

LICENCE (L3)

Océanographie générale

TD 3 - Traceurs passifs dans l'océan: le carbone 14, le tritium et les CFCs

RIWAL PLOUGONVEN ET EMMANUEL VINCENT

27 novembre 2008

Ce TD est basé sur les articles

- H. Göte Östlund et C. G. H. Rooth, 1990 : *The North Atlantic Tritium and radiocarbon transients 1972-1983*, *Journal of Geophysical Research*, vol. 95, C11, p20,147-20,165.
- W.M. Smethie Jr, R.A. Fine, A. Putzka and E.P. Jones, 2000 : *Tracing the flow of North Atlantic Deep Water using chlorofluorocarbons*, *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, C6, ,p14,297-14,323. -

1 Généralités sur les traceurs radioactifs

Nous allons dans ce TD essayer de voir comment des mesures de traceurs radioactifs dans l'océan peuvent nous aider à en comprendre la circulation profonde.

- Q1. La demi-vie d'une espèce radioactive est le temps nécessaire pour que la moitié de la population d'atomes radioactifs initialement présents se soient transformés. La demi-vie du ^{14}C est de 5680 ans environ ; la demi-vie du tritium (^3H) est de 12.43 ans. Pour l'un et l'autre, écrivez la loi de décroissance en fonction du temps.
- Q2. D'après les figures 1, il y a eu un injection très importante d'éléments radioactifs dans l'atmosphère dans les années 60. A votre avis, pourquoi ?
- Q3. Pour lequel des deux traceurs considérés faudra-t-il prendre en compte la décroissance dans le temps ?
- Q4. Quels sont les temps caractéristiques des mouvements de masses d'eau que l'on pourra mettre en évidence ? Donnez en les limites inférieures et supérieures et les raisons physiques associées.

Q5. Comment traiter les mesures de tritium (ou quelles unités construire) pour que ces mesures ressemblent à des mesures d'un traceur conservatif?

Scan0001.tif

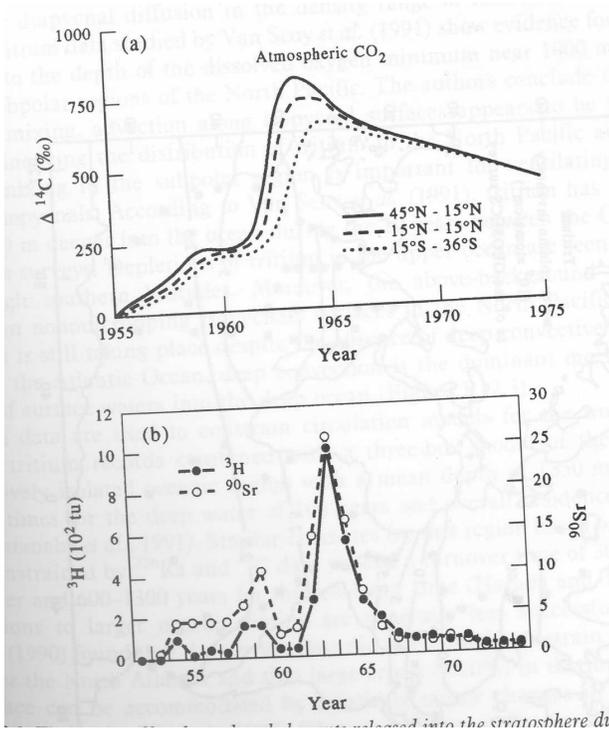


FIG. 1 – Séries temporelles du ^{14}C et du ^3H relâchés dans la stratosphère entre 1950 et 1975.

2 Coupes verticales du carbone 14

La figure 2 indique le tracé des sections hydrographiques réalisées dans l'Atlantique Nord lors de GEOSECS (Geochemical Sections, 121 stations dans l'Atlantique en 1972 et 1973) et TTO (Transient Tracers in the Ocean, North Atlantic Study, 1981).

La quantité de ^{14}C d'un échantillon d'eau de mer est par convention exprimée en $\Delta^{14}\text{C}$ défini par :

$$\Delta^{14}\text{C} = \delta^{14}\text{C} - 2(\delta^{13}\text{C} + 25)(1 + \delta^{14}\text{C}/1000), \quad (1)$$

avec

$$\delta^{14}\text{C} = 1000 \frac{\left(\frac{^{14}\text{C}}{\text{C}}\right)_{\text{ech}} - \left(\frac{^{14}\text{C}}{\text{C}}\right)_{\text{std}}}{\left(\frac{^{14}\text{C}}{\text{C}}\right)_{\text{std}}}. \quad (2)$$

Dans les conditions préindustrielles (avant 1850), le $\Delta^{14}\text{C}$ est de -50.

