



**HAL**  
open science

# Traitement d'images appliqué à la cartographie numérique quantitative de la circulation océanique

Brigitte Bianchi, Lucien Wald

► **To cite this version:**

Brigitte Bianchi, Lucien Wald. Traitement d'images appliqué à la cartographie numérique quantitative de la circulation océanique. Colloque AAAF/ATMA/SAe "Espace et Mer", Nov 1987, Marseille, France. pp.349-351. hal-00468053

**HAL Id: hal-00468053**

**<https://minesparis-psl.hal.science/hal-00468053>**

Submitted on 19 Apr 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## IV/18. TRAITEMENT D'IMAGES APPLIQUE A LA CARTOGRAPHIE NUMERIQUE QUANTITATIVE DE LA CIRCULATION OCEANIQUE

B Bianchi & L Wald

*Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Valbonne, France*

### RESUME

Une méthode numérique de calcul du courant superficiel est présentée ici. Elle utilise uniquement un couple de thermographies satellitaires, qui sert à résoudre, en chaque pixel de l'image, une équation d'advection instationnaire de la chaleur. Cette méthode est appliquée à des images d'un tourbillon issu du Gulf Stream, avec des résultats satisfaisants.

Mots-Clés : Courant de surface, Thermographie satellitaire, Modèle numérique.

A partir d'une série chronologique de thermographies satellitaires, il est possible de calculer le courant à la surface de l'océan en faisant appel à l'équation de la conservation de la chaleur, réduite à une équation d'advection instationnaire.

Soit une couche superficielle de propriétés homogènes verticalement et animée d'un mouvement non-divergent dans le plan horizontal (O, x, y), de vitesse  $\vec{U}(x, y)$ . Supposons également que les variations à court terme (de l'ordre de la journée) de la température de surface,  $T(x, y)$ , sont essentiellement dues à l'advection horizontale de chaleur ainsi qu'aux échanges thermiques entre cette couche et l'atmosphère et la couche sous-jacente, la diffusion thermique latérale étant négligée. De l'équation de conservation de la chaleur, on peut alors obtenir l'équation suivante, où les indices x, y, t et h (horizontal) désignent les dérivées partielles et où  $Q(x, y)$  est proportionnel à la somme sur une journée des échanges verticaux de chaleur :

$$T_t(x, y) + \vec{U}(x, y) \cdot \vec{\nabla}_h T(x, y) = Q(x, y) \quad (1)$$

Pour cet écoulement non-divergent, il existe une fonction de courant,  $\Psi$ , telle que :

$$\begin{aligned} \vec{U}(x, y) &= (u, v) \\ u(x, y) &= -\Psi_y \\ v(x, y) &= +\Psi_x \end{aligned} \quad (2)$$

D'où :

$$T_t - \Psi_y T_x + \Psi_x T_y = Q(x, y) \quad (3)$$

qui est l'équation de base de cette méthode de calcul de champ de courant superficiel à l'aide de thermographies.

En effet, étant donné deux thermographies successives, on peut calculer en chaque point les dérivées partielles suivant t, x, et y. Si Q est connu et si la fonction de courant est connue en quelques points, alors les équations (2) et (3) donnent le champ de courant superficiel.

La fonction de courant n'étant pas unique, il est nécessaire de disposer d'une valeur de la fonction de courant sur chaque isotherme. Ces valeurs initiales peuvent être données par la ligne de côte qui est une ligne de courant à laquelle peut être attribuée une valeur arbitraire. Cette condition initiale peut être remplacée par tout autre ensemble de points pour lesquels la fonction de courant est connue. Le champ de courant sera alors déterminé le long des isothermes interceptant l'un de ces points.

