

La dynamique superficielle du panache du Rhône d'après l'imagerie infrarouge satellitaire

Téledétection
Température de surface
Action du vent
Golfe du Lion
Rhône

Remote sensing
Sea surface temperature
Wind effect
Gulf of Lions
Rhône

Hervé Demarcq, Lucien Wald

Centre de Télédétection et d'Analyse des Milieux Naturels, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Sophia-Antipolis, 06565 Valbonne Cedex.

Reçu le 21/12/82, révisé le 19/9/83, accepté le 4/11/83.

RÉSUMÉ

L'examen systématique d'environ 150 thermographies du Golfe du Lion permet de déterminer les limites superficielles du panache thermique en mer et, grâce à l'apport de données météorologiques et hydrauliques concourantes, de décrire son évolution. Le vent a une action prépondérante et rapide sur la forme de la nappe, nettement déviée vers la droite du vent d'environ 50°. Le temps de réponse de la nappe à cette action croît avec le débit du fleuve, et est de l'ordre de 5 heures.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 2, 159-162.

ABSTRACT

Surface dynamics of the Rhône plume inferred from infrared imagery

The thermal plume of the Rhône river has been surveyed by the Tiros-N series satellites since 1979. This imagery is used to determine the borders of the plume, its superficial shape and its surface under various meteorological and hydraulic conditions. The surface dynamics of the plume are described.

The response of the plume to wind blow is rapid, the response time increasing with the flow of the river. Its common value is 5 hours.

The plume is clearly deflected to the right of the wind direction, with an average angle of deflection of 50°. Increasing wind speed results in a mixing of the surface layer and a smoothing of the horizontal thermal gradient. A strong diurnal heating of the border zone of the plume is observed during very sunny days with very weak winds.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 2, 159-162.

INTRODUCTION

Le Rhône, de par son débit moyen (près de 2 000 m³/s) possède un impact important sur une grande partie du Golfe du Lion (Fieux, 1972).

Les perturbations de son écoulement en mer, dues à des facteurs météorologiques, peuvent entraîner d'importantes conséquences écologiques. Arfi (1980) a mis en évidence une incursion des eaux dessalées du Rhône à l'intérieur du golfe de Fos. Il a montré une modification importante des populations planctoniques de surface du golfe, tant en ce qui concerne la répartition spécifique que la concentration en individus, due à la déviation de la nappe d'eau douce issue du Rhône, sous l'action prolongée d'un coup de vent de secteur Sud à Sud-Ouest.

L'étude de la zone concernée par les différentes extensions du panache du fleuve est intéressante à cause des effets de ce panache sur l'écologie et la sédimentation, dans cette région déjà particulièrement soumise aux activités humaines.

L'eau du fleuve se jette dans un milieu marin de forte densité ($\sigma_t = 27$ à 29 en surface) et de salinité élevée ($S = 38\text{‰}$; Minas, 1971). De ce fait, l'eau douce et légère se mélange peu à l'eau de mer et coule en surface sous la forme d'un coin turbide de faible salinité (10 à 15‰). Aloïsi *et al.* (1982) ont constaté que cette structure est affirmée dès l'embouchure par une halocline très marquée, vers 2 m de profondeur. La



Figure 1

Thermographie obtenue le 16 octobre 1981 à 14 h TU par NOAA 7. L'échelle des températures est régulièrement croissante du blanc vers les teintes chaudes puis sombres, et couvre 6°C. Les nappes d'eau froide du petit et du grand Rhône sont visibles, ainsi que le lit du fleuve. La grande tache blanche représente l'upwelling de Cassis, réminiscence d'un vent de nord-ouest ayant cessé 60 h auparavant. On distingue nettement le courant Ligure, plus chaud, le long de la côte provençale. On remarque l'important front thermique « Nord Baléares » qui s'étend de l'Espagne à la Sardaigne, et animé par une série d'indentations, de langues chaudes et froides s'interpénétrant.

