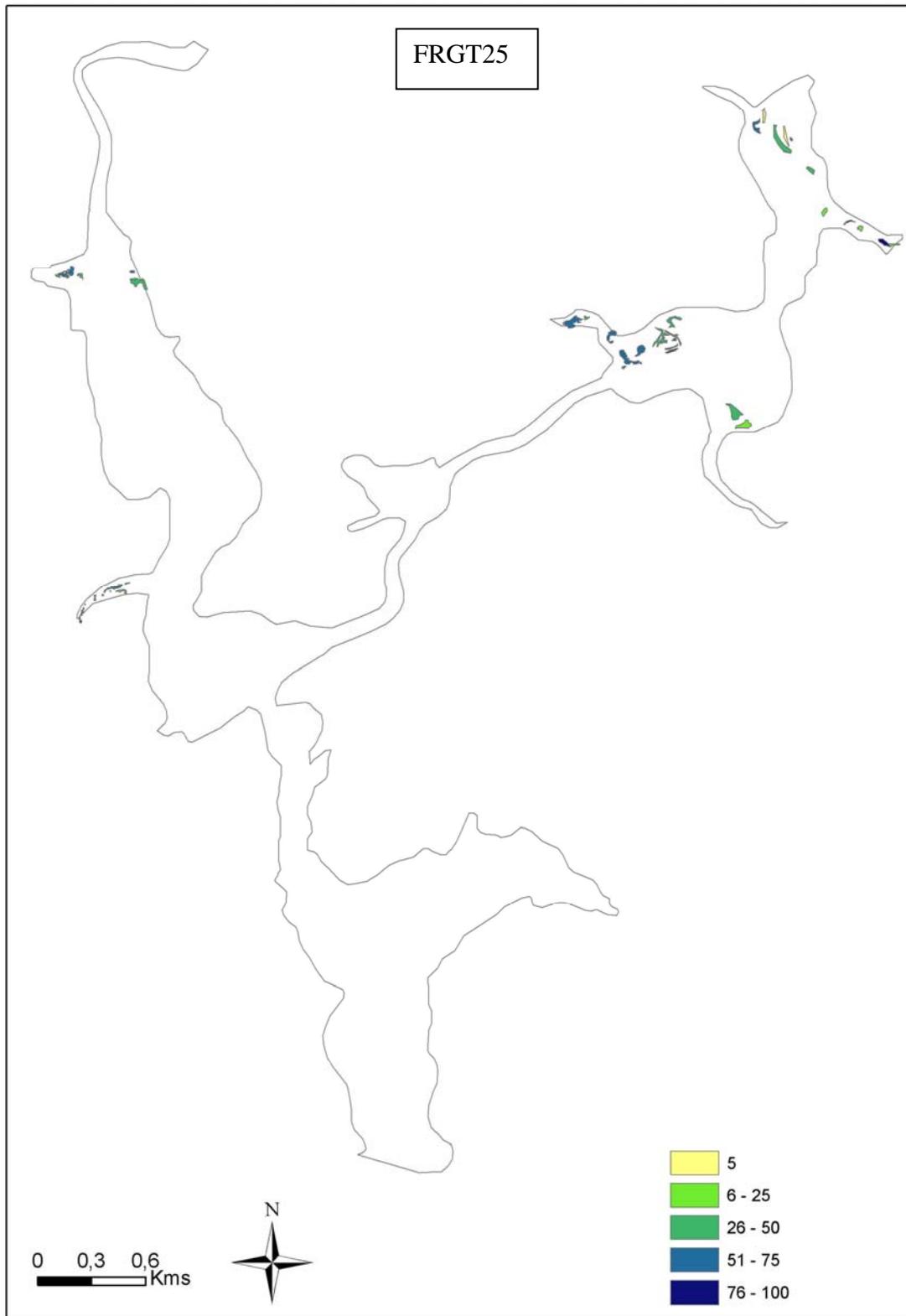


FRGC39

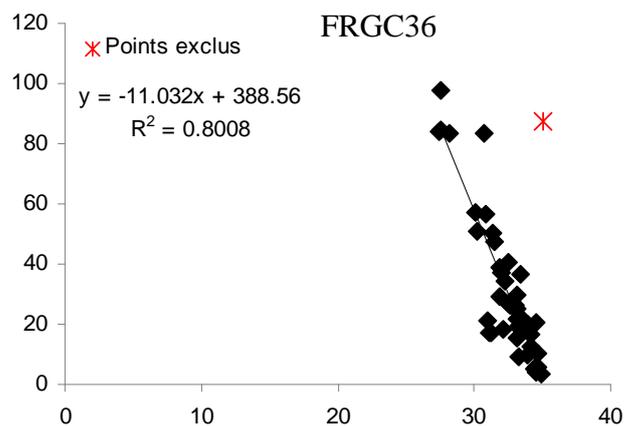
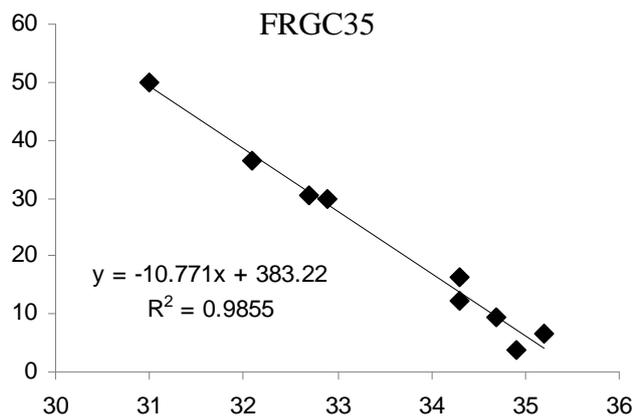
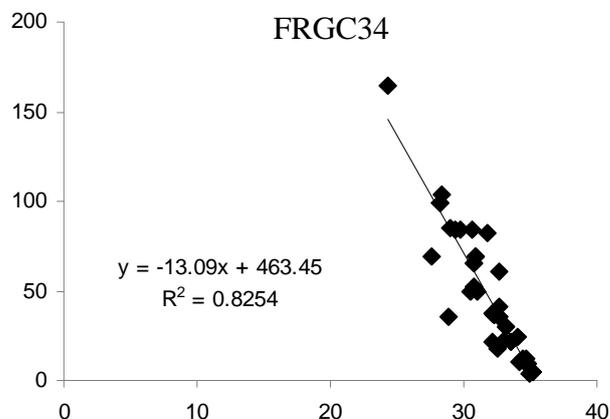
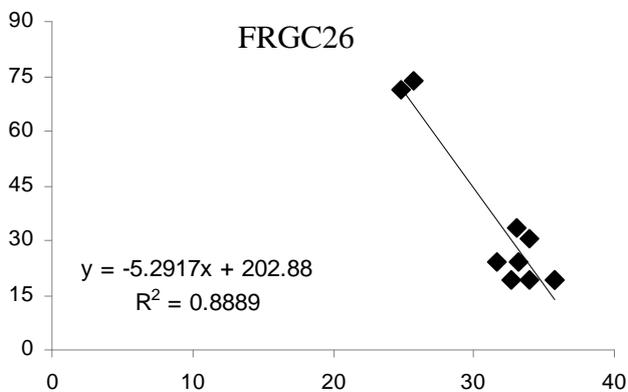
