

63691

C920-SAL - E

direction de l'environnement et de l'aménagement littoral

Jean Claude Salomon et Marguerite Breton

Novembre 1999

# Etude mathématique de la dispersion des flux d'azote provenant du Quillimadec et de l'Alanan



**IFREMER**

IFREMER Bibliothèque de BREST



OEL08858

**ETUDE MATHEMATIQUE DE LA DISPERSION DES FLUX D'AZOTE  
PROVENANT DU QUILLIMADEC ET DE L'ALANAN**

**PAR**

**J.C. SALOMON ET M. BRETON**

## TABLE DES MATIÈRES

<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
A. OBJET DE L'ÉTUDE.....	1
B. PRINCIPE DE LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE.....	1
C. CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE.....	2
1. <i>Emprise et maillage</i> .....	2
2. <i>Conditions de simulation</i> .....	2
<b>II. RÉSULTATS DES CALCULS</b>	<b>4</b>
A. LA COURANTOLOGIE EN MARÉE MOYENNE .....	4
1. <i>Description synoptique</i> .....	4
2. <i>Les vitesses maximales</i> .....	6
B. LA DISPERSION DE L'AZOTE DISSOUS EN CONDITION RÉELLE.....	8
1. <i>Présentation synoptique</i> .....	8
2. <i>Discussion au point fixe</i> .....	8
<b>III. RECHERCHE D'UNE VOIE D'AMÉLIORATION :</b>	<b>11</b>
<b>TESTS DE SUPPRESSION DE LA DIGUE DE CROAZ-HENT</b>	<b>11</b>
1. <i>Objectif</i> .....	11
2. <i>Modifications bathymétriques</i> .....	11
3. <i>Résultats des simulations : test n°1</i> .....	11
4. <i>Résultats des simulations : test n°2</i> .....	12
<b>IV. CONCLUSION</b>	<b>13</b>
<b>V. ANNEXES</b>	<b>15</b>

## I. INTRODUCTION

### A. OBJET DE L'ETUDE

— Des marées vertes se produisent fréquemment en baie de Tréssény. Les algues dérivent en majorité dans la zone de marnage, entre la cote zéro et la limite supérieure de l'estran. Ces événements semblent liés à l'apport de sels nutritifs par les deux cours d'eau qui se jettent dans la baie ou à proximité : le Quillimadec et l'Alanan. —

Pour définir des mesures propres à lutter contre le phénomène, il a été proposé d'effectuer une étude de courantologie et de dispersion de la baie. L'objectif de cette étude sera de permettre la compréhension des mécanismes hydrodynamiques qui s'y déroulent et notamment de déterminer la trajectoire des eaux douces et leur taux de mélange. On définira ainsi les zones à risque vis-à-vis de l'eutrophisation, on quantifiera la part de responsabilité de chacun d'eux et on tentera de dégager des voies d'amélioration.

### B. PRINCIPE DE LA MODELISATION MATHEMATIQUE

Dans le milieu marin littoral, les études hydrodynamiques (courantologie et hauteurs d'eau) sont désormais effectuées avantageusement par la méthode de la modélisation mathématique. Cette méthode consiste à résoudre, grâce à un code de calcul spécifique dénommé modèle mathématique, et avec un minimum d'hypothèses simplificatrices, les équations de l'hydrodynamique. On peut ainsi connaître et prédire les courants et les dénivellations en tout lieu, à partir de la seule connaissance des niveaux d'eau sur le périmètre de la zone considérée. On en déduit aussi, le mouvement et la dispersion de toute substance dissoute ou en suspension qui se trouve déplacée sous l'action des courants.

Dans cette méthode, lorsque les conditions hydrodynamiques aux limites, évoquées ci-dessus, ne sont pas disponibles, puisque dépendantes des conditions extérieures de marée, de météorologie ou de débit fluvial, elles sont elles-mêmes le résultat d'une modélisation de plus grande emprise. On procède donc par la méthode dite «des modèles Gigognes» : A partir d'un premier modèle général du plateau continental et de la Manche, et moyennant des modèles intermédiaires d'ampleur de plus en plus réduite et de précision de plus en plus fine, on définit les conditions ambiantes nécessaires au fonctionnement du modèle de détail qui est destiné à résoudre le problème qui se pose.

Le processus d'enchaînement de ces modèles gigognes est actuellement parfaitement maîtrisé et automatisé. Aucune opération de mesure des courants n'est réellement indispensable. La comparaison des résultats du modèle avec les atlas de courants disponibles et les prédictions de marée est suffisante pour s'assurer que le fonctionnement du modèle est correct.

Les courants marins près des côtes bretonnes, comme dans l'ensemble de la Manche et de la Mer d'Iroise, sont essentiellement des courants de marée. Ils intéressent donc toute la masse d'eau, ce qui permet de les étudier dans une schématisation bidimensionnelle. Chaque grandeur : vitesse, salinité, turbidité, etc. est alors décrite par sa valeur moyenne sur la hauteur d'eau.

Le logiciel de modélisation utilisé pour cette étude, est le code MARS-2D, propriété de l'IFREMER et très largement utilisé depuis une vingtaine d'années. MARS-2D est un logiciel très

performant qui permet des calculs de haute définition. IFREMER valide régulièrement ce code dans des épreuves de test et d'intercomparaison internationales.

## C. CARACTERISTIQUES DU MODELE

### 1. Emprise et maillage

Conformément à la proposition technique qui définit l'étude, nous avons réalisé un modèle mathématique qui déborde largement de la baie de Tréssény. On s'affranchit ainsi de tout problème de condition aux limites et les panaches de dilution se trouveront cantonnés à l'intérieur de la zone d'étude pendant plusieurs cycles de marée.

Le modèle s'étend du Corréjou (à l'ouest) aux roches de Roc'h ar Poum (à l'est) et aux fonds de 35 mètres environ (au nord).

Les coordonnées précises de ce quadrilatère sont les suivantes :

Limite nord :	48° 41' 31" Nord
Limite sud :	48° 36' 58" Nord
Limite est :	4° 21' 27" Ouest
Limite ouest :	4° 31' 03" Ouest

La dimension de ce quadrilatère est de 11 800 \* 8 500 mètres.

La proposition technique prévoyait la construction d'un maillage de 50 mètres de côté sur tout le domaine. Toutefois, compte tenu des grandes irrégularités de bathymétrie et de la forme très découpée de la côte, nous avons préféré aller au-delà de cet engagement en diminuant la taille de la maille jusqu'à **30 mètres**. La matrice de calcul a ainsi une dimension de (393 \* 282), ce qui représente 110 826 points de calcul.

Ce modèle se trouve inclus dans un modèle général de la Manche et de la Mer d'Iroise, par le biais de modèles intermédiaires, de taille supérieure et de maille plus grossière, selon le processus de modèles Gigogne que l'on a brièvement décrit plus haut.

La matrice des fonds a été construite à partir des cartes marines disponibles, complétées par un travail spécifique de lever bathymétrique des zones découvrantes, réalisé par la société ALIDADE. La bathymétrie du modèle dans la zone centrale est donc parfaitement définie et bien traduite par la maille très fine qui est utilisée. Dans les secteurs plus éloignés, les fonds du modèle seront moins précis, notamment à cause du très grand nombre de roches découvrantes non reconnues, mais cela aura peu d'impact sur la qualité des résultats du modèle dans la région de Tréssény.

### 2. Conditions de simulation

Grâce à la méthode des modèles Gigogne, le modèle de détail de la région de Tréssény peut être utilisé pour toute situation combinée de marée et de météorologie, réelle ou théorique.

On procédera ici à deux séries de simulations :

- Une simulation théorique d'un cycle de marée moyenne qui se reproduirait indéfiniment identique à lui-même. On analysera dans ces résultats, la courantologie de marée.

- Une simulation du cycle de marée semi-mensuel qui reproduit les mécanismes réels de dispersion en mer des eaux fluviales et de leur contenu dissous.

Le calcul de la dispersion de l'azote dissous apportée par les cours d'eau sera effectué à partir de la simulation de ce cycle de 15 jours, entre une vive eau et la vive eau suivante, après une durée initiale de 5 jours nécessaire à la mise en charge du modèle. Cette situation de marée correspond, par exemple, à celle qui se produira entre le 5 et le 20 Mars 2000 : Vive eau de coefficient 98, puis morte eau de coefficient 47 et retour vers une vive eau maximum de coefficient 104. La simulation des apports du Quillimadec et de l'Alanan sera faite séparément, de manière à permettre de distinguer le rôle de chacun de ces cours d'eau.

Les conditions météorologiques ambiantes seront supposées être une situation de vent de nord-ouest, de 6 m/s.

Les flux d'azote apportés par le Quillimadec et le Alanan, seront respectivement fixés à 592 et 35 kg/marée.

Chacune de ces deux séries de simulations décrites plus haut sera effectuée trois fois :

- dans les conditions bathymétriques actuelles,
- dans l'hypothèse de la suppression de la digue du club nautique,
- dans l'hypothèse de la suppression de la digue du club nautique, y compris un arasement des fonds à la cote 0 NGF.

## II. RESULTATS DES CALCULS

### A. LA COURANTOLOGIE EN MAREE MOYENNE

#### 1. Description synoptique

On trouvera planches 1 à 12 (en annexe) une description de la courantologie en situation de marée moyenne (coefficient 70), en l'absence de vent. Pour des raisons de lisibilité, un seul point de calcul sur 4 est représenté.

De manière générale, la courantologie du secteur s'avère très complexe et reflète celle de la bathymétrie.

Du large vers la côte, on pourra distinguer trois régions de régime hydrodynamique différent :

- La zone la plus au large (par des fonds de l'ordre de 30 mètres), où les courants sont des courants de marée à peu près purs,
- La zone en deçà de ces profondeurs où les courants sont davantage marqués par la bathymétrie et peuvent être le siège de tourbillons et de contre-courants. Ces derniers apparaissent et disparaissent selon les phases de la marée.
- La bande la plus littorale, où le régime des courants se simplifie. Ils se transforment en courants de vidange et de remplissage des nombreuses criques et de l'estuaire du Quillimadec.

Aux environs de la pleine mer (figure n°1), au large, les courants sont encore des courants de flot, orientés parallèlement à la côte (soit vers l'est-nord-est). Cela traduit le caractère progressif de l'onde de marée. Les renverses se trouvent donc décalées de une à deux heures par rapport aux étales. Dans la zone intermédiaire, le courant est toujours orienté au flot mais un large tourbillon se maintient au dessus des hauts fonds de Amann ar Rouz. Il crée, à l'est de la baie de Trésseny jusqu'à Kerlouarn, un courant de secteur ouest, dans la direction principale du jusant. Un tourbillon semblable, d'origine topographique, existe également au nord du port du Corréjou. Dans l'estuaire le courant se renverse à cet instant.

Une heure après la pleine mer, le courant est renversé (désormais orienté vers l'ouest) sauf par les plus grandes profondeurs, sur le plateau d'Ar Guen. Les vitesses sont encore faibles (de l'ordre de ½ noeud), sauf dans les passes entre les roches découvertes (~ 1 noeud). Peu de tourbillons se sont encore déclenchés et le champ de courants est relativement homogène. La baie de Trésseny ainsi que le Porsolier de Curmic étant largement inondés, sont le siège d'un courant de jusant assez uniforme.

A partir de B.M. - 4 heures, la baie de Tresseny se trouve pour moitié découverte et le flux d'eau y est principalement localisé près de la rive droite. Les courants à l'entrée de baie

deviennent très faibles. Au-delà, le courant de jusant devient fortement hétérogène, au fur et à mesure que les innombrables roches découvrent.

Aux environs de B.M. - 2 h. et B.M. - 1 h., le courant demeure assez intense au large. Par contre, il diminue fortement à proximité de la côte (fonds inférieurs à 10 ou 15 mètres). Dans ce secteur intermédiaire, les roches découvrentes forment des barrages qui resserrent le courant de jusant dans de nombreuses passes. Dans la baie et dans le Porsolier qui sont alors largement découverts, le courant se trouve confiné aux 2 petits chenaux qui serpentent près de la rive droite.

Lors de la basse mer, dans les secteurs les plus profonds, le courant est encore orienté au jusant (au large et dans le chenal à l'est de Lizenn Du) ce qui témoigne à nouveau du caractère partiellement progressif de la marée. A l'est, au-delà de Kerlouarn, le courant s'oriente immédiatement au flot. Dans la baie et sa proximité immédiate, le courant est toujours de jusant.

A B.M. + 1 h. et B.M. + 2 h., le courant est orienté au flot (direction prédominante de secteur Est) mais les nombreux hauts fonds et roches découvrentes créent un champ très hétérogène. Les vitesses les plus fortes sont atteintes dans les passes et sur les hauts fonds de Amann ar Rouz et ar Guern. Dans la baie et dans le Porsolier, les fonds étant découverts, seuls persistent les débits des cours d'eau qui s'écoulent en rive droite.

A B. M. + 3 h. (mi-marée), le flot pénètre dans la baie jusqu'aux environs de Tresseny et de Dibénou où il rencontre le jusant fluvial. A ce niveau, se crée un point de convergence. Plus au large le courant est un courant de flot, toujours très hétérogène du fait des irrégularités des fonds, et des tourbillons naissent notamment sur le plateau d'Amann ar Rouz.

En fin de marée montante (B.M. + 4 et B.M. + 5 h.), le champ de courant devient un peu plus homogène car nombre de petites roches se trouvent désormais recouvertes, mais la grande structure d'Aman ar Rouz s'amplifie et le tourbillon du nord de Corréjou s'installe. Dans la baie de Tréssény et dans le Porsolier, le courant est désormais au flot et les eaux fluviales se trouvent repoussées vers l'amont.

L'étale de pleine mer survient alors qu'au large, les courants sont encore des courants de flot. Le cycle décrit ci-dessus reprend.

Au total, le flot dans l'estuaire n'aura donc duré que de 1 à 3 heures (selon la distance au large).



## 2. Les vitesses maximales

On présente ci-après, figure 13, les vitesses maximales atteintes au cours du cycle de marée moyenne décrit ci-dessus. Ce champ de courants est une synthèse des vitesses maximales atteintes localement au cours du cycle de la marée. Il ne représente aucune phase réelle de la marée.

On y observe d'abord le gradient général des courants depuis le large (fonds de plus de 20 m) vers la zone littorale et les grèves. On observe également la signature des hauts fonds : vitesses plus faibles lorsqu'ils sont de grande étendue, ou plus fortes dans le cas contraire, ainsi que dans les nombreuses passes entre roches découvrantes.

On notera surtout que dans toute la zone du Centre Nautique, même au centre de la crique, les courants ne dépassent jamais la valeur (faible) de 15 cm/s. C'est évidemment une circonstance favorable pour la décantation de substances ou d'organismes (animaux et végétaux) qui se trouveraient entraînées à cet endroit, après avoir été mis en suspension dans des zones proches où l'hydrodynamisme est plus fort.

D'autres secteurs, à proximité immédiate du Curnic et du Quillimadec présentent les mêmes caractéristiques hydrodynamiques : Le Porsolier et les grèves de Porzguen.

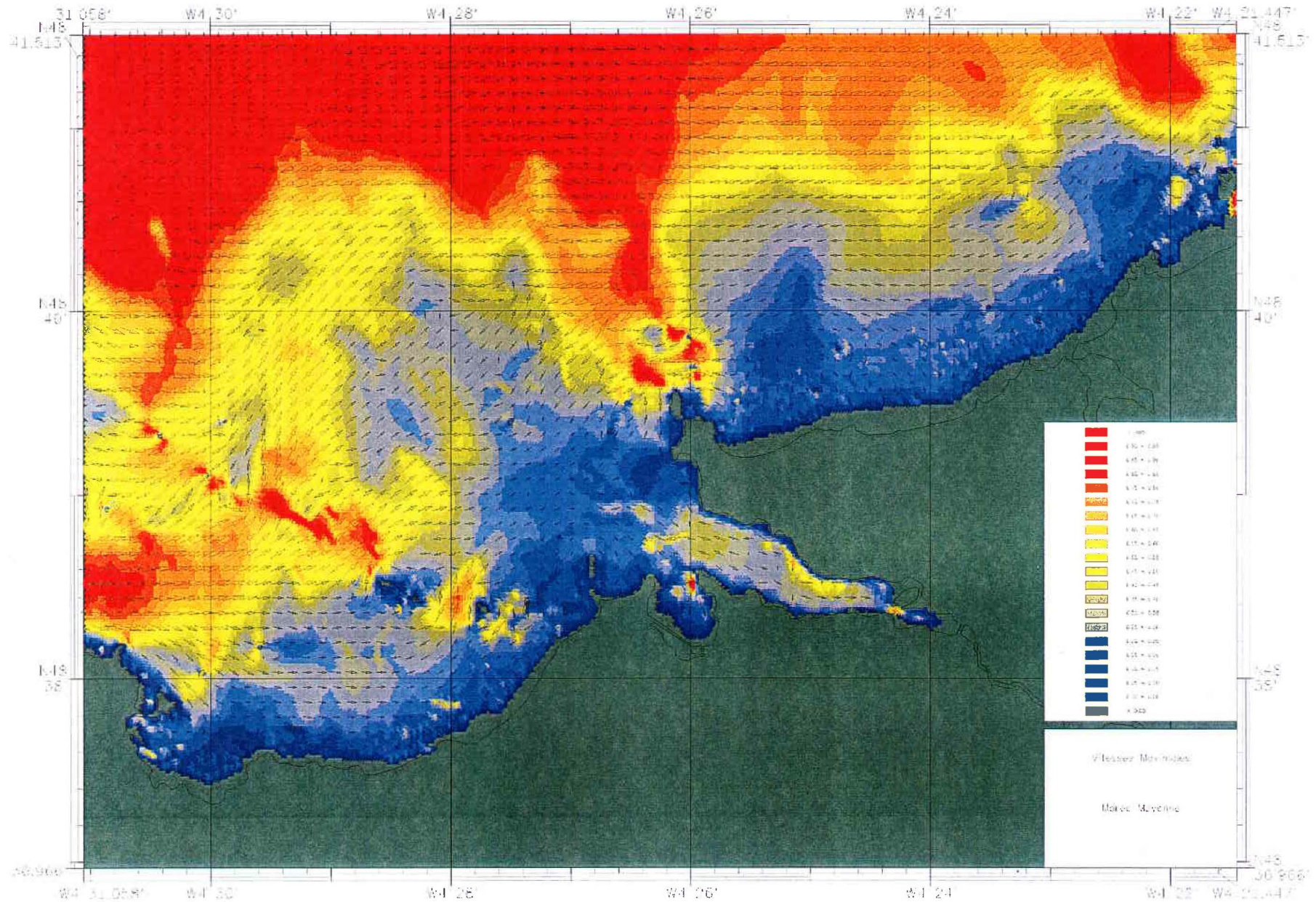


Figure 13 : Vitesses maximales au cours d'un cycle de marée moyenne

## B. LA DISPERSION DE L'AZOTE DISSOUS EN CONDITION REELLE

### 1. Présentation synoptique

#### a) Les apports du Quillimadec

Les planches 14 à 17 (morte eau) et 18 à 21 (vive eau) (en annexe) présentent la teneur en azote à quatre phases de la marée (P.M., P.M. + 3 h., B.M. et B.M. + 3 h.). Les concentrations sont indiquées par le logarithme de leur valeur exprimée en  $g/m^3$ .

On constate d'abord le mouvement de va et vient au gré de la marée, et l'élimination du panache rapidement vers le large en direction du Nord-Ouest puis du Nord-Est. On note également la présence d'une ligne de fort gradient des concentrations dans la partie basse de l'estuaire (entre 0,1 et 10 mg/l) qui témoigne que les eaux du Quillimadec ne se trouvent significativement diluées qu'à l'extérieur de la baie. Elles sont ensuite rapidement évacuées sans être rabattues sur aucun autre endroit de la côte.

Les fortes concentrations en azote demeurent donc à l'intérieur de l'estuaire, en amont de la ligne Dibennou-Quélenec pendant environ 9 heures par marée, pratiquement sans aucune dilution. Ce n'est qu'autour de la pleine mer, en fin de flot et début de jusant, que les eaux marines repoussent celles du Quillimadec (teneurs de l'ordre de 10 mg/l) vers le fond de la baie. Par forte marée, ces eaux sont repoussées jusqu'au niveau des grèves de Guisseny, mais en morte eau elles demeurent à mi-chemin, au niveau de Tresseny.

On constate également que, quel que soit le coefficient de marée, la plage du Centre Nautique demeure à l'écart du flux d'azote originaire du Quillimadec. Ces eaux n'y parviennent qu'en situation de vive eau, et seulement à l'état de traces. On peut toutefois imaginer que par situation de vent de nord à nord-est, elles y pénétreraient davantage.

#### b) Les apports de l'Alanan

Comme dans le cas précédent, les planches 22 à 29 présentent la teneur en azote à divers instants de la marée. On constate que ce panache, lorsqu'il se trouve à l'extérieur du Porsolier et de la pointe de Beg ar Skeiz, est très rapidement dilué. Ceci, particulièrement en vive eau. Il est ensuite évacué vers le Nord. On observera toutefois que, par faible coefficient, les eaux issues du Porsolier se trouvent reprises par le flot et partiellement repoussées à l'intérieur de la baie de Tréssény. Il y a donc communication depuis la baie du Curnic vers celle de Tréssény, mais non dans le sens inverse.

La plage du Centre Nautique apparaît également maintenue à l'écart des eaux de l'Alanan.

### 2. Discussion au point fixe

Les planches 31 à 33 (en annexe) présentent le résultat des mêmes calculs en 4 points différents.

- Point A : A l'intérieur de la crique du Centre Nautique.
- Point B : Dans le bas estuaire du Quillimadec, aux alentours de la cote 0 m.
- Point C : Deux milles au large, dans la direction nord-ouest

- Point D : A l'intérieur de l'estuaire, légèrement en aval des grèves de Guissény.

