



ÉTUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES SAINT- NAZAIRE



MAI 2009

1 71 1903 R1

Suivi des versions

| | | | |
|----------------|-------------|---------------|---|
| | | | |
| | | | |
| R1 | Mai 2009 | LTT/SLX/LHM | Modifications suite aux remarques du GPM et relecture LHM |
| R1 | Avril 2009 | LTT/SLX | |
| VERSION | DATE | AUTEUR | COMMENTAIRES |

SOMMAIRE

| | |
|---|------------|
| OBJET DE L'ETUDE | VII |
| SYNTHESE ET CONCLUSIONS | IX |
| 1. RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS | 1 |
| 1.1 METHODOLOGIE | 1 |
| 1.2 BATHYMETRIE DE L'ESTUAIRE..... | 2 |
| 1.3 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES | 2 |
| 1.3.1 VUE GENERALE SUR LA COURANTOLOGIE (TESSIER) | 2 |
| 1.3.2 COURANTOLOGIE DETAILLEE PAR LE MODELE TELEMAR 3D DE SOGREAH..... | 3 |
| 1.3.3 LA HOULE..... | 4 |
| 1.3.4 CONCLUSION SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES | 5 |
| 1.3.5 CONTRAINTE DE CISAILLEMENT SUR LE FOND..... | 5 |
| 1.4 CONTRAINTES D'USAGE | 10 |
| 1.4.1 LES ZONES DE PECHE | 10 |
| 1.4.2 LA NAVIGATION ET AUTRES SERVITUDES..... | 11 |
| 1.4.3 DISTANCE DE TRANSPORT..... | 11 |
| 1.5 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES | 11 |
| 1.5.1 LES PEUPELEMENTS BENTHIQUES | 11 |
| 1.5.2 LES RESSOURCES HALIEUTIQUES | 12 |
| 1.5.3 ZONES DE PROTECTION..... | 14 |
| 1.6 SYNTHSE CARTOGRAPHIQUE : IDENTIFICATION DES ZONES DE MOINDRE CONTRAINTE..... | 15 |
| 1.7 DEFINITION DES SITES ALTERNATIFS POTENTIELS | 15 |
| 2. ANALYSE HYDROSEDIMENTAIRE SUR LES SITES RETENUS | 17 |
| 2.1 EXPERTISE HYDROSEDIMENTAIRE DES SITES DETERMINES..... | 17 |
| 2.1.1 MORPHOLOGIE DES FONDS | 17 |
| 2.1.2 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES | 17 |
| 2.2 COMPARAISON DE LA SOLLECITATION DES FONDS SUR LES SITES ET LA LAMBARDE | 18 |
| 2.3 SYNTHSE | 19 |
| 2.4 DEFINITION DES MESURES A REALISER | 19 |
| 2.4.1 OBJECTIF DES MESURES | 20 |
| 2.4.2 CONDITIONS DE REALISATION..... | 21 |
| FIGURES | 27 |
| ANNEXES | 29 |

**GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE**

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| S. 1 : Synthèse des contraintes principales sur la zone d'étude et report des 3 sites potentiels retenus à ce stade..... | IX |
| S. 2 : Zones de moindre sollicitation des fonds que sur la Lambarde..... | X |
| S. 3 : Sites potentiels de clapage..... | X |
| Figures..... | 27 |
| Figure 1.1 : Bathymétrie de l'estuaire | |
| Figure 1.2 : Vitesses maximales moyennées sur la verticale - Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue) | |
| Figure 1.3 : Vitesses maximales sur le fond - Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue) | |
| Figure 1.4 : Réfraction de la houle - Houle annuelle – cas1 | |
| Figure 1.5 : Réfraction de la houle - Houle annuelle – cas2 | |
| Figure 1.6 : Réfraction de la houle - Houle annuelle – cas3 | |
| Figure 1.7 : Réfraction de la houle - Houle annuelle – cas4 | |
| Figure 1.8 : Zones géographiques où la remise en suspension est plus faible qu'à la Lambarde | |
| Figure 1.9 : Zones de pêche | |
| Figure 1.10 : Zones réglementées | |
| Figure 1.11 : Distances du Port de Saint-Nazaire en milles nautiques | |
| Figure 1.12 : Peuplements benthiques | |
| Figure 1.13 : Zones à crevettes et coquilles et nurseries | |
| Figure 1.14 : Espaces protégés | |
| Figure 1.15 : Synthèse des contraintes et zones de moindre contrainte | |
| Figure 1.16 : Sites potentiels d'immersion | |
| Figure 1.17 : Localisation des zones de pêche et des sites alternatifs | |
| Figure 1.18 : Périmètres Natura 2000 et sites alternatifs | |
| Figure 1.19 : Nature des fonds (Lesueur et Klingebiel, 1986) | |
| Figure 2.1 : Morphologie | |
| Figure 2.2 : Bathymétrie | |
| Figure 2.3 : Vitesses max moyennées sur la verticale - Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue) | |
| Figure 2.4 : Vitesses max sur le fond - Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue) | |
| Figure 2.5 : Réfraction de la houle – Cas 1 et 2 | |
| Figure 2.6 : Réfraction de la houle – Cas 3 et 4 | |
| Figure 2.7 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (1) | |
| Figure 2.8 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (2) | |
| Figure 2.9 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (3) | |
| Figure 2.10 : Proposition de points de prélèvement de sédiments pour analyses granulométriques | |
| Figure 2.11 : Station de mesures fixes | |

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion - Période1
- Annexe 2 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période1
- Annexe 3 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période2
- Annexe 4 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période2
- Annexe 5 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période3
- Annexe 6 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période3
- Annexe 7 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période4
- Annexe 8 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période4
- Annexe 9 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période5a
- Annexe 10 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période5a
- Annexe 11 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période5b
- Annexe 12 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période5b
- Annexe 13 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période6
- Annexe 14 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période6
- Annexe 15 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période7
- Annexe 16 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période7
- Annexe 17 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période8
- Annexe 18 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période8
- Annexe 19 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion – Période9
- Annexe 20 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période9

**GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE**

OBJET DE L'ETUDE

Le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire (GPM) doit réaliser des dragages d'entretien de son chenal, de ses zones d'évitage et des souilles des quais des terminaux, afin de garantir un accès aux navires lui assurant son trafic.

L'ensemble des matériaux dragués dans le chenal et les zones d'évitage à l'aval du Carnet par une drague aspiratrice en marche (DAM) sont transportés jusqu'à la zone d'immersion de la Lambarde pour y être clapés. Cette zone d'immersion est située dans l'estuaire externe de la Loire, à 22 km du port de Saint-Nazaire par le chenal.

Le GPM de Nantes Saint-Nazaire bénéficie d'un permis d'immersion sur ce site délivré le 02/04/2009, à échéance fixée le 24/04/2013.

L'étude ayant servi de support à la délivrance de l'autorisation d'immersion des produits de dragage a mis en évidence une grande instabilité de la zone de dépôt : environ 80% des sédiments clapés, soit 4,5 millions de m³ par an en moyenne, ne demeurent pas sur le site d'immersion : c'est pourquoi le GPM de Nantes Saint-Nazaire a confié une étude à SOGREAH afin de préciser le devenir des matériaux clapés non stabilisés et d'estimer s'ils contribuent effectivement, et dans quelle mesure, à la turbidité de l'estuaire externe.

A l'issue de cette étude, il est apparu nécessaire, pour aller plus loin dans la connaissance du devenir des matériaux clapés, de procéder à une série de campagnes de mesure dont l'objectif est d'améliorer la connaissance sur le devenir à court, moyen et long terme des matériaux clapés à la Lambarde. Cette campagne est prévue pour l'été/automne 2009.

En parallèle, il est demandé au GPM de réfléchir à la position de nouveaux sites alternatifs de clapage. Un tel site devrait être sélectionné en particulier dans l'objectif de réduire si possible la dispersion des sédiments clapés et de réduire leur retour vers l'estuaire par rapport à la situation actuelle. Le GPM a confié à SOGREAH une étude préliminaire permettant de déterminer à travers le croisement des différentes contraintes sur l'estuaire externe 2 ou 3 sites alternatifs de clapage.

La démarche suivante a été adoptée :

- Etape 1 : Définition, sur la base d'une analyse des données bibliographiques et des résultats du modèle, de 2 ou 3 sites alternatifs potentiels pour permettre une intégration de ces nouveaux sites d'étude dans la campagne de mesures prévues par le Port à l'été/automne 2009,
- Etape 2 : Réflexion commune avec les services de l'Etat (DDEA, DIREN) et IFREMER sur ces nouveaux sites potentiels.

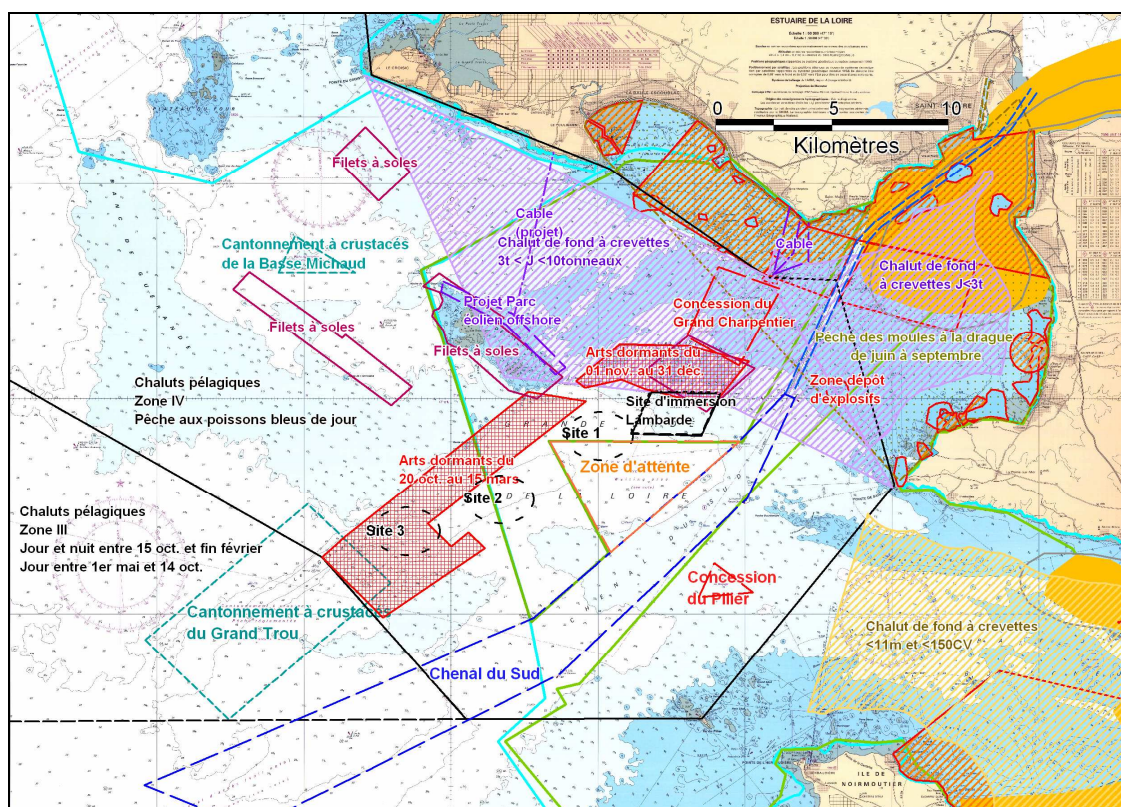
Ce rapport ne concerne que la première phase d'étude ; la méthodologie suivie est la suivante :

- Recueil des informations,
- Identification des contraintes majeures et synthèse cartographique,
- Définition des sites alternatifs potentiels,
- Listing des investigations et études complémentaires à mener.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

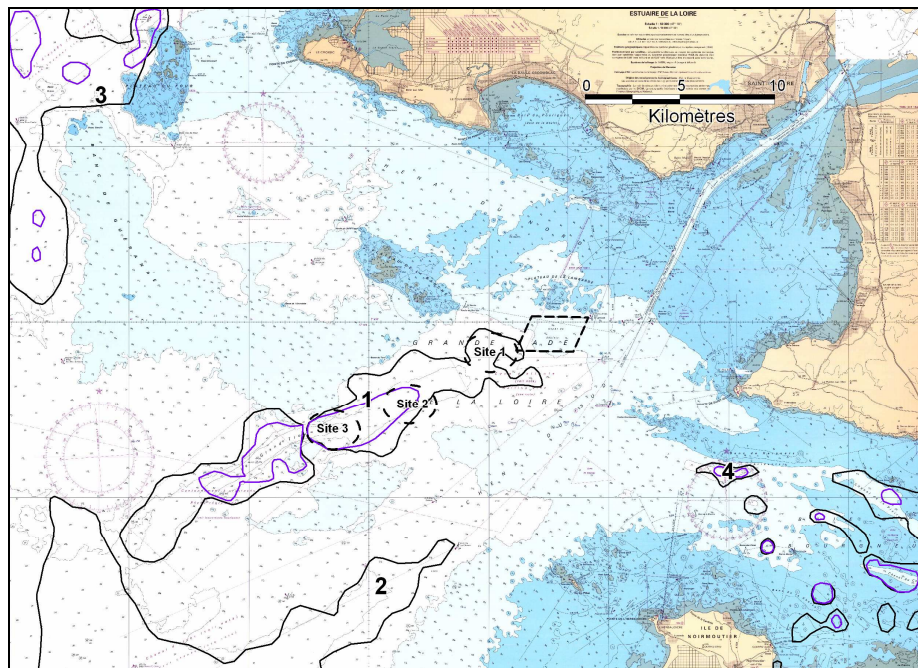
Sur l'estuaire de la Loire, entre la Pointe du Croisic au Nord et Noirmoutier au Sud, une analyse cartographique des contraintes (environnementales et d'usages) a été réalisée. Une cartographie de synthèse des principales contraintes est présentée ci-dessous.



S. 1 : Synthèse des contraintes principales sur la zone d'étude et report des 3 sites potentiels retenus à ce stade.

L'analyse des conditions hydrodynamiques et hydrosédimentaires a permis de définir des zones où les fonds sont moins dispersifs que le site de la Lambarde. Celles-ci sont représentées en violet et en noir sur la figure S. 2 page suivante.

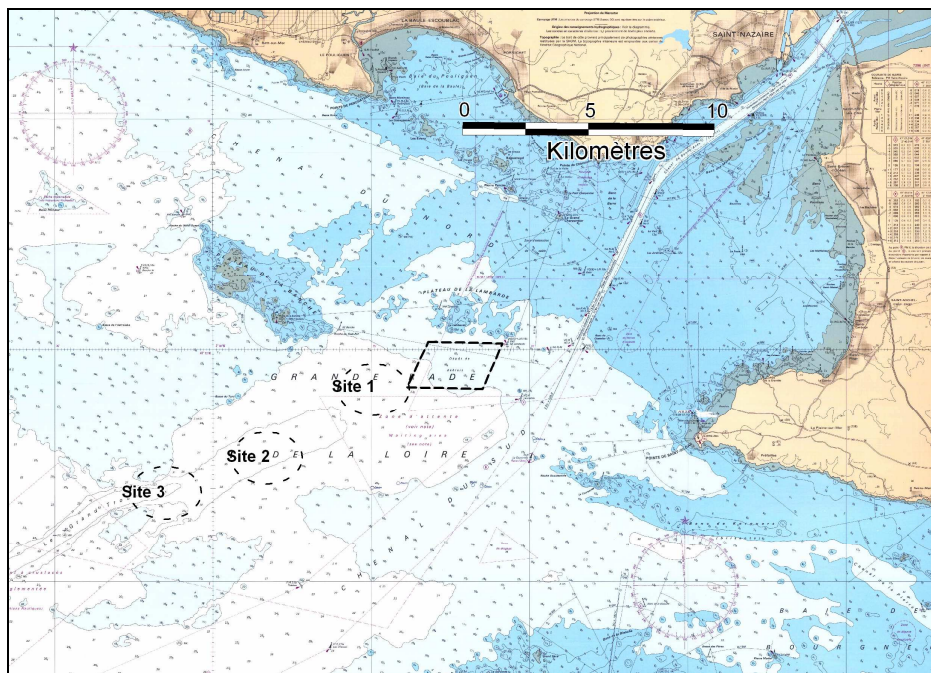
GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE



S. 2 : Zones de moindre sollicitation des fonds que sur la Lambarde.

A partir du recoupement de ces zones moins dispersives, avec les secteurs de moindres contraintes (environnementales et d'usages), plusieurs macro-zones disponibles pour l'immersion des sédiments ont été identifiées.

Trois sites ont été analysés, situés entre le site de la Lambarde et la fosse du Grand Trou. Ceux-ci sont localisés sur la figure S. 3 qui suit.



S. 3 : Sites potentiels de clapage.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

Ces sites ont été déterminés sur 2 critères :

- moindre dispersion que le site de la Lambarde (au regard de la sollicitation des fonds par les forçages hydrodynamiques) et
- moindres contraintes d'ordre environnemental, d'usage et économique.

Les caractéristiques des 3 sites potentiels sont présentées dans le tableau suivant :

| Sites | Localisation ED50 | Distance en milles nautiques du Port de St-Nazaire | Bathymétrie en CM | Nature du substrat (Lesourd et Klingebiel, 1986) | Contraintes |
|----------|-----------------------------------|--|-------------------|--|---|
| 1 | 47°9' 7,3188" -2°24' 55,3284" | 13 | -24/-28m | Vase sableuse | pSIC « Estuaire de la Loire » et zone d'attente des navires |
| 2 | 47°7' 38,3484" -2°28' 18,2316" | 16 | -26/-33m | Vase sableuse / Sables caillouteux | pSIC « Estuaire de la Loire » |
| 3 | 47°6' 53,5932" -2°31' 29,6256" | 18.5 | -30/-60m | Vase sableuse / Gravier | Réserve aux arts dormants |
| Lambarde | 47°9' 43,2036" -2°22' 22,8036" | 11 | -10/-25m | Vase sableuse | pSIC « Estuaire de la Loire » |

S. 4 : Caractéristiques des 3 sites potentiels de clapage.

Pour les différents sites, une analyse des sollicitations hydrodynamiques des fonds a été réalisée (modélisation hydrodynamique). Les temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (représentatifs du caractère dispersif des sites) sont détaillés dans le tableau suivant, pour 10 conditions hydrodynamiques différentes. En rouge est indiquée la différence de temps de dépassement (en %) de la contrainte critique d'érosion, entre les sites potentiels et la Lambarde (moindre remise en suspension sur les sites alternatifs).

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

| Conditions météo-océaniques de la séquence | % du temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (tension de cisaillement sur le fond > contrainte critique d'érosion) | | | |
|--|---|---|---|---|
| | Lambarde | Site 1 | Site 2 | Site 3 |
| Calme estival | 40% | 27% -13% | 20% -20% | 13% -27% |
| Cas moyen hivernal | 67% | 53% -14% | 53% -14% | 33% -34% |
| Petite crue | 47% | 33% -14% | 27% -20% | 27% -20% |
| Etiage et vents d'Ouest à Nord | 47% | 33% -14% | 27% -20% | 20% -27% |
| Etiage et vents de Nord-Est à Ouest | 27% | 20% -7% | 20% -7% | 13% -14% |
| Vents d'Est | 53% | 47% -6% | 40% -13% | 33% -20% |
| Tempête d'Ouest | 80% | 67% -13% | 60% -20% | 53% -27% |
| Conditions extrêmes hivernales | 93% | 93% 0% | 93% 0% | 87% -6% |
| Pic de crue | 87% | 80% -7% | 73% -14% | 60% -27% |
| Conditions extrêmes hivernales en crue | 87% | 80% -7% | 73% -14% | 60% -27% |

S. 5 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion sur les 3 sites potentiels, par comparaison avec la Lambarde.

Les fonds sur les 3 sites sont moins sollicités par les conditions hydrodynamiques que les fonds sur le site actuel d'immersion ;

Le site 3 semble le plus intéressant pour y définir un site d'immersion, puisque la remise en suspension des sédiments y est plus faible que sur les autres sites. Cependant ce site se trouve dans une réserve aux arts dormants, et est le site le plus distant des zones de dragage.

Entre la Lambarde, le site 1 et le site 2, la sollicitation des fonds est décroissante ; ces 2 sites potentiels se situent tous les 2 dans le pSIC « Estuaire de la Loire ».

Des mesures *in-situ* permettront de caractériser plus finement ces 3 sites. Elles seront réalisées pendant la tranche ferme de la campagne initialement prévue pour *l'étude du devenir des vases clapées sur le site de la Lambarde*, à l'été/automne 2009. Des prélèvements sédimentaires sur chacun des sites permettront de préciser la nature du substrat en place. Deux stations fixes seront immergées à proximité des sites potentiels durant toute la période de la campagne ; les mesures de turbidité et de courantologie seront acquises en continu. Ces résultats pourront être comparés aux mesures faites à la Lambarde.

Dans une phase ultérieure de l'étude, une modélisation numérique 3-D (lâchers de particules) sera mise en œuvre de façon à pouvoir estimer le devenir à moyen terme (retour vers l'estuaire ou dispersion au large) des sédiments instables immergés sur les sites alternatifs potentiels, en comparaison avec les résultats à la Lambarde.

1. RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS

1.1 METHODOLOGIE

L'étude ayant servi de support à la délivrance du permis d'immersion (SOGREAH, 2001) a mis en évidence le caractère dispersif du site d'immersion de la Lambarde. Cette étude a donc pour but la recherche de sites alternatifs, moins dispersifs. Tout d'abord, une analyse des contraintes dans l'estuaire de la Loire a été réalisée.

Plusieurs types de contraintes ont été identifiés :

- Les contraintes physiques : bathymétrie et morphologie, les conditions hydrodynamiques : courants et agitation qui conduisent à différentes contraintes de cisaillement sur le fond. Chacune de ces caractéristiques influence la remise en suspension des sédiments.
- Les contraintes d'usages de la zone : zones de pêche, navigation maritime, zones de dépôt de dragage ou d'extraction,
- Les contraintes environnementales : peuplements benthiques, ressources halieutiques, ressources conchylicoles, espaces protégés, l'activité de clapage pouvant nuire aux espèces vivant sur les fonds et aux milieux présents.
- La contrainte économique : mise en évidence au travers des distances de transport entre les zones de dragage et les zones de clapage.

Une analyse cartographique de ces contraintes a été réalisée sur ces différentes thématiques.

Le recoupement de la cartographie des contraintes a permis d'identifier les zones de fortes contraintes, et a contrario, les zones de moindre contrainte, plus favorables à la détermination de sites potentiels d'immersion.

Une description de chacun des 3 sites déterminés a ensuite été réalisée : localisation, caractéristiques physiques, sollicitations hydrodynamiques (mise en évidence des conditions potentielles de dispersion) et comparaison avec la Lambarde.

L'objectif étant, après avoir défini ces sites, de réaliser des investigations supplémentaires, une liste de mesures de campagne en mer a été élaborée.

1.2 BATHYMETRIE DE L'ESTUAIRE

La figure 1.1 illustre la bathymétrie de l'estuaire externe de la Loire.

Dans l'estuaire externe de la Loire, jusqu'à schématiquement une ligne fictive joignant la pointe de Penchâteau, le plateau de la Lambarde et la Pointe Saint-Gildas, tous les fonds cotent moins de -10m CM, à l'exception du chenal de navigation dont la cote nominale est de -13.7m CM. Une extension de petits fonds rejoint et ceinture le plateau de la Banche.

Au-delà on retrouve une profondeur inférieure à -10m CM : au large du Croisic, le plateau du Four, sur le vaste plateau de Guérande, sous la forme d'un pointement singulier, le banc de Kérouars, immédiatement au sud de la pointe de Saint-Gildas, en large ceinture autour de l'île de Noirmoutier, à l'intérieur de la Baie de Bourgneuf.

Des fonds de - 20m CM et plus se rencontrent dans ce qui constitue la Grande Rade de la Loire, entre les plateaux de la Banche et de la Lambarde au Nord, et la ceinture rocheuse de Noirmoutier au Sud. C'est là que s'enracinent les deux couloirs déprimés correspondant aux paléo-lits principaux de la Loire. Le plus méridional est à peu près dans le prolongement du chenal du Sud. Le plus septentrional, secteur parfois dit des « Bouquets », conduit à la fosse du Grand Trou, où la profondeur atteint et dépasse même -60m CM.

1.3 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

Les 2 principaux agents forçant et déterminant les remises en suspension des particules sont les courants (associés à la marée, au débit fluvial et au vent) et les vagues (réfraction des houles à la cote).

1.3.1 VUE GENERALE SUR LA COURANTOLOGIE (TESSIER)

Tessier (2006¹) a étudié la turbidité de la zone côtière à l'échelle régionale de la Bretagne Sud. Après une synthèse des différentes mesures effectuées sur le domaine maritime de la Bretagne Sud, elle a mis en œuvre un modèle hydrodynamique MARS 3D, couplé avec un modèle de génération-propagation SWAN.

Tessier a étudié la circulation résiduelle de marée, et les circulations résiduelles liées aux vents. Les différents résultats sont présentés en détail dans le rapport² sur le devenir des vases clapées sur le site de la Lambarde, élaboré par Sogreah pour le GPM de Nantes-Saint-Nazaire. L'effet des vents de Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest, Nord-Est et Sud-Est (conditions testées par Tessier) sont brièvement rappelés ici.

- Les tempêtes de Sud-Ouest génèrent des courants résiduels de surface vers le Nord-Est, en direction de l'estuaire ; au fond le courant de retour est orienté vers le large (Sud-Ouest).

¹ Tessier, 2006. Caractérisation et dynamique des turbidités en zone côtière : l'exemple de la région marine Bretagne Sud. Thèse de l'université de Bordeaux. IFREMER, Brest.

² SOGREAH, 2008. Analyse du contexte hydrodynamique local et recherche de techniques de mesure permettant de préciser le devenir des vases clapées non stabilisées sur le site de la Lambarde. Tome 1 : Analyse des forçages et de leurs effets. Rapport 1711728 R1.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

- Le passage de dépression du secteur Ouest se traduit généralement par des vents de Sud-ouest, tournant à l'Ouest puis au Nord-Ouest. Les courants résiduels sont intenses et dirigés vers le Sud-Est. Au fond, les courants résiduels restent assez importants (> 10 cm/s) et sont plutôt orientés vers le Sud.
- Les vents de Nord-Ouest (fins de perturbations) sont orientés vers le Sud/Sud-Est. Au fond, les courants résiduels sont plutôt orientés vers l'Ouest et le Sud-Ouest.
- Les vents de Nord-Est (moins intenses que les vents de mer) sont peu influents, et on observe des courants résiduels conditionnés par le panache de la Loire : courants de surface vers le Sud-Ouest et courant de retour sur le fond orienté vers le Nord-Est.
- Les vents de Sud-Est (peu fréquents et relativement faibles) favorisent également le courant de densité lié au panache de la Loire.

Sogreah a développé un modèle hydrodynamique 3D plus local dans sa partie océanique par rapport au modèle d'ensemble de Bretagne-sud mis en place par Tessier dans sa thèse. Le modèle s'étend depuis Ancenis (PK 90 par rapport à Saint-Nazaire) qui est la limite de remontée de la marée à l'amont jusqu'à l'océan Atlantique avec une limite en mer située à 40 kilomètres au large de Saint-Nazaire. Les résultats de la courantologie étudiée avec ce modèle sont présentés ci-après.

1.3.2 COURANTOLOGIE DETAILLEE PAR LE MODELE TELEMAC 3D DE SOGREAH

L'analyse des courants a été réalisée sur la base des résultats du modèle hydrodynamique dont dispose SOGREAH sur l'estuaire externe de la Loire. Ce modèle a été développé par SOGREAH dans le cadre de la « Mission d'étude, d'approfondissement et d'évaluation de scénarios visant à améliorer le fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Loire », pilotée par le Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire (GIP Loire Estuaire). Il utilise le système TELEMAC-3D (développé par EDF-DRD) entièrement couplé en hydrodynamique, salinité et sédiment vaseux. Ce modèle déjà existant a été calé en hydrodynamique et salinité sur plusieurs études dont une sur la partie externe de l'estuaire pour le SHOM et une sur la totalité de l'estuaire interne pour le GIP Loire Estuaire.

Dans le cadre de l'étude du devenir des vases clapées sur le site de la Lambarde, des animations des lignes de courant des courants résiduels qui montrent les directions stables de courant ont été obtenues pour 10 périodes de 14 jours. Les résultats présentés dans le rapport SOGREAH n°1711728 R1 sont synthétisés ici :

- Par vents de Sud-Ouest, les lignes de courants résiduels près du fond sont stables vers le large ; lorsque le vent faiblit elles s'orientent vers l'estuaire,
- Par vents d'Ouest, les lignes de courant montrent une alternance toutes les demi-marées, au gré du flot (lignes dans le chenal de Mindin ou le chenal de navigation) et du jusant (lignes vers le large),
- Par vents de Nord-Ouest, les lignes de courants résiduels sont très stables vers le large, et s'orientent vers l'estuaire lorsque le vent tombe,
- Par vents de Nord-Est et de Sud-Est, les lignes de courant s'orientent vers la Baie de Bourgneuf.

On observe quelques différences (vents d'Ouest) entre les résultats issus du modèle mis en œuvre par Tessier et les résultats du modèle utilisé par SOGREAH. On retiendra pour la suite de l'étude les résultats issus du modèle TELEMAC 3D développé par SOGREAH.

Les Figures 1.2 et 1.3 illustrent les vitesses de courant maximum, respectivement vitesse moyenne sur la verticale et vitesses sur les fonds. Ces vitesses maximum sont rencontrées au cours d'une période de 15 jours (revif), typique d'une petite crue et avec une faible influence de

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

la houle. Cette période a été choisie afin d'observer l'effet d'une crue hors tempête, lorsque les vitesses de courant sont les plus fortes en sortie d'estuaire.

Les conditions observées pendant cette période sont les suivantes :

- Elle est centrée sur un revif de 30 à 112 (pic des vitesses).
- Le débit est de 2600 m³/s au moment des mortes eaux, diminuant ensuite progressivement jusque 1200 m³/s.
- Les vents montrent un pic à 20 m/s de l'Ouest le premier jour, puis s'affaiblissent avec le passage d'une dépression modérée (pics à 8-12 m/s) de Nord-Est à Ouest en passant par le Sud. Après les mortes eaux, le vent tombe (2 à 6 m/s) en tournant au Nord-Est.
- Les houles sont inférieures à 1.5m, hormis le premier jour au moment de la tempête d'Ouest.

Les vitesses observées sont assez faibles, généralement inférieures à 0.90m/s en vitesse maximum moyennée sur la verticale et inférieures à 0.60m/s en vitesses maximum sur le fond.

Des courants de marée sur la verticale, particulièrement intenses (vitesses supérieures à 1m/s), sont observés au niveau du chenal de navigation, sur toute la ceinture de Noirmoutier, ainsi qu'à l'entrée de la baie de Bourgneuf.

Des vitesses proches de 1m/s sont observées plus au large, au niveau des morphologies Banc de Guérande, Plateau du Four et Plateau de la Banche. Les hauts-fonds correspondent donc aux zones où sont rencontrées les vitesses les plus élevées.

Sur le fond, les vitesses sont inférieures à 0.5m/s dans l'ensemble de l'estuaire, à l'exception du chenal de navigation de la pointe de Chemoulin à Saint-Nazaire et au large de Noirmoutier.

Sur le site de la Lambarde, les vitesses de courant moyennées sur la verticale restent inférieures à 0.80m/s, et inférieures à 0.50m/s sur le fond.

De plus faibles courants sont observés au Nord-Ouest du secteur d'étude, entre le plateau de la Banche, le plateau du Four et le banc de Guérande. Sur le fond, des vitesses inférieures à celles à la Lambarde sont observées sur tout le quart Nord-Ouest au large du site d'immersion, dans les conditions d'une petite crue (voir Figures 1.2 et 1.3).

1.3.3 LA HOULE

Une modélisation numérique de la propagation de la houle sur l'estuaire de la Loire a été réalisée à l'aide du logiciel TOMAWAC dans le cadre d'une étude antérieure réalisée par SOGREAH.

Les calculs ont été réalisés avec un niveau d'eau correspondant au niveau de pleine-mer de marées de vives-eaux moyennes (+5.50 m CM), et en considérant un faible étalement directionnel des spectres de houle.

Quatre des cinq conditions de houle étudiées sont présentées : trois houles de tempête annuelles, pour trois directions distinctes (230°N, 250°N, 270°N) et une houle de tempête annuelle, de direction 290°N, avec une hauteur significative plus faible que les houles de secteur Sud-Ouest et Ouest/Sud-Ouest.

Les épures de réfraction obtenues sont présentées Figures 1.4 à 1.7.

Les épures mettent en évidence l'effet des principaux phénomènes influençant la propagation de la houle du large vers la côte, en particulier la modification de la direction de propagation et les variations de hauteur liées à la réfraction et au déferlement.

- On observe notamment l'influence du Grand Trou, avec une forte atténuation de l'énergie de la houle dans la zone d'ombre (zone de grande profondeur) et une concentration de cette énergie de part et d'autre de la zone d'ombre.
- Le plateau de Four et le plateau de la Banche, hauts-fonds situés au large de l'estuaire atténuent la houle par déferlement.
- La baie de Bourgneuf est bien protégée des fortes houles de tempête.
- Les hauteurs de houle à la côte sont relativement faibles, pour chacun des quatre cas traités.

1.3.4 CONCLUSION SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

Les vitesses de courant, mises en évidence sur une période donnée (petite crue sans houle dominante), sont relativement faibles sur l'ensemble de la zone étudiée. Les vitesses les plus fortes susceptibles de mobiliser des sédiments sont rencontrées soit dans le chenal de navigation, soit dans les zones les moins profondes, au large de Noirmoutier et à l'entrée de la baie de Bourgneuf.

L'étude de la propagation des houles annuelles à la cote met en évidence des zones où les houles sont atténuées, soit par réfraction, soit par déferlement, ce qui conditionne les conditions de sollicitation sur les fonds. Les morphologies présentes au large de l'estuaire : Fosse 'le grand Trou', Plateaux du Four et de la Banche sont des zones où les hauteurs de houle sont considérablement réduites et derrière lesquelles les crêtes de houle sont faibles. Sur ces zones, les contraintes de cisaillement sur le fond liées aux vagues sont donc faibles, et limitent les remises en suspension des sédiments.

Afin de déterminer plus précisément les zones les moins dispersives de l'estuaire, une analyse des sollicitations hydrodynamiques a été réalisée et est présentée dans le paragraphe suivant.

1.3.5 CONTRAINTE DE CISAILLEMENT SUR LE FOND

Cette analyse a consisté en une élaboration de cartes de temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion.

Pour cela, les contraintes de cisaillement sur le fond ont été calculées à partir de la contrainte totale, calculée comme la somme de la contrainte liée aux courants (modèle hydrodynamique-3D) et de la contrainte liée aux vagues (modèle de propagation).

La valeur de la contrainte critique d'érosion du sédiment retenue est de 0.25N/m^2 , ce qui correspond à une vitesse de frottement critique de 1.6cm/s , une concentration du dépôt de 195g/l et un sédiment en place sur le fond depuis 24h.

Dix cartes de temps de dépassement ont été élaborées pour 10 séquences de 15 jours représentant 10 conditions météo-océaniques différentes. Le pourcentage de temps représente le nombre d'heures pour lesquelles la contrainte de cisaillement est supérieure à la contrainte critique d'érosion (le transport de sédiment est alors possible) sur le nombre d'heures total.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

Les 10 séquences analysées ont été sélectionnées dans une précédente étude sur le devenir des sédiments clapés à la Lambarde¹. Elles sont présentées ici.

Période 1 : du 29/08 au 11/09/1999 (jours 332 – 345)

La période 1 est une période typique de calme estival, qui se déroule pendant un déchet moyen (Coeff. 97 à 49) suivi d'un revif moyen (Coeff. 49 à 98).

- Le débit est de 160 m³/s environ.
- Les vents sont plutôt faibles : ils oscillent autour de 5 m/s, avec 3 pics très ponctuels à 8 ou 10 m/s. Ils sont du Nord-Est en début de période et tournent à l'Ouest au moment des mortes eaux.
- Les houles, inférieures à 1 m la première semaine, oscillent ensuite entre 0,9 et 1,5 m.

Période 2 : du 06 au 13/11/1998 (jours 36 – 49)

La période 2 est un cas moyen hivernal, qui se déroule pendant un déchet coefficient 111 à 42 et le revif suivant (Coeff. 42 à 81).

- Le débit est moyen, de 650 à 800 m³/s.
- Les vents sont variables : passage d'une dépression tournant de l'Est au Nord-Ouest avec des pics à 13 m/s ; puis vents de Nord-Ouest de 4 à 12 m/s ; puis vent de Nord-Est de 4 à 9 m/s.
- Les houles sont concomitantes avec les vents de Nord-Ouest et atteignent 3 m. Par vents de Nord-Est, elles diminuent rapidement.

Période 3 : du 22/10 au 04/11/1998 (jours 21 – 34)

La période 3 est typique des forts vents du secteur Ouest. Elle se déroule pour des coefficients de 84 à 37 puis 37 à 113.

- Le débit est moyen, passant de 350 à 900 m³/s environ.
- Les vents montrent le passage de dépression tournant d'Ouest à Nord-Ouest, avec des pics à 20 ou 25 m/s.
- Les houles sont concomitantes avec les pics de vents et atteignent 4 à 5 m.

Période 4 : du 08 au 21/03/1999 (jours 158 – 171)

La période 4 est typique d'une petite crue. Elle est centrée sur un revif de 30 à 112.