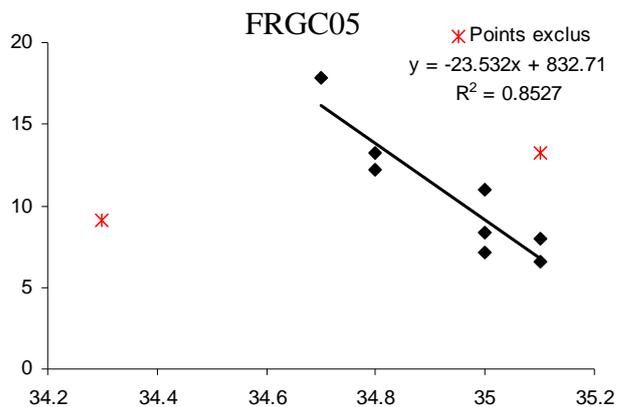
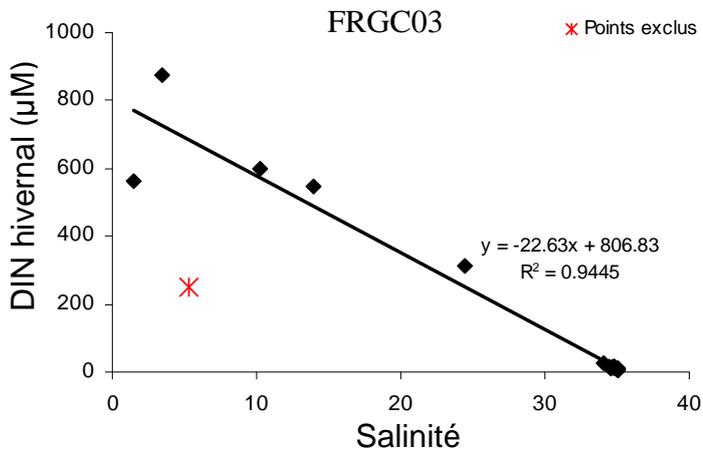


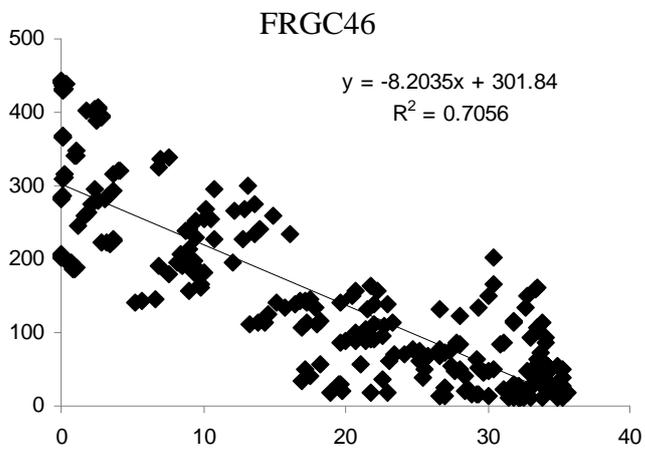
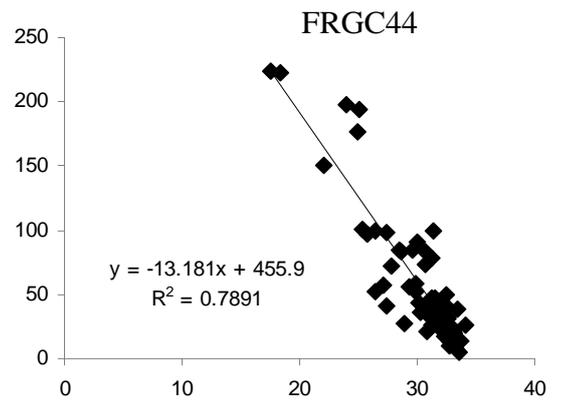
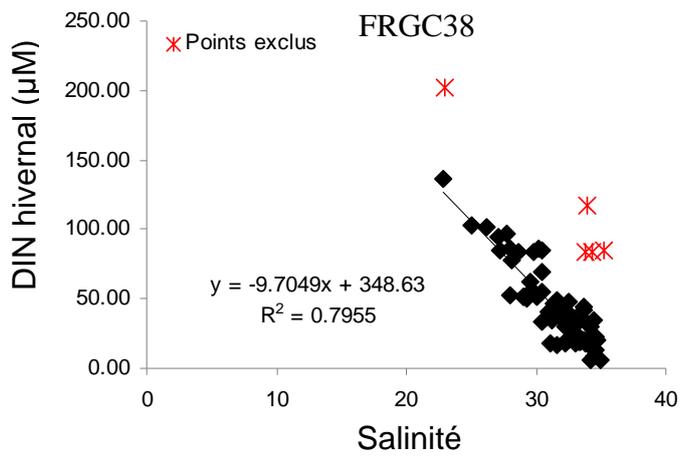
