

DYNAMIQUE DU CARBONE INORGANIQUE DES EAUX DE SURFACE DANS L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT

**Michel FRANKIGNOULLE, Renzo BIONDO,
Jean-Marie BOUQUEGNEAU, Isabelle BOURGE,
Christine CANON, Patrick DAUBY, Stéphane DESGAIN,
Sylvie GOBERT, René MACHIROUX et Jean-Marie THEATE**

INORGANIC CARBON DYNAMICS OF THE SURFACE WATER IN THE SCHELDT MOUTH

RESUME

Nous présentons une nouvelle série de résultats relatifs au cycle du carbone de la couche de surface de l'embouchure de l'Escaut en novembre 1993. Les résultats sont comparés à une série de données obtenues en 1991 et publiées antérieurement. L'oxygène dissous et le pH ont des distributions similaires, tandis que l'alcalinité totale présente un caractère non-conservatif. Les données sont ensuite utilisées pour estimer les échanges air-mer de CO₂ et les résultats obtenus montrent que la zone considérée est, à cette époque de l'année, une source relativement importante de CO₂ pour l'atmosphère.

ABSTRACT

We present results about CO₂ chemistry obtained in the Scheldt Estuary in November 1993. Data are compared to preliminary results previously published. While both pH and dissolved oxygen display similar distributions, total alkalinity is characterized by a non-conservative behaviour. Data are also used to estimate air-sea CO₂ fluxes and results obtained show that this site, at this period, is a relatively important source of CO₂ to the atmosphere.

Key words: Inorganic carbon, Scheldt Mouth.

Mots-clés: Carbone Inorganique, embouchure de l'Escaut.

INTRODUCTION

Le rôle effectif des océans dans le cycle global du carbone est actuellement sujet à controverse, notamment en ce qui concerne leur contribution réelle à l'absorption de l'excédent atmosphérique de CO₂ produit par l'activité humaine (e.g. Tans et al., 1990, Watson et al., 1991, Sundquist, 1993). Alors que l'océan ouvert est le plus souvent

proche des conditions d'équilibre avec l'atmosphère, les zones côtières peuvent être le site de processus spécifiques (remontée d'eau profonde, fronts tidaux, apports fluviaux,...) qui induisent localement d'importants déséquilibres. On estime ainsi que, bien que n'occupant que 8% de la surface océanique, le plateau continental pourrait être le siège de 25 à 50 % de la production océanique totale (Walsh, 1988). Malgré les flux importants qui doivent résulter de ces processus, les zones côtières sont toujours négligées lors du calcul du bilan océanique de carbone, par manque de données expérimentales permettant d'estimer ces flux.

Parmi les processus spécifiques des zones côtières, les apports fluviaux sont particulièrement complexes de par leur diversité. La plupart des estuaires se caractérisent toutefois par une relative acidité susceptible d'entraîner une importante augmentation du CO_2 dissous dans les eaux de surface. Dans cet article, nous présentons des données relatives au cycle du carbone inorganique obtenues dans l'embouchure de l'Escaut. Nous discutons l'impact des apports de cet estuaire en terme de dynamique du carbone inorganique dans la couche de surface et des échanges air-mer qui doivent en résulter. Nous comparons également les résultats à ceux obtenus lors d'un travail préliminaire (Frankignoulle et al, 1992).

MATERIEL & METHODES

Les résultats discutés dans ce travail ont été obtenus lors de la croisière 93/26 à bord du R. V. *Belgica* du 2 au 6 novembre 1993.

Un cycle de mesures de 35 heures (du 4/11 à 19 pm au 6/11 à 6 am) a été entrepris dans l'estuaire de l'Escaut ($51^{\circ}25'N-3^{\circ}38'E$) au cours duquel nous avons mesuré toutes les deux heures la salinité, la température, le pH, l'alcalinité totale, l'oxygène dissous et la chlorophylle en subsurface.

