

CARAC

TÉRIS

TIQUES ET

MERS CELTIQUES

ÉTAT

ÉCOLO

GIQUE

CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MERS CELTIQUES

JUIN 2012

ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE Caractéristiques chimiques Acidification du milieu marin

Catherine Goyet (UPVD/IMAGES, Perpignan).
Avec la participation de
Véronique Guglielmi,
Yves Maurissen
et Annick Fabre.



Le système des carbonates dans l'eau de mer est défini par les équilibres chimiques suivants :



Avec le carbone inorganique total $C_T = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$.

Lorsque le dioxyde de carbone de l'atmosphère pénètre dans l'océan à travers l'interface océan-atmosphère, il réagit avec l'eau pour former l'acide carbonique (H_2CO_3) et par conséquent augmente l'acidité (diminution du pH) des océans.

Nous nous intéressons ici aux variations spatio-temporelles des flux air-mer de CO_2 et du pH dans la sous-région mers celtiques proprement dite, et plus particulièrement dans la zone en face de la Bretagne.

La plupart des travaux menés dans cette zone concernent aussi les zones adjacentes (la Manche ou le golfe de Gascogne) ; les résultats correspondants sont ainsi obtenus à l'échelle d'une zone plus large que celle de la sous-région marine des mers celtiques.

Il existe donc peu de données et peu de résultats s'attachant exclusivement à ce secteur.

1. ÉTUDE ANNUELLE DE LA PRESSION PARTIELLE ET DES FLUX AIR-MER DE CO₂

Les flux air-mer sont estimés à partir des mesures de la pression partielle de CO₂ dans les eaux de surface. En toute rigueur, puisque le gaz carbonique n'est pas un gaz parfait, il est plus exact de parler de fugacité du CO₂ (fCO₂). En pratique, comme la différence entre fCO₂ et pCO₂ est négligeable (inférieure à la précision des mesures), nous pouvons parler indifféremment de fCO₂ ou pCO₂. Par définition $fCO_2 = b [CO_2]$ où b est une fonction de la température et salinité de l'eau de mer.

Frankignoulle *et al.* [1] ont estimé le flux annuel des eaux du large, à partir de données couvrant la période de 1993 à 1999, dans la mer Celtique (plateau Celtique distal). La moyenne annuelle est un puits significatif de CO₂ atmosphérique, de taux entre 4,8 et 7,9 mmol·m⁻²·jour⁻¹, soit entre 1,75 et 2,88 mol·m⁻²·an⁻¹.

Borges *et al.* [2] ont repris les données de Frankignoulle *et al.* [1] pour le plateau Celtique, en y ajoutant des données supplémentaires datant de 2001 à 2004. La moyenne annuelle obtenue amène encore à un puits de CO₂ atmosphérique, mais de taux plus faible : 0,8 mol·m⁻²·an⁻¹.

Ces valeurs sont relativement proches de celles calculées *via* une compilation des mesures disponibles à l'échelle mondiale, pour tout plateau continental « ouvert » (c'est-à-dire en-dehors des zones d'estuaires internes ou externes, des mangroves, des marais salés, des récifs coralliens et des systèmes d'upwelling) situé à des latitudes tempérées (entre 30° et 60°) : puits annuel de 1,74 mol·m⁻²·an⁻¹ selon Borges [3], de 1,1 mol·m⁻²·an⁻¹ selon Cai *et al.* [4] puis Chen *et al.* [5].

2. PHÉNOMÈNES SAISONNIERS

Borges *et al.* [6], à partir de mesures effectuées entre 1995 et 1999 dans une zone proche des côtes françaises, mettent en évidence des variations saisonnières de la pression partielle de CO₂ dans les eaux de surface : au printemps puis en été, la pression partielle de CO₂ est bien plus faible que celle atmosphérique ; en automne et en hiver, elle devient égale voire légèrement plus élevée.

De manière plus limitée dans l'année, Keir *et al.* [7] établissent qu'à la fin de l'été, les eaux de surface de l'ensemble du secteur considéré ici sont encore sous-saturées en CO₂ : les mesures de pression partielle en septembre 1995 prennent des valeurs relativement constantes (entre 320 et 335 matm), plus faibles que la pression partielle atmosphérique. De manière cohérente avec les résultats connus pour les secteurs limitrophes, ces valeurs diminuent à la limite ouest du secteur (au rebord du plateau continental) et augmentent à la limite est (vers la Manche).

Au printemps, l'étude biogéochimique des efflorescences des coccolithophoridés à l'extrémité sud-ouest de la zone (en limite du plateau continental), en juin 2004 [8] et en juin 2006 [9], indique une grande absorption de carbone total par le phytoplancton. Cette région est un fort puits de CO₂, et ce durant toute la période d'efflorescence. La calcification liée à l'efflorescence des coccolithophoridés, a la possibilité de diminuer l'absorption de CO₂ mais ne peut pas renverser la direction du flux.

