

<b><u>1 INTRODUCTION</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>2 LA MISSION OVIDE</u></b> .....	<b>4</b>
2.1 DESCRIPTION DE LA MISSION .....	4
2.2 RELEVES OVIDE .....	5
2.3 LE MANQUE DE DONNEES .....	7
<b><u>3 L'ENVIRONNEMENT OCEANOGRAPHIQUE DE LA RADIALE</u></b> .....	<b>8</b>
3.1 L'OCEAN ATLANTIQUE .....	8
3.2 MASSES D'EAUX .....	9
3.3 CIRCULATION DANS L'OCEAN NORD ATLANTIQUE .....	9
<b><u>4 TRAITEMENT DES DONNEES OVIDE2002</u></b> .....	<b>11</b>
4.1 INTRODUCTION .....	11
4.2 PROFILS OVIDE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR .....	11
<b><u>5 LES OUTILS</u></b> .....	<b>14</b>
5.1 OUTILS .....	14
5.2 CLIMATOLOGIE.....	15
5.3 MASSES D'EAUX EN DENSITE .....	20
5.4 SITE INTERNET .....	21
<b><u>6 RESULTATS OVIDE2002</u></b> .....	<b>22</b>
6.1 RESULTATS PRELIMINAIRES .....	22
6.2 SUIVI DE LA SALINITE DES EAUX DU LADRADOR DE LA MER D'IRMINGER .....	23
6.3 EVOLUTION DE LA CONVECTION VUE DE LA MER D'IRMINGER.....	27
<b><u>7 CONCLUSION</u></b> .....	<b>28</b>

## GLOSSAIRE:

Les noms sont en Anglais. L'ensemble de la documentation dans ce domaine est rédigée en Anglais et je trouve personnellement qu'ils sont plus parlant.

Reliefs sous marins :

MAR	:	Mid-Atlantic Ridge
CGFZ	:	Charlie-Gibbs Fracture Zone
VFZ	:	Vema Fracture Zone
RFZ	:	Romanche Fracture Zone

Masses d'eau, des couches supérieures aux couches inférieures :

AAIW	:	Antarctic Intermediate Water
ENAC	:	East North Atlantic Current
SAIW	:	SubAntarctic Intermediate Water
MOW	:	Mediterranean Outflow Water
SPMW	:	Subpolar Mode Water
LSW	:	Labrador Sea Water
ISOW	:	Iceland Scotland Overflow Water
DSOW	:	Denmark Straits Overflow Water
AABW	:	Antarctic Bottom Water
NEADW	:	North East Atlantic Deep Water
NADW	:	North Atlantic Deep Water

# 1 Introduction

Ce rapport est le compte rendu de mon stage de fin d'études que j'ai effectué dans un laboratoire de recherche océanographique ; le Laboratoire de Physique des Océans (LPO). Pendant cette période, j'ai collaboré à l'analyse et l'exploitation des mesures de la mission océanographique OVIDE2002.

Dans le cadre de cette expérience, je me suis appuyé sur de précédents articles pour analyser les données et vérifier la validité de mes interprétations. J'ai également imaginé et mis en œuvre, avec l'aide de Thierry HUCK, de nouveaux protocoles d'analyses des données OVIDE. Notamment, en construisant une climatologie de référence à partir d'une méthode, sans doute moins rigoureuse que les existantes, mais plus malléable. Nous avons obtenus de nombreux résultats, dont les causes restent encore à déterminer, nous n'avons pas les données permettant de vérifier l'ensemble de nos hypothèses. Pour les obtenir, nous avons suivi de nombreuses pistes mais toutes n'ont pas permis de progresser.

Ce document décrit la mission OVIDE2002, et initie aux grands courants de la zone visitée. Le contexte étant décrit, je vais suivre le cheminement que nous avons choisi et décrire les outils élaborés. Enfin, à partir des figures les plus parlantes, je commenterai certains résultats obtenus et les comparerai à la bibliographie existante.

## 2 La mission OVIDE

### 2.1 Description de la mission

Organisée par le LPO, cette mission s'inscrit dans un programme plus vaste de surveillance de l'environnement, le programme international CLIVAR (CLImate VARIability and Predictability, <http://www.clivar.org>). La campagne océanographique "OVIDE 2002" se déroule en Atlantique Nord-Est à bord du navire océanographique LA THALASSA (Genavir / Ifremer) (référence [2]). Son objectif est la mesure de paramètres physiques et chimiques le long d'une radiale Groenland – Portugal qui coupe le Courant Nord-Atlantique et qui sera répétée tous les 2 ans. Ces mesures permettent l'étude de la variabilité de la circulation océanique dans l'Atlantique Nord-Est, et des transports de chaleur et de sel entre les moyennes et les hautes latitudes. Les grands mouvements océaniques sont connus, mais le manque de données, notamment aux grandes profondeurs, ne permet pas de maîtriser parfaitement leurs évolutions. La mission OVIDE nécessite un mois de temps bateau, pendant lequel une centaine de stations hydrographiques de la surface au fond, environ 3 ou 4 par degré, sont faites. Lors de chacune d'elle, des mesures sont effectuées tous les 4-5m de profondeur et environ 20 prélèvements.

Ces relevés permettent de connaître les grandeurs suivantes :

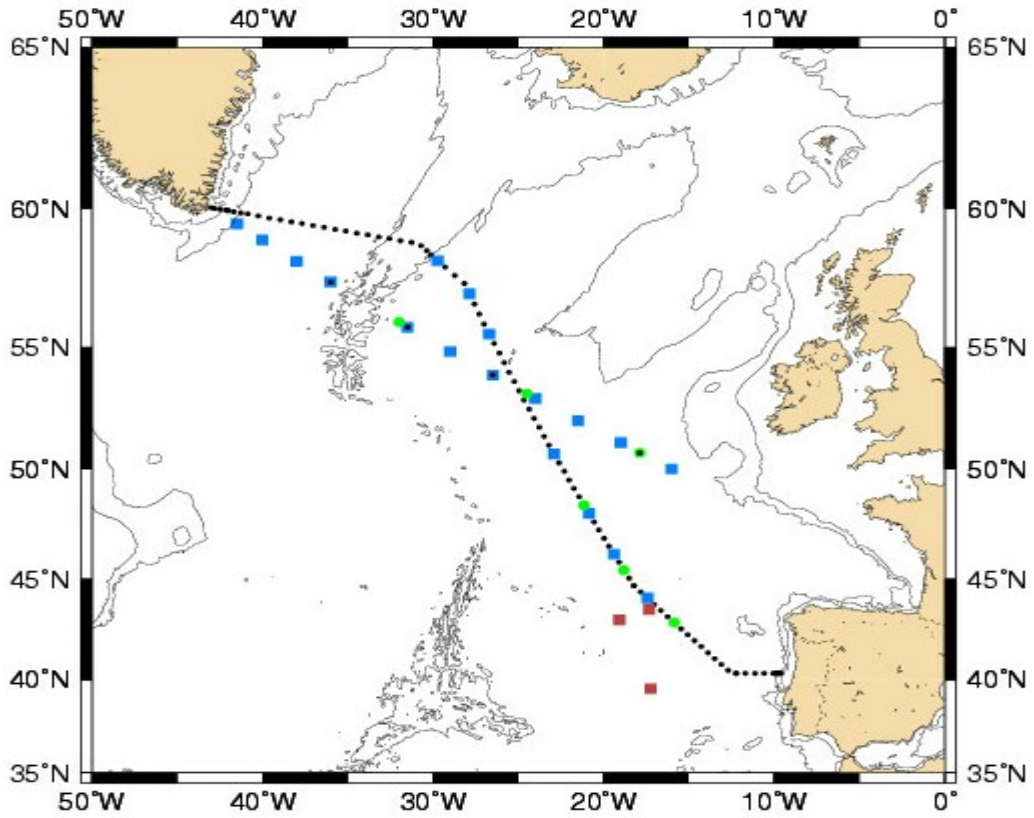
- Température
- Salinité
- Taux d'oxygène dissout
- Taux de Chloro Fluoro Carbone (différents types de CFC existent).
- Taux de silice, nitrate, phosphates (sels nutritifs)

Les différents taux caractérisent l'état des eaux et l'origine des eaux. Par exemple, la silice est caractéristique des courants originaires de l'antarctique. Ou encore, l'augmentation de certains taux de CFC caractérisent l'état de la ventilation des eaux.

Les courants océaniques importants subissent des variations à une fréquence très basse, correspondant à une période de l'ordre de quelques années. La mission OVIDE2002, effectuée entre juin et juillet 2002, doit, si la planification est suivie comme souhaitée, être suivie par 4 autres. Ce suivi permettra d'obtenir des données précises et exactes. Elles sont importantes pour la création de modèles et la prévision climatologique de l'océan et de l'atmosphère, ces derniers étant fortement couplés.

Voici pour finir cette description sommaire de la mission le parcours qu'elle a suivi.

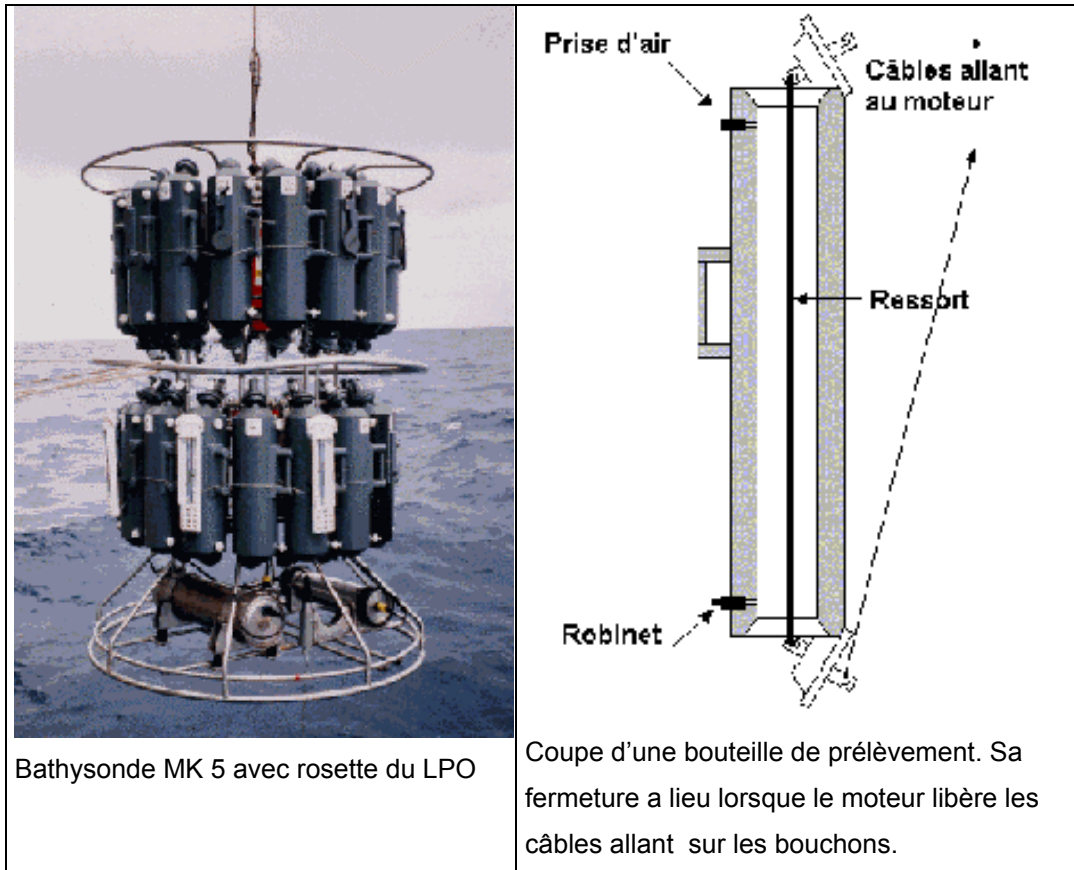
En noir : les stations hydrographiques.