- Le débit est de 2600 m³/s au moment des mortes eaux, diminuant ensuite progressivement jusque 1200 m³/s.
- Les vents montrent un pic à 20 m/s de l'Ouest le premier jour, puis s'affaiblissent avec le passage d'une dépression modérée (pics à 8-12 m/s) de Nord-Est à Ouest en passant par le Sud. Après les mortes eaux, le vent tombe (2 à 6 m/s) en tournant au Nord-Est.

¹ SOGREAH, 2008. Analyse du contexte hydrodynamique local et recherche de techniques de mesure permettant de préciser le devenir des vases clapés non stabilisées sur le site de la Lambarde. Tome 1 : Analyse des forçages et de leurs effets. Rapport 1711728 R1.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

- Les houles sont inférieures à 1,5 m, hormis le premier jour au moment de la tempête d'Ouest.

Période 5a : du 23/12/1998 au 05/01/1999 (jours 83 – 96)

La période 5a est typique des conditions extrêmes hivernales, en dehors de la période du pic de crue. Elle se déroule pour des coefficients de 56 à 100.

- Le débit est de 1200 à 1700 m³/s.
- Les vents sont forts sur presque toute la période (pics à 20 m/s), du secteur Ouest et Sud-Ouest, avec le passage d'une dépression de Sud-Est à Sud-Ouest en milieu de période.
- Les houles sont corrélées avec les pics de vent, atteignant 5 à 6 m.

Période 5b : du 21/02 au 06/03/1999 (jours 143 – 156)

La période 5b est typique du pic de crue de l'année, qui se déroule ici pour des coefficients de 49 à 96.

- Le débit passe de 1750 à 3670 m³/s, puis redescend à 2450 m³/s
- Les vents sont forts pendant la montée et la descente de crue (pics à 14-16 m/s), globalement du secteur Nord-Ouest à Ouest, mais on note un affaiblissement important au moment du pic de crue lui-même, pendant 3 jours (vents de 0 à 8 m/s).
- Les houles sont corrélées avec les pics de vent, atteignant 4,5 m en fin de période.

Période 6 : du 10 au 23/01/1999 (jours 101 – 114)

La période 6, comme la période 5a, est typique des conditions extrêmes hivernales, mais pour un débit plus important. Elle se déroule pour des coefficients de 37 à 96.

- Le débit est de 1300 à 2100 m³/s.
- Les vents, du secteur Sud-Ouest, sont marqués par des pics de 14-17 m/s, puis par un retour au calme, avec le passage d'une dépression modérée (< 8 m/s) de Sud-Ouest à Nord-Est puis Nord-Est à Sud en fin de période.
- Les houles sont corrélées avec les pics de vent, atteignant 5 m.

Période 7 : du 07 au 20/10/1998 (jours 6 – 19)

La période 7 illustre un étiage en période hivernale, avec des tempêtes de Nord-Ouest. Elle se déroule pour un déchet de coefficients 116 à 43, puis le revif suivant de coefficients 43 à 86.

- Le débit est inférieur à 400 m³/s.
- Les vents, du secteur Nord-Ouest, sont marqués par des pics de 12 à 17 m/s, et tournent en milieu de période à l'Ouest, avant le passage d'une dépression de Sud à Ouest en fin de période.
- Les houles sont corrélées avec les pics de vent, mais restent modérées, inférieures à 1,5 m le plus souvent, et atteignant 2,2 m sur un épisode ponctuel.

Période 8 : du 07 au 20/07/1999 (jours 279 – 292)

La période 8 illustre un étiage en période estivale, avec des vents modérés. Elle se déroule pour un revif de coefficients 56 à 100, puis le déchet suivant de coefficients 100 à 46.

- Le débit est inférieur à 400 m³/s.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

- Les vents sont tout d'abord Nord-Est, de 2 à 8 m/s, puis passent à l'Ouest après les vives eaux, marqués par des pics de 10-11 m/s.
- Les houles sont faibles, inférieures à 1 m la plupart du temps avec un maximum à 1,7 m en fin de période.

Période 9: du 27/04 au 10/05/1999 (jours 208 – 221)

La période 9 illustre un débit moyen en période estivale, avec des vents modérés. Elle se déroule pour un revif de coefficients 67 à 86, puis le déchet suivant de coefficients 86 à 39.

- Le débit passe progressivement de 1200 à 800 m³/s.
- Les vents sont tout d'abord Nord-Est, de 2 à 10 m/s, puis passent au Sud-Ouest après les vives eaux, en forçant jusque 13 m/s par moments.
- Les houles sont faibles par vents de Nord-Est (inférieures à 1 m) et augmentent par vents de Sud-Ouest pour atteindre 3 m.

1.3.5.1 COMPARAISON DES TEMPS DE DEPASSEMENT ET DES FORCAGES HYDRODYNAMIQUES

Deux types de cartes illustrant les sollicitations hydrodynamiques des fonds ont été réalisées :

- Cartes générales de temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (Annexes 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 et 19),
- Cartes mettant en évidence les zones moins sollicitées que le site de la Lambarde (Annexes 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 et 20).

La comparaison des cartes de temps de dépassement (Annexes) et des cartes illustrant les forçages hydrodynamiques (figures 1.2 à 1.7) dans l'estuaire montre que la remise en suspension des sédiments au large est principalement régie par les houles : d'une manière générale, les zones où le temps de dépassement est faible correspondent assez bien aux zones où la houle est atténuée.

Les courants sont un forçage prédominant dans le transport sédimentaire, lors des crues, et dans les zones peu profondes, près de la cote. Les zones soumises aux forts courants lors d'une petite crue sont situées dans l'estuaire externe, entre Saint-Nazaire et la pointe de Chémoulin. Cette zone se retrouve être une zone où le temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion est élevé, à la période 4, représentative d'une petite crue.

1.3.5.2 EFFETS DES FORCAGES SUR LE TEMPS DE DEPASSEMENT

Sur l'ensemble des séquences analysées, les séquences météo-océaniques 3, 5a, 5b et 6 sont des séquences très dispersives (respectivement Annexes 5, 9, 11 et 13) : à la Lambarde, la mise en suspension des sédiments est possible plus de 80% du temps. Ces séquences représentent des événements anecdotiques dans une année : tempête d'Ouest (séq.3), conditions extrêmes hivernales (séq.5a et 6) et pic de crue (séq.5b). La situation la plus pénalisante (temps de dépassement de 93% sur l'ensemble de la zone d'étude à l'exception du Grand Trou et de la baie de Bourgneuf) est la période 5a, typique des conditions extrêmes hivernales : vents très forts et fortes houles.

Les autres séquences illustrent des situations plus récurrentes : calme estival (séq.1, Figure 1.8), cas moyen hivernal (séq.2, Annexe 3), petite crue (séq.4, Annexe 7), étiage et vents variables (séq.7 et 8, Annexes 15 et 17) et vents modérés en débit moyen (séq.9, Annexe 19). Pour l'ensemble de ces cas, le temps de dépassement à la Lambarde est inférieur à 53% : dans ces conditions d'agitation, la sollicitation des fonds par les forçages hydrodynamiques n'est favorable à la remise en suspension des sédiments que 50% du temps. L'effet d'une petite crue (comparaison des séquences 1 et 4) se ressent principalement dans l'estuaire externe, entre

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

Saint-Nazaire et la limite fictive reliant la pointe du Pouliguen à la pointe Saint-Gildas où les vitesses plus importantes (figure 1.2) favorisent le transport des sédiments. Le cas moyen hivernal (séq. 2) est la situation où le temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion est le plus important à l'échelle globale de la zone d'étude (emprise du modèle).

1.3.5.3 ZONES OU LE TRANSPORT POTENTIEL EST PLUS FAIBLE QU'À LA LAMBARDE

Pour chacune des séquences, une carte représentant des zones de moindres contraintes qu'à la Lambarde ont été établies. Elles sont présentées à la suite de chacune des cartes de temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (Annexes 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 et 20). Sont ainsi identifiées, pour chacune des séquences, les zones où la dispersion est plus faible qu'à la Lambarde.

On retrouve sur l'ensemble des séquences, des zones de moindre dépassement par rapport à la Lambarde ; elles sont situées : au Nord-Ouest de la zone d'étude (à l'Ouest du plateau du Four et du banc de Guérande), dans le Sud-Ouest de la zone d'étude et à partir du Grand Trou jusqu'au site d'immersion actuel.

Pour les séquences représentant les événements exceptionnels (séq. 3, 5a, 5b et 6), on observe une zone de moindre contrainte dans la baie de Bourgneuf. Cette zone n'existe pas dans les autres situations. En revanche une zone de moindre contrainte comprise entre le plateau du Four, le Croisic et le plateau de la Banche s'observe lors des situations moins extrêmes uniquement (1, 2, 4, 7, 8 et 9).

L'analyse et le recoupement de ces zones de moindre contrainte a permis de définir des zones dans lesquelles la contrainte critique d'érosion est toujours moins dépassée qu'à la Lambarde, et ce, quelles que soient les situations météo-océaniques.

On se place donc dans le cas le plus restrictif. Ces aires géographiques sont représentées figure 1.8. En noir sont identifiées les zones où le temps de dépassement est inférieur à celui observé à la Lambarde (d'au moins une heure sur une séquence de 15 jours soit -0.2% à -7% par rapport à la durée totale de la séquence étudiée). Quatre zones plus ou moins confinées sont donc observées. En violet sont repérées les zones où le temps de dépassement est inférieur d'au moins 7 à 13% à celui observé à la Lambarde par rapport à la durée totale des séquences étudiées (24 à 48h en moins sur une séquence de 15 jours), et ce sur l'ensemble des séquences). Ces conditions sont très restrictives : seule une zone importante est mise en évidence, et correspond à la fosse du Grand Trou.

1.3.5.4 CONCLUSIONS

L'étude du temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion au travers de différentes séquences météo-océaniques nous permet d'observer les conditions de remise en suspension des sédiments et d'identifier des zones moins dispersives que la Lambarde. Il s'avère que ces zones sont restreintes, si l'on tient compte de l'ensemble des conditions annuelles. Au regard des résultats sur l'ensemble de la zone d'étude il ressort que la Lambarde n'est pas située dans une zone particulièrement dispersive, par rapport à la situation générale dans l'estuaire externe.

Quatre zones moins dispersives ont néanmoins été identifiées :

- La première se situe dans l'axe Lambarde-Grand trou.
- La seconde est située dans le Sud-Ouest de la zone d'étude, sur des fonds supérieurs à -30m CM.
- La troisième est située à l'Ouest du plateau du Four et du banc de Guérande, où les fonds sont également situés -30m CM.

- Une quatrième zone plus confinée est localisée à l'entrée de la baie de Bourgneuf, au sud du banc de Kérouars.

Peu de zones sont significativement moins dispersives que la Lambarde ; la plus évidente correspondant à des fonds de plus de 50m, au niveau du Grand Trou.

1.4 CONTRAINTES D'USAGE

1.4.1 LES ZONES DE PECHE

La Figure 1.9 présente la réglementation des pêches en vigueur dans la zone d'étude. Cette carte a été réalisée sur la base de la synthèse cartographique de la réglementation des pêches professionnelles, réalisée en décembre 2005 par l'Agrocampus de Rennes et le CNRS pour le Comité régional des pêches et des élevages Marins des pays de Loire (COREPEM).

La réglementation en matière de pêche à la crevette est ancienne. Elle est probablement amenée à évoluer dans les années à venir. A l'heure actuelle, le principe consiste en une restriction progressive de l'accessibilité depuis le large vers la côte, en fonction du tonnage des navires.

Au Nord et au Nord-Ouest du site d'immersion de la Lambarde, les plateaux de la Lambarde et de la Banche sont des zones réglementées pour la pêche de la Sole, ainsi que 2 autres zones, situées au sud du Croisic et au sud de la Basse Michaud. A l'intérieur de ces zones :

- La longueur de filets utilisable est limitée à 8 kms par navire entre le 1er mai et le 15 octobre de chaque année,
- Le maillage des filets utilisés ne doit pas être inférieur à 100 mm quelle que soit la période.

A l'extérieur de ces zones :

- Les conditions d'exercice de pêche sont celles des chaluts de fond,
- L'usage des chaluts de fond est interdit à moins de 3 milles de la laisse de basse mer des côtes du continent et de celles des îles ou îlots émergeant en permanence.

Des accords interprofessionnels réservent 2 secteurs aux arts dormants (casiers, filets droits, trémails) en période hivernale : le plateau de la Lambarde et une seconde zone s'étendant vers le Sud-Ouest sur le couloir dépressionnaire conduisant au « Grand Trou ». Ces 2 réserves ne sont pas recensées dans la cartographie de la réglementation des pêches professionnelles (COREPEM, 2005).

Il a été créé deux cantonnements : réserves à crustacés au large de l'estuaire de la Loire aux lieux dits le "Grand Trou" et la "Basse Michaud". A l'intérieur des limites des cantonnements l'exercice de toute pêche y compris de la pêche sous-marine est interdit.

L'emploi du chalut pélagique pour la pêche des poissons bleus (maquereau, sprat, anchois, sardine, hareng) est autorisé exclusivement de jour sur la zone III et sur la zone IV (voir Figure 1.9) : de jour et de nuit entre le 15 octobre et le dernier jour de février, et de jour seulement entre le 1er mai et le 14 octobre.

Les zones de pêche (sur le fond : sole, crevette, arts dormants) et les zones de cantonnement sont des zones de contrainte dans le choix d'une zone disponible pour des opérations d'immersion.

1.4.2 LA NAVIGATION ET AUTRES SERVITUDES

Les zones de servitude sont présentées figure 1.10.

Le chenal de navigation et d'accès aux zones portuaires du GPM traverse l'estuaire du Nord-Est au Sud-Est.

Il existe une zone d'attente à 0.5 mille à l'Ouest de l'alignement du chenal, par fonds de 20m. La zone d'attente est située immédiatement au sud de la zone de dépôts des déblais de dragage.

Il existe 2 zones d'extraction de granulats marins : la concession du « Grand Charpentier » et celle du « Pilier ».

- Le gisement siliceux du « Grand Charpentier » couvre une superficie de 10km² environ dans l'emprise de la circonscription portuaire. Il est situé à 1.5km au Nord du site d'immersion actuel.
- La superficie du secteur d'exploitation du « Pilier » est de 8.8km², à 4.5km au sud du site d'immersion de la Lambarde.

A l'Est de l'entrée du chenal de navigation se trouve une zone de dépose d'explosifs, sur des fonds inférieurs à -7m CM.

La zone située entre la pointe de Chémoulin et Le Grand Charpentier est interdite au mouillage et au chalutage du fait de la présence de câbles sous-marins.

D'autre part il convient de tenir compte d'un projet de parc éolien offshore (projet EDF-EN) qui se situerait sur le front Nord-Ouest du plateau de la Banche.

La plupart des zones de servitudes sont localisées sur des petits fonds peu intéressants pour un éventuel site d'immersion. Seule la zone d'attente et le gisement du Pilier sont restrictives, la zone d'attente pouvant certainement être déplacée.

1.4.3 DISTANCE DE TRANSPORT

Le temps de transport et donc le coût du transport est directement lié à l'éloignement géographique entre les zones de dragage et les zones de clapage.

La cartographie Figure 1.11 permet d'appréhender les distances de transport qu'aurait à effectuer la drague selon l'emplacement du site de clapages. Ces distances sont théoriques, puisque les conditions de navigation peuvent en pratique augmenter les distances de transport. Le site actuel se situe à 12 milles nautiques (environ 22km) du port de Saint-Nazaire.

1.5 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

1.5.1 LES PEUPEMENTS BENTHIQUES

La caractérisation des peuplements benthiques à l'échelle de la zone d'étude est ancienne. Elle date de l'important travail d'étude scientifique sur les peuplements benthiques du plateau continental Nord-Gascogne, réalisé par Glémarec en 1969. La cartographie réalisée à l'époque est présentée figure 1.12.

Aucune actualisation à cette échelle spatiale n'a été réalisée depuis. Seules des campagnes biosédimentaires ciblées sur des zones précises apportent des informations plus récentes. Les

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

suis biosédimentaires réalisés dans le cadre de l'autorisation d'immersion des déblais de dragage sur le site de la Lambarde (CREOCEAN, juin 2004 et février 2008) réalisés récemment viennent contredire certaines structures mises en évidence par Glémarec, comme la vaste zone sableuse azoïque dans laquelle est comprise la zone de clapages de la Lambarde. En effet plusieurs prélèvements effectués sur cette zone ont permis de caractériser une faune riche et diversifiée. D'autre part, au nord de la Lambarde, les fonds du Chenal du Nord et du Grand Charpentier abritent des « sédiments sablo-graveleux azoïques où seules quelques populations localisées de *Spisula ovalis* peuvent parfois y survivre » (Glémarec, 1969). Pourtant l'intérêt halieutique du Chenal du Nord pour la pêche d'espèces de fonds ou démersales suggère l'existence de peuplements benthiques plus riches que présentés dans cette étude, et capables de représenter une ressource trophique intéressante.

La contrainte « ressource trophique » sera donc plus précisément évaluée par la suite. Des campagnes de caractérisation des communautés benthiques seront réalisées sur les zones potentielles retenues, afin d'actualiser les données existantes.

1.5.2 LES RESSOURCES HALIEUTIQUES

1.5.2.1 LES RESSOURCES PISCICOLES

Les espèces halieutiques caractéristiques de la zone d'étude sont présentées ici, ainsi que les principales ressources exploitées par la pêche côtière.

Au large de l'embouchure de la Loire, la Sole est largement prédominante. C'est l'espèce cible dont l'exploitation est la plus régulière, particulièrement dans le Chenal du Nord, au nord de la zone d'immersion de la Lambarde.

La Sole est particulièrement abondante de mai à novembre, les adultes effectuant une migration hivernale vers les eaux plus profondes (entre -40 et -70m essentiellement) du plateau continental. Les juvéniles se déplacent aussi en fonction des saisons mais sur des distances beaucoup plus courtes, bien qu'il existe probablement des relations entre les populations immatures des 3 grandes nourriceries régionales que sont la baie de Vilaine, l'estuaire de la Loire et la baie de Bourgneuf.

Le Tcaud est également bien représenté, mais il constitue une ressource nettement moins intéressante en raison de sa faible valeur commerciale.

Le Merlu, le Merlan, la Seiche, le Bar et la Baudroie fréquentent cette région, mais de façon temporaire, à l'occasion des migrations qu'effectuent ces espèces. Le Flet, la Plie, les crustacés tels que le Tourteau, l'Etrille et l'Araignée sont des ressources secondaires.

Les crustacés, le Bar, le Lieu, le Congre, le Rouget, la Seiche, mais aussi la Sole et d'autres espèces accessibles au chalutage, sont des ressources cibles pour les arts dormants. Ces techniques de pêche sont exercées sur ou aux abords des hauts-fonds (plateau de la Banche, îles de la baie de La Baule, plateau de la Lambarde...)

Dans l'estuaire interne et l'embouchure de la Loire, les principales espèces exploitées sont :

- la Crevette grise, espèce benthique qui se reproduit et se développe sur les fonds vaseux et sableux de la frange littorale où elle se cantonne du printemps à l'automne. Elle migre ensuite vers le large lors de la période hivernale sous l'influence du refroidissement des eaux côtières et de la baisse de la salinité,
- la Crevette rose, ou Bouquet, est présente sur les fonds rocheux et les zones d'élevage de coquillages. Elle y séjourne une bonne partie de l'année, ne migrant qu'en hiver vers les zones plus océaniques,

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

- la Civelle, qui arrive à partir de la fin de l'automne de sa grande migration océanique et emprunte les estuaires ou les étiers à partir des baies).

Les pêcheries de crevettes grises sont localisées sur la figure 1.13, à l'embouchure de l'estuaire et dans la baie de Bourgneuf.

1.5.2.2 LES NOURRICERIES

L'estuaire de la Loire abrite une nurricerie (figure 1.13) dont les limites fluctuent en fonction des saisons. Ainsi, son extension est maximale vers l'aval en hiver et s'étend jusqu'à l'alignement pointe de Chémoulin - pointe de Saint-Gildas. Elle se localise dans un secteur soumis à une forte productivité biologique qui est dépendante du flux énergétique d'origine fluviale et marine.

Les nurriceries de poissons correspondent aux zones de fréquentation préférentielle de la Crevette grise. En effet, les pêcheries de crevettes grises (figure 1.13) coïncident avec les zones de concentration de juvéniles. Des immatures de Sole, Flet, Tcaud, Bar, Dorade grise, Chinchard et, en moindre abondance, de Merlan et de Rouget se concentrent de façon pratiquement permanente sur les fonds vaseux de la nurricerie de l'estuaire de la Loire.

De même, la baie de la Baule et du Pouliguen revêt également une fonction de nurricerie de poissons plats. C'est aussi une pêcherie à Crevette grise reconnue.

Ainsi les nurriceries sont rencontrées dans l'estuaire à de faibles profondeurs, sur des fonds inférieurs à -10m CM. Les zones propices à l'immersion des sédiments correspondent à des secteurs de plus grandes profondeurs, et ne vont pas recouvrir ces aires de nurricerie.

1.5.2.3 LES FRAYERES

Les zones de frayères des poissons plats sont localisées sur le plateau continental à des profondeurs variables selon les espèces :

- Sole : par 60-80m de fond
- Plie et Limande : par 20-40m de fond
- Turbot : entre 10 et 80m de fond

La Seiche vient frayer dans les fonds sablo-vaseux des baies de moins de 40m et fixe ses pontes sur des supports solides.

Le Bar fraie également sur les petits fonds littoraux (moins de 10m), sur des zones à anfractuosités rocheuses.

Les zones de frayères sont localisées à des profondeurs relativement importantes, ce qui limite le recouvrement de ces zones par un éventuel site alternatif.

1.5.2.4 LES RESSOURCES CONCHYLICOLES

La localisation des gisements de coquillage et des zones d'exploitation conchylicoles est présentée sur la figure 1.13.

De nombreux gisements naturels de coquillages sont présents le long des littoraux de la zone d'étude. 31 gisements naturels sont suivis par la DDASS, ceux pour lesquels la fréquentation par les pêcheurs amateurs est effective.

Les zones conchylicoles repérées sur la carte sont les zones de production de coquillages vivants (captage, élevage, pêche à pied professionnelle) qui font l'objet d'un classement

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

sanitaire, défini par l'arrêté préfectoral. 10 zones sont présentes sur la zone d'étude, à proximité des littoraux.

| Numéro de la zone | Nom de la zone | Coquillages | Caractéristiques |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| N°44-8 | Pornichet – Les îlots | Bivalves non fousseurs | |
| N°44-9 | Estuaire de la Loire | Bivalves fousseurs et non fousseurs | |
| N°44-10 | Embouchure –banc Nord | Bivalves fousseurs e t non fousseurs | Bouchots |
| N°44-11 | Embouchure –rive Sud | Bivalves non fousseurs | Pêches de loisir |
| N°44-12 | La Prée | Bivalves non fousseurs | Tables surélevées/parcs |
| N°44-13 | La Tara | Bivalves non fousseurs | Tables surélevées/parcs |
| N°44-14 | La Plaine sur mer | Bivalves non fousseurs | T ables surélevées/parcs |
| N°44-07-01 | Baie du Pouliguen | Bivalves fousseurs | |
| N°44-07-02 | Baie de la Baule | Bivalves fousseurs et non fousseurs | |
| N°85-01 | Baie de Bourgneuf – Nord du Gois | Bivalves fousseurs et non fousseurs | |

Tableau 1 : zones de production de coquillages vivants faisant l'objet d'un classement sanitaire (Source : Atlas des zones conchylicoles).

Les zones conchylicoles ne représentent pas une contrainte pour la recherche d'un site alternatif de clapage puisque ces zones d'exploitation conchylicoles sont situées près des cotes, à de faibles profondeurs.

1.5.3 ZONES DE PROTECTION

La Figure 1.14 présente la cartographie des espaces protégés.

Deux propositions de Site d'Intérêt Communautaire sont actuellement en cours :

- le pSIC FR5202011, qui couvre une partie de l'estuaire externe de la Loire, au Nord du chenal de navigation d'accès au port de Nantes/Saint-Nazaire,
- le pSIC FR 5202012, qui s'étend principalement au large de l'estuaire externe de la Loire, au Sud du chenal de navigation d'accès au port de Nantes/Saint-Nazaire et en continuité de la zone d'estran de la Baie de Bourgneuf.

Le 30 octobre 2008 a été désigné en ZPS, au titre de Natura 2000 en mer (ZPS « Estuaire de la Loire et Baie de Bourgneuf » FR 5212014), un vaste ensemble maritime et côtier recouvrant les 2 SIC proposés pour la partie Nord et Sud de l'Estuaire de la Loire et sur la Baie de Bourgneuf et intégrant l'espace estuarien qui les sépare.

S'il était fait le choix de localiser la nouvelle zone d'immersion hors des sites Natura 2000, cela conduirait à la repousser vers le large, à une distance minimale de 9km par rapport au site actuel. L'avantage de cette option serait de supprimer la nécessité de prendre en compte l'impact local à court terme du panache turbide vertical libéré lors du clapage et de l'étalement horizontal.

1.6 SYNTHÈSE CARTOGRAPHIQUE : IDENTIFICATION DES ZONES DE MOINDRE CONTRAINTE

La Figure 1.15 est une carte de synthèse des principales contraintes. En rouge sont représentées les zones de contraintes identifiées précédemment. Les pointillés Rouge délimitent les 2 pSIC présentes sur l'estuaire. Les zones moins dispersives (moindre sollicitation des fonds qu'à la Lambarde) sont représentées en noir et violet (zones significativement moins sollicitées par rapport au site de la Lambarde).

La plupart de ces zones se recoupent ; on identifie cependant des zones de moindre contrainte, *a priori* plus stables que le site de la Lambarde :

- une zone à l'Ouest immédiat de la Lambarde,
- une zone située entre la zone d'attente et la zone réservée aux arts dormants, et
- une vaste zone située au Nord-Ouest, derrière le plateau du Four.

1.7 DEFINITION DES SITES ALTERNATIFS POTENTIELS

4 macro-zones de moindre remise en suspension que le site de la Lambarde ont été définies précédemment (Figure 1.8). Celles-ci ont été analysées en vue d'y définir des sites alternatifs potentiels.

- Zone 4 : Cette zone se situe à l'entrée de la Baie de Bourgneuf, à proximité de la Pointe Saint-Gildas. Non loin des zones conchylicoles et des nourriceries de poissons plats de la baie de Bourgneuf, cette zone se trouve proche d'un secteur très sensible sur le plan environnemental. En outre cette zone de moindre dispersion est le site d'immersion des déblais de dragages du port de Pornic.
- Zone 3 : Située au Nord-Ouest de l'estuaire, elle se trouve à une distance importante du port de Saint-Nazaire. Les distances de transport avec les zones draguées sont irréalistes pour y définir un site potentiel d'immersion. D'autre part, cette zone se trouve sur le pSIC « Plateau du Four ».
- Zone 2 : Cette zone située à l'Ouest des hauts fonds ceinturant Noirmoutier ne présente pas un intérêt majeur sur le plan de la dispersion des sédiments. D'autre part elle se situe à une distance importante des zones portuaires, et les distances zones draguées / zone de clapage seraient certainement trop importantes pour maintenir les dragages actuels.
- Zone 1 : Cette zone située entre le site actuel d'immersion et la fosse du Grand Trou présente un intérêt sur le plan hydrosédimentaire, puisque la morphologie des fonds favorise un secteur abrité des remises en suspension.

L'analyse et le recoupement des contraintes sur les 4 macro-zones tendent à écarter les zones 2, 3 et 4. En revanche 3 sites alternatifs d'immersion ont été définis sur la macro-zone 1 (Figure 1.16) :

- Un premier à l'Ouest de la zone actuelle (site 1), recouvrant en partie une faible surface de la zone d'attente ;

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

- Un second à l'est de la zone réservée aux arts dormants (voir site 2, Figure 1.17). Ce site à l'avantage d'être situé, en partie, sur une zone significativement moins soumise à la dispersion des particules.
- Un troisième site potentiel a été défini au sein de la zone réservée aux arts dormants (site 3, voir Figure 1.17), car il aurait l'avantage de se situer sur une zone nettement moins sollicitée par l'agitation.

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques physiques des 3 sites alternatifs déterminés à ce stade ; elles sont comparées avec celles du site de la Lambarde. Les zones de pêche (Figure 1.17) et zones de protection réglementaire (Figure 1.18) recoupées par ces sites sont citées. La nature des fonds sur les sites est issue de la cartographie de la nature sédimentaire des fonds de l'estuaire de la Loire (Lesourd et Klingebiel, 1986) présentée Figure 1.19.

| Sites | Localisation ED50 | Distance du Port de St- Nazaire (milles nautiques) | Bathymétrie en m CM | Nature du substrat (d'après Lesourd et Klingebiel, 1986) | Zones de protection zones de pêche réglementée |
|----------|-----------------------------------|---|------------------------|---|---|
| 1 | 47°9' 7,3188" -2°24' 55,3284" | 13 | -24/-28m | Vase sableuse | pSIC « Estuaire de la Loire » et zone d'attente des navires |
| 2 | 47°7' 38,3484" -2°28' 18,2316" | 16 | -26/-33m | Vase sableuse / Sables caillouteux | pSIC « Estuaire de la Loire » |
| 3 | 47°6' 53,5932" -2°31' 29,6256" | 18.5 | -30/-60m | Vase sableuse / Graviers | Réserve aux arts dormants |
| Lambarde | 47°9' 43,2036" -2°22' 22,8036" | 11 | -10/-25m | Vase sableuse | pSIC « Estuaire de la Loire » |

Tableau 2 : Principales caractéristiques physiques des sites alternatifs et zones règlementées.

2. ANALYSE HYDROSEDIMENTAIRE SUR LES SITES RETENUS

2.1 EXPERTISE HYDROSEDIMENTAIRE DES SITES DETERMINES

2.1.1 MORPHOLOGIE DES FONDS

Les sites alternatifs sont situés dans la « Grande Rade de la Loire », entre les plateaux de la Banche et de la Lambarde au Nord, et la ceinture rocheuse de Noirmoutier au Sud. Ils se trouvent dans le couloir le plus septentrional, où se trouve la fosse du Grand Trou (Figure 2.1).

- Le site 3 est situé au-dessus d'une dépression, à l'extrémité Est de la fosse : les fonds vont de -30m aux limites externes du site, jusqu'à plus de 50m de profondeur au centre du site,
- Le site 2 est situé dans la dépression qui mène à la fosse, sur des fonds d'environ -30m,
- Le site 1 se trouve sur des fonds plus hauts, compris entre -20 et -30m (Figure 2.2).

2.1.2 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

2.1.2.1 COURANTOLOGIE

Les vitesses de courants ont été observées au cours d'une période de 15 jours (revif), typique d'une petite crue et avec une faible influence de la houle. Cette période a été choisie afin d'observer l'effet d'une crue hors tempête, lorsque les vitesses de courant sont les plus fortes en sortie d'estuaire.

En période de crue, sans agitation importante, les vitesses maximum moyennées sur la verticale sont inférieures à 0.6-0.7 m/s (Figure 2.3).

Sur le fond, les vitesses maximum atteintes sont inférieures à 0.5 m/s sur tous les sites (Figure 2.4). Ces vitesses sont identiques à celles observées sur le site actuel d'immersion (voir paragraphe 1.3.2).

Des mesures *in-situ* permettront d'affiner la connaissance des conditions de courant (Direction et vitesses) sur les 3 sites alternatifs à travers différentes périodes météo-océaniques. Les résultats de ces mesures pourront être comparés aux données hydrodynamiques acquises à la Lambarde.

2.1.2.2 AGITATION

Les Figures 2.7 et 2.8 présentent les données de propagation des houles, comme présentées précédemment.

Les sites potentiels sont localisés dans la zone d'ombre du Grand Trou, où l'énergie de la houle est fortement atténuée.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

On observe de plus faibles hauteurs de houle sur les sites les plus au large, situés à proximité du Grand Trou. Quelle que soit la direction de la houle, le site 3 (localisé au-dessus de la fosse) est davantage protégé des fortes houles que les autres sites.

Dans une phase ultérieure de l'étude, une modélisation numérique 3-D (lâchers de particules) sera mise en œuvre de façon à pouvoir déterminer la direction préférentielle des particules immergées sur les sites alternatifs potentiels sur le fond, du fait de la concomitance des marées, du débit, du vent et de la houle.

2.2 COMPARAISON DE LA SOLLICITATION DES FONDS SUR LES SITES ET LA LAMBARDE

Les cartes de temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (Figures 2.9, 2.10 et 2.11) permettent de déterminer dans quelle mesure les fonds sur les sites alternatifs sont moins dispersifs que les fonds à la Lambarde.

Les résultats pour les 10 conditions hydrodynamiques sont repris dans les 2 tableaux suivants (conditions météo moyennes « hors vents forts et pic de crue » et conditions extrêmes). En rouge est indiqué le pourcentage de temps où la contrainte critique d'érosion n'est pas dépassée sur le site alternatif alors qu'elle est dépassée sur le site de la Lambarde (moindre sollicitation des fonds).

| | Lambarde | Site 1 | Site 2 | Site 3 |
|--|----------|---|---|---|
| Calme estival | 40% | 27% -13% | 20% -20% | 13% -27% |
| Cas moyen hivernal | 67% | 53% -14% | 53% -14% | 33% -34% |
| Petite crue | 47% | 33% -14% | 27% -20% | 27% -20% |
| Etiage et vents d'Ouest à Nord | 47% | 33% -14% | 27% -20% | 20% -27% |
| Etiage et vents de Nord-Est à Ouest | 27% | 20% -7% | 20% -7% | 13% -14% |
| Vents d'Est | 53% | 47% -6% | 40% -13% | 33% -20% |

Tableau 3 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (en %) en « conditions moyennes ».

Les sollicitations hydrodynamiques des particules sur les fonds des 3 sites alternatifs sont moindres que sur les fonds à la Lambarde.

- Le « site 1 » reste le plus dispersif des 3, les fonds étant moins profonds que sur les autres sites.
- Le « site 2 » se trouve déjà plus à l'abri des remises en suspension.
- Le « site 3 » est de loin le moins dispersif : en conditions moyennes (hors vents forts et pic de crue), les fonds sont sollicités moins de 30% du temps.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

| | Lambarde | Site 1 | Site 2 | Site 3 |
|---|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tempête d'Ouest | 80% | 67% -13% | 60% -20% | 53% -27% |
| Conditions extrêmes hivernales | 93% | 93% 0% | 93% 0% | 87% -6% |
| Pic de crue | 87% | 80% -7% | 73% -14% | 60% -27% |
| Conditions extrêmes hivernales en crue | 87% | 80% -7% | 73% -14% | 60% -27% |

Tableau 4 : Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (en %) lors d'évènements météorologiques exceptionnels.

Lors des conditions extrêmes (périodes 5a, 5b et 6) qui peuvent potentiellement remettre en suspension un volume important de sédiments, le « site 3 » présente l'avantage d'être nettement moins dispersif que la Lambarde et les autres sites. L'érosion est limitée du fait de la présence d'une dépression au niveau du site.

2.3 SYNTHÈSE

Le site 3 semble le plus intéressant pour y définir un site d'immersion, puisque la remise en suspension des sédiments y est plus faible que sur les autres sites. Cependant ce site se trouve dans une réserve aux arts dormants, et est le site le plus distant des zones de dragage.

Entre la Lambarde, le site 1 et le site 2, la sollicitation des fonds est décroissante ; ces 2 sites potentiels se situent tous les 2 dans le pSIC « Estuaire de la Loire ».

Il conviendra dans les études ultérieures (phase 2) :

- D'estimer le taux de dispersion moyen,
- D'estimer la recirculation à court terme, par le calcul de flux solides initiaux de remise en mouvement,
- De vérifier, à l'aide de lâchers de particules, la recirculation à moyen terme (trajectoire des particules). Ces analyses seront réalisées pour chacune des 9 séquences présentées au paragraphe 1.3.5.

2.4 DEFINITION DES MESURES A REALISER

Afin d'améliorer les connaissances sur le devenir à court, moyen et long terme des matériaux clapés à la Lambarde, le GPM souhaite lancer une campagne de mesures en été 2009. Le Port souhaite intégrer à cette campagne des mesures sur le(s) site(s) potentiel(s) d'immersion retenu(s).

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

Les mesures à réaliser sont définies ici, et sont présentées de façon à être intégrées au programme fonctionnel¹ de la campagne de mesures pour « l'étude du devenir des vases clapées sur le site d'immersion de la Lambarde ».

2.4.1 OBJECTIF DES MESURES

2.4.1.1 LES REPONSES HYDROSEDIMENTAIRES A APPORTER

Afin d'améliorer la caractérisation des sites potentiels d'immersion, et de lever certaines incertitudes, la campagne de mesures *in-situ* devra permettre d'apporter plusieurs informations hydrosédimentaires sur les sites de clapage. Ces questions et réponses sont fournies dans le tableau suivant :

| Question | Problématique | Réponses hydrosédimentaires |
|----------|---|---|
| 1 | Caractérisation hydrosédimentaire | Caractériser la nature des fonds : analyses granulométriques Mesurer les conditions hydrodynamiques locales et les MES ambiantes |
| 2 | Quantification de la stabilité du dépôt sous différentes conditions d'agitation | Effectuer des levés bathymétriques précis avant et après clapages expérimentaux Mesurer la courantologie locale |

Tableau 5 : Objectifs des mesures et réponses hydrosédimentaires à apporter.

2.4.1.2 CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE DES SITES ALTERNATIFS

Une caractérisation initiale des sites potentiels est nécessaire pour identifier la nature du substrat sur les fonds et déterminer la concentration en MES ambiante.