Q6. D'après les sections de la figure 3, où trouve-t-on dans l'océan les valeurs les plus élevées de $\Delta^{14}\text{C}$?

Q7. Combien de stations ont permis de réaliser ces sections ?

Q8. Entre 1972 et 1981, quels aspects de la distribution de $\Delta^{14}\text{C}$ sont restés inchangés ? Quel est le changement le plus marquant ?

- Q9. Quels sont les différents mécanismes physiques permettant de déplacer un élément dissous dans un fluide ?
- Q10. Si l'on explique ce qui se passe au nord du bassin par un phénomène diffusif sur la verticale, quel ordre de grandeur doit on avoir pour la diffusivité ? Sachant que les valeurs observées dans l'océan sont en général au plus de l'ordre de $10^{-4} m^2 s^{-1}$, cette interprétation est-elle plausible ?

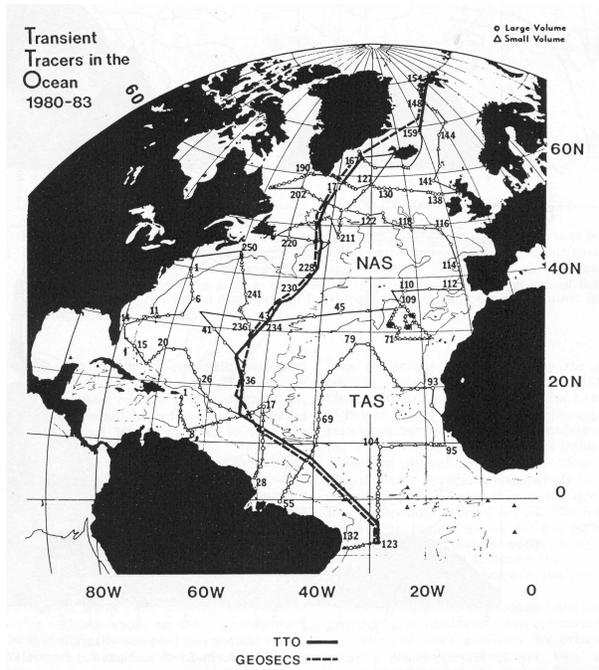


FIG. 2 – Carte montrant les sections hydrographiques faites lors des campagnes GEOSECS (pointillés) et TTO (traits pleins). Les lignes plus épaisses indiquent les trajets des coupes de la figure 3.

- Q11. Quelle explication suggérez vous pour l'augmentation des concentration de ^{14}C entre 1972 et 1981 dans les eaux profondes du Nord de l'Atlantique ? D'après la figure 4, décrivez la répartition du phénomène mis en évidence entre le bord ouest et est du bassin.
- Q12. Qu'est ce qui permet à une masse d'eau de surface de plonger en profondeur ?
- Q13. Dans les profils de la figure 5, qu'observe-t-on à une profondeur d'environ mille mètres ? En vous aidant de la coupe 3, suggérez une provenance possible de ces eaux pauvres en ^{14}C à 1000m de profondeur.
- Q14. Quelles sont les valeurs de concentration de ^{14}C en fonction de la profondeur $[^{14}C](z)$ sur les 600 premiers mètres (Fig. 5.) ? Quel est le phénomène physique mis en évidence ici ?
- Q15. Les essais atomiques dans l'atmosphère libre ont majoritairement eu lieu dans l'hémisphère Nord. Proposez une explication à la concentration en tritium observé dans les 600 premiers mètres du profil vertical (Fig. 8).

3 Mesures du tritium

- Q16. Les figures 6, 7 et 8 montrent des sections et profils équivalents à ceux des figures 3, 4 et 5. Ces cartes sont elles cohérentes avec les interprétations avancées à partir des cartes du ^{14}C ?