Infrared imagery on October 16, 1981 at 14.00 GMT, obtained by NOAA 7. The temperature coding table in false colour is beneath the image. Temperature increases from left to right and the whole range covers 6°C. The cold plumes issuing from the little Rhône and the main Rhône are clearly visible, together with the river bed. The large white patch, centre right, marks the colder Cassis upwelling, caused by a NW wind blow which ceased sixty hours earlier. The warm Ligurian current, shown in violet, flows along the coasts of Provence. Note, in the bottom third of the image, the North Balearic thermal front, formed by swirling cold and warm tongues.

courbe de surface s'amincit progressivement et atteint 1 m d'épaisseur à quelques milles nautiques de l'embouchure, pour devenir ensuite pelliculaire. La différenciation thermique des eaux du fleuve est souvent bien marquée par rapport à la mer environnante, qui est nettement plus chaude en hiver (fig. 1), et généralement plus froide en été de par son inertie importante.

La série des observations obtenues par satellite représente alors un moyen adapté à la description d'une zone soumise à de rapides variations du milieu, comme le débouché du Rhône.

Cette note présente les résultats d'un dépouillement systématique des thermographies obtenues par les satellites de la série NOAA de 1979 à 1981.

Pour chaque image, on détermine les lieux de gradient thermique maximum (voir fig. 1 et 2), et ceci est appelé le panache thermique. Ce gradient n'est pas représentatif de toute la zone de dilution et d'influence du Rhône. De plus, ce gradient disparaît au cours de deux périodes de l'année, situées au printemps et en automne, au cours desquelles la température du fleuve est identique à celle de la mer. Cependant, étant donné le caractère superficiel de l'écoulement du Rhône en mer, il est vraisemblable que la forme du panache thermique, lorsqu'elle est bien définie, représente correctement cet écoulement au débouché du fleuve.

La surface du panache thermique, variant de quelques dizaines de kilomètres-carrés à un millier de kilomètres-

carrés, n'est pas significative. En effet, elle dépend d'une manière complexe du mélange des eaux induit par le brassage, qui est fonction de la vitesse du vent et du fetch, ainsi que de la différence thermique entre l'eau du fleuve et la mer, différence dont la mesure par satellite est, en outre, modifiée par le contenu atmosphérique lors de l'observation.

Seule la forme, c'est-à-dire la direction, du panache a été étudiée. On peut ainsi décrire l'influence des conditions météorologiques et hydrauliques sur l'écoulement du fleuve en mer.

ÉVOLUTION DE LA DIRECTION DU PANACHE SOUS L'INFLUENCE CONJUGUÉE DU VENT ET DU DÉBIT

Les différents régimes de vent observés à la station météorologique de la Tour du Valat montrent que la couche d'eau superficielle est poussée suivant une orientation qui est fonction de la direction du vent, et d'elle seule.

Lors d'un coup de vent, la nappe, de très faible épaisseur, s'oriente rapidement sur la droite du vent. La figure 2 représente les superpositions du contour de la nappe observée à différents jours pour des régimes de vent de Nord-Nord-Ouest (fig. 2a) et d'Est à Sud-Est (fig. 2b). Dans ce dernier cas, la nappe est complète-

ment plaquée contre la côte, et la dessalure peut même atteindre le golfe de Fos, comme dans un cas de vent de Sud-Ouest. La figure 1 illustre un cas typique de vent nul, où la nappe de surface est faiblement étalée autour de l'embouchure.

Pour les vitesses de vent supérieures à environ 3 m/s, on observe une déviation du panache de 45 à 60° sur la droite du vent, la moyenne s'établissant à 49°. Ceci est en accord avec la théorie d'Ekman (1905) sur les relations vent-courant de surface, et les observations effectuées à la bouée laboratoire Borha II par Gonella (1974). Cette direction est confirmée par le petit Rhône à chaque fois que son panache est visible (fig. 2). L'erreur sur la mesure de la déviation est d'environ 10° à cause du manque de précision dans la mesure de la direction du vent à la station météorologique, et de la variabilité même de cette direction dans le temps.

Le temps au bout duquel la nappe est complètement orientée après le début du coup de vent dépend peu de la direction et de la vitesse de celui-ci, mais est surtout fonction du débit du fleuve et croît avec celui-ci. L'ordre de grandeur de ce temps est de 5 h pour un débit moyen, valeur proche de celle observée par Gonella (1974) et de celle calculée théoriquement par Madsen (1977). 2 ou 3 h suffisent à orienter partiellement la nappe. Ce temps de réponse peut être plus élevé lors d'une crue, comme le montre la thermographie du 8 février 1980, où l'on voit que 24 h après le début du coup de vent, la nappe n'est pas encore complètement orientée sur la droite du vent. Le débit était ce jour-là de 4350 m³/s.

