

Not to be cited without
permission of the authors¹

DFO Atlantic Fisheries
Research Document 94/93

Ne pas citer sans
autorisation des auteurs¹

MPO Pêches de l'Atlantique
Document de recherche 94/93

L'HYDROCLIMAT DÉMERSAL DANS LE RÉSEAU DE CHENAUX DU GOLFE DU SAINT-LAURENT AU COURS DES MISSIONS AUTOMNALES DE 1990 À 1993

par

YVAN SIMARD ET JÉRÔME BENOIT

Institut Maurice-Lamontagne
Ministère des Pêches et Océans
C.P. 1000
Mont-Joli, Québec G5H 3Z4

¹This series documents the scientific basis for the evaluation of fisheries resources in Atlantic Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the secretariat.

¹La présente série documente les bases scientifiques des évaluations des ressources halieutiques sur la côte atlantique du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Les Documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au secrétariat.

ABSTRACT

Temperature recorded during trawling for the DFO groundfish fall surveys in the Gulf of St. Lawrence from 1990 to 1993 is used to draw optimal maps of the demersal temperature. Block cokriging, with the bottom depth as the auxiliary variable, is used to compute estimates of the mean demersal temperature and its error, in the rectangles of 10 min latitude by 10 min longitude of the fishing fleet logbooks in the channel network of the Gulf. Difference between maps are compared using a proposed signification index.

The mean demersal temperature in the 4 northern shrimp fishing areas was relatively stable over the sampled period and averaged 3.3-4.5 °C. Variable areas were located in the channels border, especially near the straits. A slight warming of the demersal temperature seemed to occur in 1993 in the southern part of the channel network and in the Esquiman Channel. **Apparent** cooling was noted in 1992, due to poor location of the stations resulting from the random sampling plan. A change of the sampling plan is suggested to get a better control of the interannual variability in this sampling series. A 3-dimensional kriging of the temperature field could also be tried to estimate the demersal temperature, and compared to the present cokriging approach, in an effort to use all the information available for the interpolation.

RÉSUMÉ

La température mesurée lors des chalutages au cours des relevés d'automne du MPO pour les poissons de fond dans le Golfe du Saint-Laurent de 1990 à 1993, est utilisée pour estimer les cartes optimales de la température démersale. Le cokrigeage par bloc, avec la profondeur du fond comme variable auxiliaire, est employé pour calculer les estimés de la température démersale moyenne et leur erreur, dans les rectangles de 10 min de latitude par 10 min de longitude des journaux de bord de la fotte de pêche dans le réseau de chenaux du Golfe. Les différences entre les cartes sont comparées en utilisant un index de signification qui est proposé.

La température démersale moyenne des 4 zones de pêche à la crevette nordique a été relativement stable au cours de la période d'observation et s'est maintenue entre 3.3 et 4.5 °C. Les endroits les plus variables étaient localisés sur le rebord des chenaux, spécialement près des détroits. Un léger réchauffement de la température démersale a semblé survenir en 1993 dans la partie méridionale du réseau de chenaux ainsi que dans le chenal d'Esquiman. Un refroidissement **apparent** a été noté en 1992, par suite du pauvre positionnement des stations dû au plan d'échantillonnage aléatoire. Un changement du plan d'échantillonnage est suggéré pour obtenir un meilleur contrôle de la variabilité interannuelle dans cette série temporelle. Un krigeage de la température dans un espace à trois dimensions pourrait aussi être tenté pour estimer la température démersale, et comparé à la présente approche par cokrigeage, afin de faire appel à toute l'information disponible pour l'interpolation.

INTRODUCTION

Ce manuscrit a pour objectif de présenter les conditions de température de l'habitat démersal au cours des missions automnales du MPO de 1991 à 1993, pour les relevés de crevette nordique et de poissons de fond du Golfe du Saint-Laurent. Les caractéristiques de l'habitat au voisinage du fond sont souvent en effet des éléments essentiels pour répondre à diverses questions biologiques et écologiques sur les populations démersales, telles la sélection de l'habitat, les conditions de croissance et d'activité, les interactions multispécifiques, etc. C'est pourquoi, au cours de ses relevés de populations, le MPO a toujours mesuré certaines caractéristiques de l'environnement, notamment celles de l'habitat des organismes de fond exploités par les pêcheries. La température était la seule variable mesurée au cours des dernières décennies mais depuis 1990, la salinité et la teneur en oxygène dissous sont également mesurées régulièrement. Dans le présent travail, nous estimons, par une méthode optimale, la température démersale moyenne et sa variance pour chaque rectangle de la grille des relevés de pêche qui sont situés à des profondeurs supérieures à 150 m, profondeurs où l'effort de pêche est concentré (Fig. 1). Cette grille d'estimation est aussi la même que celle utilisée pour la cartographie optimale de la biomasse de crevette nordique au cours des relevés (Simard et Benoit, 1994), afin de permettre le mariage des données environnementales avec la biomasse présente ou capturée. Ces cartes fournissent l'estimé de variance minimale de la température que subissaient les organismes récoltés par chalutage au cours des missions. Les différences d'une année à l'autre et des statistiques sont ensuite produites pour estimer les changements interannuels globaux et locaux de l'hydroclimat démersal au cours des relevés et leur signification.