Ces 4 points sont repérés sur la figure 30.

- Dans la crique du Centre Nautique (point A) les teneurs en azote apportée par le Quillimadec (fig. 31), sont toujours très faibles, de l'ordre de quelques  $\text{mg/m}^3$  en période de vive eau et pendant la phase déchet qui suit. Elles sont encore plus faibles durant la phase de revif.

Les teneurs en azote apportée par l'Alanan sont encore plus faibles et demeurent en toute circonstance inférieures à  $1 \text{ mg/m}^3$ . Elles ne sont pas présentées sur nos graphiques.

- A l'entrée de la baie de Tréssény (fig. 32), près de la cote 0 (point B), les teneurs en azote liées au Quillimadec sont très fortes et atteignent  $10 \text{ mg/l}$  en basse mer de vive eau ou de marée moyenne. En morte eau, elles sont plus faibles, de l'ordre de  $1 \text{ mg/l}$ .

Celles qui sont liées à l'Alanan sont également décelables, mais à un niveau de l'ordre de  $1$  à  $10 \text{ mg/m}^3$  seulement.

- Au large (point C, fig. 31), l'influence de l'Alanan est pratiquement indécélable, mais celle du Quillimadec atteint  $10 \text{ mg/m}^3$  en situation de morte eau.

- A l'intérieur de la baie (point D, fig. 33), l'influence du Quillimadec est considérable. Du fait du très faible mélange avec les eaux marines, les concentrations sont identiques à celles du cours d'eau en amont (ici  $17 \text{ mg/l}$ ) durant 6 à 9 heures par cycle de marée. Aux environs de la basse mer, les teneurs diminuent très fortement ( quelques dizaines de  $\text{mg/m}^3$  ) en situation de vive eau, mais peu en morte eau (plus de  $1 \text{ mg/l}$ ).

Conformément à la remarque faite plus haut, sur l'intrusion des eaux de l'Alanan dans l'estuaire du Quillimadec, on y observe bien la présence d'azote ayant cette origine, même à cet endroit relativement amont, à des teneurs comprises entre  $1$  et  $10 \text{ mg/m}^3$ .

### 3. Conclusions sur la situation actuelle

Les simulations numériques montrent que les eaux fluviales, tant du Quillimadec que de l'Alanan, évacuées de leur estuaire d'origine en fin de jusant, sont dispersées en mer, en direction du nord-ouest puis du nord, sans transiter par la baie du Centre Nautique. En marée montante, le premier flot est orienté en direction du nord-est, ce qui éloigne les eaux fluviales de la plage du Centre Nautique. Cette dernière, de par sa situation en rive gauche de l'estuaire, se trouve donc, pour l'essentiel, hors d'atteinte des eaux fluviales et de leur contenu dissous. Ce n'est que par des conditions météorologiques de secteur nord assez violentes que l'on peut imaginer qu'elles dériveront temporairement vers la plage du Centre Nautique en quantité significative. De nouvelles simulations pourraient conclure sur ce point.

Par contre, tant que ces eaux fluviales n'ont pas franchi la limite aval de la baie de Tréssény, elles demeurent confinées à l'intérieur de l'estuaire, par des profondeurs très faibles et presque sans dilution avec les eaux marines. Elles restent quasiment immobiles dans le bas estuaire, à la hauteur de Dibennou et de Roc'h Quélenec durant 9 heures sur 12. Ces circonstances sont très favorables à une consommation locale des substances nutritives apportées par le Quillimadec, ainsi que par l'Alanan, dont une partie des eaux rejoint celles du Quillimadec à l'intérieur de l'estuaire.

Certaines parties du littoral, très proches du bas estuaire, se trouvent abritées des courants (et partiellement de la houle). Les vitesses y étant inférieures à 15 cm/s, ces criques peu profondes constituent des pièges hydrodynamiques efficaces pour des éléments en suspension dans l'eau, qui trouvent là des conditions favorables à leur dépôt. Dans cette éventualité, elles ne sont plus reprises ultérieurement par les courants. Il s'agit des baies du Centre Nautique, du Porselier et des grèves de Porzguen.

Le mécanisme de production des marées vertes serait donc le suivant : Consommation des sels nutritifs et production de biomasse algale dans le bas estuaire, en aval de Tréssény, puis dispersion des algues, échouage et accumulation dans la baie du Club Nautique, hors du flux d'azote.

### III. RECHERCHE D'UNE VOIE D'AMELIORATION :

#### TESTS DE SUPPRESSION DE LA DIGUE DE CROAZ-HENT

##### 1. Objectif

On a établi plus haut que l'anse du club nautique se trouvait à l'abri des flux directs d'azote en provenance du Quillimadec, mais que les courants y étaient si faibles que des algues qui s'y trouveraient apportées par les courants ou par la dispersion auraient les plus grandes chances de s'y décanter sans jamais être reprises par les courants.

La situation abritée de cette crique est due à sa localisation entre la pointe de Beg ar Skeiz et l'amas rocheux de l'île de Croaz-Hent. Cette position naturellement favorable, s'est trouvée renforcée par la construction d'une digue sur l'amas rocheux qui relie cette île à la côte, sur une distance de 400 m environ.

On peut donc légitimement penser que cette digue favorise l'échouage d'algues sur la plage du Club Nautique. Le modèle permettra de la supprimer virtuellement, et de constater, toutes choses demeurant égales par ailleurs, si l'hydrodynamisme et la capacité dispersive du site s'en trouvent significativement améliorées.

Toutes les simulations précédentes (cycle de marée moyenne et cycle de morte eau - vive eau) seront donc reprises deux fois après avoir modifié le fichier de bathymétrie comme suit :

##### 2. Modifications bathymétriques

En nous référant au lever bathymétrique réalisé, nous avons supprimé l'obstacle de la digue, et modifié la cote des fonds entre l'île et la côte de deux manières :

- En élimant seulement l'obstacle en béton et enrochements (test n°1),
- En éliminant la digue et en supposant avoir également arasé les dépôts sableux constitués à l'abri de la digue, jusqu'à la cote 0 NGF, environ (test n°2).

##### 3. Résultats des simulations : test n°1

###### a) Les courants en marée moyenne

La figure 34 présente une carte des vitesses maximales, que l'on pourra comparer à la figure 13. On constate que les courants se trouvent peu modifiés. Bien sur, à l'emplacement de l'actuelle digue, ils atteignent 30 cm/s alors qu'ils sont nuls aujourd'hui, mais à quelque distance la modification est à peine perceptible : Les "survitesses" sont inférieures à 5 cm/s.

###### b) La dispersion de l'azote du Quillimadec

Les figures 35 et 36 (situation de pleine mer en vive eau et en morte eau) résument la simulation du cycle semi-mensuel de la marée. On pourra les comparer aux figures 14 et 18. Même en situation de vive eau, période où la suppression de la digue se fait davantage sentir aux

environs de la pleine mer, la dilution de l'azote ne se trouve pratiquement pas modifiée. Des différences sont à peine perceptibles. Avec la présence de la digue, ou sans celle-ci, l'anse du Club Nautique se trouve donc à l'écart du flux d'azote. Comme précédemment, l'azote stagne assez longtemps dans le bas estuaire où il peut être consommé localement par la production primaire ou sinon se trouve dispersé vers le large, sans marquer la rive gauche de la baie.

Il apparaît donc, que la seule suppression de la digue n'est pas de nature à changer significativement la situation actuelle.

#### 4. Résultats des simulations : test n°2

##### a) Les courants en marée moyenne

Comme ci-dessus, la figure 37 présente une carte des vitesses maximales au cours d'un cycle de marée moyenne. On pourra la comparer aux figures 13 et 34.

Il s'avère que la suppression de la digue et du cordon sableux n'augmente que très modérément les vitesses maximales dans l'anse du club nautique. Par contre, à l'emplacement actuel de l'ouvrage proprement dit les courants atteignent désormais un nœud, ce qui interdirait tout dépôt d'algues, tandis qu'au long de la dune à l'est du club nautique, les courants demeurent quasiment inchangés

##### b) La dispersion de l'azote du Quillimadec

Les figures 38 et 39 (situation de P.M. en vive eau et en morte eau) résument la simulation du cycle semi-mensuel de la marée. On pourra les comparer aux figures 14 et 18 ou 35 et 36.

- En vive eau, les modifications sont peu importantes. Les eaux fluviales se trouvent repoussées à l'intérieur de l'estuaire et les teneurs en azote en amont de Tréssény sont à peu près identiques à leur valeur actuelle. En aval, par contre, la suppression de la digue augmente légèrement la capacité dispersive et les teneurs en azote se trouvent localement divisées par un facteur 2, environ pour des valeurs de l'ordre de 0,1 à 0,01 g/m<sup>3</sup>.

- En morte eau les différences sont plus notables. Les teneurs à l'entrée du Porsolier sont désormais de 0,1 à 0,3 g/m<sup>3</sup> alors qu'elles étaient nulles précédemment. On constate donc que la suppression de la digue de Croaz-Hent, en renforçant le courant de sud-ouest en flot, au large du Curnic, attire très légèrement le panache du Quillimadec vers l'entrée du Porsolier. C'est un résultat inattendu, de manière générale le panache prend désormais une position qui l'éloigne de la rive droite de l'estuaire et le rapproche du Curnic. Cette conséquence pourrait s'avérer localement négative, en favorisant le développement des algues à l'entrée du Porsolier.

#### IV. CONCLUSION

Les simulations numériques montrent que les eaux fluviales, tant du Quillimadec que de l'Alanan, évacuées de leur estuaire d'origine en fin de jusant, sont dispersées en mer, en direction du nord-ouest puis du nord, sans transiter par la baie du Centre Nautique. En marée montante, le premier flot est orienté en direction du nord-est, ce qui éloigne les eaux fluviales de la plage du Centre Nautique. Cette dernière, de par sa situation en rive gauche de l'estuaire, se trouve donc, pour l'essentiel, hors d'atteinte des eaux fluviales et de leur contenu dissous. Ce n'est que par des conditions météorologiques de secteur nord assez violentes que l'on peut imaginer qu'elles dériveront temporairement vers la plage du Centre Nautique en quantité significative. De nouvelles simulations pourraient conclure sur ce point.

Par contre, tant que ces eaux fluviales n'ont pas franchi la limite aval de la baie de Tréssény, elles demeurent confinées à l'intérieur de l'estuaire, par des profondeurs très faibles et presque sans dilution avec les eaux marines. Elles restent quasiment immobiles dans le bas estuaire, à la hauteur de Dibennou et de Roc'h Quélenec durant 9 heures sur 12. Ces circonstances sont très favorables à une consommation locale des substances nutritives apportées par le Quillimadec, ainsi que par l'Alanan, dont une partie des eaux rejoint celles du Quillimadec à l'intérieur de l'estuaire.

Certaines parties du littoral, très proches du bas estuaire, se trouvent abritées des courants (et partiellement de la houle). Les vitesses y étant inférieures à 15 cm/s, ces criques peu profondes constituent des pièges hydrodynamiques efficaces pour des éléments en suspension dans l'eau, qui trouvent là des conditions favorables à leur dépôt. Dans cette éventualité, elles ne sont plus reprises ultérieurement par les courants. Il s'agit des baies du Centre Nautique, du Porselier et des grèves de Porzguen.

Le mécanisme de production des marées vertes serait donc le suivant : Consommation des sels nutritifs et production de biomasse algale dans le bas estuaire, en aval de Tréssény, puis dispersion des algues, échouage et accumulation dans la baie du Club Nautique, hors du flux d'azote.

La baie du Centre Nautique étant partiellement abritée des courants par la digue artificielle qui relie la côte à l'île Croaz-Hent, deux séries d'essais ont été réalisées pour tester la suppression de l'ouvrage. Il s'est avéré que :

- la suppression de la digue seule, ne modifierait pratiquement pas la situation actuelle: L'augmentation des vitesses maximales dans la baie est insignifiante et la trajectoire des masses d'eau qui recueillent les flux de nutriments n'est pas modifiée.
- La suppression de l'ouvrage ainsi que l'arasement (jusqu'aux environs de la cote 0 NGF) des matériaux qui se sont accumulés en formant un cordon sableux, serait plus significative. Les courants dans le centre de l'anse du club nautique sont peu augmentés, mais ils atteignent un nœud à l'emplacement actuel de la digue. Les algues ne pourraient donc plus s'y accumuler et se trouveraient partiellement dispersées vers la grève de la Sécherie, voire celle du Vougot. Globalement, la production d'algue serait certainement identique mais légèrement déplacée vers



l'ouest (vers entrée du Porselier). Le piégeage hydrodynamique serait réparti sur une plus grande longueur de côte.

On retiendra également que ce résultat, même peu concluant, n'est obtenu qu'au prix d'un travail de terrassement assez important. D'autres solutions intermédiaires telles que des ouvertures pratiquées dans la jetée, ne seraient efficaces qu'à la condition de représenter une ouverture de grande section. D'autres essais hydrodynamiques pourraient conclure sur ce point.

