

Atelier "Eau chaude à tous les étages ?"

Ce dossier est destiné à l'animateur et aux enseignants de toutes disciplines amenés à préparer ou encadrer la participation d'élèves à une des versions de l'atelier IUEM consacré à l'analyse des données scientifiques.

En faisant travailler les élèves sur des données simples mais réelles, cet atelier a pour objectifs de :

- leur montrer une composante moins spectaculaire que le travail de terrain (navires, engins, appareils, ...) mais aussi importante dans le métier des scientifiques : l'analyse des données ;
- leur montrer le rôle de l'approche quantitative, peu ou pas présente dans les récits, les articles ou les reportages sur la recherche, nécessaire entre les phases plutôt qualitatives du questionnement et des conclusions ;
- les familiariser avec des modes divers de représentation de l'information (courbes, nuages de points, camemberts, histogrammes de fréquences, ...) à leur spécificité et leurs différences ;
- les initier à la description et l'analyse de ces représentations graphiques pour en tirer une interprétation et susciter un questionnement.

Plusieurs jeux de données ont été sélectionnés dans ce but, parmi lesquelles des profils verticaux de température de l'eau dans l'Atlantique nord, qui font l'objet de ce dossier

La conduite de l'atelier et les objectifs sont à adapter, suivant la classe (collège, lycée) et le niveau des élèves.

1. La structure verticale de l'océan hauturier

A rédiger

2. Les profils de température

Pendant un siècle environ, le seul moyen de connaître l'évolution de la température en fonction de la profondeur a été l'immersion de "thermomètres à renversement" disposés à des profondeurs choisies le long d'un câble hydrologique. La structure thermique de la masse d'eau n'était donc connue que par au maximum une dizaine de mesures ponctuelles.

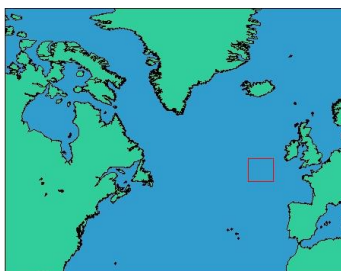
L'avènement des thermistances dans les années 1970 a permis d'accéder à des mesures continues (ou plus exactement de haute fréquence, mesures ponctuelles mais très rapprochées). Actuellement trois outils principaux permettent de les obtenir :

- La sonde XBT, lest profilé muni d'une thermistance, qui descend dans l'eau sous son propre poids en transmettant au navire le signal électrique de la sonde par un fil extrêmement fin ;
- la sonde CTD (Conductivité-température-profondeur), descendue par un câble hydrologique sur un châssis portant également des bouteilles de prélèvement et d'autres appareils (courantomètres, etc.). Le profil de température est obtenu au cours de la descente et/ou de la remontée ;
- les profileurs, bouées autonomes dérivantes effectuant de façon programmée des allers-et-retours de la surface à 1000 m environ, et transmettant les données par satellite lors de leur séjour en surface.

Toutes ces données sont validées puis archivées dans des bases de données scientifiques pour être accessibles aux chercheurs à travers le monde. Plusieurs organismes nationaux ou programmes internationaux ont pour mission de gérer ces masses de données. Parmi eux on peut citer la NOAA (National Ocean Data Center, NOAA, USA) ou le CIEM (Conseil International pour l'Exploration de la Mer). Ces données sont souvent d'accès libre via des interfaces de recherche sur des sites web, mais sont généralement codées sous des formats spécialisés qui les rendent peu accessibles aux non-spécialistes. L'interface web du CIEM permet de télécharger assez simplement des données archivables en format tableur (cf § 5).