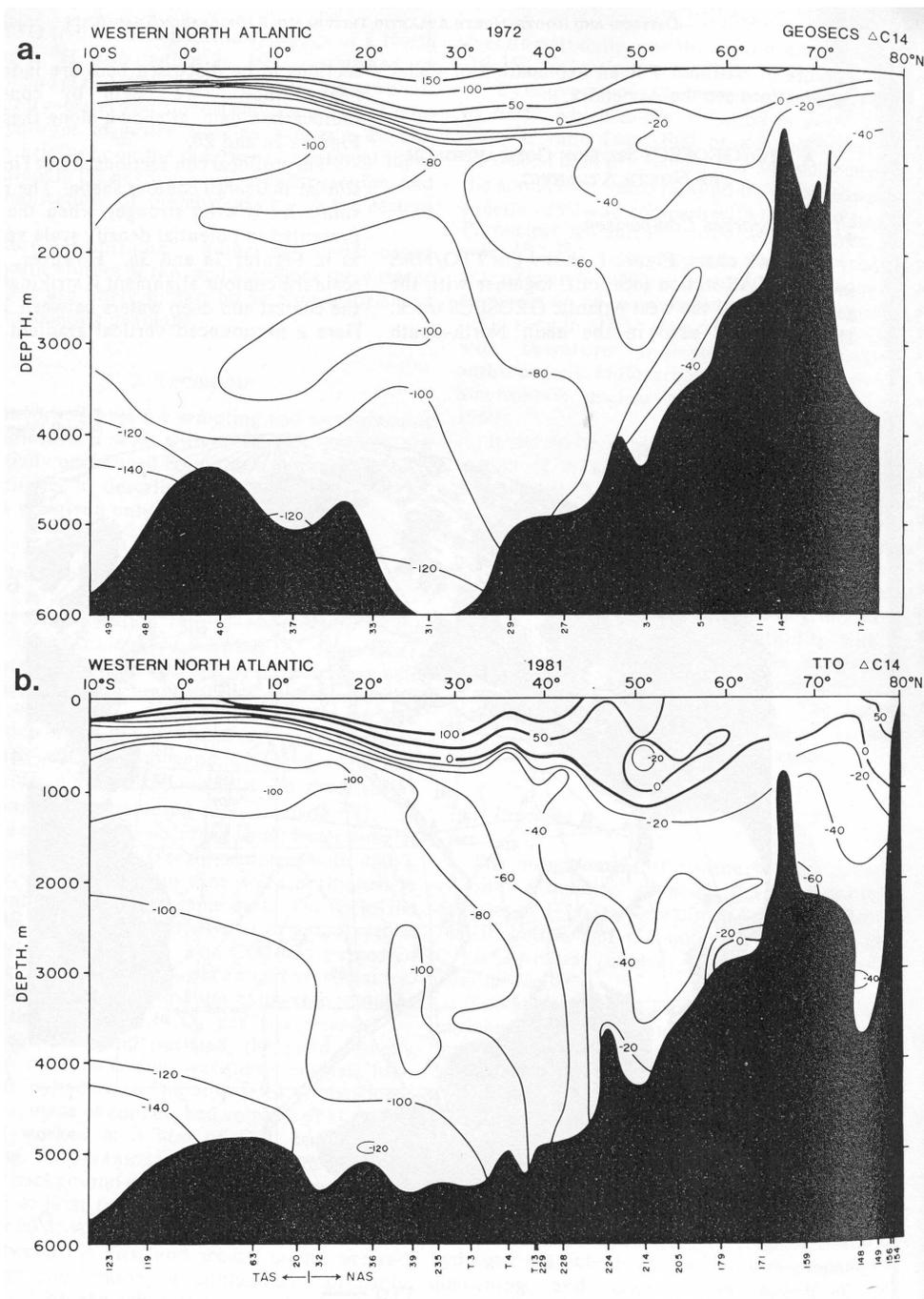


FIG. 3 – Sections du $\Delta^{14}\text{C}$ dans l'ouest du bassin Atlantique Nord, en 1972 (haut) et 1981 (bas).

- Q17. Quels sont les avantages du ^3H sur le ^{14}C ? (Notamment, dans l'océan, dans quelles molécules les atomes de ^3H et ^{14}C vont-ils être incorporés?)
- Q18. Comment ces différentes mesures (^3H et ^{14}C) peuvent-elles être utilisées pour contraindre nos modèles de la circulation générale des océans?