La cartographie des faciès sédimentaires dans l'estuaire externe de la Loire est ancienne (Lesourd et Klingebiel, 1986) et les données sur les sites potentiels doivent être actualisées. Des mesures granulométriques permettront d'apprécier le type de sédiment en place.

Les conditions hydrodynamiques seront suivies à travers un cycle de marée.

Les paramètres à mesurer seront la courantologie et la turbidité. Les mesures associées seront le niveau d'eau, la salinité et la température.

2.4.1.3 QUANTIFICATION DE LA STABILITE DU DEPOT

Les mesures devront permettre de quantifier la stabilité des dépôts sur les sites alternatifs, et d'analyser les conditions de courant et d'agitation sur ces sites.

¹ SOGREAH, 2009. Campagne de mesures pour l'étude du devenir des sédiments clapés non stabilisés sur le site d'immersion de la Lambarde (Estuaire de la Loire). Programme fonctionnel. Rapport 1711728 R3.

Il s'agira de caractériser la stabilité des dépôts sur les sites, dans les différentes conditions d'agitation, de façon à permettre la comparaison des sites entre eux et avec la Lambarde.

Pour cela, il sera nécessaire de procéder à des clapages expérimentaux afin de suivre la dynamique des sédiments (dépôt sur le fond ou dispersion immédiate, stabilité ou érosion du dépôt).

Les immersions successives devront être les plus locales possible, pour recouvrir la même zone à chaque clapage, et constituer un dépôt significatif. Les caractéristiques des chargements devront être connues : le volume de chargement de la drague ainsi que la densité de la mixture.

La stabilité du dépôt sera suivie par comparaison entre les volumes clapés et les volumes de sédiments qui se seront déposés, et par comparaison des volumes de matériaux en place entre 2 sondages. Pour cela des bathymétries successives seront réalisées et les différentiels des sondes permettront de quantifier les taux de stabilité et d'érosion.

Le principe est le suivant :

- Faire une bathymétrie du site avant clapage,
- Réalisation de clapages expérimentaux,
- Réaliser une bathymétrie après clapages (connaître le volume qui a sédimenté),
- Réaliser une bathymétrie après 2 marées,
- Réaliser une bathymétrie 3 jours après les clapages expérimentaux,
- Réaliser d'autres bathymétries si des évolutions sont observées.

Les mesures bathymétriques pourront être effectuées en multifaisceau ou en mono-faisceau ; l'intérêt du multifaisceau est d'obtenir une haute résolution horizontale ; dans le cas d'une utilisation du mono-faisceau (plus adéquate dans certaines conditions de turbidité et en présence de vases) des profils serrés tous les 10m devront alors être réalisés pour obtenir une bonne résolution du dépôt.

Quelle que soit la technique de sondage utilisée, la meilleure précision verticale est requise pour permettre d'observer les variations bathymétriques, même faibles. L'Entreprise devra justifier la précision des sondages.

Les conditions météo-océaniques (vents et vagues) devront être collectées ; les conditions de courants seront mesurées sur le fond.

2.4.2 CONDITIONS DE REALISATION

Pour mieux apprécier le devenir des matériaux clapés sur les 3 sites alternatifs, à court et à moyen terme, le GPM de Nantes Saint-Nazaire devra mener des expérimentations de clapage portant sur des quantités limitées de sédiments (les volumes clapés devront être suffisamment importants pour que l'on puisse mesurer le volume du dépôt par suivis bathymétriques).

Pour mener à bien cette expérimentation, une demande d'autorisation d'immersions expérimentales, portant sur ces sites alternatifs devra être déposée, après discussion avec les services de l'Etat et les pêcheurs, les sites alternatifs 2 et 3 se situant sur des zones de pêche. Compte tenu des délais imposés par celle-ci, il ne sera pas possible d'intégrer ces investigations à la prochaine campagne prévue à l'été 2009. Un phasage dans la réalisation des mesures est donc nécessaire.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

De ce fait, les mesures décrites ci-après se composent en :

- Un programme de 1^{ère} phase de mesures, permettant de mieux caractériser les sites potentiels (nature des fonds et hydrodynamique) sans que des clapages expérimentaux soient nécessaires.
- Un programme complet, intégrant les clapages expérimentaux et l'ensemble des mesures nécessaires à la caractérisation du dépôt de clapages et de son évolution dans le temps.

2.4.2.1 SITES ALTERNATIFS

Les sites alternatifs sont centrés sur les points suivants :

| | Lambert 2 | | WGS 84 | |
|--------|-----------|---------|-----------|----------|
| | X | Y | Longitude | Latitude |
| Site 1 | 239 760 | 249 900 | 2°25'0"W | 47°9'7"N |
| Site 2 | 235 340 | 247 420 | 2°28'2"W | 47°7'4"N |
| Site 3 | 231 210 | 246 280 | 2°31'3"W | 47°6'5"N |

2.4.2.2 PHASE 1 – CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE DES SITES ALTERNATIFS

2.4.2.2.1 CARACTERISATION DE LA NATURE DES FONDS

Des analyses granulométriques sur les sédiments en place sur les sites potentiels d'immersion devront être réalisées. Pour cela, des prélèvements devront être effectués sur chacun des sites ; différents faciès sédimentaires sont attendus (voir Figure 2.10) et c'est pourquoi la benne de prélèvement devra être adaptée au prélèvement de tous types de sédiments.

Au minimum, 3 échantillons moyens seront constitués à partir de 3 répliques, sur chacun des sites ; d'autres échantillons seront prélevés si une diversité de faciès est identifiée lors des prélèvements. A titre indicatif, des points de prélèvement des échantillons moyens (triangles noirs) sont proposés sur la base du travail de Lesourd et Klingebiel (Figure 2.10) :

2.4.2.2.2 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET MESURES DE MES

Une station de mesures fixe sera placée à proximité des sites alternatifs 2 et 3, à une cote d'environ -30m CM afin de connaître les conditions hydrodynamiques sur ces sites (voir position indicative sur la figure suivante). Cette station servira de référence pour les sites 2 et 3.

Le site 1 est plus proche de l'estuaire que les 2 autres sites et ses fonds sont situés à une cote supérieure. Les conditions hydrodynamiques seront probablement légèrement différentes de celles observées sur les sites 2 et 3. Une seconde station de mesures fixe sera donc immergée sur ce site alternatif, à une cote d'environ -24 m CM (Figure 2.11). Cette station de mesures apportera des résultats comparables avec les données collectées à la Lambarde, en orange sur la Figure 2.11 (station fixe, voir rapport 171 1728 R3).

Les paramètres qui devront être mesurés sont :

- les MES, à proximité du fond et en surface,
- la courantologie (direction et vitesse du courant), en surface et sur le fond.

Les données acquises pourront être comparées à celles obtenues à la Lambarde.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

La station de mesures fixe devra être autonome sur toute la période de la campagne.

2.4.2.2.3 *LE PHASAGE*

La campagne de mesures dans le cadre de « l'étude du devenir des sédiments clapés à la Lambarde » a été décomposée en 1 tranche ferme et 2 tranches conditionnelles.

La tranche ferme se fera sur un cycle de Vives-Eaux/Mortes-Eaux de 15 jours, en période de temps calme. A cette occasion, la 1^{ère} phase de mesures sur les sites alternatifs pourra être réalisée.

Les mesures de l'hydrodynamisme local sur les sites alternatifs seront réalisées en continu par des stations fixes ; ces stations seront calibrées et immergées au début de la campagne, et récupérées le dernier jour.

1 journée de campagne supplémentaire à la tranche ferme initiale de 15 jours sera nécessaire pour effectuer les prélèvements pour les analyses granulométriques sur les 3 sites potentiels. Ces échantillons seront réalisés en début de campagne afin de ne pas perturber le phasage de la campagne initiale.

2.4.2.2.4 *PIECES A FOURNIR*

La 1^{ère} phase de mesures pour la caractérisation des sites alternatifs sera donc intégrée à la tranche ferme de la campagne de mesures pour « l'étude du devenir des vases clapées sur le site de la Lambarde ». Les résultats des mesures réalisées feront l'objet des rendus distincts de ceux élaborés pour les mesures réalisées à la Lambarde.

Les rendus spécifiques à la 1^{ère} phase de mesures pour la caractérisation des sites alternatifs sont :

Pour la caractérisation de la nature des fonds :

- Points de prélèvements des échantillons moyens: position en coordonnées Lambert II, cote du fond,
- Observations visuelles,
- Analyses granulométriques des échantillons moyens.

Pour les mesures à la station fixe :

- Temps,
- Niveau d'eau,
- Cote du fond,
- Vitesse de courant moyenne et direction moyenne,
- Vitesse de courant au fond (la cote sera précisée) et la direction associée,
- MES moyenne,
- MES sur le fond (la cote sera indiquée).

2.4.2.3 **PHASE 2 : QUANTIFICATION DE LA STABILITE DU DEPOT**

Dans le but de caractériser le caractère stable ou dispersif des sites alternatifs de clapage, des clapages expérimentaux devront être réalisés au-dessus des sites alternatifs de façon à constituer des dépôts identifiables par levé bathymétrique. Des mesures bathymétriques permettront de suivre la stabilité des dépôts dans le temps. Des stations de mesures fixes à

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

proximité des sites expérimentaux permettront de suivre en continu la courantologie locale pendant la période d'investigations. Ces mesures ne pourront être envisagées qu'après obtention d'une autorisation des clapages expérimentaux. Elles ne pourront donc pas être effectuées à courte échéance mais constituent un objectif d'amélioration des connaissances.

2.4.2.3.1 *REALISATION DE CLAPAGES EXPERIMENTAUX*

Afin d'évaluer le taux de dépôt des sédiments sur les sites alternatifs potentiels et la stabilité des dépôts, des clapages expérimentaux devront être réalisés.

Des autorisations spéciales devront être demandées par le GPM pour effectuer ces expérimentations : le site 1 recouvre en partie la zone d'attente des navires, les sites 1 et 2 se situent sur la pSIC Estuaire de la Loire et le site 3 se trouve sur une réserve aux arts dormants. Des quantités limitées de sédiments seront immergées sur les sites, mais les volumes devront néanmoins être suffisants pour mesurer le volume des dépôts par suivis bathymétriques.

La densité et le volume du chargement de la drague lors des clapages expérimentaux devront être connus.

Les différents clapages (matériaux dragués sur une même zone) devront être réalisés successivement sur un même site pour constituer un dépôt expérimental. Il faudra, dans la mesure du possible, que la position de la drague lors des différents clapages successifs soit identique.

Le volume de matériaux immergés doit être suffisamment important pour mesurer le volume du dépôt, en tenant compte d'un faible taux de sédimentation (20%) et d'un étalement du dépôt. 8 à 10 clapages devraient permettre de constituer un dépôt dont le volume soit quantifiable au moyen de levés bathymétriques. Cette hypothèse devra être vérifiée en effectuant un différentiel du levé bathymétrique initial et du levé après clapages.

2.4.2.3.2 *REALISATION DES MESURES BATHYMETRIQUES*

L'Entreprise devra réaliser des sondages bathymétriques précis sur les zones de dépôt. Une bathymétrie initiale devra précéder les clapages expérimentaux. Une bathymétrie de reconnaissance du dépôt devra être réalisée une heure après le dernier clapage. A l'issue de cette bathymétrie, un différentiel de levés sera réalisé pour vérifier si le volume du dépôt constitué par les sédiments clapés est quantifiable par les levés bathymétriques. Le taux de dépôt sur le site pourra alors être calculé.

Suivi du dépôt :

- 1- Bathymétrie initiale,
- 2- Clapages expérimentaux,
- 3- Bathymétrie 1h après la fin des clapages : quantification du volume du dépôt et calcul du taux de dépôt sur le site à partir des volumes clapés,
- 4- Bathymétrie après 2 marées : quantification du volume du dépôt et calcul du taux de stabilité du dépôt,
- 5- Bathymétrie après 3 jours : quantification du volume du dépôt et calcul du taux de stabilité du dépôt,
- 6- Suivant les évolutions observées, des bathymétries supplémentaires pourront être effectuées pour suivre l'évolution du dépôt (stabilité ou érosion).

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

2.4.2.3.3 *MESURES DES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES*

Les conditions hydrodynamiques à proximité des sites d'immersion devront être mesurées afin de relier les conditions d'agitation à l'évolution du dépôt observée par suivis bathymétriques. Pour cela, des stations fixes, autonomes, seront immergées sur les sites d'immersion. Une station, située entre les sites 2 et 3 servira de référence pour ces 2 sites, et une autre station sera immergée à proximité du site 1.

Différentes données devront être acquises à la station de mesures fixe :

- Données de houle
- Données de courant : sur le fond et en surface
- Données de turbidité : MES sur le fond et en surface.

Ces différents paramètres devront être acquis en continu pendant le suivi de l'évolution des dépôts sur les 3 sites.

GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE

FIGURES

**GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE**

Figure 1.1

Bathymétrie de l'estuaire

Bathymétrie MNT en m CM

- 65.00 m CM
- 55.00 m CM
- 45.00 m CM
- 35.00 m CM
- 30.00 m CM
- 25.00 m CM
- 20.00 m CM
- 16.00 m CM
- 14.00 m CM
- 12.00 m CM
- 10.00 m CM
- 8.00 m CM
- 6.00 m CM
- 4.00 m CM
- 2.00 m CM
- 1.00 m CM
- 0.00 m CM
- 1.00 m CM
- 2.00 m CM
- 2.86 m CM
- 3.86 m CM
- 4.86 m CM
- 5.86 m CM
- 6.86 m CM
- 7.86 m CM
- 8.86 m CM
- 10.00 m CM

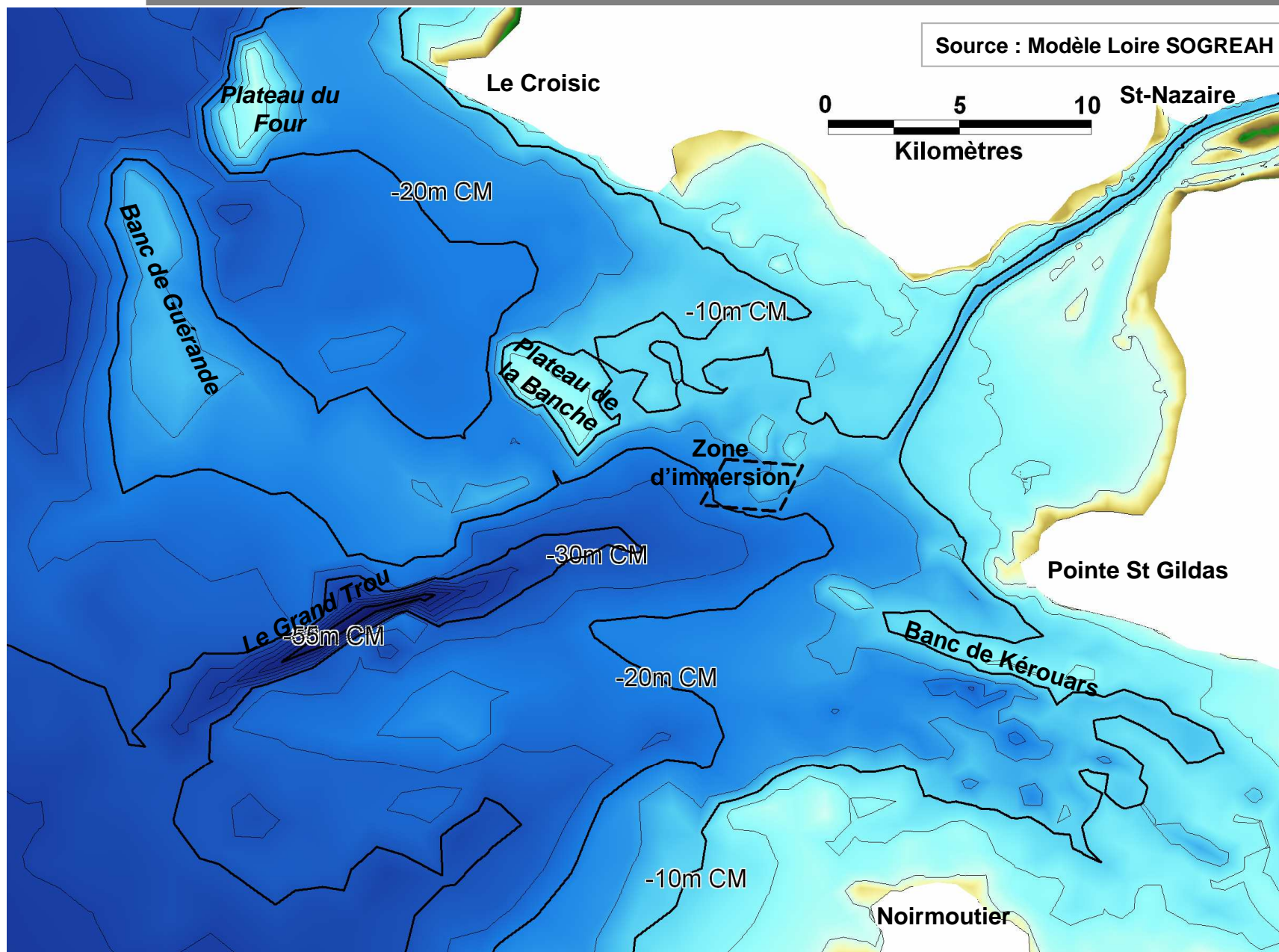


Figure 1.2

Vitesses max moyennées sur la verticale Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue)

Fond de plan : carte SHOM 7395

Période4 : Petite crue

- Revif : coef 30 à 112
- Fort débit (1200-2600m³/s)
- Vents moyens à forts
- Houle faible à moyenne (<1.5m)

Vitesses maximum en m/s

| | |
|---|-------------|
| ■ | 0.0 à 0.1 |
| ■ | 0.1 à 0.2 |
| ■ | 0.2 à 0.3 |
| ■ | 0.3 à 0.4 |
| ■ | 0.4 à 0.5 |
| ■ | 0.5 à 0.6 |
| ■ | 0.6 à 0.7 |
| ■ | 0.7 à 0.8 |
| ■ | 0.8 à 0.9 |
| ■ | 0.9 à 1.0 |
| ■ | 1.0 à 1.1 |
| ■ | 1.1 à 1.2 |
| ■ | 1.2 to 1.3 |
| ■ | 1.30 à 1.40 |
| ■ | 1.40 à 1.50 |
| ■ | 1.50 à 1.60 |
| ■ | 1.60 à 1.70 |
| ■ | 1.70 à 1.80 |
| ■ | 1.80 à 1.90 |
| ■ | 1.90 à 2.00 |
| ■ | 2.0 à 2.10 |
| ■ | 2.10 à 2.20 |

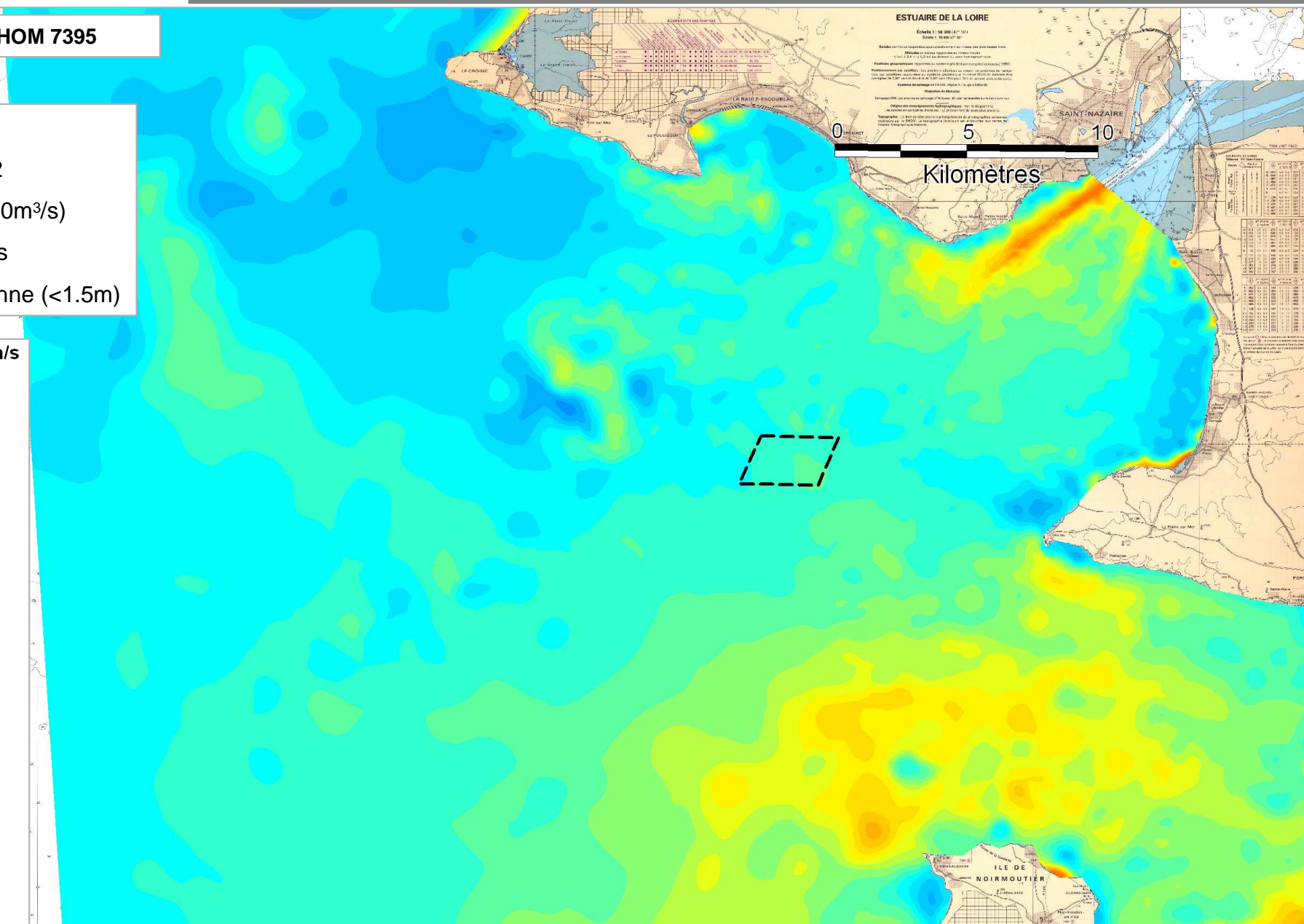


Figure 1.3

Vitesses max sur le fond Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue)

Fond de plan : carte SHOM 7395

Période4 : Petite crue

- Revif : coef 30 à 112
- Fort débit (1200-2600m³/s)
- Vents moyens à forts
- Houle faible à moyenne (<1.5m)

Vitesses sur le fond (m/s)

| | |
|---|-------------|
| ■ | 0.00 à 0.10 |
| ■ | 0.10 à 0.20 |
| ■ | 0.20 à 0.30 |
| ■ | 0.30 à 0.40 |
| ■ | 0.40 à 0.50 |
| ■ | 0.50 à 0.60 |
| ■ | 0.60 à 0.70 |
| ■ | 0.70 à 0.80 |
| ■ | 0.80 à 0.90 |
| ■ | 0.90 à 1.00 |
| ■ | 1.00 à 1.10 |
| ■ | 1.10 à 1.20 |
| ■ | 1.20 à 1.30 |
| ■ | 1.30 à 1.40 |
| ■ | 1.40 à 1.50 |
| ■ | 1.50 à 1.60 |
| ■ | 1.60 à 1.70 |
| ■ | 1.70 à 1.80 |
| ■ | 1.80 à 1.90 |
| ■ | 1.90 à 2.00 |

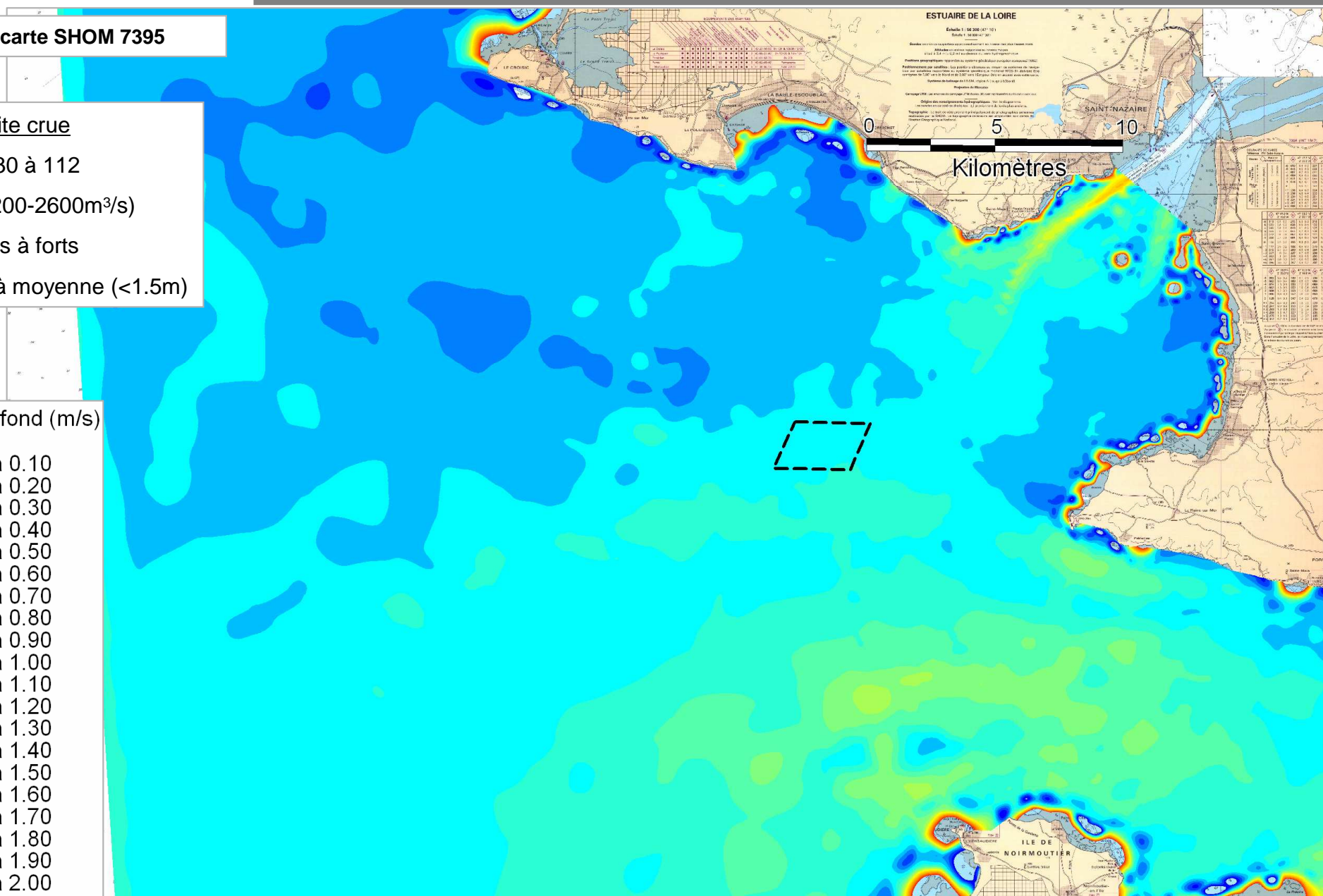


Figure 1.4

Réfraction de la houle Houle annuelle – cas1

Fond de plan : carte SHOM 7395

Houle annuelle

- Hs = 8.20m
- Tp = 17s
- Dir = 230°N
- PMVE = +5.50mCM

Hauteur de houle

| | |
|---|-------------|
| ■ | 0.0 à 0.5m |
| ■ | 0.5 à 1.0m |
| ■ | 1.0 à 1.5m |
| ■ | 1.5 à 2.0m |
| ■ | 2.0 à 2.5m |
| ■ | 2.5 à 3.0m |
| ■ | 3.0 à 3.5m |
| ■ | 3.5 à 4.0m |
| ■ | 4.0 à 4.5m |
| ■ | 4.5 à 5.0m |
| ■ | 5.0 à 5.5m |
| ■ | 5.5 à 6.0m |
| ■ | 6.0 à 6.5m |
| ■ | 6.5 à 7.0m |
| ■ | 7.0 à 7.5m |
| ■ | 7.5 à 8.0m |
| ■ | 8.0 à 8.5m |
| ■ | 8.5 à 9.0m |
| ■ | 9.0 à 9.5m |
| ■ | 9.5 à 10.0m |

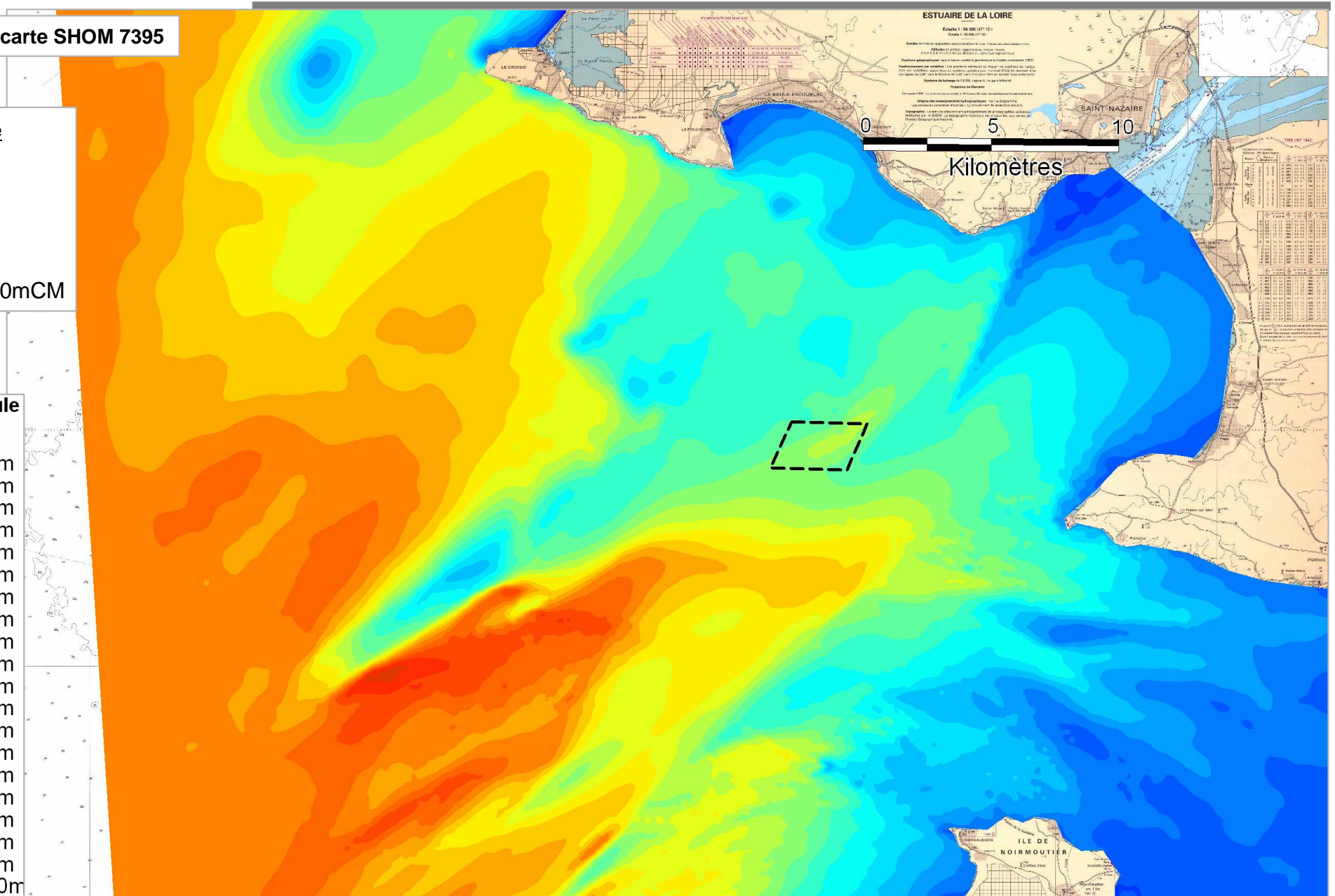


Figure 1.5

Réfraction de la houle Houle annuelle – cas2

Fond de plan : carte SHOM 7395

Houle annuelle

- Hs = 8.20m
- Tp = 17s
- Dir = 250°N
- PMVE = +5.50mCM

Hauteur de houle

- | | |
|---|-------------|
| ■ | 0.0 à 0.5m |
| ■ | 0.5 à 1.0m |
| ■ | 1.0 à 1.5m |
| ■ | 1.5 à 2.0m |
| ■ | 2.0 à 2.5m |
| ■ | 2.5 à 3.0m |
| ■ | 3.0 à 3.5m |
| ■ | 3.5 à 4.0m |
| ■ | 4.0 à 4.5m |
| ■ | 4.5 à 5.0m |
| ■ | 5.0 à 5.5m |
| ■ | 5.5 à 6.0m |
| ■ | 6.0 à 6.5m |
| ■ | 6.5 à 7.0m |
| ■ | 7.0 à 7.5m |
| ■ | 7.5 à 8.0m |
| ■ | 8.0 à 8.5m |
| ■ | 8.5 à 9.0m |
| ■ | 9.0 à 9.5m |
| ■ | 9.5 à 10.0m |

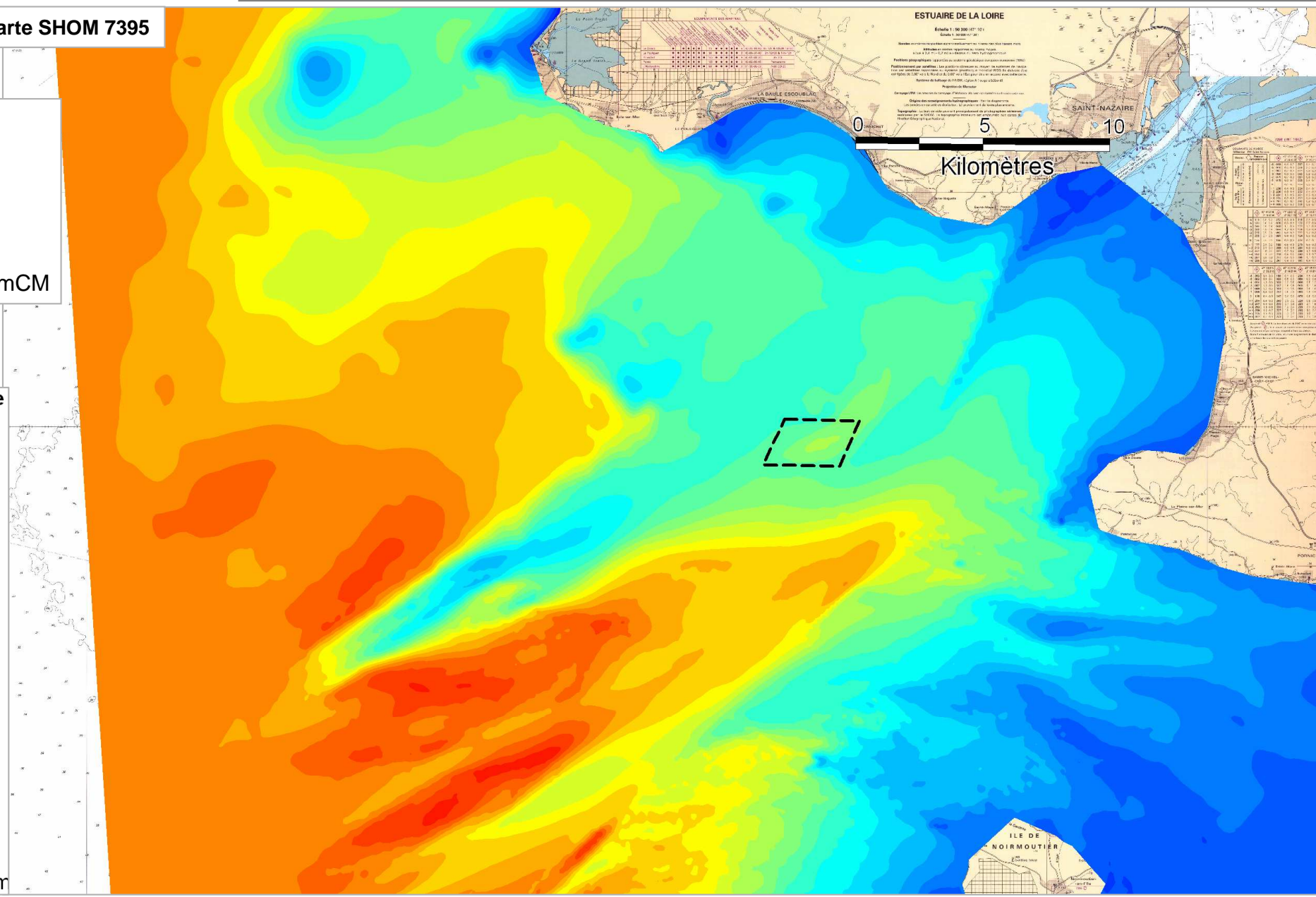


Figure 1.6

Réfraction de la houle Houle annuelle – cas3

Fond de plan : carte SHOM 7395

Houle annuelle

- Hs = 8.20m
- Tp = 17s
- Dir = 270°N
- PMVE = +5.50mCM

Hauteur de houle

| | |
|---|-------------|
| ■ | 0.0 à 0.5m |
| ■ | 0.5 à 1.0m |
| ■ | 1.0 à 1.5m |
| ■ | 1.5 à 2.0m |
| ■ | 2.0 à 2.5m |
| ■ | 2.5 à 3.0m |
| ■ | 3.0 à 3.5m |
| ■ | 3.5 à 4.0m |
| ■ | 4.0 à 4.5m |
| ■ | 4.5 à 5.0m |
| ■ | 5.0 à 5.5m |
| ■ | 5.5 à 6.0m |
| ■ | 6.0 à 6.5m |
| ■ | 6.5 à 7.0m |
| ■ | 7.0 à 7.5m |
| ■ | 7.5 à 8.0m |
| ■ | 8.0 à 8.5m |
| ■ | 8.5 à 9.0m |
| ■ | 9.0 à 9.5m |
| ■ | 9.5 à 10.0m |

