

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DES ETUDES UNIVERSITAIRES APPLIQUEES

SUJET :

**La sonde CTD : Description, Configuration,
Customisation, Utilisation, Resultats.**

Réalisé par :

REKHOU Samir et TIGUERCHA Djillali

Dirigé par :

Mr BOUKORTT R.

PROMOTION 2007/2008

Sommaire	I
Liste des figures et des tableaux.....	III
Liste des abréviations.....	V
Introduction	1
Chapitre 1 : Généralités	
1. Historique.....	4
2. Les paramètres mesurés.....	7
2.1. La température.....	7
2.2. La pression.....	7
2.3. La conductivité.....	8
3. Les mesures.....	9
3.1. Caractéristiques des capteurs.....	10
3.2. Les erreurs d'analyse et la précision.....	10
3.3. La réponse des capteurs.....	12
3.4. La mesure des différents paramètres.....	13
3.5. La calibration des capteurs.....	20
4. Les paramètres calculés.....	20
4.1. La salinité.....	20
4.2. La masse volumique.....	22
4.3. La température potentielle.....	24
Chapitre 2 : La sonde, description et mode de fonctionnement	
1. Description.....	27
1.1. La sonde IDRONAUT Ocean Seven 316.....	27
1.2. Les interfaces de la sonde.....	29
1.3. Les modes de fonctionnement.....	29
2. Installation et démarrage.....	29
2.1. Installation de la batterie.....	29
2.2. Installation de la D.U « Deck Unit ».....	30
3. Le menu principal.....	33
3.1. L'acquisition de données.....	34
3.2. Le stockage des données.....	36
3.3. La calibration des capteurs.....	38
3.4. Le menu d'entretien.....	38
4. La maintenance.....	40
4.1. La maintenance du capteur de conductivité.....	40
4.2. Maintenance du capteur de température.....	41

Chapitre 3 : La partie pratique

1. Les équipements.....	42
2. Le démarrage.....	42
3. La programmation.....	43
4. Sur le lieu de mesure.....	43
5. Récupération des données.....	43
6. La présentation des données acquises.....	43

Conclusion.....	49
------------------------	-----------

Références bibliographiques.....	50
---	-----------

Annexes

Annexe A : Algorithmes de calcul.....	A
---------------------------------------	---

Annexe B : Les données acquises à la station d'Annaba.....	D
--	---

Annexe C : Les profils programmés par défaut.....	G
---	---

Annexe D : Le certificat de calibration.....	H
--	---

La liste des figures :

Figure 1 : Les données, les théories et les modèles numérique sont tous nécessaire pour comprendre l'océan.

Figure 1.1 : ρ augmente avec z .

Figure 1.2 : Variations de la conductivité des eaux de mer avec la chlorinité (d'après des données de la littérature présentées par IVANOFF, 1975)

Figure 1.3 : Différents types de répartition des résultats de mesure.

Figure 1.4: Le pic de salinité qui est du au retard de réponse du capteur de température.

Figure 1.5: Variation de la valeur d'une thermistance en fonction de la température.

Figure 1.6: Capteur de température ROSEMONT model 171 BJ.

Figure 1.7 : Capteur de pression des courantomètres Aanderaa, précision $\pm 1\%$ PE (de la pleine échelle, c. a. d. de l'étendue de mesure)

Figure 1.8: Capteur de pression à jauge de contrainte

Figure 1.9: Coupe partielle d'un capteur de pression à jauge de contrainte

Figure 1.10 : Schéma d'une cellule de conductivité SBE 4.

Figure 1.11: Capteur de conductivité Neil Brown à 04 électrodes.

Figure 12 : Variations de l'excès de masse volumique des eaux de mer avec la température.

Figure 1.13 : Variations de l'excès de masse volumique des eaux de mer avec la pression.

Figure 1.14: Températures in situ t et températures potentielles obtenues entre 0 et 3000 m de profondeur à une station de Méditerranée orientale (lat. $37^\circ 29.49$ N, long. $19^\circ 00.65$ E)

Figure 1.15: Différence entre la température in situ (T) mesurée à l'aide de la sonde CTD et la température potentielle pour une station profonde au Nord de l'océan Pacifique (35° N, 152° W). (Data from Martin et al., 1987.). (Emery et Thomson. 2004).

Figure 2.1 : Les 07 capteurs de la sonde OCEAN SEVEN 316.

Figure 2.2: Les différents capteurs de la sonde et leur emplacement.

Figure 2.3: Les dimensions les constituants de la sonde.

Figure 2.4 : Le boîtier des piles et la batterie connectée à la sonde.

Figure 2.5: L'D.U.

Figure 2.6 : Le panneau de face de la D.U.

Figure 2.7: Le panneau arrière de la D.U.

Figure 2.8: Schéma indiquant les connexions entre la sonde, la D.U et le pc.

Figure 2.9: Schéma indiquant une installation du système de mesure en temps réel au moyen de la sonde.

Figure 3.1: Profil vertical de la température potentielle à la station 1.

Figure 3.2: Profil vertical de salinité à la station 1.

Figure 3.3: Profil vertical de la densité potentielle.

Figure 3.4: Le diagramme température potentielle-salinité Theta-S

Figure 3.5: Profils verticaux de la température in situ (t) et la température potentielle (θ) à partir de 100 m de profondeur.

La liste des tableaux :

Tableau 1.1 : Résumé sur l'histoire et le développement des sondes CTD.

Tableau 2.1: Caractéristiques des capteurs.

Tableau C.1 : Les profils programmés par défaut dans la mémoire de la sonde.

AC: Alternating Current.

AD: Analog-to-Digital.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

BASIC: Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code.

CTD: Conductivity, Temperature, Depth.

DC: Direct Current.

DSP: Digital-Signal-Processors.

D.U: Deck Unit.

EPS 78: Échelle Pratique de Salinité 1978.

LED: Light-Emitting Diode.

EOS 80: Equation of State 1980.

PC: Personal Computer.

PE: Pleine Échelle.

REDAS: Real Time Data Acquisition.

SRAM: Static Random Access Memory.

STD: Salinity, Temperature, Depth.

TRE: Thermomètre à Renversement Électronique.

TRNP: Thermomètre à Renversement Non Protégé.

TRP: Thermomètre à Renversement Protégé.

T.S: Température-Salinité.

Introduction

Face à l'incapacité des mesures classiques en laboratoire à fournir des données précises et suffisantes sur les paramètres physiques (température, salinité, masse volumique et pression) de l'eau de mer, l'utilisation de la technologie des capteurs et celle du microprocesseur s'est imposée pour satisfaire les besoins océanographiques. Aujourd'hui l'instrument le plus utilisé dans les mesures océanographiques est la sonde CTD (conductivity, temperature, depth) (Tomczak et Godfrey. 2005) qui utilise ces deux technologies pour effectuer une importante étape pour comprendre l'océan. Et pour le comprendre on utilise des théories, des observations, et des modèles numériques.

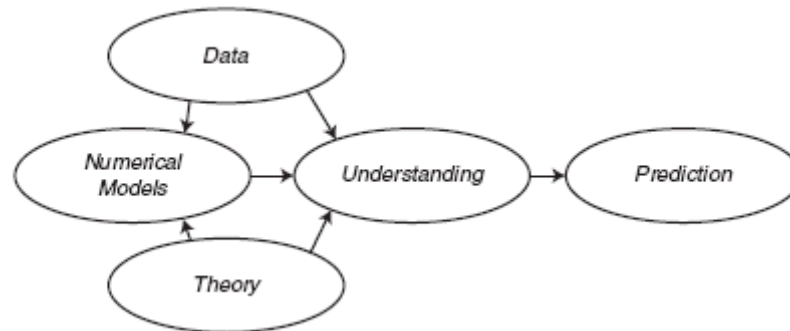


Figure 1 : Les données, les théories et les modèles numériques sont tous nécessaires pour comprendre l'océan (Stewart. 2007).

L'observation est une importante étape dans la compréhension des phénomènes océaniques, et ses méthodes ont pris une évolution remarquable durant les dernières décennies dans le but d'acquérir des données précises et suffisantes. Le manque qualitatif et quantitatif des données sont la source d'erreur, et les océanographes cherchent toujours à collecter des données d'une manière précise (qualité) et rapide (quantité). Cette progression dans l'acquisition de données pour les mesures des paramètres physiques de l'eau de mer (des mesures classiques aux mesures avec les sondes) est définie dans le paragraphe ci-dessous.

Pour les mesures en laboratoire, l'analyste doit effectuer les opérations de la chaîne prélèvement-échantillonnage-stockage-analyse sans négliger aucun maillon et respecter toutes les méthodes et les précautions de chacun.

La salinité :

L'analyste doit suivre les maillons cités ci-dessus. Le prélèvement se fait à des profondeurs choisies. On doit choisir les bonnes bouteilles et suivre quelques précautions pour éviter la contamination de l'eau prélevée. L'échantillonnage à partir des bouteilles de prélèvement se fait par flaconnage, en suivant quelques règles et précautions, après le choix des flacons à fermeture rapide et de bonne étanchéité des joints qui peuvent garantir la stabilité de l'échantillon sur une durée de quelques mois. Les échantillons doivent être conservés à l'abri de la lumière, en position verticale. Ils ne doivent pas subir de variations importantes de température risquant de modifier la composition du milieu (par évaporation ou congélation). La conductivité peut être légèrement altérée par l'interaction entre l'eau de mer et le verre. Aussi, pour des mesures très précises, la conservation ne doit pas excéder quelques mois. Les flacons ne doivent pas être ouverts plus de quelques minutes avant l'analyse. Les analyses

répétées sur le même flacon doivent être faites en l'espace d'une heure, en rebouchant aussitôt après chaque prélèvement.

L'analyse des échantillons se fait par 02 méthodes : la méthode conductimétrique à l'aide des salinomètres. Et la méthode de MOHR-Knudsen pour mesurer la chlorinité. À partir des mesures de la conductivité et de la chlorinité on peut calculer la salinité.

La température :

La mesure classique de la température se faisait in situ et la lecture à bord. Avant l'arrivée des sondes in situ, la température se mesurait à l'aide des thermomètres à renversement qui sont mouillés seuls ou couplés à des bouteilles de prélèvement. Au point de mesure, on doit attendre le temps nécessaire, selon la précision voulue (environ 20 minutes pour une précision maximale) et provoquer le renversement de l'appareil à l'aide du messenger pour arrêter la circulation du mercure. Après la remontée, le transport doit s'effectuer en position verticale. Pour obtenir une précision maximale, la lecture doit être faite lorsque le thermomètre atteint l'équilibre thermique avec l'air ambiant (10 à 15 min au minimum). L'utilisation d'une loupe est indispensable pour une précision de 0.01°C.