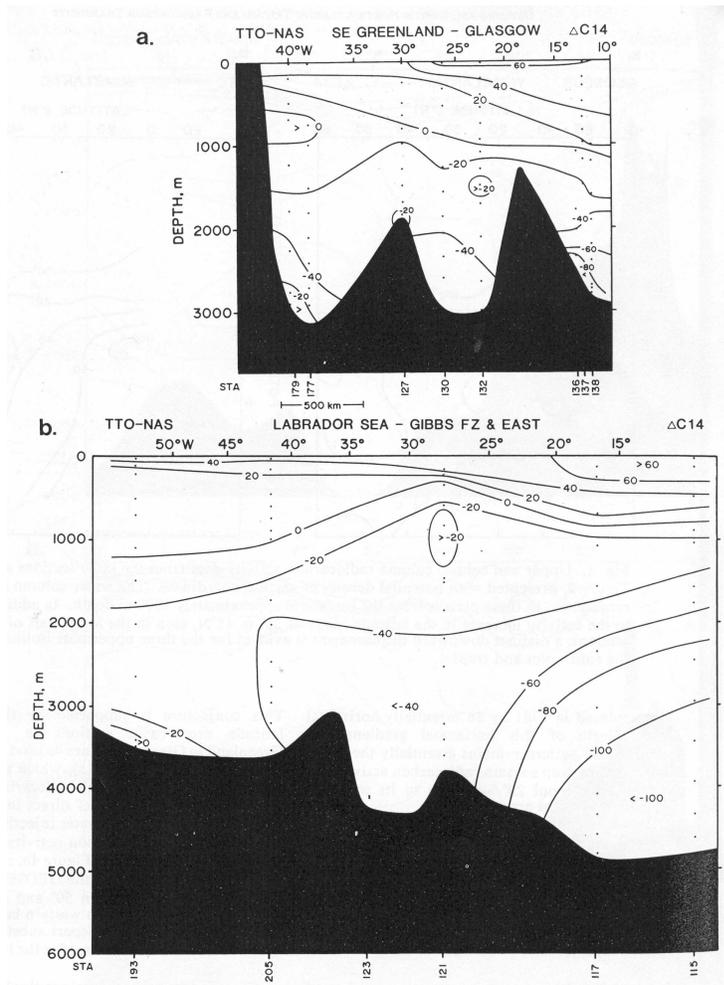


FIG. 4 - Coupes Est-Ouest de $\Delta^{14}C$ faites en 1981 dans le cadre du programme TTO : de la pointe du Groenland à Glasgow (en haut) et de la pointe du Groenland à l'Espagne (en bas).

CoupeC14west.jpg

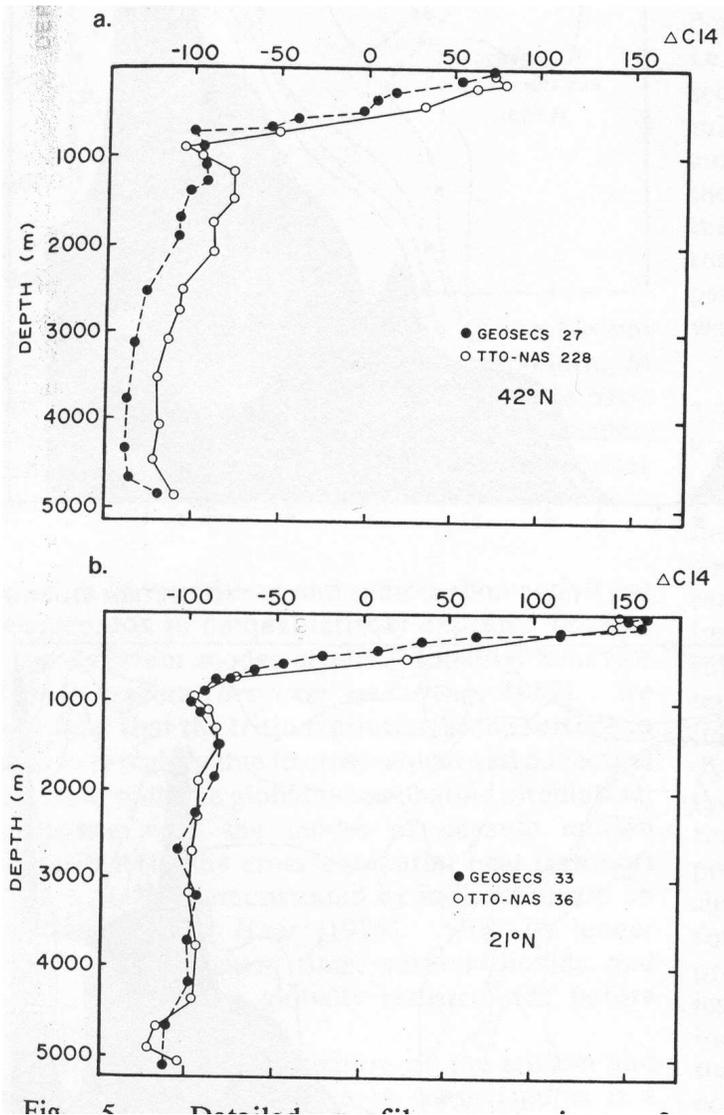


FIG. 5 – Quatre profils verticaux de concentrations de ^{14}C , effectués lors de GEOSECS et TTO.