Trajet OVIDE. (référence : <http://www.ifremer.fr/lpo/ovide>)

## 2.2 Relevés OVIDE

J'ai indiqué le type de relevés qui sont effectués. Le matériel utilisé pour ces relevés est une bathysonde (référence [3]).



*Description d'une bathysonde*

La sonde est le cylindre en bas à gauche. C'est une CTDO2 fabriquée par Neil Brown. Le cylindre à sa droite est un pinger. Le pinger émet une impulsion acoustique toutes les  $n$  secondes. Cette impulsion est émise dans toutes les directions. Une partie se dirige directement vers la surface, une autre vers le fond qui la réfléchit. A bord du navire la mesure du temps qui sépare l'impulsion reçue directement de celle réfléchié fourni la distance entre la sonde et le fond. Au-dessus, deux rosettes de 16 bouteilles de prélèvements sont superposées. Le tout est monté dans un châssis en tube d'inox. Les capteurs, vus précédemment, peuvent être associés à une électronique d'acquisition qui est placée dans une enceinte étanche résistant à la pression. L'ensemble ainsi constitué est appelé « bathysonde ». Cette bathysonde est équipée au moins d'un capteur de conductivité, d'un capteur de température et d'un capteur de pression. Il s'agit alors d'une sonde « CTD ». Ce sigle vient de l'anglais (**C**onductivity, **T**emperature and **D**epth sensors), c'est pourquoi cet appareil est couramment appelé CTD

Lors de son utilisation, la bathysonde est fixée à l'extrémité d'un câble électroporteur. A partir d'un navire à l'arrêt, elle est descendue jusqu'à une immersion choisie (généralement jusqu'à une dizaine de mètres du fond) en dévissant le câble du tambour d'un treuil à 1 m/s. Elle est ensuite remontée. Cette opération est désignée sous le nom de station.

Pendant la descente et la remontée les mesures sont transmises à bord via le câble. Le câble électroporteur est un câble d'acier anti-giratoire dont l'âme est un conducteur isolé. Il permet

d'alimenter en courant l'électronique de la sonde et de recevoir en retour les données. Il est également possible de transmettre des ordres à la sonde ou à des appareils qui lui sont associés. Comme il faut assurer la continuité électrique pendant que le câble se déroule ou s'enroule sur le tambour du treuil, un système de contacts tournants est fixé à une extrémité de l'arbre du tambour.

Il est important de prélever des échantillons d'eau de mer à différentes profondeurs pour les analyser afin de contrôler le bon fonctionnement des capteurs, d'affiner leur étalonnage et d'obtenir après analyse une mesure des paramètres physiques ou chimiques pour lesquels il n'existe pas de capteurs. Pour cela il faut ajouter à la bathysonde un système de bouteilles de prélèvement. Ces bouteilles sont placées verticalement les unes à côté des autres en formant un cercle autour du moteur qui commande leur fermeture. Cette disposition fait que ce système s'appelle une « rosette ». Les bouteilles sont descendues ouvertes à leur partie supérieure et inférieure. Pendant la remontée, une commande est envoyée au moteur pour les fermer à des immersions choisies (le moteur est télécommandé depuis le navire par un signal qui passe dans le câble électroporteur).

La sonde descend et remonte à une vitesse de l'ordre d'un mètre par seconde. Le navire est immobilisé longtemps quand la sonde est à la mer. Une station à 3600 mètres dure plus de deux heures.

## 2.3 Le manque de données

Cette partie présente succinctement les raisons pour lesquelles un bon échantillonnage est nécessaire pour l'étude océanographique. C'est une estimation grossière du nombre de bateaux indispensables pour une surveillance constante des océans.

Les océans sont vastes et profonds. Ils recouvrent les 2/3 de la terre et ont une profondeur de 3800 m (en moyenne).

Le rayon de la terre est de 6400 km.

La surface recouverte par les océans est de  $1,3 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$ . Donc un volume total de  $4,9 \cdot 10^{17} \text{ m}^3$  =  $4,9 \cdot 10^{11} \text{ Sv}$ . L'unité choisie pour les volumes d'eaux est le Sverdrup  $1\text{Sv} = 10^6 \text{ m}^3$ .

Tout ce qui précède est donné à titre informatif, nous allons discuter en degrés. Il y a 360 degrés de longitude et 180 de latitude. Si l'on veut 3 stations pour une variation d'un degré de longitude à latitude constante et le même échantillonnage pour la latitude. Il faut 9 stations par degré<sup>2</sup>, donc 388800 sur tout l'océan. En un mois la Thalassa a effectué environ 100 stations. Pour couvrir les océans chaque année, il faudrait 324 bateaux identiques travaillant en permanence.

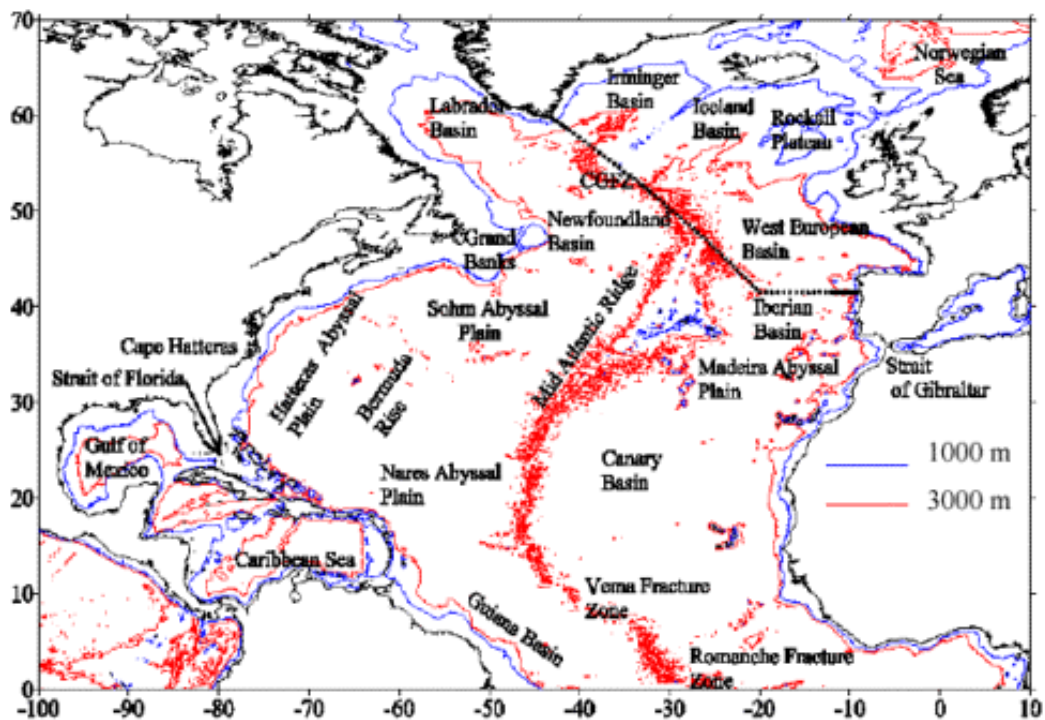
Le coût d'une telle opération serait évidemment prohibitif. Une journée à la mer d'un bateau comme la Thalassa coûte environ 15 000 Euros. Le montant du budget destiné à cette opération s'élèverait à 1,78 Milliards Euros. C'est une somme considérable.

### 3 L'environnement océanographique de la radiale

Cette partie permet de repérer les grands mouvements océaniques dans la zone que traverse la radiale Nord Atlantique. C'est la principale contribution de l'océan atlantique au climat Européen. Les représentations ainsi que les commentaires sont tirés des documents bibliographiques (1) et (12).

#### 3.1 L'océan atlantique

Il occupe représente 23 % de l'océan total. Concrètement, le nord de l'équateur jusqu'à 70°N constitue la zone de l'océan Nord Atlantique, le plus petit des 6 océans. De façon simplifiée, les eaux chaudes et salées des couches supérieures se dirigent vers les régions subpolaires et polaires où elles deviennent plus denses en se refroidissant, jusqu'à éventuellement former des eaux intermédiaires ou profondes (convection). On parle alors de ventilation. Elles se dirigent alors vers le sud, dans les couches inférieures de l'océan. (référence [1])



*Relief de l'Atlantique Nord (référence [1])*

L'océan Nord Atlantique est divisé en 2 bassins, est et ouest, séparés par le MAR qui s'étend de l'Islande à l'Equateur. La dorsale a une profondeur moyenne de 1500 à 2000 m, formant une barrière pour la circulation des eaux profondes des deux bassins. Cependant, la largeur de certaines ouvertures permet des échanges profonds entre les 2 bassins. La CGFZ située à 50°N atteint une

profondeur maximale de 3000 m, la VFZ et RFZ situées au niveau de l'équateur atteignent des profondeurs maximales de 4500 m.

Dans les 2 bassins, plusieurs sous bassins plus petits sont distingués, par exemple la mer d'Irmingier, située sur le bord Est du Groenland, la mer du Labrador, située sur son bord Ouest.

## 3.2 Masses d'eaux

Dans cette partie, un survol des masses d'eaux qui risquent d'être rencontrées sur la section OVIDE2002 est donné. (référence [1])

- Les eaux de surfaces : Elles subissent des variations saisonnières. La période d'échantillonnage d'OVIDE nous conduit à nous désintéresser de l'étude de leur évolution. Nous avons choisi de considérer des eaux plus profondes et ayant une période plus grande.
- Les eaux supérieures : Ce sont les eaux centrales, principalement des eaux formées par convection hivernale et subduction par pompage d'Ekman négatif.

SAIW : C'est une masse d'eau se trouvant dans les eaux supérieures nord ouest du bassin nord atlantique, elle n'est pas considérée comme une eau modale. Elle a une température comprise entre 4 et 7° C et une salinité voisine de 34.9 psu.