Il existe des thermomètres à renversement électronique (TRE) qui sont conçus à être utilisés comme les TRP à mercure. Toutefois, ils se stabilisent plus rapidement et, la valeur étant mémorisée, la lecture (digitale) peut se faire sans attendre, dès la remontée à bord.

Lorsqu'une précision moindre suffit, et par faible profondeur, on peut prélever l'eau et faire la mesure à bord, sous réserve toutefois de respecter certaines contraintes. On peut alors utiliser un thermomètre classique de laboratoire, soit au mercure, soit électronique à sonde de platine.

Les immersions :

Lorsque les immersions sont déterminées par la longueur de câble filée (poulie compteuse ou marquage), la mesure devient erronée au-delà de quelques dizaines de mètres si le câble prend une forte inclinaison. L'angle que fait le câble avec la verticale (dit «*angle du câble*») doit alors être noté, même approximativement, afin de calculer l'immersion réelle. Aux grandes profondeurs, l'utilisation du TRP couplé à des TRNP pour obtenir l'effet de la pression sur la température à partir de la différence entre les mesures des 02 thermomètres. Cette différence de température apparente entre les mesures par thermomètres protégés et non protégés permet de déduire la profondeur vraie de l'immersion quelle que soit la longueur du câble filé.

Stratégie de prélèvement :

Pour effectuer les prélèvements il faut suivre une certaine stratégie dans l'espace et dans le temps (la fréquence du prélèvement, maillage horizontal, et les immersions) Par exemple pour les immersions : au large et par grande profondeur, il a été défini les immersions standards suivantes, recommandées en 1936 par l'Association internationale pour les sciences physiques de l'océan (IAPSO: International Association for the Physical Science of the Ocean): 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, ..., 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000,5000m....

Si on suit toutes les étapes, du prélèvement à l'analyse, pour chaque immersion (sans parler de fréquence de prélèvement et le maillage horizontal), quelle serait le coût des études ? Combien de temps vont-elles durer ? Sans poser des questions sur les difficultés et les possibilités d'erreurs.

À l'arrivée des sondes CTD (conductivity, température, depth) la plupart de ces problèmes sont dépassés. Ces appareils effectuent des mesures en continu. Elles permettent de tracer les différents profils (température, salinité, densité, pression, concentration en oxygène dissous, pH...) en fonction de la profondeur et du temps, en mesurant quelques paramètres à l'aide des capteurs et en calculant d'autres, à partir des données acquises, à l'aide des logiciels. «De très rapides convertisseurs AD (analogue-to-digital) et processeurs DSPs (digital-signal-processors), sont utilisés maintenant pour convertir les voltages ou les signaux électriques à des valeurs digitales » (Emery et Thomson, 2004). Ces instruments opèrent à d'importants taux d'acquisition de données qui sont transmises directement des capteurs vers des ordinateurs et produisent un volume d'informations qui ne peut pas être traité sans la technologie du processeur. La plupart des manipulations de ces sondes se font par software, cela facilite leurs configurations et l'utilisation des données de calibration.

Ce thème est consacré essentiellement pour la description d'une sonde CTD, l'explication de son mode de fonctionnement, et la présentation des données acquises. Il comporte 03 chapitres, le premier traite des paramètres qu'on peut obtenir à partir de la sonde, leurs applications et les mesures ou les calculs de chacun, comme il expose des notions sur les caractéristiques des capteurs et la qualité des données. Le deuxième chapitre qu'on peut considérer comme un manuel comporte la description de la sonde « IDRONAUT Ocean seven 316 » et la présentation de toutes ses fonctions et leurs exécutions selon les besoins océanographiques. Le dernier qui concerne la pratique contient la description des manipulations qu'on a faites et la présentation des données acquises au moyen de la sonde.

Chapitre 1

Généralités

1. Historique

Avant l'introduction de la sonde CTD, la détermination de la température et la salinité est obtenu en utilisant les thermomètres à renversement au mercure et en analysant en laboratoire des échantillons prélevés à l'aide des bouteilles de prélèvement. La salinité était calculée à partir de chlorinité, cette méthode était très longue et très coûteuse et elle demandait un soin extrême pour obtenir une précision de 0.03 PSU en salinité. A partir de 1930 les mesures de salinité sont devenues plus précises et plus rapides grâce à l'utilisation des salinomètres qui mesurent la conductivité de l'eau de mer au moyen des transducteurs. Ces appareils mesurent à bord et la salinité est calculée à partir de la conductivité mesurée, à la pression normale et à une température connue. Les salinomètres satisfaisaient aux besoins de précision de la plupart des océanographes, mais les échantillons étaient collectés à des profondeurs prédéfinies et relativement peu nombreuses, si bien que d'importants détails passaient souvent inaperçus, les valeurs de la salinité n'étaient pas disponibles assez rapidement pour avoir une influence sur la suite de la campagne. Les techniques de prélèvement étaient longues et coûteuses.

Les limites à la collecte des échantillons d'eau de mer et à leur analyse à bord ont conduit au développement en 1948 du premier système in situ conçu par A. W. Jacobsen. Son utilisation était limitée à 400 m. Cet instrument utilisait un câble porteur et un autre câble multiconducteur.

En 1958, Neil Brown et Bruce Hamon ont décrit un instrument conçu pour être utilisé jusqu'à 1000 m et ils étaient les premiers à utiliser un câble électroporteur. La précision sur la température était de $\pm 0.15^\circ\text{C}$ et celle sur la salinité de ± 0.05 psu. Bien que cet appareil nécessite un nettoyage permanent et une replatinisation de la cellule pour maintenir la précision, il montrait d'une manière claire qu'il existait des structures à beaucoup plus petite échelle dans l'océan que ce qui était révélé autrefois par les méthodes classiques de prélèvement. Un important développement est mis au point par ces 02 chercheurs, en 1959, où les capteurs étaient tous connectés à un oscillateur qui convertit les variables mesurées à des fréquences audio qui seront envoyées à la surface via le câble électroporteur.

5 ans après, la sonde STD (salinité, temperature, depth), résulte des travaux de Neil Brown, Bradshaw et Schleider, est commercialisée ; plus de 700 sont vendues. Cette bathysonde était le premier profileur régulièrement utilisé. Sa précision se dégradait pour des profondeurs supérieures à 100 m, il y avait une importante anomalie de la salinité à cause du retard de la réponse du capteur de température par rapport à celui de la conductivité. De plus, sa précision était limitée par les erreurs systématiques du calcul analogique de la salinité à partir des informations fournies par les mesures de la conductivité, température et pression.

A l'arrivée rapide des ordinateurs qui favorisent l'utilisation des techniques de calcul digital, Neil Brown a publié, en 1974, son travail sur une sonde CTD (conductivity, temperature, depth) digitale. Cette sonde fut commercialisée sous le nom de CTD MARK III. Ce changement de nom (STD : CTD) n'identifie pas seulement l'amélioration dans le capteur de conductivité mais aussi dans le système de captage de température désigné pour surmonter la différence entre les temps de réponse des capteurs de conductivité et de température. Cette différence résulte souvent les pics erronés de salinité dans les premiers systèmes STD (Dantzler, 1974 ; in Emery et Thomson. 2004)

La CTD Mark III présente deux sources d'erreurs principales :

- Les dépôts de corps gras ou de matière organique sur les électrodes ainsi que les dépôts calcomagnésiens à la surface de la céramique.
- La précision limitée sur la mesure de la pression ($\pm 0.1\%$). A la profondeur de 6000 mètres cette imprécision sur la pression provoquait une erreur de ± 0.004 sur la salinité.

Depuis le début des années 1970, la technologie des microprocesseurs a subi une évolution spectaculaire. A la même époque la demande pour des CTD modifiées et possédant des capteurs supplémentaires devint la règle plutôt que l'exception.

En profitant des hautes technologies des microprocesseurs, les modifications et les ajustements de calibration se font par software plutôt que par hardware, ce qui simplifie le processus de fabrication. Une autre amélioration est dans l'utilisation des capteurs très précis et qui ont un court temps de réponse et une dérive minimale. Par exemple les capteurs de conductivité à six électrodes de SEA BIRD et celui à sept électrodes d'IDRONAUT. Des informations sur les mesures, les capteurs et leurs évolutions sont disponibles dans le *tableau 1.1*.

Tableau 1.1 : résumé sur l'histoire et le développement des sondes CTD.

Date	Événements	Remarques
1901 ↓	Mesure de température par le thermomètre à reversement et la salinité est obtenue à partir de la chlorinité.	Soin extrême pour obtenir une précision de ± 0.03 PSU en salinité et la précision de température peut atteindre ± 0.01 °C pour les meilleurs thermomètres à renversement. Méthodes longues est coûteuses.
1930	Introduction du salinomètre par Wenner	Utilisation de la technologie des capteurs.
1948	Premier profileur par Jacobsen	Son utilisation est limitée à 400 m utilise 02 câbles, un porteur et l'autre transmetteur de signaux.
1958	Profileur de Brown et Hamon.	Utilisé jusqu'à 1000 m. utilise un câble électroporteur. La précision sur la température était de ± 0.15 °C et celle sur la salinité de ± 0.05 psu.
1964	STD : premiers profileurs régulièrement utilisés par Brown et Hamon.	Les premières STDs sont utilisées jusqu'à 1000 m dans la gamme de température de 0 à 30° C et d'une précision de ± 0.15 °C. Et d'une précision de salinité ± 0.03 ‰.
1974 ↓	CTD MARK III: par Brown. -Dominance du software. -Amélioration des capteurs. -Mesure sans surveillance pour longue durée grâce à l'utilisation des batteries et la consommation minimale d'énergie par la sonde.	Avec une calibration précise immédiatement avant et après chaque campagne, en faisant en plus, pendant la campagne, des analyses fréquentes sur des prélèvements effectués simultanément à des acquisitions de calibrage et en utilisant de bons logiciels de traitement et pour des mesures sous la thermocline principale les précisions de la CTD étaient de ± 0.0015 °C sur la température, ± 1.5 décibar sur la pression et de ± 0.003 sur la salinité (Fofonoff et al. 1974). <u>Un exemple d'une CTD moderne :</u> La sonde ocean seven d'IDRONAUT atteint une précision de 0.003 °C dans gamme de -3 à +50 °C pour la température et son capteur a un temps de réponse de 50 ms. Et une précision de 0.003 mS/cm dans une gamme de 0 à 64 mS/cm pour la conductivité et son capteur a 50ms comme temps de réponse.