METHODES

Les données ont été récoltées de août à octobre (Tableau 1) à un ensemble de stations (Figs. 2A-5A) choisies selon le plan d'échantillonnage aléatoire stratifié établi pour les relevés (Gagnon 1991). Les stations étaient visitées selon un parcours est-ouest débutant dans le détroit de Cabot et se terminant dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Un appareil STD-12 de Applied Microsystems Ltd était attaché au dos du chalut de fond utilisé pour la pêche, et récoltait les données de température, de salinité et d'oxygène dissous (depuis 1991) dans une mémoire interne, pendant la descente du chalut, le chalutage sur le fond et la remontée du chalut. Les données étaient récoltées régulièrement à intervalle de 10 s (1991) 5 s (1992) ou 2 s (1993), sauf en 1990 où elles étaient récoltées à intervalles de profondeur de 1 m (Tableau 1). A chaque année, plusieurs appareils étaient utilisées pendant les missions, en alternance, afin de permettre le rechargement des piles et le remplacement en cas d'avarie. Les températures mesurées pendant que le chalut pêchait sur le fond (20-30 min) ont été extraites des

fichiers et leur moyenne a été calculée et attribuée à la position de début de chalutage pour les traitements ultérieurs. Pour 1990, en raison du mode d'acquisition différent des données, une seule mesure de température était récoltée sur le fond à chaque station.

Des estimations locales de température au fond ont ensuite été calculées suivant une méthode géostatistique de minimisation de la variance d'estimation. Il s'agit d'une méthode d'estimation dite de *cokrigage par bloc* (Journel and Huijbregth 1978, Cressie 1991). Elle estime la moyenne de la variable d'intérêt (la température au fond) et sa variance, dans chacun des éléments d'une grille régulière couvrant la région d'étude, en tenant compte de son autocorrélation spatiale et en s'aidant d'une variable auxiliaire (la profondeur du fond) qui y est corellée et qui est densément connue dans l'aire d'étude. La grille d'estimation choisie est celle utilisée par les chalutiers pour reporter leur activité de pêche dans leur journaux de bord, telle qu'établie par les Services de statistique du MPO. Seules les profondeurs supérieures à 150 m ont été conservées, parce que l'aire prospectée se limitait généralement à ces grandes profondeurs (Figs 2A-5A), et que l'effort de pêche y est concentré (Simard et al. 1992). La maille de la grille est un rectangle de 10 min de latitude par 10 min de longitude, ce qui donne une surface approximative de 240 km² (Fig. 1). Le modèle d'autocorrélation spatiale de la température (le variogramme) et de covariance spatiale température-profondeur (le variogramme croisé) a été construit à partir des données des 4 années d'observation combinées. L'estimation de la moyenne par bloc tenait compte de toutes les mesures réalisées de température au fond et de toutes les mesures connues de profondeur (au centre de tous les blocs), dans un voisinage de 50 km de rayon, jusqu'à un maximum de 10 valeurs par variable. Cette moyenne était obtenue en minimisant la variance d'estimation, par résolution du système d'équations linéaires de cokrigage traditionnel ordinaire, établi en utilisant le modèle de structure spatiale construit ci-dessus et les valeurs des observations (c.f. Journel and Huijbregth 1978, Cressie 1991). Les cartes de ces estimations locales et de leur écart-types ont été dressées pour chaque année et des statistiques ont été calculées pour chacune des 4 zones de pêche à la crevette (Fig.1). Les cartes des différences d'une année à l'autre ont ensuite été obtenues par soustraction et un index de signification de ces différences locales a été aussi été cartographié. Par analogie à Simard et Marcotte (1993), cet index utilise l'erreur d'estimation pour mesurer la signification de la différence observée. Il est le rapport de la différence de température ($T_a - T_b$) divisée par la moyenne des écarts-types de krigage, tel que décrit par l'équation ci-dessous:

$$\text{Index de signification} = \frac{T_a - T_b}{(\sigma_{k_a} + \sigma_{k_b}) / 2}$$

où a et b sont les années considérées

Lorsque l'index est supérieur à 2 ou inférieur à -2 dans une région donnée, la différence de température calculée est plus significative et ne pourrait être attribuable à un éventuel positionnement malheureux des données, dû au plan d'échantillonnage aléatoire.

RESULTATS

La température démersale par rectangle de pêche de 10 min de latitude par 10 min de longitude des zones de pêche à la crevette (Fig. 1) s'étalait entre 0 °C et 6.2 °C au cours des missions automnales du MPO de 1990 à 1993 (Tableau 3). La moyenne par zone a varié de 3.3 °C à 4.5 °C avec un écart-type de 0.8 à 1.3 °C (Tableau 2). Elle était légèrement plus froide en 1992 pour toutes les zones sauf la zone 3 où un refroidissement notable de 0.7-0.9 °C par rapport à 1990 et 1993 fut observé (Tableau 2), et correspondait à des minima par rectangle plus froids de 1.2-1.4 °C (Tableau 3).

Les cartes de température démersale (Figs. 2B-5B) indiquent généralement un réchauffement graduel dans les chenaux vers le détroit de Cabot, où la température moyenne atteint 5-6 °C. L'extension horizontale de cette dernière classe de température était maximale en 1993 et minimale en 1992. A l'opposé, les températures les plus froides (1-3 °C) ont été observées dans les plus faibles profondeurs au nord du Golfe, de part et d'autre du détroit de Jacques-Cartier et à la tête du chenal Esquiman ainsi que le long de son flanc terre-neuvien. L'erreur d'estimation de la température moyenne par bloc (Figs. 2C-5C) était généralement inférieure à 1.0 °C. Des erreurs plus élevées ont été estimées occasionnellement dans des régions où les observations étaient rares.

Les cartes des différences interannuelles (Figs. 6A-8A) montrent que les changements d'une année à l'autre sont généralement faibles, inférieurs à ± 0.5 °C, et non significatifs. Les variations les plus importantes surviennent le plus généralement sur les bords des chenaux, au pourtour de la zone d'observation, où les observations se raréfient et où la profondeur change rapidement, ainsi que dans les trous d'échantillonnage, tel celui du chenal d'Esquiman en 1992 (Fig. 4A). Les cartes d'index de signification (Figs. 6B-8B) montrent que certaines de ces variations sont parfois significatives, leur index étant supérieur à |2|. C'est le cas notamment des changements régionaux de température notés entre 1992 et 1993 dans le chenal d'Esquiman (Fig. 8).