profilverticalC14.tif

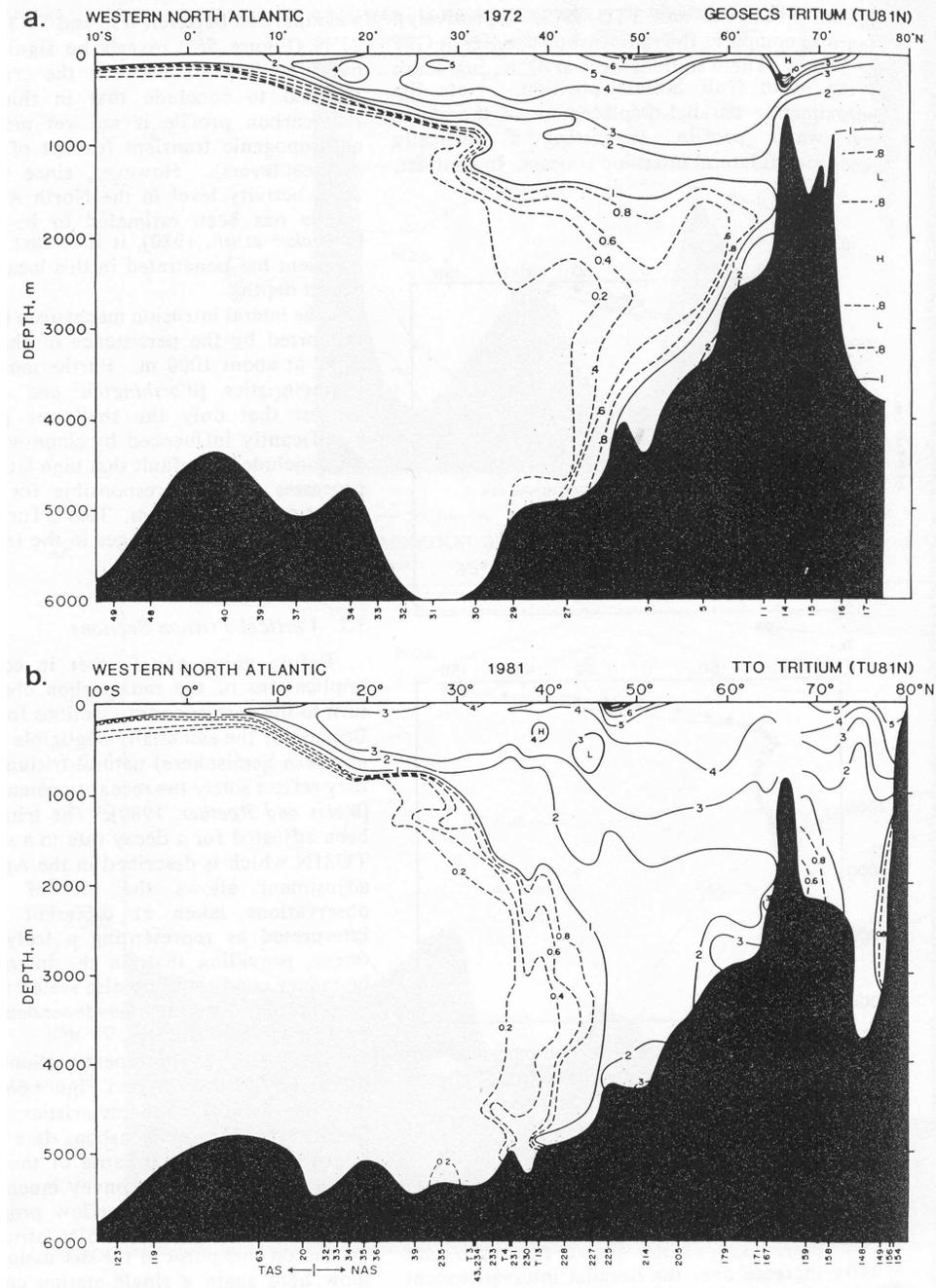


FIG. 6 – Coupe Nord-Sud des concentrations du ^3H dans l'ouest du bassin Atlantique Nord, en unités TU81N. GEOSECS (1972, en haut) et TTO (1981, en bas).