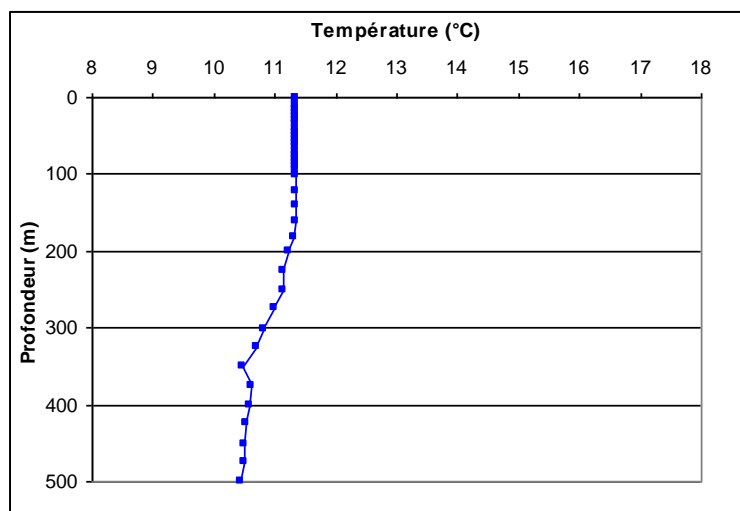
3. Les données CTD

L'atelier utilise des données de CTD recueillies aux latitudes tempérées de l'Atlantique nord-est, à proximité du point 50°N-20°W, au large de l'ouverture de la Manche. Ces données téléchargeables sur le site web du CIEM (cf. § 5) sont extraites de stations effectuées par différents navires océanographiques. Elles ne sont pas exhaustives : ainsi les profils utilisés (jusqu'à 500 m) ne comportent que 48 points. La disponibilité de données est tributaire de la programmation et des objectifs des campagnes océanographiques : c'est pourquoi les cinq profils n'ont pas exactement la même position et n'ont pas été recueillis la même année. Certaines de ces stations la sonde CTD a été descendue jusqu'à plusieurs milliers de mètres mais seules les premiers 500 m ont été retenus car c'est dans cette couche superficielle que la structuration thermique est la plus marquée et la plus variable au cours de l'année.



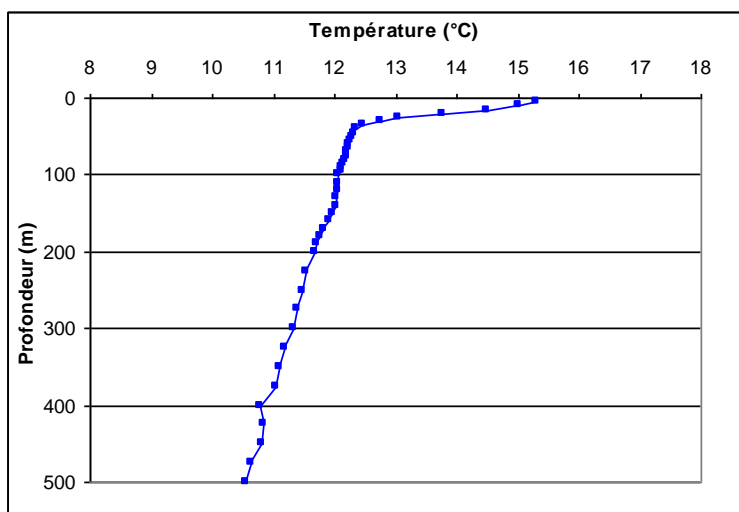
4. Description des profils de température

Profil 1 : fin de l'hiver (20 mars 1990, 50,7°N)



