

Vitesses verticales et production potentielle dans l'upwelling de Mauritanie en Mars 1973

A. Herbland et B. Voituriez¹

Centre de Recherches Océanographiques, B. P. V. 18- Abidjan, Côte d'Ivoire

A long-duration station (60 hours) was covered where an active upwelling was expected to occur (Cap Timiris area, Mauritania). As soon as the wind enhanced (from 4-5 m/s to 11 m/s) the surface temperature decreased and nitrate concentration increased. A highly significant negative correlation was found between the temperature at 10 m and the time ($r = -0.966$, $n = 21$). Surface heating due to solar irradiation occurred each day. The mean decrease of surface temperature was one degree per day over 60 hours.

The maximum upward velocity determined from the vertical displacement of the isotherms and nitrate isolines over 15 h intervals was about 4.5×10^{-2} cm/s. From that speed, the nitrate input in the euphotic layer is calculated and the potential production estimated at 21 g C/m²/d. From that value and *in situ* primary production measurements, the upwelling efficiency is evaluated at 30-40 % for the first level of the food chain.

Introduction

Les mouvements verticaux dans les upwellings sont intéressants non seulement d'un point de vue physique, mais également d'un point de vue biologique, puisqu'ils affectent les quantités de sels nutritifs amenées dans la zone euphotique, et donc, la production organique des eaux. Pour comprendre la dynamique de l'écosystème upwelling, il est nécessaire de connaître la distribution des mouvements verticaux dans l'espace (verticale et horizontale) et dans le temps (Johnson, 1977). Mais les vitesses verticales sont difficiles à déterminer. Quatre méthodes ont été utilisées: une méthode directe (courantomètres verticaux) et trois méthodes indirectes (déplacement vertical des isolignes, équation de vorticité et équation de continuité).

Dans cette note, nous utilisons le déplacement des isolignes de température et de nitrate pour évaluer les vitesses verticales maximales, ainsi que les quantités de nitrates apportées dans la couche productive, dont, nous déduisons la production maximale possible (production potentielle).

Stratégie et méthodes

Une zone de remontée maximale a été recherchée pendant deux jours entre Saint Louis du Sénégal et le Cap Timiris, par enregistrement en continu de la température de subsurface (3 m) et par prélèvements de surface

tous les quarts d'heure, avec analyse du phosphate et de la fluorescence *in vivo*. C'est une zone située à l'est d'un canyon (18°45'N et 16°40'W) où les teneurs en PO₄ dépassaient 0.70 µgat/l qui a été retenue. Il est remarquable de constater, que déjà en 1971 (Minas, 1971) et en 1972 (Herbland et al., 1973) cette zone était le siège des remontées les plus importantes de la région. Il est probable que le canyon ici, intensifie l'upwelling (Huntsman et Barber, 1977).

Estimant que les teneurs rencontrées alors (5.2 µgat/l de NO₃ en surface) étaient très inférieures à celles rencontrées les années précédentes à cet endroit (20 µgat/l) il a semblé préférable de mettre le navire au mouillage dans la zone supposée la plus propice aux remontées d'eau profonde (soit à l'est du canyon cité plus haut, sur des fonds de 36 m) et d'attendre la remontée des eaux.

Pendant ce point fixe qui a duré 60 heures, une station avec la sonde STD0 (Bisset Berman) et analyse de nitrate était faite toutes les 3 heures; chaque station comportait 8 niveaux de prélèvement espacés de 5 m. La vitesse et la direction du vent étaient relevées toutes les heures. Les données de vent n'ont pas été «filtrées». La brise journalière n'est donc pas supprimée.

Résultats et discussion

Le vent

Alors que les jours précédents le vent avait une vitesse de 4-6 m/s, il s'est renforcé dès les premières heures du

¹ Adresse actuelle: Antenne ORSTOM, Centre Océanologique de Bretagne, B. P. 337, 29273 Brest Cédex, France.