2. Les paramètres mesurés

2.1. La température

La mesure de température est la mesure la plus précise en océanographie par rapport à celles de la pression et la conductivité.

2.1.1. Applications :

- La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin, elle est mesurée avec la pression et la conductivité pour calculer la salinité puis la masse volumique qui est un élément important en océanographie.
- En vu de son impact sur le climat, elle est mesurée pour sa prévision.
- Les eaux sont identifiées par le diagramme T.S (Température et Salinité), comme on peut déduire la présence d'un upwelling ou d'un downwelling grâce à la présence des eaux anormalement froides en surface ou chaudes en profondeur.
- La température potentielle est calculée pour étudier la stratification de la colonne d'eau et les courants géostrophiques.
- On peut obtenir la mesure de l'immersion à l'aide des thermomètres à renversement protégés (TRP) et non protégés (TRNP).
- Elle est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres (pH, Oxygène dissous ...).
- Elle influe aussi sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces.

2.1.2. Dépendance :

- Le rayonnement solaire est responsable du réchauffement des eaux de surface dont l'effet n'est que sur la couche superficielle et la température diminue avec la profondeur.
- Les courants ont un rôle important dans la distribution des températures dans l'océan.
- L'effet du vent peut aussi influencer sur la température des eaux par les échanges de chaleur et l'homogénéisation.

2.2. La pression :

La pression est une force par unité de surface. La pression hydrostatique régnant à la profondeur z , est due au poids de la colonne d'eau, si la masse volumique ρ des eaux était la même à toute profondeur, on pourrait écrire:

$$p = \frac{\text{force}}{\text{surface}} = \frac{\rho \cdot g \cdot \text{volume}}{\text{surface}} = \rho \cdot g \cdot z$$

Où g représente la gravité.

Or, même dans un océan homogène en température et en salinité, la masse volumique n'est pas constante: l'eau étant compressible, ρ augmente avec la profondeur. La relation de l'hydrostatique n'est donc valable qu'au niveau infinitésimal (Copin-Montégut. 2006). Et pour calculer la pression on divise la colonne d'eau à des strates, dans chacune d'elles la valeur de ρ varie d'une manière insignifiante comme représenté dans la *figure 1.1*. Donc on utilise la relation suivante :

$$dp = \rho \cdot g \cdot dz$$

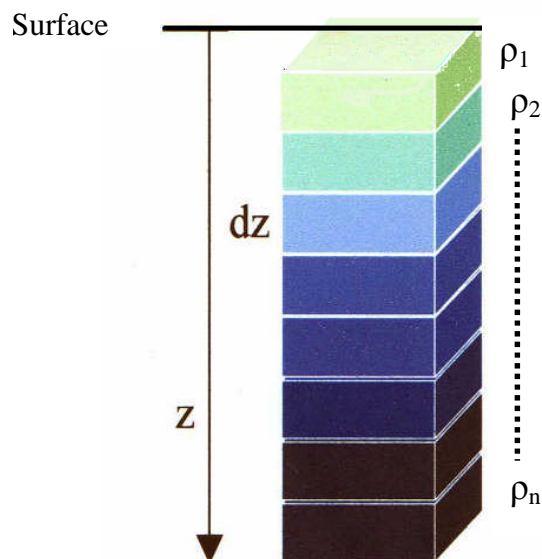


Figure 1.1 : ρ augmente avec z .

2.2.1. Applications :

- La mesure de la pression en océanographie est indispensable pour le calcul de la salinité et la masse volumique (variable des équations d'état de l'eau de mer et de l'échelle pratique de la salinité).
- De la mesure de la pression, on peut facilement estimer la profondeur à laquelle la mesure a été effectuée.
- En dynamique des mouvements, en mesurant les pressions des différents endroits et en traçant les isobares on peut étudier les courants géostrophiques.

2.2.2. Dépendance :

La pression dépend de la profondeur, de la gravité (qui varie en fonction de la profondeur et de la latitude) et de la masse volumique.

La relation de SAUNDERS et FOFONOFF (1976) inclut les variations de ces paramètres :

$$\int_0^z g dz = \int_0^p \frac{1}{\rho} dp$$

2.3. La conductivité :

La conductivité électrique de l'eau de mer est son aptitude à laisser passer le courant électrique. Donc, le contraire de résistivité. Elle est exprimée en $\text{ohm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ou en siemens par mètre ; $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$.

2.3.1. Applications :

Avec la température et la pression, la conductivité de l'eau de mer est une variable de l'échelle pratique la salinité 1978 (voir annexe A).

2.3.2. Dépendance :

La conductivité d'une eau est d'autant plus forte que la concentration volumique « c » des ions qu'elle contient est élevée et que la vitesse de leur déplacement est rapide.

A. Effet de la salinité :

La variation de la concentration des ions ou « salinité » a une relation presque linéaire avec celle de la conductivité de l'eau de mer, à température et pression constantes. Cette relation est représentée dans la *figure 1.2*.

Exemple : Par exemple à 15 °C, et à la pression atmosphérique, la conductivité augmente de 29,3 % lorsque la salinité passe de trente à quarante (Copin Montégut. 1996).

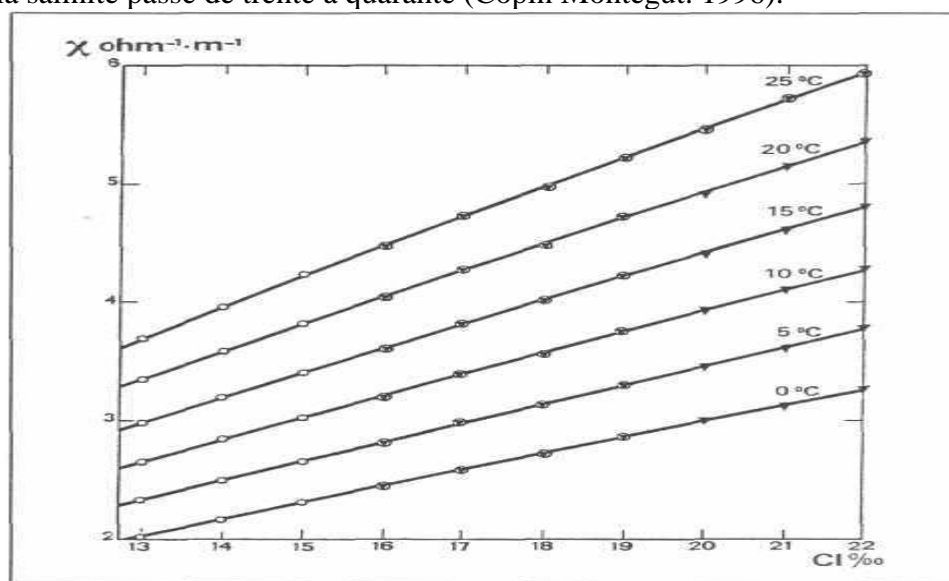


Figure 1.2 : Variations de la conductivité des eaux de mer avec la chlorinité (d'après des données de la littérature présentées par IVANOFF, 1975) (Copin-Montégut. 1996)

B. Effet de la température :

À salinité et à pression constantes, une augmentation de la température produit deux effets qui agissent de manière opposée :

- une augmentation du volume massique de la solution, ce qui entraîne une diminution du nombre d'ions présents par unité de volume ;
- une diminution de la viscosité de l'eau, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de déplacement des ions.

La variation de conductivité en fonction de la température est présentée dans la *figure 1.2*.

C. Effet de la pression :

Une augmentation de la pression produit 03 effets qui agissent sur la conductivité :

- L'augmentation de la concentration volumique des ions sous l'effet de la pression.
- la diminution de la viscosité de l'eau avec l'augmentation de la pression
- la dissociation plus complète de certaines associations ioniques neutres telles que MgSO_4^0 formant davantage d'ions libres Mg^{2+} et SO_4^{2-} .

3. Les mesures :

« Dans le domaine de l'océanographie physique, comme ailleurs, toute quantité physique ou chimique à mesurer est d'abord convertie en un signal électrique qui peut être amplifié ou mis

sous une forme favorable à la mesure ou à l'enregistrement. En instrumentation, le terme "capteur" ou "transducteur" désigne le composant utilisé pour faire cette conversion. Celui-ci est choisi en fonction de la mesure particulière qu'il doit assurer en tenant compte de ses caractéristiques électriques et physiques, de sa précision et de son temps de réponse. D'autres paramètres tels que sa résolution, sa dérive dans le temps, etc...peuvent aussi être pris en considération. » (Girardot. 2002).

3.1. Caractéristiques des capteurs :

3.1.1. La sensibilité :

« Un capteur est un dispositif qui permet la mesure d'un paramètre physique ou chimique. Il fournit une grandeur électrique qui en est la représentation aussi exacte que possible. En général cette grandeur électrique varie proportionnellement avec le paramètre mesuré. Ainsi, pour une variation ΔM de la grandeur à mesurer, la grandeur de sortie ΔS varie de telle sorte que :

$$\Delta S = S \Delta M$$

où S est la sensibilité du capteur. Elle doit dépendre le moins possible de son vieillissement et de son environnement, (c. a. d. de la variation des autres grandeurs) » (Girardot. 2002).

3.1.2. La linéarité :

« Il est recherché une sensibilité relativement constante sur toute l'étendue de mesure. Les différences entre la grandeur électrique de sortie et la droite idéale $s = S.M$ sont appelés (écarts de linéarité) » (Girardot. 2002).

3.1.3. Domaine d'utilisation :

« Le domaine d'utilisation d'un capteur est limité par les bornes supérieures et parfois inférieures des valeurs de la grandeur qu'il peut subir sans modification de ses caractéristiques. » (Girardot. 2002).

3.1.4. L'étendue de mesure :

« L'étendue de mesure est la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure de la grandeur mesurable par un capteur. Lorsque le capteur fournit une valeur de la grandeur entre 0 et le maximum, ce maximum est appelé « Pleine Échelle », sous-entendu « de mesure ». Cette étendue de mesure est notée PE. Elle est toujours à l'intérieur du domaine de non-détérioration qui est lui-même inférieur au seuil destruction » (Girardot. 2002).

3.1.5. Finesse :

« La finesse permet d'estimer l'influence que peut avoir le capteur et de son support ou de ses liaisons sur la grandeur à mesurer. Par exemple, dans le cas d'un capteur de température, une capacité calorifique importante réduit sa finesse » (Girardot. 2002).