La *salinité*, exprimée en psu (*practical scale unit*) et la *température*, exprimée en °C., ont été mesurées à l'aide d'une sonde CTD SEABIRD SBE9.

Le *pH* a été mesuré au moyen d'un pH mètre METROHM 652, muni d'une électrode combinée de type ROSS (ORION). L'étalonnage est effectué selon les normes de l'échelle molale des protons totaux (pH SWS) en utilisant le tampons TRIS proposé par Dickson (1993).

L'*alcalinité totale* (Talk), exprimée en meq/Kg, et l'*Oxygène dissous* (O_2), exprimé en $\mu\text{mol/Kg}$, sont respectivement déterminés par les méthodes classiques de Gran et de Winkler. La saturation en oxygène est calculée en utilisant l'algorithme de Benson & Krause (1984).

La *pression partielle en CO_2* (pCO_2), exprimée en ppm, est calculée depuis les valeurs expérimentales du pH, de l'alcalinité totale, de la salinité et de la température en utilisant les constantes de Goyet & Poisson (1989).

La *chlorophylle*, exprimée en $\mu\text{g/l}$, est déterminée selon la méthode spectrophotométrique de Lorenzen & Jeffrey (1978).

RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 1 montre l'évolution observée de la salinité, du pH et de l'alcalinité totale. Le signal de marée, de type semi-diurne, est assez marqué et la salinité présente des variations de l'ordre de 2 à 3 psu.

Les variations mesurées du pH sont parfaitement en phase avec celles de la salinité et peuvent atteindre 2 dixièmes d'unité pH. La marée basse se caractérise par un pH plus faible qui rend bien compte de l'acidité relative des eaux de l'Escaut. Comme nous l'avons fait remarquer dans un travail préliminaire (Frankignoulle et al., 1992), les variations de pH en zone estuarienne sont assez complexes à interpréter car elles résultent à la fois du mélange des eaux, de l'activité biologique et de l'effet des variations de la salinité sur le potentiel de jonction de l'électrode pH. Il convient de remarquer que lors du cycle de mesures, la température ne varie que de 3 dixièmes de degré et ne permet donc pas d'expliquer les écarts enregistrés entre maxima et minima de pH au cours du premier cycle de marée.

L'alcalinité totale varie également parfaitement en phase avec la marée, la marée basse correspondant à une alcalinité plus élevée. Les eaux de l'Escaut se caractérisent en effet par une alcalinité pouvant dépasser largement les valeurs ordinairement rencontrées en milieu marin (Frankignoulle et al., non publié). Les variations sont de l'ordre de $250 \mu\text{eq/Kg}$ au cours du cycle de marée, soit le double de celle observée lors de l'étude antérieure (Frankignoulle et al., 1992) et ceci malgré que les variations de salinité soient du même ordre de grandeur. Ceci souligne le caractère non-conservatif de l'alcalinité totale dans l'estuaire de l'Escaut. Celui-ci se manifeste d'ailleurs au cours du suivi de 35 heures présenté dans ce travail, puisque l'alcalinité spécifique (rapportée à 35 psu) varie de 2.9 à 3.4 meq/Kg.