## **V. ANNEXES**

**Planches 1 à 12 :**

**Courants de marée heure par heure, par coefficient moyen,  
de Pleine Mer à Basse Mer + 5 heures.**

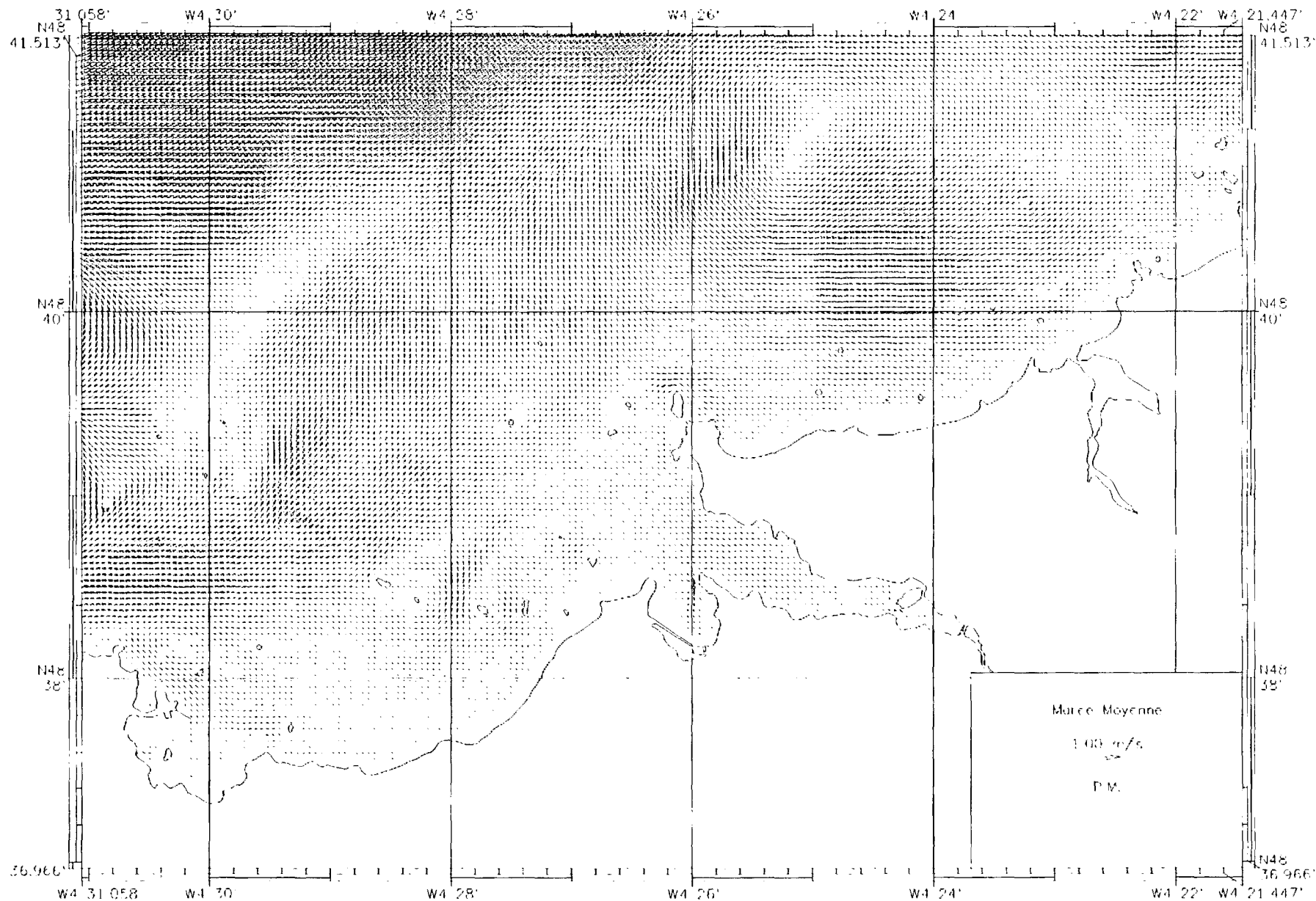


FIGURE 1

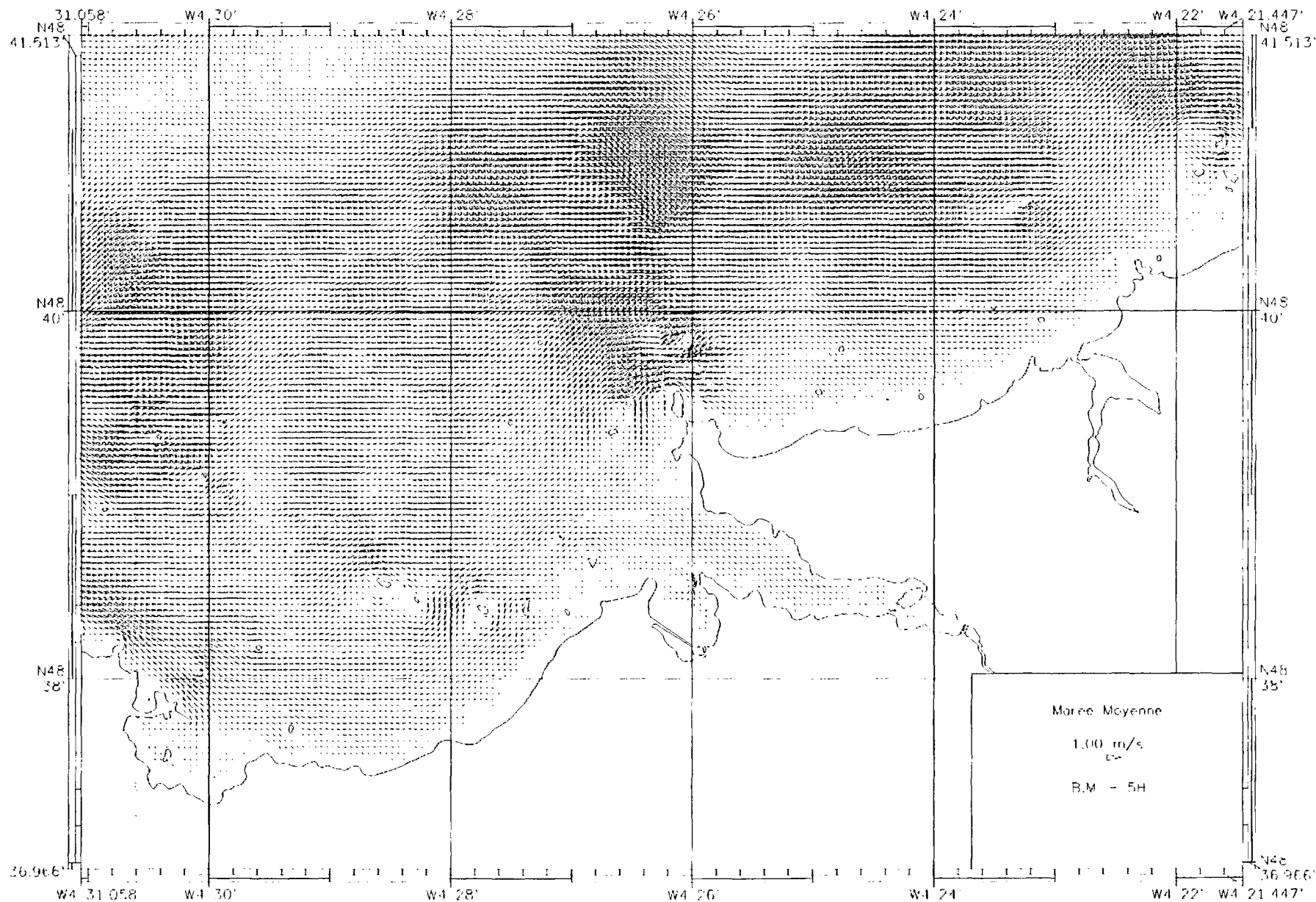


FIGURE 2

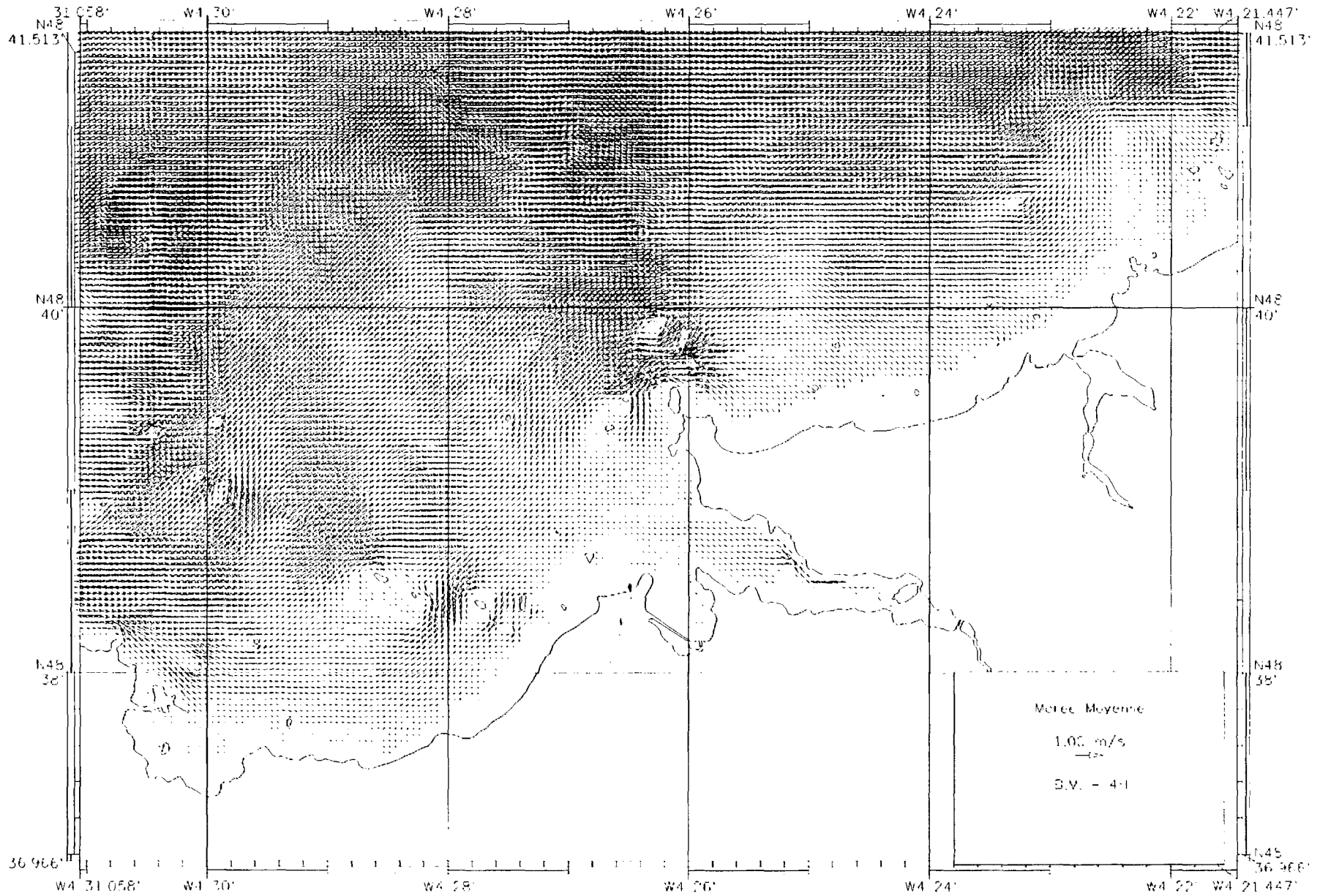


FIGURE 3

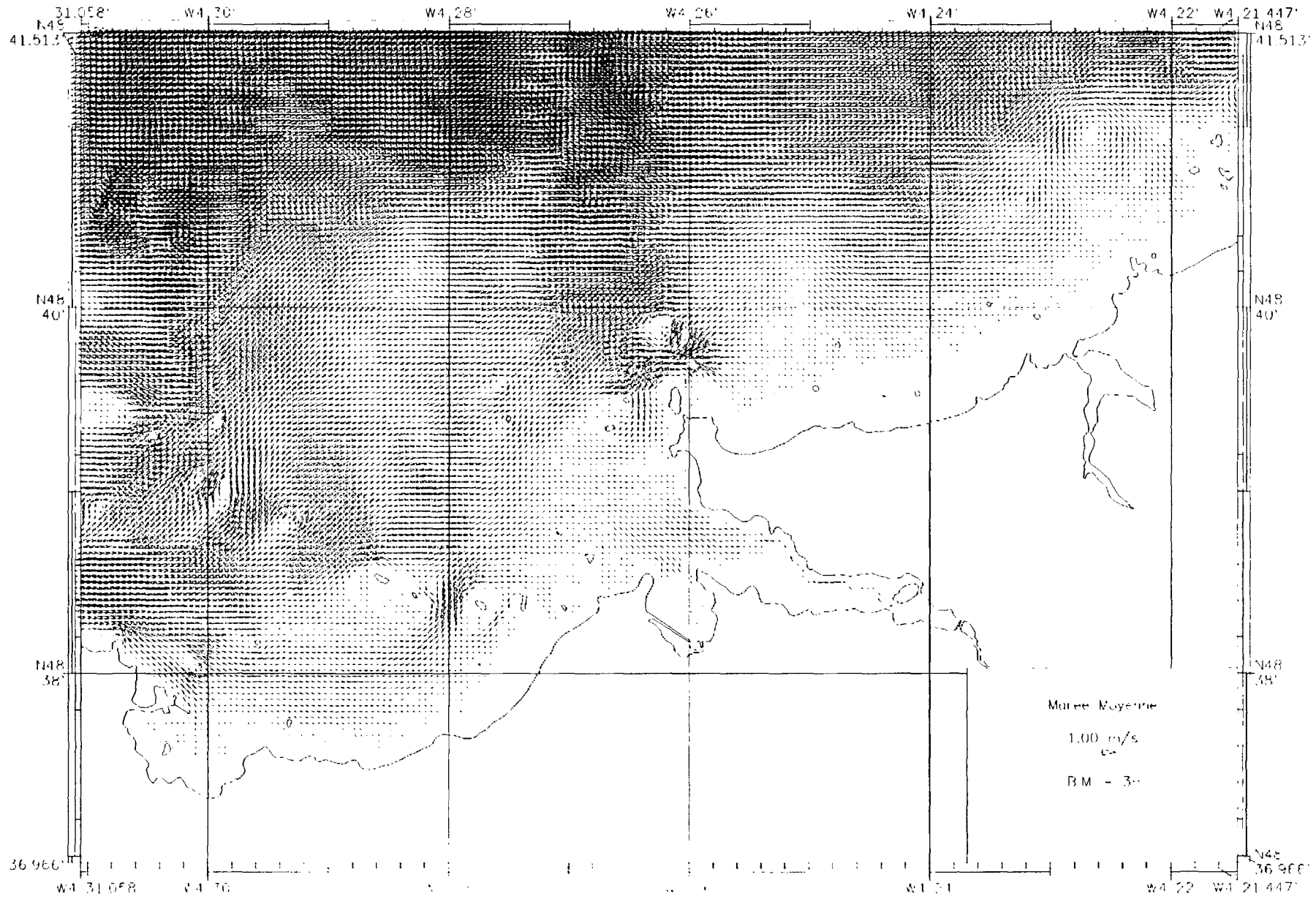


FIGURE 4

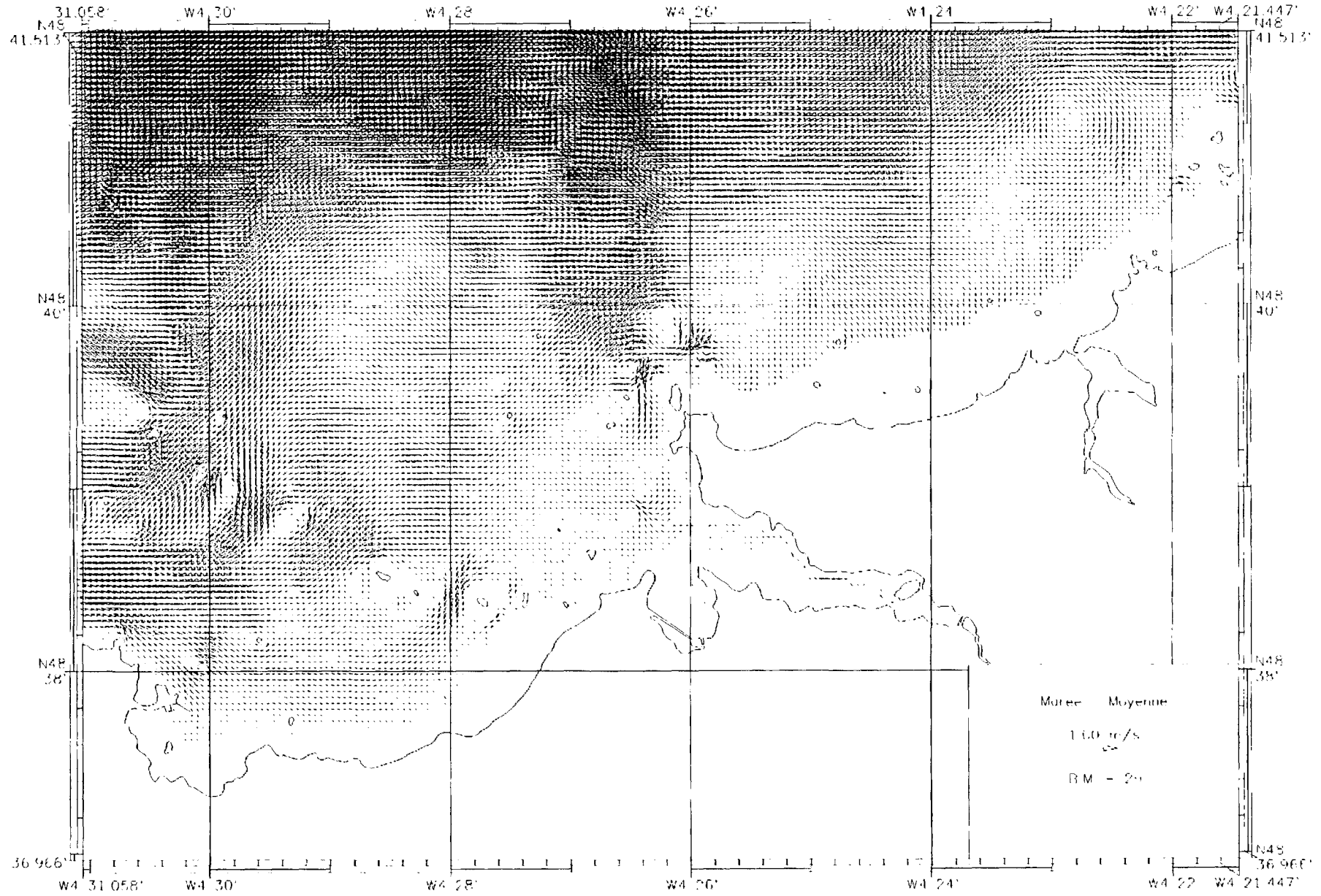


FIGURE 5

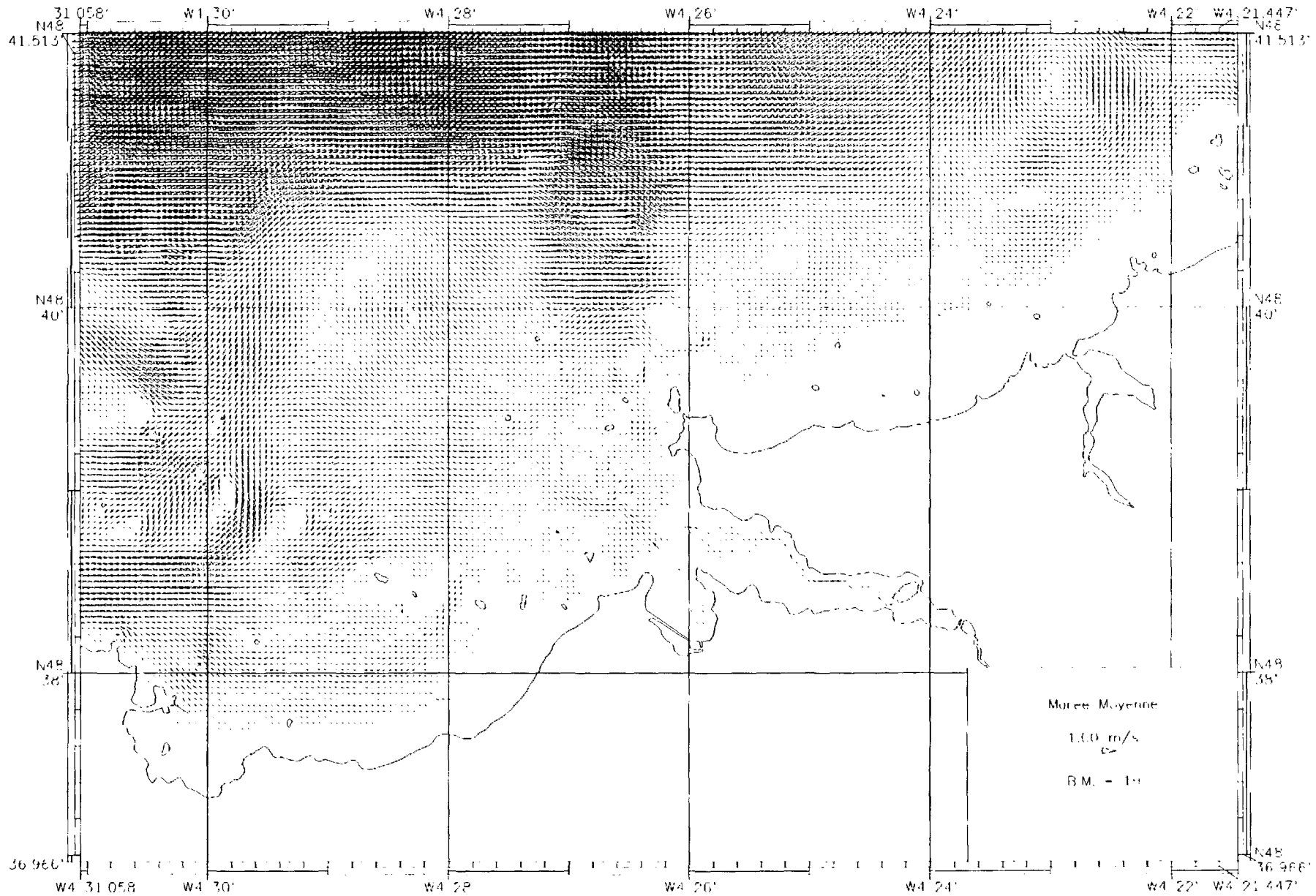


FIGURE 6



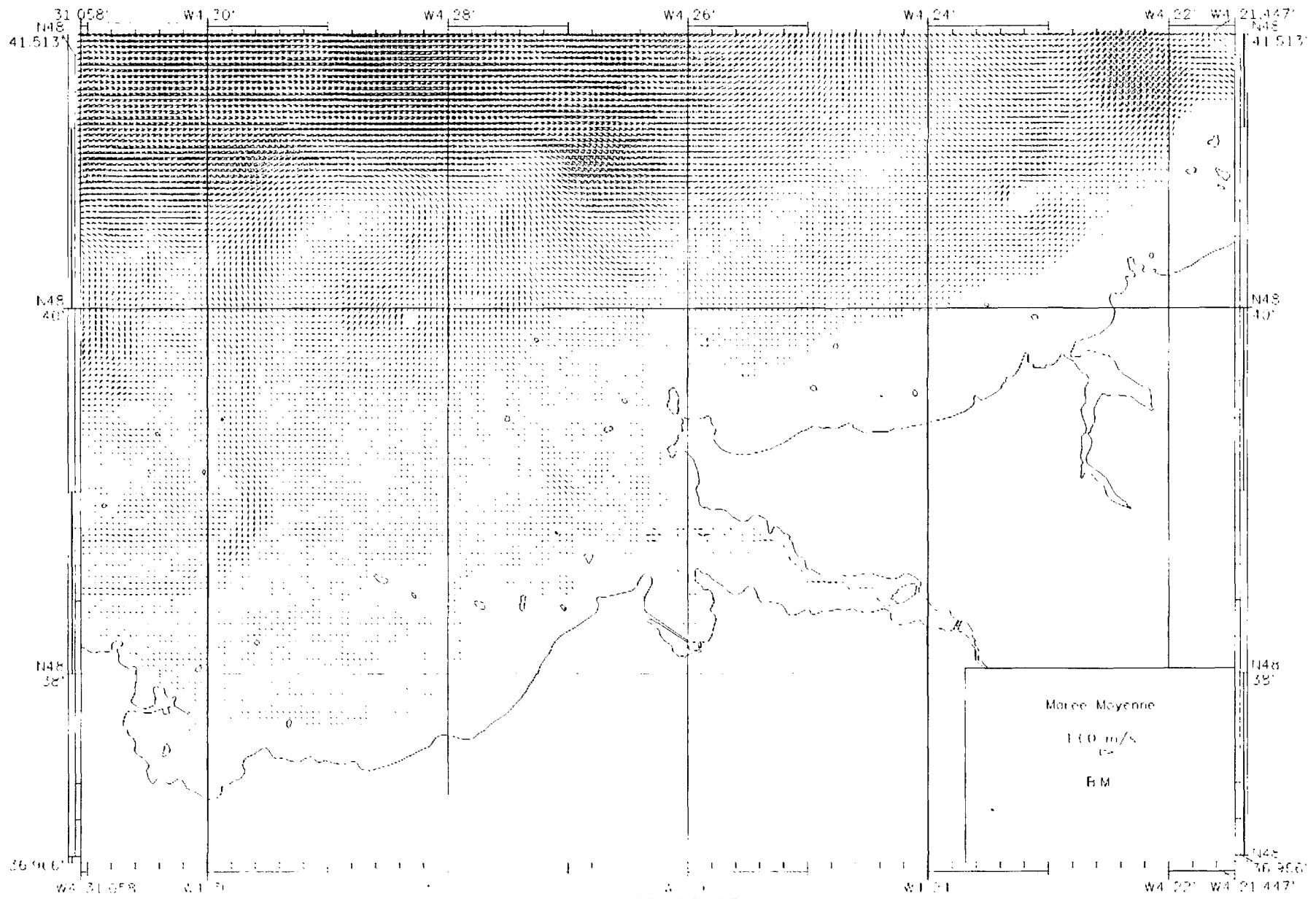
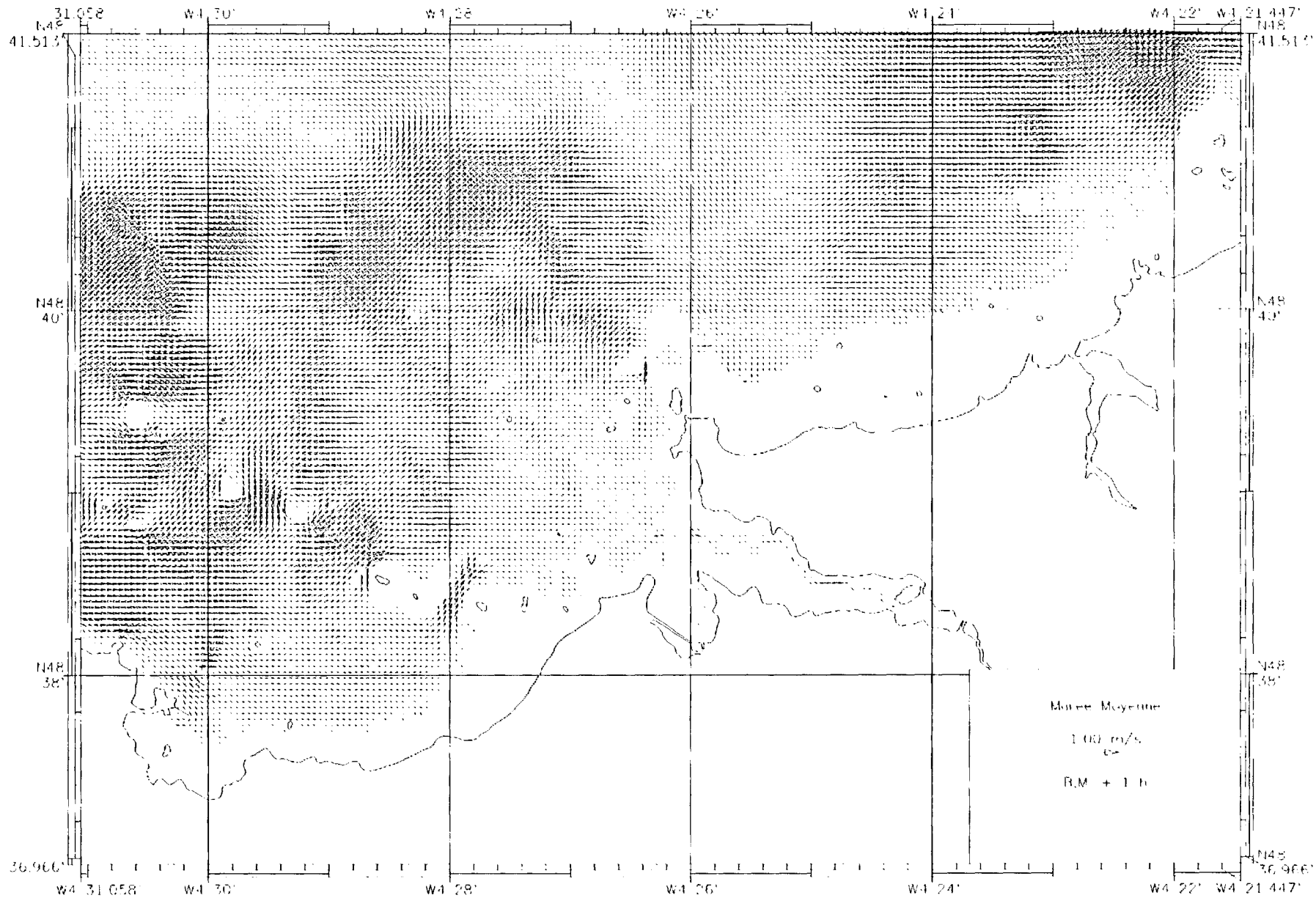
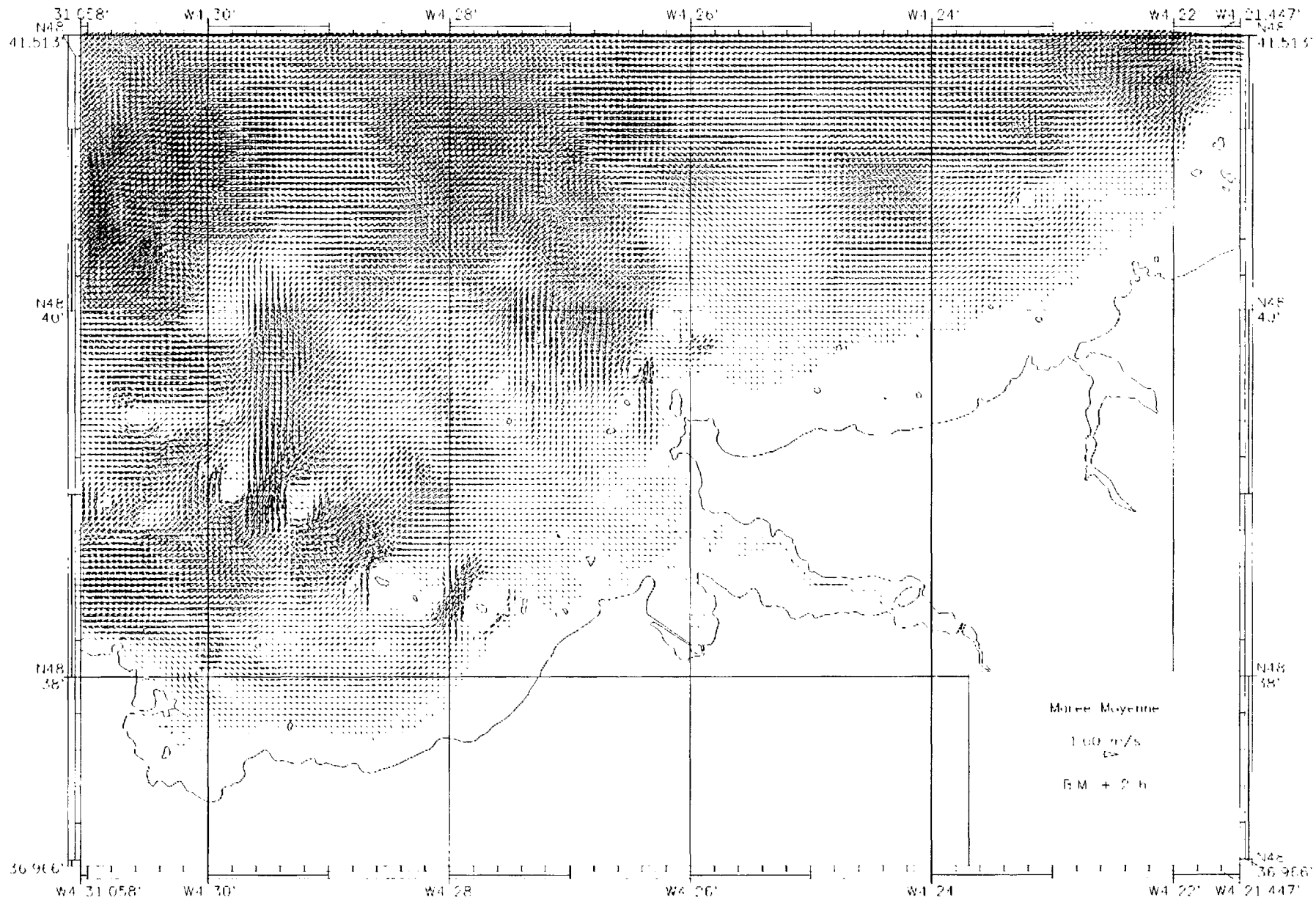