Il n'a pas été possible de mettre en évidence l'influence du courant Ligure sur la déviation du panache. Ce fait est surprenant quand on sait que, durant l'été, en l'absence de Mistral, le courant Ligure longe la côte provençale en s'écoulant sur le plateau continental du Golfe du Lion (Millot, Wald, 1980), et que sa vitesse caractéristique est de 10 cm/s (Le Pichon, Troadec, 1963; Castelbon, 1972), valeur suffisamment élevée pour ne pas être négligeable devant le courant de dérive induit par le vent.

Cependant, nous avons observé, les 29 et 30 janvier 1981, une déviation importante des nappes du grand et du petit Rhône vers l'Ouest, parallèlement à la côte, en présence de vents faibles de secteur Ouest à Nord, déviation qui pourrait être expliquée par la présence du courant Ligure. Ce n'est qu'à partir d'une connaissance plus approfondie du courant Ligure que son influence pourra être mise en évidence.

CONCLUSION

Cette étude systématique par télédétection infrarouge de la nappe d'eau douce issue du Rhône, apporte des enseignements sur plusieurs points, grâce à l'acquisition simultanée de données de satellite, de vent et de débit. La dynamique superficielle de cette nappe en fonction des conditions de vent et des conditions hydrauliques est ainsi décrite.

Le vent a une très grande influence sur cette nappe. Peu après le début du coup de vent, elle se trouve nettement déviée sur la droite du vent, à environ 50°. La vitesse du vent intervient peu dans la rapidité avec laquelle la nappe répond à la contrainte du vent, et pas du tout dans la valeur de l'angle de déviation. Par contre, l'apport de cette vitesse dans le mélange des eaux douces et salées est primordial.

Le débit contrôle essentiellement l'inertie de la nappe vis-à-vis des sollicitations du vent. Plus le débit est important, plus le temps que mettra la nappe à atteindre sa position d'équilibre (angle de déviation d'environ 50°) sera grand.

Durant les journées d'été fortement ensoleillées et de vent faible, on observe un fort réchauffement superficiel de la périphérie de la nappe, dû à la forte pycnocline qui isole les eaux douces du milieu salin environnant et au réchauffement progressif des eaux issues du fleuve au cours de leur progression vers la haute mer.