13 NOV. 1995

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° :

42795

Cote :

B

Ex 1

P20 M

131

ORSTOM Documentation



010000501

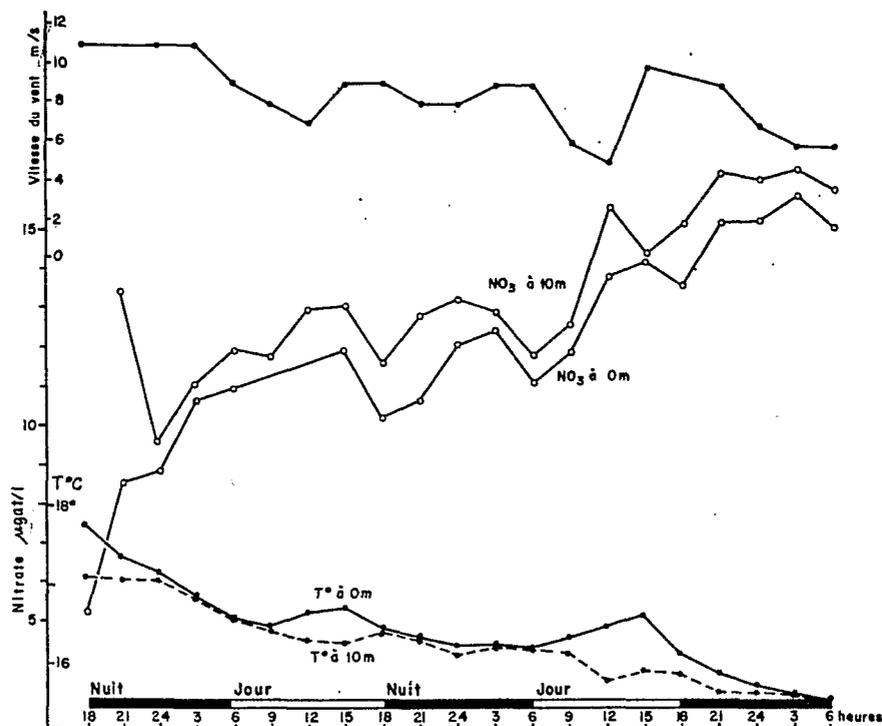


Figure 106. Evolution de la vitesse du vent, de la température et du nitrate au point fixe pendant 60 heures.

point fixe pour atteindre 11 m/s. Après une petite période d'affaiblissement il s'est maintenu pendant une quinzaine d'heures à 8-9 m/s (Fig. 106).

Les températures en surface et à 10 m (Fig. 106)

La température de surface présente une évolution remarquable: égale à 17.75°C au temps zéro, elle atteint 15.50°C 60 heures plus tard, soit une décroissance moyenne de 1°/j (Fig. 106). Il faut noter que sa décroissance n'est pas uniforme; elle présente trois augmentations correspondant aux heures du jour, donc probablement à un réchauffement solaire. La température de l'eau à 10 m ne montre pas un tel réchauffement et peut être prise comme référence pour évaluer le refroidissement de la colonne d'eau.

Une régression calculée entre la température à 10 m (y) et le temps (x) exprimé en heures pour toute la durée du point fixe donne:

$$y = -0.0258 x + 17.0 \quad (n = 21 \text{ et } r = -0.97)$$

Le nitrate en surface et à 10 m (Fig. 107)

L'évolution du nitrate est également remarquable. De 5.2 µgat/l en surface au temps zéro, il atteint 12 µgat/l 24 h plus tard, et augmente ensuite irrégulièrement

jusqu'à 16 µgat/l à la 57ème heure. L'évolution à 10 m ne montre pas les écarts avec la surface trouvés pour la température. Cette absence d'écart pour le nitrate confirme bien le réchauffement d'origine solaire en surface.

Evaluation des vitesses verticales

L'évolution de la température et des concentrations en nitrate dans la colonne d'eau peut se diviser en trois phases distinctes (Fig. 107):

1ère phase (0-18ème heure)

Elle n'intéresse que les 10-12 premiers mètres. Les isothermes 17°C puis 16°C passent de 10-12 m à la surface pendant cette période; et le nitrate passe de 7.5 à 12.5 µgat/l en surface.

2ème phase (18-35ème heure)

Elle apparaît comme une phase de latence, où les températures et les concentrations de nitrates sont stables sur l'ensemble de la colonne d'eau.