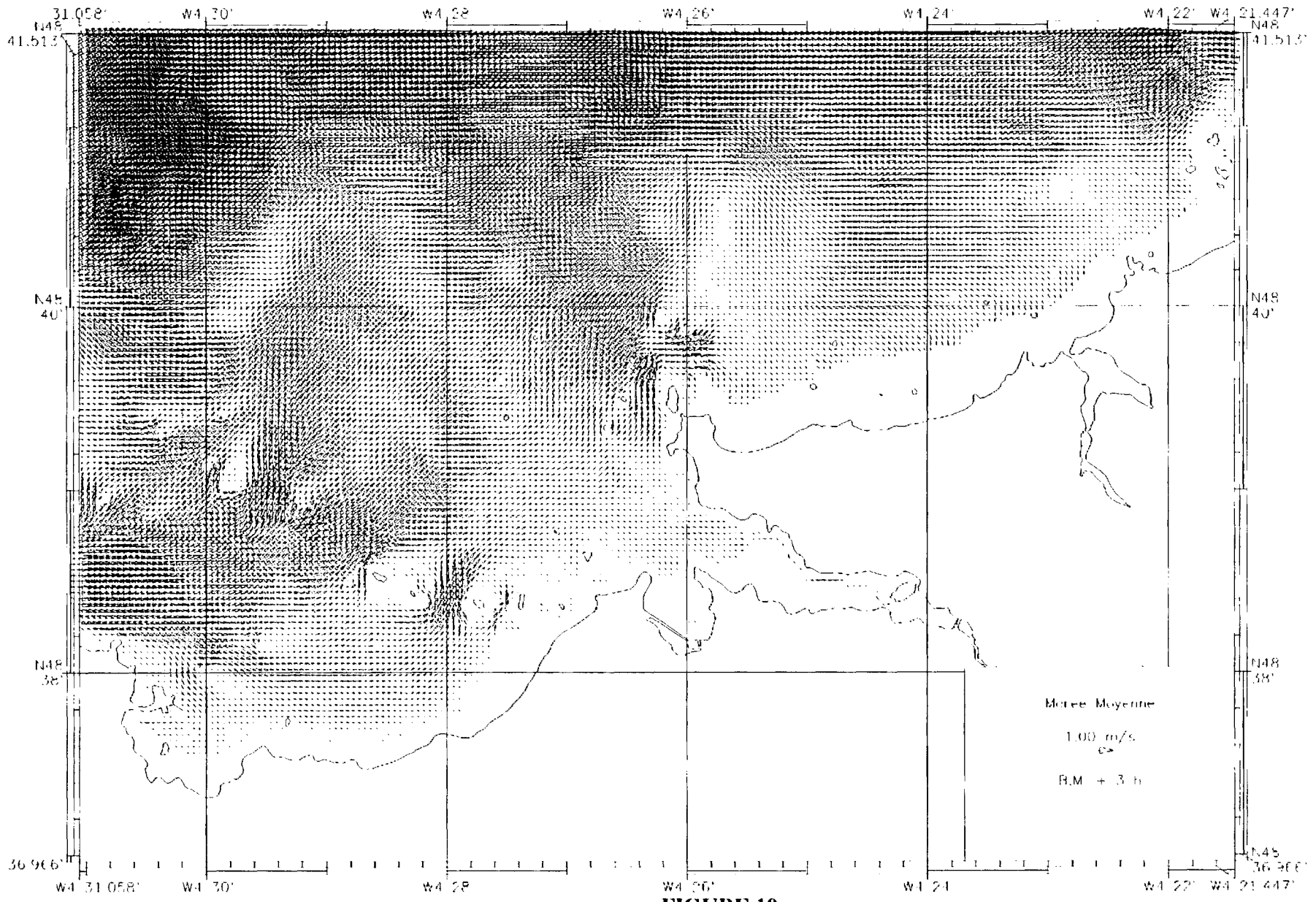
FIGURE 7



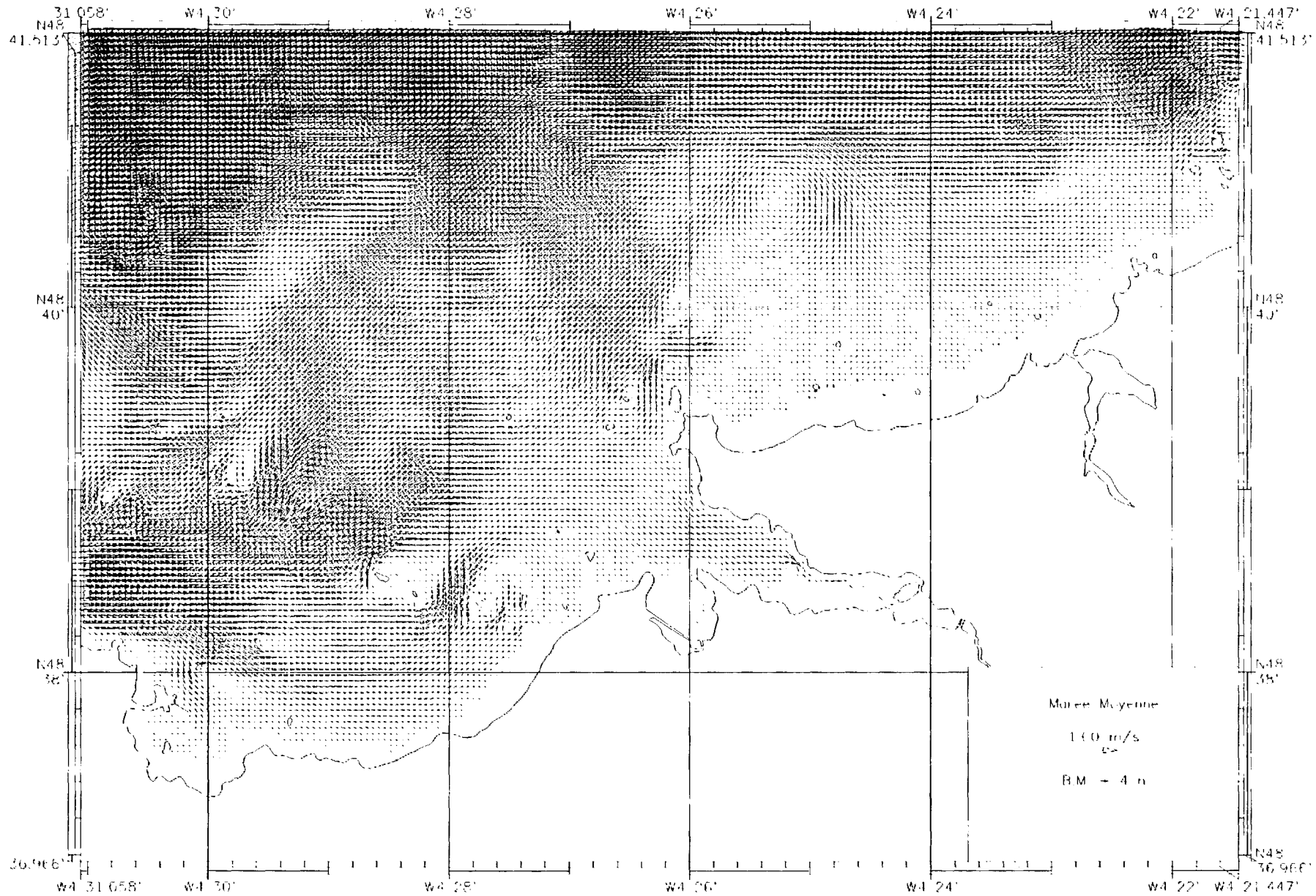
**FIGURE 8**



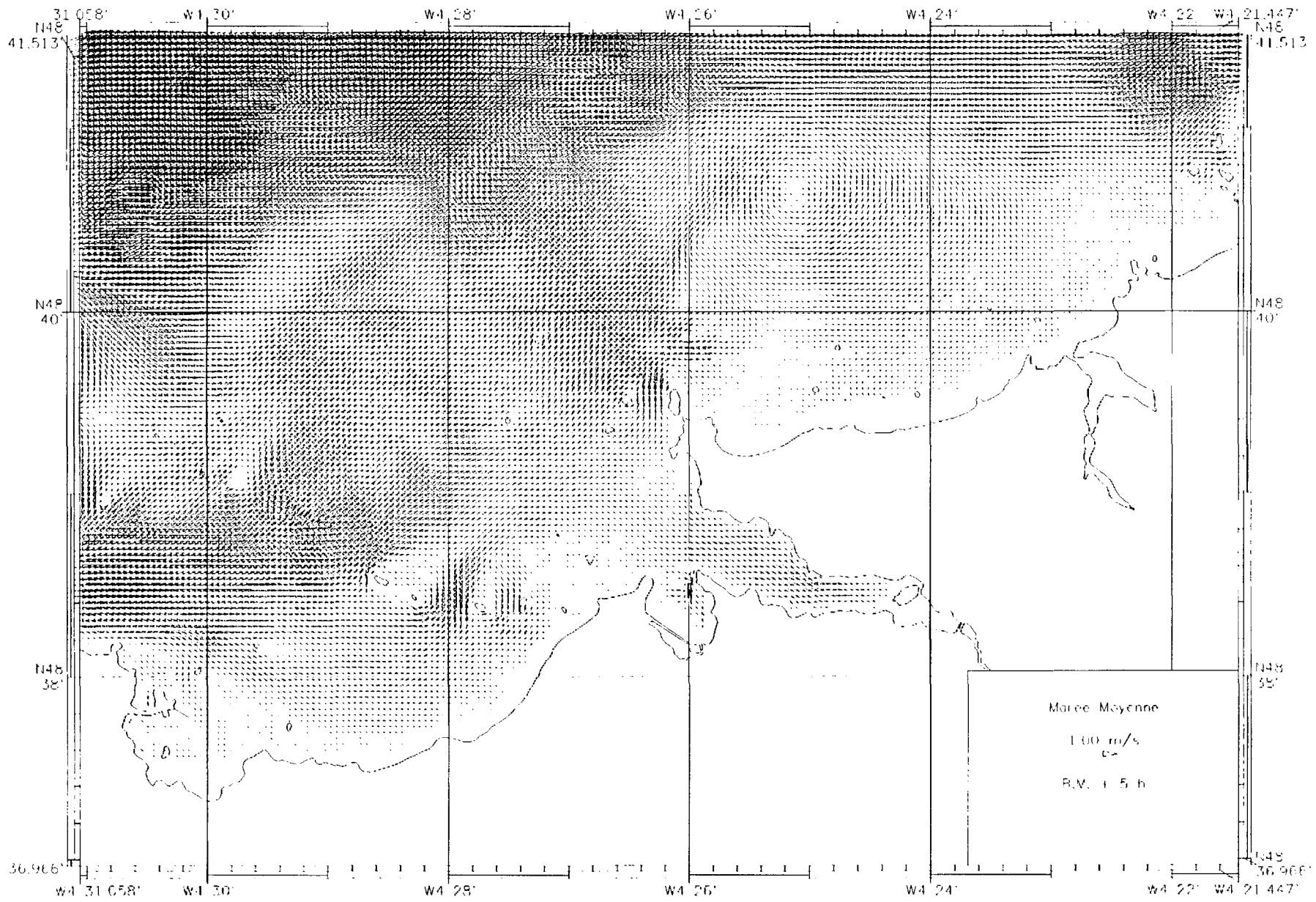
**FIGURE 9**



**FIGURE 10**



**FIGURE 11**



**FIGURE 12**

**Figures n° 14 à 17 :**

**Dispersion de l'azote apporté par le Quillimadec en marée de Morte Eau.**

**Figures 18 à 21 :**

**Dispersion de l'azote apporté par le Quillimadec en marée de Vive Eau.**

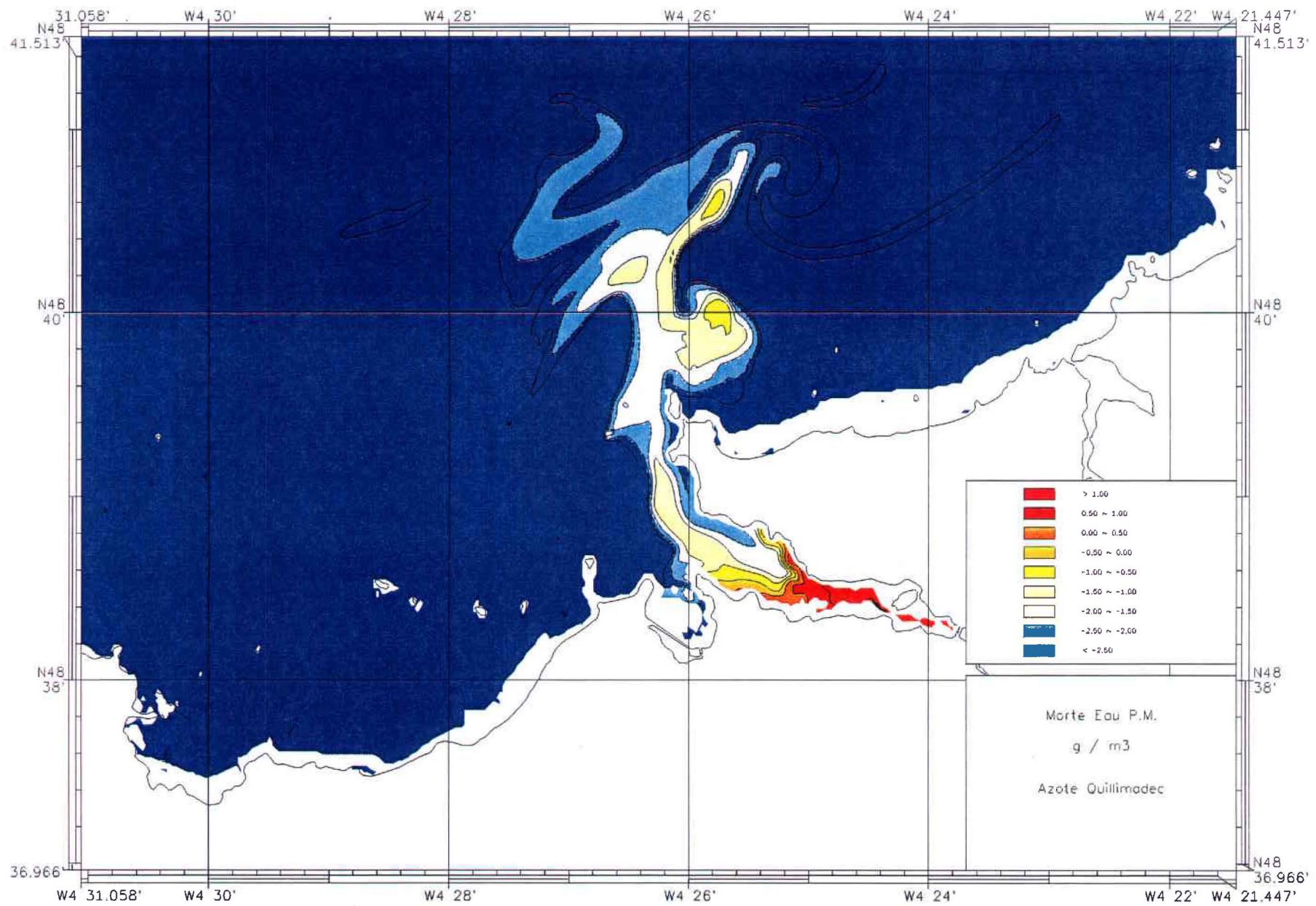


Figure n° 14