3.2. Les erreurs d'analyse et la précision:

Le but des mesures d'une grandeur est d'obtenir sa valeur vraie dans le milieu. Ce qui n'est pas possible car toute mesure est inévitablement entachée d'erreurs à cause de l'existence des facteurs d'instabilité lors des séries de mesure. Alors il existe toujours un écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie. C'est cet écart qui constitue l'**erreur d'analyse** qui est divisée en 02 :

➤ « **L'erreur aléatoire** : qui est la composante de l'erreur qui, sur un certain nombre de résultats d'essais, obtenus pour un même caractère, varie de façon *imprévisible* (anglais : random error). » (Afnor, 1999a. in Aminot et Kérouel. 2004).

Il n'est pas possible d'appliquer de correction d'erreur aléatoire. Lors de mesures répétées nous obtenons généralement une dispersion des résultats ; si les erreurs de mesure sont aléatoires un traitement statistique permet de connaître la valeur la plus probable de la grandeur mesurée et de fixer les limites de l'incertitude.

➤ « **L'erreur systématique** : qui est la composante de l'erreur qui, sur un certain nombre de résultats d'essais obtenus pour un même caractère, reste *constante* ou varie de façon *prévisible* (anglais : systematic error). » (Afnor, 1999a in Aminot et Kérouel. 2004). On peut appliquer une correction d'erreur systématique. Elle est provoquée par un mauvais réglage ou un mauvais étalonnage. Elle peut être également induite par la présence du capteur qui modifie la valeur du mesurande. Elle devient importante dans le cas où les instruments sont mal utilisés.

$$E_s = \bar{M} - M_0$$

E_s est l'erreur systématique

\bar{M} la moyenne lorsque n le nombre de mesures tend vers l'infini et que les mesures sont obtenues dans des conditions de répétabilité.

M_0 Valeur vraie du mesurande.

Ces erreurs altèrent la précision qui est caractérisée par 03 termes essentiels :

« **La fidélité** : La fidélité d'un capteur est sa propriété à redonner des valeurs très proches lorsque, après avoir varié, la grandeur reprend sa valeur initiale. Ce qui se traduit par des résultats groupés autour de leur valeur moyenne. L'écart type dont l'importance reflète la dispersion des résultats est souvent considéré comme l'erreur de fidélité : Il permet ainsi une appréciation quantitative de la fidélité. La valeur la plus probable, telle qu'elle résulte d'un ensemble de mesures, peut être connue avec une faible marge d'incertitude tout en étant assez éloignée de la valeur vraie.

La fidélité dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires et n'a aucun rapport avec la valeur vraie ou spécifiée » (Girardot. 2002).

« **La justesse** : C'est la qualité d'un appareillage de mesure à donner une valeur (moyenne) très proche de la valeur vraie. » (Afnor, 1999a. in Aminot et Kérouel. 2004). Elle est altérée par les erreurs systématiques

« **L'exactitude** : étroitesse de l'accord entre un résultat d'essai et une valeur de référence acceptée (anglais : accuracy) » (Afnor, 1999a. in Aminot et Kérouel. 2004). Elle est altérée par tous les types d'erreurs (aléatoires et systématiques).

En déterminant la fidélité et la justesse d'un capteur on peut estimer sa précision qui qualifie l'aptitude du capteur à fournir des données qui, prises individuellement, sont proches de la valeur vraie. Un capteur précis est donc à la fois fidèle et juste. La *figure 1.3* représente les quatre cas de répartition des résultats des mesures.

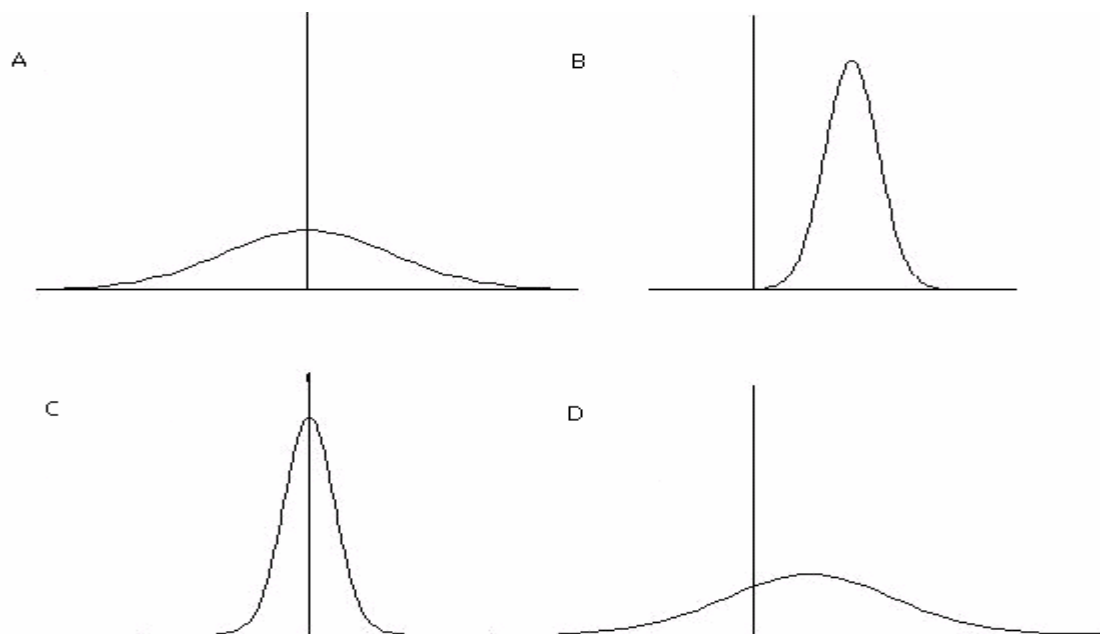


Figure 1.3 : Différents types de répartition des résultats de mesure

A : Capteur juste mais non fidèle : Les erreurs systématiques sont réduites mais les erreurs aléatoires sont importantes. B : Capteur fidèle mais non juste : Les erreurs systématiques sont importantes mais les erreurs aléatoires sont faibles. C : Capteur juste et fidèle donc précis : Les erreurs systématiques et aléatoires sont faibles. D : Capteur ni juste, ni fidèle : Les erreurs systématiques et aléatoires sont importantes (Girardot, 2002).

3.3. La réponse des capteurs :

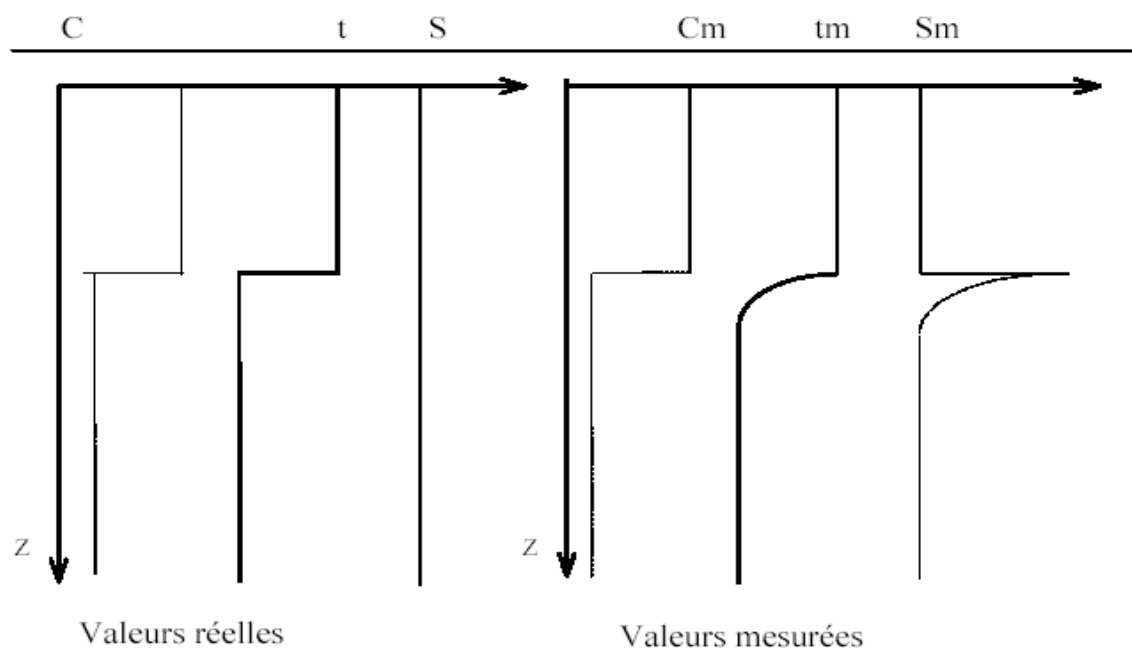


Figure 1.4: Le pic de salinité qui est dû au retard de réponse du capteur de température. (Girardot, 2002).

Sur la *figure 1.4* on observe un pic de salinité au moment où la sonde traverse un gradient de température. En réalité ce pic n'existe pas et est dû au décalage entre les temps de réponse des capteurs de température et de conductivité.

« Pour être exact, le calcul de la salinité suppose un échantillonnage simultané de la mesure de température et de la mesure de conductivité et donc un alignement des temps de réponse des capteurs lorsque ceux-ci sont différents » (Le Menne. 2004). « Si la sonde ne comporte pas de compensation des erreurs dues à l'importante constante de temps du capteur de température il est impossible de mesurer avec précision la salinité dans les forts gradients de température » (Girardot. 2002). Des algorithmes de correction, des circuits de compensation électroniques et des systèmes de correction mécaniques sont utilisés pour réduire cette anomalie.

3.4. Les mesures des différents paramètres :

3.4.1. La mesure de la température :

Les océanographes mesurent la température à l'aide :

- **des thermomètres à renversement** protégées (TRP) et non protégées (TRNP),
- **des capteurs de température à thermistance :**

La thermistance a une haute résolution et une justesse d'environ $\pm 0,001$ °C quand elle est soigneusement calibrée (Stewart, 2007). C'est un semi conducteur ayant une résistance qui varie rapidement et prévisiblement avec la température (voir *figure 1.5*). Sa résistance varie à l'inverse de la température suivant la loi théorique :

$$R_T = R_0 \exp \left\{ B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}$$

R_T Résistance à la température absolue T.

R_0 Résistance à la température absolue T₀ (en degrés K).

B « Constante » comprise entre 2000 à 9000 °K, suivant les thermistances.

(B varie généralement un peu avec la température)

T_0 Température absolue à laquelle R₀ a été mesurée, généralement T₀ = 273.16°K.

Le courant passant dans la thermistance doit être le plus faible possible afin de ne pas augmenter sa température par effet joule. La puissance dissipée est de l'ordre du micro Watt, voire inférieure. Parfois ce courant ne passe dans la thermistance qu'au moment de la mesure.