0 3 6 Kms



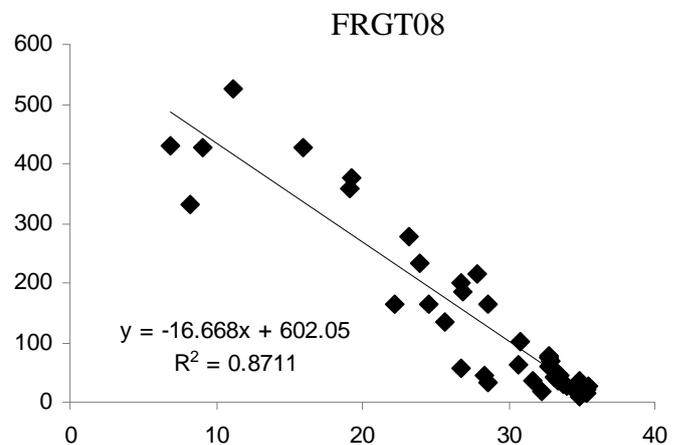
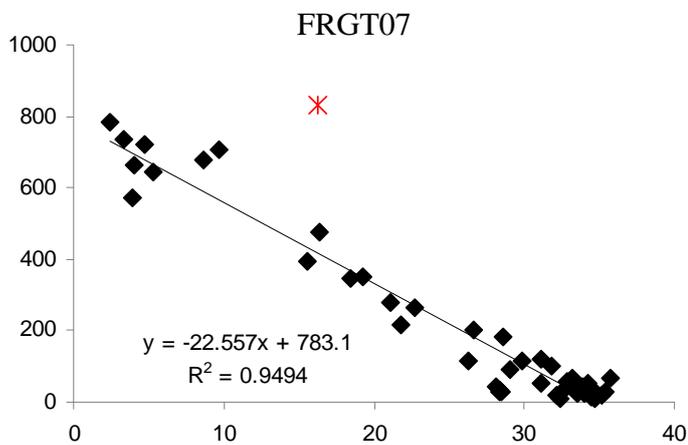
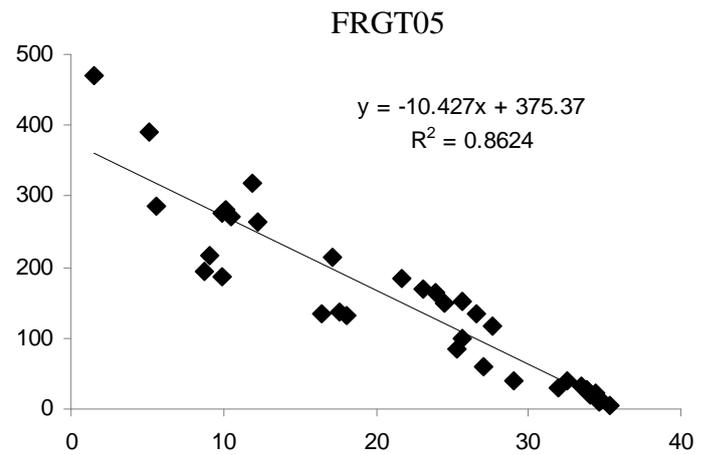
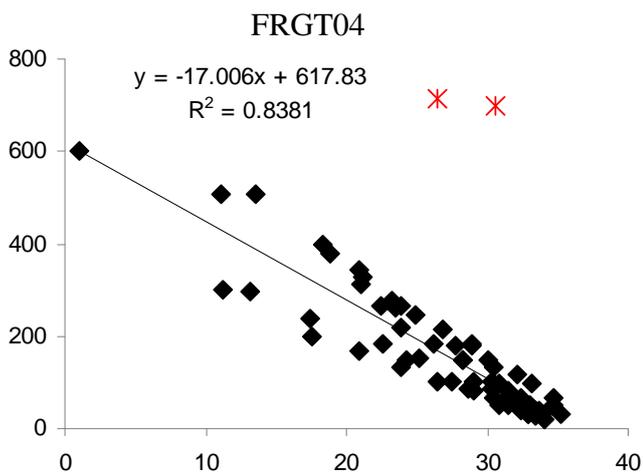
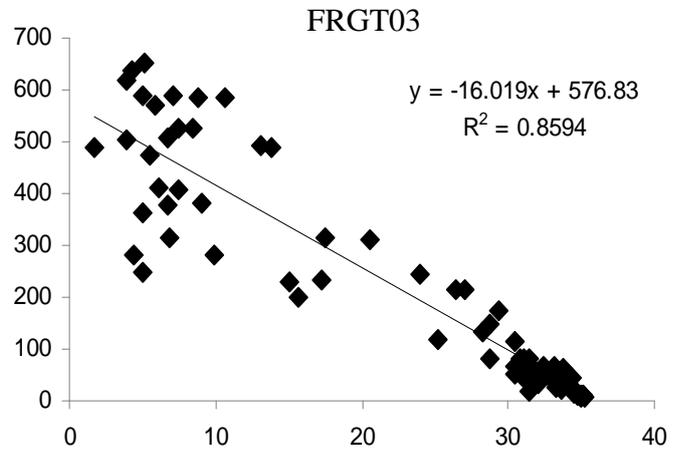