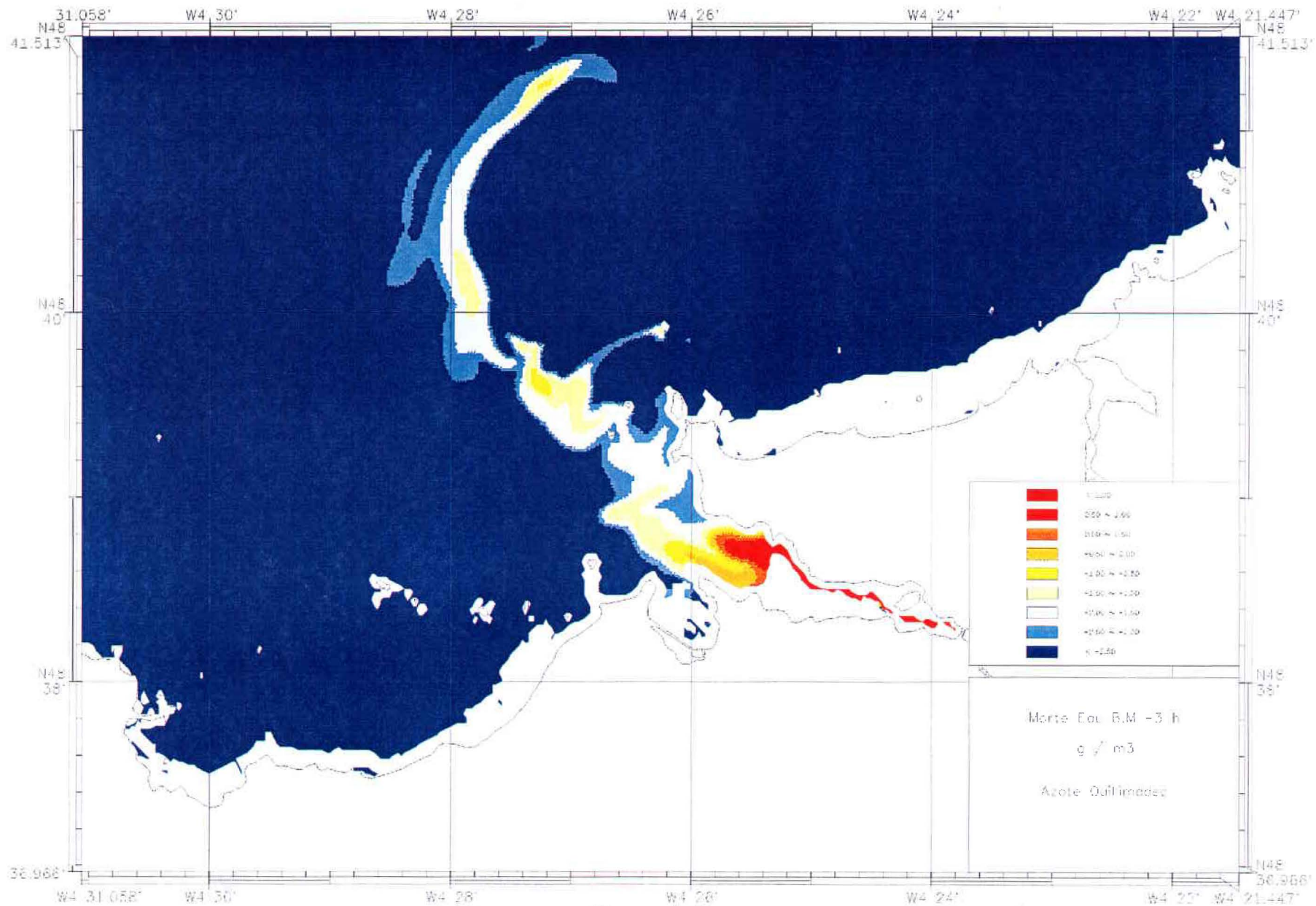


Figure n° 15

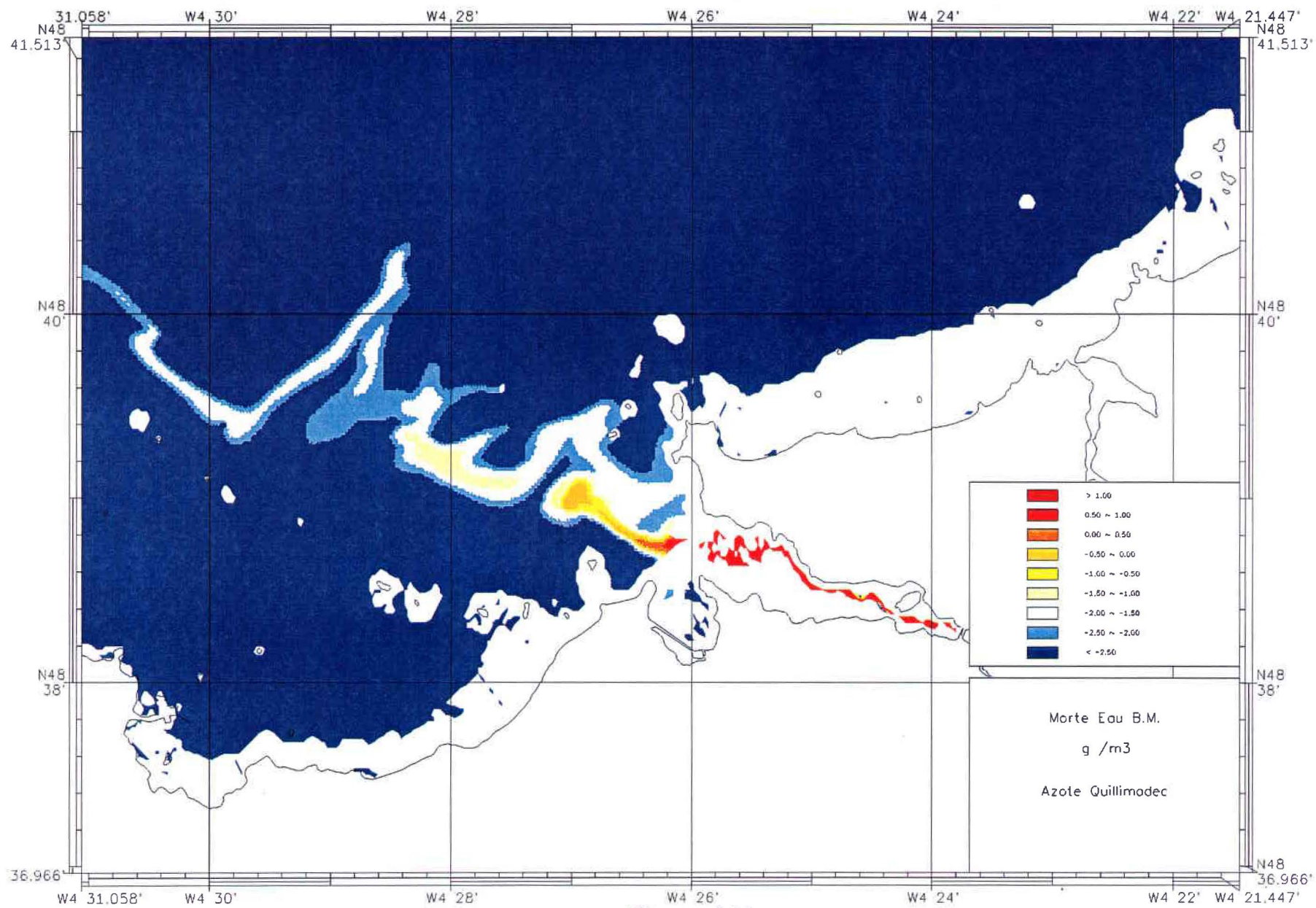


Figure n° 16

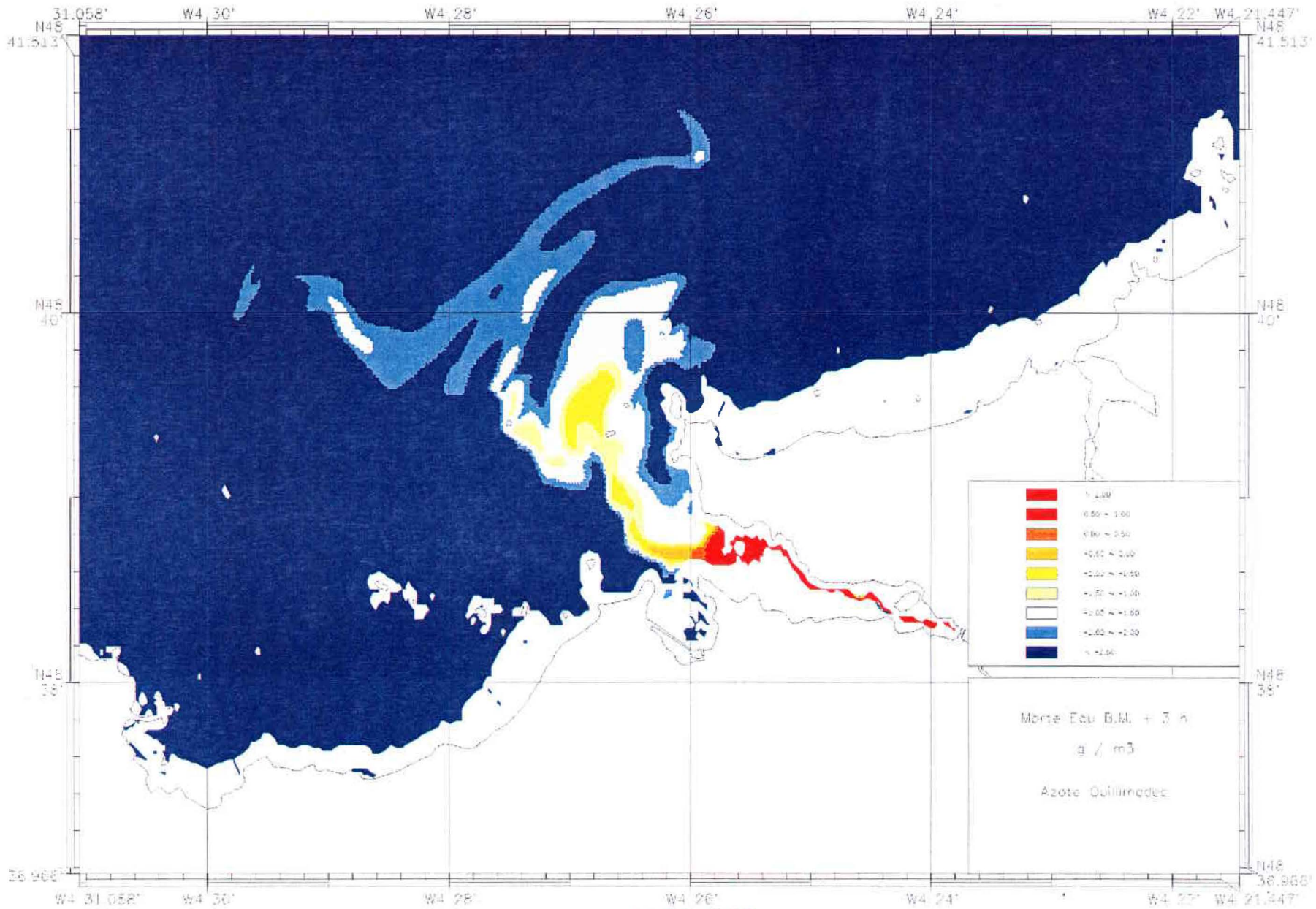
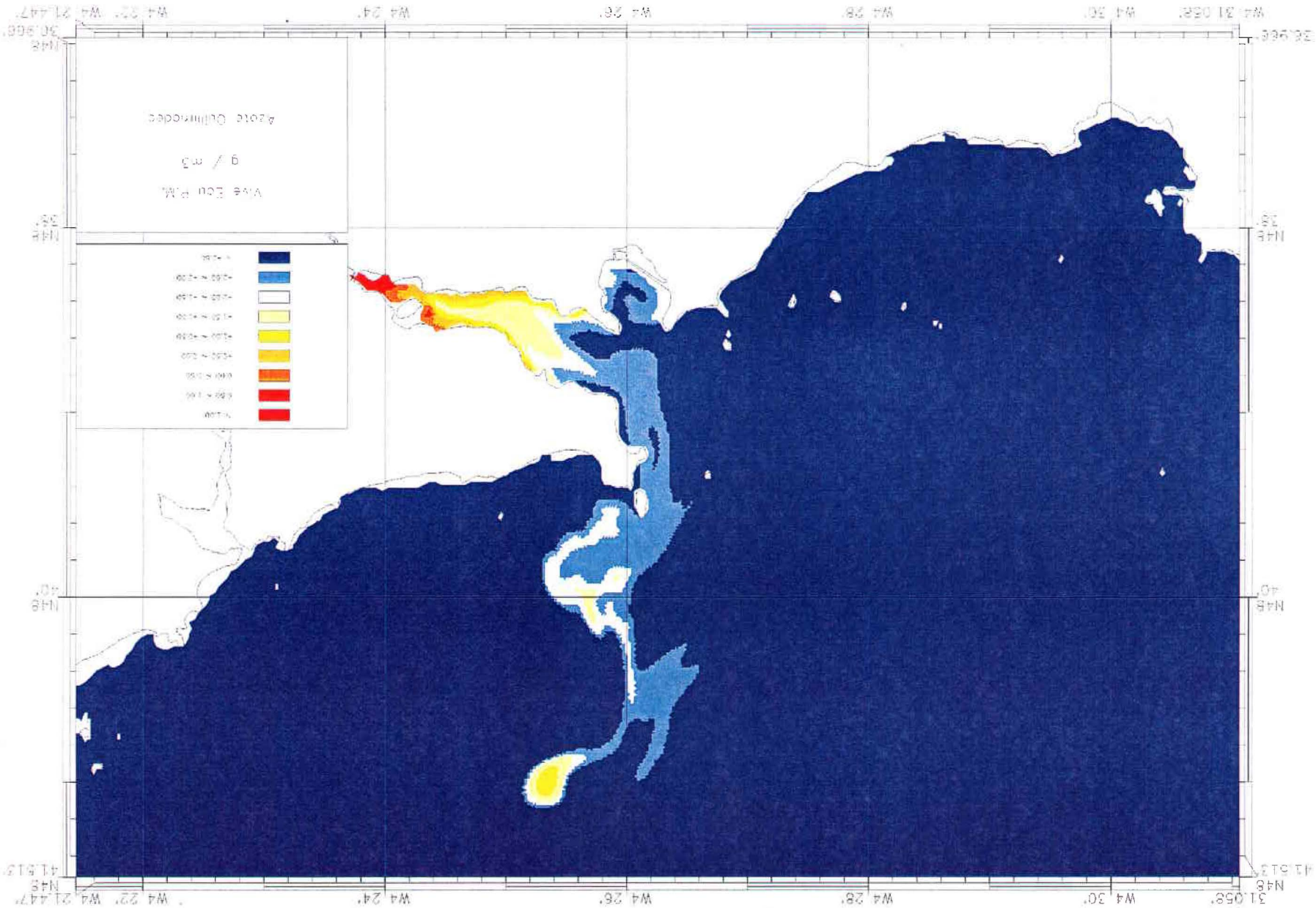


Figure n° 17

Figure n° 18



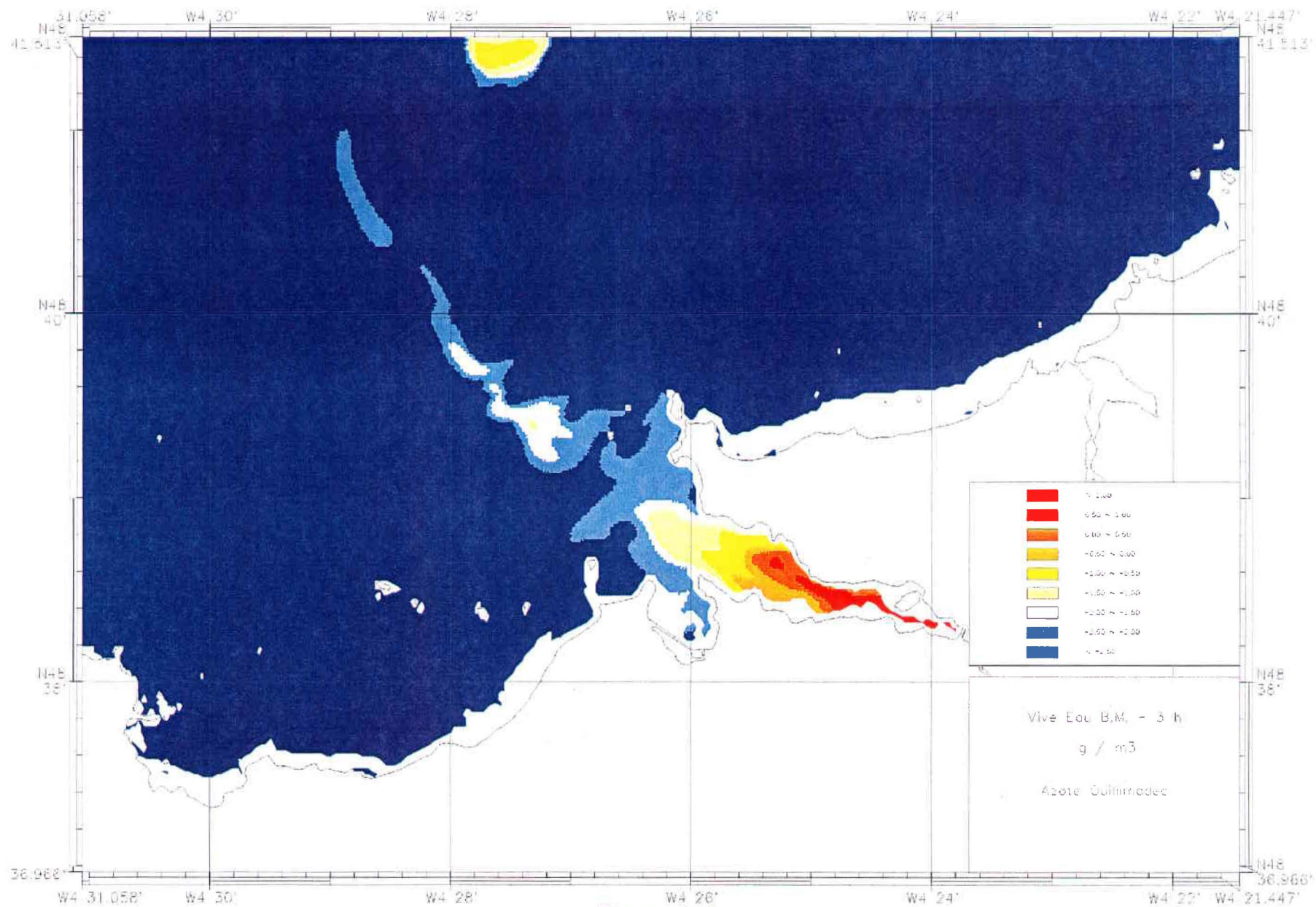


Figure n° 19

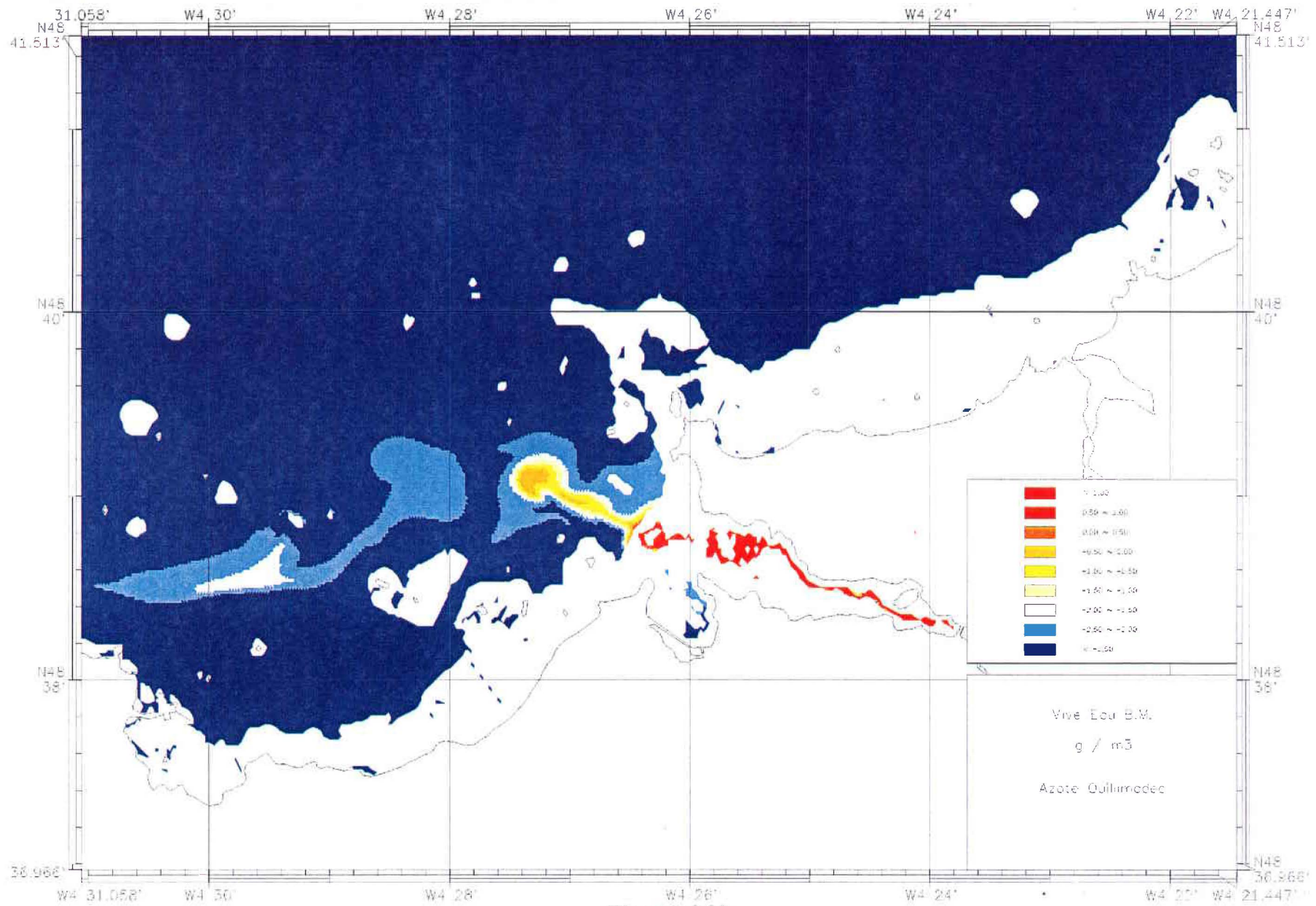


Figure n° 20



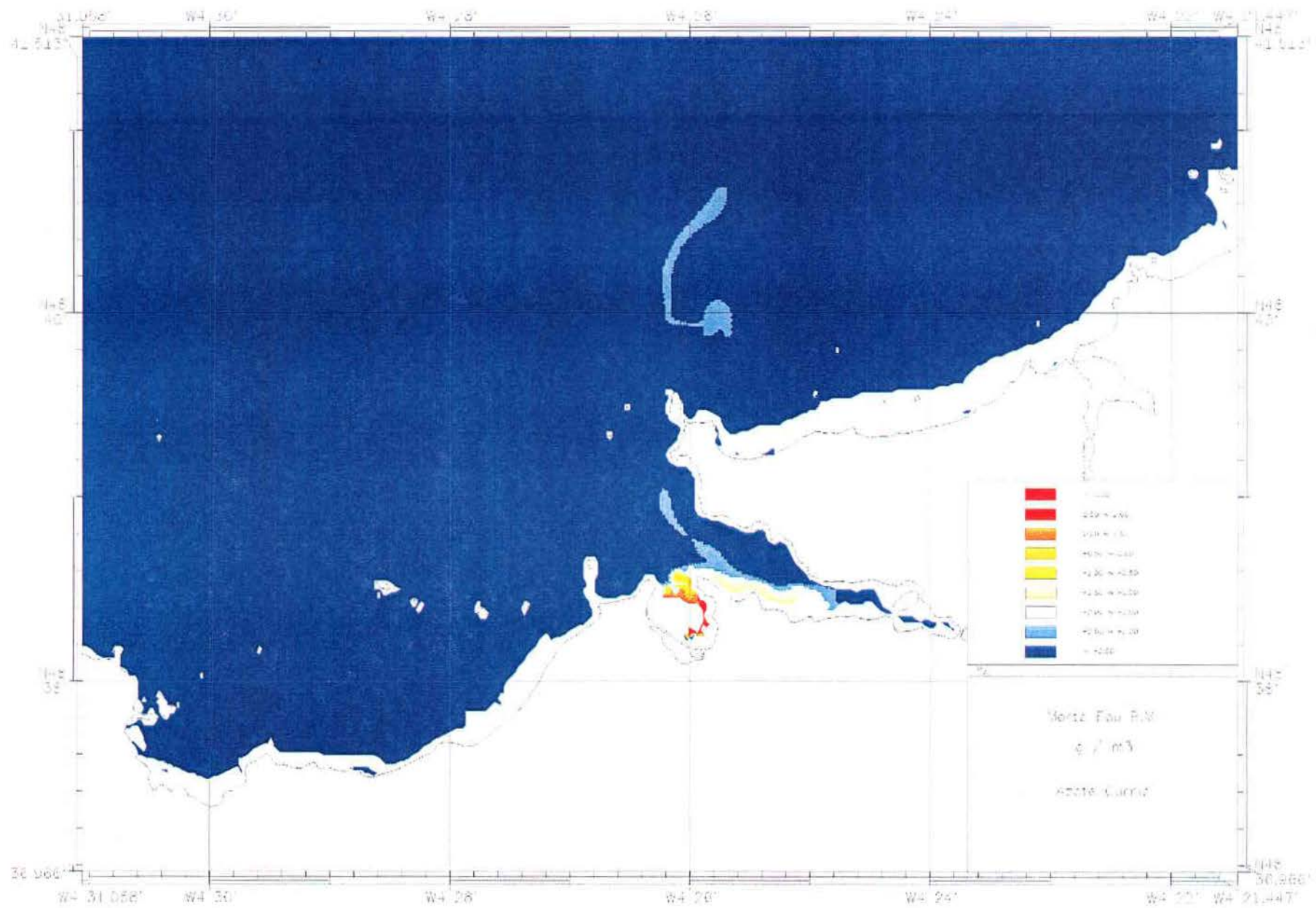
Figures n° 22 à 25 :

Dispersion de l'azote apporté par l'Alanan en marée de Morte Eau.