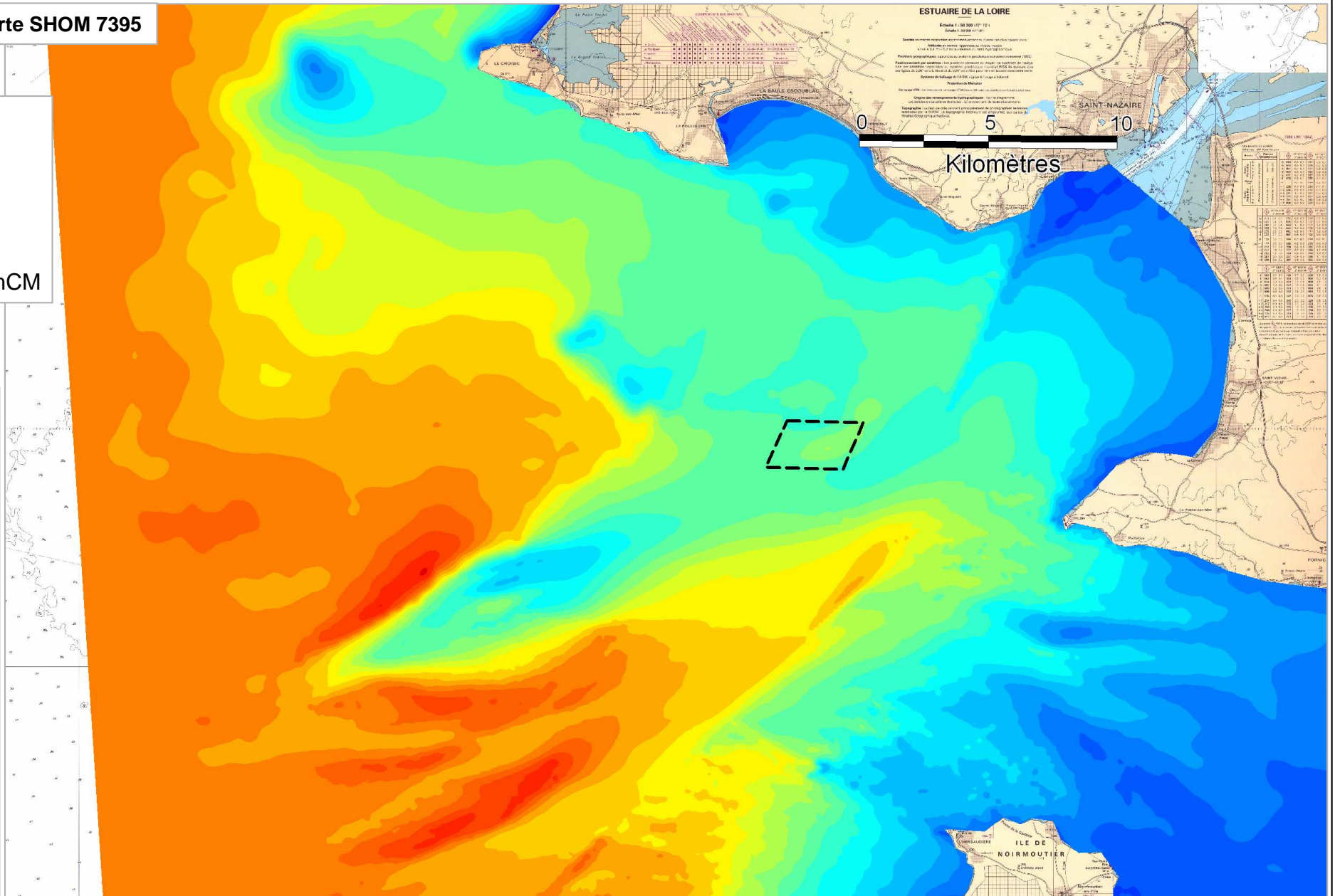


Figure 1.7

Réfraction de la houle Houle annuelle – cas4

Fond de plan : carte SHOM 7395

Houle annuelle

- Hs = 4.00m
- Tp = 17s
- Dir = 290°N
- PMVE = +5.50mCM

Hauteur de houle

| | |
|---|-------------|
| ■ | 0.0 à 0.5m |
| ■ | 0.5 à 1.0m |
| ■ | 1.0 à 1.5m |
| ■ | 1.5 à 2.0m |
| ■ | 2.0 à 2.5m |
| ■ | 2.5 à 3.0m |
| ■ | 3.0 à 3.5m |
| ■ | 3.5 à 4.0m |
| ■ | 4.0 à 4.5m |
| ■ | 4.5 à 5.0m |
| ■ | 5.0 à 5.5m |
| ■ | 5.5 à 6.0m |
| ■ | 6.0 à 6.5m |
| ■ | 6.5 à 7.0m |
| ■ | 7.0 à 7.5m |
| ■ | 7.5 à 8.0m |
| ■ | 8.0 à 8.5m |
| ■ | 8.5 à 9.0m |
| ■ | 9.0 à 9.5m |
| ■ | 9.5 à 10.0m |

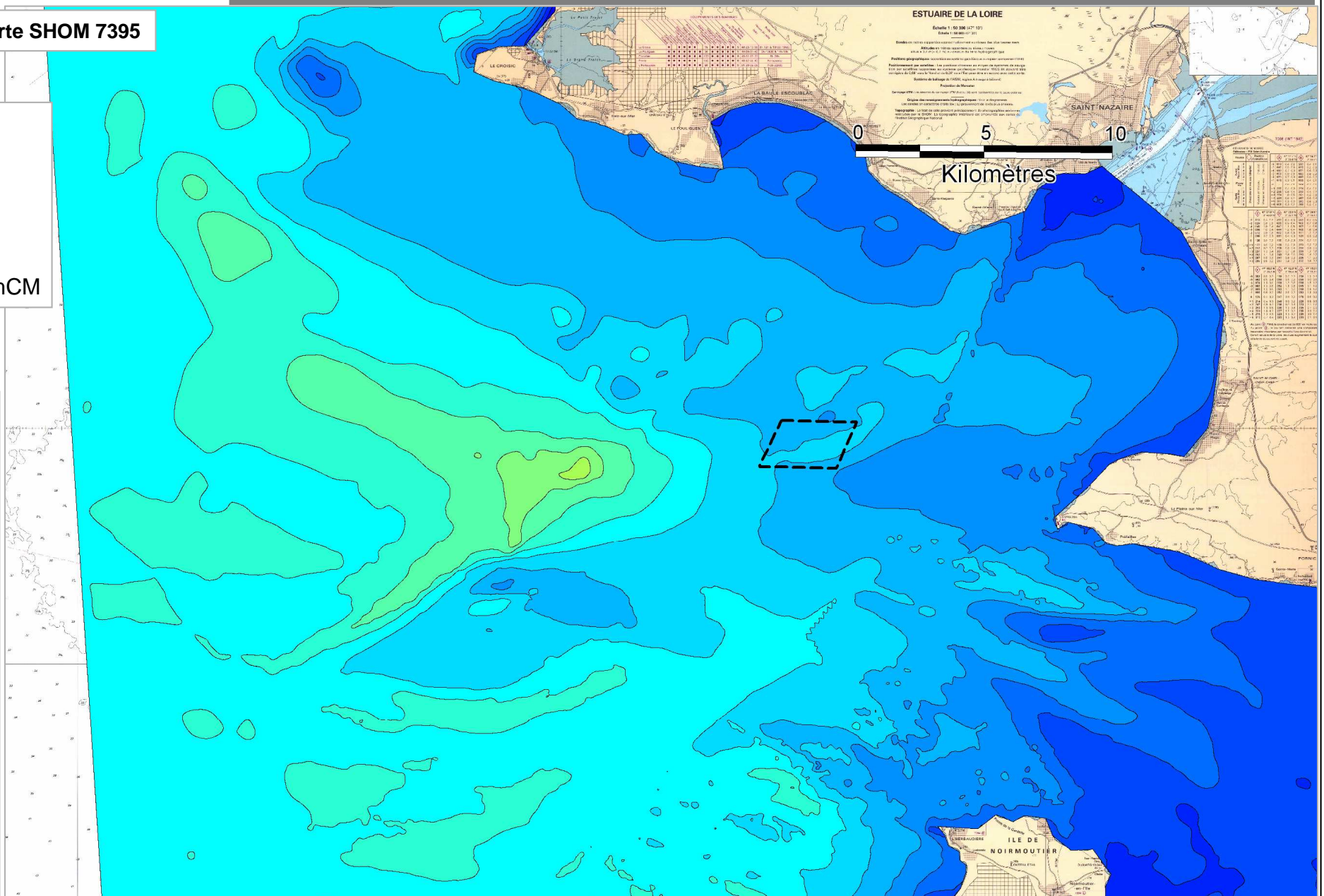


Figure 1.8

Zones géographiques où la remise en suspension est plus faible qu'à la Lambarde

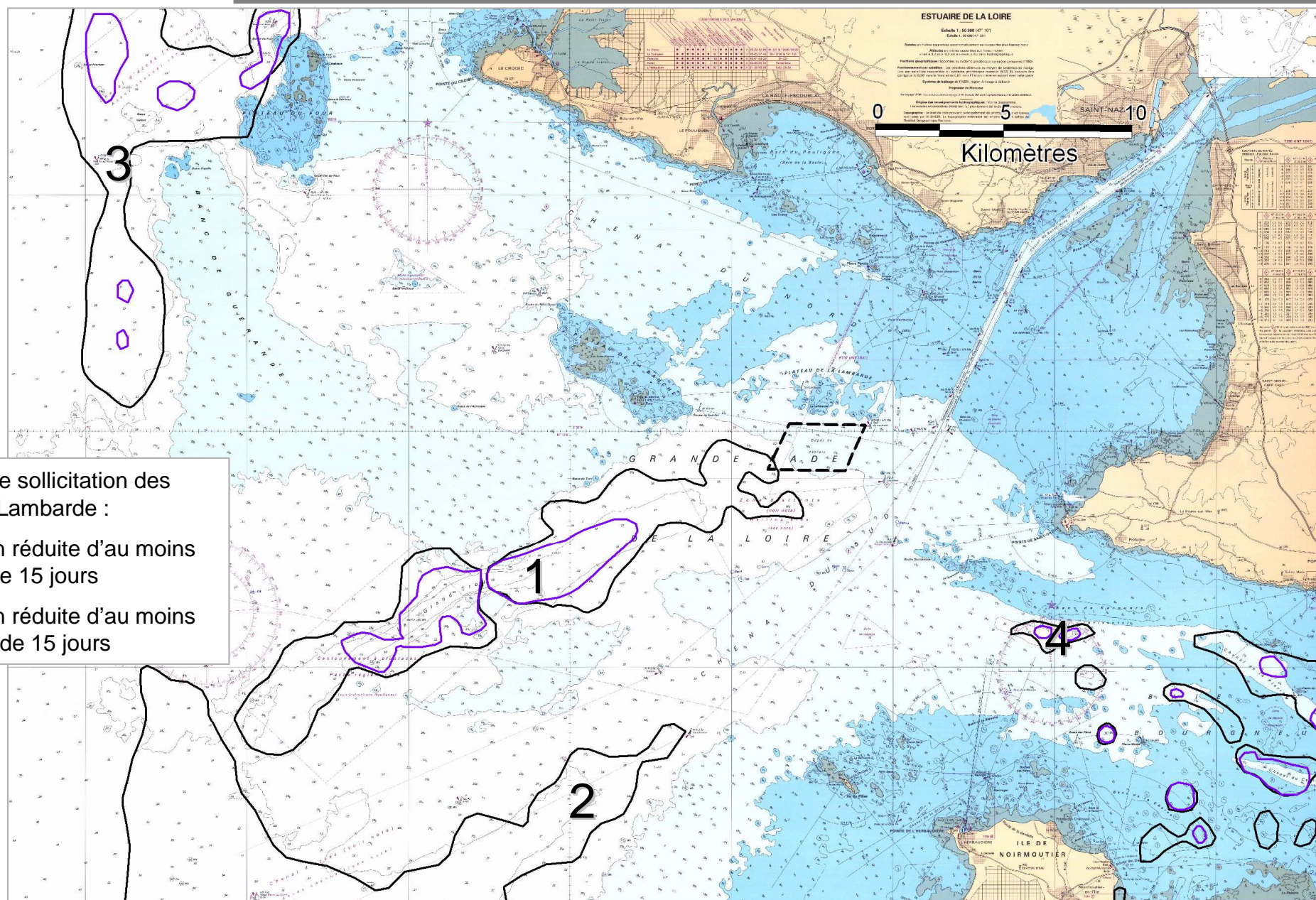
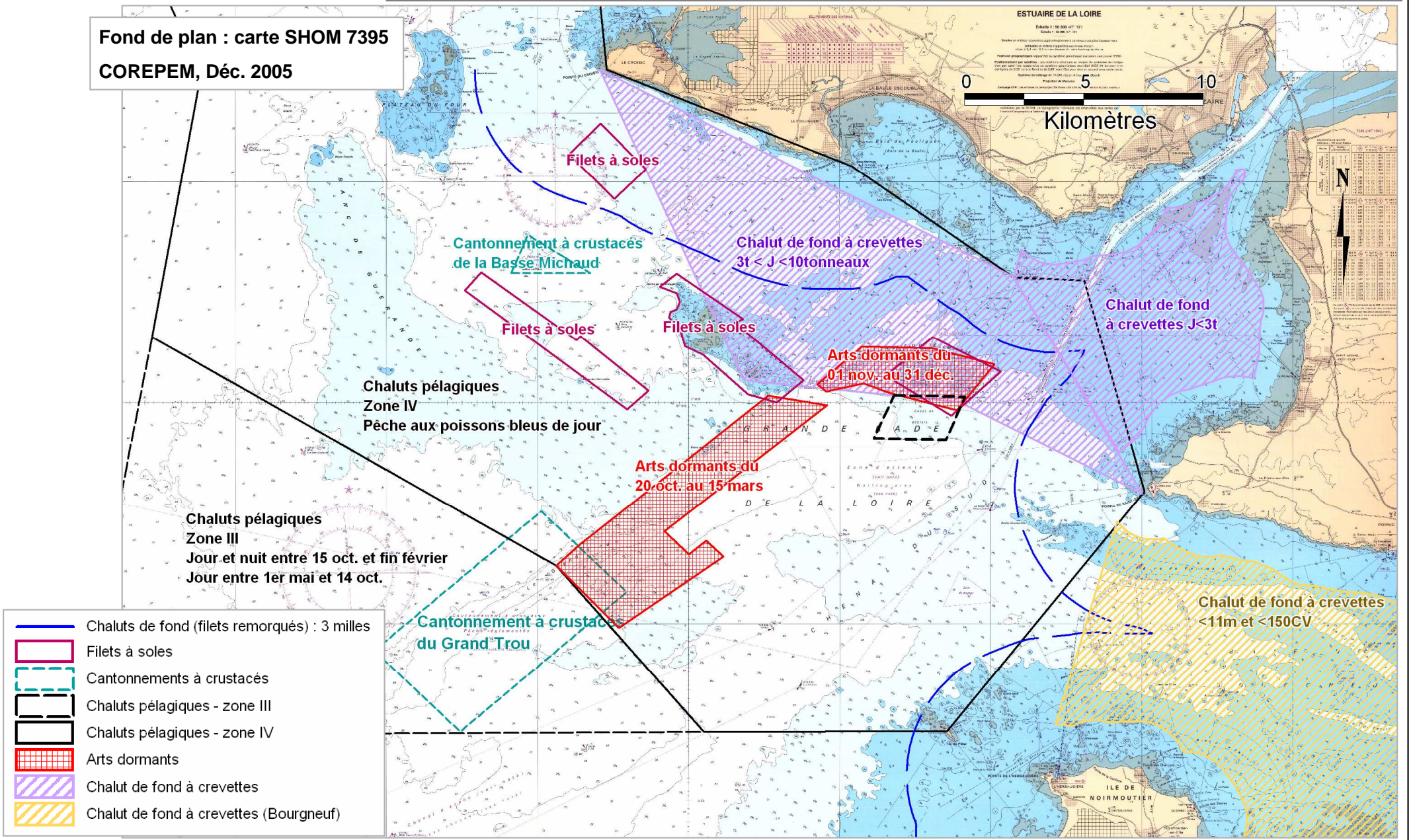


Figure 1.9

Zones de pêche

Fond de plan : carte SHOM 7395
COREPEM, Déc. 2005



- Chaluts de fond (filets remorqués) : 3 milles
- Filets à soles
- Cantonnements à crustacés
- Chaluts pélagiques - zone III
- Chaluts pélagiques - zone IV
- Arts dormants
- Chalut de fond à crevettes
- Chalut de fond à crevettes (Bourgneuf)

Figure 1.10

Zones réglementées

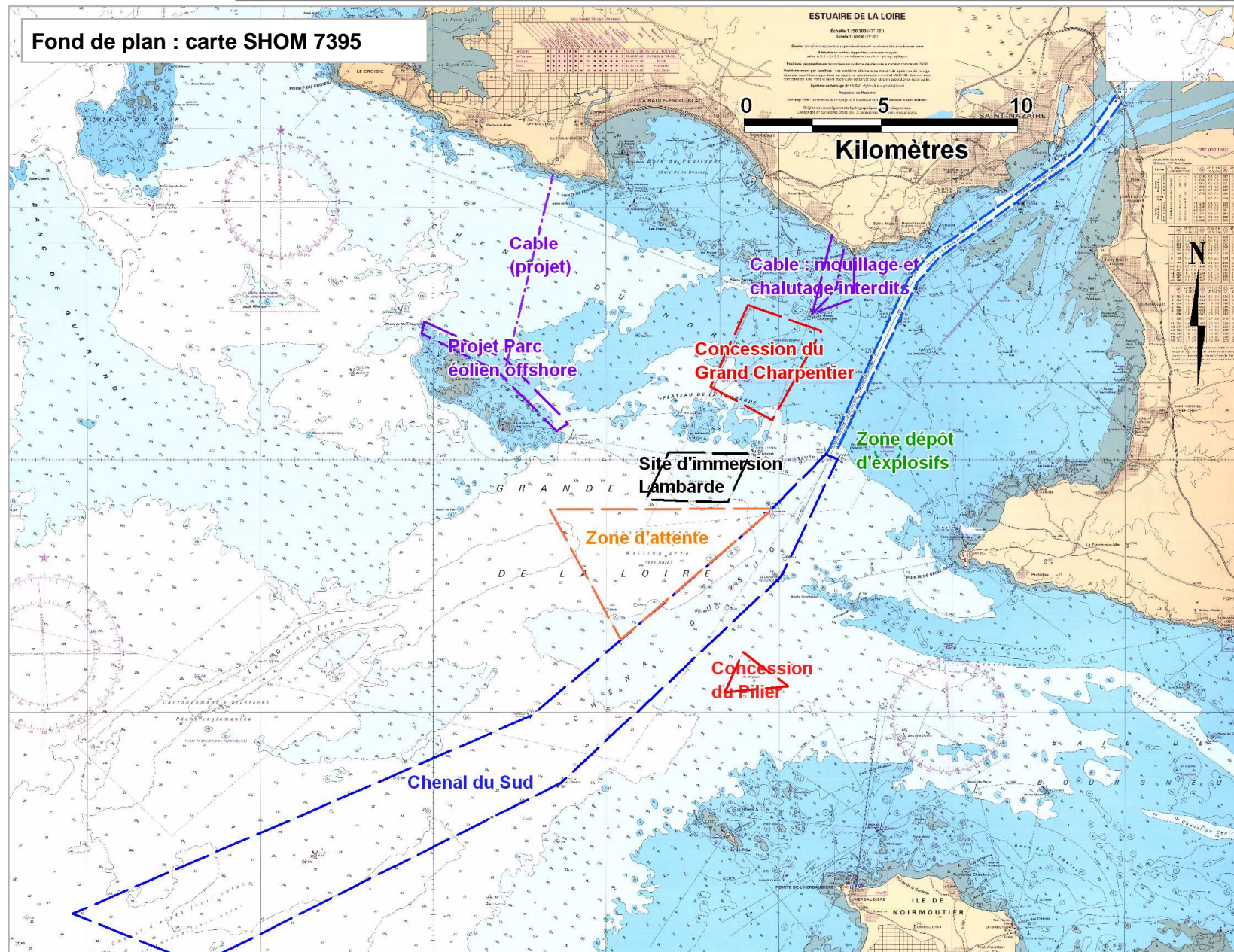


Figure 1.11

Distances du port de Saint-Nazaire en milles nautiques

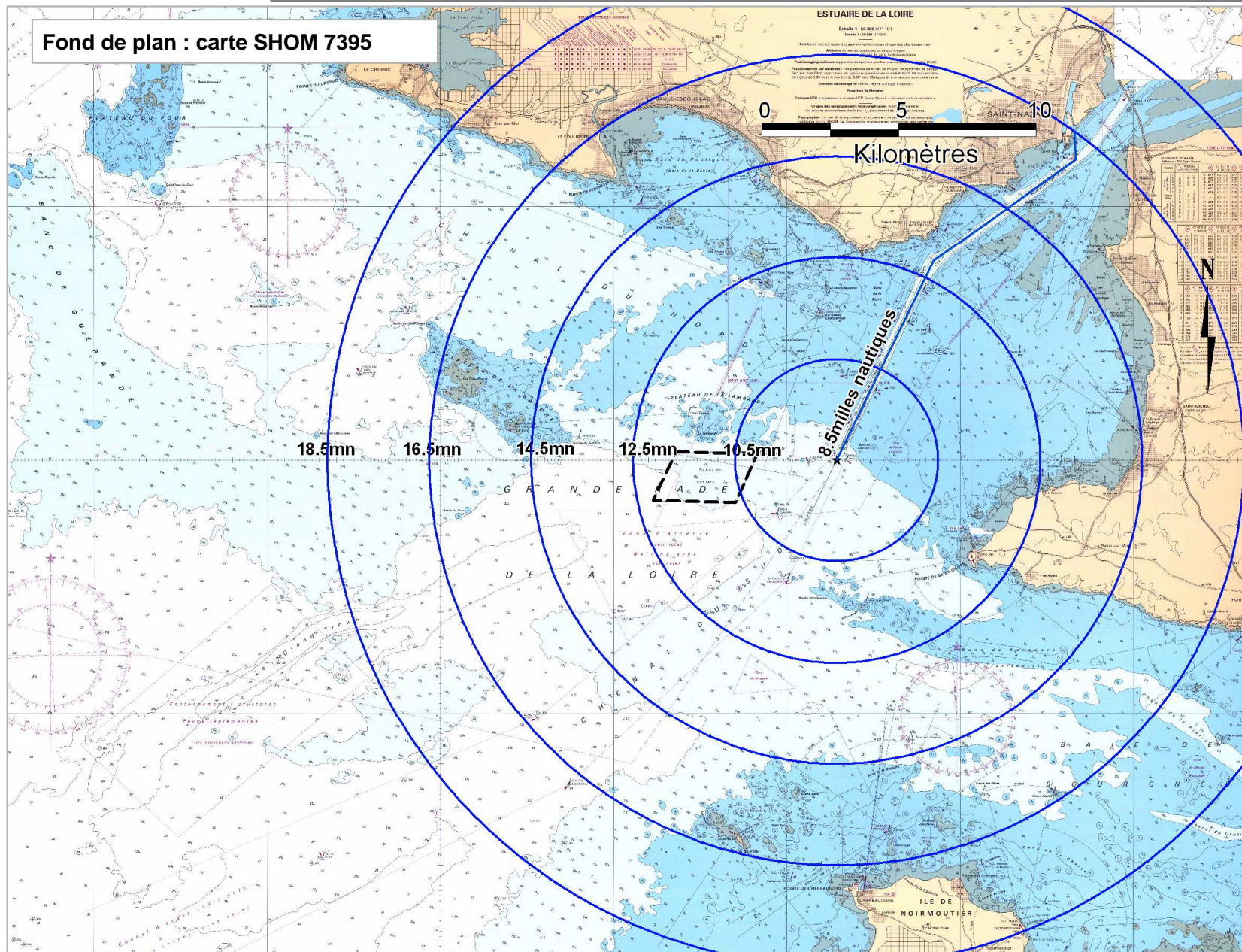




Figure 1.12

Peuplements benthiques

Fond de plan : carte SHOM 7395

D'après Glémarec, 1969. Les peuplements benthiques du plateau continental Nord-Gascogne.

| | | | |
|---|---------------------------------------|----|---|
| 4 | Gravelles | A | <i>Amphiura filiformis</i> (echinoderme) |
| 3 | Sables grossiers | M | <i>Maldane glebifex</i> (annélide polychète) |
| 2 | Sables moyens | H | <i>Haloops tubicola</i> (crustacé amphipode) |
| 1 | Sables fins à <i>Venus gallina</i> | Am | <i>Ampselisca spinifex</i> (crustacé amphipode) |
| | | T | <i>Turritella communis</i> (mollusque gastéropode) |
| | | B | <i>Barnea candida</i> (mollusque bivalve) |
| | | Aa | <i>Abra alba</i> (mollusque bivalve) |
| | | Ax | <i>Amphioxus</i> |
| | | S | <i>Spisula ovalis</i> (mollusque bivalve) |
| | | Tp | <i>Tellina pygmaea</i> |
| | | V | <i>Virgularia</i> |
| | | | |

| | |
|---|----------------|
|  | Fonds rocheux |
|  | Zones vaseuses |
|  | Zone azoïque |

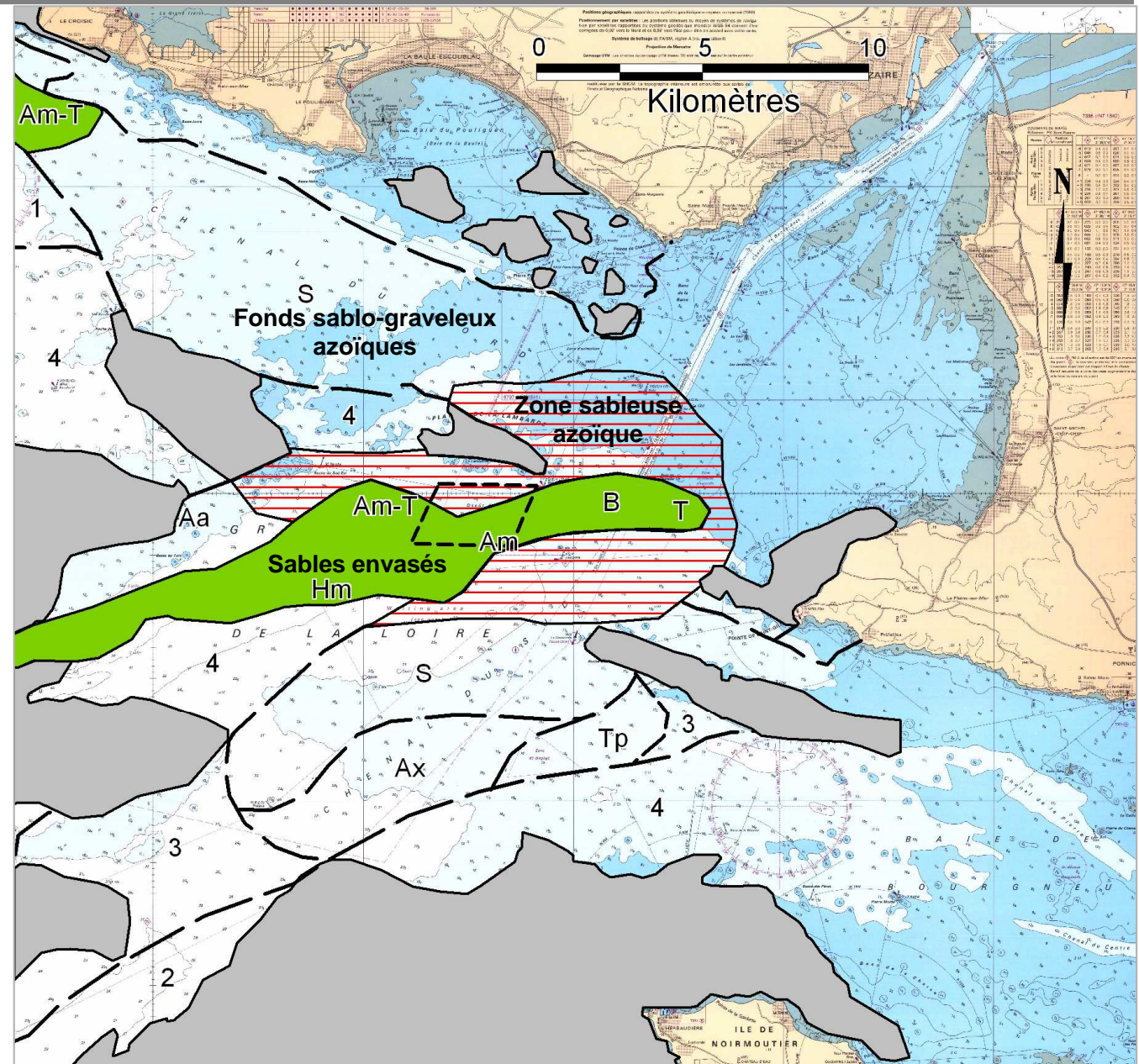


Figure 1.13

Zones à crevettes et coquilles et nurseries

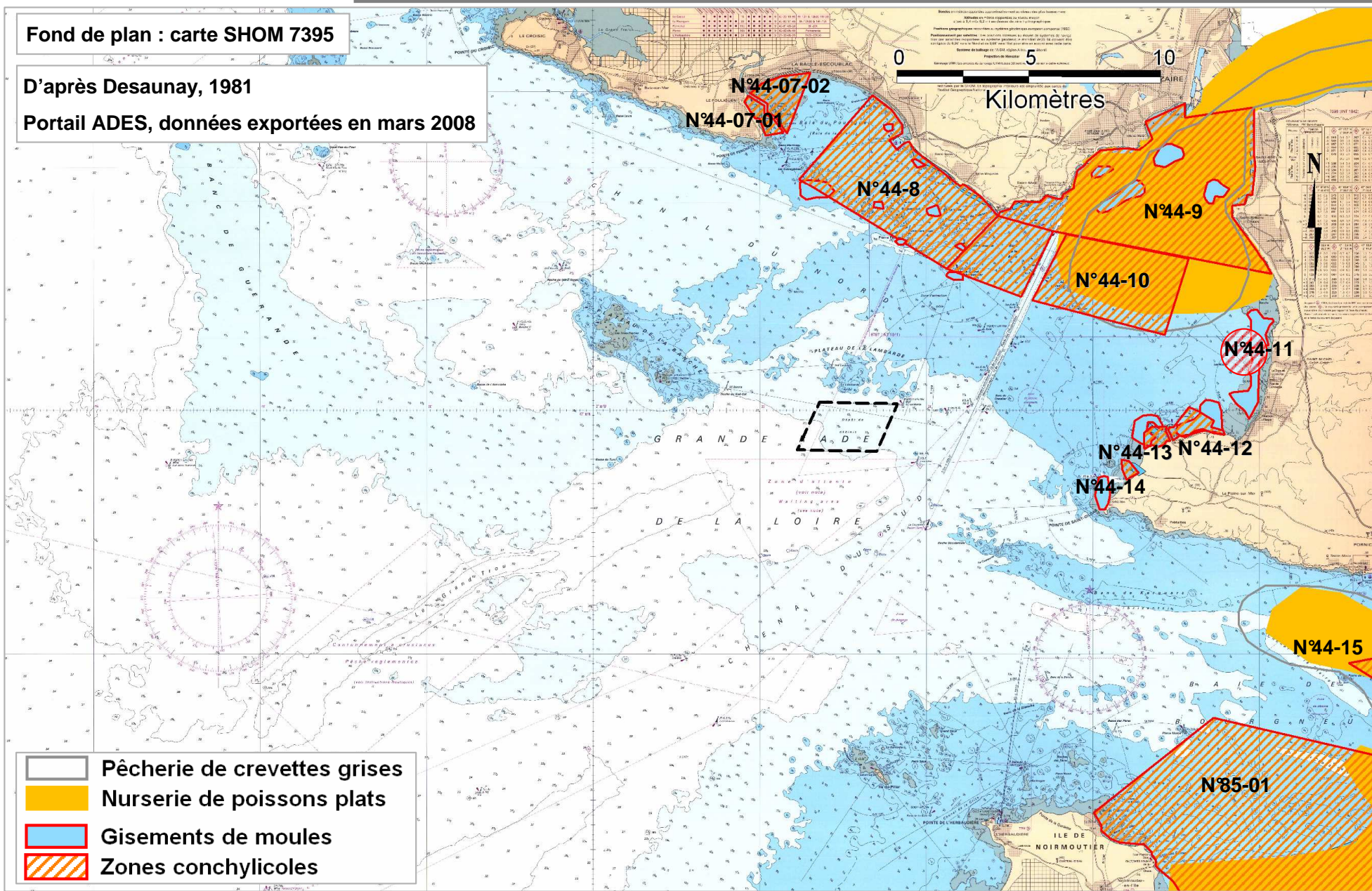
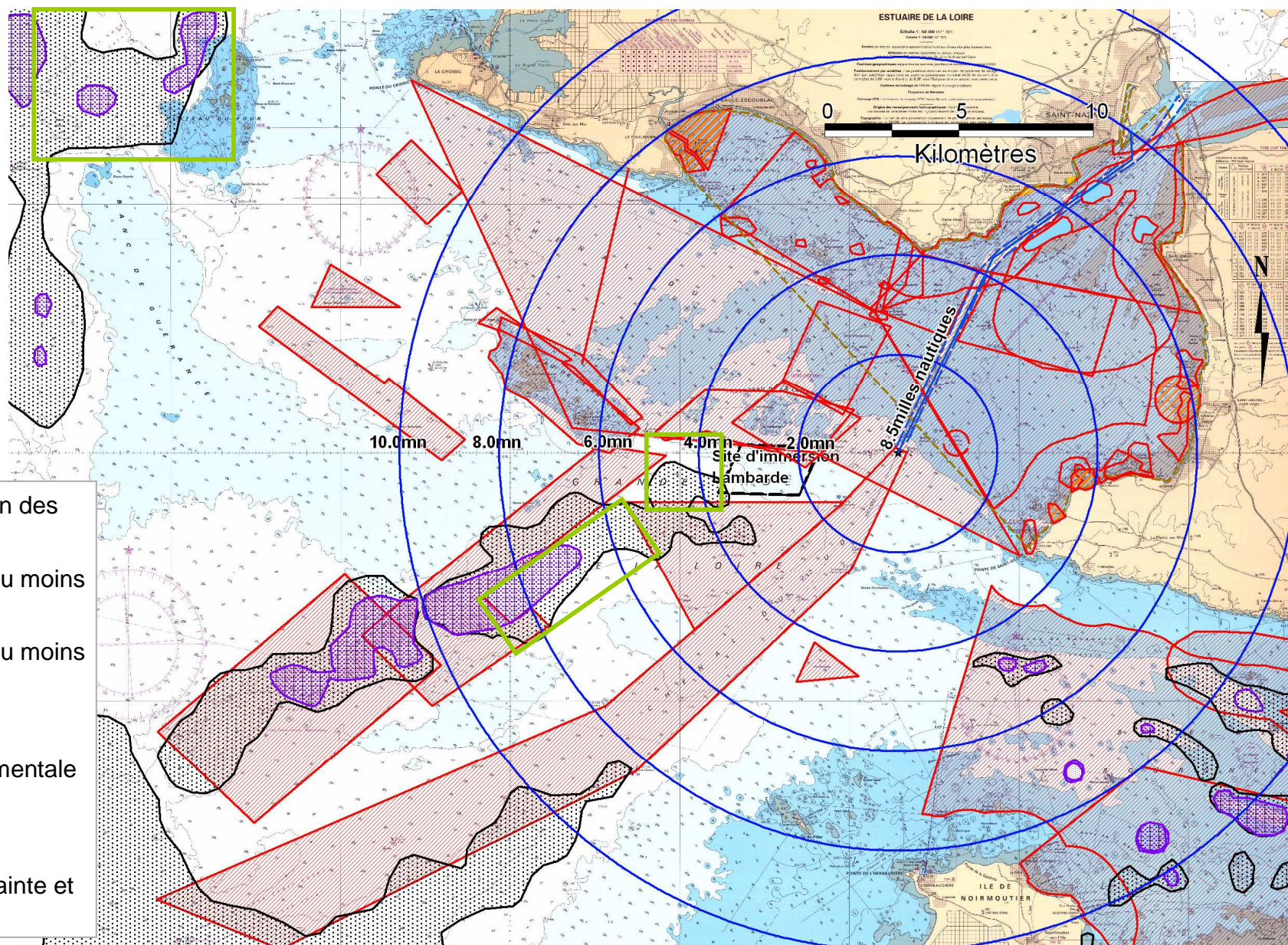


Figure 1.15

Synthèse des contraintes et zones de moindre contrainte



Zones de moindre sollicitation des fonds que sur la Lambarde :



Sollicitation réduite d'au moins 1h sur un cycle de 15 jours



Sollicitation réduite d'au moins 24h sur un cycle de 15 jours



Contrainte (environnementale réglementaire)