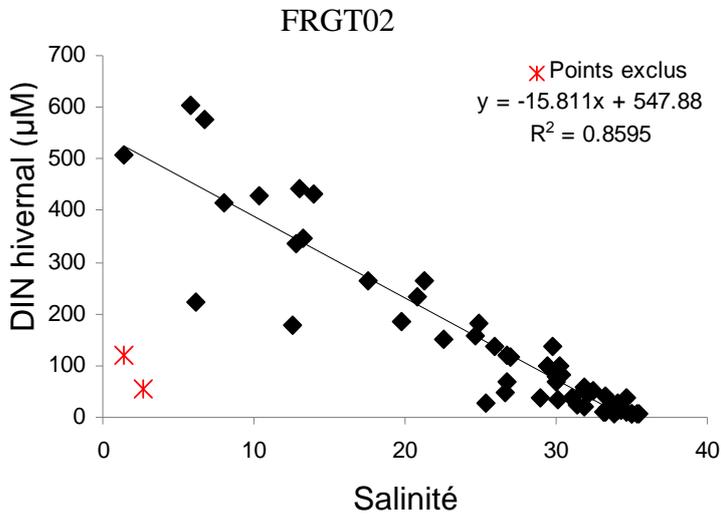


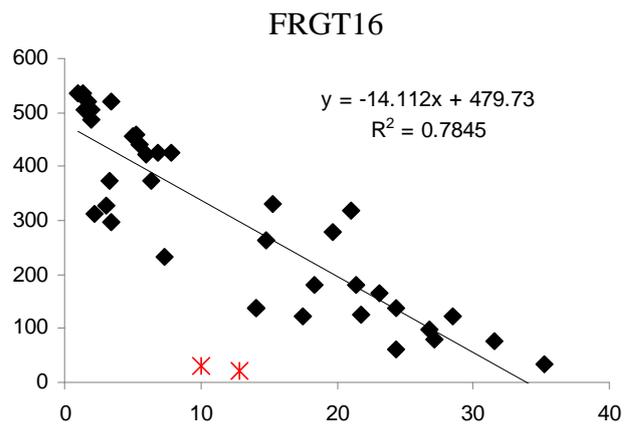
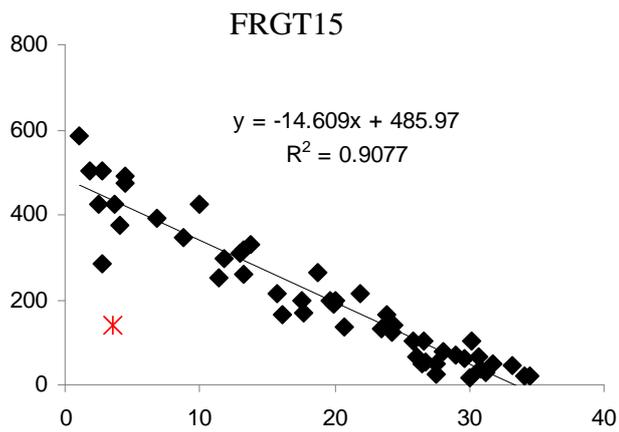
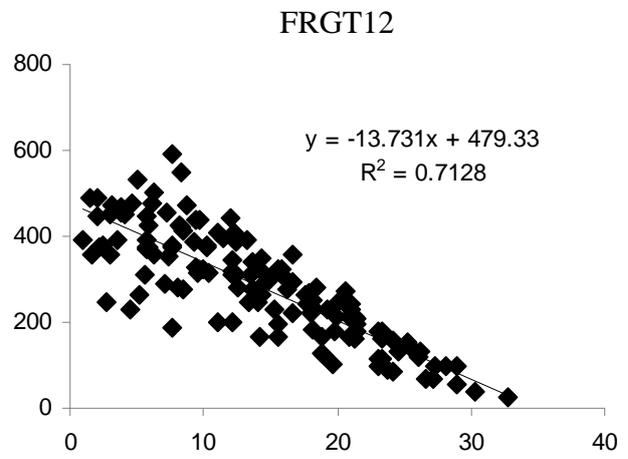
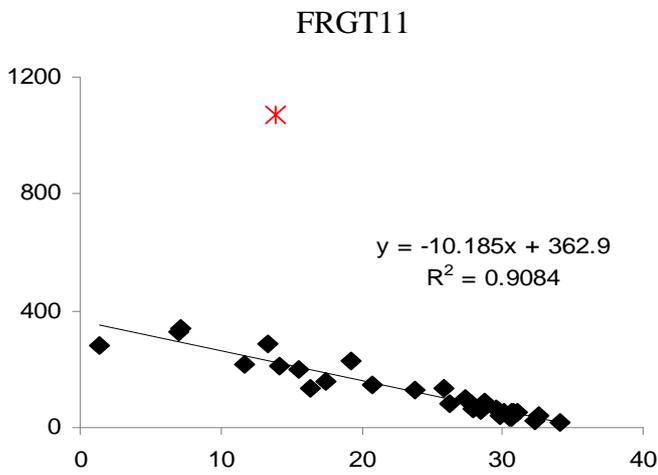