AAIW : Elle s'étend de la région subantarctique à l'hémisphère nord dans l'atlantique. Cette masse d'eau est caractérisée par une salinité minimale et un taux de silice maximum pour des densités comprises entre 27.15 et 27.3.

- Les eaux intermédiaires : Ce sont celles que nous avons étudiées. Ce sont les masses d'eaux MOW et LSW.

LSW : elle est formée par convection hivernale dans la mer du Labrador.

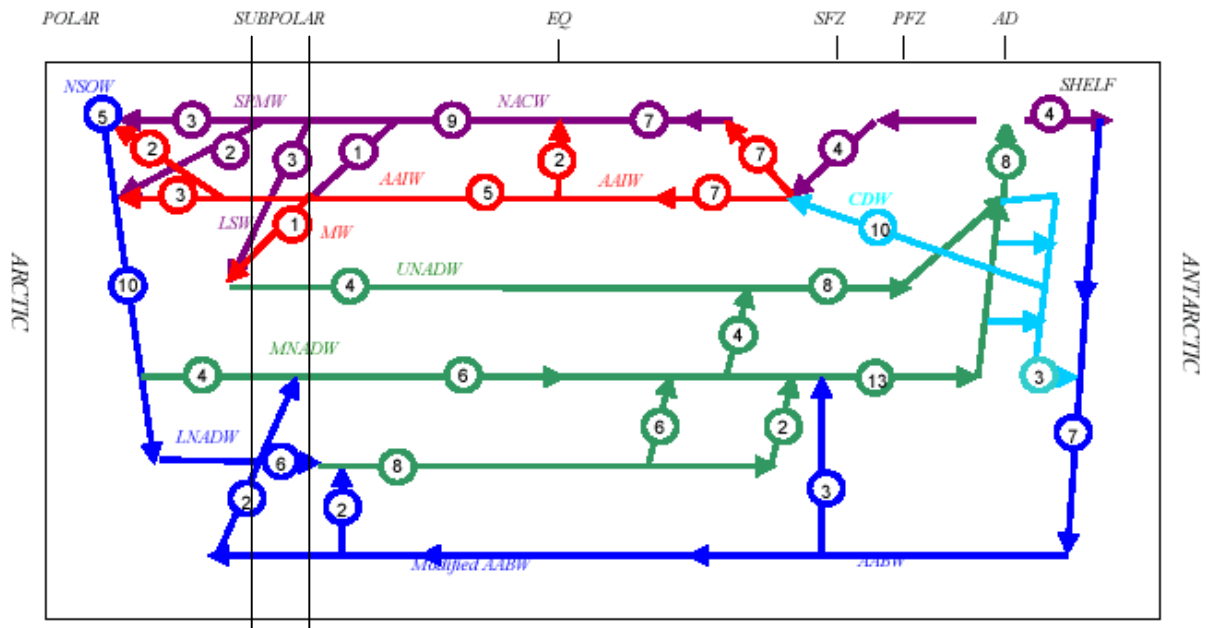
MOW : Ce sont les eaux provenant de la méditerranée par le détroit de Gibraltar mélangée aux eaux de l'Atlantique Nord, elles remontent au nord le long du bord Est de l'océan Atlantique. Elles sont chaudes (12 ° C) et très salées (36.5 psu).

- Les eaux profondes : Elles sont denses et froides.

Ce sont l'ISOW, la DSOW, l'AABW et la NEADW que nous rencontrons dans cette région.

## 3.3 Circulation dans l'océan nord atlantique

La circulation est schématisée dans la représentation ci-après. Les flèches indiquent les sens dans lesquels les masses d'eaux se dirigent. Le volume transporté est indiqué dans les cercles. Son volume est indiqué en Sverdrup,



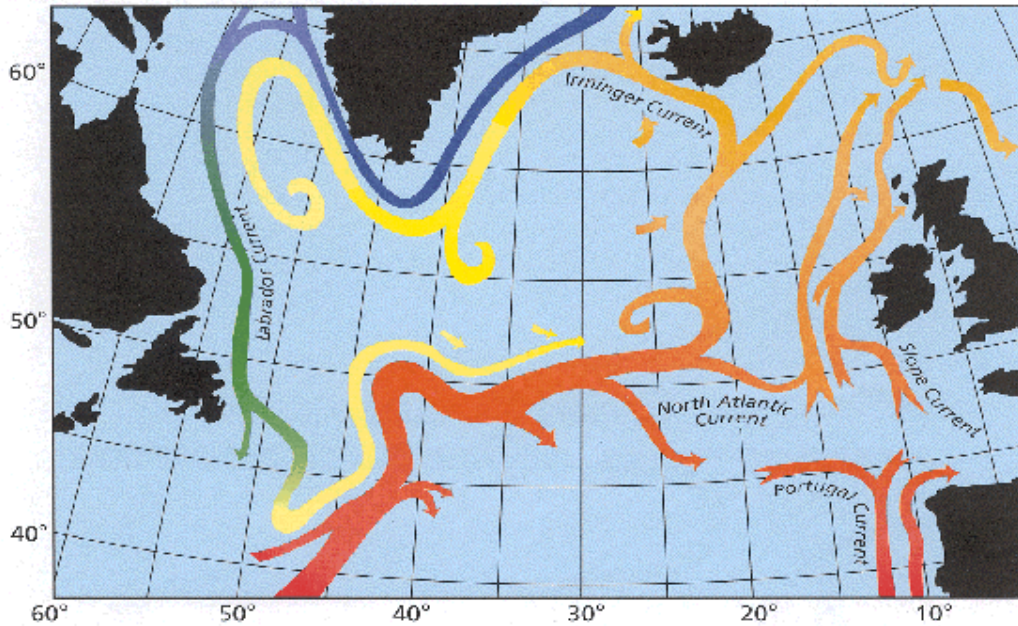
Transport des masses d'eaux dans l'atlantique (référence [12])

Cette représentation décrit les transports se produisant dans l'atlantique. La zone que nous allons étudier se situe principalement au niveau subpolaire, au dessus de 40°N. Dans cette zone se trouve la boucle de recirculation nord atlantique, c'est une zone où se produisent de nombreux échanges entre les différentes masses d'eau.

Cette boucle apparaît sur le schéma suivant. Elle concerne les eaux intermédiaires, jusqu'à 1500 – 2000 m de profondeur.

Les codes couleurs représentent la température des eaux.

L'important courant en bas à gauche représente le Gulf Stream, qui se prolonge en dérive Nord Atlantique (NAC).



*Boucle de recirculation Nord Atlantique (référence [12])*

## 4 Traitement des données OVIDE2002

### 4.1 Introduction

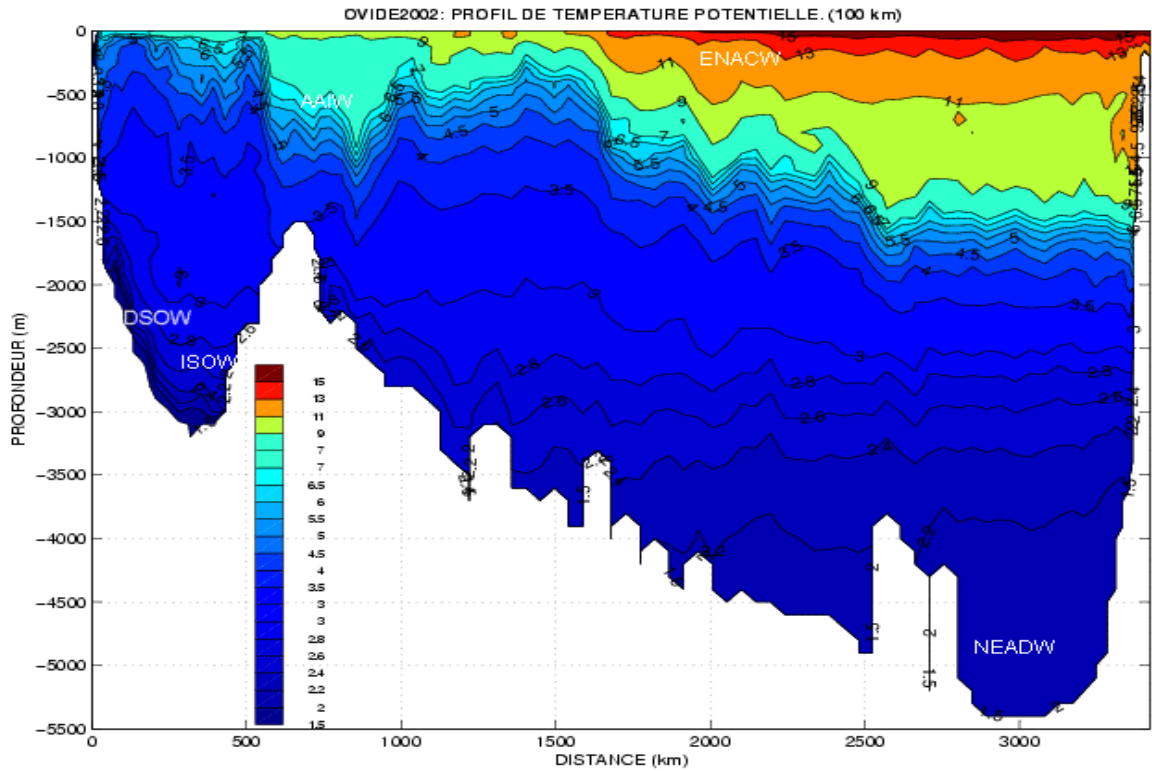
Parmi toutes les données prélevées, je n'ai utilisé que la température et la salinité. Elles sont indissociables, on utilise pour notre étude la température potentielle et non la température in-situ.

La température ( densité) potentielle est la température (densité) mesurée à une pression donnée ramenée à une pression de référence de manière adiabatique réversible.

### 4.2 Profils OVIDE en fonction de la profondeur

A partir des fichiers contenant les données prélevées lors de la campagne, j'ai développé les scripts permettant de visualiser les profils de température et salinité. Ces données de température et de salinité ont permis de calculer la densité potentielle. L'abscisse représente la distance parcourue par le navire depuis la station origine, la plus proche du Groenland. L'ordonnée représente la profondeur du relevé, en général on utilise la pression (en db) représentation équivalente.

Les premiers profils tracés étaient erronés. Une station n'était pas validée et une autre était redondante. D'autre part, le bateau avait un peu d'avance, le bateau est revenu sur ses pas après le Portugal pour doubler certaines mesures.