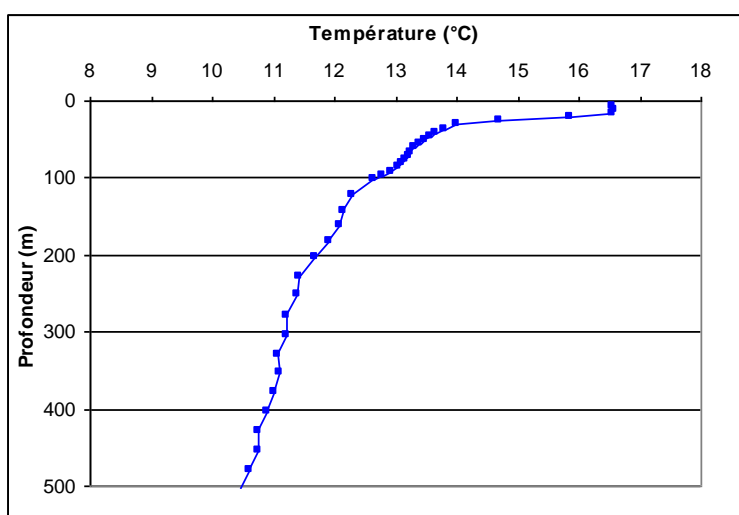
La couche superficielle est remarquablement homogène : jusqu'à 160 m, la température ne varie que de quelques millièmes de degré, autour de 13,34°C. Elle descend ensuite très régulièrement pour atteindre 10,5°C vers 500 m.

Profil 2 : printemps (21 mai 1990, 48,6°N)



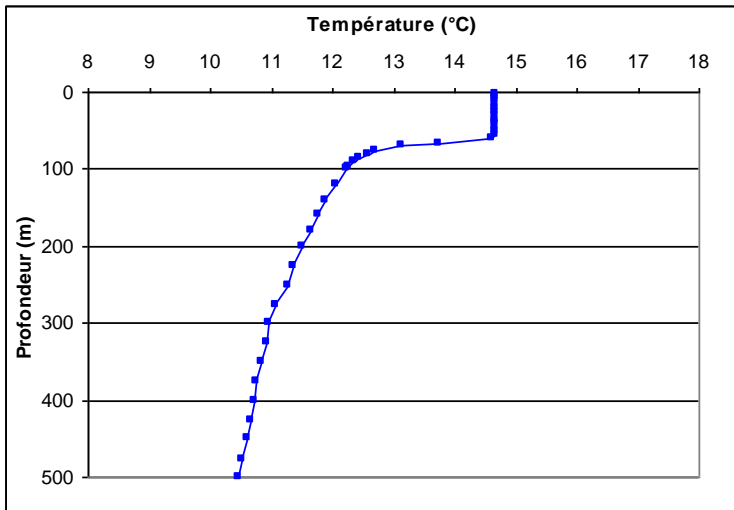
Le profil est marqué par une diminution très rapide de la température dès la surface (où elle atteint 15,3°C) et jusqu'à 35-40 m (où la courbe rejoint la diminution lente dans les eaux plus profondes). Le réchauffement ne concerne donc qu'une couche de quelques dizaines de mètres et progresse plus rapidement en surface qu'en profondeur

Profil 3 : été (23 juillet 1992, 48,3°N)



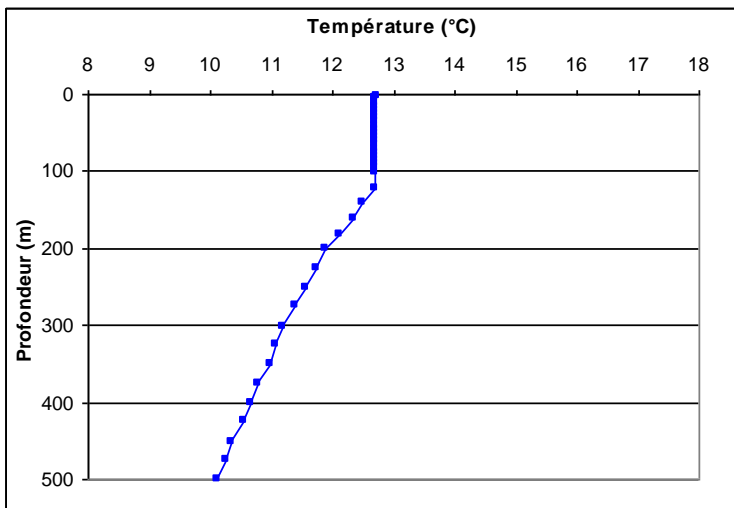
Fin juillet, l'eau de surface a atteint sa température maximale (16,6°C) ; elle forme en surface une couche peu épaisse (une quinzaine de mètres), très homogène et séparée des eaux sous-jacentes par une variation très brutale de température (thermocline) : la même variation de profondeur (15 m environ) se traduit par une diminution de 2,5°C.