Figures n° 26 à 29 :

Dispersion de l'azote apporté par l'Alanan en marée de Vive Eau.





**FIGURE N° 22**

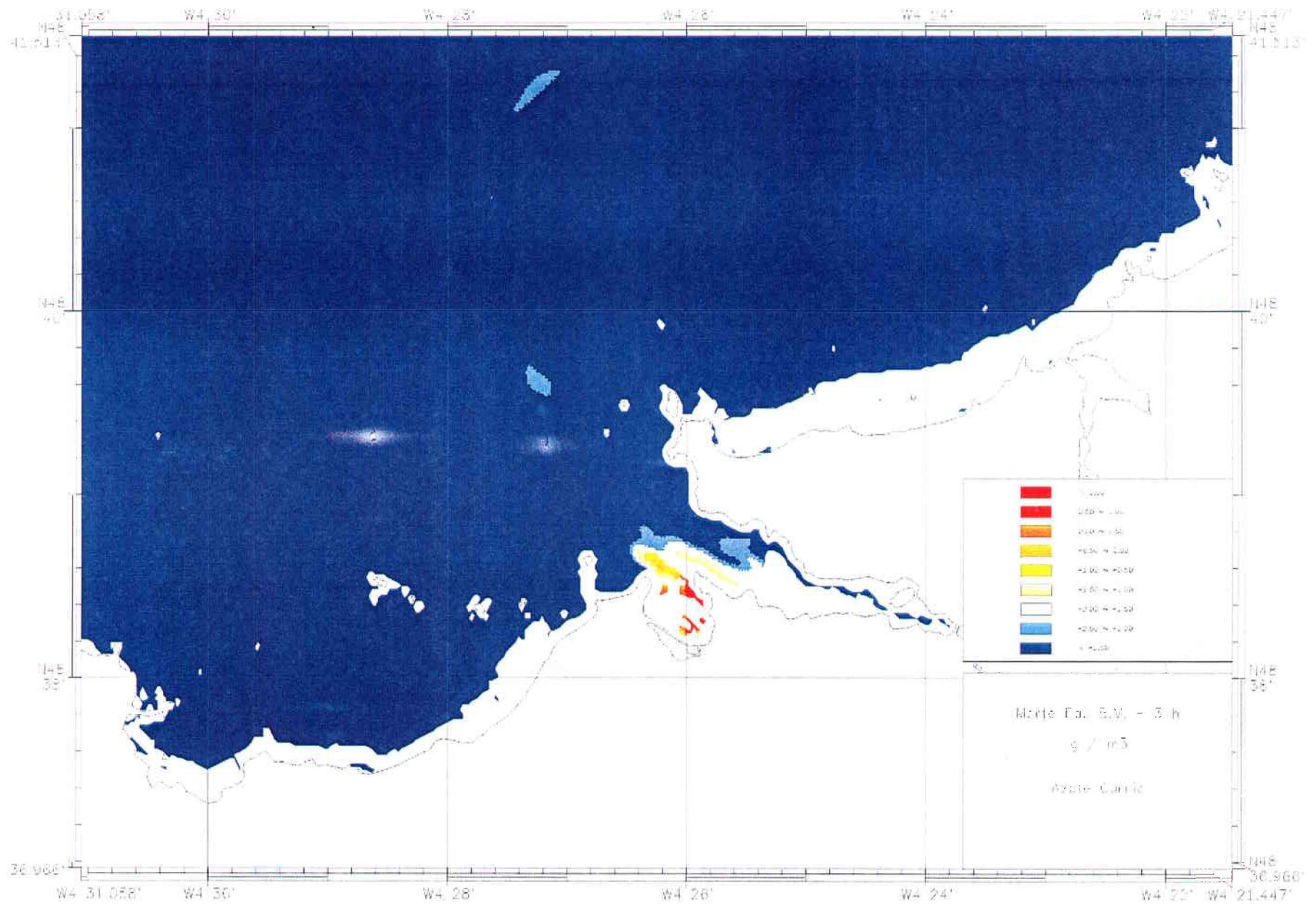


Figure N° 23

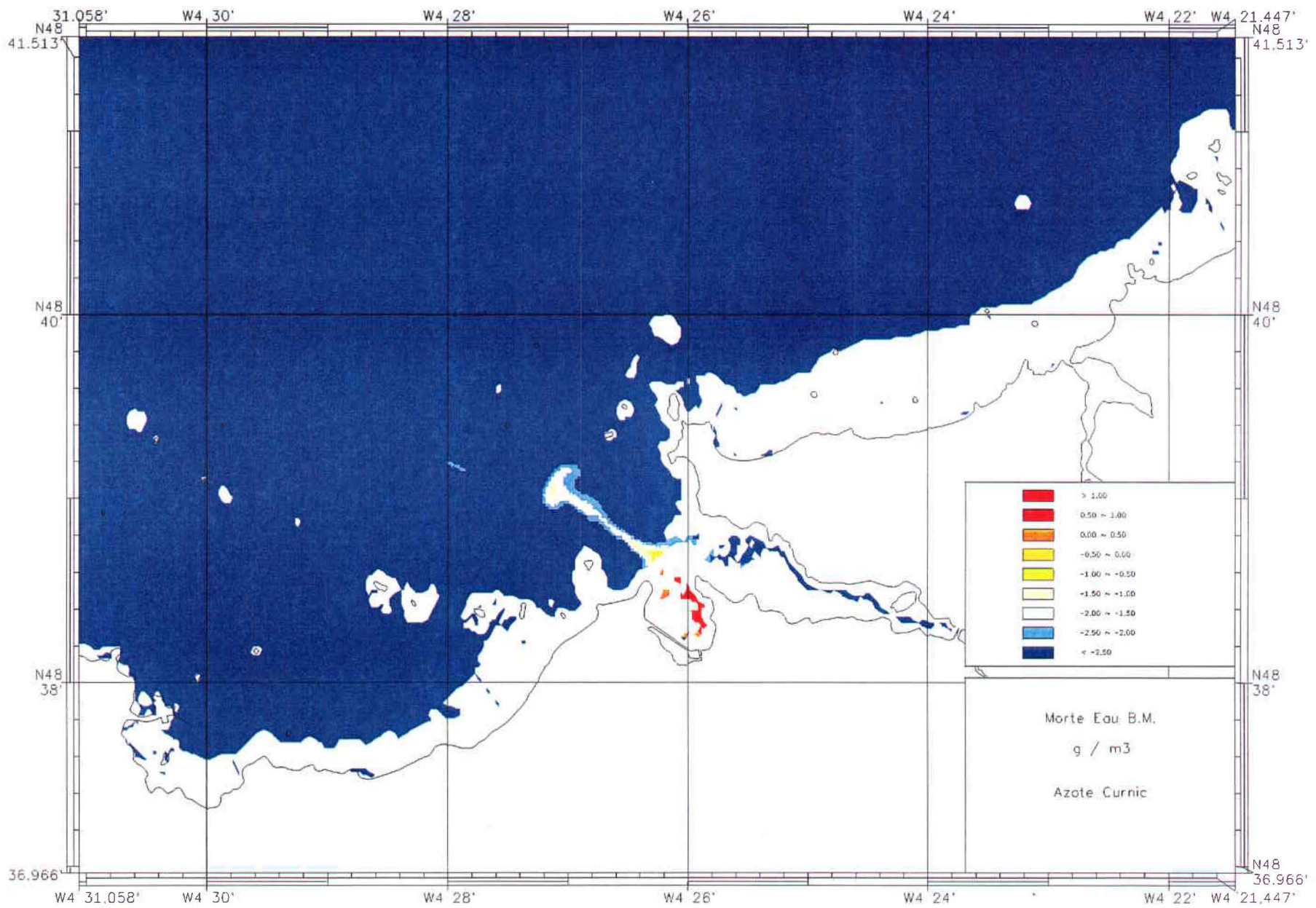
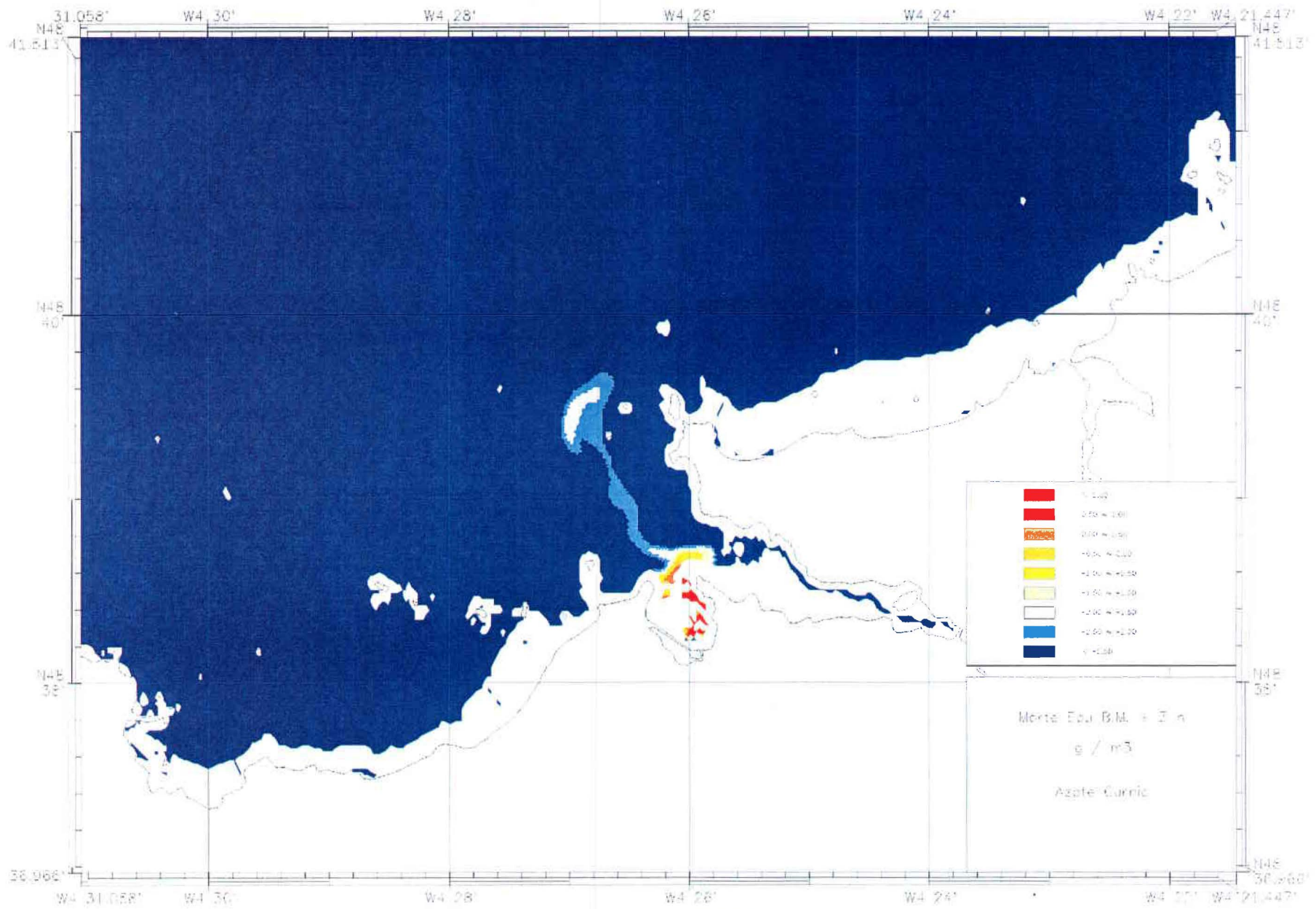


FIGURE N° 24



**FIGURE Nº 25**

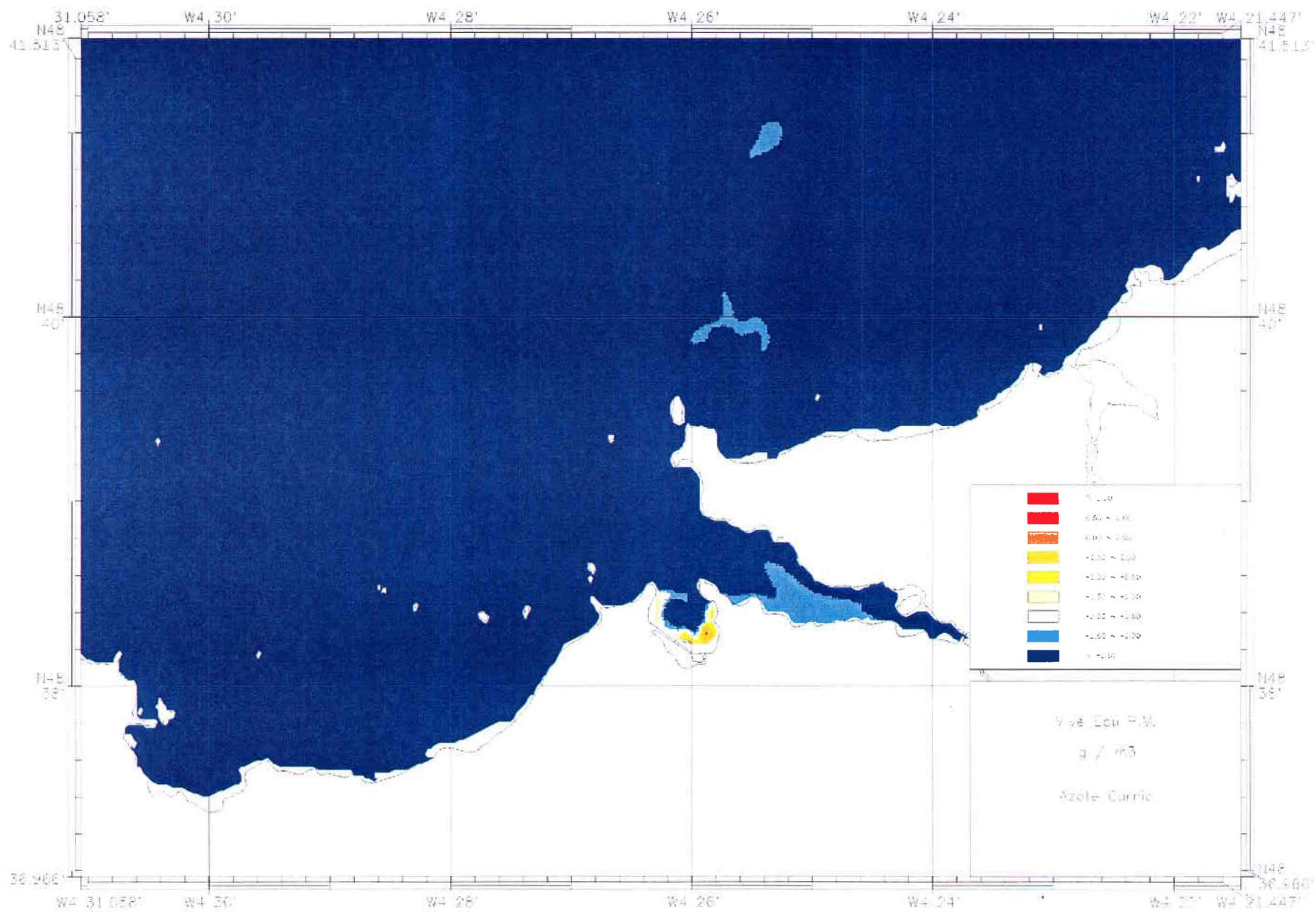


FIGURE N° 26

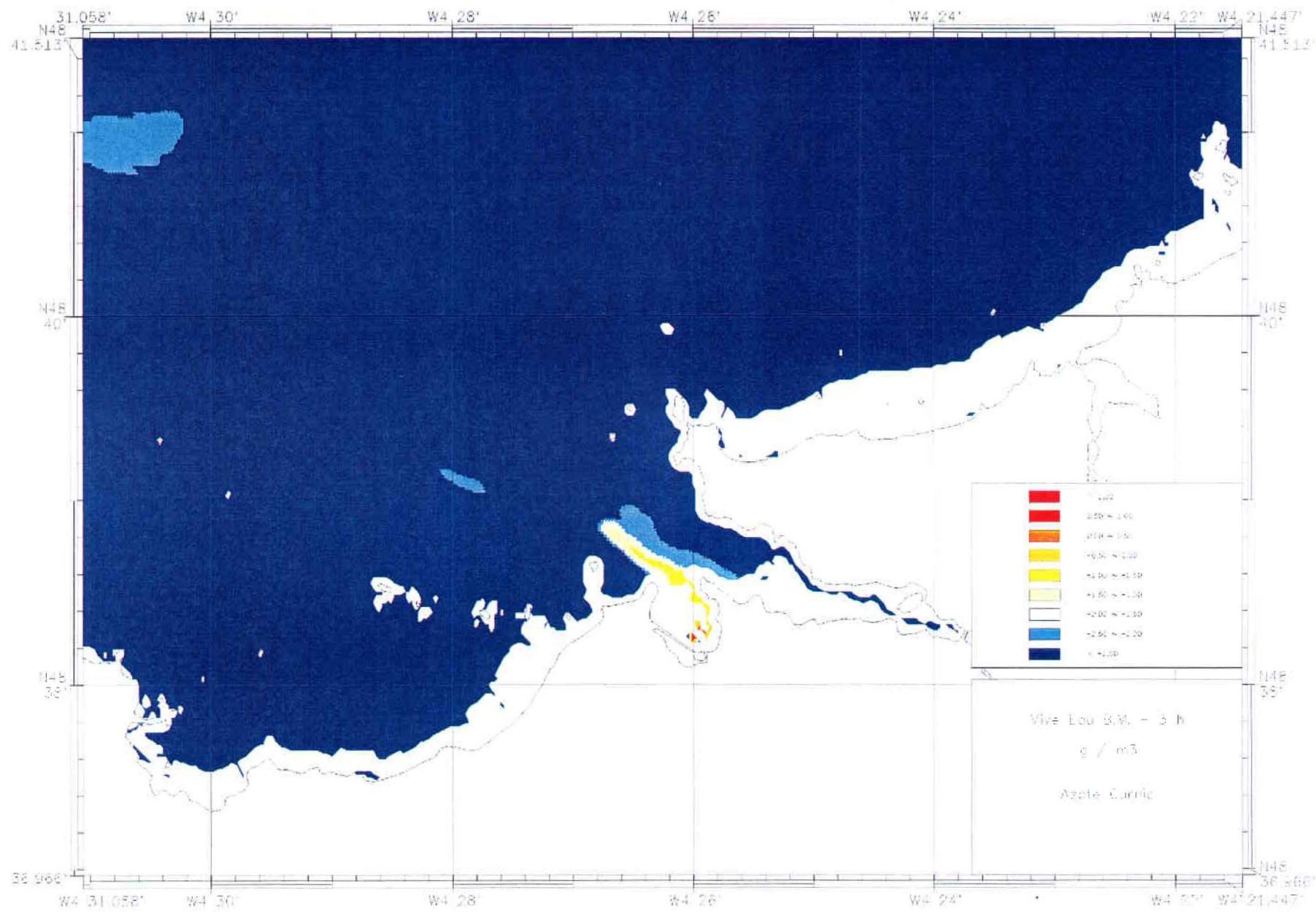
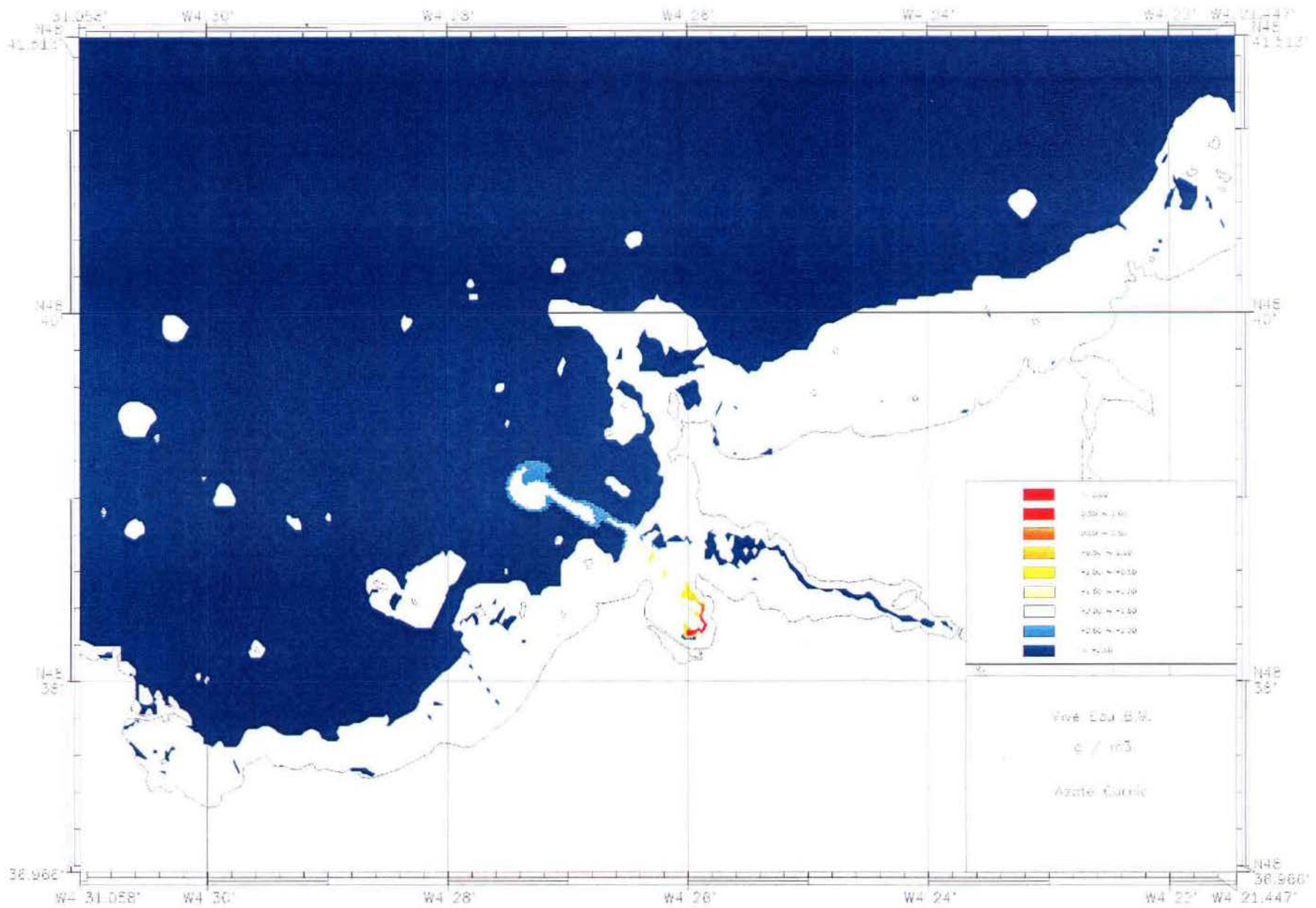