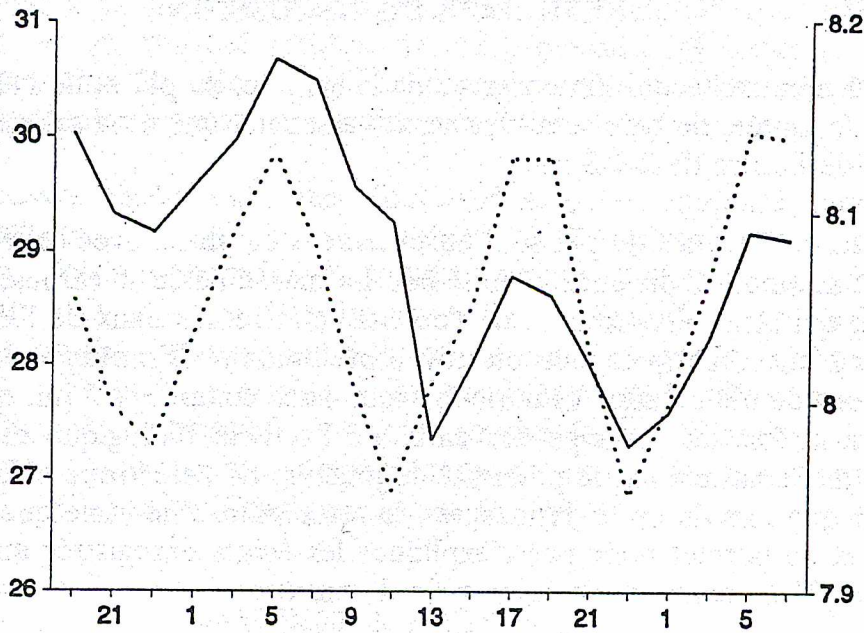
La figure 2 donne les valeurs observées de la concentration en oxygène dissous et du pourcentage de saturation. Tout comme en 1991, les valeurs mesurées rendent bien compte de la sous-saturation en oxygène classique des eaux de l'estuaire (Wollast, 1989): niveau de saturation assez bas (90%) dont l'évolution est sensiblement en phase avec la marée. Comme pour le pH, la distribution de l'oxygène en zone estuarienne est assez complexe car elle dépend à la fois du mélange des eaux et de l'activité biologique. Il convient de noter que nous observons en permanence une nette sous-saturation malgré une concentration moyenne en chlorophylle a de l'ordre de $3 \mu\text{g/l}$.

La figure 3 donne les valeurs calculées de la pression partielle en CO_2 des eaux de surface, calculées depuis les valeurs mesurées du pH et de l'alcalinité totale.

Comme ces paramètres, la pression partielle varie en phase avec la marée, avec des maxima de l'ordre de 600 ppm à marée basse et des valeurs proches de l'équilibre atmosphérique (actuellement 355 ppm) à marée haute. A cette époque de l'année, ce

Salinité

pH (SWS)



Salinité

Talk (meq/Kg)