Profil 4 : automne (20 octobre 1994, 48,2°N)



Le profil montre l'existence d'une épaisse couche très homogène : de la surface à 60 m, la température est 16,6°C. La chute est ensuite assez rapide (thermocline) et rejoint vers 100 m la courbe de diminution progressive des eaux sous-jacentes.

Profil 5 : début de l'hiver (28 novembre 1996, 51,5°N)



Il y a une couche très homogène (12,7°C) très épaisse (120 m), au-delà de laquelle la température diminue lentement dans les eaux de subsurface ; la transition est très nette, mais il n'y a pas de discontinuité marquée entre ces deux couches.

4. Interprétation : le bilan thermique saisonnier de l'océan

A la fin de l'hiver, l'eau a été brassée en profondeur par les tempêtes et forme une couche très homogène jusqu'à plus de 150 m. Cette homogénéité est rompue au printemps, quand la durée croissante du jour, l'élévation du soleil au-dessus de l'horizon et la diminution de la couverture nuageuse font augmenter fortement le rayonnement solaire parvenant à la surface. L'océan reçoit plus d'énergie qu'il n'en perd : le bilan thermique de la couche de surface est de plus en plus positif et sa température augmente. Mais cette eau, plus chaude donc moins dense, se mélange peu à celle qu'elle surmonte : le réchauffement ne gagne que très lentement en profondeur.

A la fin de l'été, l'ensoleillement a déjà commencé à diminuer, le maximum de température est atteint en surface mais aussi dans une couche d'une quinzaine de mètres que les vagues ont

fini par brasser. La chaleur estivale n'a qu'à peine concerné les eaux sous-jacentes, séparées par une frontière thermique, la thermocline.

En automne, le bilan thermique de la couche de surface devient nettement négatif : l'eau y est encore chaude mais les pertes d'énergie vers l'atmosphère sont importantes. En se refroidissant, l'eau de surface devient plus dense que celle qu'elle surmonte : cette instabilité engendre un mouvement vertical de convection. Par ailleurs, le temps change et le vent se renforce, provoquant un brassage mécanique de plus en plus profond. Par ces deux processus, la chaleur toujours stockée dans l'eau se répartit sur une couche beaucoup plus épaisse. La thermocline s'approfondit et devient de moins en moins marquée à mesure que la température de cette couche homogène se rapproche de celle de l'eau de subsurface, qui n'a pas été affectée par le réchauffement saisonnier.

Lorsque toute la chaleur accumulée pendant le printemps et l'été a été dissipée vers l'atmosphère, l'eau retrouve son homogénéité hivernale sur une grande profondeur.

La superposition des cinq profils de l'atelier montre bien l'évolution parallèle de la température de surface et de la profondeur de la thermocline. On y constate aussi la constance des conditions thermiques au-delà de 150 à 200 m : à 500 m sous la surface, la température est comprise entre 10,1 et 10,5°C quelle que soit la saison. La comparaison de ces cinq situations saisonnières est cependant limitée par le fait que les stations CTD ont eu lieu à des positions légèrement différentes (notamment en latitude) et surtout à des années différentes : il ne s'agit donc pas de cinq étapes du même cycle saisonnier observé au même point.

5. Pour en savoir plus...

Données des stations CTD, téléchargeables (site du Conseil International pour l'Exploration des Océans, CIEM)

<http://ocean.ices.dk/HydChem/HydChem.aspx?plot=yes>

L'océan en mouvement (site du Laboratoire de physique des océans)

<http://www.ifremer.fr/lpo/cours/>

La fabuleuse histoire des thermomètres de la mer (site de l'IUEM)

<http://www-iuem.univ-brest.fr/fr/science-et-societe/sciences-pour-tous/histoire-oceano/intro#thermo>