FIGURE N° 27



**Figure Nº 28**

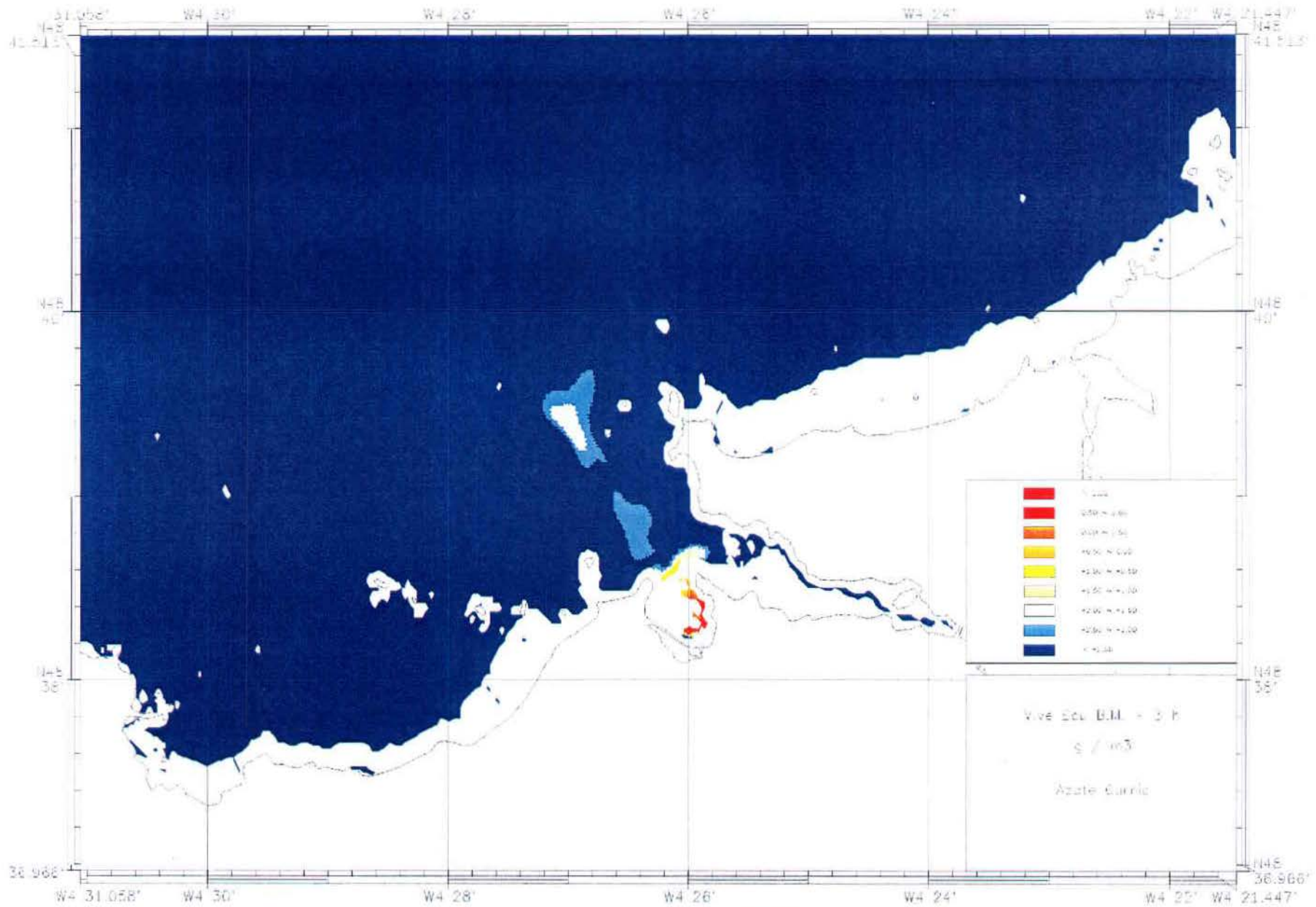


Figure N° 29



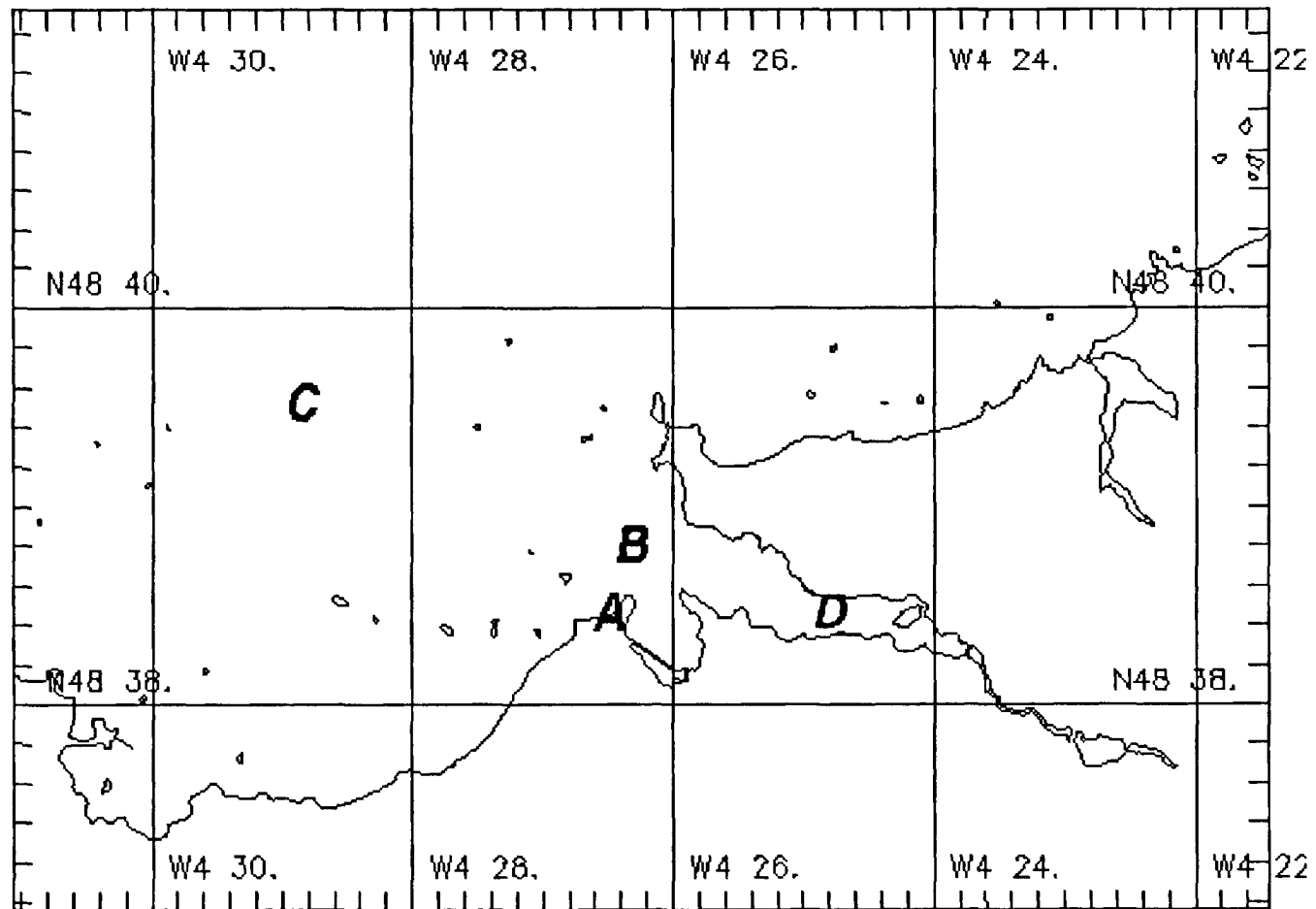


Figure N° 30 : Localisation des points fixes

**Figures n° 31 à 33 :**

**L'azote au point fixe**

**Au cours d'un cycle de 15 jours**

**VE – ME - VE**

Concentration au point fixe

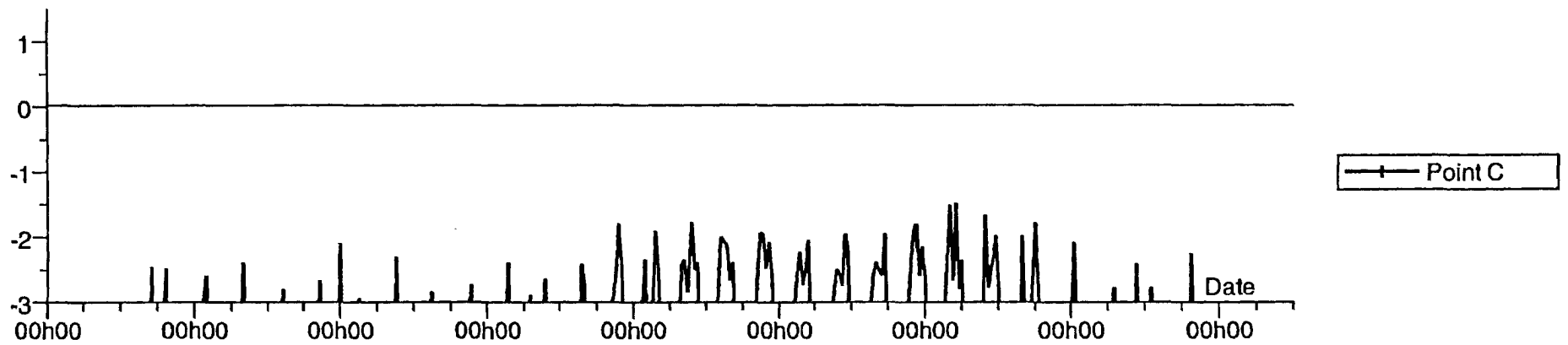
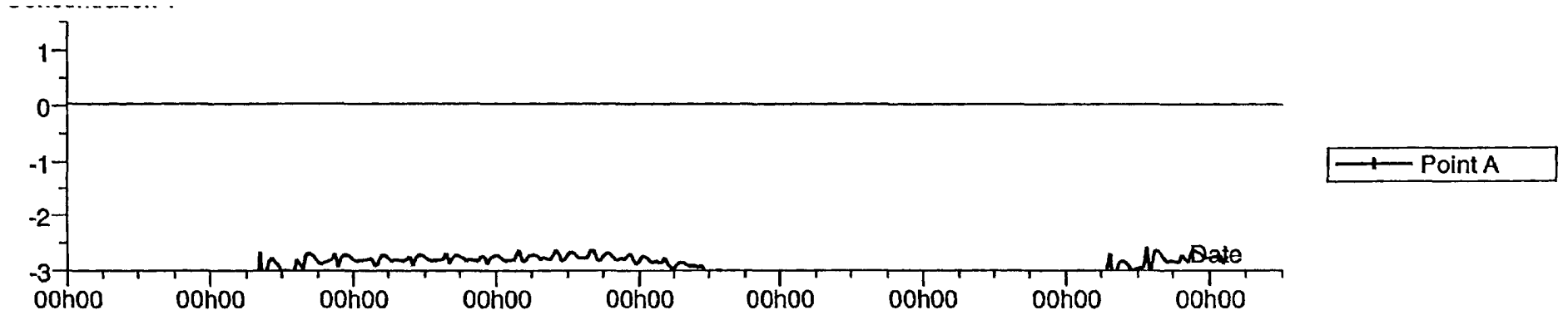


Figure N° 31 : L'azote du Quillimadec au cours d'un cycle VE - ME - VE

Teneurs exprimées en  $\log_{10}(\text{g}/\text{m}^3)$

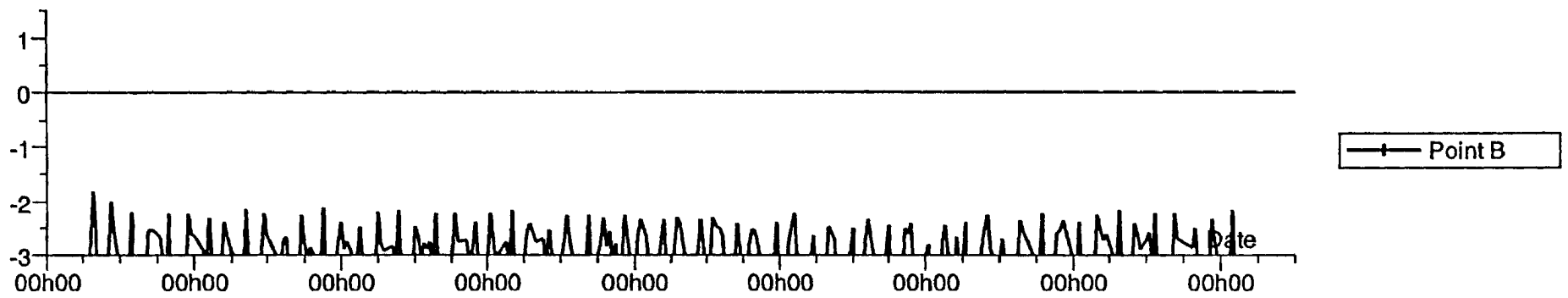
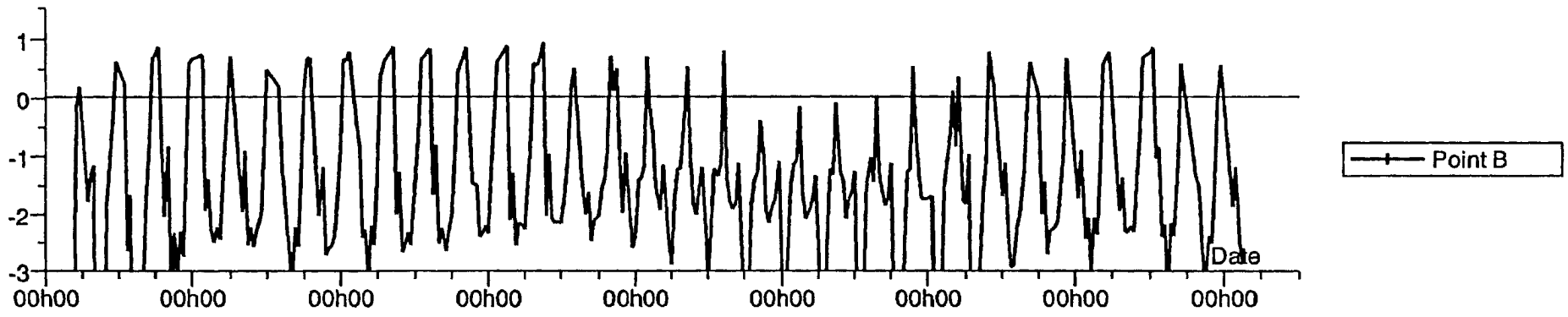


Figure N° 32 : L'azote du Quillimadec et de l'Alanan au point B, au cours d'un cycle VE – ME – VE  
Teneurs exprimées en  $\log_{10}(\text{g}/\text{m}^3)$

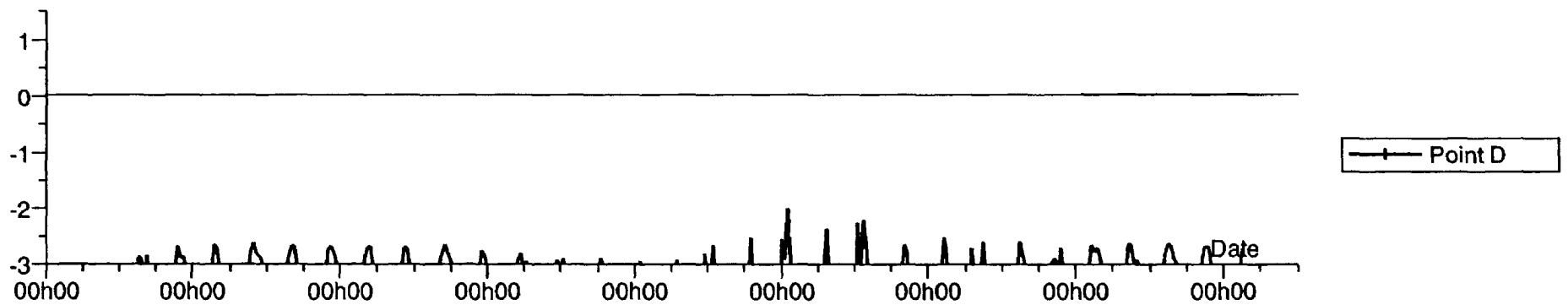
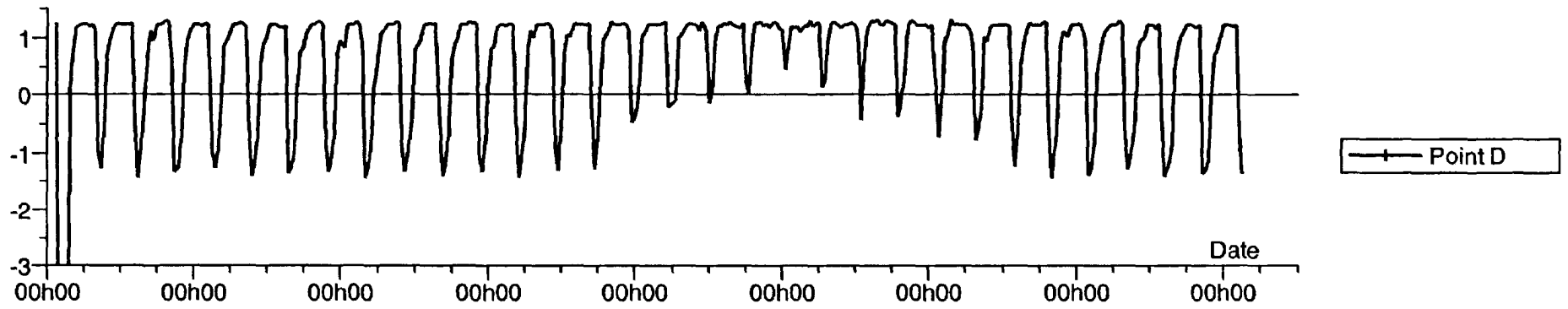


Figure N°33 L'azote du Quillimadec et de l'Alanan au point C, au cours d'un cycle VE – ME - VE  
Teneurs exprimées en  $\log_{10}(\text{g}/\text{m}^3)$