profilverticaltritium.tif

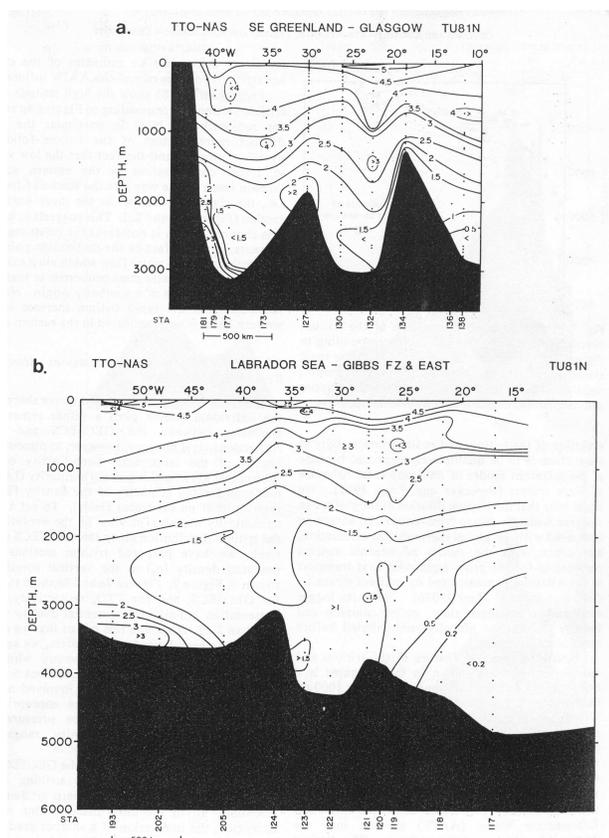


FIG. 7 – Coupes Est-Ouest de 3H faites en 1981 dans le cadre du programme TTO : de la pointe du Groenland à Glasgow (en haut) et de la pointe du Groenland à l'Espagne (en bas).

coupetritiumWest.tif

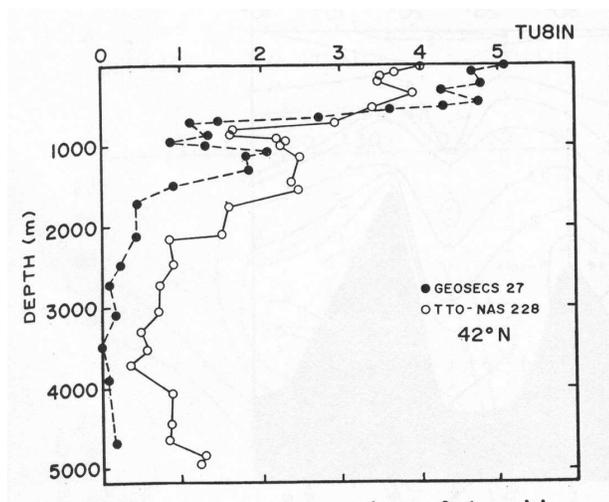


FIG. 8 – Deux profils verticaux de concentrations de 3H , effectués lors de GEOSECS et TTO.

4 Utilisation des CFCs

Inertes, inodores, ininflammables et bon marchés, les CFCs ont été utilisés largement dans les réfrigérateurs et les vaporiseurs d'aérosols. Depuis le protocole de Montréal de 1988 leur utilisation est interdite.

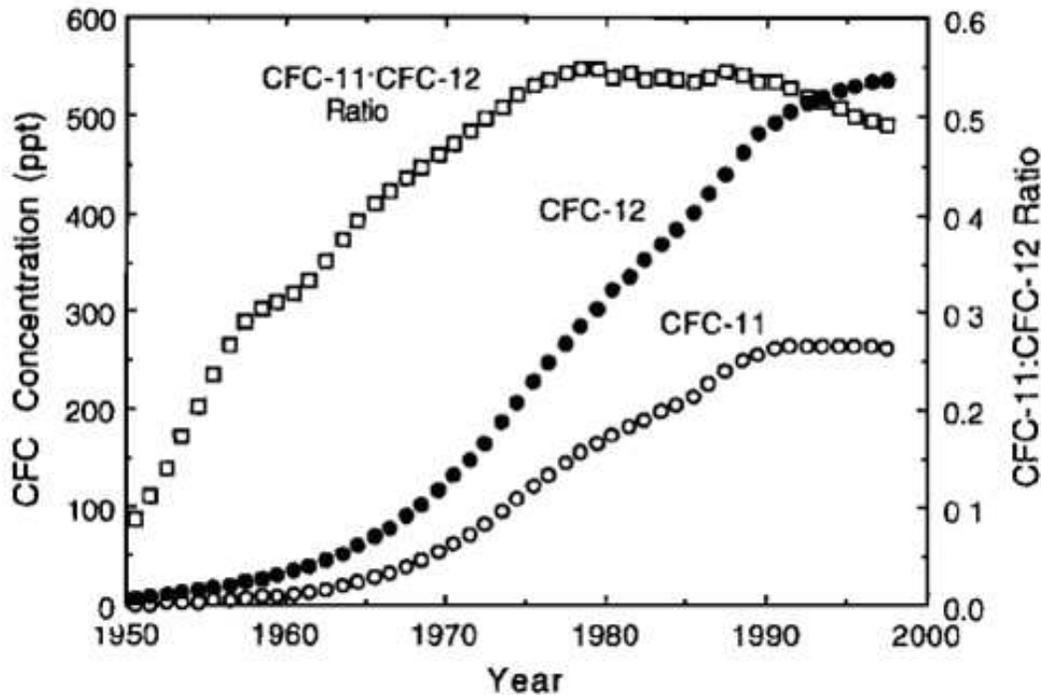


FIG. 9 – CFC- 11, CFC- 12, and the CFC- 11/CFC- 12 ratio versus time for the Northern Hemisphere troposphere.