Sa résistance diminue sous l'effet de pression, donc il faut les protéger (une perle de verre, un cylindre d'inox) ce qui augmente son temps de réponse.

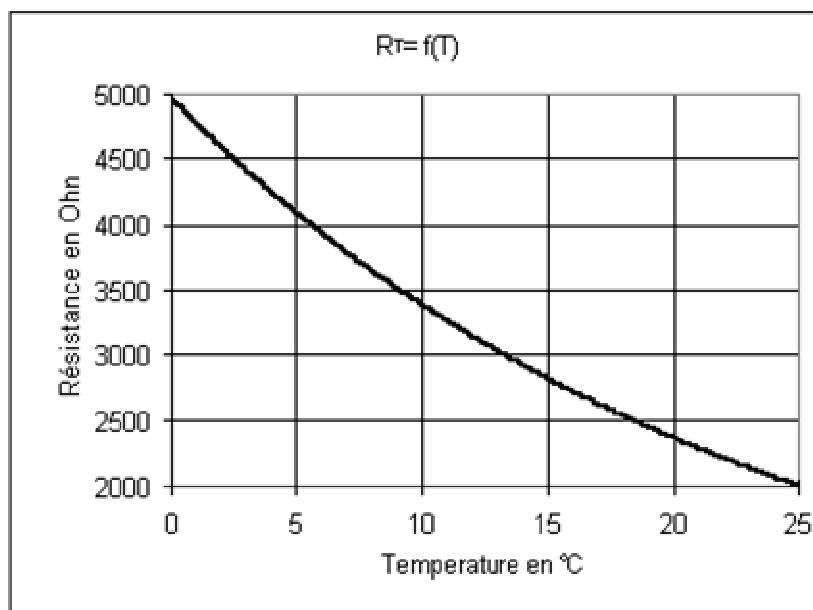


Figure 1.5: Variation de la valeur d'une thermistance en fonction de la température. (Girardot. 2002)

➤ **capteur de température à fil métallique :**

Le thermomètre à résistance de platine est le standard de température. Il est utilisé par les laboratoires nationaux standards pour interpoler entre des points définis dans l'échelle pratique de température et essentiellement pour calibrer d'autres capteurs de température (Stewart. 2007). « Le platine est un métal noble qui reste plus ou moins indifférent à son environnement. Il se travaille facilement, et s'obtient avec une grande pureté. Il permet la réalisation de transducteurs très stables et facilement reproductibles se présentant sous la forme d'une résistance parfois bobinée en fil de platine. Cette résistance est de l'ordre de la centaine d'Ohms. Les fils sont recuits afin d'obtenir des coefficients de température identiques et stables dans le temps. L'effet de pression sur le fil de platine diminue sa résistance, aussi doit-il être protégé de cet effet. Il est en effet placé dans un tube métallique, souvent en acier inoxydable. La conduction thermique et l'isolement électrique entre le tube et la résistance sont assurés par de la graisse au silicone. Une petite bulle dans cette graisse évite que les variations de forme du tube aient un effet sur la résistance. L'isolement électrique est amélioré en intercalant une mince enveloppe de verre entre le tube inoxydable et la graisse. Le tube inoxydable sera aussi fin que possible, le volume du verre, de la graisse au silicone et du fil de platine seront les plus faibles possibles afin de réduire la masse calorifique du capteur et donc sa constante de temps. » (Girardot. 2002)

Le capteur de température fourni avec la sonde 316 (voir *figure 1.6*) est un thermomètre à résistance de platine (type Pt 1000 ohms à 0 °C), posé dans un boîtier d'acier inoxydable, capable de résister jusqu'à 700 bar. Le capteur a un temps de réponse très bas (50 ms) et une haute stabilité dans les mesures avec le vieillissement. La dérive du capteur et l'électronique associé est moins de 0,0003°C par an (Manual operator's, ocean seven 316. 1999).

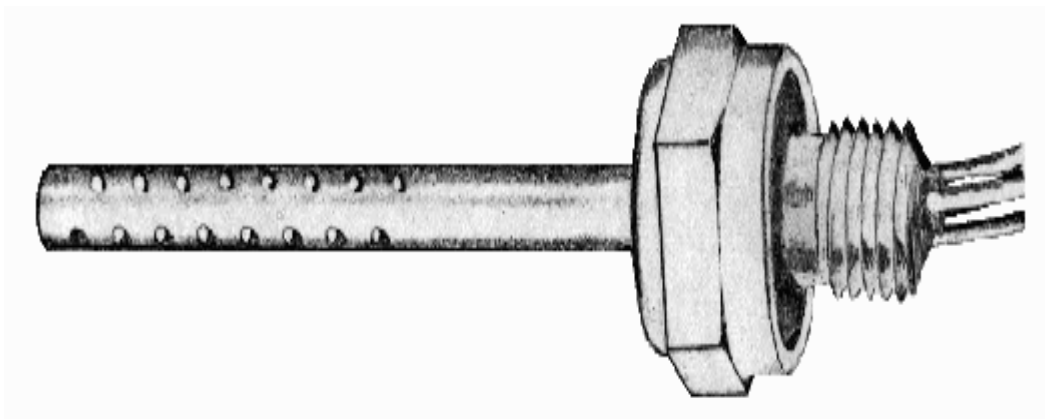


Figure 1.6: Capteur de température ROSEMONT model 171 BJ.
(Manual operator's, ocean seven 316. 1999)

3.4.2. La mesure de la pression :

« Dans les capteurs utilisés, l'effet de pression provoque la déformation d'une pièce mécanique généralement métallique. Cette déformation doit rester dans le domaine d'élasticité mécanique de la pièce. Le matériau qui la constitue doit présenter un minimum de rémanence et rester, le moins possible, sensible aux variations de température. Cette déformation mécanique est mesurée par un transducteur qui la traduit en variation d'une valeur électrique. » (Girardot. 2002) La pression est régulièrement mesurée par différents types d'instruments.

➤ Le capteur de pression potentiométrique :

Son principe est basé sur le déplacement d'un curseur d'un potentiomètre dû à la déformation d'un tube de bourdon dont son intérieur est soumis à une pression supérieure à la pression ambiante (voir *figure 1.7*). La tension recueillie entre le curseur et le point commun du montage varie proportionnellement avec la différence de pression qui existe entre le tube de bourdon et le milieu ambiant.

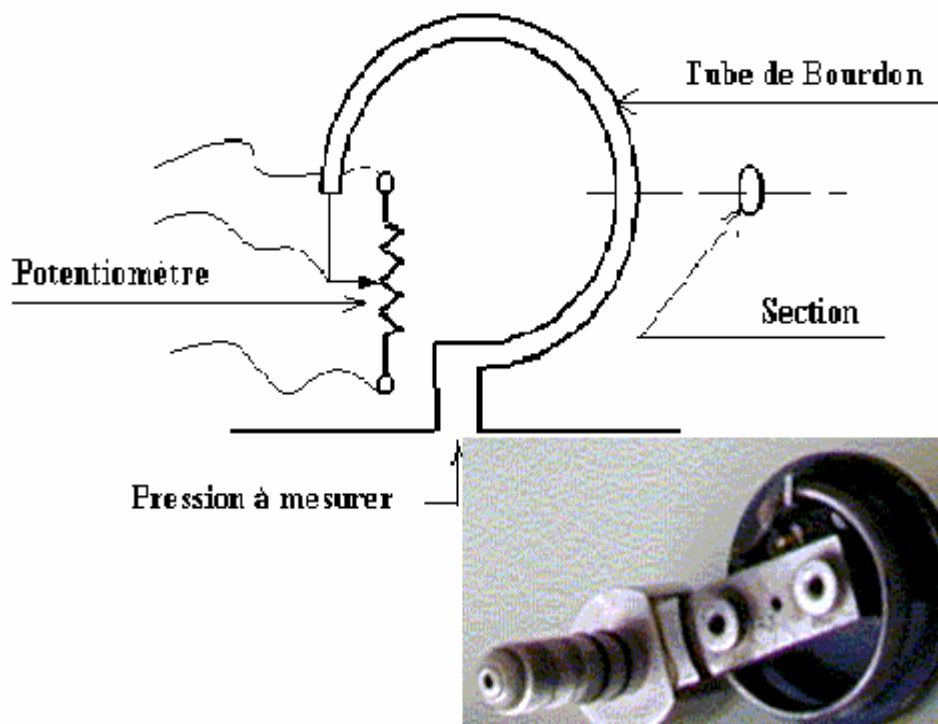


Figure 1.7: Capteur de pression des courantomètres Aanderaa, précision $\pm 1\%$ PE (de la pleine échelle, c. a. d. de l'étendue de mesure) (Girardot. 2002).

➤ **Le capteur de pression à jauge de contrainte :**

Ce capteur mesure la différence entre la pression à mesurer appliquée sur le capteur et sa pression interne. Généralement cette pression interne est nulle (c'est le vide qui fait l'intérieur du capteur), donc il mesure la pression absolue.

La résistance de 02 jauges de contrainte varie en fonction de leurs déformations et donc de la pression.

Deux autres jauges sont ajoutées dans le capteur de telle sorte qu'elles soient à la même température que les deux premières mais sans être soumises aux déformations dues à l'effet de pression. La résistance des 4 jauges varie également en fonction de la température. Un montage en pont permet d'obtenir la somme des variations dues à la pression et d'annuler celles dues à l'effet de température. Il subsiste néanmoins une légère influence de la température qui peut être réduite, soit par un circuit électronique de compensation, soit en mesurant la température du capteur et en utilisant un algorithme de calcul de correction (voir *figures 1.8 et 1.9*) (Girardot. 2002).

3.4.3. La mesure de la conductivité :

Les océanographes mesurent le rapport de conductivité entre la conductivité de l'échantillon et celle de l'eau standard, et pas la conductivité absolue pour les raisons suivantes :

Il faut mesurer la résistance d'un volume délimité par 02 électrodes surfacées et positionnées au micromètre près pour mesurer la conductivité absolue selon la loi :

$$\kappa = \frac{1}{R} \frac{l}{s}$$

Où κ est la conductivité, R la résistance électrique, l la distance entre les 02 électrodes et s est l'aire de la surface de chaque électrode.

Et pour mesurer les rapports de conductivités il suffira d'alterner dans la même cellule de conductivité la mesure d'un échantillon à la mesure d'une solution étalon.

Pour la mesure de la conductivité absolue, en sachant qu'elle est dépendante typiquement à environ 80 % de la température (R.G. LUECK, 1990. In Le Menne. 2004), il faudrait pouvoir mesurer la température de l'échantillon à $\pm 0.001^\circ\text{C}$ en valeur absolue, pour déduire la salinité avec la précision requise. C'est pratiquement impossible, cependant pour la mesure du rapport de conductivité dépend très peu de la température (une précision $\pm 0.5^\circ\text{C}$ est suffisante) (Copin-Montégut. 1996).