Zone de moindre contrainte et plus stable que la Lambarde

Figure 1.16

Sites potentiels d'immersion

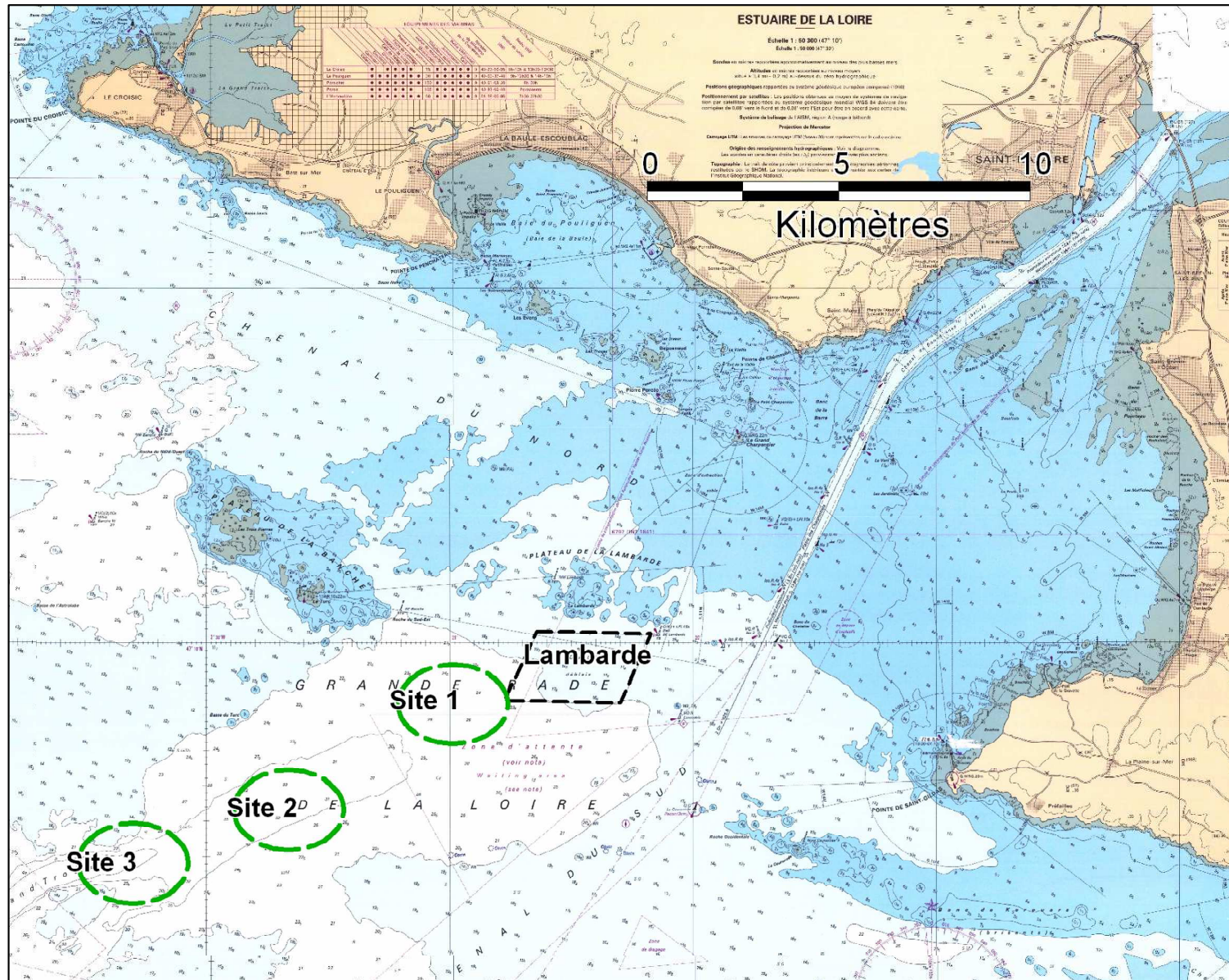


Figure 1.17

Localisation des zones de pêche et des sites alternatifs

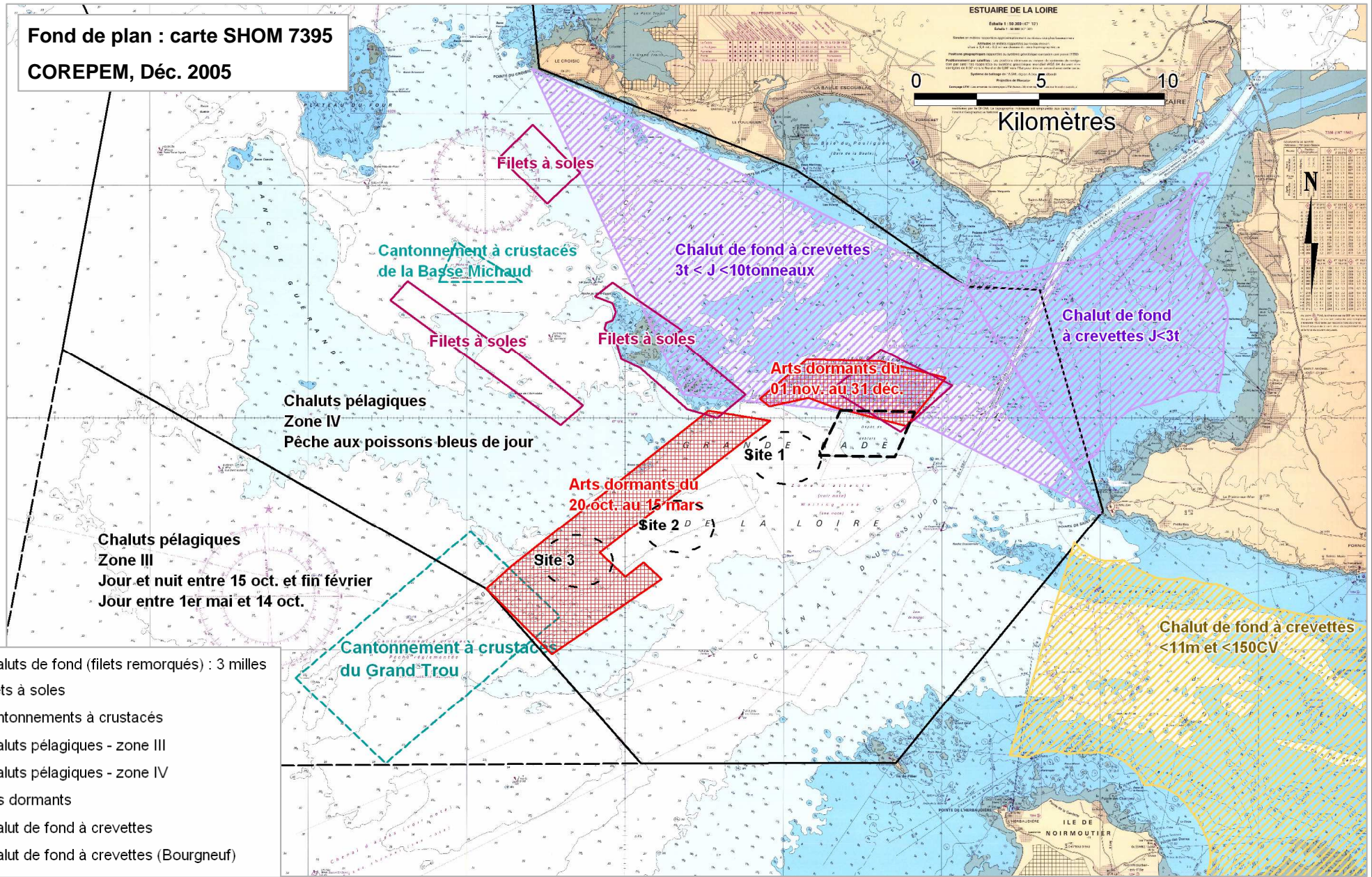
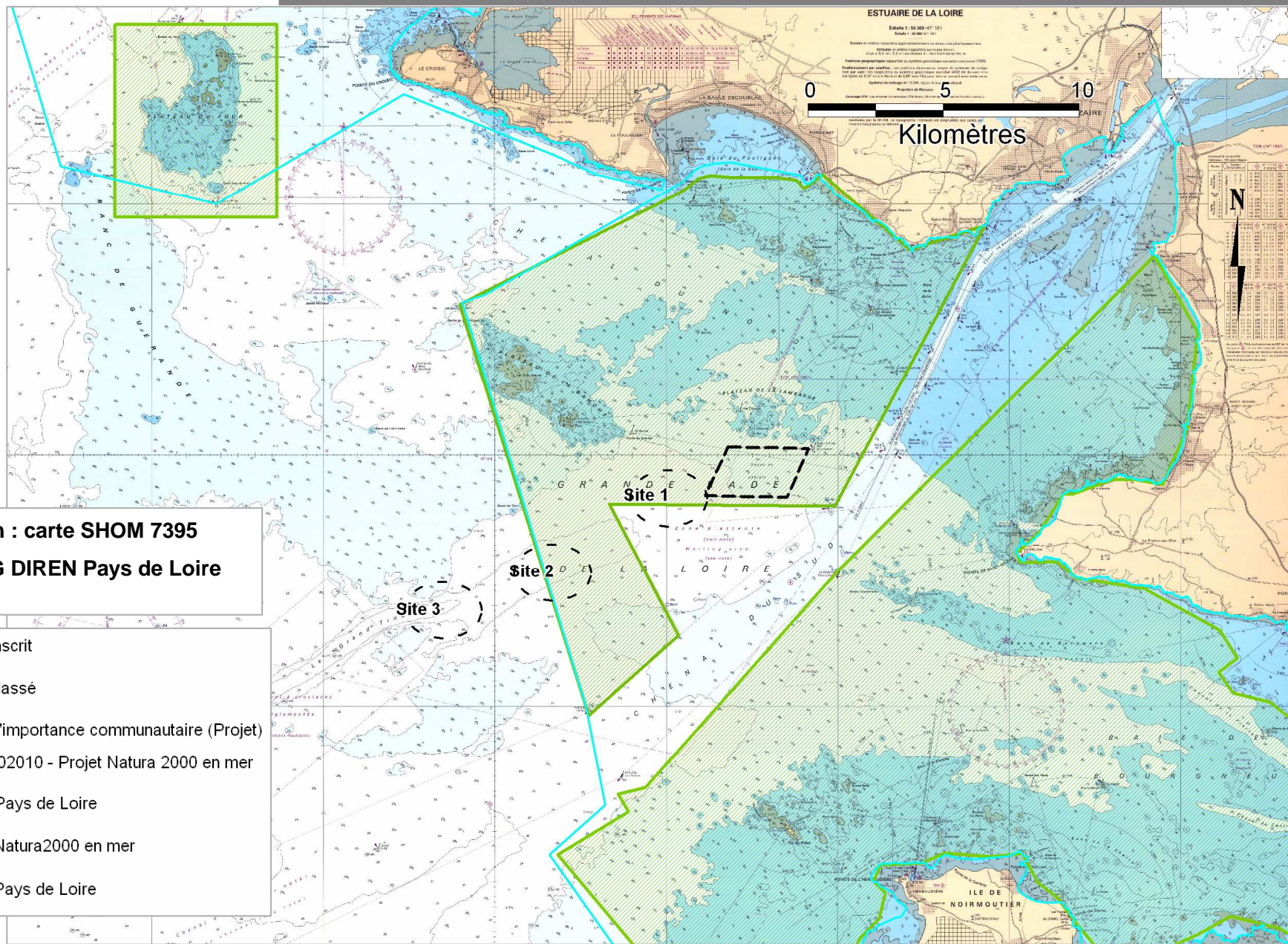


Figure 1.18

Périmètres Natura 2000 et sites alternatifs



Fond de plan : carte SHOM 7395
 Données SIG DIREN Pays de Loire (2008)








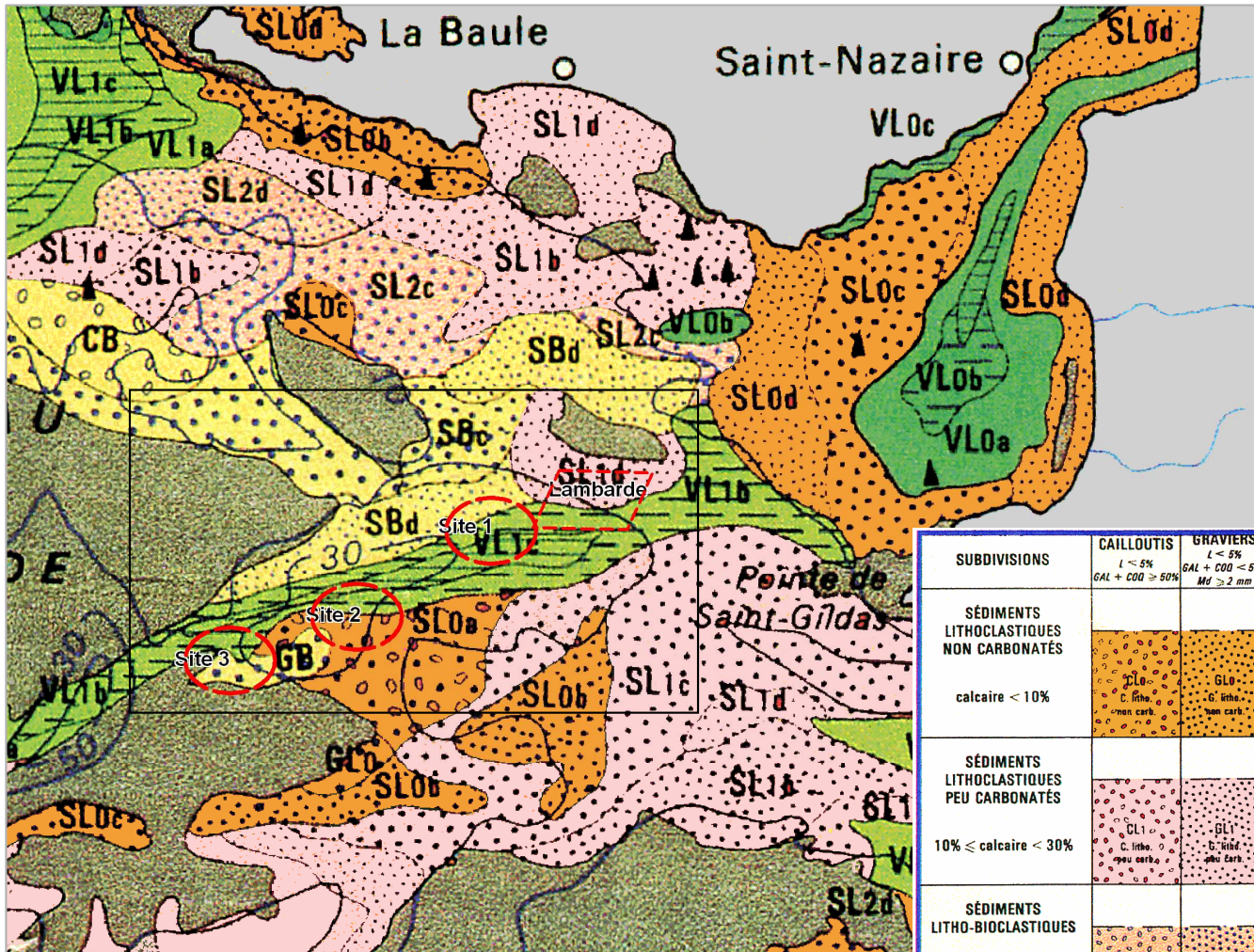
-  Site inscrit
-  Site classé
-  Site d'importance communautaire (Projet)
-  FR5202010 - Projet Natura 2000 en mer
-  ZSC Pays de Loire
-  ZPS Natura2000 en mer
-  ZPS Pays de Loire

Figure 1.19

Nature des fonds (Lesueur et Klingebiel, 1986)



| SUBDIVISIONS | CAILLOUTIS L < 5% GAL + COO > 50% | GRAVIERIS L < 5% GAL + COO < 50% Md > 2 mm | SABLES L < 5% - S + L > 50% - Md < 2 mm | | | | SÉDIMENTS VASEUX L > 5% | | |
|--|---|---|---|---|---|--|---|--|-----------------------------------|
| SÉDIMENTS LITHOCLASTIQUES NON CARBONATÉS calcaire < 10% | [Symbol] | [Symbol] | SABLES LITHOCLASTIQUES NON CARBONATÉS | | | | SÉDIMENTS VASEUX NON CARBONATÉS | | |
| | | | 15% - Sup. à 2 mm - 30% GAL + COO > 15% GAL + COO < 15% SLo S. litho. non carb., calcaireux | 15% - Sup. à 2 mm - 30% GAL + COO > 15% GAL + COO < 15% SLo S. litho. non carb., calcaireux | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,2 à 0,5 mm SLoa S. litho. non carb., grossier | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,05 à 0,2 mm SLoa S. litho. non carb. | L < 25% S4d. (sable) litho. vaseux non carb. | 25% - L < 75% VL0b Vase sableux non carb. (G. ou C) | L > 75% VL0c Vase non carb. |
| SÉDIMENTS LITHOCLASTIQUES PEU CARBONATÉS 10% ≤ calcaire < 30% | [Symbol] | [Symbol] | SABLES LITHOCLASTIQUES PEU CARBONATÉS | | | | SÉDIMENTS VASEUX PEU CARBONATÉS | | |
| | | | 16% - Sup. à 2 mm - 50% GAL + COO > 15% GAL + COO < 15% SL1a S. litho. peu carb., calcaireux | 16% - Sup. à 2 mm - 50% GAL + COO > 15% GAL + COO < 15% SL1a S. litho. peu carb., calcaireux | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,2 à 0,5 mm SL1c S. litho. peu carb., grossier | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,05 à 0,2 mm SL1c S. litho. peu carb. | L < 25% VL1a S4d. (sable) litho. vaseux peu carb. | 25% - L < 75% VL1b Vase sableux peu carb. (G. ou C) | L > 75% VL1c Vase peu carb. |
| SÉDIMENTS LITHO-BIOCLASTIQUES 30% ≤ calcaire < 50% | [Symbol] | [Symbol] | SABLES LITHO-BIOCLASTIQUES | | | | SÉDIMENTS VASEUX CARBONATÉS | | |
| | | | 15% - Sup. à 2 mm - 50% COO + GAL > 15% COO + GAL < 15% SL2a S. litho-bio cal. ou coq. | 15% - Sup. à 2 mm - 50% COO + GAL > 15% COO + GAL < 15% SL2a S. litho-bio cal. ou coq. | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,2 à 0,5 mm SL2c S. litho-bio, grossier | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,05 à 0,2 mm SL2c S. litho-bio, fin | L < 25% VL2a S4d. (sable) litho-bio vaseux | 25% - L < 75% VL2b Marge sabieuse (G. ou C. ou COO) | L > 75% VL2c Marge |
| SÉDIMENTS BIOCLASTIQUES calcaire ≥ 50% | [Symbol] | [Symbol] | SABLES BIOCLASTIQUES | | | | SÉDIMENTS VASEUX CALCAIRES | | |
| | | | 15% - Sup. à 2 mm - 50% COO + GAL > 15% COO + GAL < 15% SBa S. bioclast. cal. ou coq. | 15% - Sup. à 2 mm - 50% COO + GAL > 15% COO + GAL < 15% SBa S. bioclast. cal. ou coq. | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,2 à 0,5 mm SBc S. bioclast. grossier | Sup. à 0,5 mm - 15% FRACTION DOMINANTE de 0,05 à 0,2 mm SBc S. bioclast. fin | L < 25% VBa S4d. (sable) bioclastique vaseux | 25% - L < 75% VBb Vase calcaire sablieux (G. ou COO) | L > 75% VBc Vase calcaire |

Figure 2.1

Morphologie

Bathymétrie MNT en m CM

- 65.00 m CM
- 55.00 m CM
- 45.00 m CM
- 35.00 m CM
- 30.00 m CM
- 25.00 m CM
- 20.00 m CM
- 16.00 m CM
- 14.00 m CM
- 12.00 m CM
- 10.00 m CM
- 8.00 m CM
- 6.00 m CM
- 4.00 m CM
- 2.00 m CM
- 1.00 m CM
- 0.00 m CM
- 1.00 m CM
- 2.00 m CM
- 2.86 m CM
- 3.86 m CM
- 4.86 m CM
- 5.86 m CM
- 6.86 m CM
- 7.86 m CM
- 10.00 m CM

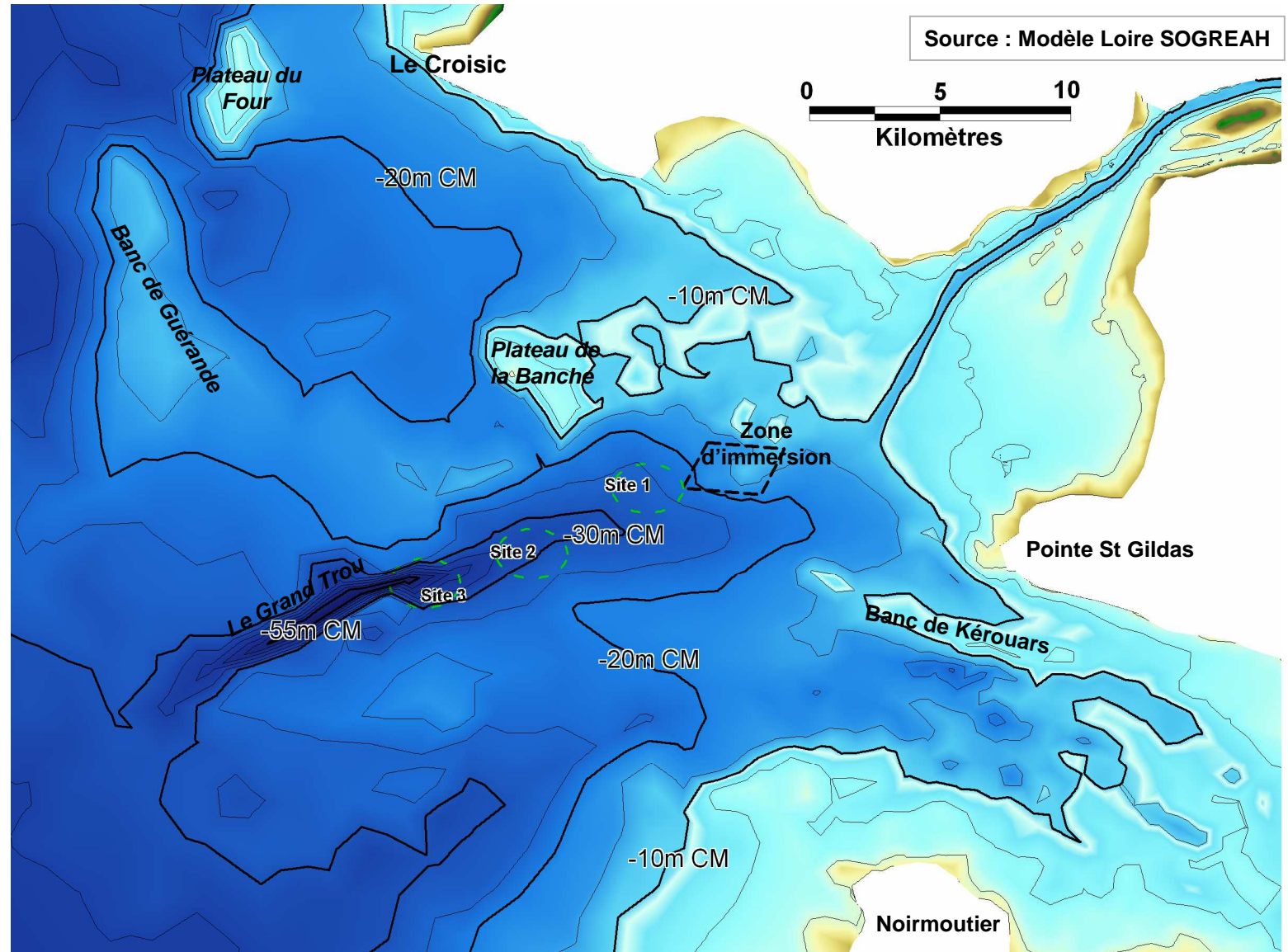


Figure 2.2

Bathymétrie

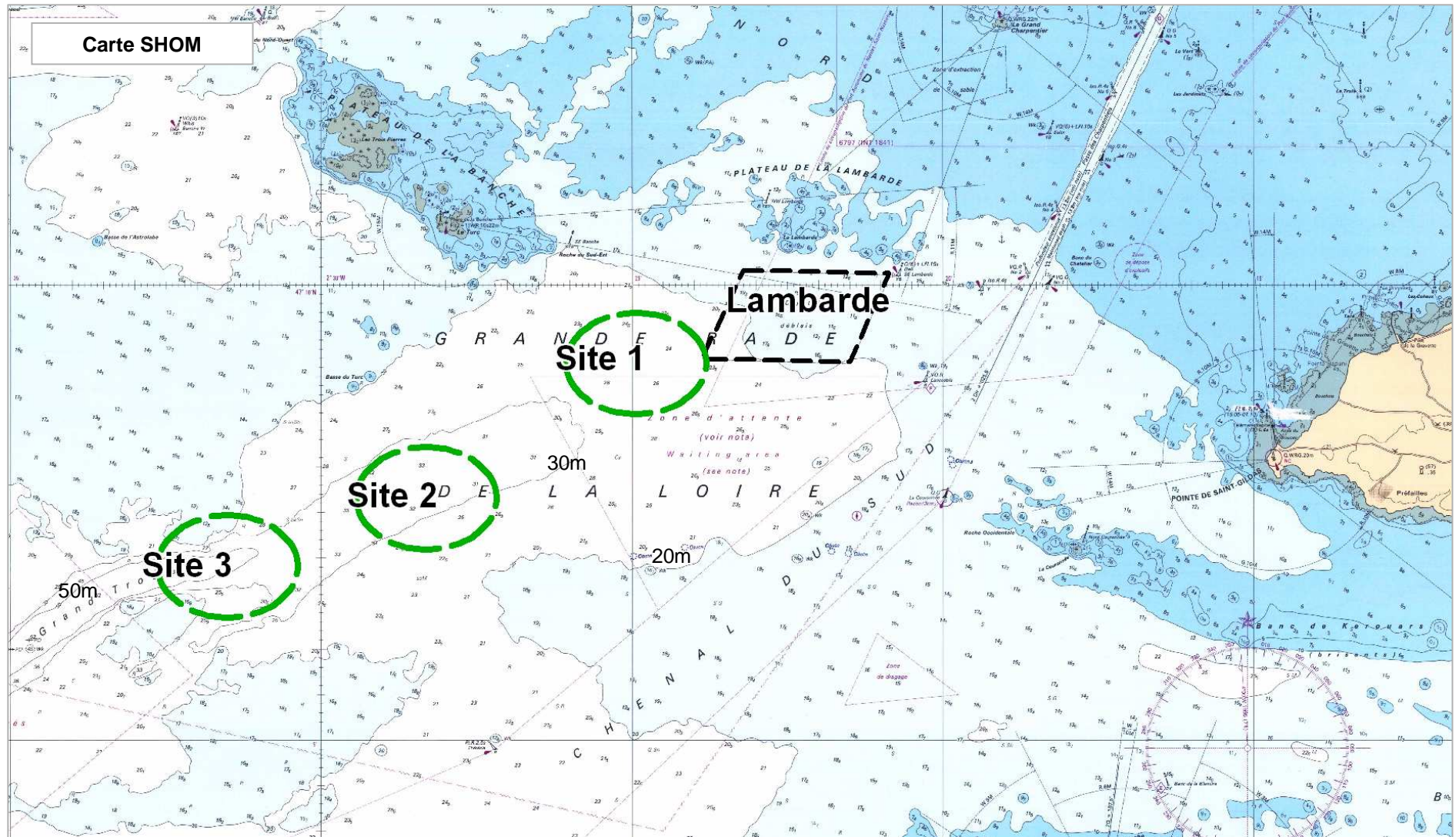


Figure 2.3

Vitesses max moyennées sur la verticale Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue)

Fond de plan : carte SHOM 7395

Période4 : Petite crue

- Revif : coef 30 à 112
- Fort débit (1200-2600m³/s)
- Vents moyens à forts
- Houle faible à moyenne (<1.5m)

Vitesses maximum en m/s

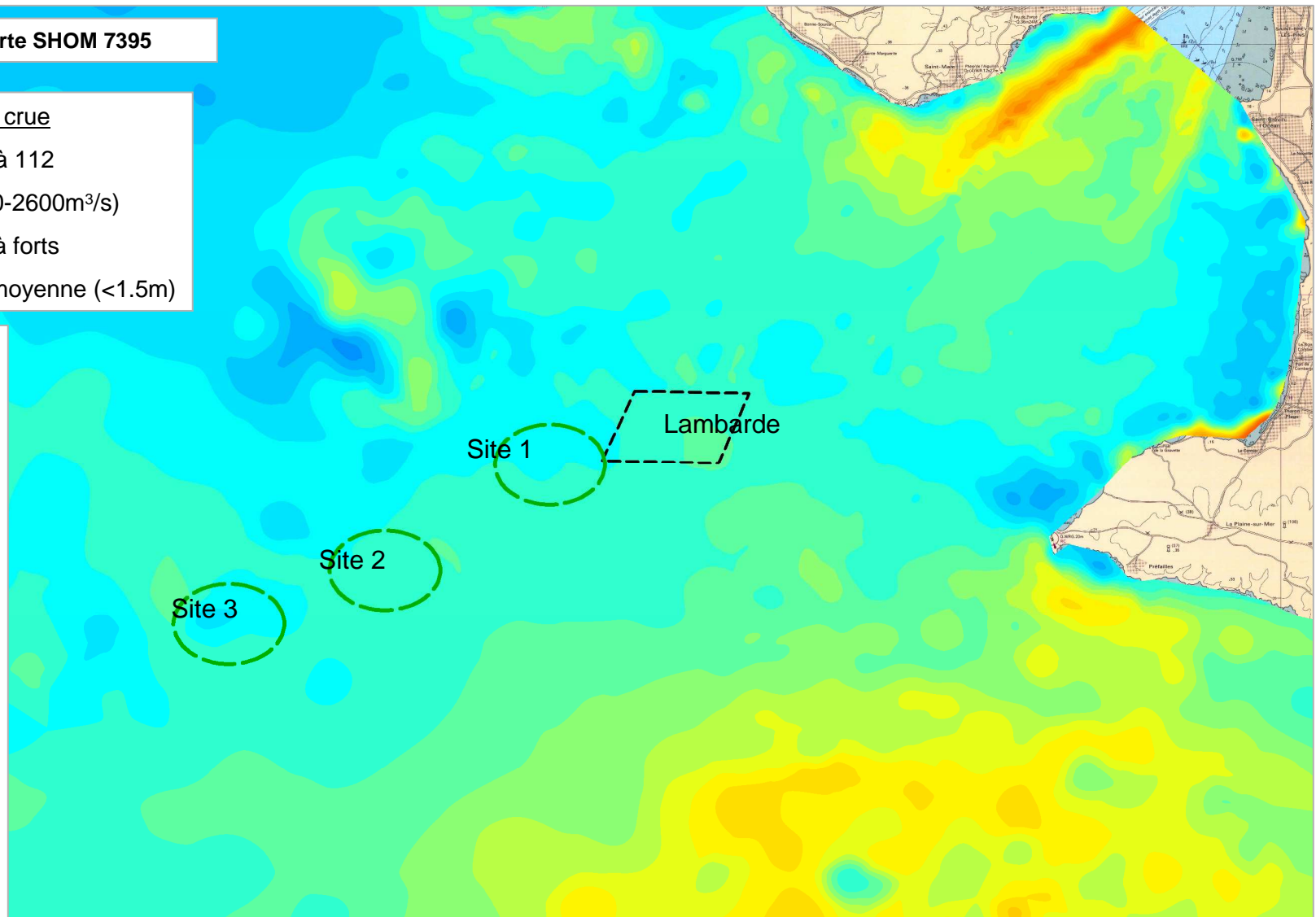
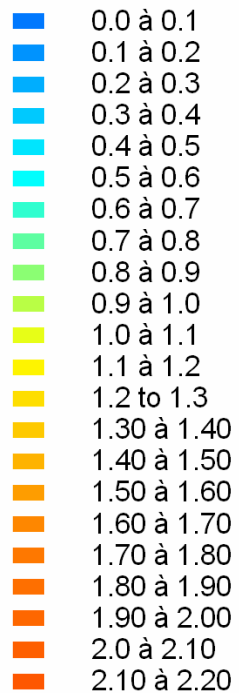


Figure 2.4

Vitesses max sur le fond Séquence du 08 au 21/03/1999 (petite crue)

Fond de plan : carte SHOM 7395

Période4 : Petite crue

- Revif : coef 30 à 112
- Fort débit (1200-2600m³/s)
- Vents moyens à forts
- Houle faible à moyenne (<1.5m)

Vitesses sur le fond (m/s)

| | |
|---|-------------|
| ■ | 0.00 à 0.10 |
| ■ | 0.10 à 0.20 |
| ■ | 0.20 à 0.30 |
| ■ | 0.30 à 0.40 |
| ■ | 0.40 à 0.50 |
| ■ | 0.50 à 0.60 |
| ■ | 0.60 à 0.70 |
| ■ | 0.70 à 0.80 |
| ■ | 0.80 à 0.90 |
| ■ | 0.90 à 1.00 |
| ■ | 1.00 à 1.10 |
| ■ | 1.10 à 1.20 |
| ■ | 1.20 à 1.30 |
| ■ | 1.30 à 1.40 |
| ■ | 1.40 à 1.50 |
| ■ | 1.50 à 1.60 |
| ■ | 1.60 à 1.70 |
| ■ | 1.70 à 1.80 |
| ■ | 1.80 à 1.90 |
| ■ | 1.90 à 2.00 |