- Q19. Pour quelle raison l'utilisation de ces gaz a-t-elle été interdite? Quelle autre propriété les rend indésirables? Comment leur concentration dans l'atmosphère peut varier?
- Q20. Au moment de la formation de la masse d'eau, la concentration en CFC est elle égale à celle de l'atmosphère? Pourquoi?
- Q21. D'après la figure 9, sur quelle période la fonction $[CFC11]/[CFC12]$ (t) donne-t-elle de manière non-équivoque l'âge de la parcelle d'eau? Pourquoi la seule mesure de $[CFC11]$ ou $[CFC12]$ ne permet pas d'avoir cette information?
- Q22. Commentez la figure 10. Quelle est la vitesse caractéristique de l'écoulement observé ici (référence : distance le long de la côte américaine entre l'isoline 15 et 25 ans)? Comment a-t-on pu séparer les masses d'eau pour la datation?
- Q23. Parmi les masses d'eaux formées dans la mer du Labrador, quelle(s) masse(s) d'eau retrouve-t-on dans les deux sections (Fig. 11.)? Comment ont évoluées les caractéristiques T-S-CFC11 des masses d'eaux? Commentez.
- Q24. Conclure sur les courants mis en évidence dans ce TD.

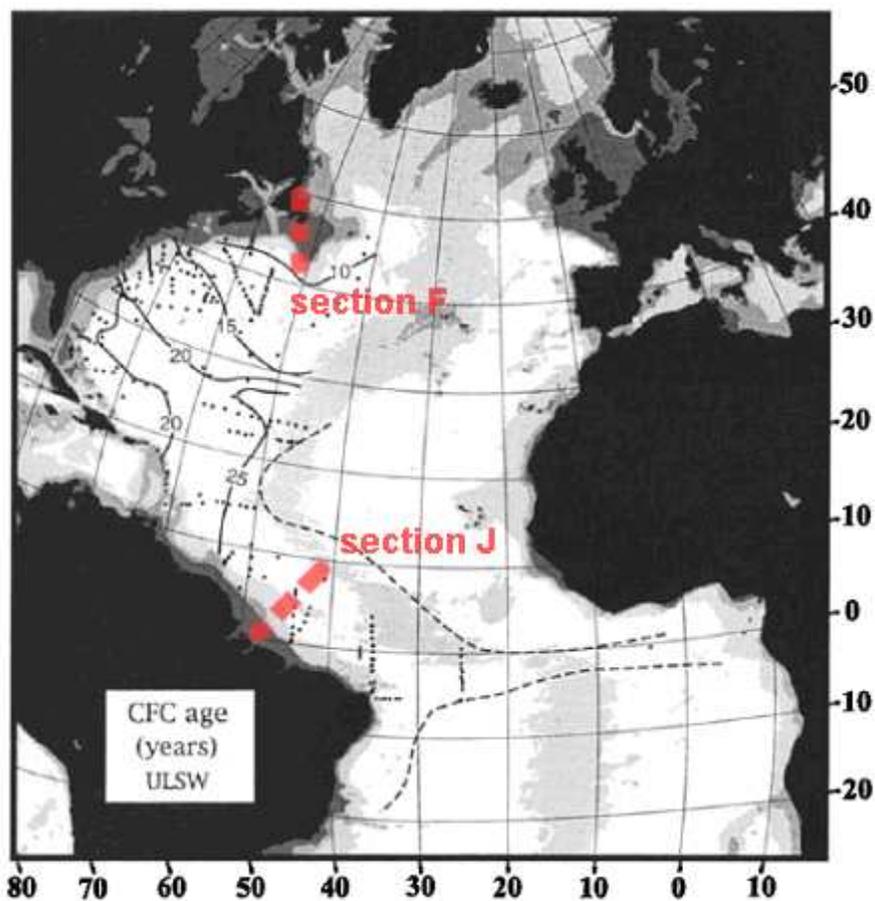


Figure 6a. Lateral map of the CFC-11:CFC-12 ratio age for ULSW. See Table 1 for data sources and the text for the procedure used to calculate ages. The dashed line represents the $0.02 \text{ pmol kg}^{-1}$ isoline. Ages were not calculated for CFC concentrations $<0.02 \text{ pmol kg}^{-1}$ because of the large uncertainty in the CFC-11:CFC-12 ratio at low concentrations.