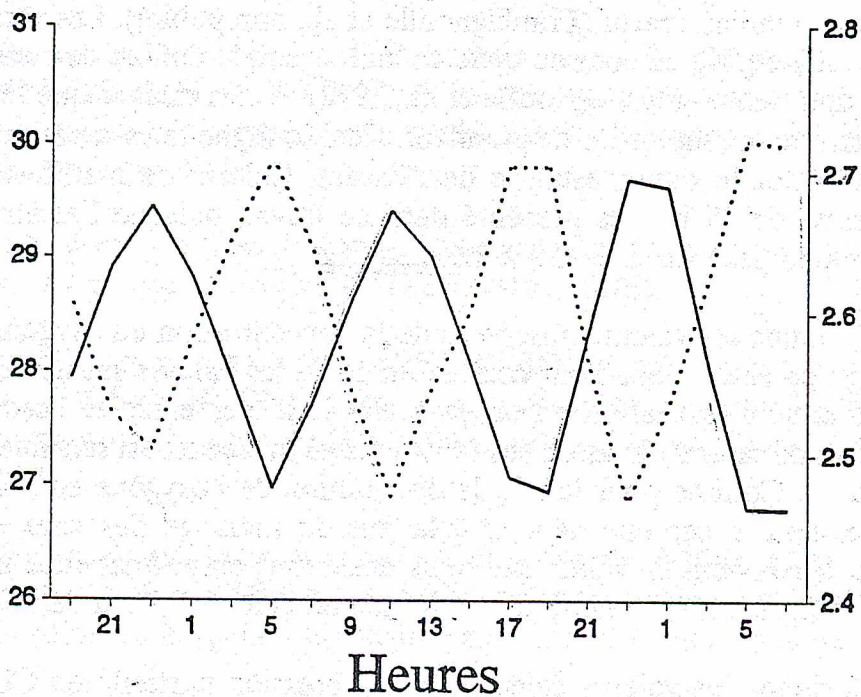
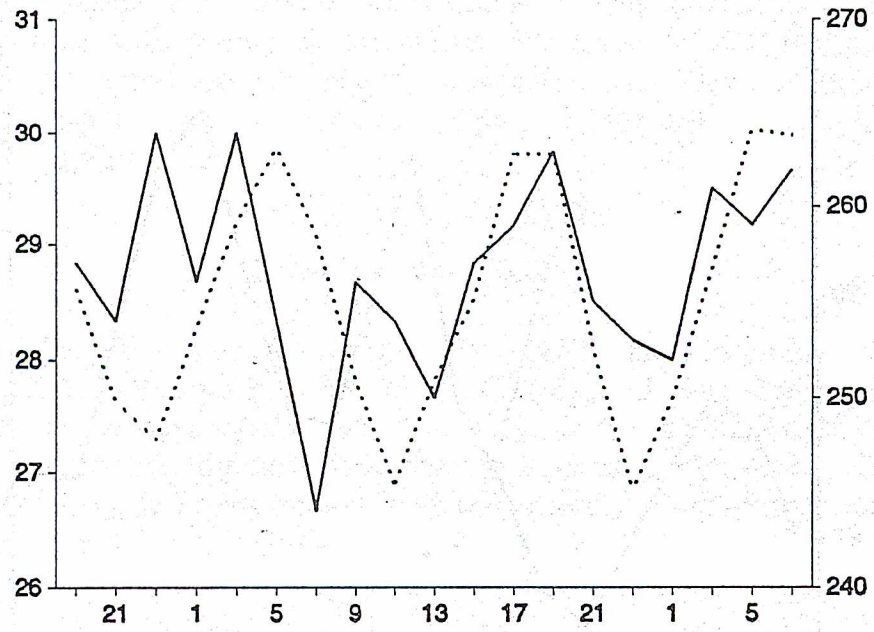


Figure 1. Evolution de la salinité (trait pointillé), du pH et de l'alcalinité lors du cycle de 36 heures effectué en subsurface dans l'embouchure de l'Escaut (4 au 6 novembre 1993).

Salinité

O₂ (μmol/Kg)



Salinité

O₂ (% saturation)

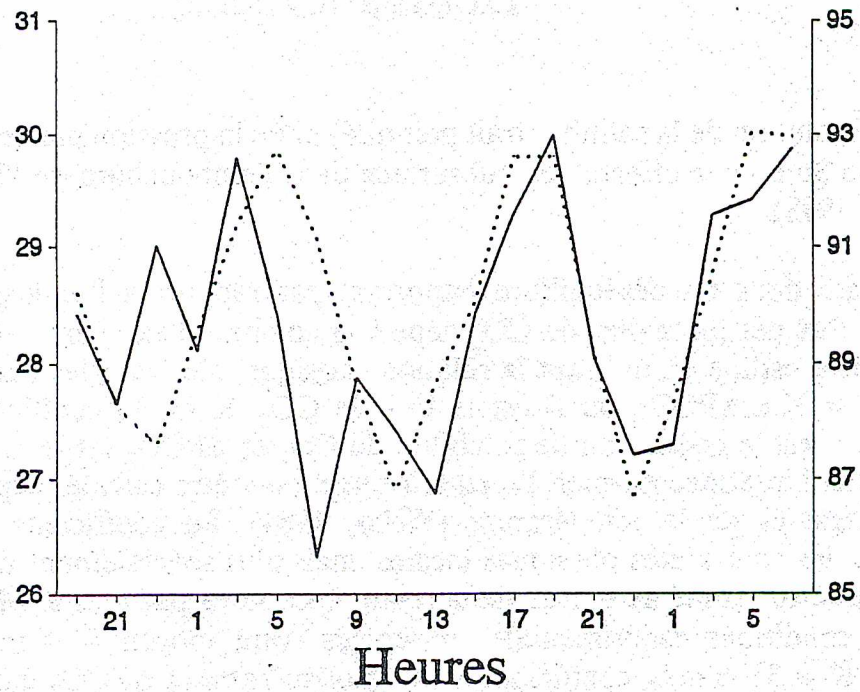


Figure 2. Evolution de la salinité (trait pointillé), de la concentration en oxygène dissous et du degré de saturation lors du cycle de 36 heures effectué en subsurface dans l'embouchure de l'Escaut (4 au 6 novembre 1993).