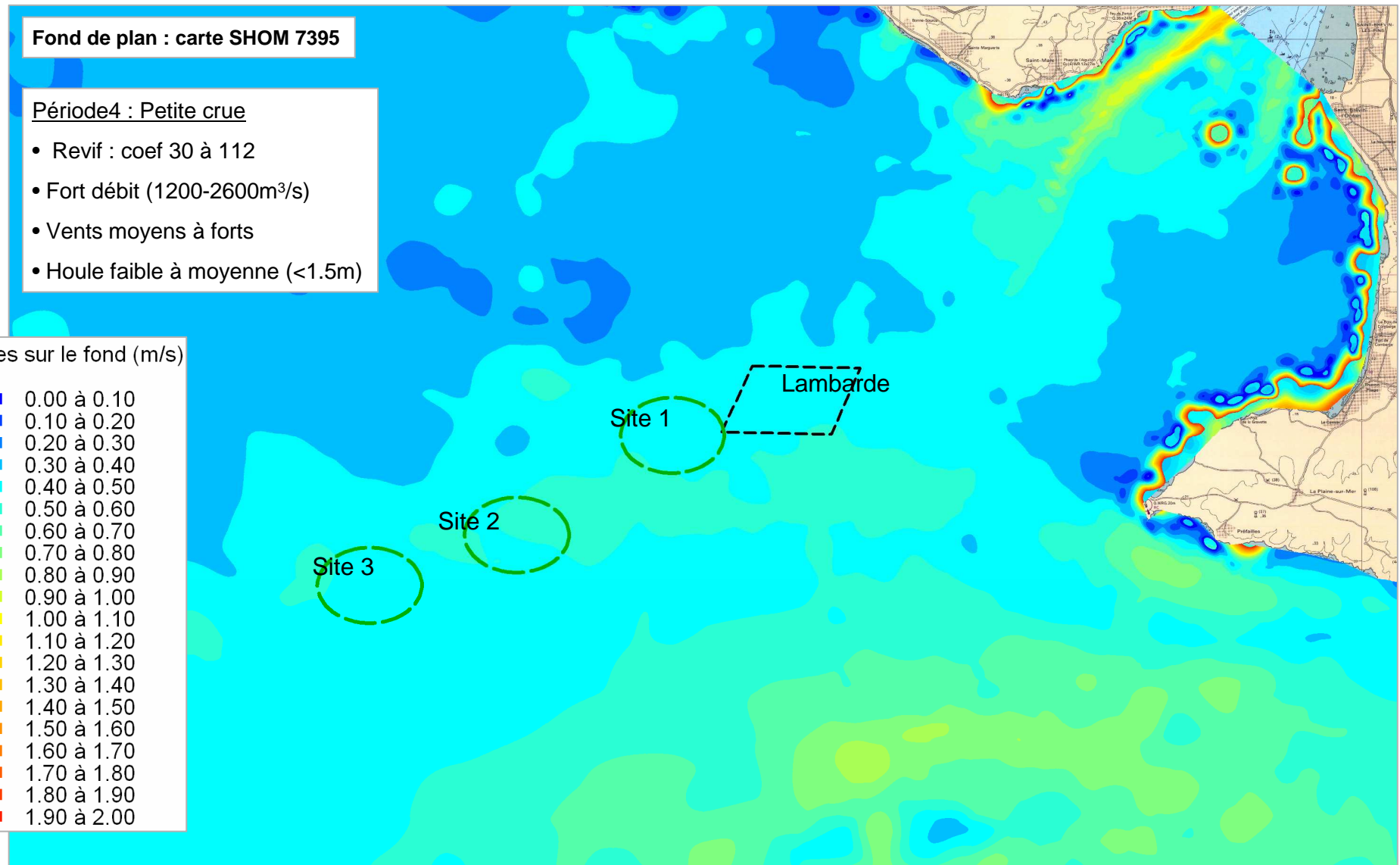


Figure 2.5

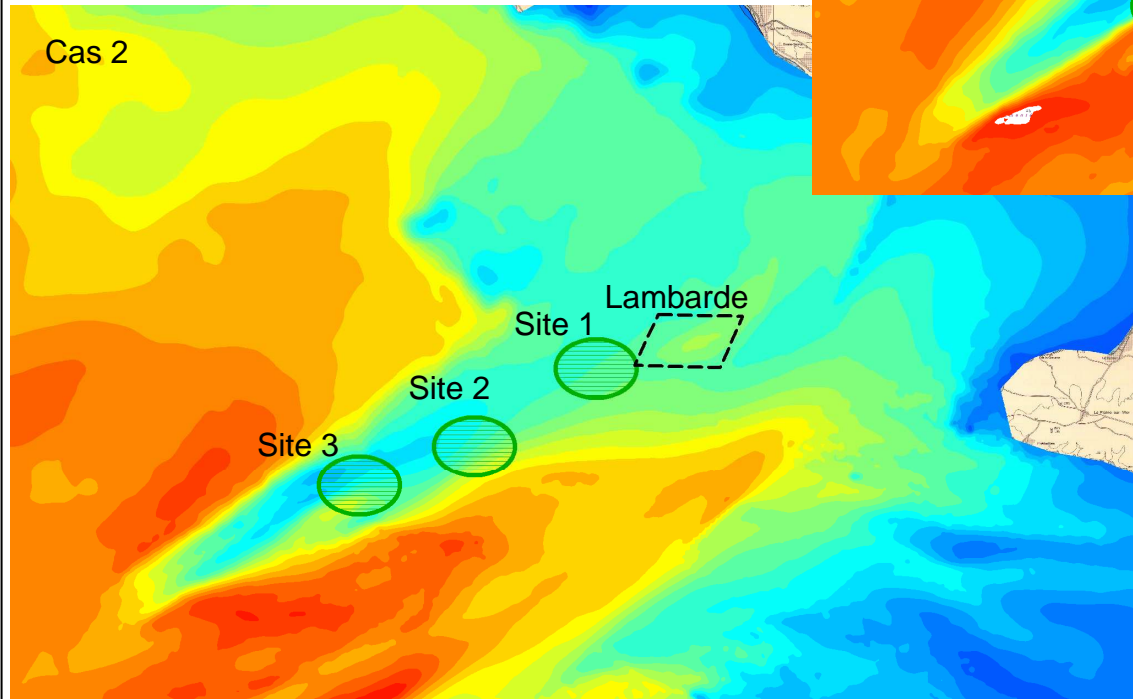
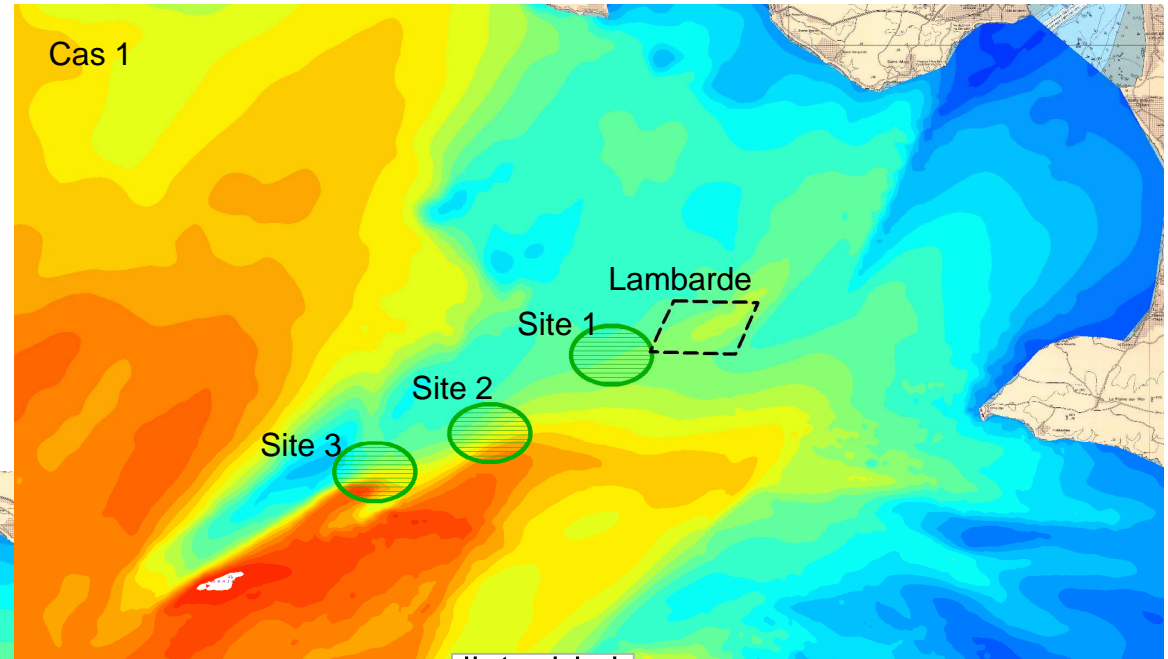
Réfraction de la houle – Cas 1 et 2

Houle annuelle

- Hs = 8.20m
- Tp = 17s
- Dir = 230°N
- PMVE = +5.50mCM

Houle annuelle

- Hs = 8.20m
- Tp = 17s
- Dir = 250°N
- PMVE = +5.50mCM



Hauteur de houle

| |
|-------------|
| 0.0 à 0.5m |
| 0.5 à 1.0m |
| 1.0 à 1.5m |
| 1.5 à 2.0m |
| 2.0 à 2.5m |
| 2.5 à 3.0m |
| 3.0 à 3.5m |
| 3.5 à 4.0m |
| 4.0 à 4.5m |
| 4.5 à 5.0m |
| 5.0 à 5.5m |
| 5.5 à 6.0m |
| 6.0 à 6.5m |
| 6.5 à 7.0m |
| 7.0 à 7.5m |
| 7.5 à 8.0m |
| 8.0 à 8.5m |
| 8.5 à 9.0m |
| 9.0 à 9.5m |
| 9.5 à 10.0m |

Figure 2.6

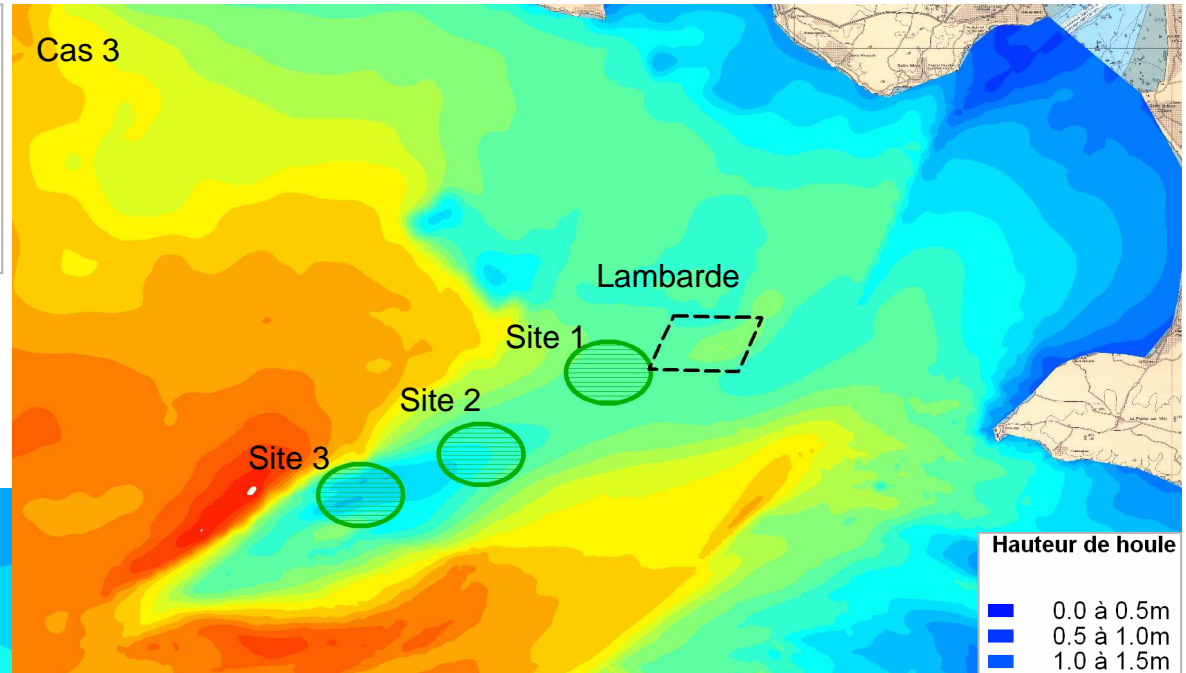
Réfraction de la houle – Cas 3 et 4

Houle annuelle

- Hs = 8.20m
- Tp = 17s
- Dir = 270°N
- PMVE = +5.50mCM

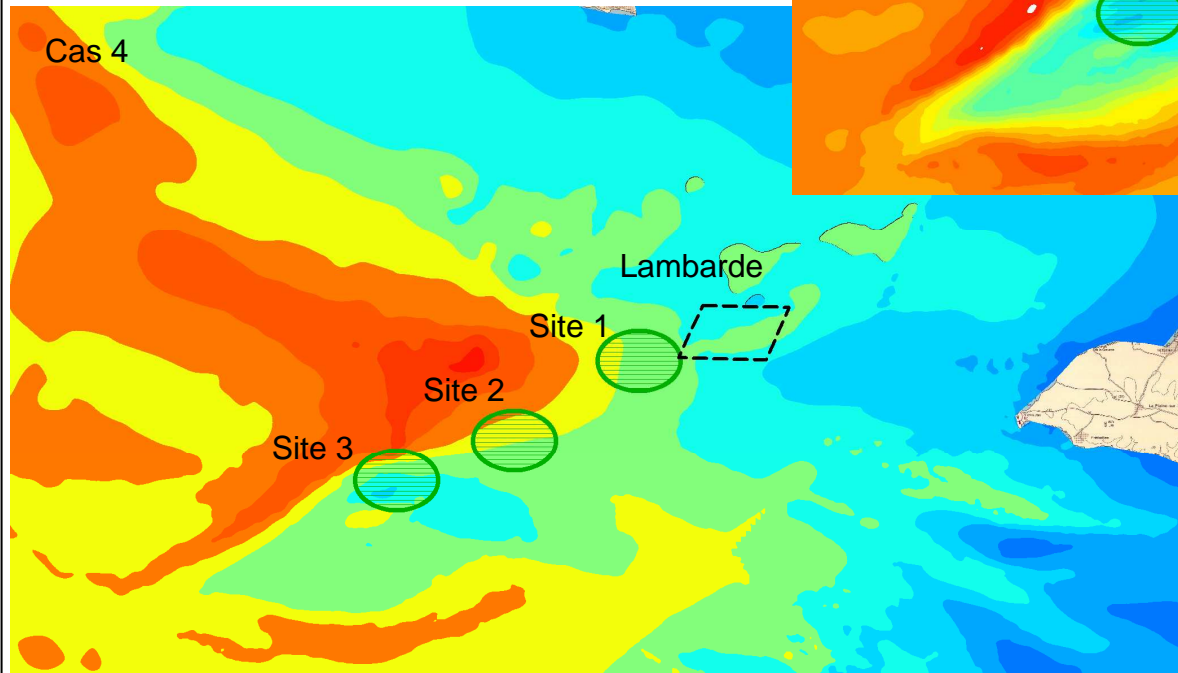
Houle annuelle

- Hs = 4.00m
- Tp = 17s
- Dir = 290°N
- PMVE = +5.50mCM



Hauteur de houle

| |
|-------------|
| 0.0 à 0.5m |
| 0.5 à 1.0m |
| 1.0 à 1.5m |
| 1.5 à 2.0m |
| 2.0 à 2.5m |
| 2.5 à 3.0m |
| 3.0 à 3.5m |
| 3.5 à 4.0m |
| 4.0 à 4.5m |
| 4.5 à 5.0m |
| 5.0 à 5.5m |
| 5.5 à 6.0m |
| 6.0 à 6.5m |
| 6.5 à 7.0m |
| 7.0 à 7.5m |
| 7.5 à 8.0m |
| 8.0 à 8.5m |
| 8.5 à 9.0m |
| 9.0 à 9.5m |
| 9.5 à 10.0m |



Hauteur de houle

| |
|------------|
| 0.0 à 0.5m |
| 0.5 à 1.0m |
| 1.0 à 1.5m |
| 1.5 à 2.0m |
| 2.0 à 2.5m |
| 2.5 à 3.0m |
| 3.0 à 3.5m |
| 3.5 à 4.0m |
| 4.0 à 4.5m |
| 4.5 à 5.0m |
| 5.0 à 5.5m |
| 5.5 à 6.0m |

Figure 2.7

Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (1)

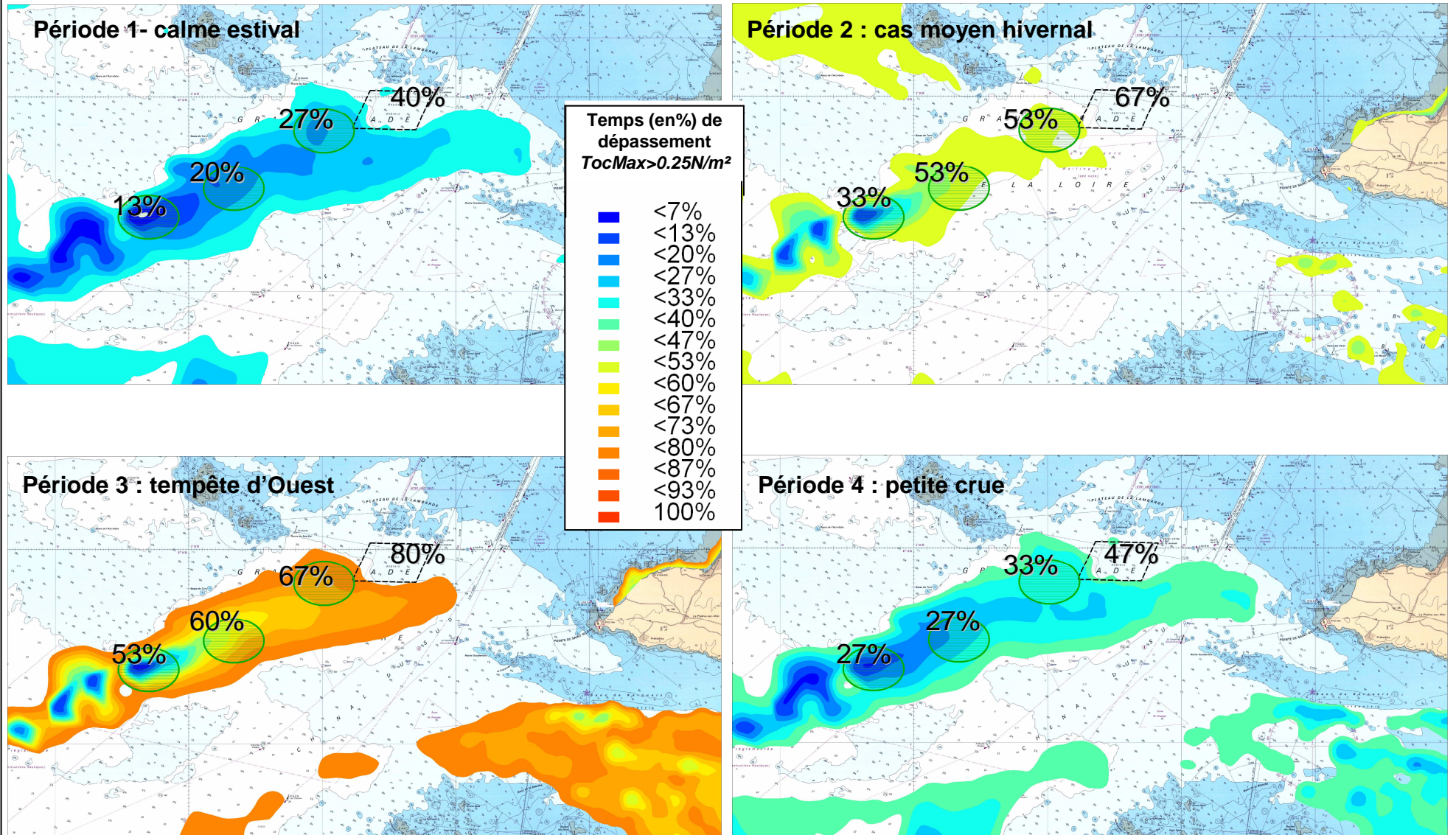


Figure 2.8

Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (2)

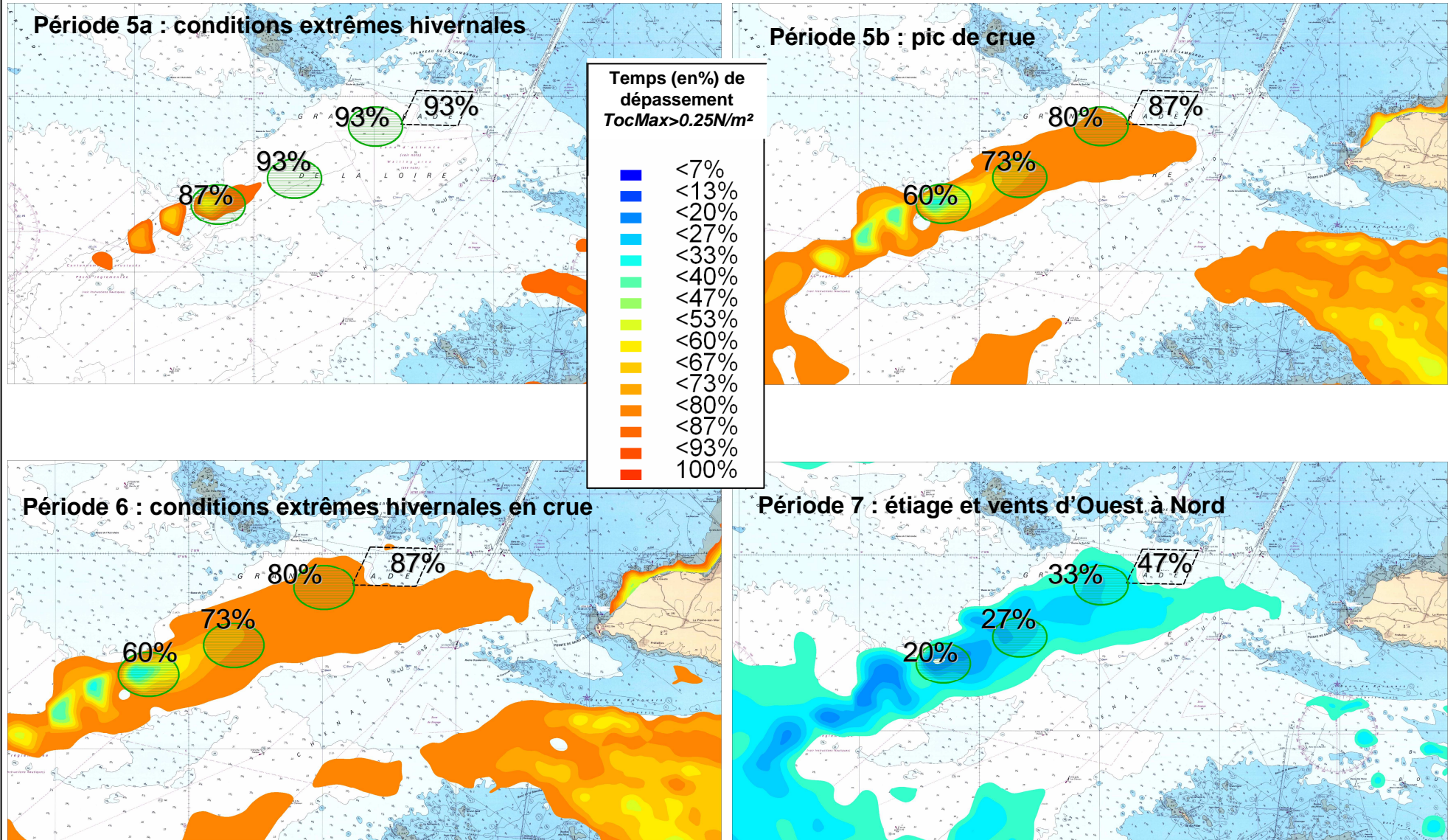


Figure 2.9

Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion (3)

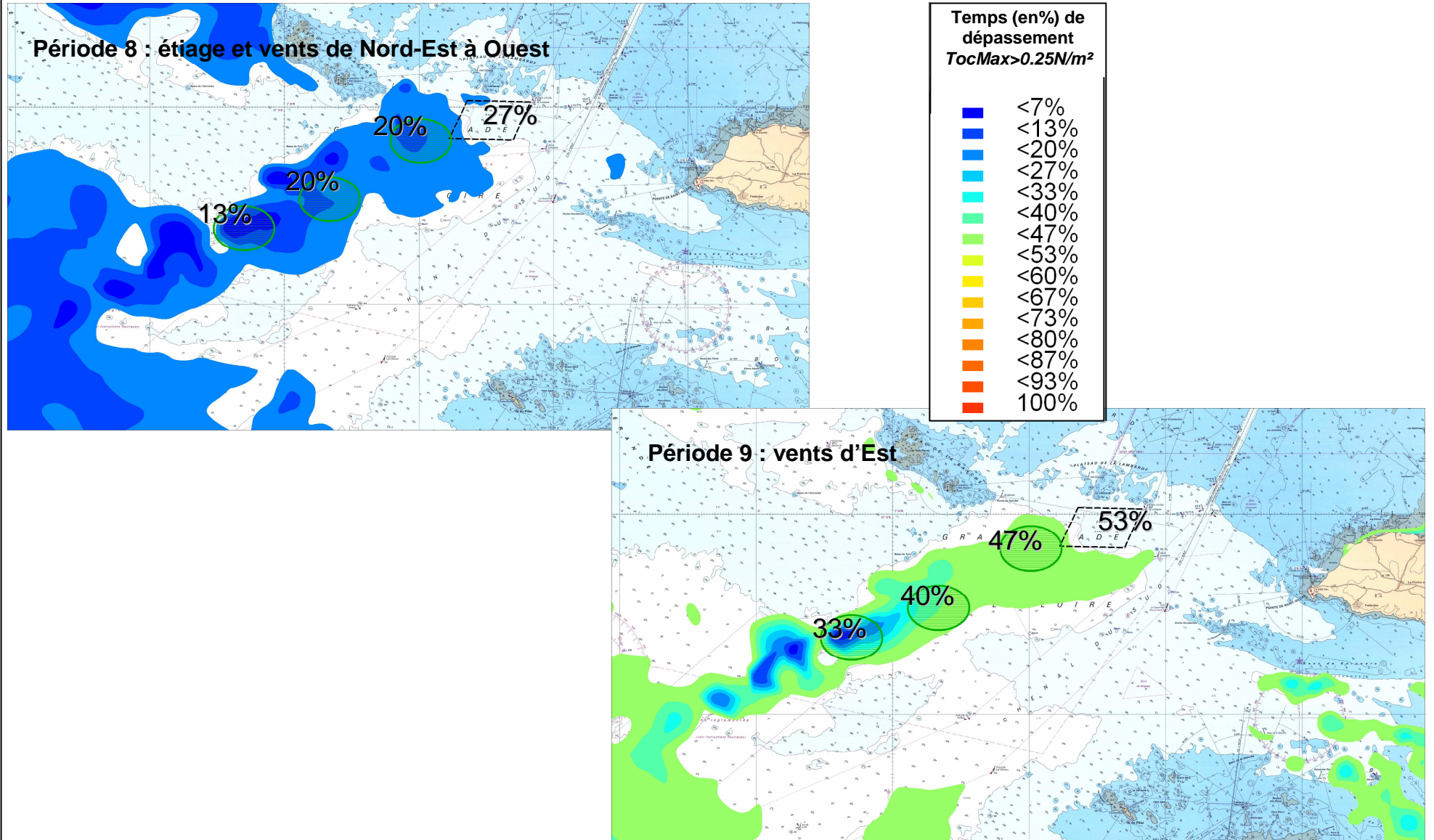


Figure 2.10

Proposition de points de prélèvement de sédiments pour analyses granulométriques

Fond de plan : Lesourd et Klingebiel, 1986

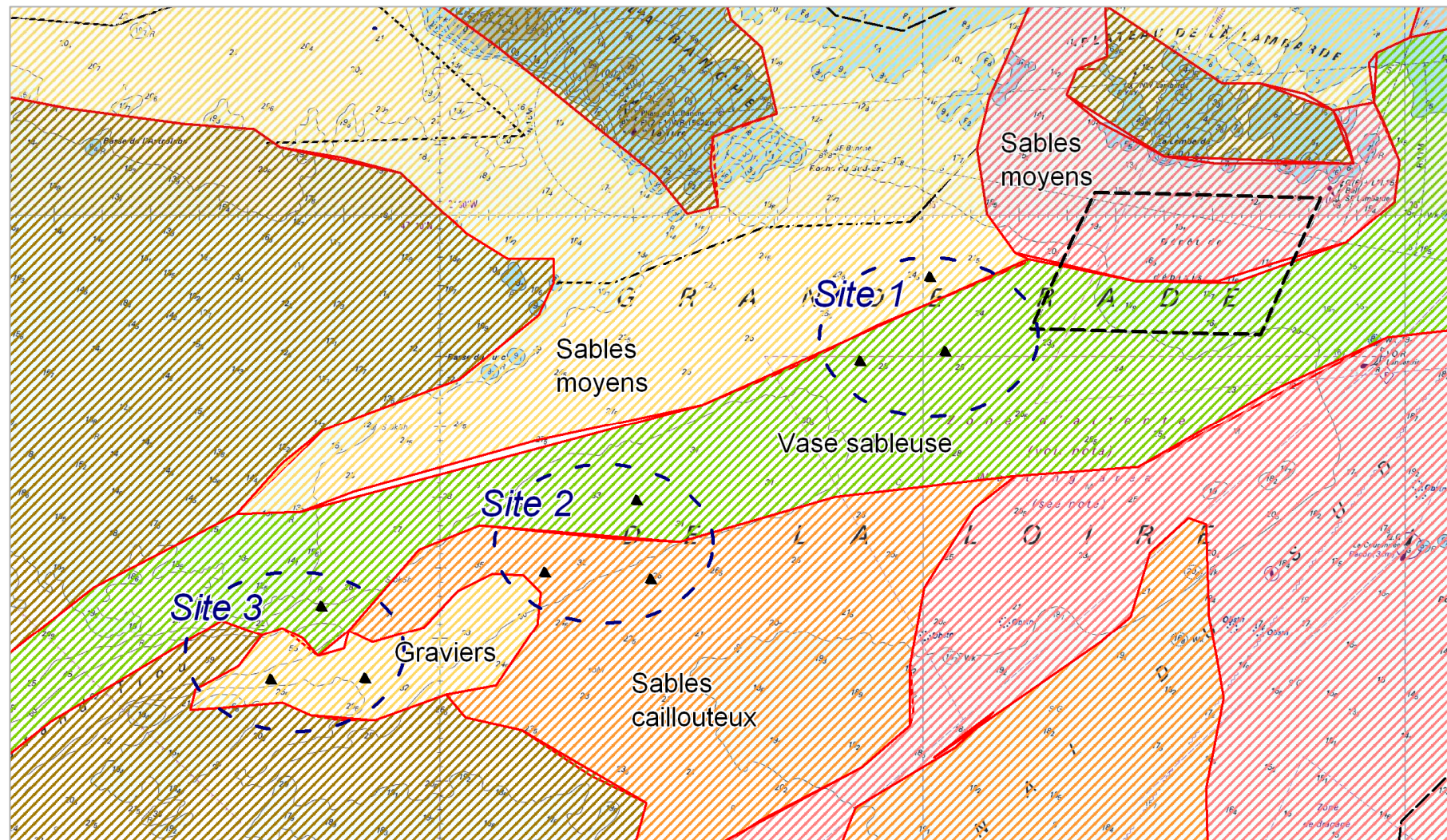
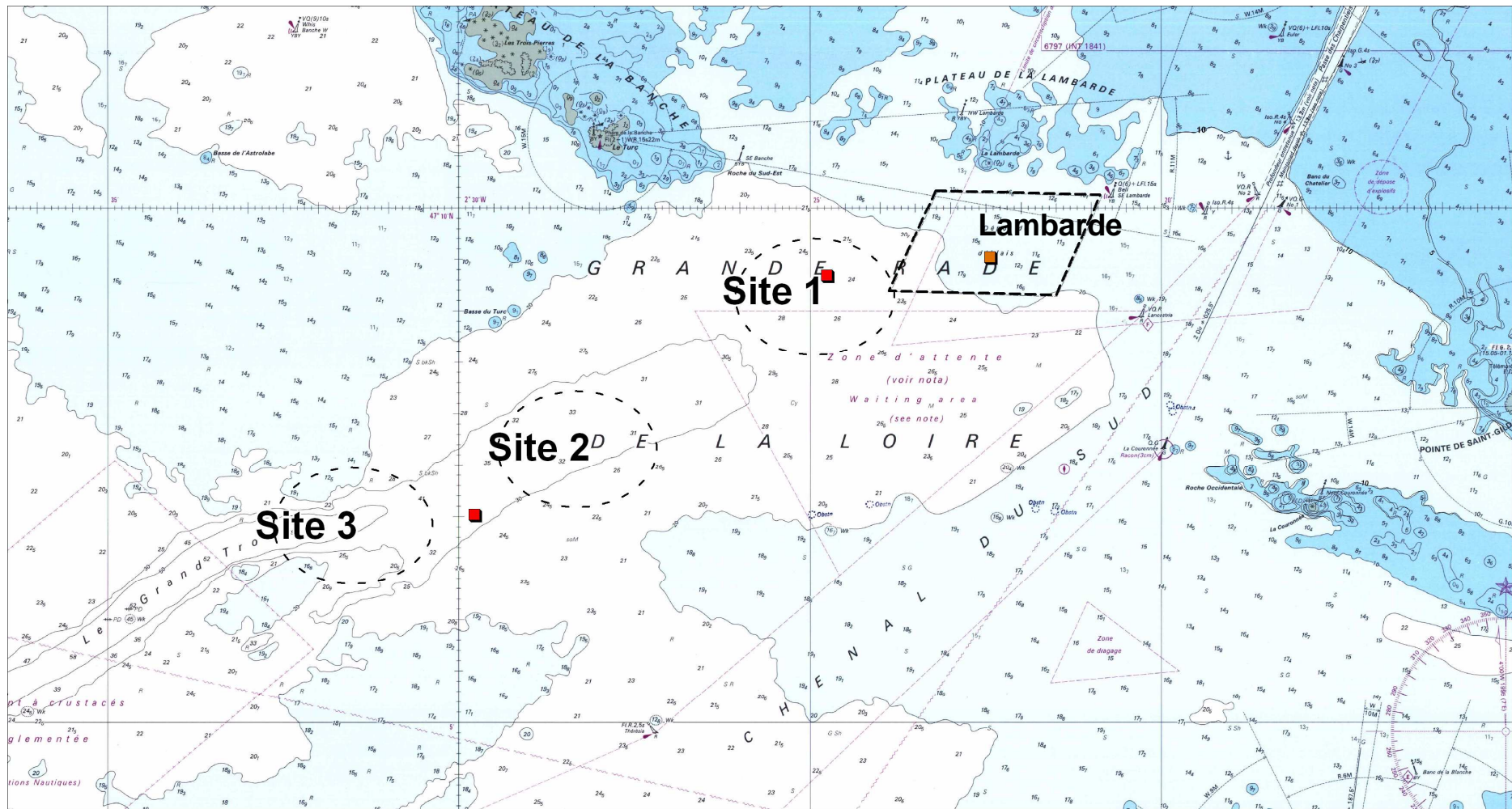


Figure 2.11

Stations de mesures fixes

Fond de plan : Carte SHOM

■ Station de mesure fixe



ANNEXES

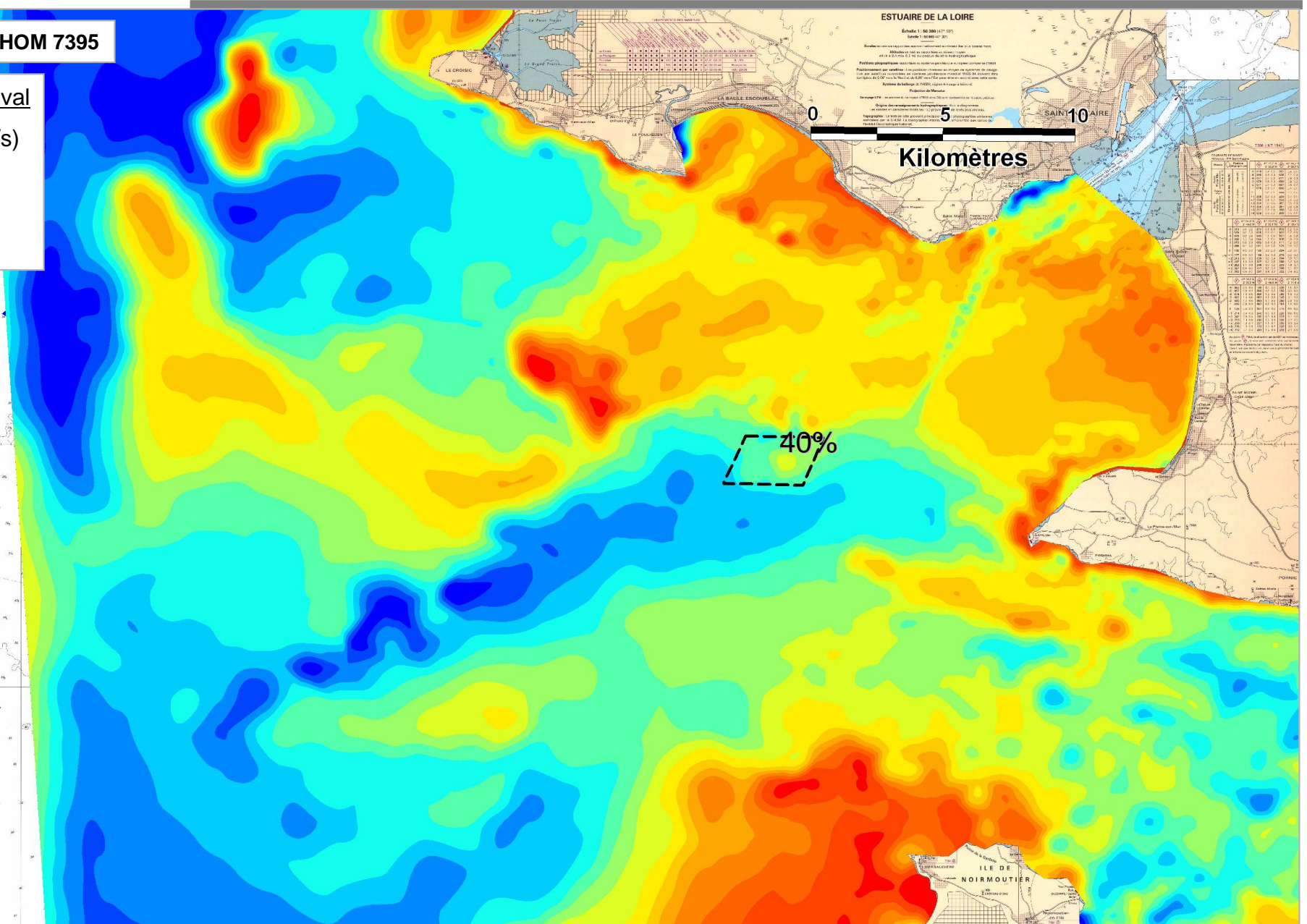
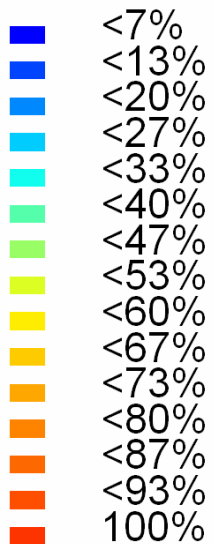
**GRAND PORT MARITIME DE NANTES SAINT-NAZAIRE
ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA RECHERCHE DE SITES ALTERNATIFS DE CLAPAGE
POUR LES MATERIAUX DRAGUES DANS LES INSTALLATIONS DU PORT DE NANTES
SAINT-NAZAIRE**

Fond de plan : carte SHOM 7395

Période1 : Calme estival

- Faible débit ($160\text{m}^3/\text{s}$)
- Vents faibles (5m/s)
- Houle faible à moyenne ($<1.5\text{m}$)