Ceci est confirmé par les travaux de Suykens *et al.* [10]. Les mesures de juin 2006 [9] sont complétées par des mesures en mai 2007 et mai 2008 dans la même région. Ces deux dernières périodes correspondent elles aussi à une efflorescence des coccolithophoridés.

Les mesures de la pression partielle de CO₂ dans les eaux de surface variaient respectivement de 248 à 270 ppm en juin 2006, de 288 à 342 ppm en mai 2007 et de 250 à 269 ppm en mai 2008. Par conséquent, elles étaient toujours en dessous de l'équilibre avec l'atmosphère (378 ppm en juin 2006, 382 ppm en mai 2007 et 385 ppm en mai 2008). On en déduit que cette région océanique se comportait comme un puits de CO₂ pour l'atmosphère, et ce durant la totalité des efflorescences.

Les flux moyens air-mer correspondants étaient égaux à -3,6 mol·m⁻²·an⁻¹, -4,3 mol·m⁻²·an⁻¹ et -2,7 mol·m⁻²·an⁻¹, respectivement en juin 2006, mai 2007 et mai 2008, soit en moyenne sur les trois campagnes : -3,5 mol·m⁻²·an⁻¹.

Les efflorescences ont des conséquences antagonistes sur les flux air-mer de CO_2 : la calcification marine augmente la pression partielle de CO_2 dans l'eau de mer tandis que la production de carbone organique diminue la pression partielle. L'étude de l'importance relative de ces effets montre que la diminution de la capacité de l'océan à absorber du CO_2 atmosphérique due à la calcification reste faible (en moyenne 12 % du flux total air-mer).

La figure 1 présente les mesures de pH disponibles pour ces trois campagnes consécutives (printemps 2006, 2007 et 2008) dans la zone de la mer Celtique. À ce jour, ces données ne permettent pas de détecter une tendance temporelle nette. De nouvelles mesures sont nécessaires pour déterminer l'évolution temporelle du pH dans cette région océanique.

3. CONCLUSION

Le peu d'études menées dans cette région ne permet pas encore d'évaluer le carbone anthropique séquestré dans ces eaux et de faire le bilan précis de l'acidification. De nouvelles campagnes de mesures sont indispensables pour quantifier précisément l'évolution de l'acidification dans cette région. Sur l'année, à l'échelle de l'ensemble du secteur, cette sous-région marine est un puits de CO_2 relativement important, et ce même durant les périodes d'efflorescence des coccolithophoridés.