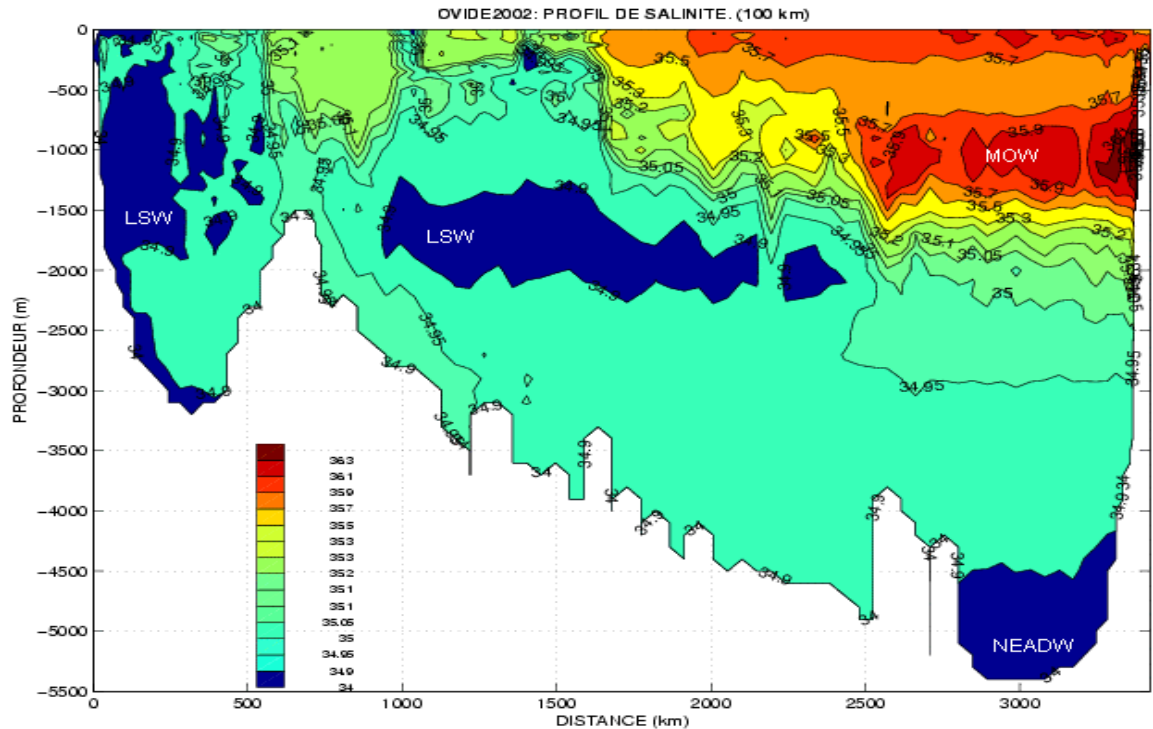


*Profil de température*

Plusieurs choses apparaissent sur ce profil. Les températures varient verticalement de façon monotone. Les eaux de surface se réchauffent lorsque l'on se rapproche du Portugal. Le bateau se déplace du Nord Ouest vers le Sud Est. On se rapproche de l'équateur mais l'influence diminue lorsque l'on plonge plus profond.

La mer d'Irminger est située entre le MAR et le Groenland. Sur son bord Ouest se déplace un courant d'eau froide DSO. Sur le côté Est, on a une eau riche en silice provenant donc de l'antarctique et se dirigeant vers le nord (Selon les prélèvements chimiques).

Sur le bord ouest, le bateau n'a pu parvenir jusqu'à la côte du Groenland bloquée par les glaces. On peut apercevoir, à l'Ouest et en surface, un trou blanc dans le profil. Il est dû à des températures inférieures à 0 dues à la fonte des glaces du Groenland.



*Profil de salinité*

La salinité est une signature bien plus visible pour les eaux intermédiaires qui nous intéressent.

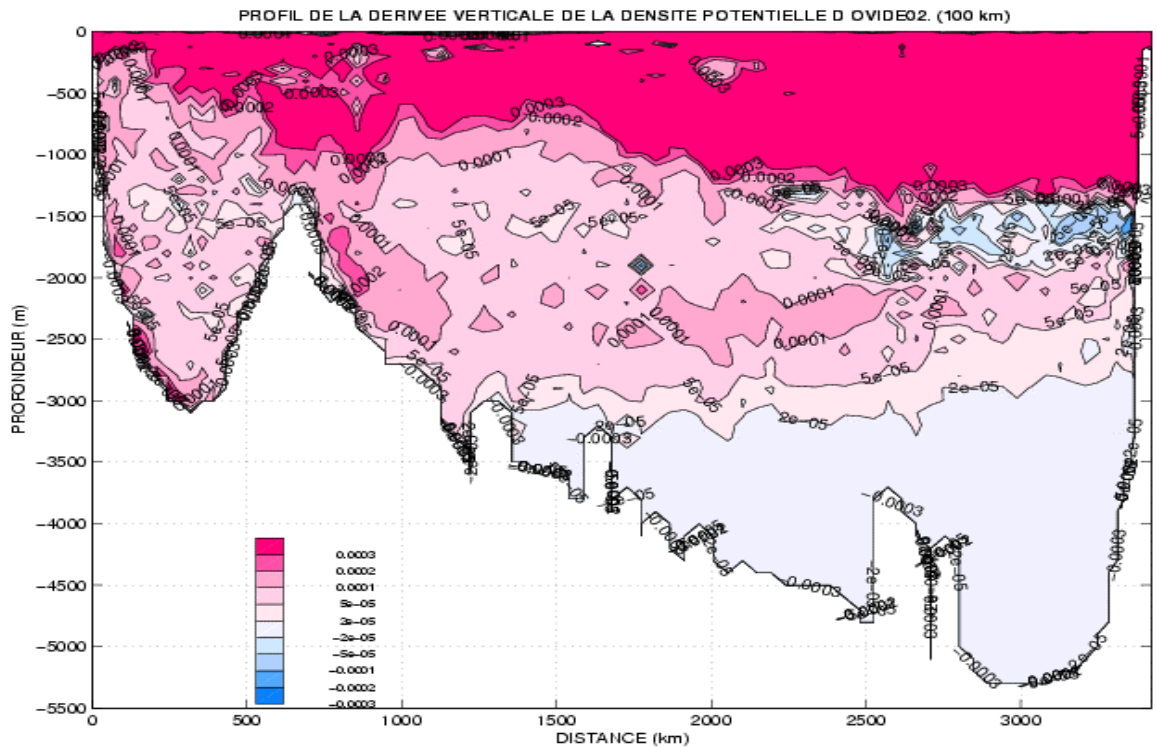
Une salinité faible et une eau froide est caractéristique des eaux modales telles les LSW. En ce qui la concerne, une température potentielle de 3°C et une salinité de 34.9 psu nous permettent de la repérer. On en voit donc deux nappes, une en mer d'Irminger et l'autre de l'autre côté du MAR. La seconde couche étend d'ailleurs son influence jusqu'au Portugal, comme le révèlent les maxima de  $\text{CCl}_4$ .

L'eau méditerranée se trouve à une profondeur de 1000 m le long de la côte du Portugal : elle a une salinité et une température élevée.

Au fond du bassin Ouest se trouve l'eau Nord Atlantique de fond, NEADW, très peu salée et froide.

Au niveau du MAR, on trouve une discontinuité entre les deux bassins. Peu d'échanges se produisent même à des profondeurs peu importantes.

Le profil de densité ne nous apporte rien de plus, je ne le joindrai pas à ce document. Par contre, la dérivée verticale de densité est intéressante. Elle permet de situer le cœur de l'eau du Labrador, c.a.d. l'endroit où elle est la plus pure, la moins stratifiée.



*Profil de variation de densité potentielle*

Le cœur n'est pas bien apparent. C'est le cas lors des années de faible convection.

Pour représenter les différentes dérivées verticales, avec des niveaux de profondeur inégalement répartis, je suis parti du développement limité du second ordre :

$$F(x_{i+1}) = F(x_i) + (x_{i+1} - x_i) F'(x_i) + (x_{i+1} - x_i)^2 / 2 * F''(x_i),$$

$$F(x_{i-1}) = F(x_i) + (x_{i-1} - x_i) F'(x_i) + (x_{i-1} - x_i)^2 / 2 * F''(x_i).$$

Puis pour calculer  $F'$ , je me suis débarrassé du terme du second ordre.

$$F'(x_i) = [ (F(x_{i+1}) - F(x_i)) (x_{i-1} - x_i)^2 - (F(x_{i-1}) - F(x_i)) (x_{i+1} - x_i)^2 ] / [(x_{i+1} - x_i) (x_{i-1} - x_i) (x_{i-1} - x_{i+1})]$$

## 5 Les outils

### 5.1 Outils

Pour analyser les données OVIDE2002 et les autres, j'ai travaillé sous matlab. C'est un outil commun au LPO. Il permet d'obtenir rapidement les représentations graphiques. Malheureusement, les représentations manquent de l'esthétique que certains logiciels permettent d'obtenir.

Afin de partager notre travail, j'ai réalisé un site internet. L'ambition de cette partie du travail est de pouvoir mettre à la disposition de tous et instantanément nos résultats. Ce partage doit

favoriser les échanges d'idées. Je l'ai développé en PHP interfacé avec une base de données MySQL.

J'ai utilisé une base de données, référençant les prélèvements effectués par des campagnes précédentes, établie par T. REYNAUD. A partir de cette base, j'ai construit une climatologie de la radiale OVIDE afin de faire apparaître les anomalies de l'état actuel des eaux de la zone.

## 5.2 Climatologie

Afin d'avoir une référence, nous avons créé notre climatologie. Elle a été mise au point à partir d'une base de prélèvements existante et déjà filtrés.

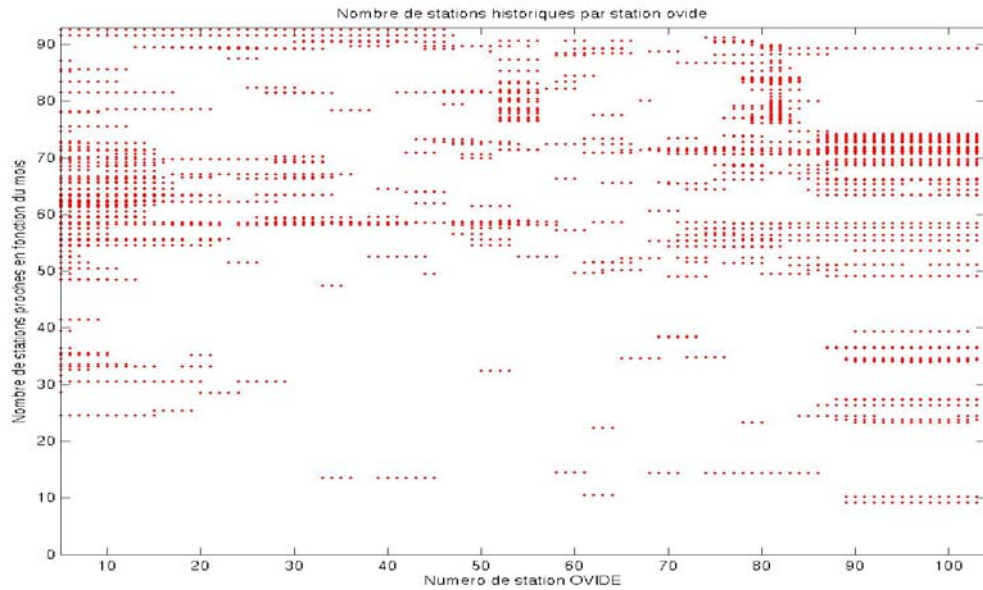
Il y a plusieurs raisons pour lesquelles nous avons décidé de créer notre propre climatologie :

- Possibilité de faire varier les paramètres.
- Travail à partir du profil OVIDE exact.
- Maîtrise et connaissance des prélèvements ayant servi à sa création.