Temps (en%) de
dépassement
 $TocMax > 0.25\text{N/m}^2$



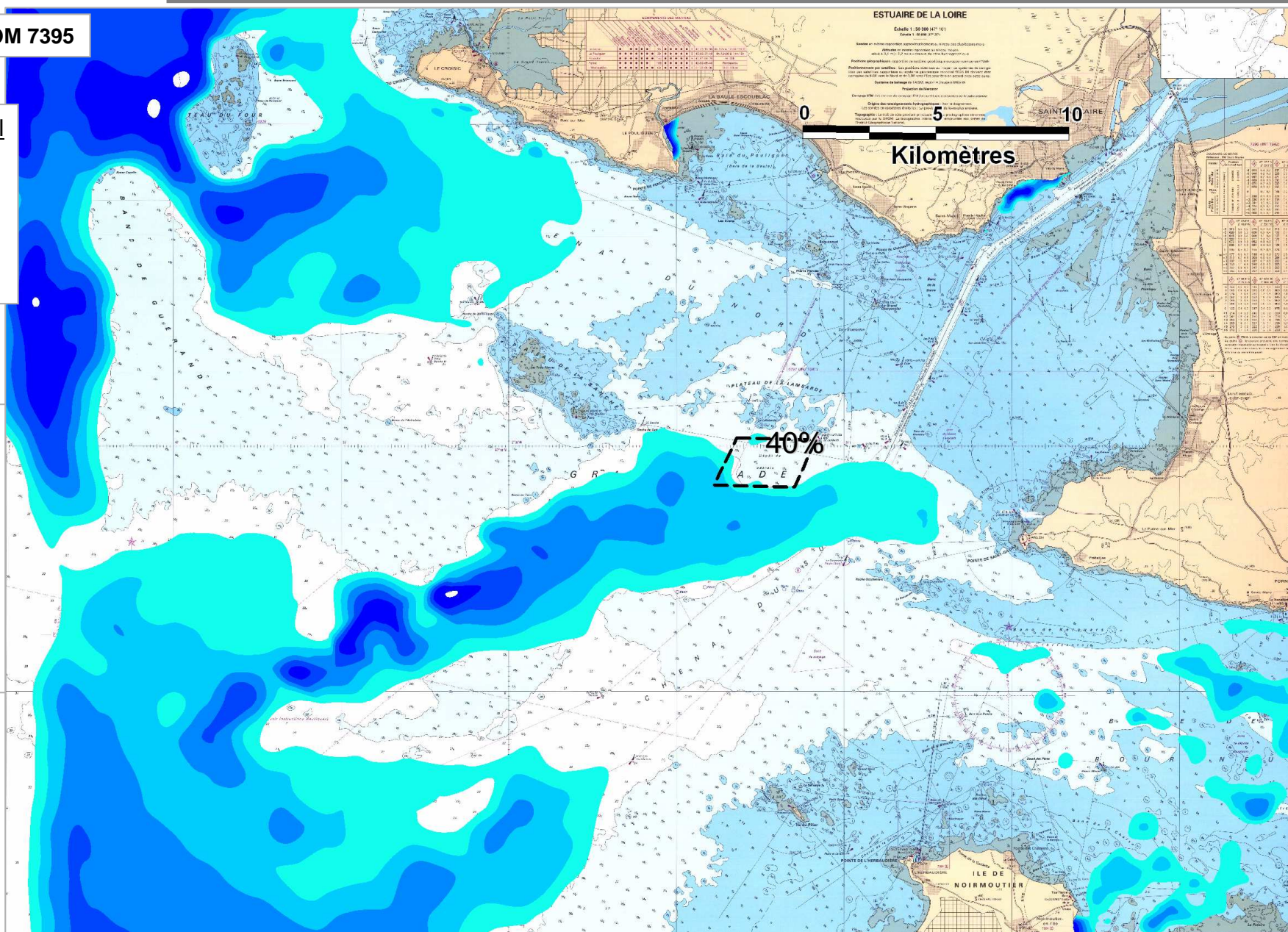
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période1 : Calme estival

- Faible débit ($160\text{m}^3/\text{s}$)
- Vents faibles (5m/s)
- Houle faible à moyenne ($<1.5\text{m}$)

Temps de dépassement (%) en moins par rapport à la Lambarde
 $Tocw_{Max} > 0.25N/\text{m}^2$

- $<33\%$
- $<27\%$
- $<20\%$
- $<13\%$
- $<7\%$

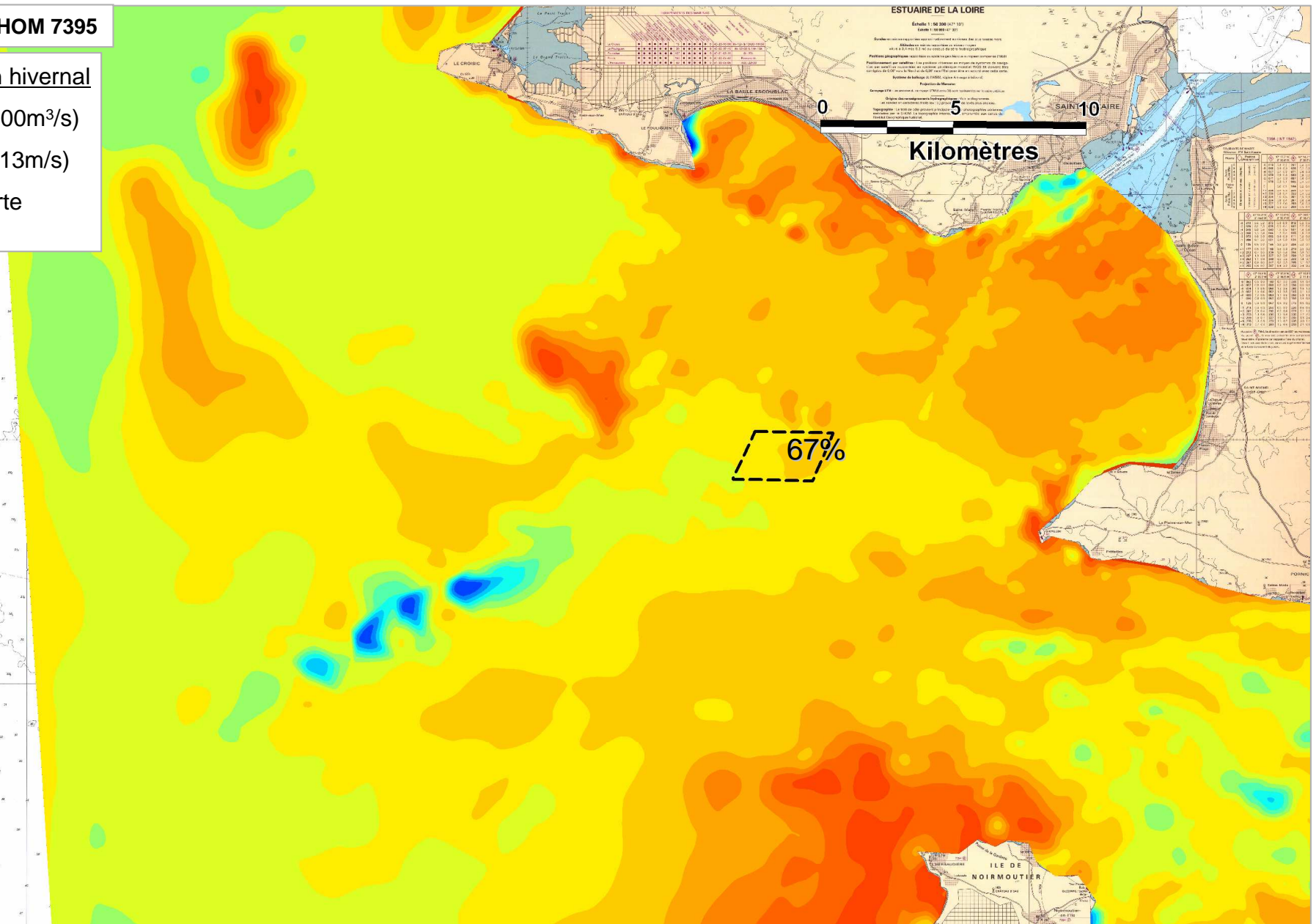


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période2 : Cas moyen hivernal

- Faible moyen (650-800m³/s)
- Vents variables (4 à 13m/s)
- Houle moyenne à forte (jusqu'à 3m)

Temps (en%) de
dépassement
TocMax > 0.25N/m²



Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période2

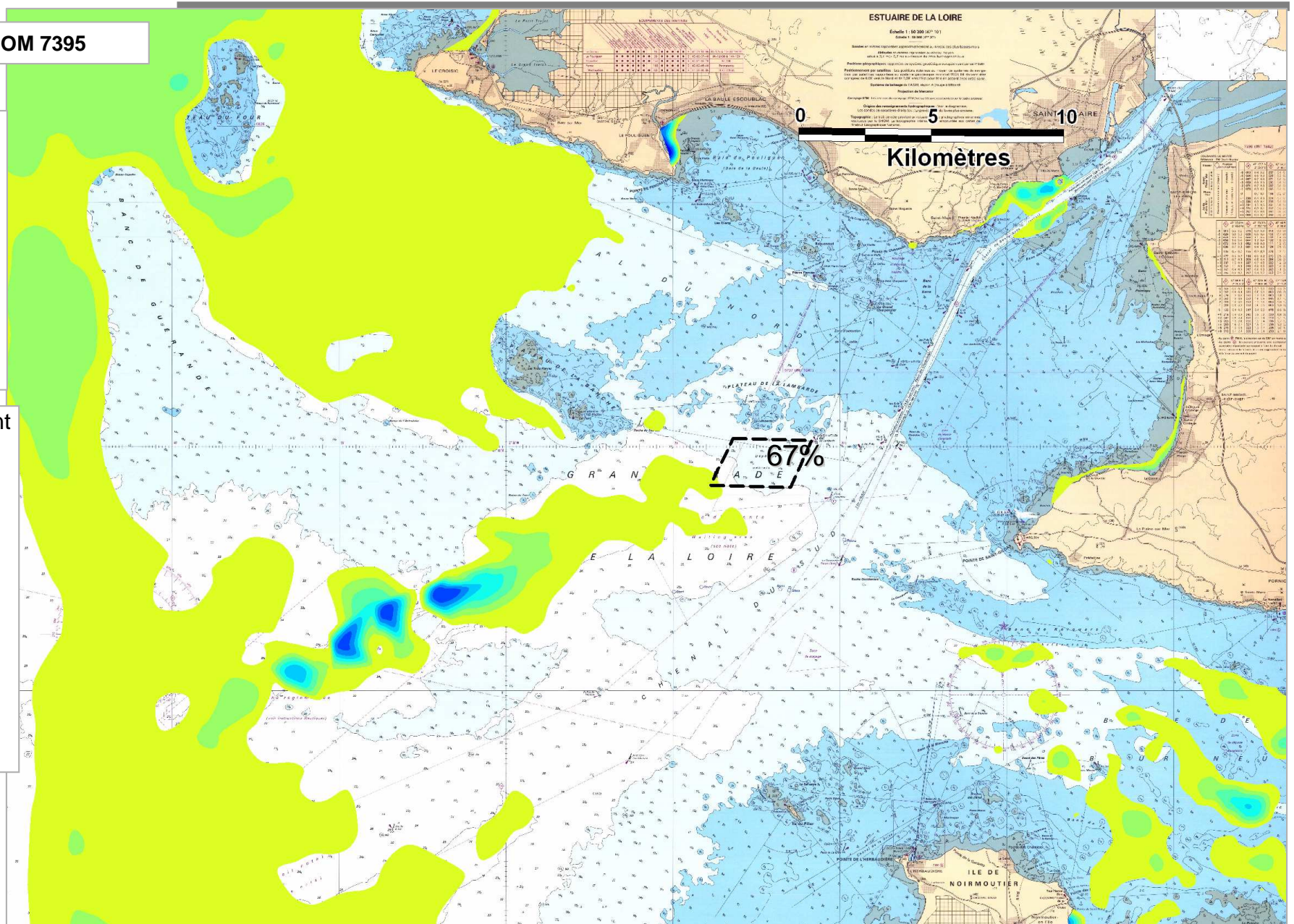
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période2 : Cas moyen hivernal

- Faible moyen (650-800m³/s)
- Vents variables (4 à 13m/s)
- Houle moyenne à forte (jusqu'à 3m)

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $TocwMax > 0.25N/m^2$

- <53%
- <47%
- <40%
- <33%
- <27%
- <20%
- <13%
- <7%

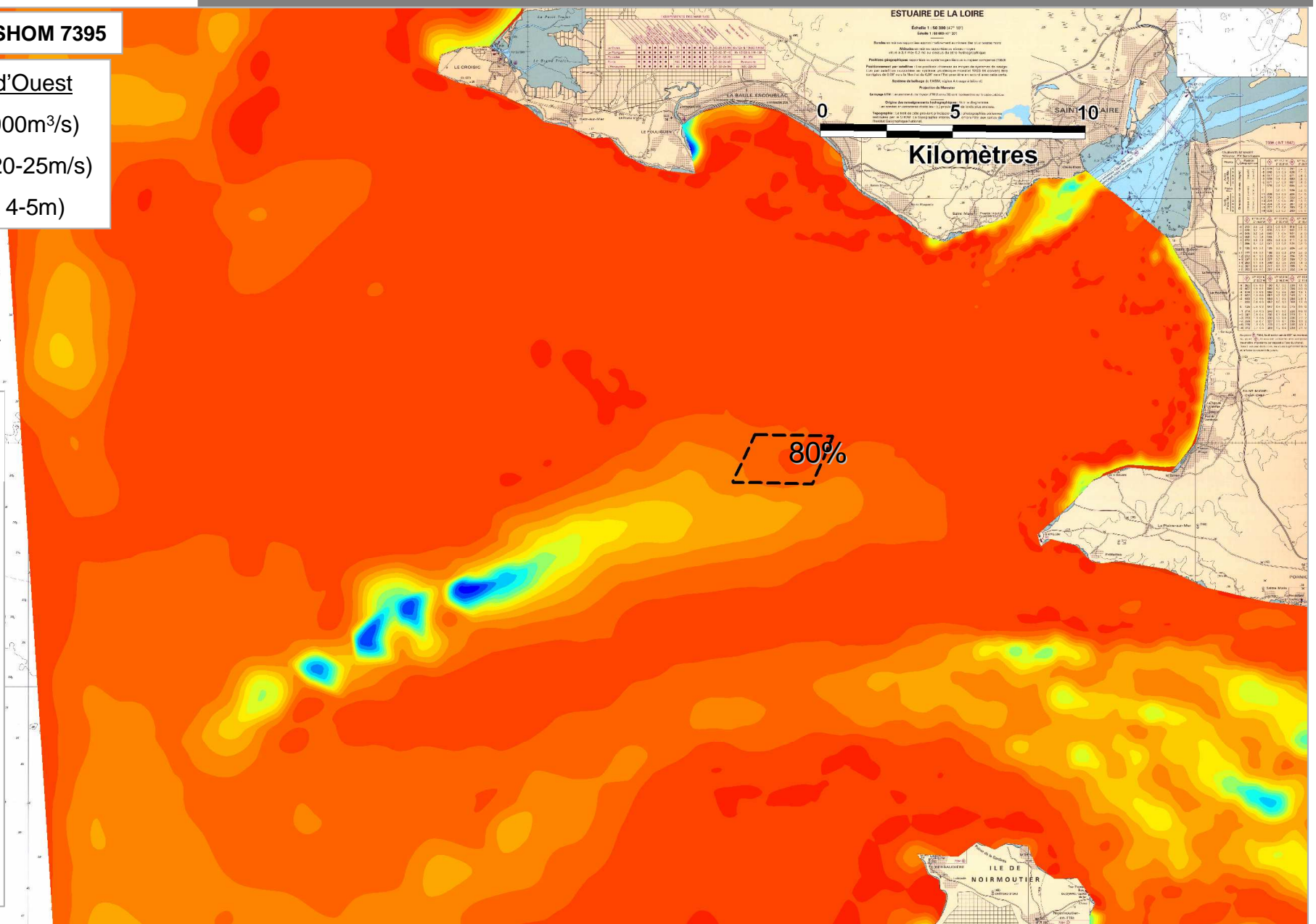
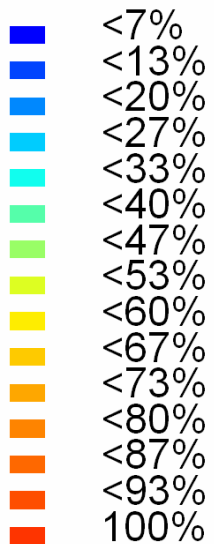


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période3 : Tempête d'Ouest

- Débit moyen (350-900m³/s)
- Vents forts (pics à 20-25m/s)
- Houle forte (jusqu'à 4-5m)

Temps (en%) de
dépassement
TocMax > 0.25N/m²















Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période3

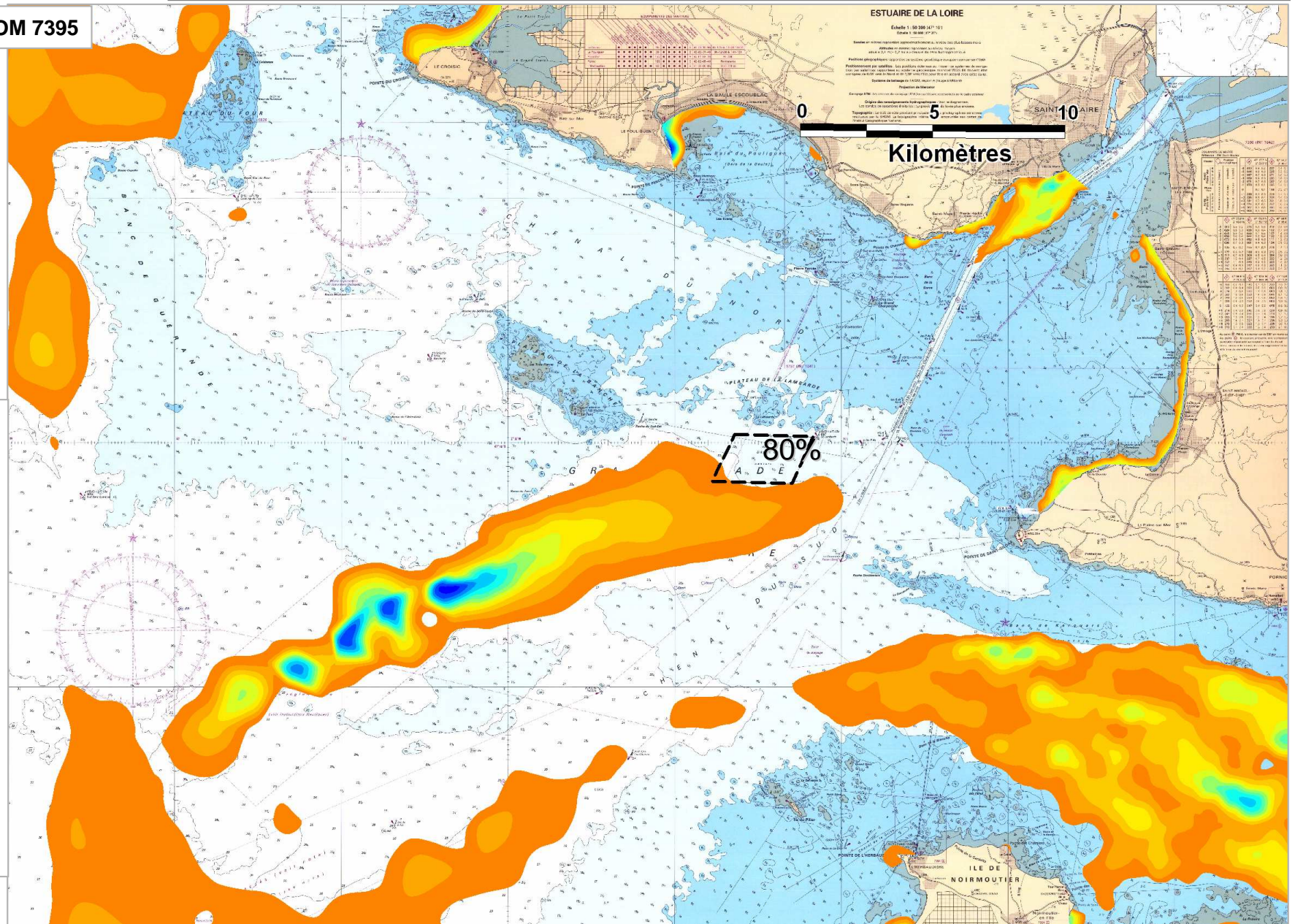
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période3 : Tempête d'Ouest

- Débit moyen (350-900m³/s)
- Vents forts (pics à 20-25m/s)
- Houle forte (jusqu'à 4-5m)

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $TocwMax > 0.25N/m^2$

- | | |
|---|------|
|  | <80% |
|  | <73% |
|  | <67% |
|  | <60% |
|  | <53% |
|  | <47% |
|  | <40% |
|  | <33% |
|  | <27% |
|  | <20% |
|  | <13% |
|  | <7% |

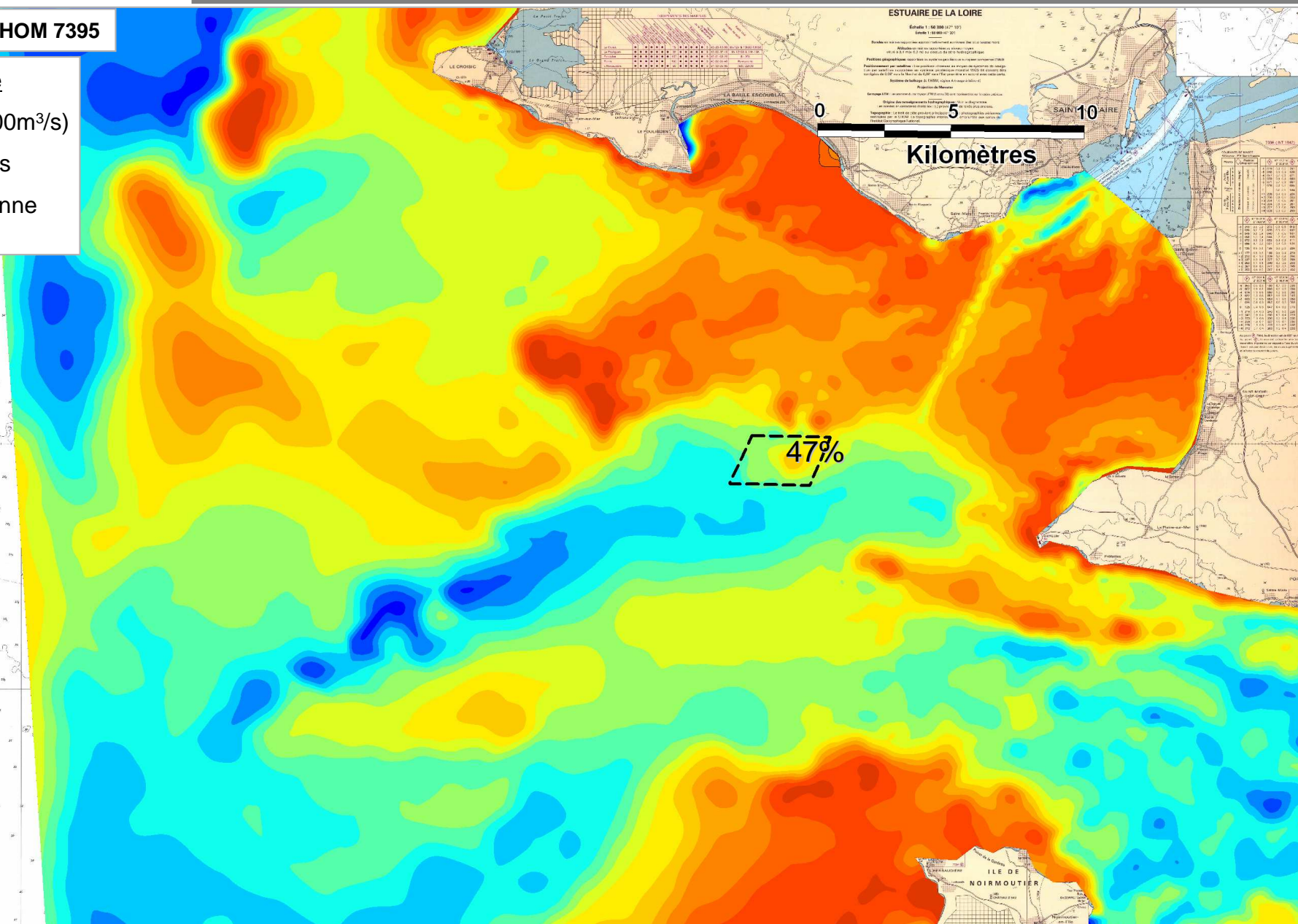


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période4 : Petite crue

- Fort débit (1200-2600m³/s)
- Vents moyens à forts
- Houle faible à moyenne (<1.5m)

Temps (en%) de dépassement
TocMax > 0.25N/m²



Temps de dépassement de la contrainte critique d'érosion inférieur au temps dépassé à la Lambarde – Période4

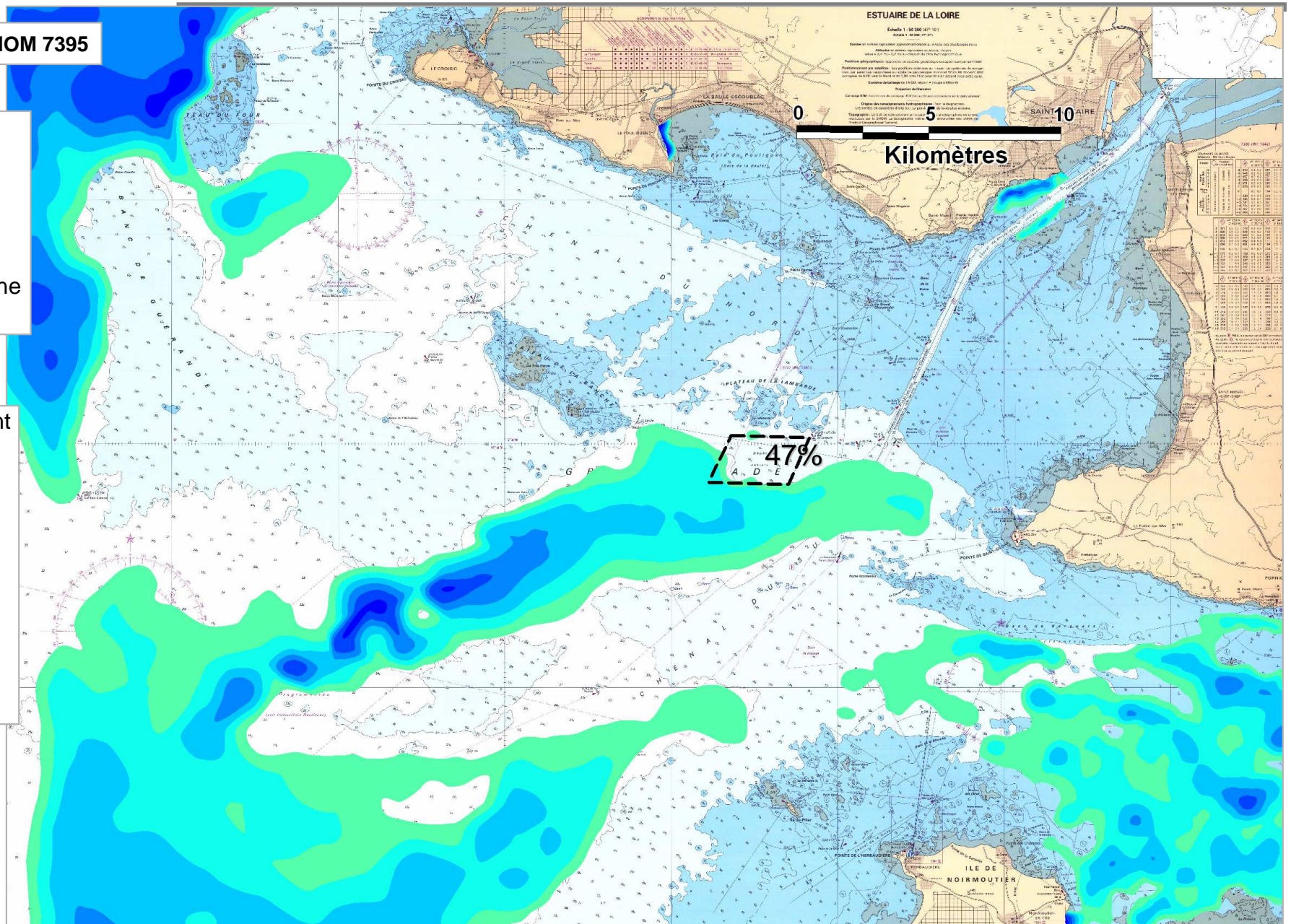
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période4 : Petite crue

- Fort débit (1200-2600m³/s)
- Vents moyens à forts
- Houle faible à moyenne (<1.5m)

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $T_{ocwMax} > 0.25N/m^2$

- <40%
- <33%
- <27%
- <20%
- <13%
- <7%

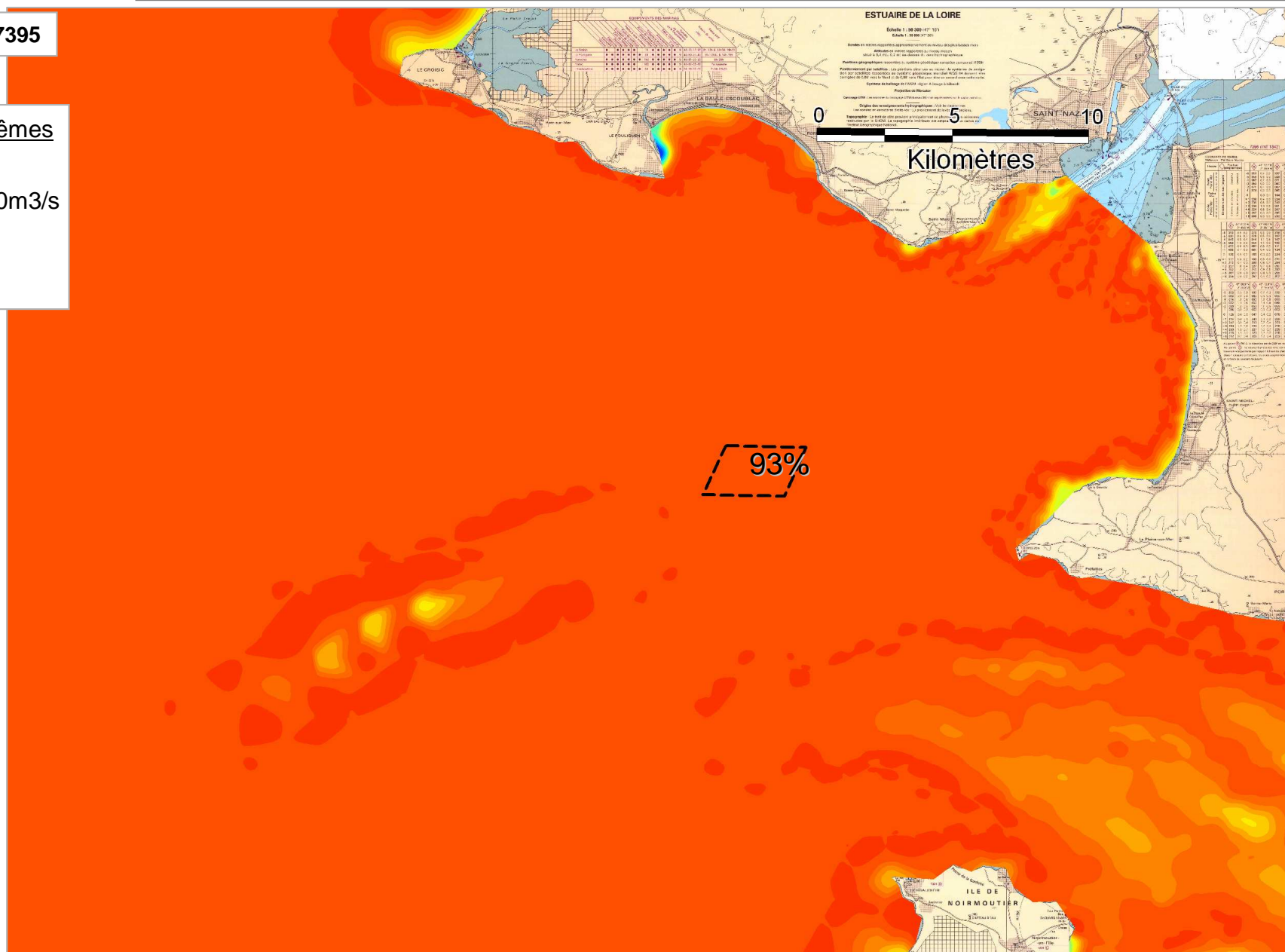
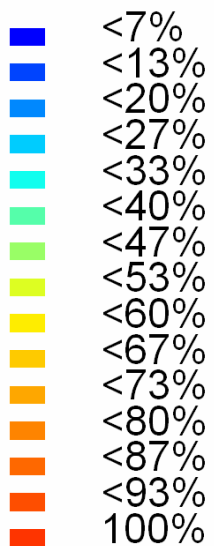


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période5a : Conditions extrêmes hivernales

- Débit moyen : 1200 à 1700m³/s
- Vent fort : pics à 20m/s
- Houle forte : 5 à 6m

Temps (en%) de dépassement
TocMax > 0.25N/m²



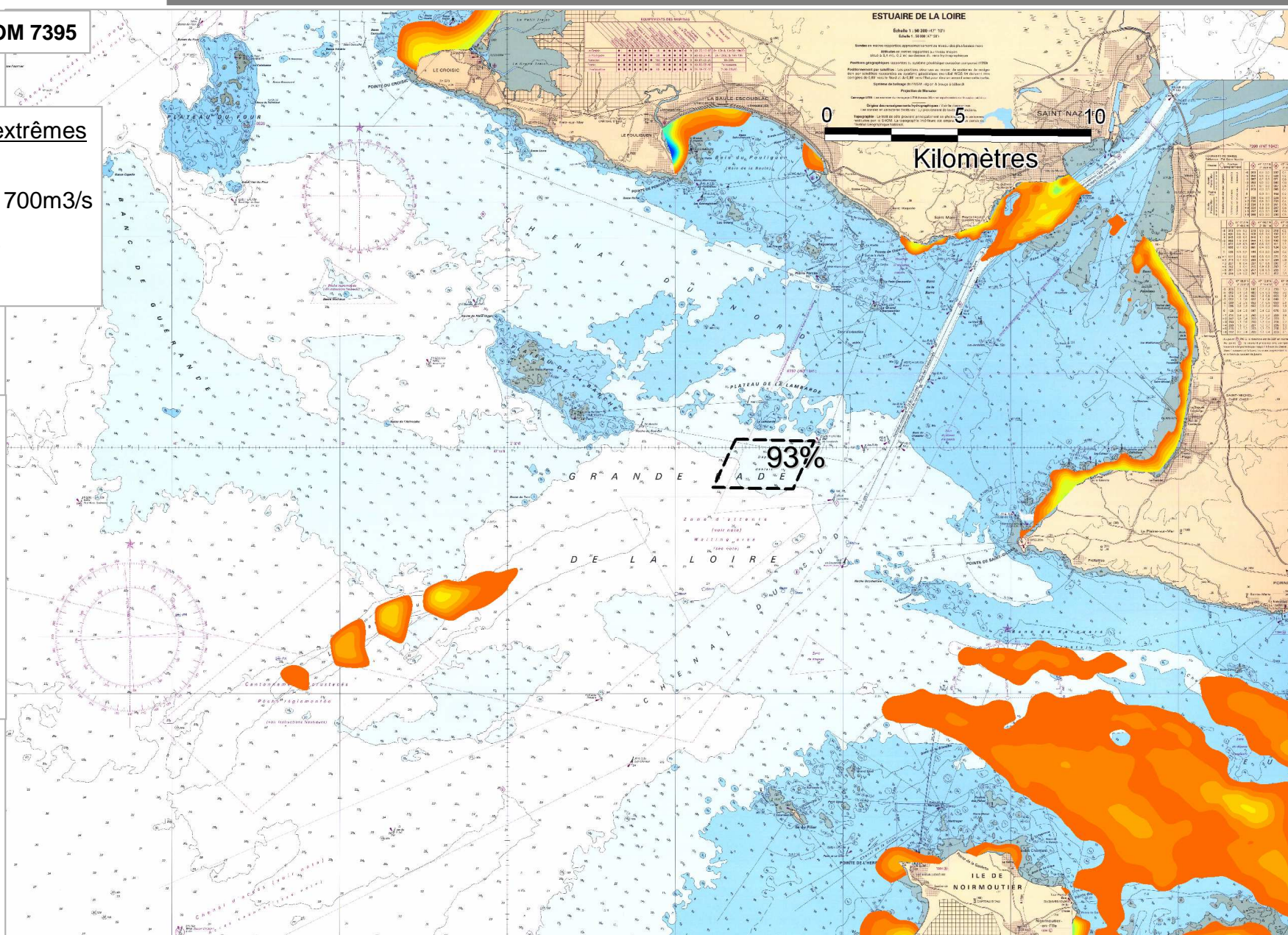
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période5a : Conditions extrêmes hivernales

- Débit moyen : 1200 à 1700m³/s
- Vent fort : pics à 20m/s
- Houle forte : 5 à 6m