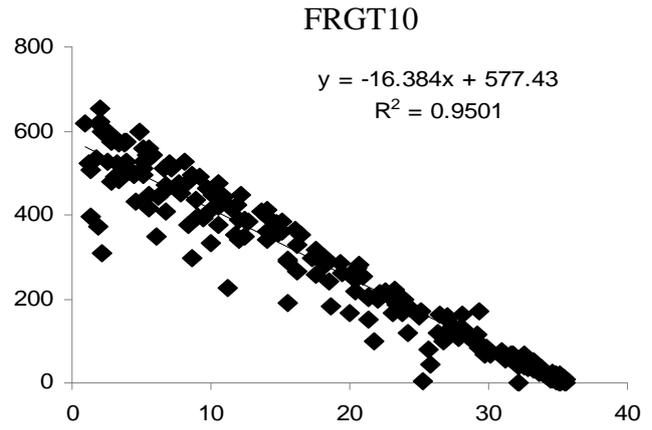
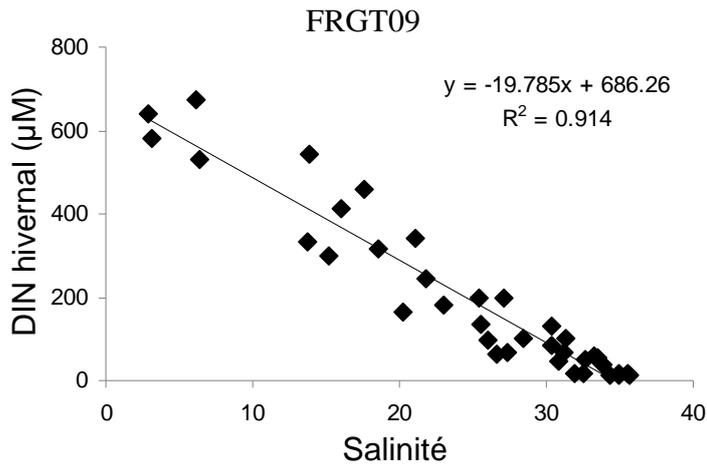
Annexe 3 : Droites de dilution permettant d'obtenir la concentration hivernale en azote dissous normalisée à une salinité de 32 pour les masses d'eau côtières