DISCUSSION

Contexte de la variabilité

La variabilité de la température démersale dans l'espace et dans le temps est le résultat combiné de plusieurs facteurs, qu'on peut rattacher à 3 aspects: (1) l'instrumentation, (2) l'échantillonnage et (3) l'hydrodynamique. Dans la première catégorie, la précision des thermistors des AML-STD-12 utilisés est de 0.01 d'après les spécifications du manufacturier. Leur vitesse d'acclimatation à la température ambiante est de 350 ms, sauf pour les modèles STD-12+ où elle est de 85 ms. Les caractéristiques des instruments fournissent donc une précision suffisante pour l'usage qu'il en fut fait ici. Toutefois, ces instruments doivent être minutieusement calibrés régulièrement pour maintenir cette précision. Ce point est d'autant plus important que plusieurs instruments ont été utilisés en alternance au cours des missions. Une mauvaise calibration des instruments à une période donnée pourrait indiquer des changements non réels dans la température *in situ*. De la même façon, un biais sur un des instruments ou une avarie non détectée à temps pourrait simuler des changements régionaux de température lorsque cet instrument est utilisé pendant les missions. Les instruments ont été vérifiés (à chaque mission) et calibrés régulièrement (2 ans max) (Tableau 1), et nous n'avons détecté aucun changement important des paramètres de calibration. Il semble qu'on peut donc négliger les variations dues à la calibration. (On sait cependant qu'un des instruments utilisés en 1990 a fourni de mauvaises lectures de salinité et que la variabilité (faible) à une station dépend de l'instrument utilisé.)

L'échantillonnage de la température démersale par les instruments fut faite de façon différente à chaque année. Pour 1991 à 1993, la série des valeurs mesurées sur le fond était suffisamment longue et peu variable (écart-type max ≈ 0.05 °C) pour obtenir une valeur précise de température moyenne à la station. En 1990, comme une seule lecture était faite sur le fond, la variabilité de la mesure était vraisemblablement plus grande, mais on ne peut la quantifier; vue la stabilité des mesures au fond, elle était sans doute faible. Le variogramme des données de 1990 est cependant plus erratique que ceux des autres années, indiquant une plus faible continuité dans les données de cette année là.

La localisation aléatoire des stations à chaque année est une autre source de variabilité interannuelle non contrôlée. Pour les fins de comparaisons d'une année à l'autre, il aurait en effet été préférable de visiter le même réseau de stations à chaque année, d'autant plus que la cartographie dépend des données disponibles et de leur localisation, la plus régulière possible. En cartographie naive, une station répétée dans le même voisinage mais à une profondeur différente pourrait changer considérablement la carte de température démersale parce que cette variable est aussi fonction de la profondeur. Bien que l'on ne puisse s'affranchir complètement de ce problème d'échantillonnage aléatoire et de relation avec la profondeur, il est possible d'en tenir

compte dans la cartographie en calculant l'erreur locale d'estimation dans la carte, dûe au positionnement relatif des stations entre elles, ainsi qu'en calculant ces estimés en tenant compte de la bathymétrie locale par cokrigeage, comme nous avons fait ici. Cette erreur est fort utile ensuite pour valider les changements de température observés entre les cartes annuelles, comme ce fut fait ci-dessus.

La troisième source de variabilité de la température démersale est celle résultant de la dynamique des masses d'eau, leur diffusion, leur advection, leur mélange, leur oscillation, qui se manifeste à plusieurs échelles spatio-temporelles. Des variations de petite échelle spatiale et/ou temporelle, sous l'effet d'ondes internes, d'ondes de tempête, de mélange vertical dans des passages etc., peuvent "polluer" les données discrètes récoltées et générer un problème de repliement (aliasing) dans l'interprétation des variations aux échelles supérieures qui nous intéressent, telle l'échelle annuelle. Le lissage des données permet de minimiser cet effet perturbant des variations de petite échelle. Le krigeage est un outil très approprié dans ce cas parce qu'il effectue un tel lissage dans la cartographie qui est fonction de la dimension du voisinage utilisé dans le processus d'interpolation optimale. Le voisinage employé ici est de 100 km. de diamètre. Donc une variation fortuite à une station, sous l'effet du passage d'une onde interne au moment de l'échantillonnage par exemple, sera considérablement amortie dans l'estimation locale par l'information des stations avoisinantes. De plus, comme pour la nappe d'eau profonde du Golfe, le gradient vertical et horizontal est faible, cet effet des variations de petite échelle est réduit. Dans l'interprétation des variations annuelles d'après les cartes, il demeure toujours cependant que seuls les changements de moyenne échelle sont réellement interprétables physiquement et que les changements de petite échelle ont peu de signification à ce niveau.

Conclusion:

Comme il était prévisible pour cette nappe d'eau profonde du Golfe, la température démersale des chenaux n'a pas varié considérablement au cours des missions de 1990 - 1993. Des variations de petite échelle spatiale sont observées au pourtour de la région d'étude, particulièrement près des détroits, mais elles peuvent parfois résulter du positionnement différent des stations d'une année à l'autre, et particulièrement de leur localisation par rapport à la bathymétrie. Pour les variations de plus grande échelle, il semble que la masse d'eau démersale se soit réchauffée légèrement en 1993 dans le sud de la région d'étude et dans le chenal d'Esquiman. Le refroidissement notable observé dans le chenal d'Esquiman en 1992 apparaît résulter plus d'un trou d'échantillonnage au milieu du chenal (Fig. 4A), - le processus d'interpolation n'ayant tiré son information essentiellement que des stations froides de faible profondeur dans le voisinage -, que de variations réelles de température. L'abaissement général et faible de température moyenne en 1992 pourrait résulter du plan d'échantillonnage, - marqué de vides d'observation aux grandes profondeurs par rapport aux autres années - et/ou de l'instrumentation.