3ème phase (35-60ème heure)

Il y a une nette remontée des isothermes sur l'ensemble de la colonne d'eau. Il est possible dans ce cas, et en faisant les réserves habituelles (pas de variation du

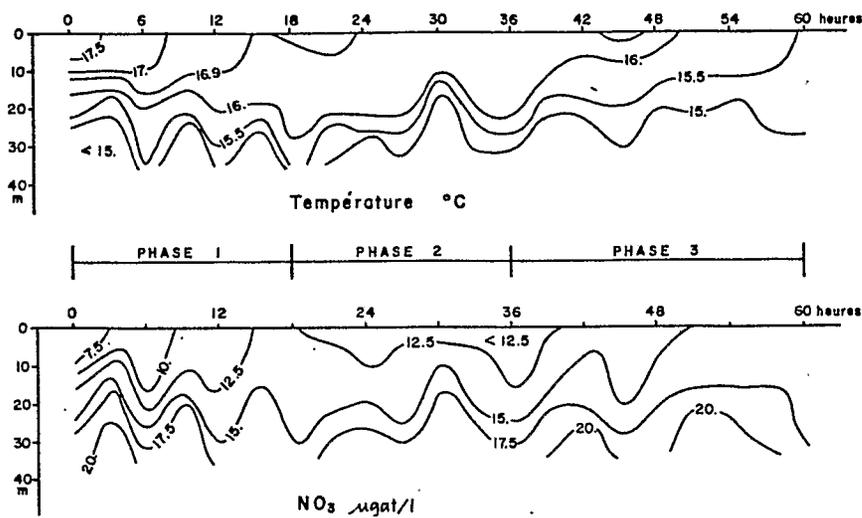


Figure 107. Observation de la remontée des isolignes au point fixe.

champ de densité et pas de mélanges sur une même isopycne) d'évaluer les vitesses verticales (w) en mesurant la vitesse de remontée des isolignes de température et de nitrate.

L'isotherme 16°C remonte de 22.5 m à 0 m en 13.5 heures soit $w = 4.6 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$. L'isotherme 15.5°C remonte de 28 m à 0 m en 16 h soit $w = 3.2 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$. L'isoplethe $15\text{ }\mu\text{gat/l}$ de NO_3 remonte de 26 m à 0 m en 16 h soit $w = 4.8 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$.

Remarquons que lors de la 1ère phase, l'isotherme 16.5°C remonte de 17 m en 9 h , soit à une vitesse de $5.2 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$ et l'isoplethe $12.5\text{ }\mu\text{gat/l}$ de NO_3 remonte de 20 m en 15 h soit une vitesse de $3.7 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$. La moyenne de ces cinq estimations est égale à $4.3 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$. Walsh et al. (1974) en faisant des radiales répétées dans l'upwelling de Baja California ont mesuré la remontée de l'isotherme 14°C pendant une durée de deux semaines d'une radiale à l'autre; la vitesse maximale trouvée était de $1.16 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$. Halpern (1974) à Newport, dans l'upwelling de l'Orégon en juillet et août 1972 a suivi la remontée des sigma- t (-25.5 – 26.0). La vitesse moyenne de remontée était de $1.25 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$ pendant une période de 44 heures. Halpern (1976) dans l'upwelling de l'Orégon en juillet 1973 par la même méthode a trouvé $2 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$, ce maximum étant localisé à 5 km de la côte et les vitesses verticales décroissant exponentiellement de la côte vers le large jusqu'à 15 – 20 milles.

Les valeurs de w trouvées par ces auteurs au moyen de radiales successives sont des valeurs minimales parce qu'elles représentent des moyennes dans l'espace et le temps. Wooster et Sievers (1970) qui avaient trouvé le long des côtes du Pérou des valeurs de l'ordre de 10^{-3} cm/s , pensaient qu'étant donné le caractère impulsif de l'upwelling (intermittent et localisé) des vitesses verticales de l'ordre de 10^{-2} et même 10^{-1} cm/s

devraient être rencontrées. Nos résultats confirment la prédiction de Wooster et Sievers. Ce sont des valeurs obtenues au point fixe, le navire au mouillage, donc dans des conditions qui ne minimisent pas les vitesses de remontées. D'ailleurs, Barton et al. (1977) ont récemment mis en évidence dans l'upwelling nord-ouest africain au large du Cap Corveiro (expédition JOINT-I) des remontées de l'isopycne 26.8 à une vitesse proche de 10^{-1} cm/s .