Il existe 02 types de technologies pour effectuer les mesures de conductivité : la technologie à électrodes et la technologie inductive qui revient à mesurer la résistance d'un tube d'eau parcourue par les lignes de champ électrique.

➤ Le capteur fourni avec la sonde 316 :

La sonde est équipée par « IDRONAUT seven-ring cell » qui consiste en un système de mesure différentielle utilisant 07 anneaux en Platine déposés dans un tube de quartz. L'anneau central est excité par un courant alternatif qui circule vers les 02 anneaux les plus externes. Les 02 paires d'anneaux adjacents captent différentiellement, l'écart relatif dans le voltage dû à la conductivité électrique de l'eau de mer. La paire des anneaux, la plus externe, est fondée pour protéger la cellule mesurant de toute interférence électrique externe. La cellule est montée dans un corps spécial en plastique et de forme cylindrique qui garantit l'isolement thermique. (Manul operator's, ocean seven 316. 1999).

Il existe d'autres capteurs et parmi ceux qui dominent le marché :

➤ Le capteur de conductivité SEABIRD :

« Son principe repose sur la mesure de la résistance électrique de deux cylindres d'eau compris entre deux électrodes annulaires en platine déposées aux extrémités d'un tube de verre, et une électrode du même type déposée au centre de ce tube » (voir *figure 1.10*) (Le Menne. 2004). « Les électrodes proches des extrémités du tube sont connectées l'une à l'autre. La conductance entre l'électrode centrale et les 2 autres est montée dans un circuit oscillant dont la fréquence varie en fonction de cette conductance et donc de la conductivité de l'eau de mer. Comme les deux électrodes extrêmes sont au même potentiel, aucun courant électrique ne circule à l'extérieure de la cellule. Par conséquent ce qui se passe à l'extérieure n'a pas d'influence sur la mesure. » (Girardot. 2002). Dans ce type de capteur le champ électrique de mesure est totalement interne à la cellule.

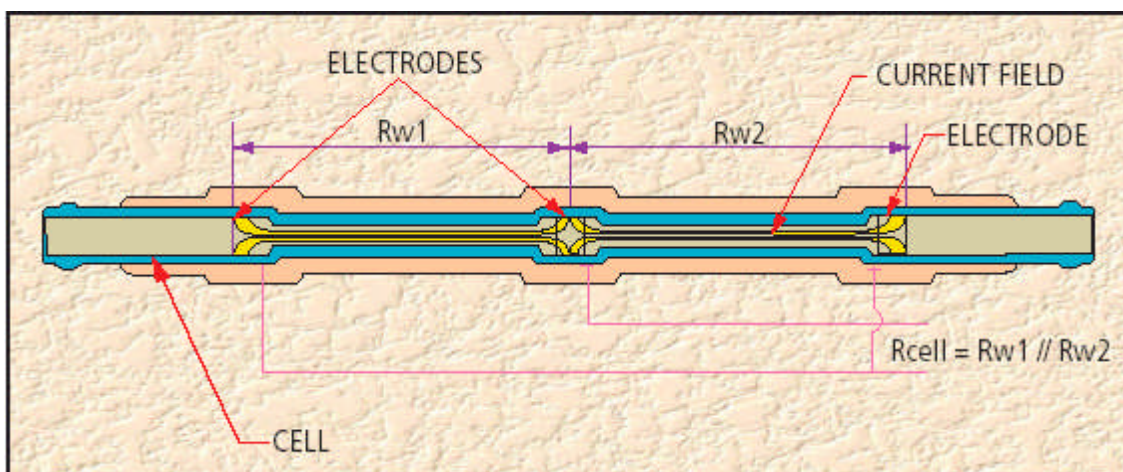


Figure 1.10 : Schéma d'une cellule de conductivité SBE 4. Les électrodes y sont représentées ainsi que les lignes de champ et les valeurs de résistances mesurées $Rw1$ et $Rw2$ par rapport à l'électrode centrale. (Doc. Sea-Bird).

➤ **Le capteur de conductivité Neil Brown :**

« Elle est réalisée en céramique. Ses dimensions sont réduites afin d'obtenir un bon échantillonnage. La longueur du tube est de 30 mm et sa section interne est un carré de 4 mm de côté. Deux électrodes sont placées à l'intérieur du tube et deux autres à l'extérieur (voir *figure 1.11*). Un courant alternatif circule entre une électrode interne et une électrode externe. La conductance est déduite de la tension entre les deux autres électrodes. Au niveau de ces électrodes, le courant est faible et il n'y a pratiquement pas de gradient de tension. » (Girardot. 2002).

4 électrodes

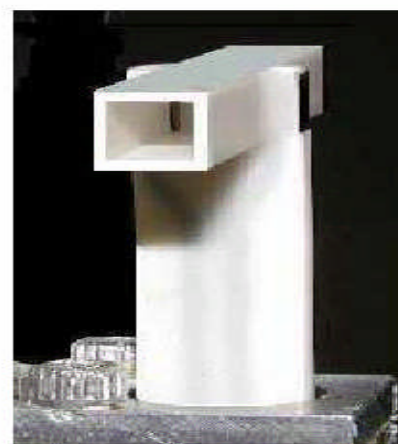
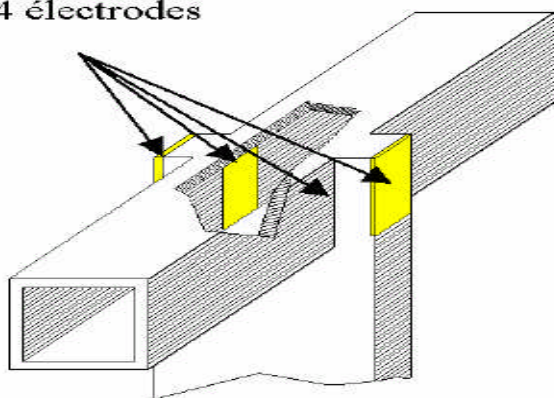


Figure 1.11: Capteur de conductivité Neil Brown à 04 électrodes. (Girardot. 2002).

Le problème majeur de ces capteurs est celui de l'alignement de temps de réponse, et de la dérive dans le temps qui reste le plus difficile à résoudre compte tenu de l'agressivité du milieu. L'exactitude des capteurs est dégradée progressivement par le fouling qu'il soit d'origine chimique ou biologique et les corrections s'avèrent difficile à apporter. (Manual operator's, ocean seven 316. 1999).

3.5. La calibration des capteurs:

Avant d'examiner des données brutes enregistrées, elles doivent être converties aux unités physiques significables. Généralement, les données brutes sont stockées sous format binaire ou ASCII. La conversion de ces données requiert les coefficients de calibration appropriés pour chaque capteur. Ces coefficients relient les données brutes enregistrées aux valeurs physiques du paramètre de mesure. L'exactitude des données dépend de la fiabilité de la procédure de calibration et de la performance de l'instrument, ainsi un instrument très précis, mais mal calibrés va produire des données incorrectes.

Comment obtenir ces coefficients ?

Suivant une méthodologie on effectue des mesures sur des échantillons qui ont des valeurs physiques connues (les valeurs du paramètre que nous voulant calibrer). Avec la disponibilité des facilités de calcul modernes, on peut construire les données de calibration (les enregistrements bruts des mesures et leurs équivalents en valeurs physiques connues) dans un tableau et les convertir en expressions mathématiques. Lors des mesures, les données brutes peuvent passer facilement à travers la fonction de calibration pour se convertir en unités physiques.

Il est très important d'assurer que la calibration représente exactement la gamme d'exécution et les caractéristiques de l'instrument (Emery et Thomson. 2004).

4. Les paramètres calculés

4.1. La salinité :

La salinité 1902 a été abandonnée au profit de la salinité absolue, de symbole SA, et de la salinité pratique, symbole S, reliée à la conductivité électrique par l'expression polynomiale de l'échelle pratique de la salinité 78. SA est reliée à S par la relation : $SA = a + bS$. Pour l'eau de mer de salinité 35 :

$$a = 0 \quad \text{et} \quad b = 1,0049 \pm 0,0003 \text{ (Unesco, 1979).}$$

4.1.1. Applications :

- La détermination précise de la salinité sert à calculer la masse volumique.
- Le diagramme T/S est un indicateur des masses d'eaux,
- En milieu côtier et estuarien, elle est le traceur idéal des mélanges entre les eaux douces et les eaux de mer. Elle est aussi nécessaire pour le traitement et l'interprétation d'autres paramètres chimiques.
- En écologie elle peut constituer un critère de répartition des espèces.

4.1.2. Dépendance:

La salinité est une grandeur conservative et additive. Une masse d'eau de $S = 35$ titre toujours 35, quelles que soient les variations de température et de pression auxquelles elle est soumise. Un mélange à 50 % entre une eau de $S=35$ et une eau de $S = 37$ produit une eau de $S = 36$. (Copin-Montégut. 1996).

En dehors des mesures, elle dépend des apports fluviaux, des précipitations, de l'évaporation et des mélanges des masses d'eau.

4.1.3. Calcul et échelle pratique de salinité 1978 :

La relation entre la conductivité et la salinité a une exactitude d'environ ± 0.003 en salinité. La très petite erreur est causée par les variations dans les constituants tels que S_iO_2 qui cause des petits changements en masse volumique mais pas de changement en conductivité (Stewart. 2007). Donc la salinité est calculée à partir de la conductivité facilement, rapidement et avec précision.

La salinité pratique, symbole S , d'un échantillon d'eau de mer, est définie à l'aide du rapport K_{15} de la conductivité électrique de cet échantillon d'eau de mer à la température de $15^\circ C$ et sous une pression d'une atmosphère normale, à celle d'une solution de chlorure de potassium (KCl), dont la masse par kilogramme de solution est $32,4356 \times 10^{-3}$, aux même températures et pression. La valeur de K_{15} exactement égale à 1 correspond, par définition, à une salinité pratique exactement égale à 35. La salinité pratique est définie en fonction du rapport K_{15} par l'équation suivante :

$$S = a_0 + a_1 K_{15}^{1/2} + a_2 K_{15} + a_3 K_{15}^{3/2} + a_4 K_{15}^2 + a_5 K_{15}^{5/2}$$

Les valeurs coefficients numériques $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ sont mentionnés en annexe A, et on peut observer que $\sum a_i = 35$. Ce qui signifie qu'on peut utiliser une eau de salinité 35 à la place de solution de (KCl). Cette eau est l'eau standard. Donc $R_{15} = K_{15}$.