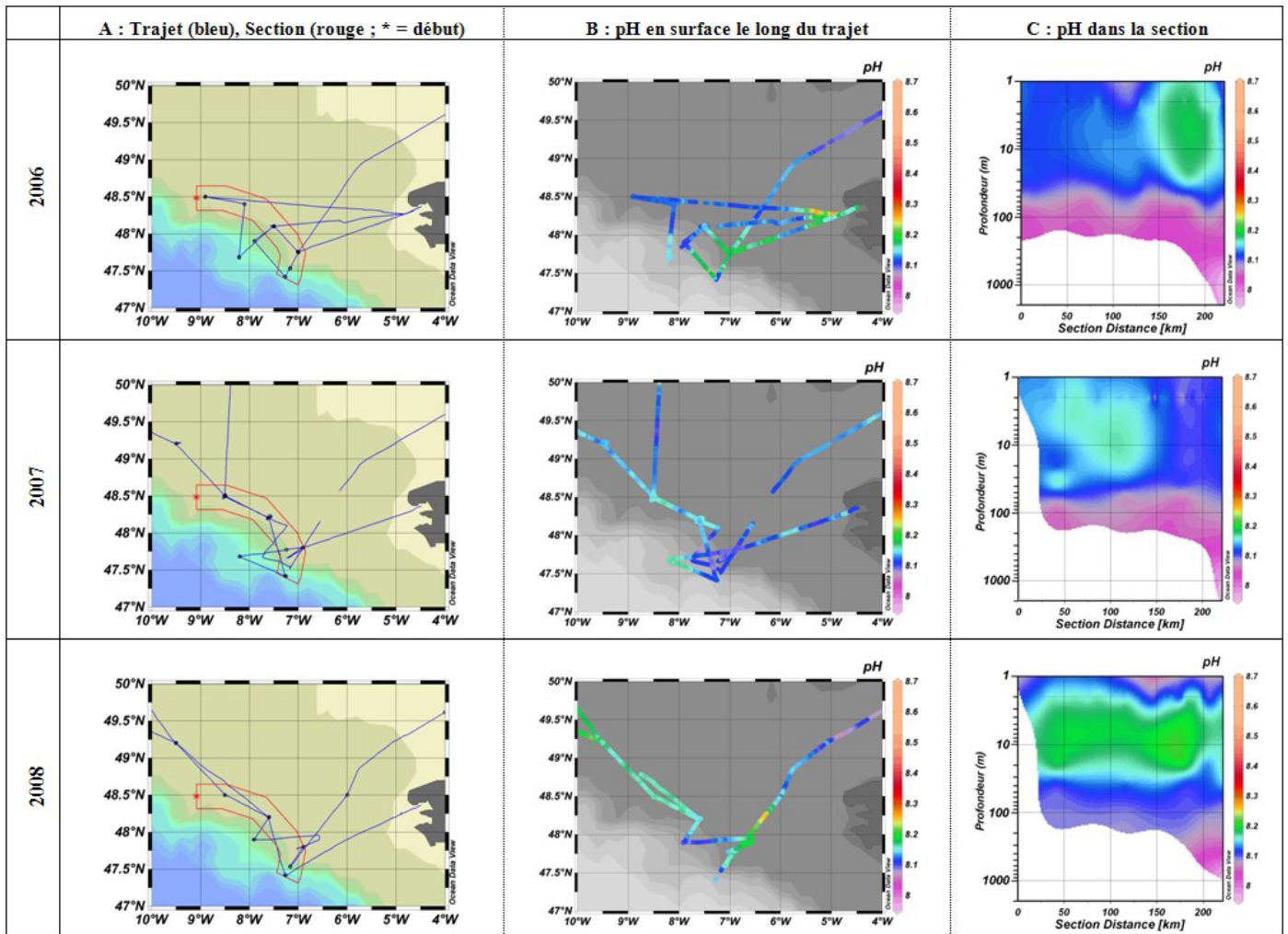


Figure 1 : pH dans la mer Celtique pour 2006, 2007 et 2008. A) Trajets des navires avec les points aux lieux de mesures CTD, B) pH de l'eau de mer de surface, C) pH en profondeur dans la section montrée en rouge sur les cartes (A) (Sources : UPVD/IMAGES, 2011).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Frankignoulle M., Borges A.V., 2001. European continental shelf as a significant sink for atmospheric carbon dioxide. *Global Biogeochemical Cycles*, 15 (3), 569-576.
- [2] Borges A.V., Schiettecatte L.-S., Abril G., Delille B., Gazeau F., 2006. Carbon dioxide in European coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70, 375-387.
- [3] Borges A.V., 2005. Do we have enough pieces of the jigsaw to integrate CO₂ fluxes in the coastal ocean ? *Estuaries*, 28 (1), 3-27.
- [4] Cai W.J., Dai M., Wang Y., 2006. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins : a province-based synthesis. *Geophysical Research Letters*, 33, doi : 10.1029/2006GL026219.
- [5] Chen C.T.A., Borges A.V., 2009. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean : continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂. *Deep-Sea Research Part II*, 56, 578-590.
- [6] Borges A.V., Frankignoulle M., 2003. Distribution of surface carbon dioxide and air-sea exchange in the English Channel and adjacent areas. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C5), doi : 2000JC000571.
- [7] Keir R.S., Rehder G., Frankignoulle M., 2001. Partial pressure and air-sea flux of CO₂ in the Northeast Atlantic during September 1995. *Deep-Sea Research Part II*, 48, 3179-3189.
- [8] Harlay J., Borges A.V., Van Der Zee C., Delille B., Godoi R.H.M., Schiettecatte L.-S., Røevros N., Aerts K., Lapernat P.-E., Rebreanu L., Groom S., Daro M.-H., Van Grieken R., Chou L., 2010. Biogeochemical study of a coccolithophore bloom in the northern Bay of Biscay (NE Atlantic Ocean) in June 2004. *Progress In Oceanography*, 86 (3-4), 317-336.
- [9] Harlay J., Chou L., De Bodt C., Van Oostende N., Piontek J., Suykens K., Engel A., Sabbe K., Groom S., Delille B., Borges A.V., 2011. Biogeochemistry and carbon mass balance of a coccolithophore bloom in the northern Bay of Biscay (June 2006). *Deep Sea Research Part I : Oceanographic Research Papers*, 58 (2), 111-127.
- [10] Suykens K., Delille B., Chou L., De Bodt C., Harlay J., Borges A.V., 2010. Dissolved inorganic carbon dynamics and air-sea dioxide fluxes during coccolithophore blooms in the northwest European continental margin (northern Bay of Biscay). *Global Biogeochemical cycles*, 24, GB3022, doi:10.1029/2009GB003730.