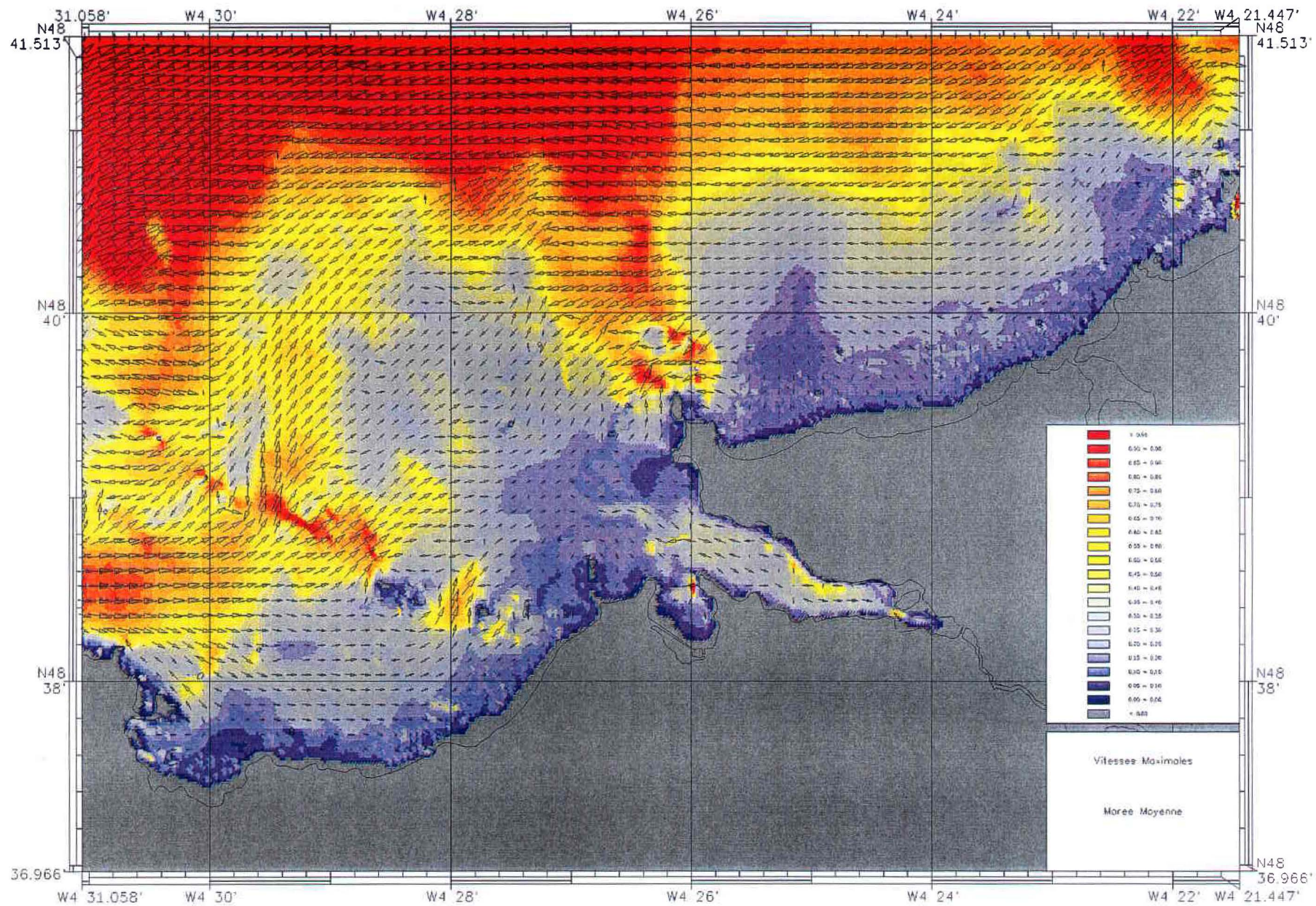


Figure N°34 : Vitesses maximales au cours d'un cycle de marée moyenne (test n°1 : sans digue)

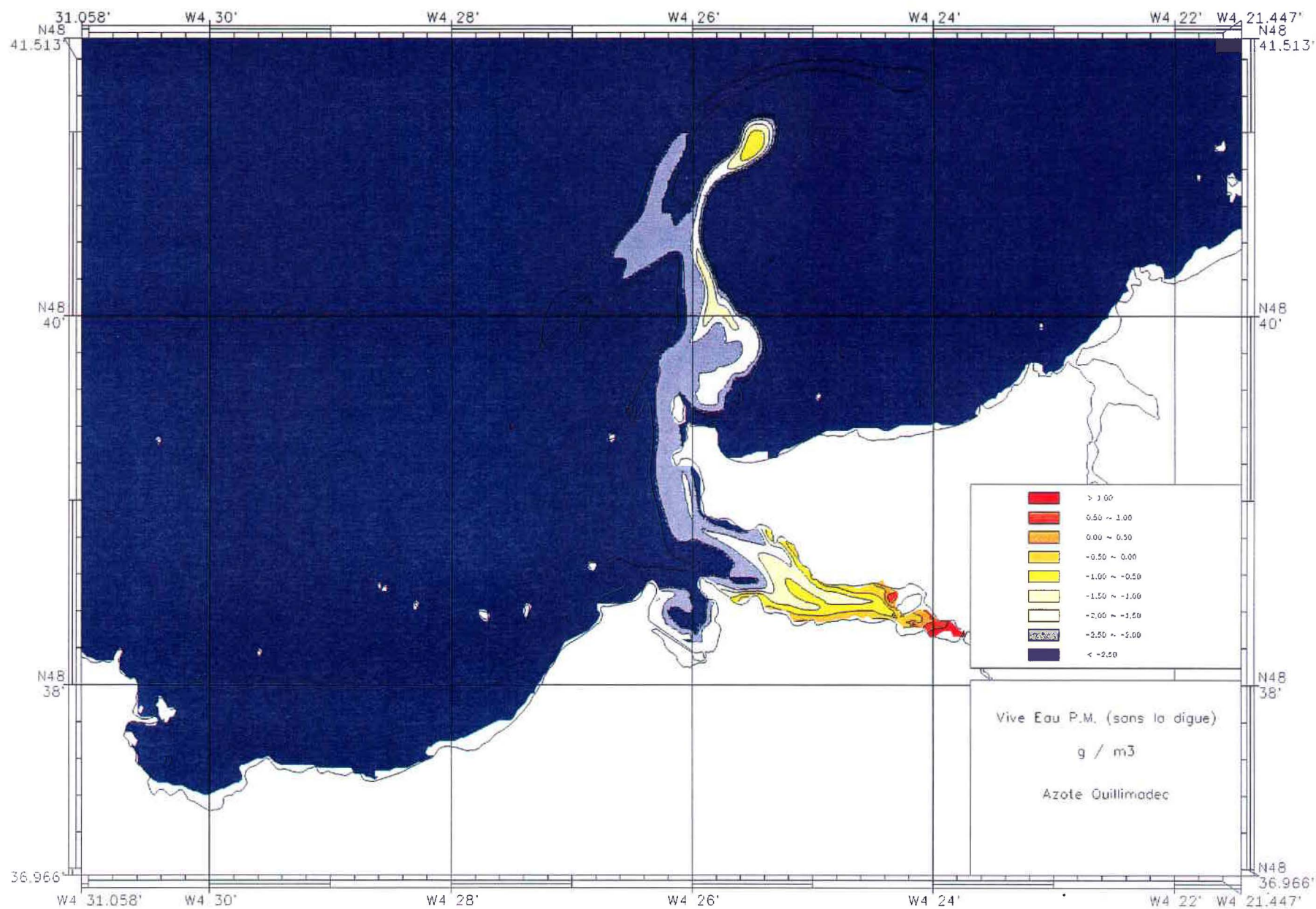
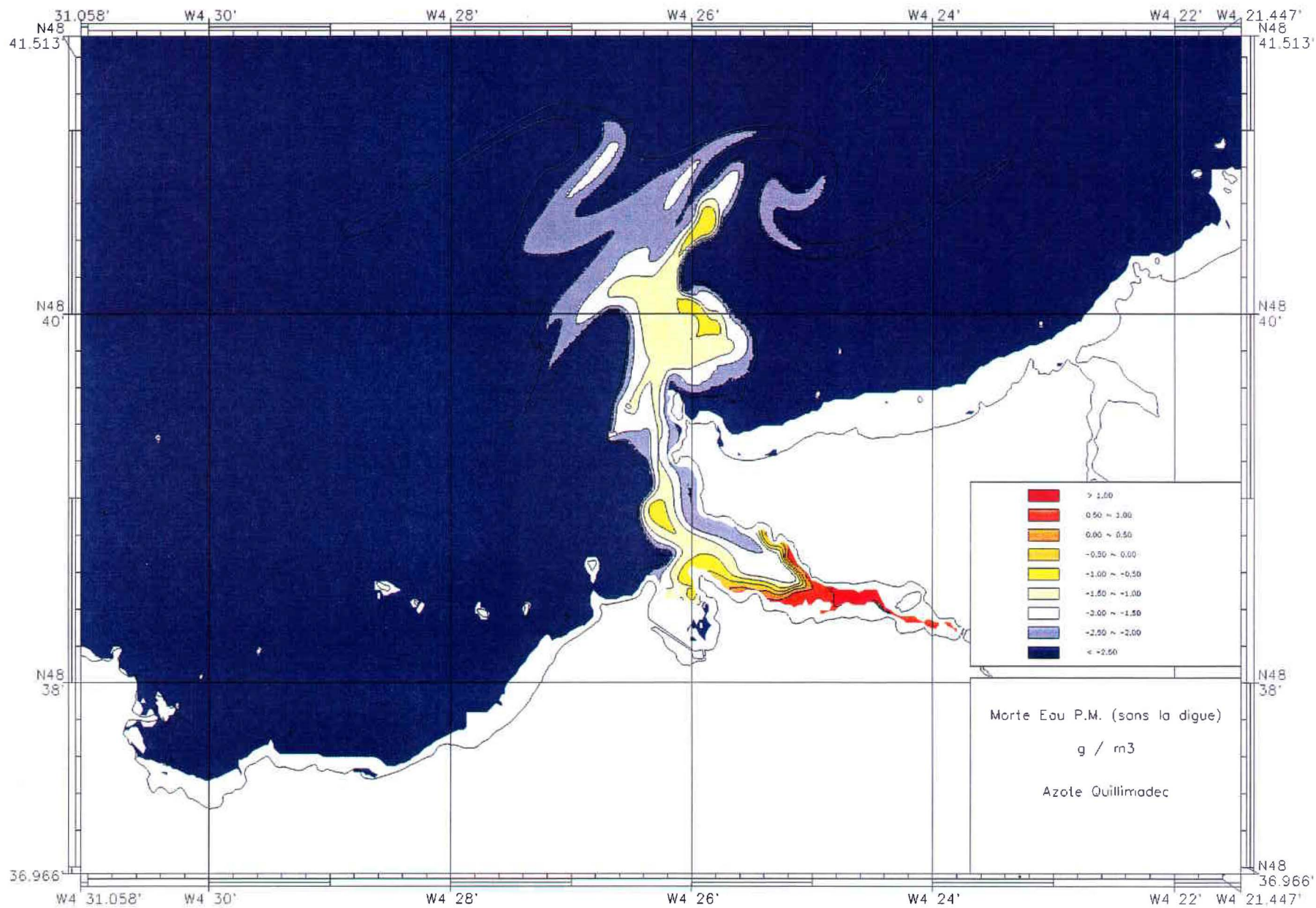


Figure N°35 : L'azote du Quillimadec à PM de VE (test n°1 : sans digue)



**Figure N°36 : L'azote du Quillimadec à PM de ME (test n°1 : sans digue)**



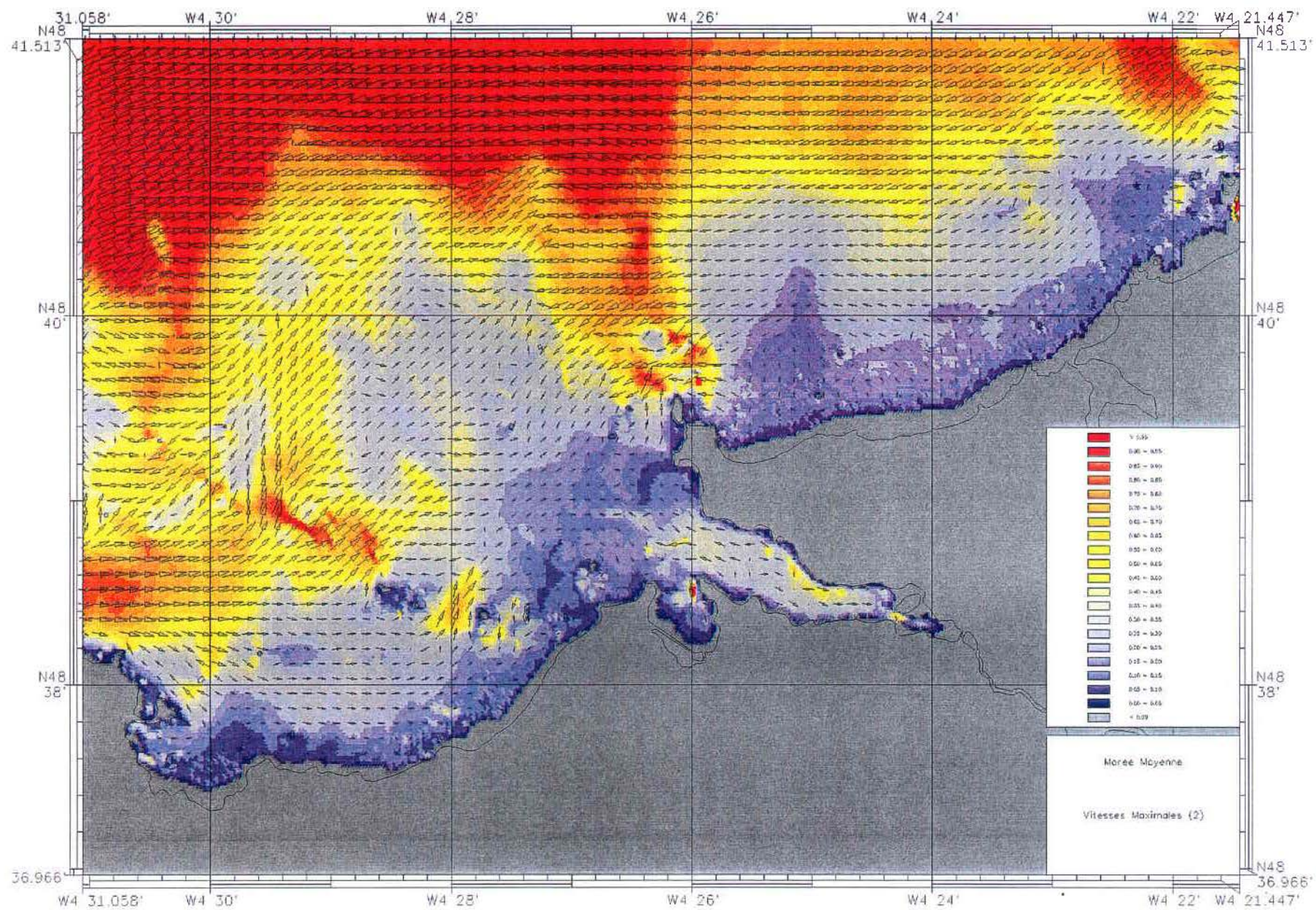


Figure n°37 : Vitesses maximales au cours d'un cycle de marée moyenne (test n°2 : sans digue ni talus)

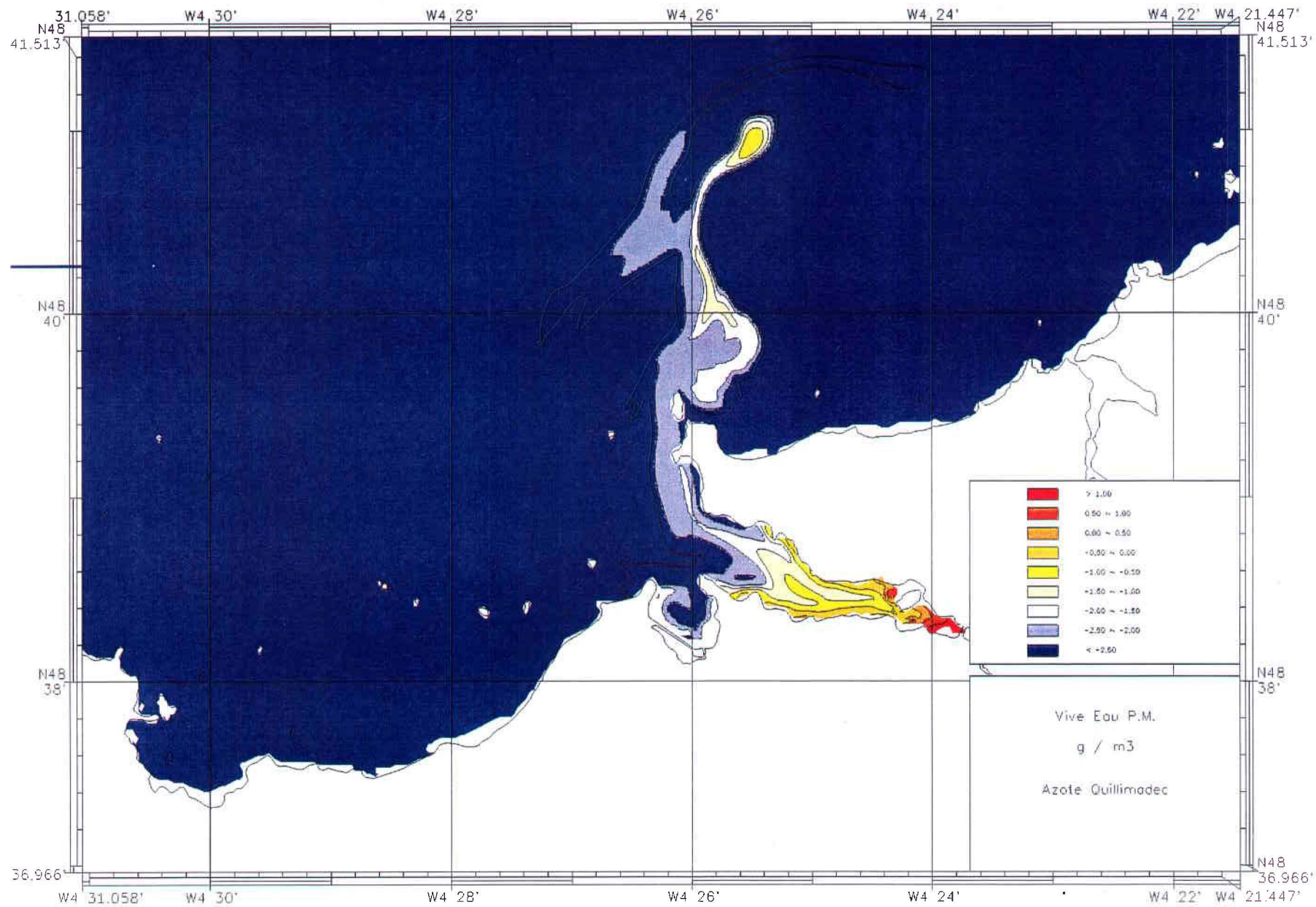


Figure N°38 : L'azote du Quillimadec à PM de VE (test n°2 : sans digue ni talus)

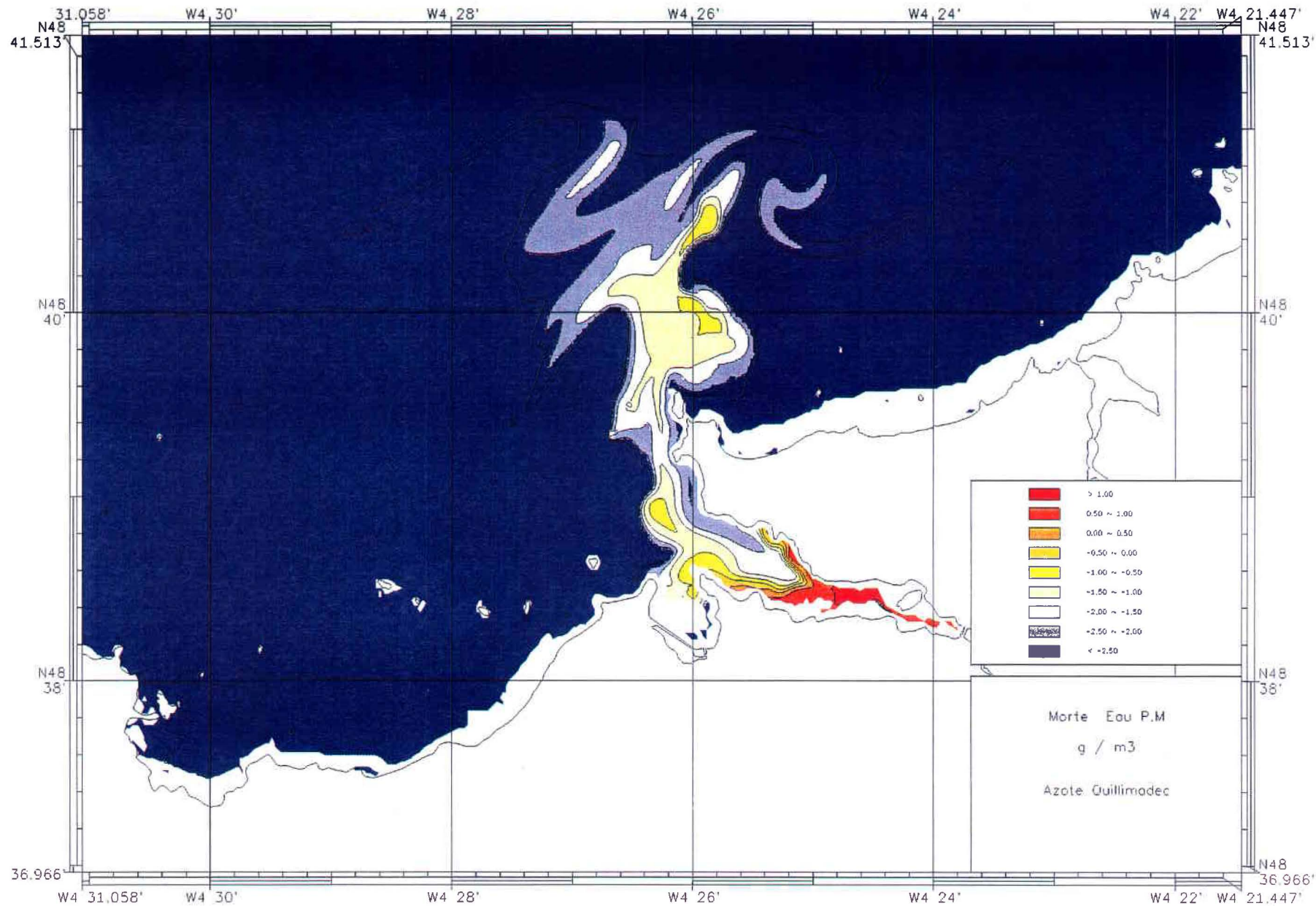


Figure N° 39 : L'azote du Quillimadec à PM de ME (test n°2 : sans digue ni talus)