Comme en pratique $R_{15} = K_{15}$ et que, par ailleurs, R_t ne diffère que légèrement de R_{15} , on calcule la salinité pratique en substituant R_t à K_{15} dans l'équation et en ajoutant un terme correctif S . Soit :

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S$$

Voir annexe A pour ΔS .

Et pour les mesures effectuées avec les sondes, on doit tenir compte de l'effet de la pression.

Soit R le rapport de conductivité mesuré in situ.

$$R = \frac{x_{(S,t,p)}}{x_{(35,15,0)}} = \frac{x_{(S,t,p)}}{x_{(S,t,0)}} \times \frac{x_{(35,t,0)}}{x_{(35,15,0)}} \times \frac{x_{(S,t,0)}}{x_{(35,t,0)}}$$

Ce rapport est désigné par :

$$R = R_p \times r_t \times R_t$$

Pour le calcul de la salinité on a besoin de R_t qu'on peut calculer à partir de la relation :

$$R_t = \frac{R}{R_p \times r_t}$$

R est mesuré par la sonde.

R_p est calculable par un algorithme à partir du rapport de conductivité *in situ* et de la pression hydrostatique p .

r_t est calculable par un autre algorithme en fonction de température uniquement.

L'algorithme de calcul de l'Échelle pratique de salinité 1978 est disponible en annexe A.

4.2. La masse volumique :

La masse volumique, symbole ρ , d'une substance est la masse par unité de volume, exprimée en kg. m^{-3} .

Il y a d'autres expressions dérivées de la masse volumique, utilisées en océanographie :

Le volume massique : qui est l'inverse de la masse volumique.

La masse volumique potentielle : La masse volumique potentielle ρ_θ est la masse volumique que doit avoir une masse d'eau si elle est rapportée d'une manière adiabatique à une pression de référence sans échange de sel (Stewart. 2007).

L'excès de masse volumique : pour la simplification les océanographes physiciens citent seulement les 02 derniers chiffres de la masse volumique ; ces 02 chiffres s'appellent l'excès de la masse volumique ou sigma $\sigma(S,t,p)$.

$$\sigma(S, t, p) = \rho(S, t, p) - 1000 \text{ Kg. m}^{-3}.$$

Pour l'étude des couches océaniques de surface on peut ignorer la compressibilité en utilisant sigma-t (σ_t) :

$$\sigma_t = \sigma(S, p, 0)$$

On peut aussi calculer l'excès de masse volumique potentielle σ_θ (**sigma thêta**). Par définition :

$$\sigma_\theta = \rho(S, \theta, 0) - 1000$$

Avec θ la température potentielle de l'échantillon ramené à $p=0$.

On calcule parfois aussi les $\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \dots$ par définition :

$$\sigma_1 = \rho_{S, \theta_1, 1000} - 1000 ; \sigma_2 = \rho_{S, \theta_2, 2000} - 1000 \dots \dots$$

Avec $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots$ température potentielle de l'échantillon ramené aux pressions 1000, 2000, 3000.....en dbar.

4.2.1. Applications :

- La masse volumique est la grandeur dérivée la plus utilisée en océanographie :
- La stabilité verticale des eaux est conditionnée par une répartition des masses volumiques allant en croissant avec la profondeur.
 - À certaines profondeurs se situent des zones d'augmentation rapide appelées pycnoclines. Elles constituent des barrières qui limitent considérablement les échanges de matière et d'énergie à la verticale.
 - Si on veut suivre le mouvement de l'eau dans l'océan on aurait besoin d'y connaître la distribution de la masse volumique. Donc, à partir de la répartition en 3 dimensions de la masse volumique, l'océanographe physicien peut reconstituer le champ de pression, et calculer la direction et l'intensité des courants géostrophiques à différentes profondeurs.

4.2.2. Dépendance :

A. Effet de la température :

Pour les masses d'eaux qui ont une salinité supérieure à 24.7, la masse volumique augmente avec la diminution de la température, et atteignent la température de congélation

avant celle du maximum de masse volumique, contrairement aux masses d'eau ayant une salinité inférieure à 24,7 qui atteignent la température du maximum de masse volumique avant celle de la congélation. (Voir *figure 1.12*)

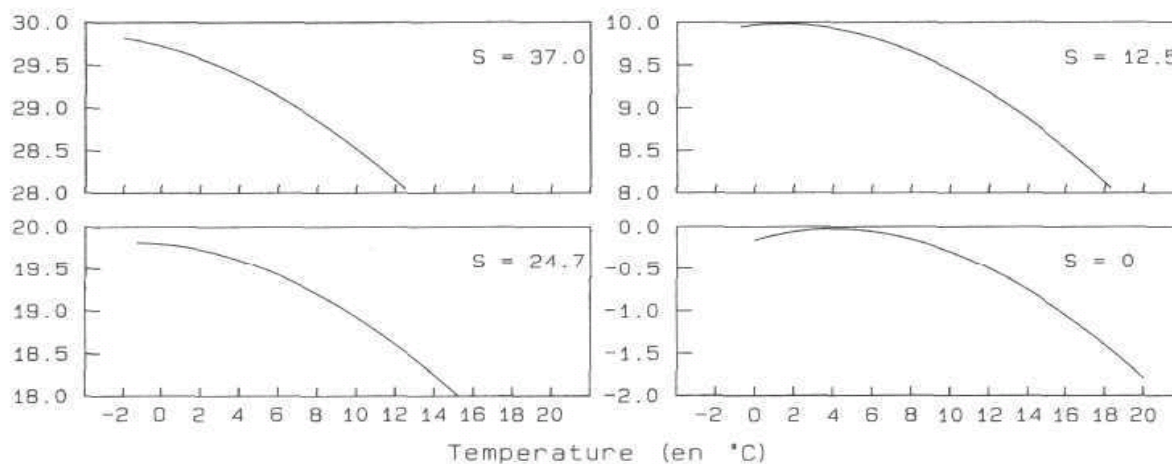


Figure 1.12 : Variations de l'excès de masse volumique des eaux de mer avec la température. γ_t est en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Les courbes correspondent à différentes salinités. Noter la disparition du maximum à partir de $S = 24,7$. (Copin-Montégut. 1996).

B. Effet de la salinité :

La masse volumique augmente avec l'augmentation de la salinité à cause de 02 effets :

- la substitution d'une masse d'eau par une masse égale de sels dont la masse volumique est élevée que celle de l'eau pure,
- l'attraction électrostatique de chaque ion d'une couche de molécules d'eau qui se trouvent comprimées ses voisinages (Électrostriction).

C. Effet de la pression :

Les eaux de mer sont légèrement compressibles : le niveau des océans se trouverait surélevé d'environ trente mètres si les eaux de mer étaient rigoureusement incompressibles (voir *figure 1.13*).

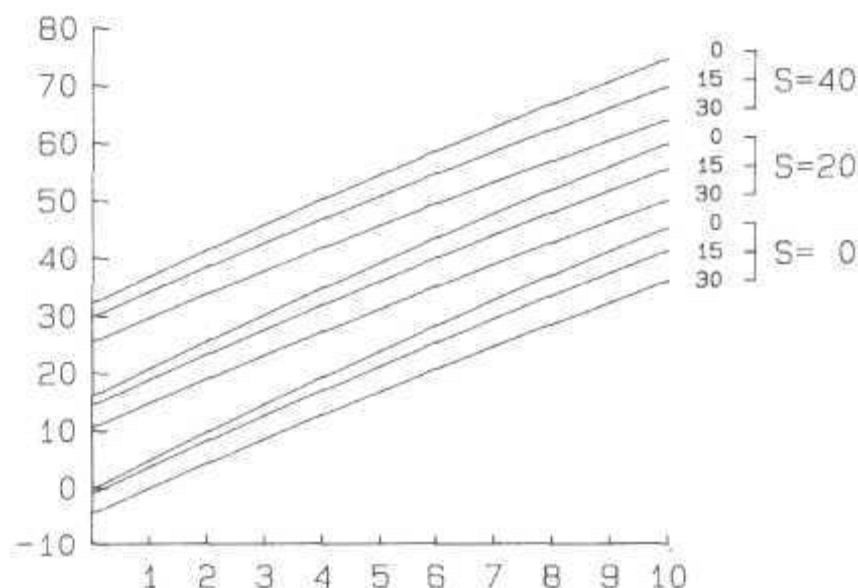


Figure 1.13 : Variations de l'excès de masse volumique des eaux de mer avec la pression. Courbes correspondant à différentes températures et salinités. L'excès de masse volumique est en kg. m^{-3} ; la pression en hectobar (1 hectobar correspondant à peu près à 1 km de hauteur d'eau) (Copin-Montégut. 1696).

4.2.3. Calcul :

La masse volumique dépend de la température, de la pression et de la salinité, et c'est à partir de ces paramètres, à l'aide de l'équation d'état de l'eau de mer publiée par l'UNESCO (1981), qu'on la calcule. Un exemple de l'algorithme EOS 80 (Equation of State 1980) est présenté dans l'Annexe A.

4.3. La température potentielle :

La pression augmente en suivant le trajet de l'écoulement d'une masse d'eau qui a acquis ses caractéristiques de température et de salinité en surface. En profondeur la température de cette masse d'eau, isolée des influences externes, s'élève sous l'effet de la compression isentropique. Cet effet, minime, passe généralement inaperçu à l'observation directe. Mais il se traduit parfois par une inversion du gradient vertical des températures lorsque les eaux sont homogènes sur une grande épaisseur (Copin-Montégut. 1996) (voir *figure 1.14*). À une profondeur de 8Km l'augmentation de la température, sous l'effet de la compression isentropique, est presque de 0.9°C (Stewart. 2007). (Voir *figure 1.15*).