Apport de sels nutritifs et «rendement» de l'upwelling

A partir des vitesses verticales, il est possible de calculer les quantités de sels nutritifs qui sont amenées dans la couche euphotique. En prenant une teneur moyenne de $15\text{ }\mu\text{gat/l}$ de nitrate dans l'eau qui remonte, et une vitesse verticale maximum de $4.5 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$ (39 m/j), on obtient un apport de nitrate de $585\text{ }\mu\text{gat/m}^2/\text{j}$; soit une production potentielle de carbone organique de $21\text{ gC/m}^2/\text{j}$ en supposant un rapport de consommation $\Delta\text{C}/\Delta\text{NO}_3 = 3$ dans les eaux riches en nitrate (Antia et al., 1963; Herbland et al., 1973). En comparant cette valeur aux valeurs de production habituellement mesurées dans les upwellings, on peut estimer le rendement de la «machine upwelling», en tant que fabricant de matière organique primaire.

Cette année là, lors de la poursuite de la drogue nous avons mesuré une production organique totale (assimilation + excrétion) de $4.0\text{ gC/m}^2/\text{j}$, valeur moyenne portant sur 4–5 jours d'observations *in situ*. Cela représente un rendement de 19% . L'année précédente (1972) au même endroit et dans les mêmes conditions, la production organique était mesurée avoir la même valeur. Il faut noter que $4.5 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$ est une vitesse

maximale, donc que 19 % est une valeur minimale. En intégrant les périodes de calme, le rendement doit augmenter et il est probable qu'en moyenne, sur une longue période, 30 à 40 % des sels nutritifs qui sont amenés dans la couche euphotique sont transformés en matière organique végétale.

Conclusions

Trois points principaux méritent d'être soulignés.

1) C'est à la suite du renforcement du vent, que les eaux sont remontées et elles sont remontées à l'endroit attendu, ce qui confirme le rôle du canyon au sud du Cap Timiris dans la canalisation des eaux.

2) La décroissance comparée des températures de surface et à 10 m met très nettement en évidence un réchauffement superficiel pendant la journée, alors que l'augmentation des concentrations de nitrate à 0 et à 10 m ne montre pas une consommation diurne de ces derniers. Cela voudrait dire que pendant la phase active de remontée, les phénomènes physiques «prennent de vitesse» les phénomènes biologiques, alors que ceux-ci deviennent prépondérants dans la phase suivante (phase de production).

3) Les vitesses verticales instantanées semblent être voisines de 4.5×10^{-2} cm/s pendant la phase active. Cela représente un apport considérable de sels minéraux dans la couche euphotique ($585 \mu\text{gat}/\text{m}^2/\text{j}$ de NO_3) et une production potentielle de $21 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{j}$. Compte tenu des périodes de calme et des productions effectivement mesurées, le «rendement moyen» de l'upwelling pourrait être compris entre 30 et 40 % pour le premier échelon de la chaîne alimentaire.

Références

- Antia, N. J., McAllister, C. D., Parsons, T. R., Stephens, K., et Strickland, J. D. H. 1963. Further measurements of primary production using a large volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.*, 8: 166-183.
- Barton, E. D., Huyer, A., et Smith, R. L. 1977. Temporal variations observed in the hydrographic regime near Cabo Corveiro in the Northwest African upwelling region, February to April 1974. *Deep-Sea Res.*, 24: 7-24.
- Huntsman, S. A., et Barber, R. T. 1977. Primary production off northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. *Deep-Sea Res.*, 24: 25-33.
- Halpern, D. 1974. Variations in the density field during coastal upwelling. *Tethys*, 6: 363-374.
- Halpern, D. 1976. Structure of a coastal upwelling event observed off Oregon during July 1973. *Deep-Sea Res.*, 23: 495-508.
- Herbland, A., Le Borgne, R., et Voituriez, B. 1973. Production primaire, secondaire et régénération des sels nutritifs dans l'upwelling de Mauritanie. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, 4: 1-75.
- Herbland, A., et Voituriez, B. 1974. La production primaire dans l'upwelling de Mauritanie en mars 1973. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 12: 187-201.
- Johnson, D. R. 1977. Determining vertical velocities during upwelling off the Oregon coast. *Deep-Sea Res.*, 24: 171-180.
- Minas, H. J. 1971. Campagne «CINECA Charcot II», 15 mars-29 avril 1971. Rapport de mission, 25 pp.
- Walsh, J. J., Kelley, J. C., Whitley, T. E. et Macisaac, J. J. 1974. Spin up of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 19: 553-572.
- Wooster, W. S., et Sievers, H. A. 1970. Seasonal variations of temperature, drift, and heat exchange in surface waters off the west coast of South America. *Limnol. Oceanogr.*, 15: 595-605.