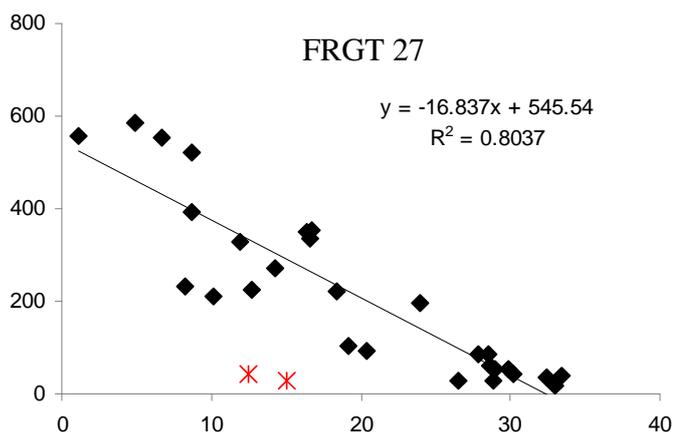
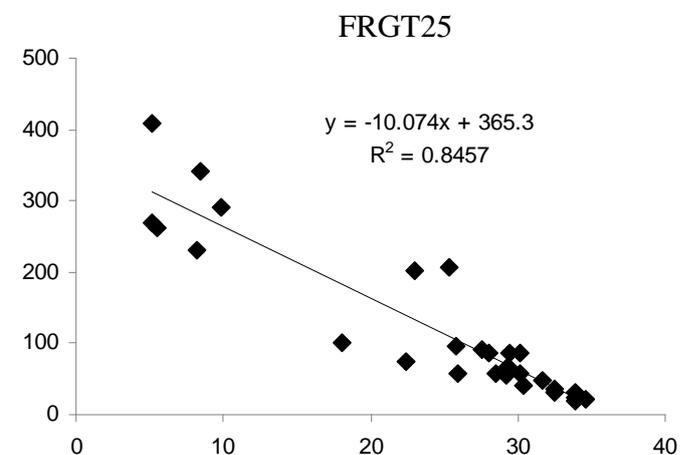
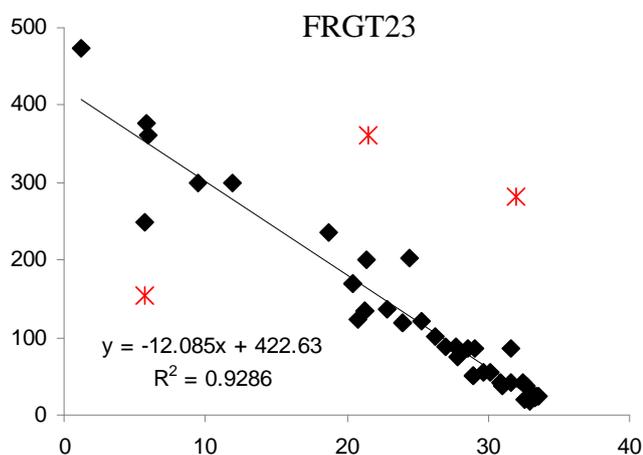
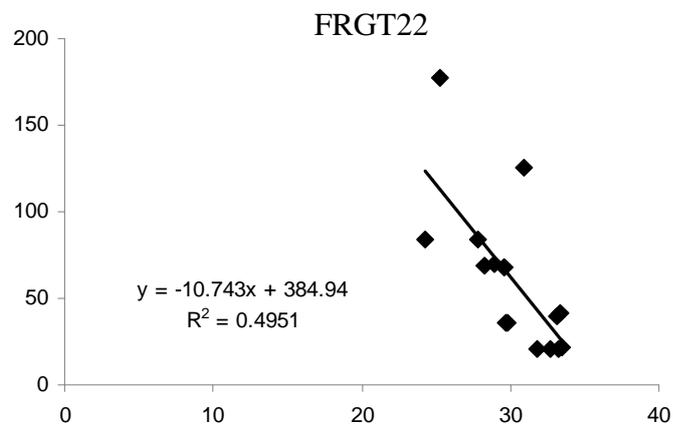
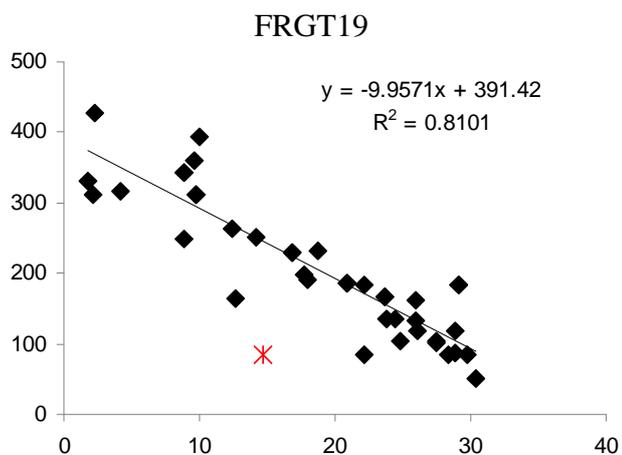