La méthodologie choisie pour la réalisation de la climatologie, nommée historique moyenne, est la suivante :

- Choix d'une période de prélèvement, en l'occurrence 1900 jusqu'en 1992. Actuellement, les données contenues dans la base sont limitées à 1992. Cette limite est gênante, les données plus récentes sont importantes pour conclure sur l'évolution.
- Choix des mois de l'année. Nous avons consacré notre étude, principalement, aux eaux originaires de la mer du Labrador qui sont à des profondeurs moyennes entre 700 et 2500 m de profondeur. Cette profondeur ne subit pas l'influence saisonnière, nous avons choisi de considérer tous les mois de chaque année.
- Choix d'une distance maximale à la station OVIDE. Chaque prélèvement, de la base, à une distance inférieure de la station OVIDE est pris en compte. En l'occurrence, nous avons choisi une distance de 100 km.

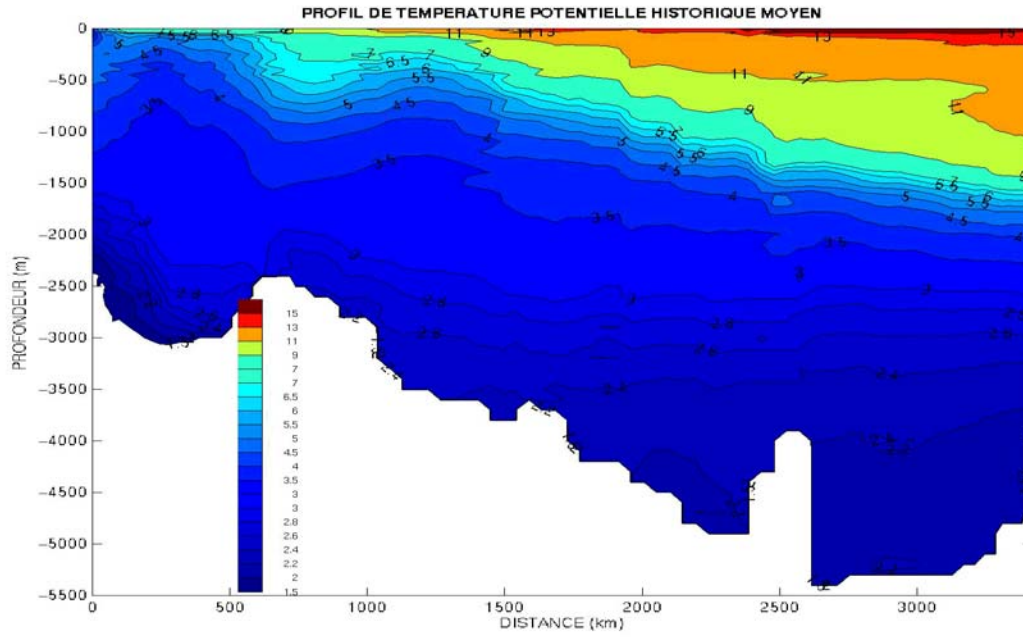
Pour chaque station OVIDE, on choisit les prélèvements historiques répondant aux critères de temps et de période. Ils sont représentés sur la figure suivante :



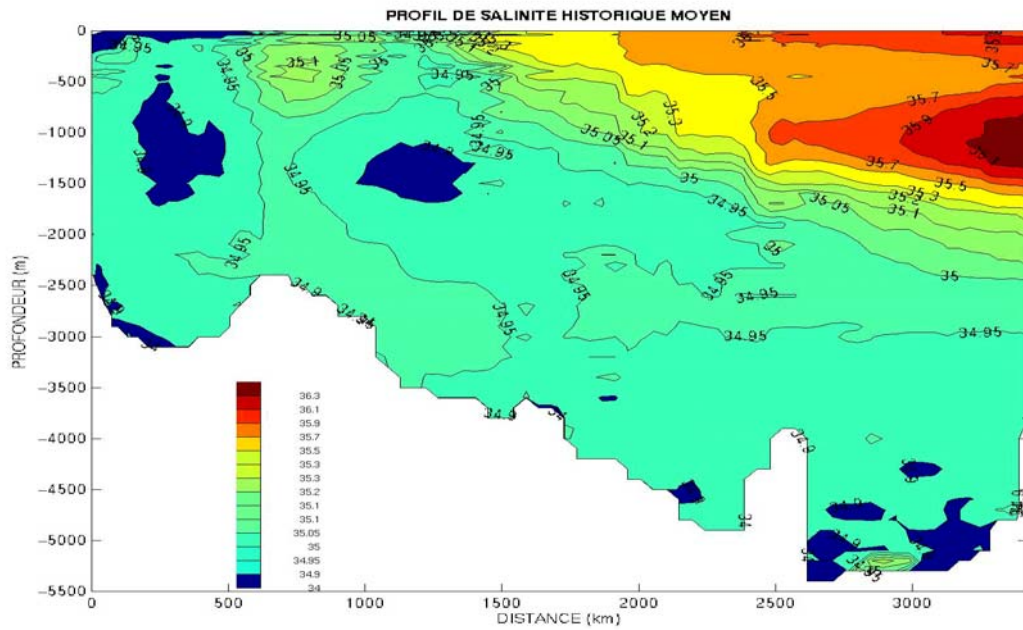
*Station historique pour chaque station ovide par année. L'année est en ordonnée et la station correspondante en abscisse.*

La température fournie par la base est la température in-situ. On calcule la température potentielle correspondante grâce à la salinité. On fait alors la moyenne et l'écart type de ces données pour obtenir la climatologie.

La climatologie obtenue n'est pas complète, il reste des trous pour certaines colonnes d'eaux. Certaines d'entre elles sont parfois très importantes, plusieurs milliers de mètres. Sur de telles profondeurs, une interpolation n'est pas légitime, j'ai créé une seconde climatologie à une distance de 200 km qui elle est complète. Cette seconde climatologie permet de remplir les trous.

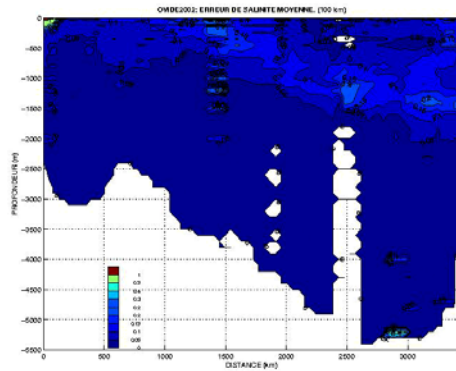


*Température potentielle,*

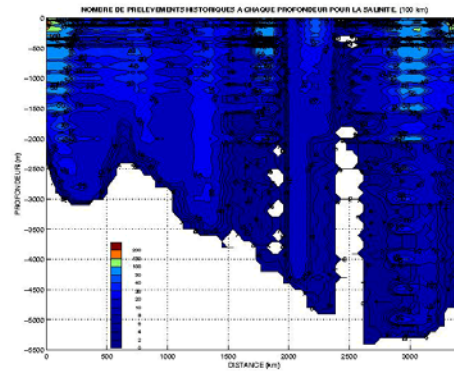


*salinité*

Ces profils représentés, j'ai représenté l'écart type sur ces données et le nombre de données historiques ayant servi à la moyenne sans lequel l'écart type ne signifie rien. On voit apparaître sur ces profils les colonnes pour lesquelles aucune donnée n'est disponible à moins de 100 km. Les couleurs sombres représentent un écart type faible et un nombre de prélèvements restreint.



Ecart type

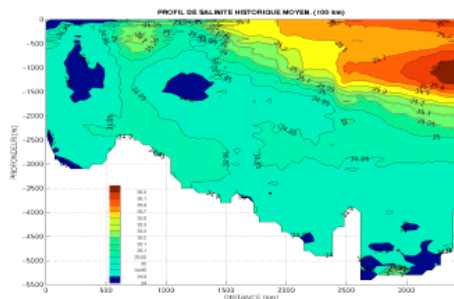


Nombre de données.

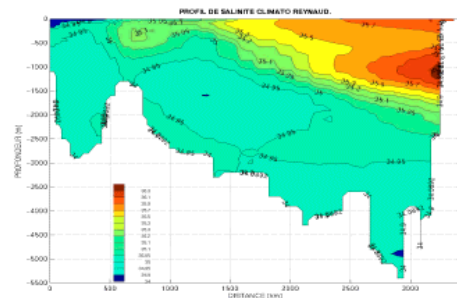
Cette représentation est nécessaire pour venir appuyer la précédente. L'écart type n'a aucun sens s'il n'est calculé que pour une valeur évidemment. Sur ces représentations, on voit apparaître le manque de données sur certaines stations. Heureusement, ce manque est compensé par l'extension à 200 km. La rareté des données se fait surtout sentir aux grandes profondeurs où les propriétés de l'eau changent très lentement.

Pour valider cette climatologie, je l'ai comparée à celle que j'ai établi à 200 km, à celle de S. Levitus (ou encore WOA2001), et celle de T. Reynaud de l'Ifremer, créée à partir de la même base de données. Ces deux climatologies sont représentées à chaque degré, j'ai interpolé les 4 points les plus proches pour obtenir les comparaisons.

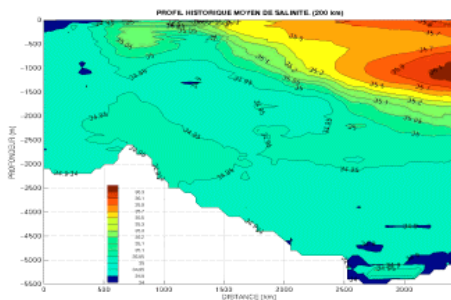
Moyenne historique (100 km)



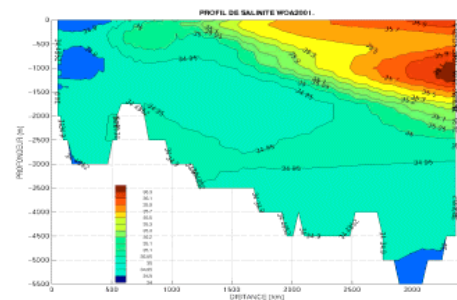
Reynaud



Moyenne historique (200 km)



WOA2001



Représentation des climatologies de référence pour la salinité.

A l'aide de cette climatologie, j'ai pu explorer différentes pistes dont les résultats ne seront pas représentés ici. Mais voici un exemple de script utilisant cette climatologie.