Recommandation:

Il serait souhaitable de revoir le plan d'échantillonnage, afin d'assurer un meilleur suivi temporel de la température démersale, pour un même effort d'échantillonnage. Comme la cartographie est optimale (i.e. présentant la plus faible variabilité) dans le cas d'un échantillonnage à maille régulière plutôt qu'aléatoire, il serait bon de se rapprocher de ce plan d'échantillonnage afin d'éviter les trous d'observation comme en 1992. De plus, afin de minimiser la variabilité fortuite d'une année à l'autre il serait bon de toujours employer le même réseau de stations de façon à ce que des variations ne soient pas induites par un réseau différent d'observations entre les relevés.

De plus, afin d'améliorer l'estimation locale de la température démersale en utilisant toute l'information disponible des profils de température, et non seulement la température sur le fond au moment du chalutage, il serait avantageux d'employer un modèle de krigeage en trois dimensions.

REMERCIEMENTS

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à la collecte des données en mer et à leur dépouillement et archivage au laboratoire, spécialement M. Jean Landry.

REFERENCES

- Cressie, N. A. 1991. Statistics for spatial data. John Wiley and Sons, Inc. 900 p.
- Gagnon, P. 1991. Optimisation des campagnes d'échantillonnage: les programmes REGROUPE et PARTS. Rapp. tech. sci. halieut. aquat. 1818: 20 p.
- Journel, A. G., and Ch. J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press NY. 600 p.
- Simard, Y., J. Benoit, M. Desgagnés, L. Savard et S. Hurtubise. 1992. Atlas de la pêche à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) dans le golfe du Saint-Laurent 1982-1991: captures, effort, rendement, saison. / Atlas of the northern shrimp (*Pandalus borealis*) fishing in the Gulf of St. Lawrence 1982-1991: catch, effort, yield, season. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1900, 73 p.
- Simard, Y. et J. Benoit. 1994. Cartographie et estimation géostatistiques de la biomasse de crevette nordique (*Pandalus borealis*) du golfe du Saint-Laurent de 1991 à 1993, par classe de taille et par zone de pêche. MPO Document de recherche sur les pêches dans l'Atlantique 94/ 92, 47 p.

Simard, Y., and D. Marcotte. 1993. Assessing similarity and difference among maps: a study of temporal changes in distribution of northern shrimp (*Pandalus borealis*) in the gulf of St. Lawrence. *In*: Soares A. (ed), Geostatistics Troia '92, (Proc. 4th Int. Geostatistics Congress, Troia 13-18 Sept. 1992), Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Vol. 2: 865-874.

Tableau 1. Caractéristiques de l'échantillonnage pour la température démersale au cours des relevés d'automne des populations de crevette nordique et de poissons de fond de 1990 à 1993.

ANNEE	DATES	NAVIRE	AML STD-12*** (0.01°C, 350 ms)	δt (s)	NO. STATIONS
1990	21/08-09/09	FRV/Alfred-Needler (50 m)	#552, 525	**	143
1991	25/08-16/09	FRV/Alfred-Needler (50 m)	#552, 576	10	214
1992	11/08-01/09	FRV/Alfred-Needler (50 m)	#552, 576	5	196
1993	18/08-08/09	FRV/Alfred-Needler (50 m)	#595, 525, 624*	2	224

*STD-12+ (0.01°C, 85 ms)

** $\delta z = 1m$

***Les appareils sont soumis à une vérification de routine de leur bon fonctionnement après chaque mission. Les appareils sont de plus testés à chaque année et, si la température mesurée est différente de 0.01 °C de la vraie valeur, ils sont alors recalibrés. Tous les appareils sont recalibrés à intervalle de 2 ans. Le #624 a été acquis en 1993 et calibré le 12 mai 1993. Le #595 a été calibré en mars 1993; le # 552 (avarie majeure à l'hiver 1993), en avril 1991 et le 28 sept. 1992; le #576, le 18 oct. 1990, le 28 sept. 1992 (+changement de la sonde de conductivité) et en avril 1993; le #525, le 2 août 1991, le 23 mars 1993 (température seulement) et en novembre 1993. Il y a eu peu de changement entre les calibrations (<0.07 °C).

Tableau 2. Température démersale moyenne des blocs estimés et (écart-type) par zone de pêche de 1990 à 1993.

Année	Zone 1 121 blocs	Zone 2 142 blocs	Zone 3 83 blocs	Zone 4 19 blocs
1990	4.3 (0.9)	4.4 (1.2)	4.0 (1.0)	4.1 (0.8)
1991	4.1 (1.1)	4.3 (1.1)	3.7 (1.0)	3.6 (0.9)
1992	3.9 (1.2)	4.2 (1.1)	3.3 (1.3)	3.5 (0.8)
1993	4.0 (1.2)	4.5 (1.3)	4.2 (1.0)	3.7 (0.9)

Tableau 3. Température démersale minimale et maximale des blocs estimés par zone de pêche de 1990 à 1993.

Année	Zone 1 121 blocs	Zone 2 142 blocs	Zone 3 83 blocs	Zone 4 19 blocs
1990	1.6 - 6.1	-0.0 - 6.2	1.8 - 5.6	2.3 - 5.0
1991	1.5 - 5.9	0.8 - 6.1	0.5 - 5.2	2.1 - 5.5
1992	0.9 - 5.6	0.9 - 5.8	0.4 - 5.3	1.8 - 4.6
1993	1.2 - 6.0	0.8 - 6.0	1.6 - 6.0	2.3 - 4.8