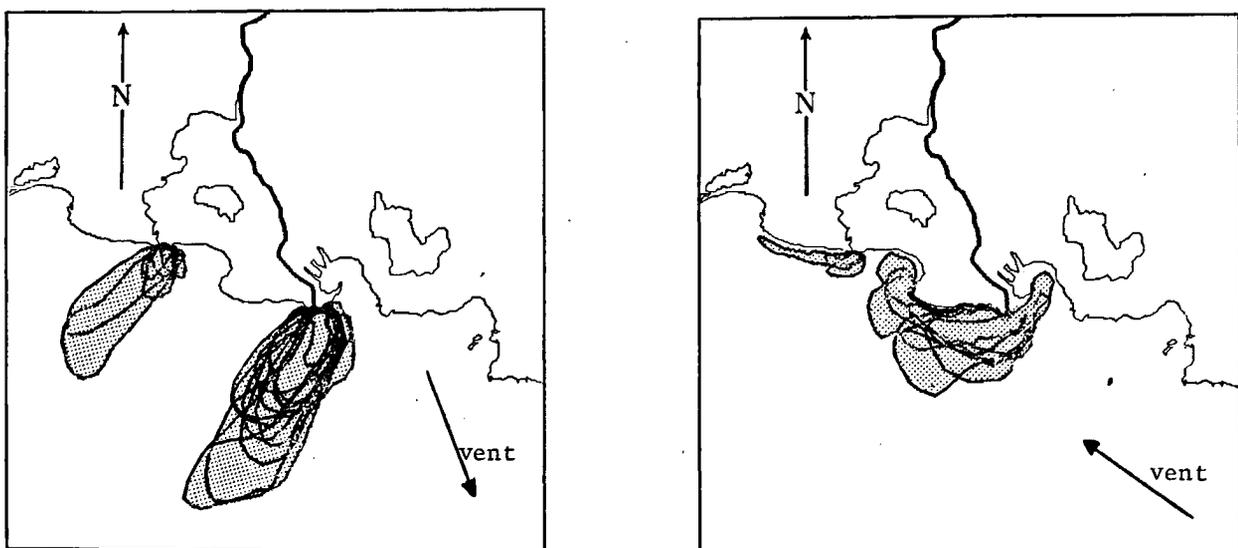


Figure 2
Superposition de plusieurs contours de nappes obtenues à différentes dates pour un régime de vent de Nord-Nord-Ouest (a), et un régime d'Est à Sud-Est (b).

Superposition of plume contours obtained on different dates for wind blowing from NNW (a), and from E to SE.

L'observation sur une surface de plus de 1000 km² de l'évolution journalière de la zone de mélange semble inconcevable par une autre méthode que la télédétection. Elle permet par exemple de suivre l'évolution de l'impact côtier de la dessalure.

Mais si la télédétection en infra-rouge est apte à mettre en évidence des phénomènes de surface, elle ne permet pas d'obtenir directement des informations concernant l'eau sous-jacente. L'utilisation du spectre visible donne au contraire une image précise de la concentration particulaire profonde, qui caractérise la couche d'eau turbide.

La combinaison de données issues de satellites différents tels que Nimbus-7, Landsat, Spot et Tiros-N et de capteurs différents permettrait de mettre en évidence et de comprendre plusieurs aspects liés au même phénomène. Cette approche paraît intéressante dans l'avenir,

d'autant plus que la multiplication et la grande précision des capteurs permettra des études de plus en plus fines intéressant un nombre sans cesse croissant d'utilisateurs.

Remerciements

Nous remercions beaucoup M. Claude Millot pour nous avoir suggéré l'explication du comportement du panache du Rhône par fort ensoleillement et vent faible. Nous remercions également M. R. Arfi et Messieurs les arbitres pour leurs commentaires et conseils.

Nous sommes reconnaissants envers M. Lasbleiz, Directeur du Centre de Météorologie Spatiale, ainsi qu'envers M. Y. Moign pour nous avoir permis l'accession aux données satellites.

RÉFÉRENCES

Aloisi J.-C., Cambon J.-P., Carbone J., Cauwet G., Millot C., Monaco M., Pauc H., 1982. Structures et propriétés de la matière en suspension dans les embouchures stratifiées du Golfe du Lion. Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin, *Oceanol. Acta*, 5, 4, 481-492.

Arfi R., 1980. Exemple d'application de la télédétection (thermographie I.R.) à un suivi écologique (golfe de Fos, France) *CR V^e Journées Études Pollutions CIESM*, 963-972.

Castelbon C., 1972. Étude de la circulation des masses d'eau dans le golfe de Marseille, *Téthys*, 4, 2, 269-312.

Ekman V.W., 1905. On the influence of earth's rotation on ocean currents, *Ark. Math. Astron. Fys.*, 2, 1-53.

Fioux M., 1972. Contribution à l'étude hydrologique et dynamique du Golfe du Lion en période hivernale, *Thèse Doct. 3^e cycle, Fac. Sci. Paris*, 1-90.

Gonella J.A., 1974. Effet d'écran d'une thermocline, observations faites sur la bouée laboratoire, *La Houille Blanche*, 7, 8, 607-613.

Le Pichon X., Troadec J.-P., 1963. La couche superficielle de la Méditerranée au large des côtes provençales durant les mois d'été, *Cah. Océanogr.*, 15, 3, 299-314.

Madsen O.S., 1977. A realistic model of the wind-induced Ekman boundary layer, *J. Phys. Oceanogr.*, 7, 248-255.

Millot C., Wald L., 1980. The effect of Mistral wind on the Ligurian current near Provence, *Oceanol. Acta*, 3, 4, 399-402.

Minas H.U., 1971. Observations hydrologiques dans le golfe de Marseille (années 1961 à 1965), *Téthys*, 3, 3, 447-457.