La résolution de l'équation (3) passe par plusieurs étapes de traitement numérique. Les images utilisées sont celles des satellites de la série NOAA, équipés d'un capteur AVHRR. Le capteur permet de mesurer l'énergie émise par l'ensemble terre-atmosphère. Le traitement de ces images satellitaires requiert un étalonnage du capteur afin d'obtenir une liaison entre la température des corps au sol et les données en compte numérique. Le signal émis par la surface de la mer est toutefois perturbé par l'atmosphère. Il faut donc corriger les mesures pour obtenir les températures réelles de la mer.

Les thermographies sont rectifiées géométriquement afin de corriger les effets d'acquisition du satellite et de les rendre superposables dans une projection cartographique choisie. Elles sont ensuite filtrées afin d'éliminer les fréquences indésirables (bruit de mesure, bruit induit par la correction atmosphérique, etc...). La moyenne des deux thermographies fournira le gradient horizontal et leur différence, la dérivée temporelle. Pour une meilleure cartographie du courant, il est nécessaire d'augmenter le nombre de points de résolution de l'équation. Ceci est fait en interpolant les isothermes en prenant appui sur une transformée en distance. Une fois les calculs préliminaires établis, la résolution de l'équation peut être faite.

L'exemple traité pour illustrer ce calcul de courant superficiel est un tourbillon issu du Gulf Stream dont l'image moyenne des thermographies est donnée en Figure 1. Le gradient thermique est tout d'abord déterminé. Les valeurs initiales de la fonction de courant sont attribuées sur un rayon du tourbillon. Pour le calcul proprement dit il faut distinguer deux cas : les zones interceptant le rayon et celles n'interceptant pas le rayon. Ces dernières ne peuvent être traitées que par une méthode d'ajustement ou de continuité appropriée. La cartographie de la fonction de courant est ensuite densifiée par une interpolation bilinéaire afin d'obtenir une image plus complète. De là le calcul du vecteur courant découle aisément (Figure 2).

La détermination automatique de la précision du modèle sera faite en parcourant de manière opposée la démarche utilisée pour calculer la fonction de courant. C'est-à-dire qu'en utilisant la fonction de courant et la première image satellitaire, la seconde image sera estimée à partir de l'équation

de conservation de la chaleur. La comparaison de cette estimation avec la seconde image réellement observée permettra de quantifier l'erreur commise en chaque pixel (Figure 3).

En collaboration avec l'Université de Miami et l'Agence Spatiale Européenne, une comparaison satisfaisante a été effectuée sur le tourbillon du Gulf Stream entre les résultats du modèle et les mesures in situ.

On montre ainsi qu'une équation d'advection décrit parfaitement le champ thermique. Ce comportement de la température comme traceur passif est confirmé par l'analyse statistique de la structure turbulente du champ de température à moyenne échelle.

On peut dire que les thermographies satellitaires fournissent une information irremplaçable sur le champ superficiel de courant, de par leur répétitivité et leur résolution fine associée à une grande couverture spatiale.