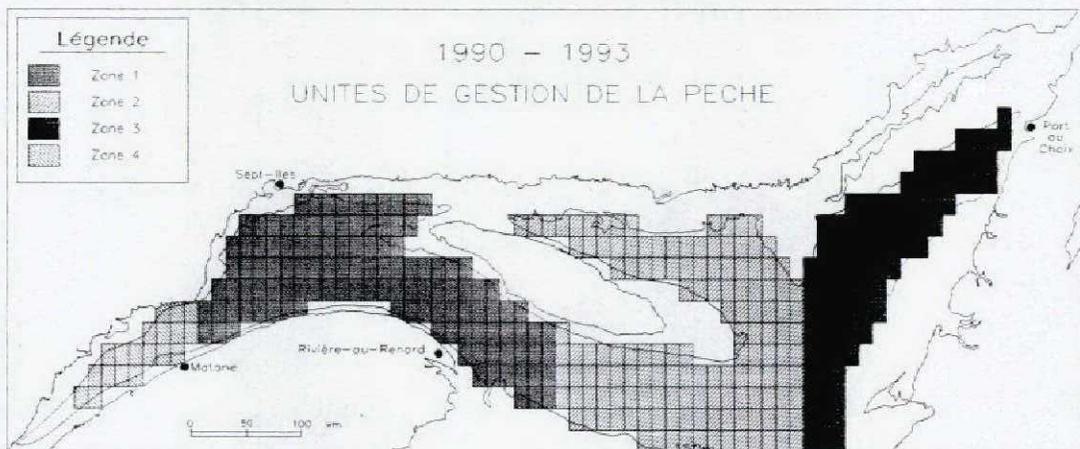


Figure 1. Carte des unités de gestion de la pêche à la crevette nordique présentant la grille d'interpolation dont la maille est celle des journaux de bord des chalutiers.

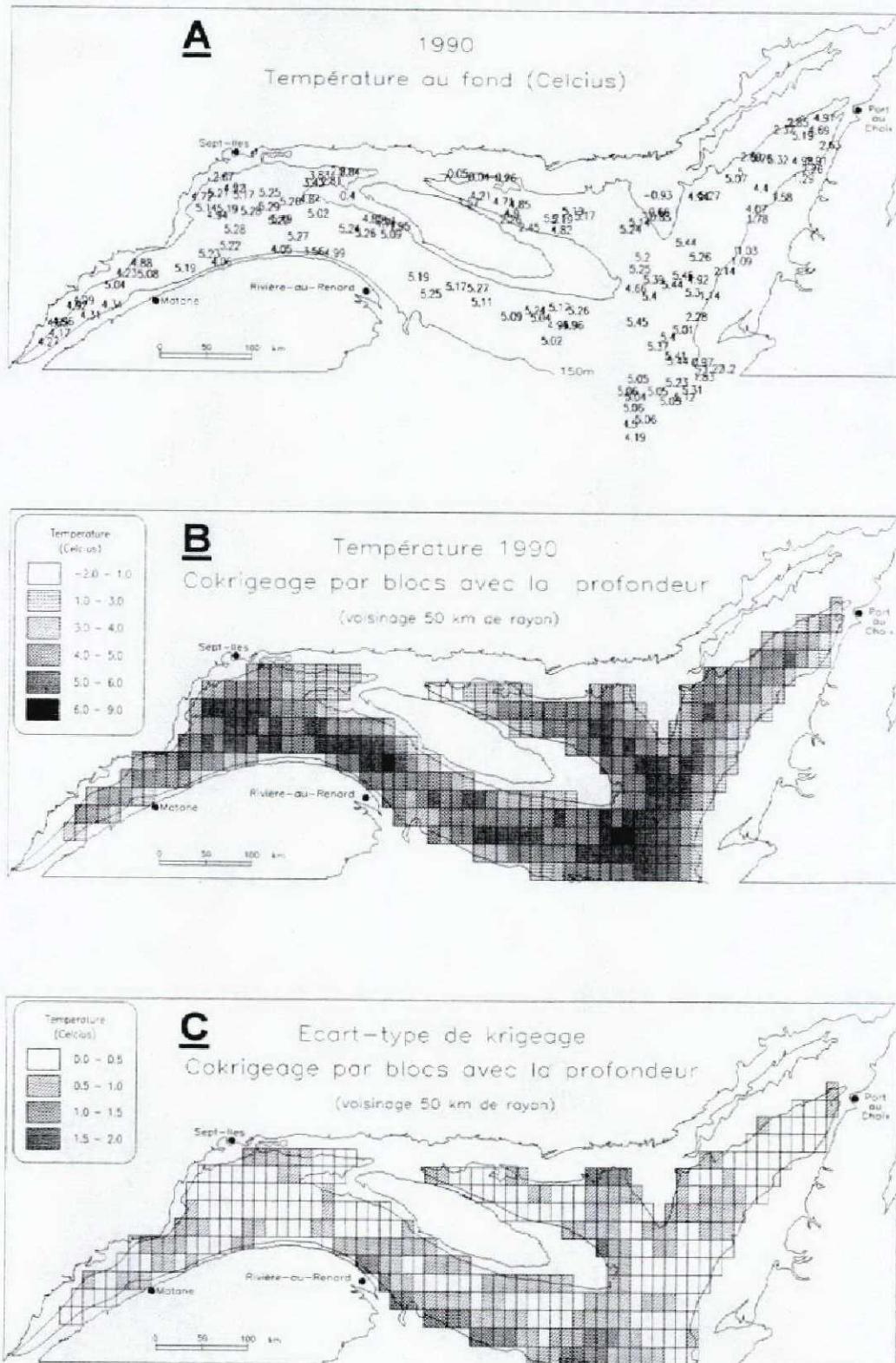


Figure 2. Cartes de la température démersale au cours de la mission 1990:
A: données récoltées, B: température moyenne par bloc estimée
C: écart-type de krigeage de la température estimée.