Ce script exploite les données OVIDE et calcule les données historiques moyennes correspondantes de température potentielle et de salinité. Pour chaque station OVIDE, le script recherche les stations historiques correspondantes. Les valeurs de la température in-situ et de la salinité sont moyennées. Avec ces moyennes, on a accès à la densité  $\sigma$  à la température potentielle.

Les figures auxquelles on a accès sont les suivantes:

\_la salinité en fonction de la température potentielle, pour OVIDE et les moyennes historiques.

\_le profil de température potentielle OVIDE, en fonction de la profondeur

\_le profil de température potentielle historique moyenne, en fonction de la profondeur.

\_le profil de la différence entre les deux relevés de température, OVIDE et historiques, en fonction de la profondeur.

\_Un zoom du profil de la différence entre les deux relevés.

\_le profil de salinité OVIDE, en fonction de la profondeur

\_le profil de salinité historique moyenne, en fonction de la profondeur.

\_le profil de la différence entre les deux relevés de salinité, OVIDE et historiques, en fonction de la profondeur.

\_Un zoom du profil de la différence entre les deux relevés.

\_le profil de densité potentielle OVIDE, en fonction de la profondeur

\_le profil de densité potentielle historique moyenne, en fonction de la profondeur.

\_le profil de la différence entre les deux relevés de densité, OVIDE et historiques, en fonction de la profondeur.

\_Un zoom du profil de la différence entre les deux relevés.

\_le profil de la dérivée verticale de la densité potentielle d'OVIDE.

\_le profil de la dérivée verticale de la densité potentielle historique moyenne.

\_le profil de l'erreur de température moyenne.

\_le profil de l'erreur de salinité moyenne.

\_le nombre de prélèvements historiques à chaque profondeur pour la salinité.

\_le nombre de prélèvements historiques à chaque profondeur pour la température potentielle.

\_le profil historique moyen de température potentielle à une distance de 200 km.

\_le profil historique moyen de salinité à une distance de 200 km.

\_A titre de référence, les différentes profondeurs OVIDE et historiques moyennes, en fonction de la position sur le profil Ovide.

Puis, ce sont les profils intégrés sur toute la longueur du bassin:

\_le profil intégré de la température potentielle Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la salinité Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la densité Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la température potentielle, a volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la salinité, a volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la densité, a volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la température potentielle uniquement sur la mer d'Irminger, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la salinité uniquement sur la mer d'Irminger, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la densité, a volume commun uniquement sur la mer d'Irminger, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la température potentielle de 700 a 2300 km de la station origine, a volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la salinité de 700 a 2300 km de la station origine, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la densité de 700 a 2300 km de la station origine, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la température potentielle de 2300 km au Portugal, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la salinité de 2300 km au Portugal, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

\_le profil intégré de la densité de 2300 km au Portugal, à volume commun, Ovide, historique moyenne et de la différence des deux.

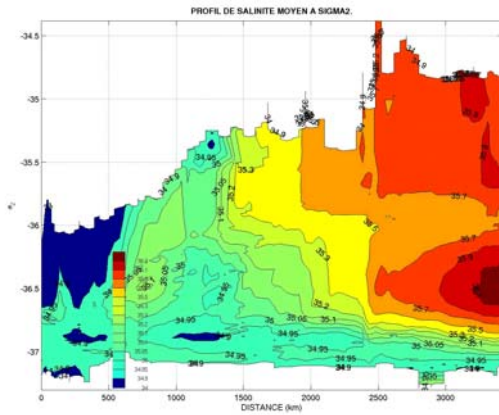
\_La position des stations par rapport à la station origine.

\_Le profil de l'année moyenne de la climato représenté sur la section OVIDE.

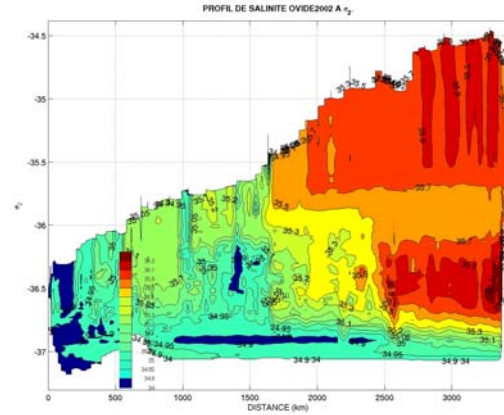
### **5.3 Masses d'eaux en densité**

Les masses d'eaux sont souvent caractérisées par des densités particulières, par exemple les eaux modales dont la densité varie très peu. En procédant comme lors de la construction de la climatologie décrite dans le chapitre précédent, j'ai tracé les profils en fonction de la densité potentielle.

Cette densité potentielle est différente suivant la pression de référence choisie. Pour avoir différentes représentations, j'ai pris comme références 0, 2000 et 4000 m puis comme les eaux considérées sont les eaux entre 1000 et 2500 m, je n'ai travaillé par la suite qu'à partir de la référence à 2000m,  $\sigma_2$ .



*Salinité moyenne historique*



*Salinité Ovide*

Les eaux méditerranéennes ont une densité étalée au contraire des eaux du labrador qui ont une densité potentielle centrée autour de 36.9. Cette mesure nous servira comme nous le verrons par la suite.

## 5.4 Site internet

Il permet la mise en ligne de nos résultats, afin qu'ils puissent être visualisés et discutés par d'autres chercheurs.

Il comporte trois parties :

- La première permet de consulter les figures et les commentaires mis en ligne par les administrateurs.
- La seconde permet de consulter la bibliographie servant de référence pour l'étude.
- La troisième est une partie disponible pour l'administrateur, après s'être identifié, il peut modifier les données de la base.

Le site est interfacé avec une base MySQL par des fonctions PHP. La base contient 2 tables, une pour les champs des bibliographies saisies, une autre pour les chemins des figures et les commentaires attenants des résultats.

Sur chacune des deux premières parties, une fonctionnalité de recherche par mot clef existe.

Le site se trouve pour le moment à l'URL suivante : <http://www.univ-brest.fr/lpo/thuck/ovide>

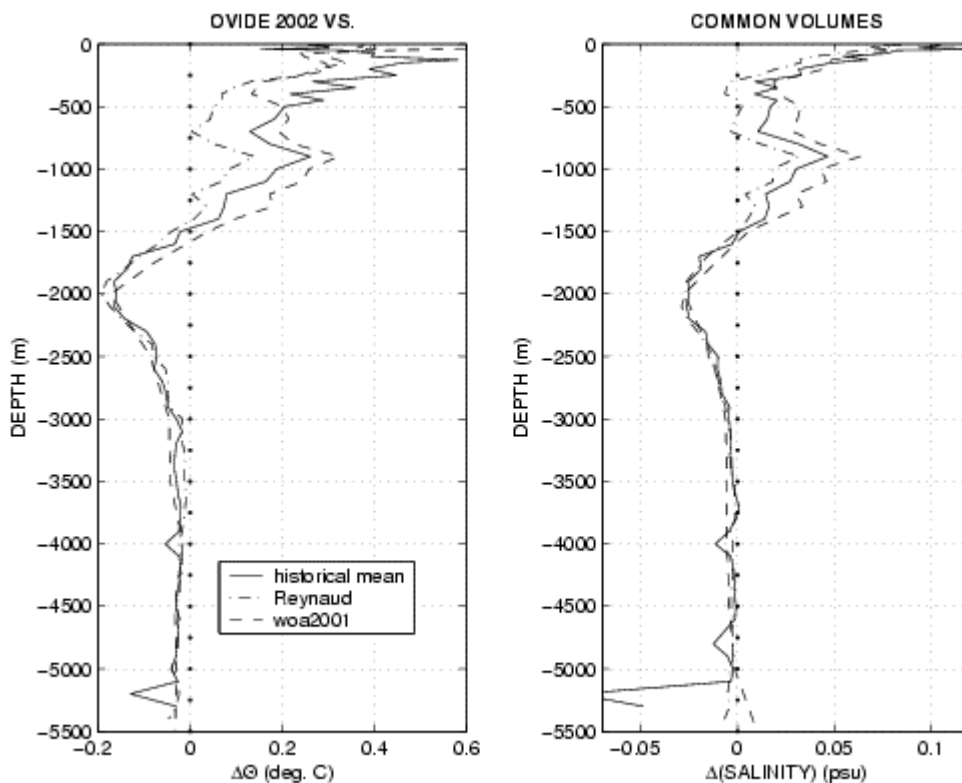
## 6 Résultats OVIDE2002

### 6.1 Résultats préliminaires

Dans un premier temps, étant donné le manque de données récentes dont nous disposons, notre climatologie est centrée autour des années 60-70.

On observe de nombreuses et importantes anomalies en fonction de la profondeur, refroidissement des eaux du Labrador, et un réchauffement des eaux de surface. Cette variation des anomalies de température est en phase avec celle de la salinité. (Références [7] et [9])

Pour vérifier l'exactitude de ces conclusions, ces résultats ont été comparés à ceux que nous aurions obtenus avec les autres climatologies (Reynaud et WOA2001).



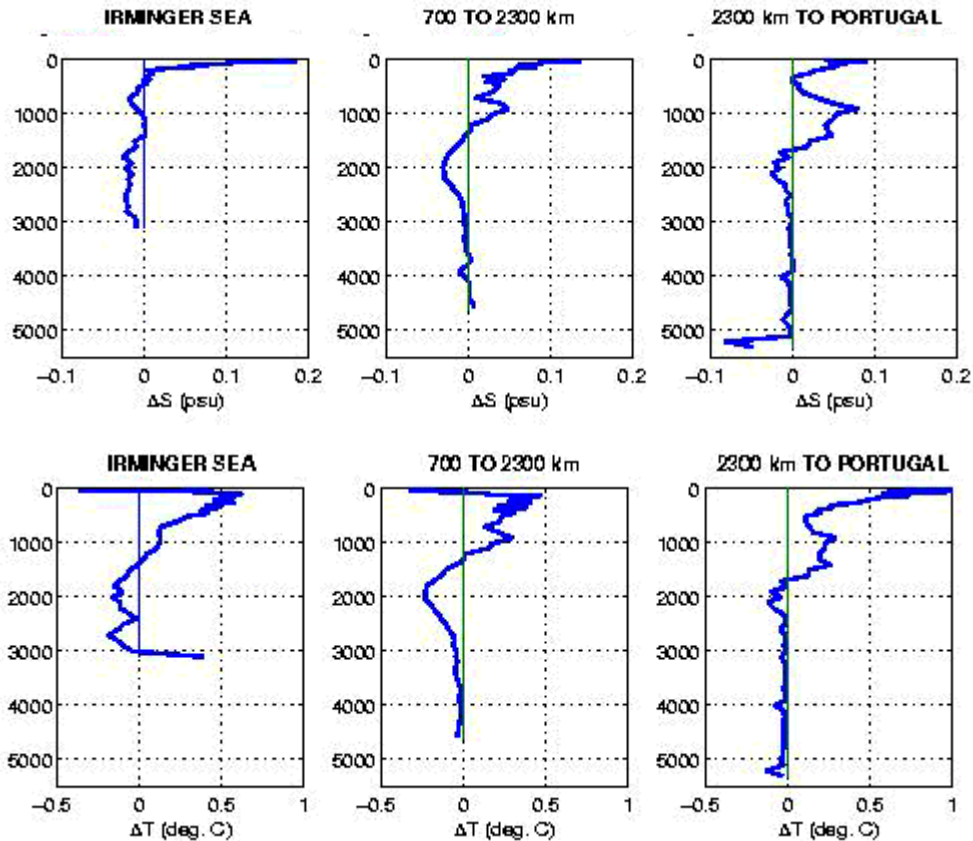
Ce graphique est obtenu en moyennant horizontalement sur tout le profil les températures et salinités Ovide et climatologiques puis en faisant la différence Ovide – climato à chaque profondeur.