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $T_{ocwMax} > 0.25N/m^2$

- <33%
- <27%
- <20%
- <13%
- <7%

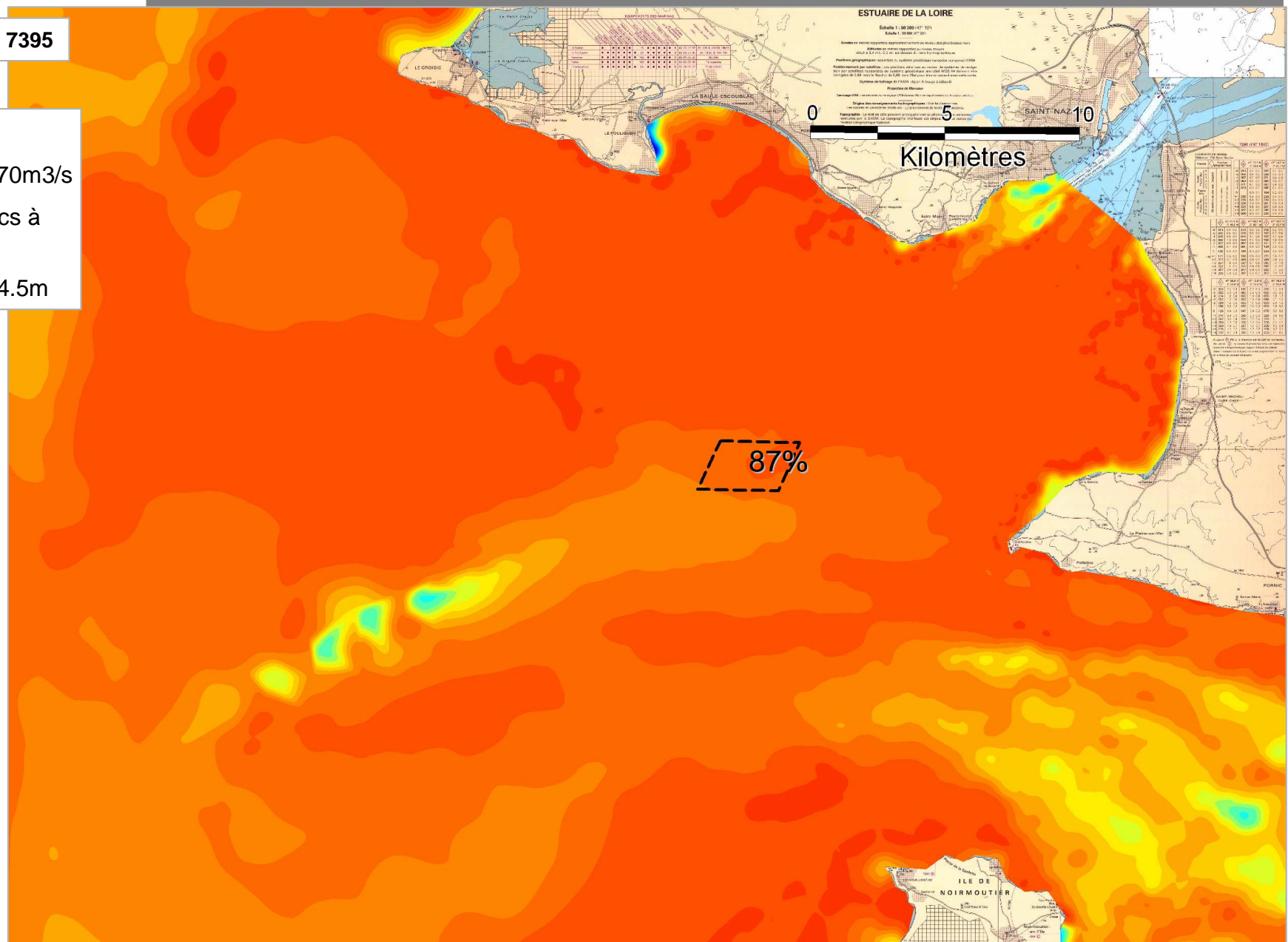
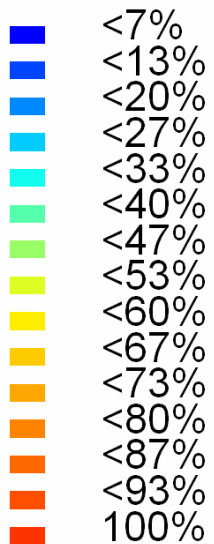


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période5b : Pic de crue

- Débit très fort : max à 3670m³/s
- Vents moyens à forts : pics à 14m/s
- Houle moyenne à forte : 4.5m

Temps (en%) de dépassement
TocMax > 0.25N/m²



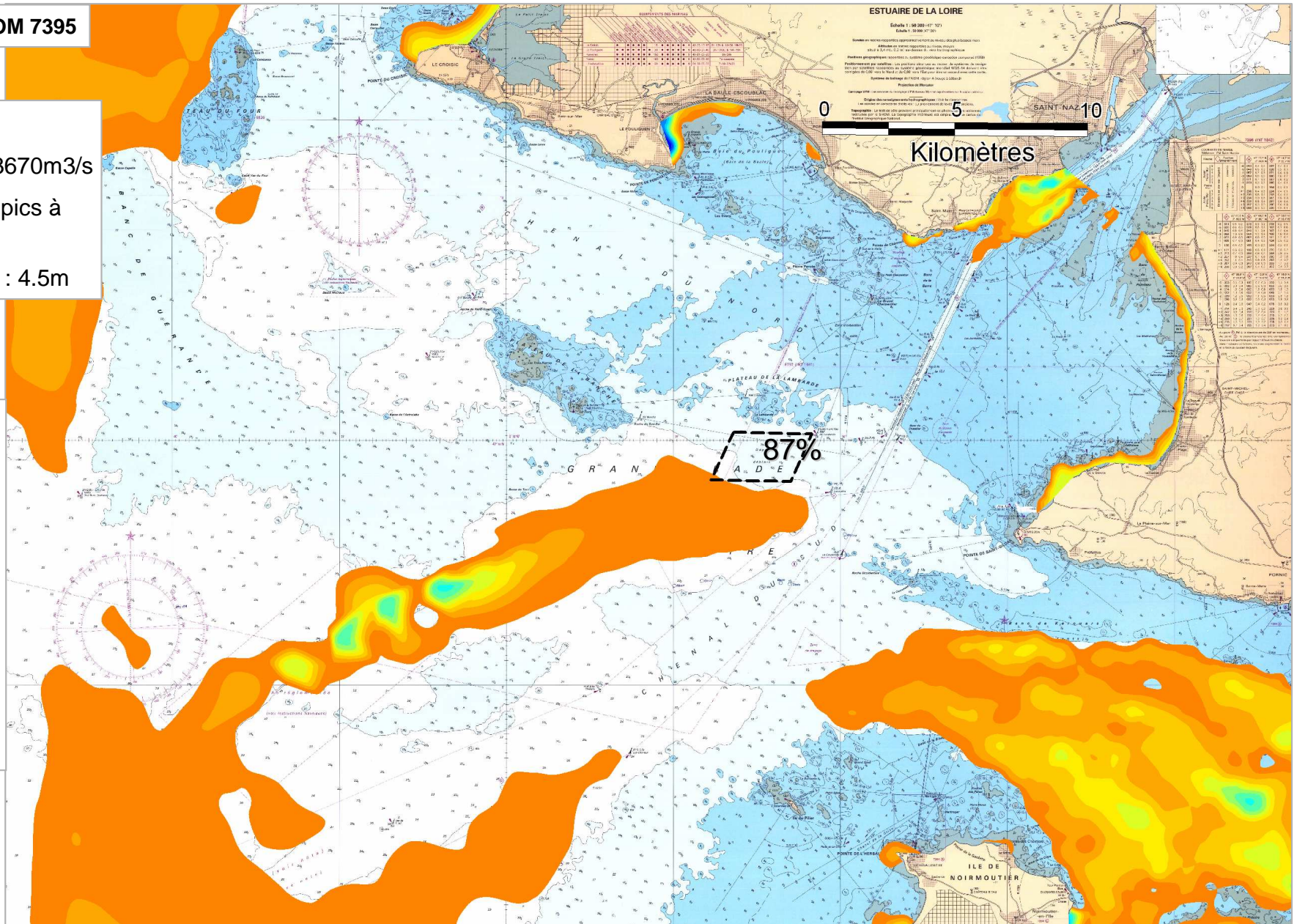
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période5b : Pic de crue

- Débit très fort : max à 3670m³/s
- Vents moyens à forts : pics à 14m/s
- Houle moyenne à forte : 4.5m

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $T_{ocwMax} > 0.25N/m^2$

- <53%
- <47%
- <40%
- <33%
- <27%
- <20%
- <13%
- <7%

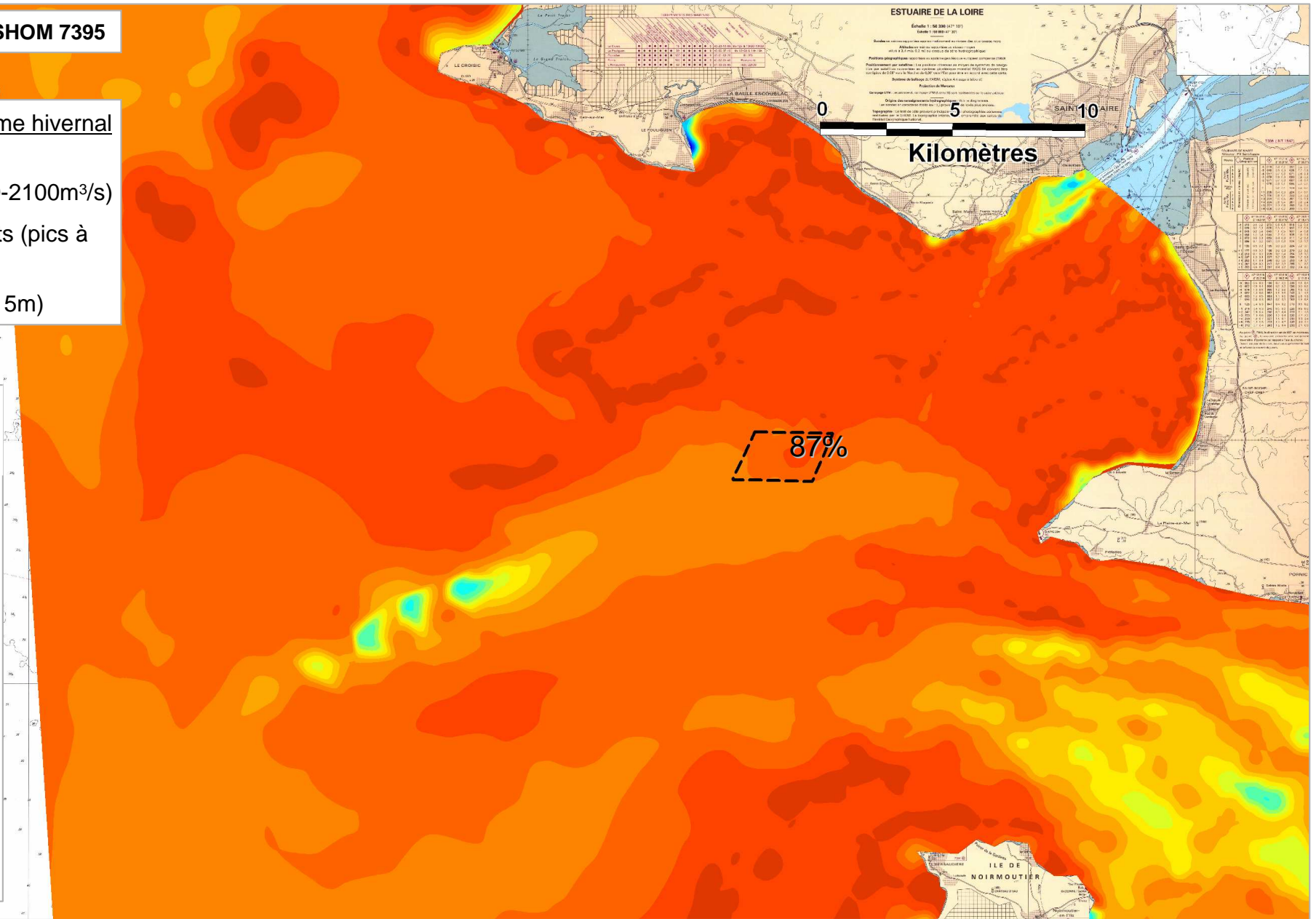
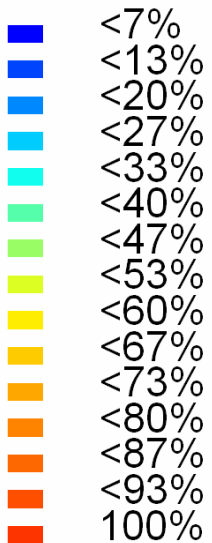


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période6 : Cas extrême hivernal en crue

- Débit très fort (1300-2100m³/s)
- Vents moyens à forts (pics à 14-16m/s)
- Houle forte (jusqu'à 5m)

Temps (en%) de dépassement
TocMax > 0.25N/m²











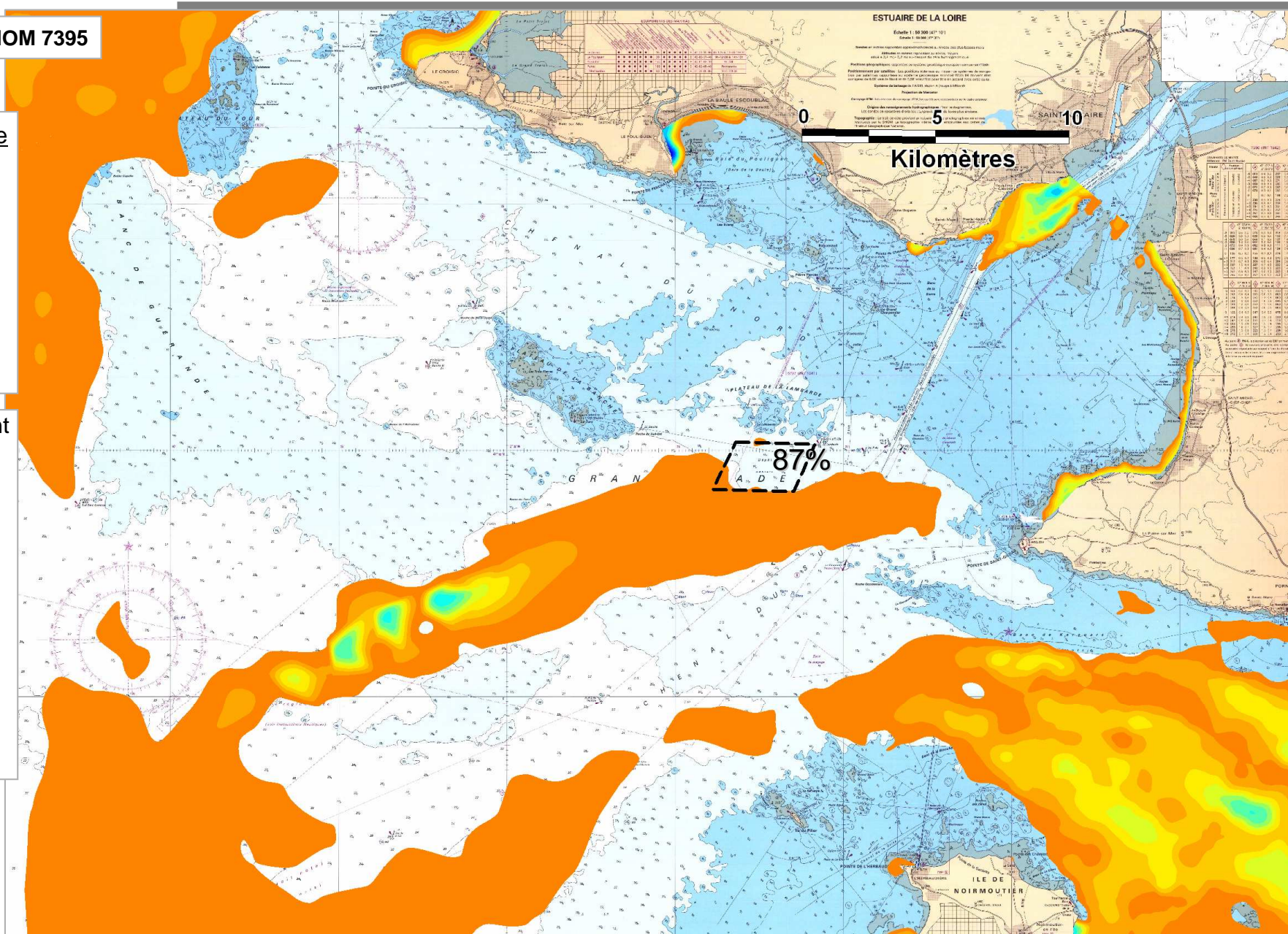
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période6 : Cas extrême hivernal en crue

- Débit très fort (1300-2100m³/s)
- Vents moyens à forts (pics à 14-16m/s)
- Houle forte (jusqu'à 5m)

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $T_{ocwMax} > 0.25N/m^2$

- | | |
|---|------|
|  | <53% |
|  | <47% |
|  | <40% |
|  | <33% |
|  | <27% |
|  | <20% |
|  | <13% |
|  | <7% |

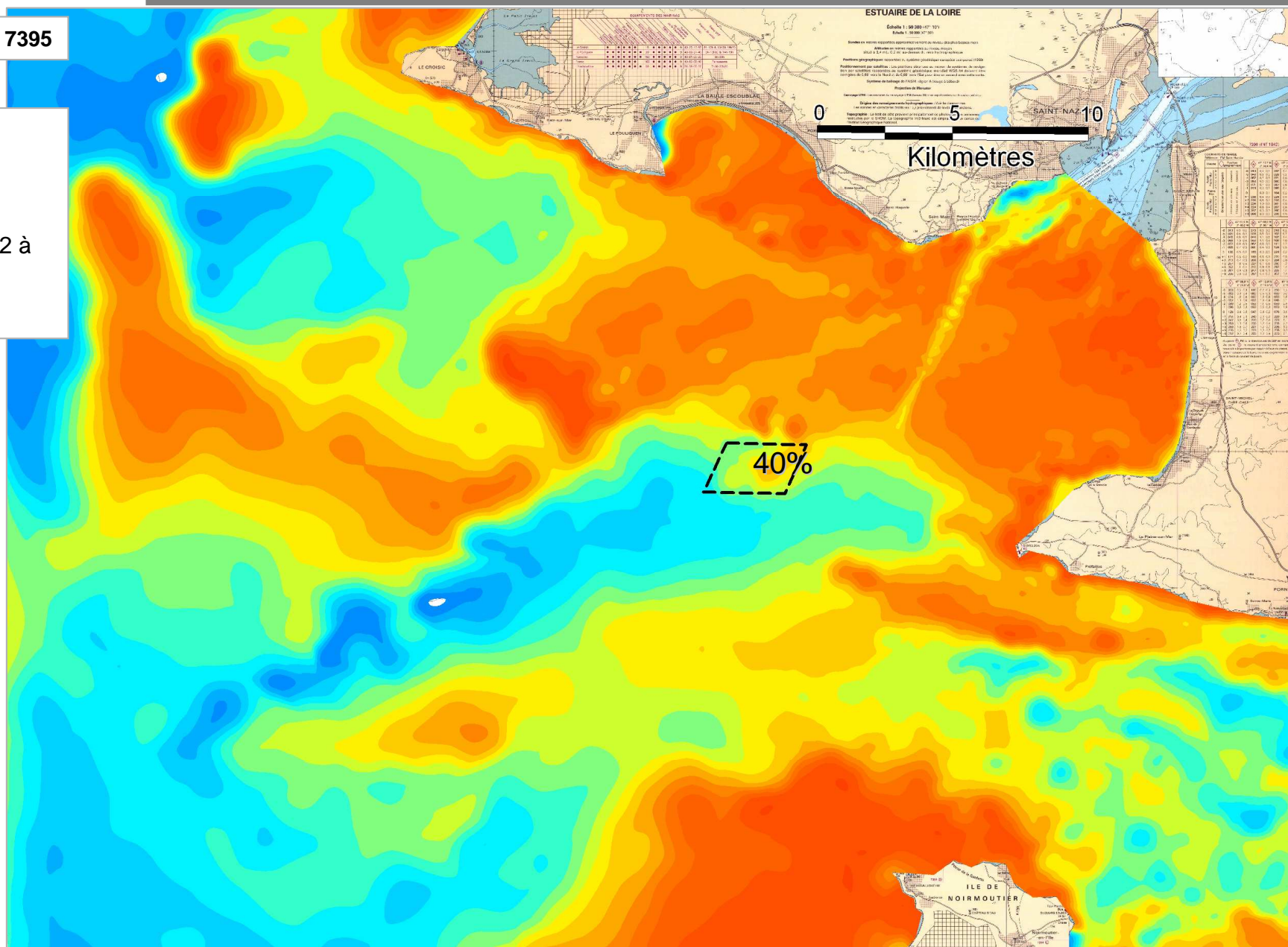


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période7 : Etiage et vents
d'Ouest à Nord

- Débit faible <400m³/s
- Vent moyen à fort (pics 12 à 17m/s)
- Houle moyenne <1.5m/s

Temps (en%) de
dépassement
TocMax > 0.25N/m²



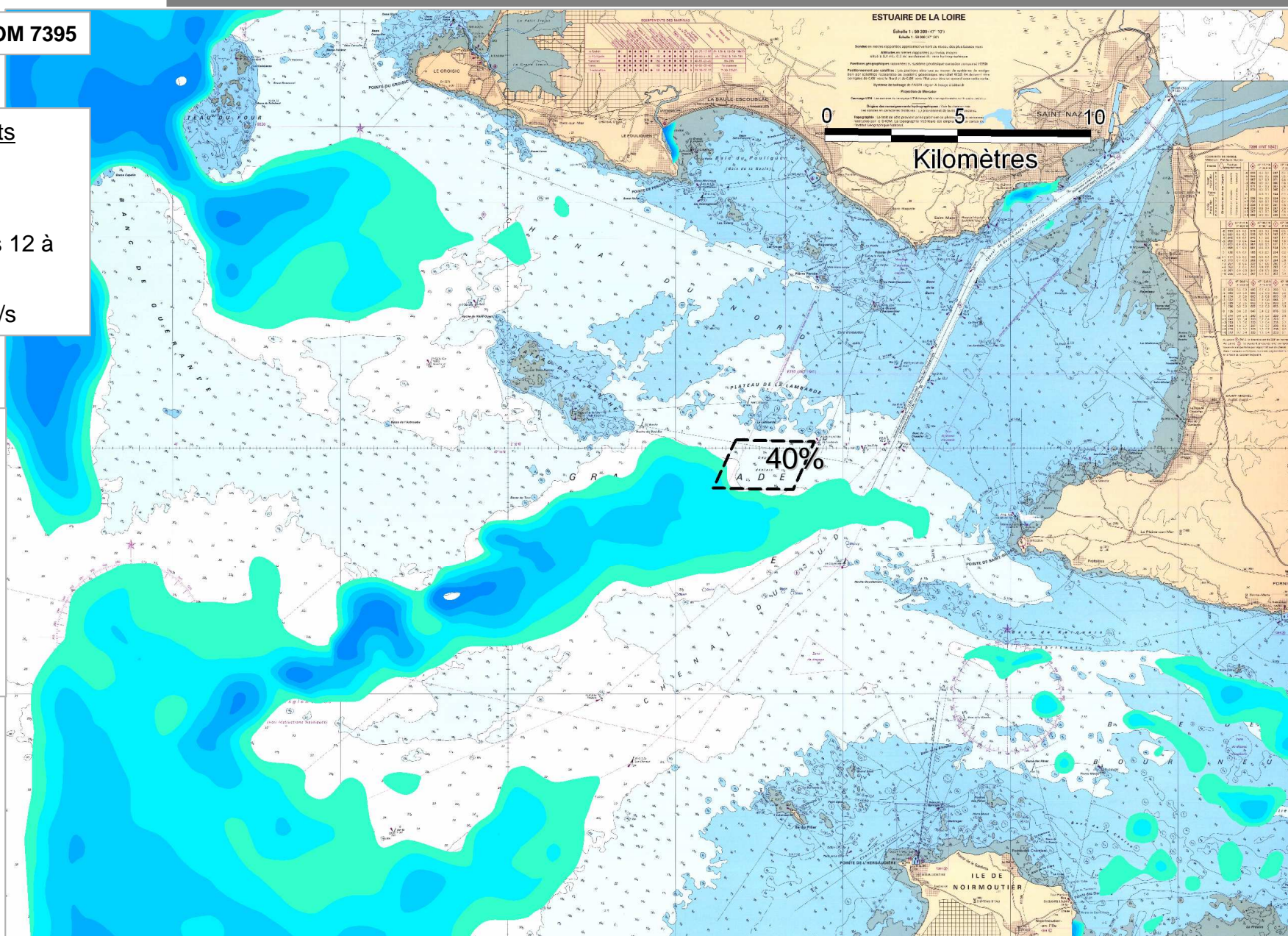
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période7 : Etiage et vents
d'Ouest à Nord

- Débit faible <400m³/s
- Vent moyen à fort (pics 12 à 17m/s)
- Houle moyenne <1.5m/s

Temps de dépassement
(heures) en moins par
rapport à la Lambarde
 $TocwMax > 0.25N/m^2$

- <33%
- <27%
- <20%
- <13%
- <7%

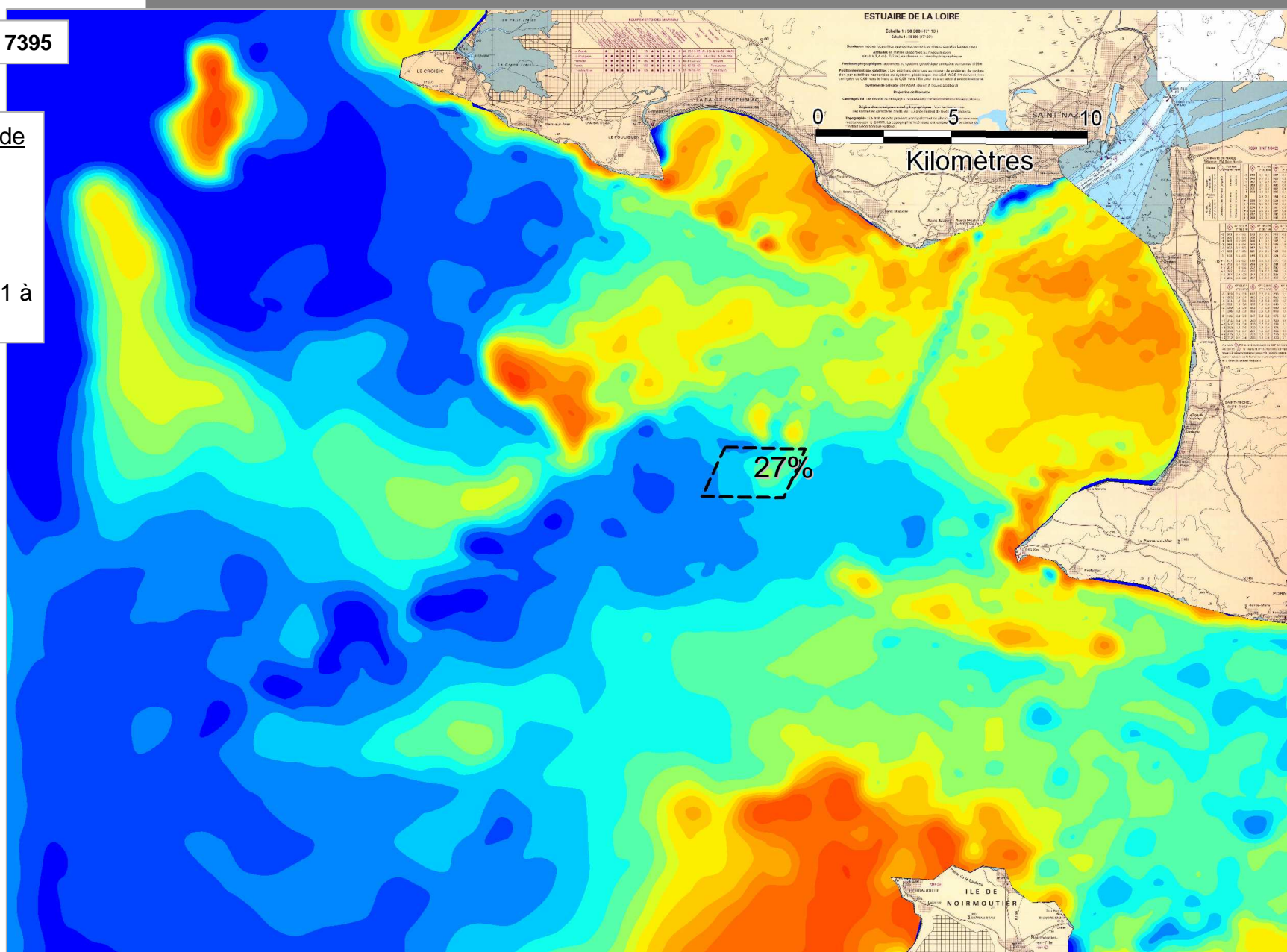
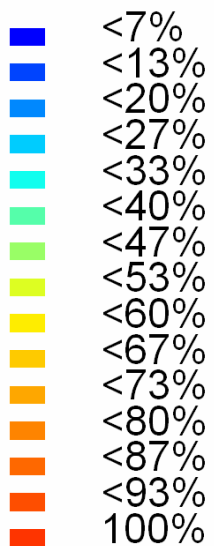


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période8 : Etiage et vents de Nord-Est et Ouest

- Débit faible <math><400\text{m}^3/\text{s}</math>
- Vent moyen (2 à 10m/s)
- Houle faible à moyenne (1 à 3m)

Temps (en%) de dépassement
TocMax > 0.25N/m²






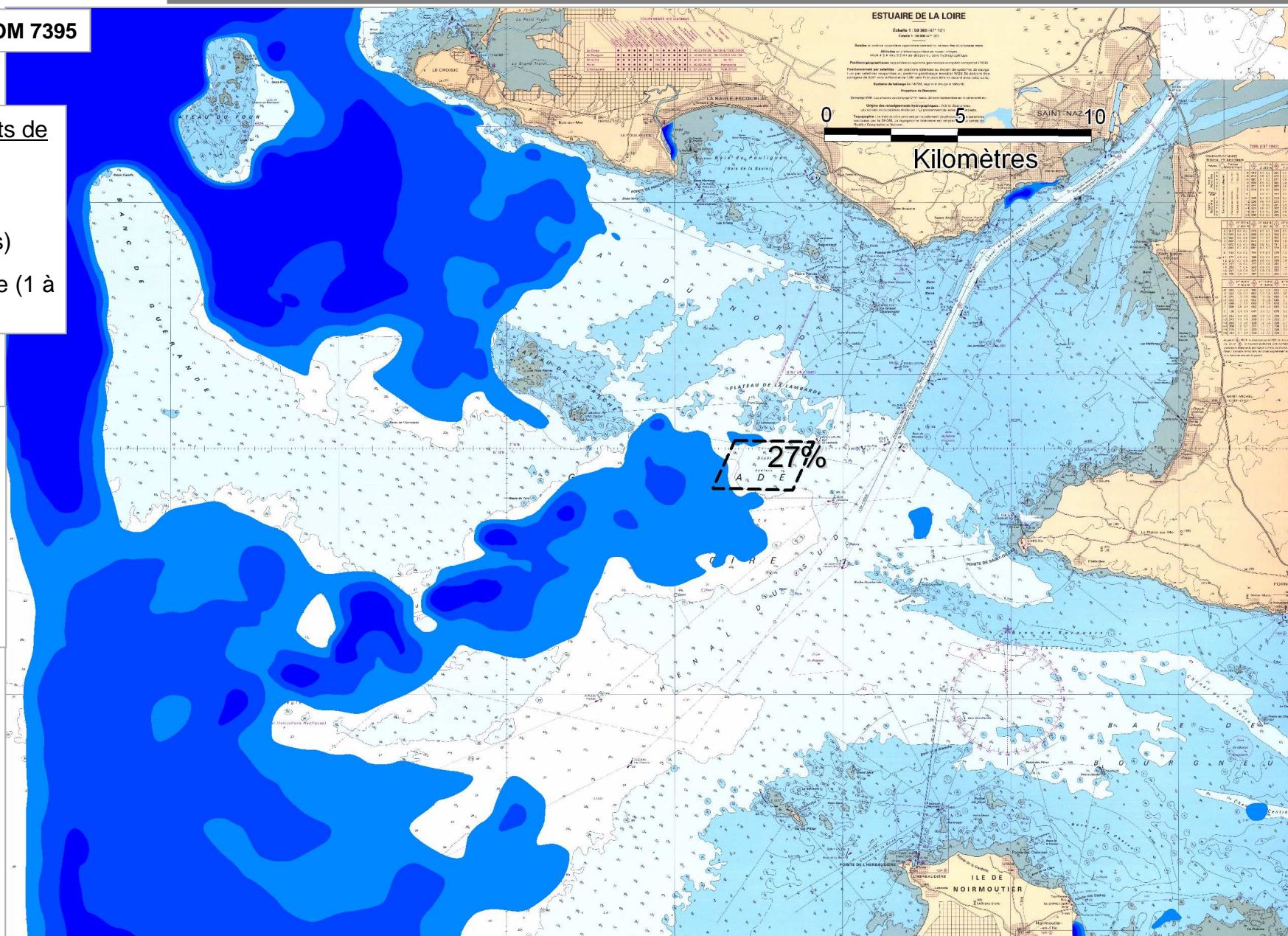
Fond de plan : carte SHOM 7395

Période8 : Etiage et vents de Nord-Est et Ouest

- Débit faible <400m³/s
- Vent moyen (2 à 10m/s)
- Houle faible à moyenne (1 à 3m)

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $T_{ocwMax} > 0.25N/m^2$

-  <20%
-  <13%
-  <7%

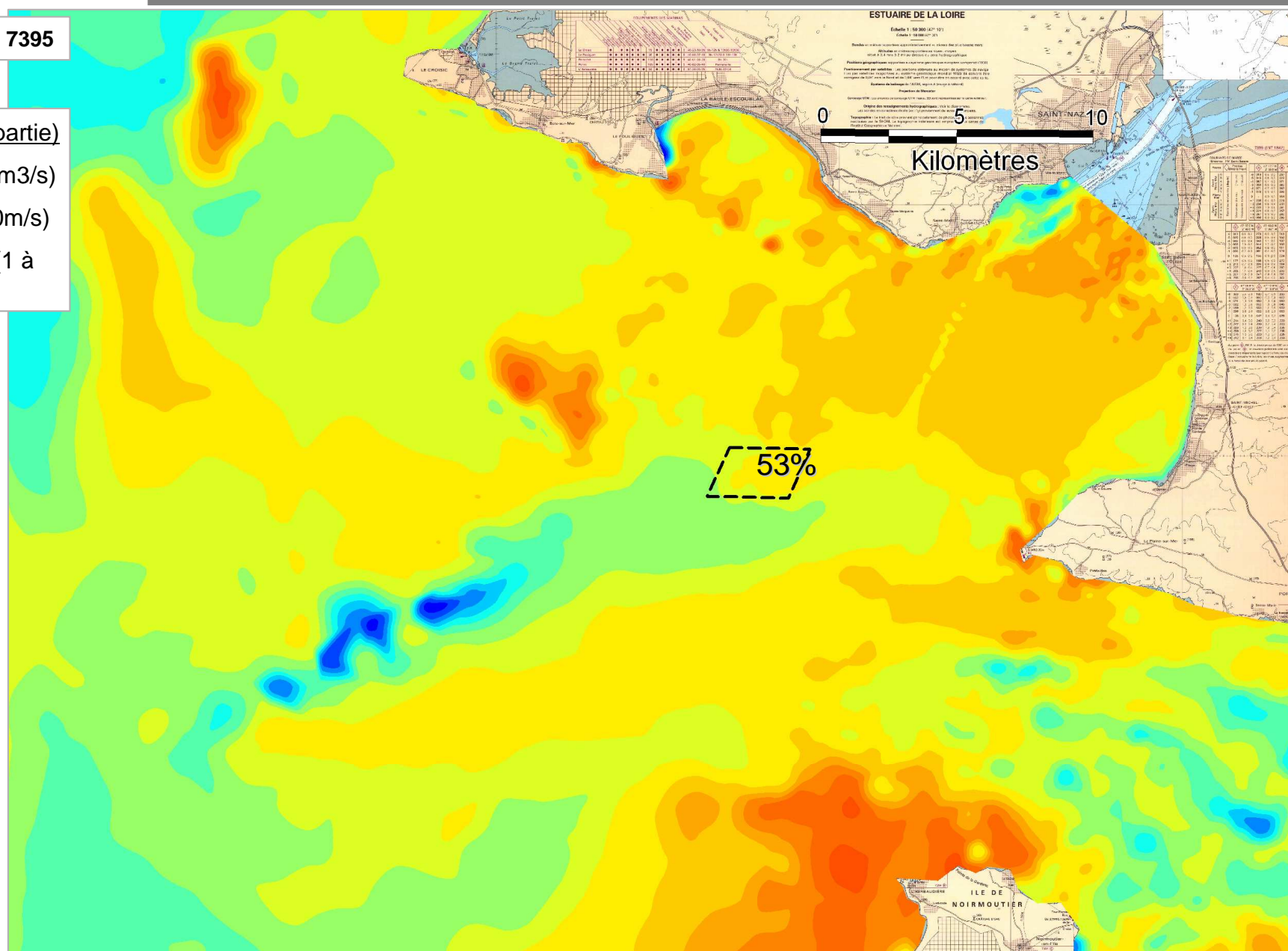
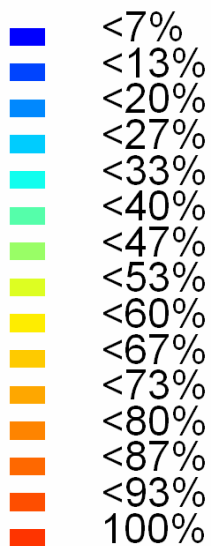


Fond de plan : carte SHOM 7395

Période9 : Vent d'Est (en partie)

- Débit moyen (800à 1200m³/s)
- Vent moyen à fort (2 à 10m/s)
- Houle faible à moyenne (1 à 3m)

Temps (en%) de
dépassement
TocMax > 0.25N/m²



Fond de plan : carte SHOM 7395

Période9 : Vent d'Est (en partie)

- Débit moyen (800à 1200m³/s)
- Vent moyen à fort (2 à 10m/s)
- Houle faible à moyenne (1 à 3m)

Temps de dépassement (heures) en moins par rapport à la Lambarde
 $T_{ocwMax} > 0.25N/m^2$

- <47%
- <40%
- <33%
- <27%
- <20%
- <13%
- <7%