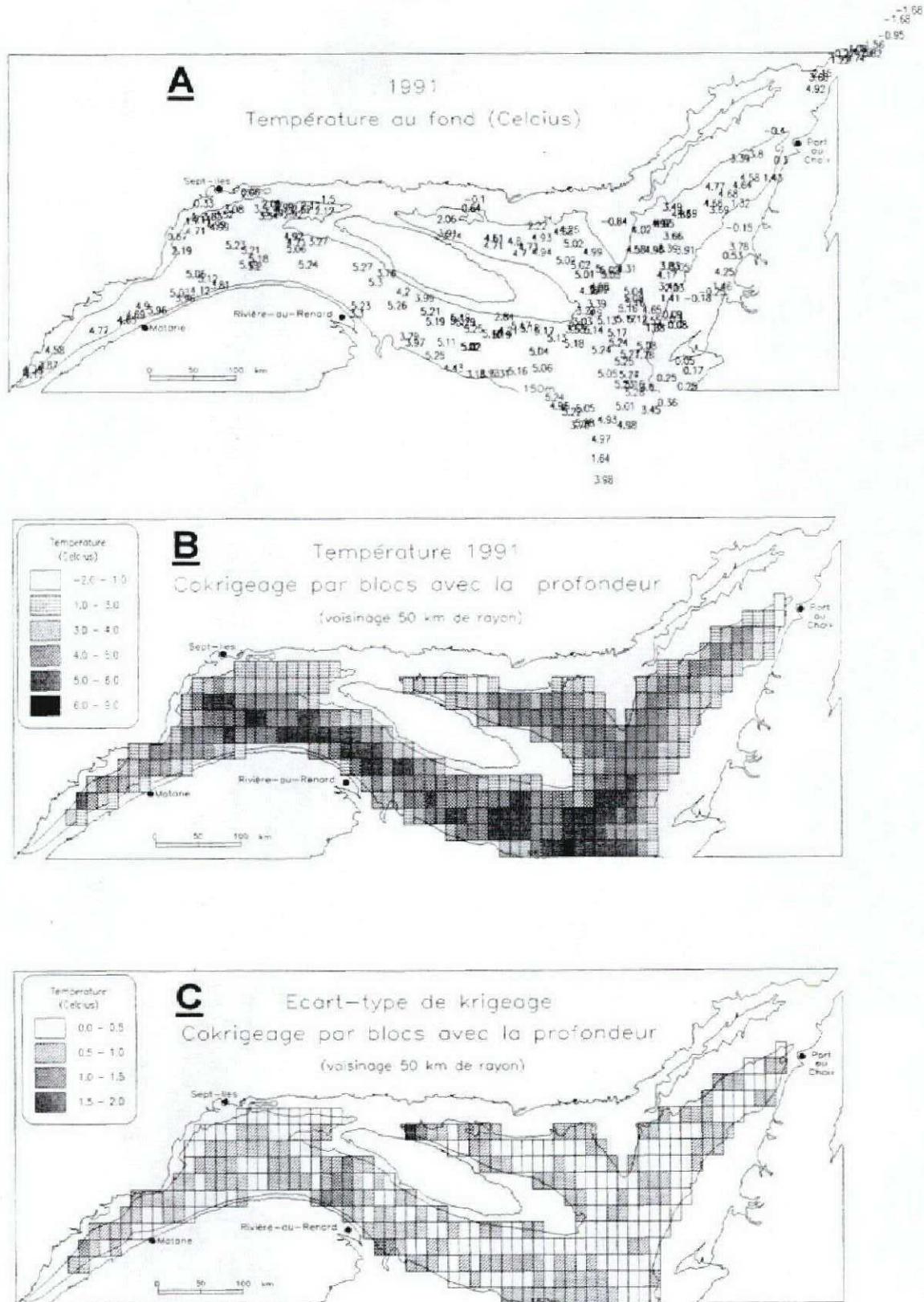


Figure 3. Cartes de la température démersale au cours de la mission 1991:
A: données récoltées, B: température moyenne par bloc estimée
C: écart-type de krigeage de la température estimée.