En comparant OVIDE aux 3 climatologies, on trouve une profondeur critique à 1500 m pour notre radiale OVIDE. Entre la surface et 1500 m, les eaux se réchauffent et sont plus salées avec un pic à 900m de  $0,25^{\circ}\text{C}$  et 0.05 psu. Si l'on s'enfonce au delà de 1500 m, les eaux refroidissent avec un maximum de  $-0,2^{\circ}\text{C}$  et  $-0,025$  psu pour 2000 m de profondeur. Nous avons cherché à connaître le rôle de chaque bassin dans cette évolution

Pour cette raison, voici les graphes sur les trois zones suivantes :

- Mer d'Irminger, du Groenland à 700 km.
- Du MAR à 2300 km parcouru de puis le Groenland.
- De 2300 km parcouru depuis le Groenland au Portugal.

Ces trois zones vont permettre de faire apparaître les zones d'influences respectives de la mer du Labrador dans les bassins Ouest et Est ainsi que celle de la méditerranée.



Dans la zone de la mer d'Irminger, la salinité a diminué au delà de 500 m.

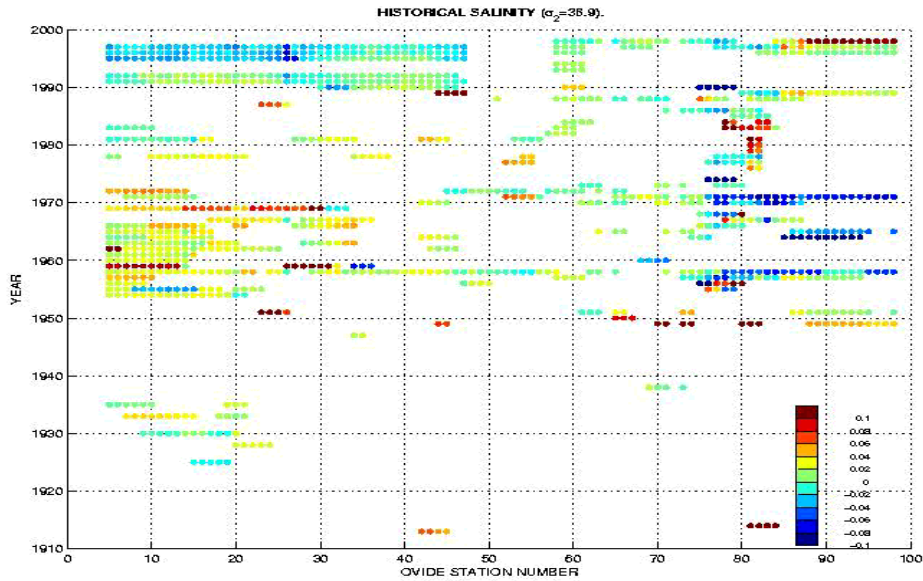
On voit l'influence importante de la mer du Labrador du bassin Est, en phase à 2000 m, sur la température et salinité du pourtour.

La troisième zone montre l'importance de l'eau méditerranéenne, entre 700 et 1500 m, qui se réchauffe et a une salinité en augmentation.

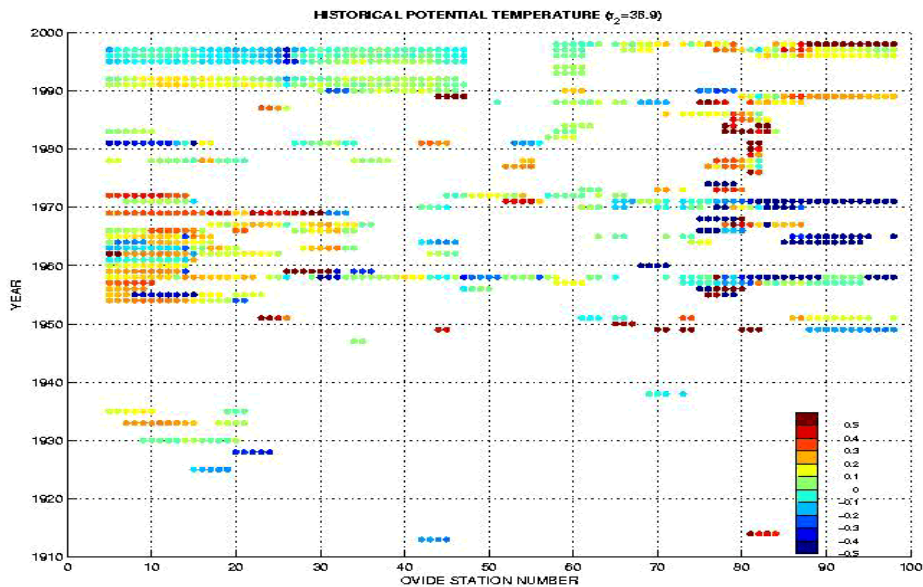
## 6.2 Suivi de la salinité des eaux du Ladrador de la mer d'Irminger

Sur ces représentations, la mer d'Irminger est la mieux renseignée. Elle a été parcourue fréquemment, surtout ces dernières années.

On peut suivre l'eau du Labrador, en relevant chaque température ou salinité, pour une densité de 36,9 référencée à 2000 m. Cette fois en ordonnée sont représentées les années et en abscisses les stations. La station 30 correspond au sommet du MAR.



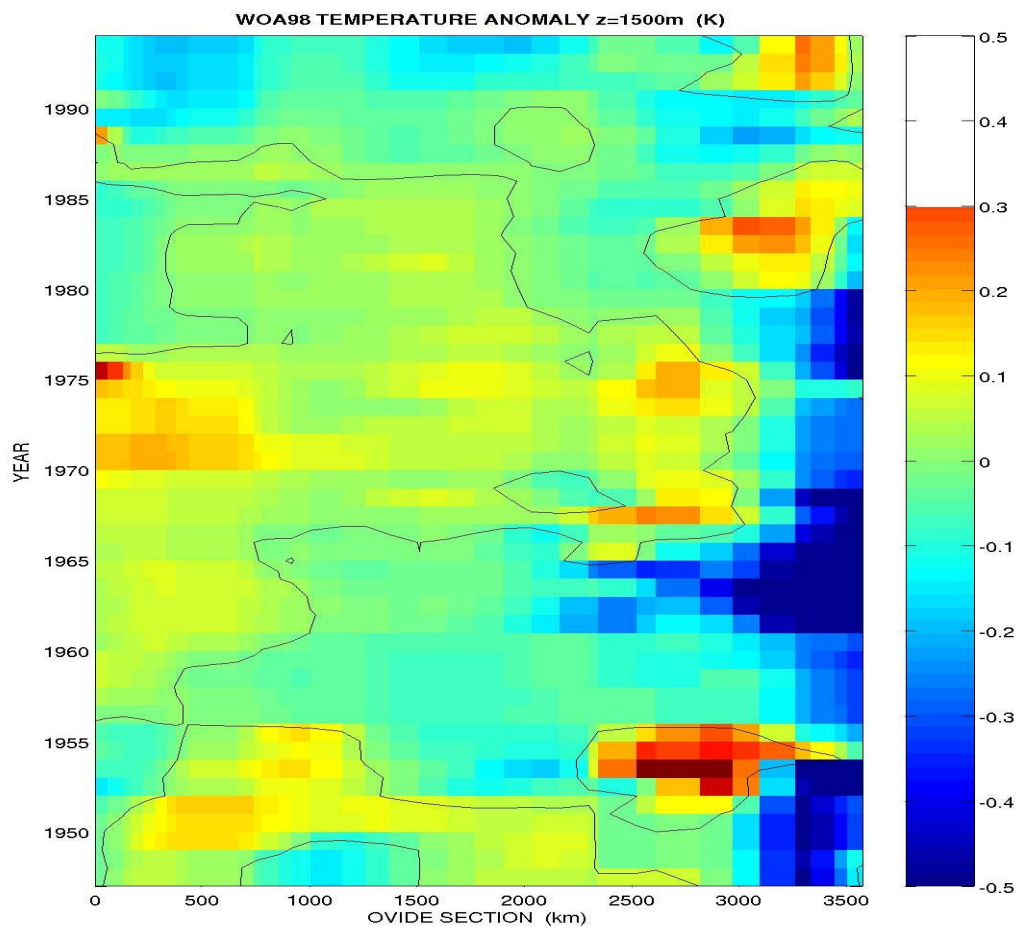
### *Anomalies de salinité*



### *Anomalies de température*

Nous avons alors pu facilement suivre l'évolution de la température et de la salinité des eaux du Labrador. Elles semblent se refroidir et leur salinité diminuer depuis 1950 (référence [11]). Les années 90 sont des années de forte convection et plus d'eau du Labrador est formée ; j'ai voulu comparer cette forte convection avec la situation d'Ovide dans la partie suivante.