Salinité

pCO₂ (ppm)

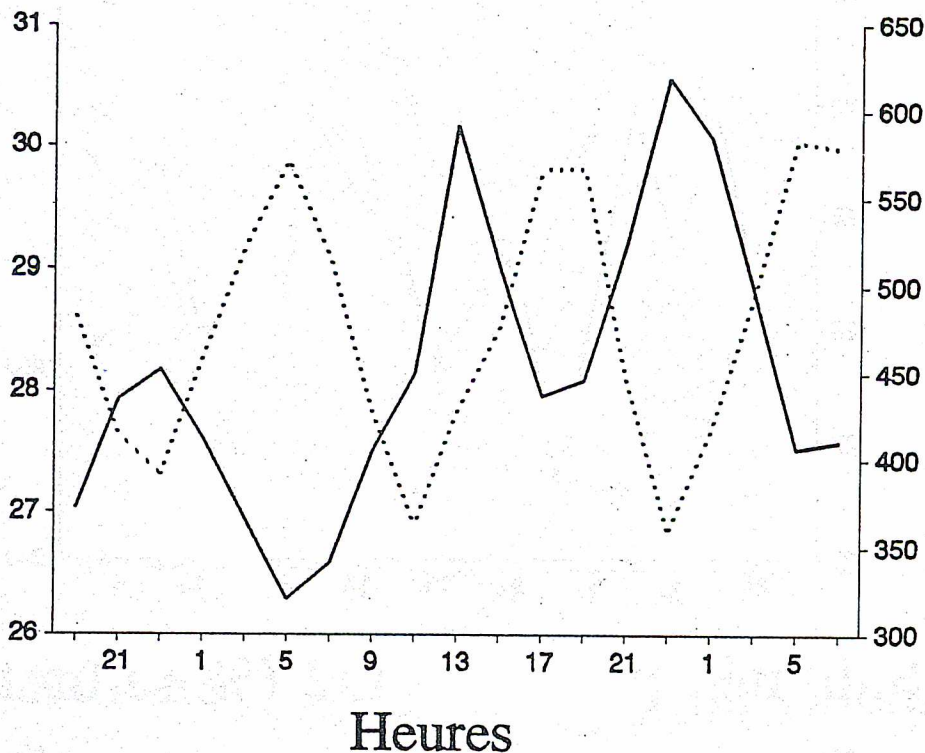


Figure 3. Evolution de la salinité (trait pointillé) et de la pression partielle en CO₂ lors du cycle de 36 heures effectué en subsurface dans l'embouchure de l'Escaut (4 au 6 novembre 1993).

site présente donc un déséquilibre important par rapport à l'atmosphère et il en résulte un flux net journalier de CO₂ depuis la colonne d'eau vers l'atmosphère. Ce flux peut être estimé en utilisant la relation classique décrivant les échanges air-mer de gaz: $F = K \cdot \alpha \cdot \Delta PCO_2$, où F est le flux de CO₂, K est le coefficient de vitesse d'échange, α est le coefficient de solubilité du CO₂ et ΔPCO_2 est le gradient de CO₂ au travers de l'interface air-mer. Le coefficient α peut être calculé depuis les valeurs de la salinité et de la température (Weiss, 1984). Le coefficient K dépend de l'ensemble des contraintes physiques locales, mais plus spécialement de la vitesse du vent. Il peut être estimé au moyen de la relation proposée par Liss & Merlivat (1986). Ainsi, les conditions expérimentales observées (vent moyen = 4 m/s, coefficient d'échange $K = 3E-5$ m/s, coefficient $\alpha = 44$ mol/m³/atm et ΔPCO_2 moyen = 120E-6 atm) permettent d'estimer que le flux moyen journalier de CO₂ vers l'atmosphère est de l'ordre de 50 mmol/m². En accord avec l'importance du gradient, cette valeur est assez élevée si on la compare aux valeurs moyennes généralement attribuées à l'océan ouvert (de 0.4 à 1.9 mmol/m²/j, Etcheto & Merlivat, 1988, Tans et al., 1990).