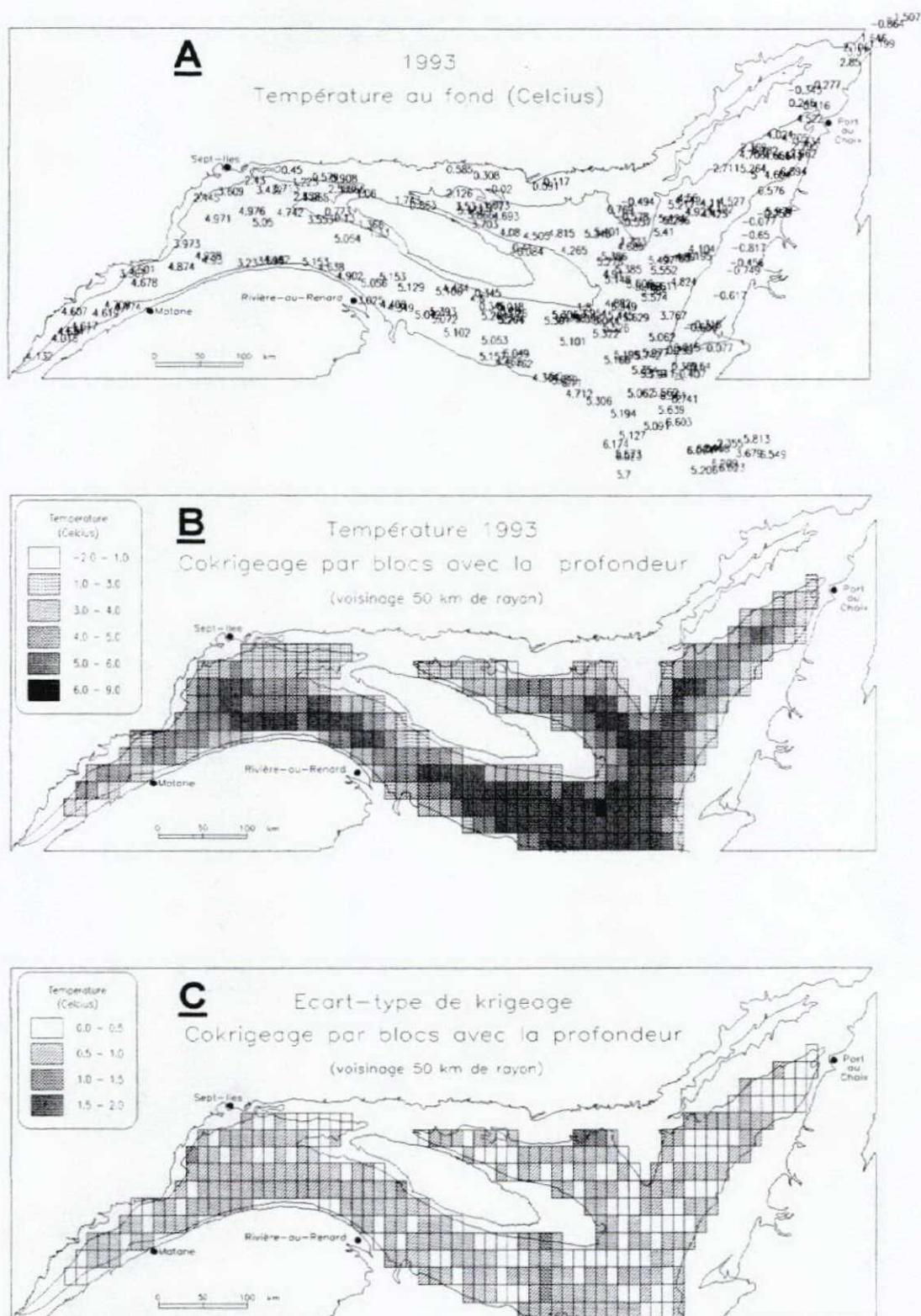


Figure 5. Cartes de la température démersale au cours de la mission 1993:
A: données récoltées, B: température moyenne par bloc estimée
C: écart-type de krigeage de la température estimée.

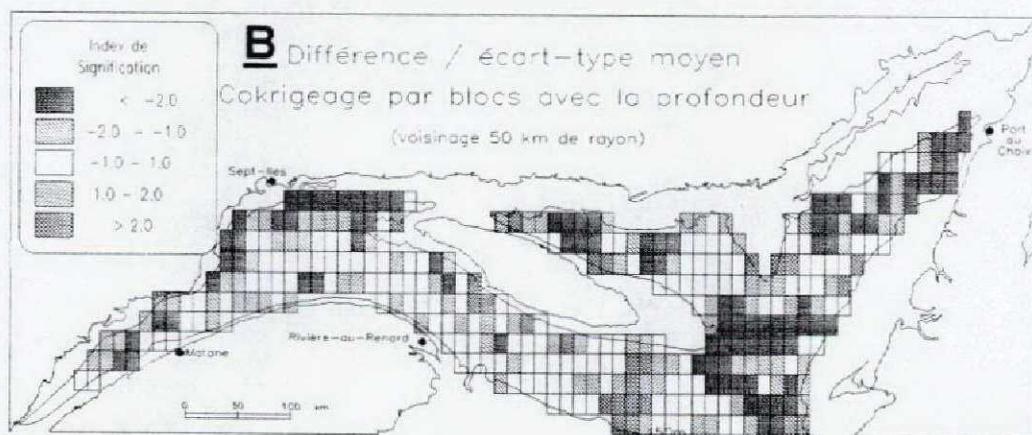
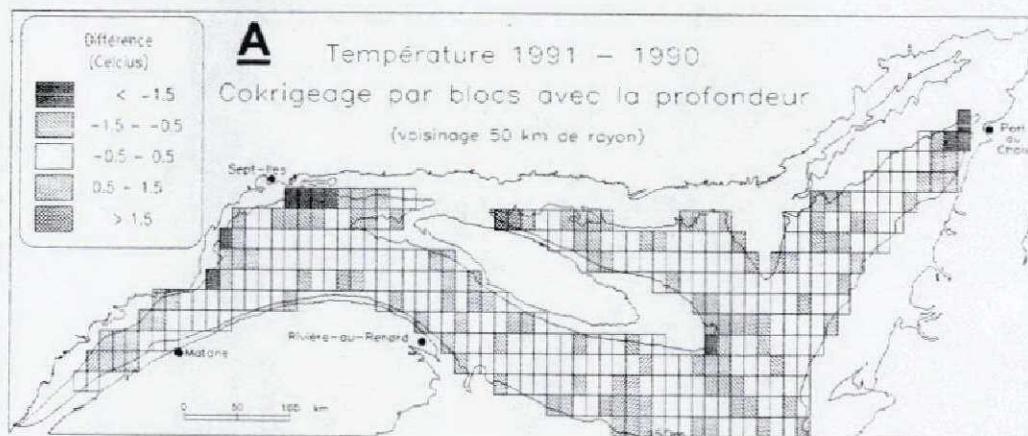


Figure 6. Cartes (A) de la différence de température démersale entre les missions 1991 et 1990 et (B) de l'index de signification de cette différence (voir texte)