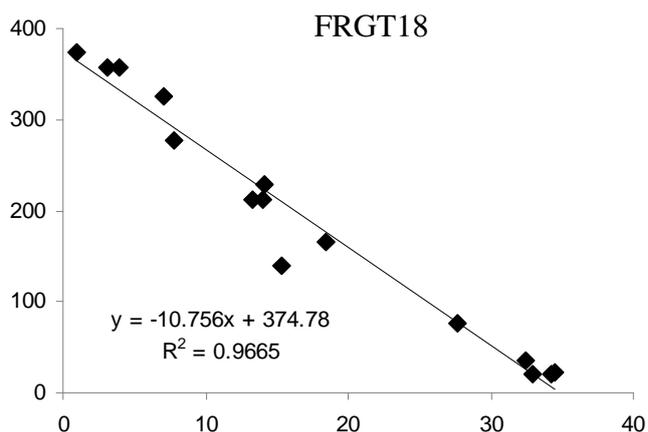
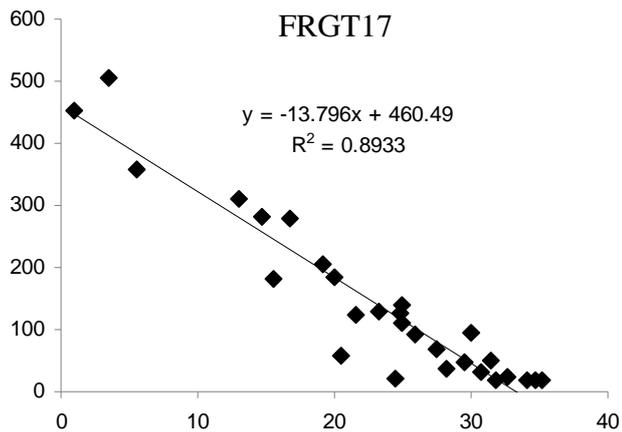




Annexe 4 : Droites de dilution permettant d'obtenir la concentration hivernale en azote dissous normalisée à une salinité de 25 pour les masses d'eau de transition









Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Ifremer
Centre Atlantique
Rue de l'Île d'Yeu
BP 21105 – 44311 Nantes
02 40 37 40 00
www.ifremer.fr