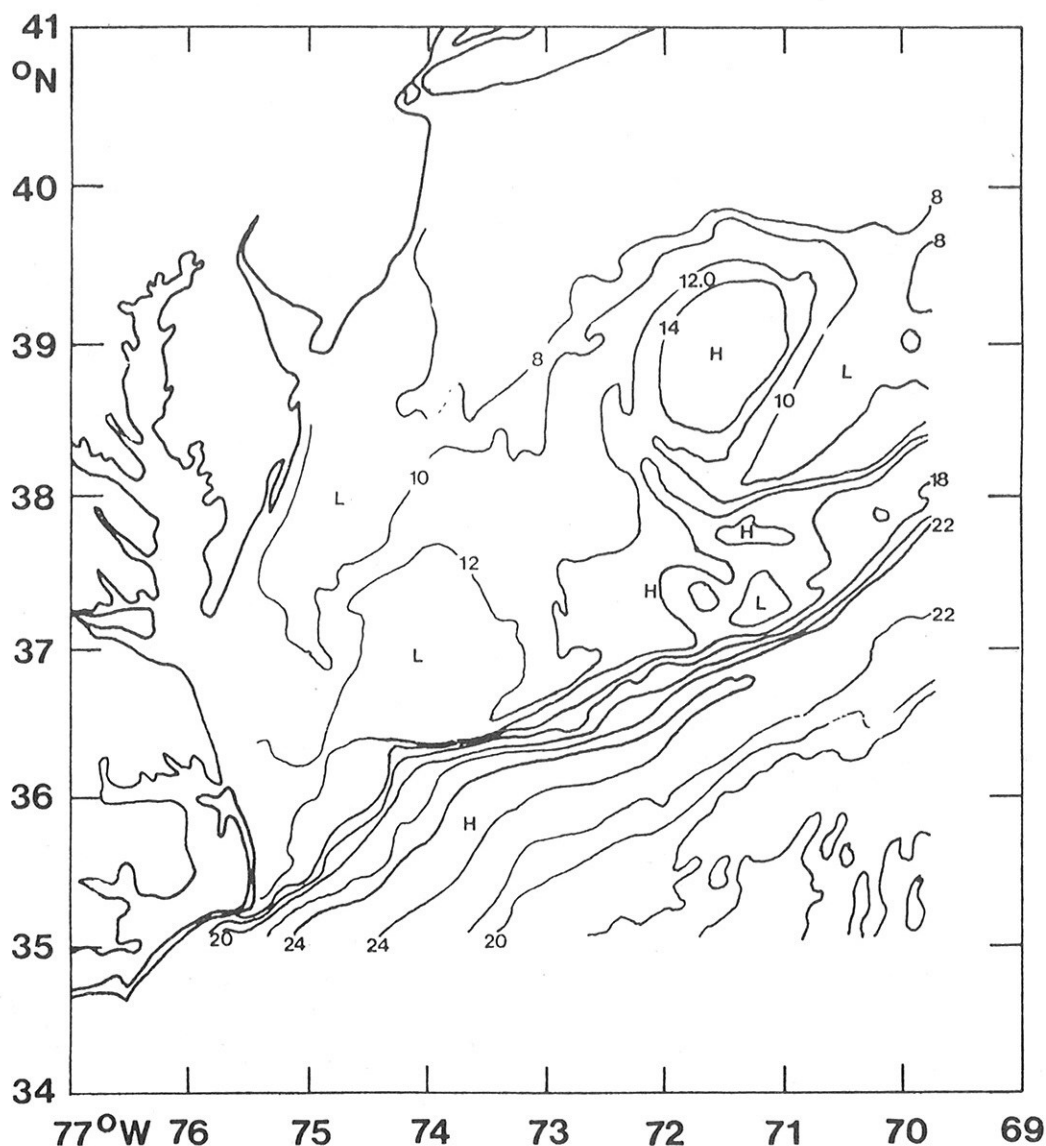
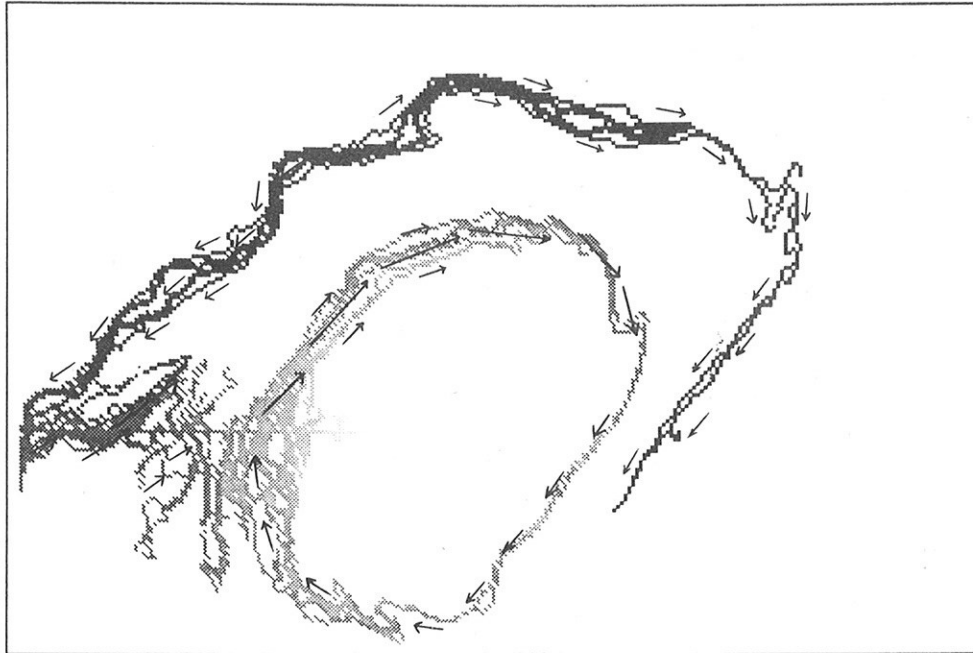