FIG. 10 – Carte des âges reconstruits par CFC_{11}/CFC_{12} pour les eaux appartenant à la masse d'eau Upper Labrador Sea Water.

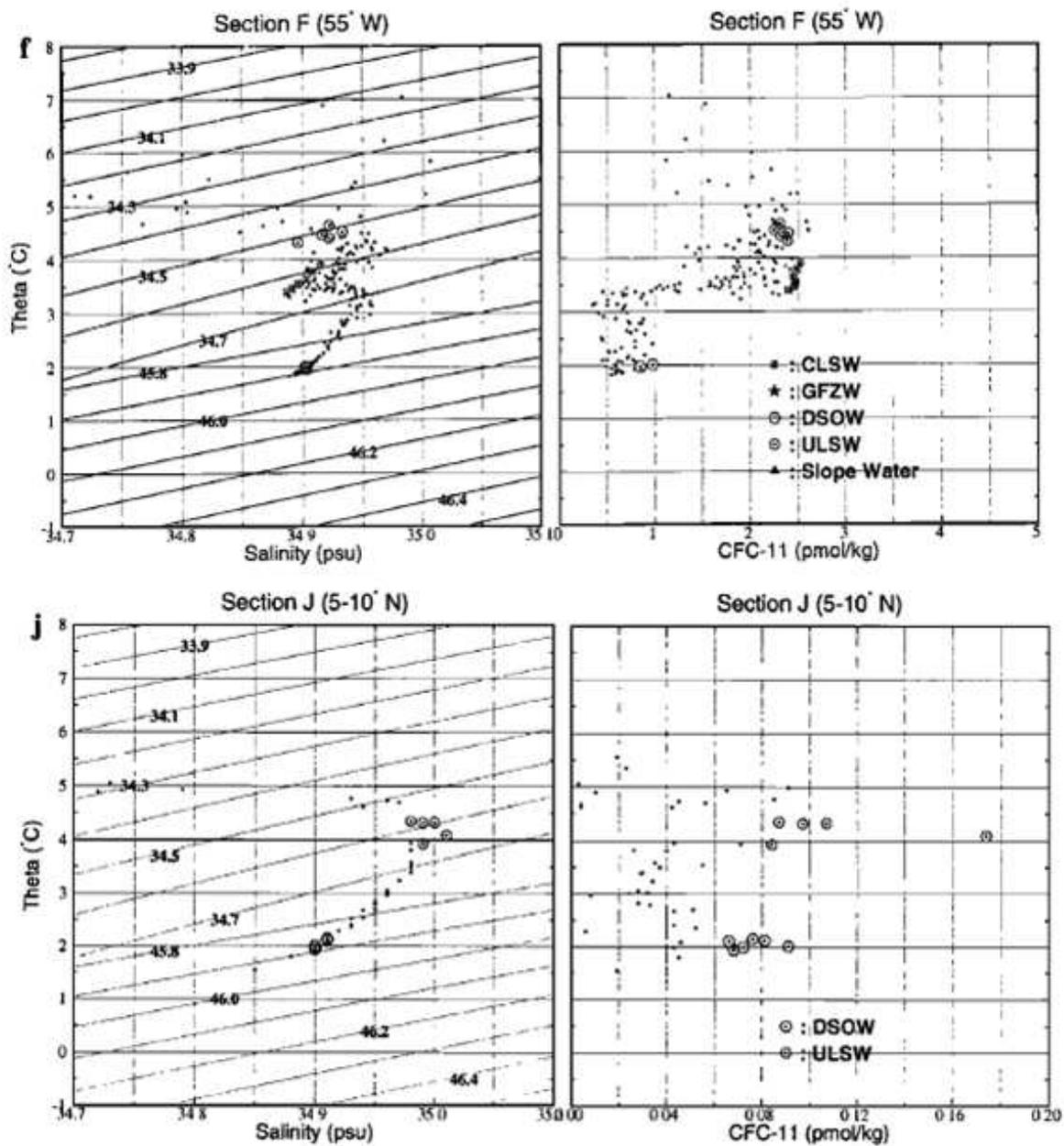


FIG. 11 – Potential temperature/salinity and potential temperature/CFC-11 plots for the sections f and j (Fig. 10). Lines of constant density are plotted as the diagonal lines. Points for the cores of following water masses are designated by symbols : square : Classical Labrador Sea Water, star : Gibbs Fracture Sea Water, circle : Upper Labrador Sea Water, triangle : Western Boundary Slope Water, inverted triangle : ISOW, hexagon : Denmark Strait Overflow Water.