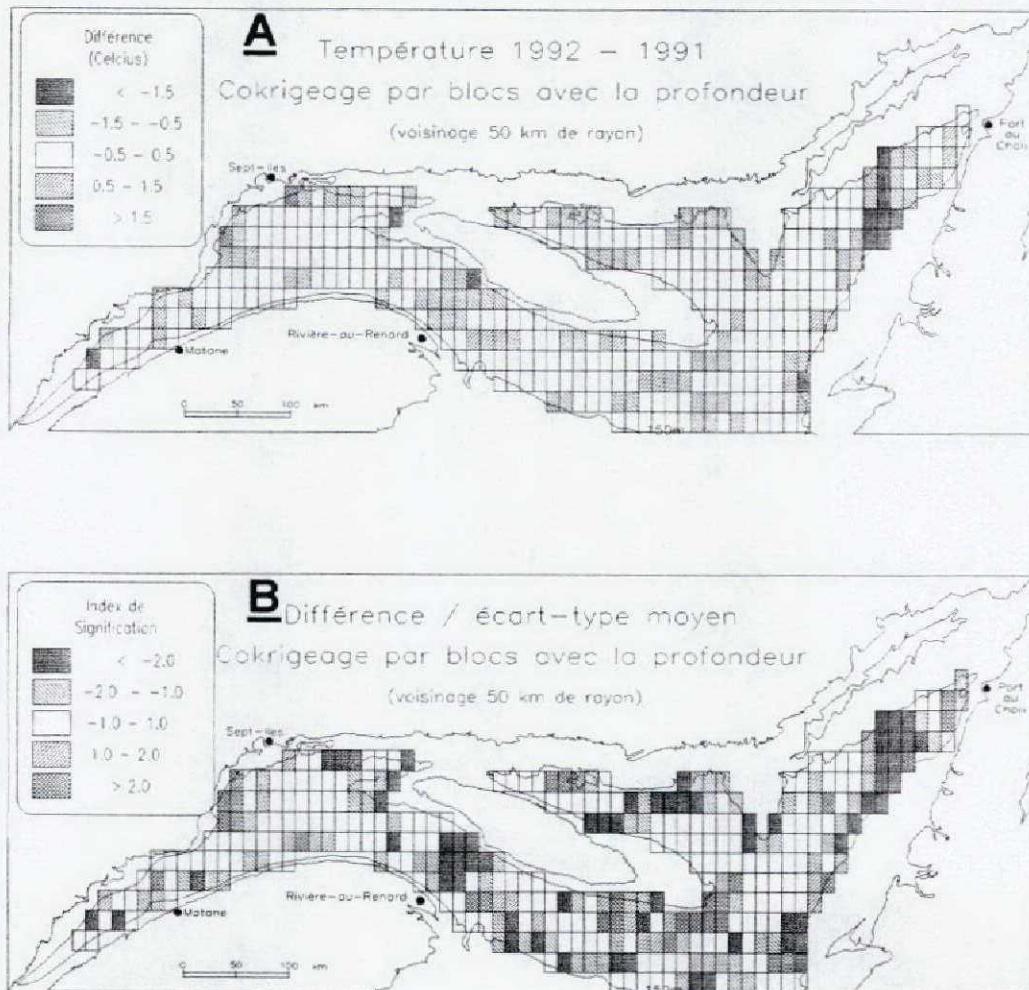


Figure 7. Cartes (A) de la différence de température démersale entre les missions 1992 et 1991 et (B) de l'index de signification de cette différence (voir texte)

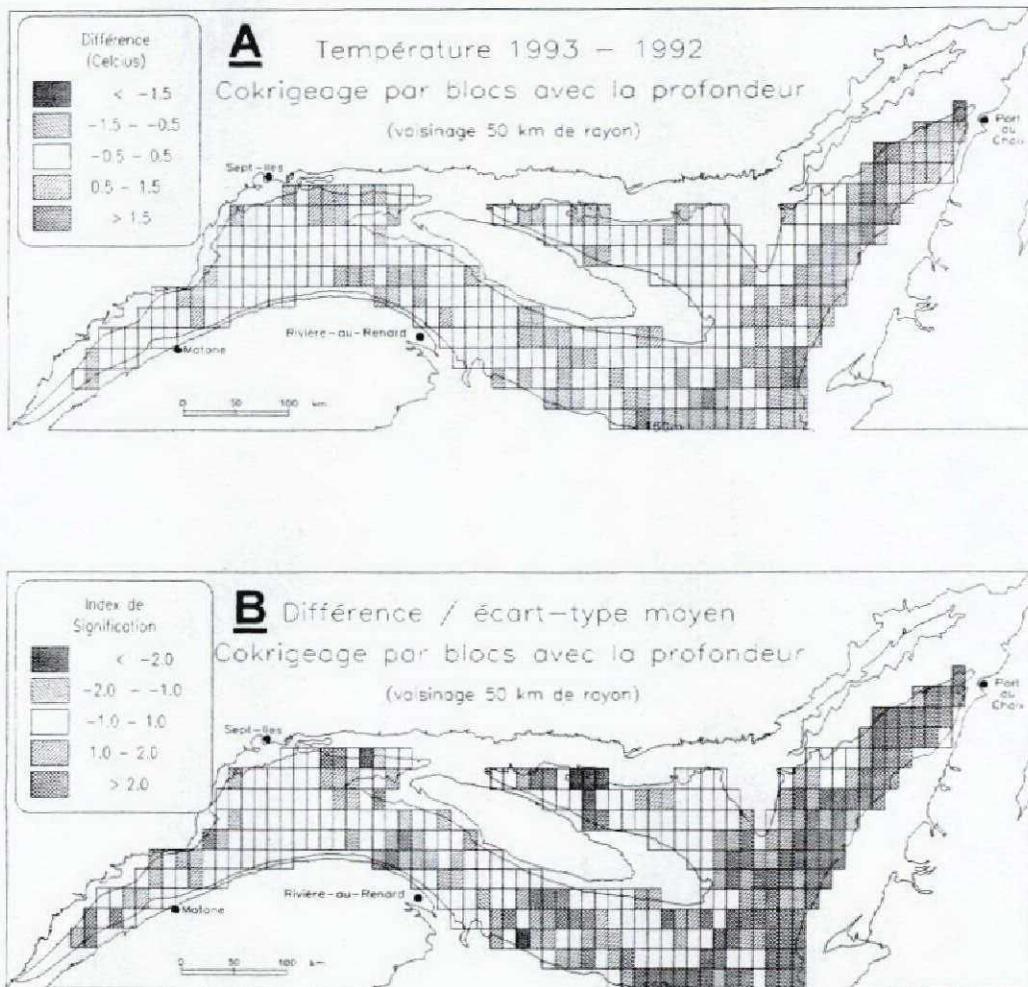


Figure 8. Cartes (A) de la différence de température démersale entre les missions 1993 et 1992 et (B) de l'index de signification de cette différence (voir texte)