Figure 1. Champ de température (en degrés Celsius) moyen pour les jours julien 113 et 114 1982 (23 et 24 avril 1982). "L" (Low) dénote un tourbillon cyclonique, "H" (High) signifie que le courant laisse les hautes valeurs de température sur sa droite.

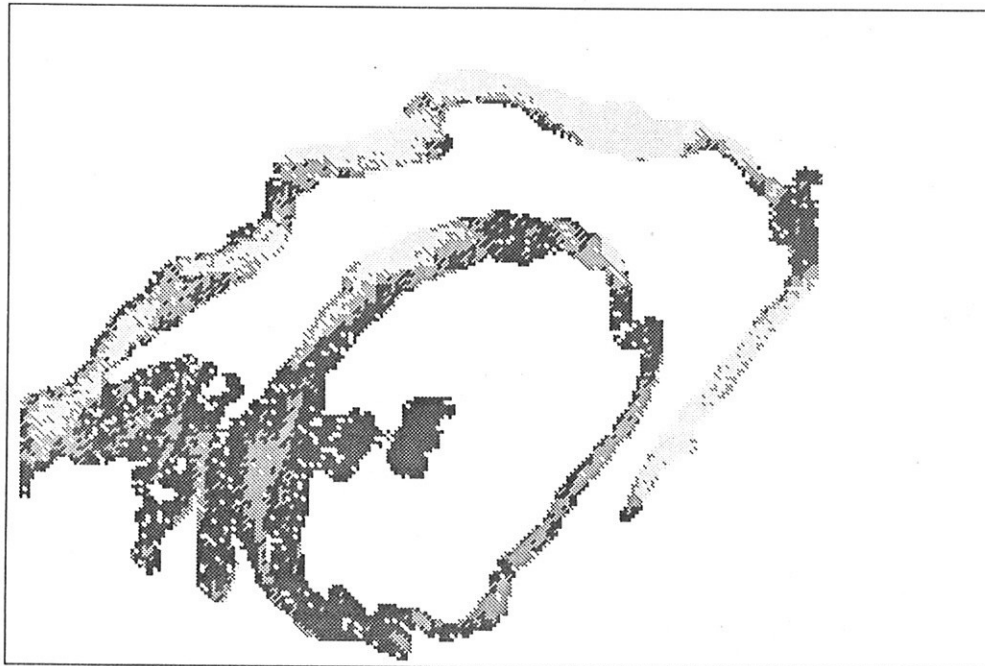
Gulf Stream

\*\* Fonction de courant



- 0 à 40 cm/s
- 41 à 80 cm/s
- > 80 cm/s

Figure 2. Vecteur courant du tourbillon du Gulf Stream réalisé sur l'image de la fonction de courant.



- 1 à 10 %
- 11 à 20 %
- 21 à 56 %

Figure 3. Erreur commise sur la fonction de courant.