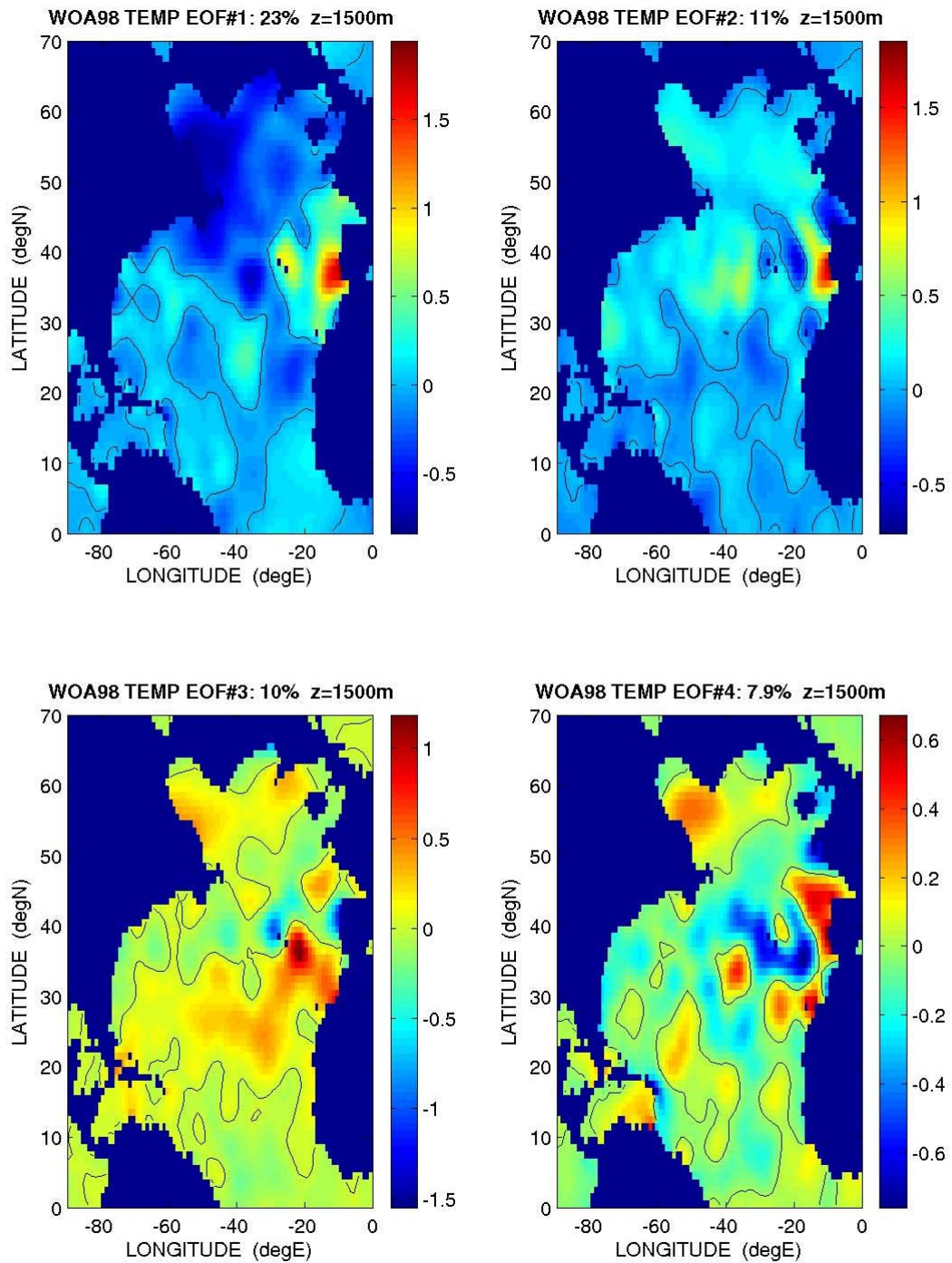
D'autre part, on a pu à l'aide des anomalies WOA98, établir pour 1500 m la tendance des anomalies de température. Cette tendance basée sur la climatologie WOA98 confirme celle obtenue pour la densité des eaux du Labrador.



*Anomalies de température sur la radiale OVIDE au cours des 50 dernières années.*

On observe un refroidissement des eaux du Groenland depuis les 40 dernières années. Par contre, profitant des données plus complètes, on observe un réchauffement entre 3000 km et le Portugal, confirmant le réchauffement des eaux méditerranéennes.

Pour avoir une vision horizontale du déplacement des masses d'eaux intermédiaire, une analyse en composante principale a permis de déterminer les modes de variation les plus représentatifs.



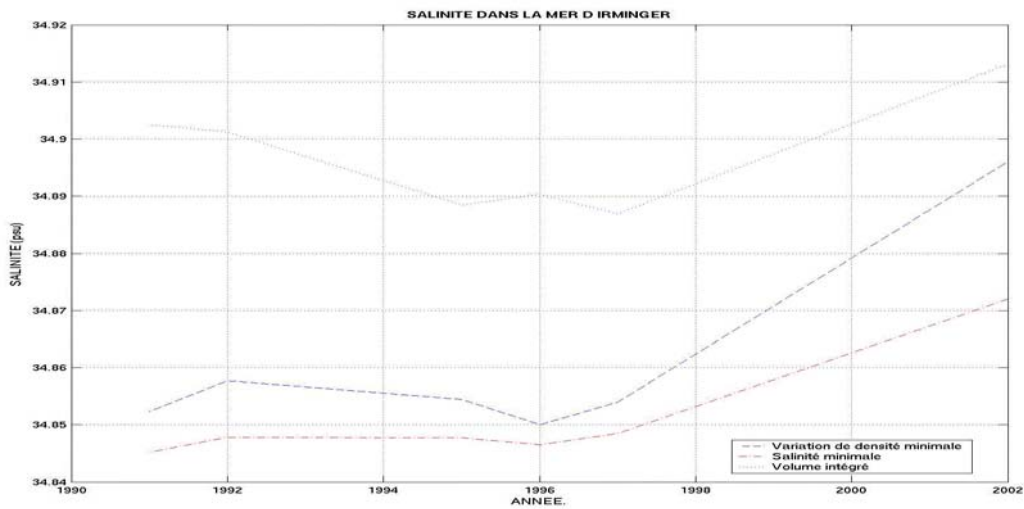
*Analyse en composante principale des masses d'eaux de l'atlantique Nord à 1500 m*

Sur le premier mode, représentant 26% de la variance, on aperçoit l'influence des eaux du Labrador et de celles de la Méditerranée.

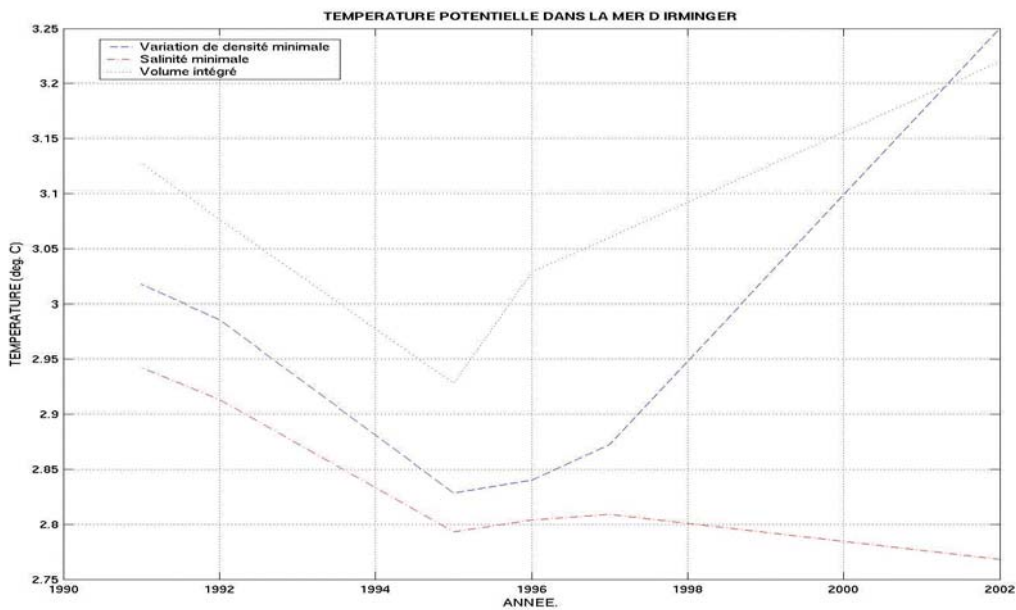
### 6.3 Evolution de la convection vue de la mer d'Irminger

Au début des années 1990, une forte convection eu lieu en mer du Labrador. Les profils reconstruits à partir des années sur la partie de la section Ovide le montrent. Nous avons un volume d'eau du labrador important en mer d'Irminger. Les eaux sont également plus pures et ces années le cœur de ces eaux modales (minimum de variation verticale de densité) est bien visible.

Par contre, pour les eaux traversées par la mission Ovide, il est difficile de mettre en évidence le cœur de cette façon, j'ai donc utilisé d'autres indicateurs, le minimum de salinité et la température moyenne de l'eau du Labrador.



*Salinité de la mer du Labrador par différentes méthodes*



*Température de la mer du Labrador par différentes méthodes.*

La température décroît jusqu'en 1995, quelque soit l'indicateur, puis remonte. Tandis que la salinité reste relativement constante. La température semble un bon indicateur du taux de convection.

## **7 Conclusion**

Au cours de son périple, la mission OVIDE a permis de mettre en évidence les tendances les propriétés des masses d'eaux intermédiaires. On a pu confirmer le réchauffement de l'eau Atlantique de surface et de l'eau méditerranéenne, ainsi que le refroidissement de l'eau du Labrador, déjà documentés dans la bibliographie. Les autres masses d'eaux, de surfaces et profondes, n'ont pas été étudiées pour le moment.

Les outils développés, pour cette étude, permettront de gagner du temps au cours des campagnes OVIDE à venir.

## BIBLIOGRAPHIE :

- [1] : Thèse de doctorat de Marta ALVAREZ RODRIGUEZ, Vigo 2002. « Water masses and transports of physical and chemical properties in the subpolar north atlantic gyre ».
- [2] : Dossier de demande de campagne à la mer : OVIDE 2. Chef de projet : Herlé MERCIER – LPO. Chef de mission : Thierry HUCK – LPO. 13 Janvier 2003.
- [3] : Cours ISEB 2002/2003 : « instrumentation en océanographie » par J.P. GIRARDOT.
- [4] : Cours ISEB 2002/2003 : « Océanographie » par Thierry HUCK.
- [5] : International WOCE Newsletter – December 1999
- [6] : ACCP Notes. The newsletter of the Atlantic Climate Change Program. May 1997.
- [7] : Surprisingly rapid spreading of newly formed intermediate waters across the north Atlantic Ocean. A. SY, M. RHEIN, J.R.N LAZIER, K.P. KOLTERMANN, J. MEINCKE, A. PUTZKA & M. BERSCH. NATURE April 1997.
- [8] : Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. M.J. RODWELL, D.P. ROWELL & C.K. FOLLAND. NATURE march 1999
- [9] : Rising temperatures in the subtropical North Atlantic Ocean over the past 35 years. G. PARRILLA, A. LAVIN, H. BRYDEN, M. GARCIA & R. MILLARD. NATURE may 1994.
- [10] : Warming of the World Ocean. S. LEVITUS, J.I. ANTONOV, T.P. BOYER, C. STEPHENS. SCIENCE march 2000.
- [11] : Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades. B. DICKSON, I. YASHAYAEV, J. MEINCKE, B. TURRELL, S. DYE & J. HOLFORT. NATURE april 2002.
- [12] : On the World Ocean Circulation : Volume I. W.J SCHMITZ, 1996, Woods Hole Oceanographic Institution. ic dat
- [13] : A new analysis of hydrographic data in the Atlantic and its application to an inverse modelling study. T. REYNAUD, P. LEGRAND, H. MERCIER & B. BARNIER, 1998. International WOCE Newsletter.
- [14] : The East Greenland Current. J. GYORY, A. J. MARIANO, E.H. RYAN.