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus lors de cette campagne confirment que, à l'embouchure de l'Escaut, les variations du carbone inorganique et de l'oxygène dissous sont principalement liées aux mélanges estuariens. L'estimation des flux de CO_2 à l'interface air-mer montre que cette région se caractérise par des flux importants en direction de l'atmosphère, d'un ou deux ordres de grandeur supérieur, en intensité, à ceux attribués à l'océan ouvert.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les officiers et l'équipage du R.V. *Belgica* pour leur aide efficace lors du travail en mer, A. Pollentier et J. Backers (UGMM) pour avoir fourni les données de salinité, de température et de vitesse du vent, la Communauté Française de Belgique pour son soutien financier (*Programme Actions de Recherches Concertées, Convention 89/94-131*), le Fonds National de la Recherche Scientifique, dont Michel Frankignoulle est Chercheur Qualifié.

Laboratoire d'Océanologie, Université de Liège, Institut de Chimie B6,
B-4000 Sart Tilman.

REFERENCES

- Benson B. B. and D. Krause (1984). The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.*, **29**(3), 620-632.
- Dickson, A.G. (1993). pH buffers for sea water media based on the total hydrogen concentration scale. *Deep Sea Res.*, **40**, 107-118.
- Etcheto, J. and L. Merlivat (1988). Satellite determination of the carbon dioxide exchange coefficient at the ocean-atmosphere interface: a first step. *J. Geophys. Res.*, **93**, 15669-15678.
- Frankignoulle, M., Bourge, I., Canon, C., Norro, A., Dauby, P. & J.M. Bouquegneau (1992). Dynamique du carbone inorganique dans l'estuaire de l'Escaut. *Bull. Soc. roy. Sc. Lg.*, **61**, 71-77.
- Goyet, C. and A. Poisson (1989). New determination of carbonic acid dissociation constants in seawater as a function of temperature and salinity. *Deep Sea Research*, **36**(11), 1635-1654.
- Liss, P. and L. Merlivat (1986). Air-sea gas exchange rates: introduction and synthesis. In *The role of air-sea exchanges in geochemical cycling*, P. Buat-Ménard (ed), NATO ASI Series, Reidel, Utrecht, pp.113-128.
- Lorenzen, C. J. and S. W. Jeffrey (1978). Determination of chlorophyll in seawater. *Unesco Technical Paper in Marine Science n°35*, UNESCO, Paris, 21p.
- Sundquist, E. T.(1993). The global carbon dioxide budget. *Science* **259**:934-941.
- Tans, P. P., I. Y. Fung and T. Takahashi (1990). Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*, **247**, 1431-1438.
- Walsh, J. J. (1988). In *On the nature of continental shelves*, Walsh J. J. (ed), Academic Press, 520 p.
- Watson, A.J., C. Robinson, J. E. Robertson, P. J. le B. Williams and J. R. Fasham (1991). Spatial variability in the sink for atmospheric carbon dioxide in the North Atlantic. *Nature*, **350**, 50-53.
- Weiss R.F. (1974). Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas. *Mar. Chem.*, **2**, 203-215.
- Wollast, R. (1989). The Scheldt Estuary, in: *Pollution of the North Sea, an assessment*, Salomons, W., B. L. Bayne, E. K. Duursma and U. Forstner (eds), Springer-Verlag, Berlin, 183-193.