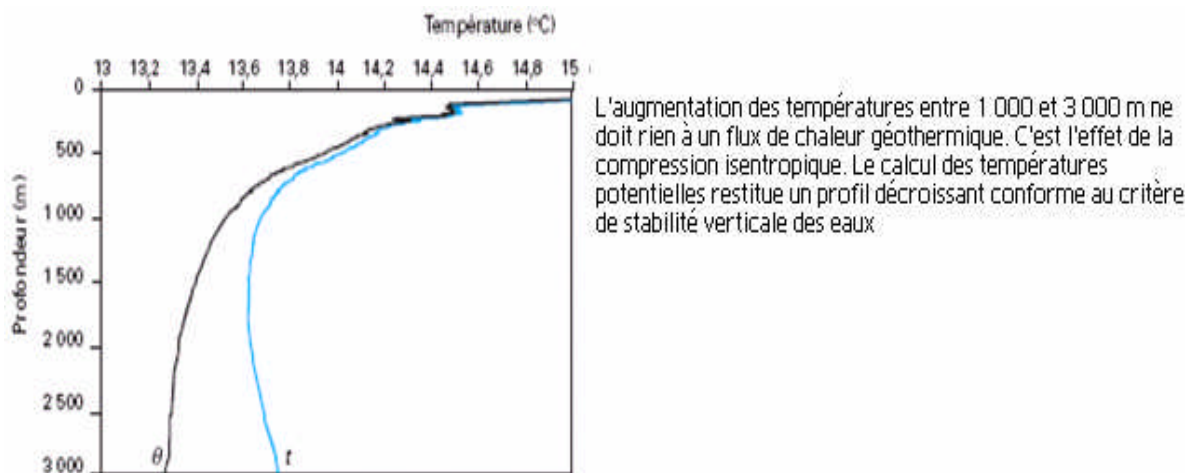


Figure 1.14: Températures in situ t et températures potentielles obtenues entre 0 et 3000 m de profondeur à une station de Méditerranée orientale (lat. $37^{\circ} 29.49$ N, long. $19^{\circ} 00.65$ E) (Copin-Montégut. 2006).

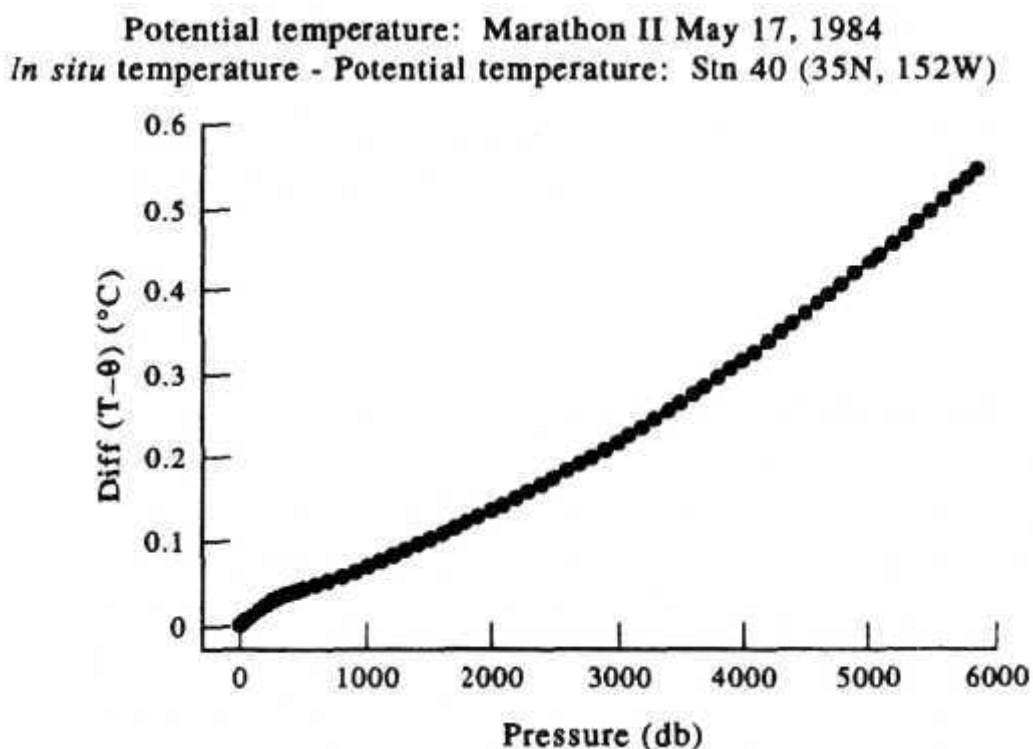


Figure 1.15: Différence entre la température in situ (T) mesurée à l'aide de la sonde CTD et la température potentielle pour une station profonde au Nord de l'océan Pacifique (35° N, 152° W). (Data from Martin et al., 1987.). (Emery et Thomson. 2004).

On élimine l'effet de compression isentropique en calculant la température potentielle θ . C'est la température qu'acquerrait un échantillon d'eau de mer de salinité S , de température t et soumis à la pression p , s'il était amené de manière isentropique à une pression de référence p_r . θ est donné par l'intégration de l'expression :

$$\theta_{(S,t,p)} = t + \int_p^{p_r} \left(\frac{\partial t}{\partial p}\right)_s dp$$

Avec $\left(\frac{\partial t}{\partial p}\right)_s$ taux de décroissance adiabatique G

La température potentielle est habituellement calculée pour la pression de référence $p_r = 0$ (c'est-à-dire pour des échantillons ramenés à la pression atmosphérique normale).

Pour comparer de manière plus précise les caractéristiques d'eaux profondes, on calcule parfois les températures potentielles pour des pressions de référence 1000, 2000, 3000 dbar, etc. Ces températures potentielles s'appellent $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, etc. (Copin-Montégut, 1996).

Un algorithme de calcul de G et de θ est disponible dans l'annexe A.

Chapitre 2

La sonde, description et mode de fonctionnement

1. La description :

1.1. La sonde « ocean seven 316 » :

Dans sa configuration standard cette sonde est équipée de 07 capteurs. Ces capteurs et leurs caractéristiques sont cités dans le *tableau 2.1* et la *figure 2.1*.

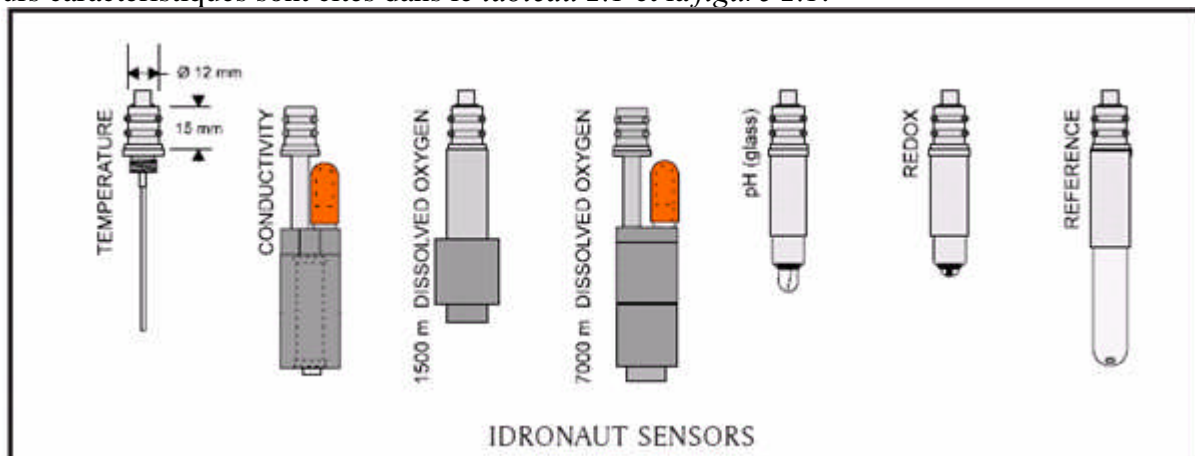


Figure 2.1 : Les 07 capteurs de la sonde OCEAN SEVEN 316

Tableau 2.1: caractéristiques des capteurs

SENSOR SPECIFICATIONS							
	Range		Accuracy		Resolution		Time Constant
Pressure	0.. 1000	dbar*	0.05	% full scale	0.03	%	50 ms
Temperature	-3.. +50	°C	0.003	°C	0.0007	°C	50 ms
Conductivity	0.. 64	mS/cm	0.003	mS/cm	0.001	mS/cm	50 ms (at 1m/second flow rate)
Oxygen	0.. 25	ppm	0.1	ppm	0.01	ppm	3 s (in air)
	0.. 250	% sat.	1	% sat.	0.1	% sat.	3 s
pH	0.. 14	pH	0.01	pH	0.001	pH	3 s
Redox	-1000.. +1000	mV	1	mV	0.1	mV	3 s
Auxiliary inputs	0.. 5000	mV	1	mV	0.076	mV	50 ms (6 auxiliary analogue inputs)

La température, la pression et la conductivité sont mesurées directement, et à partir de ces données acquises par les capteurs, d'autres paramètres comme : la salinité, la masse volumique, la température potentielle, la masse volumique potentielle, la vitesse du son, la profondeur (pour une version CTD) sont calculés à l'aide des algorithmes fournis avec le système de la sonde.

Les capteurs sont situés dans la partie inférieure de la sonde et sont protégés contre les accidents par une cage de Titane. Sur la partie supérieure, se trouvent trois connecteurs servant à son alimentation électrique (câble électroporteur ou batteries), l'émission et la réception des données avec la D.U, et au pilotage de la fermeture des bouteilles de prélèvement si elle est connectée à une rosette. La machine est équipée d'un bouton magnétique ON/OFF, qui est utile quand elle exécute des cycles d'acquisition en mode sans surveillance « unattended mode ». Il permet à l'opérateur à déployer facilement une sonde préconfigurée qui, sur le site d'échantillonnage, sera mise en marche à l'aide de ce bouton (Voir *figures 2.2* et *2.3*).

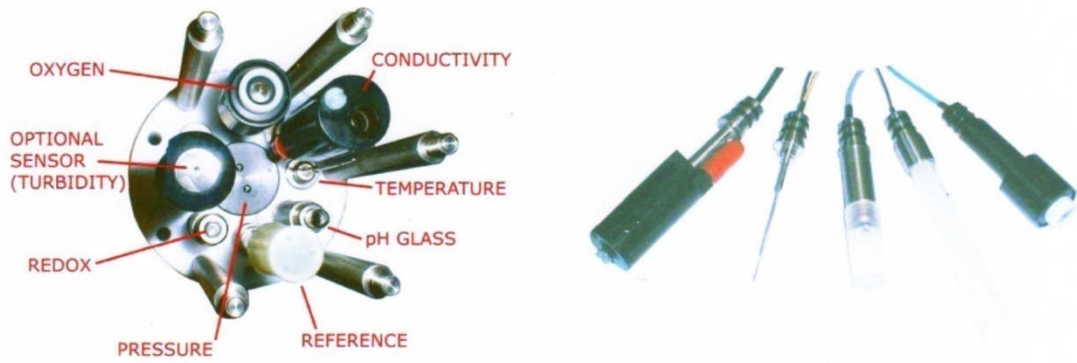


Figure 2.2: les différents capteurs de la sonde et leur emplacement.
(Operator's manual, ocon seven 316 plus probe).

100 MM DIAMETER - AISI 316 L or TITANIUM

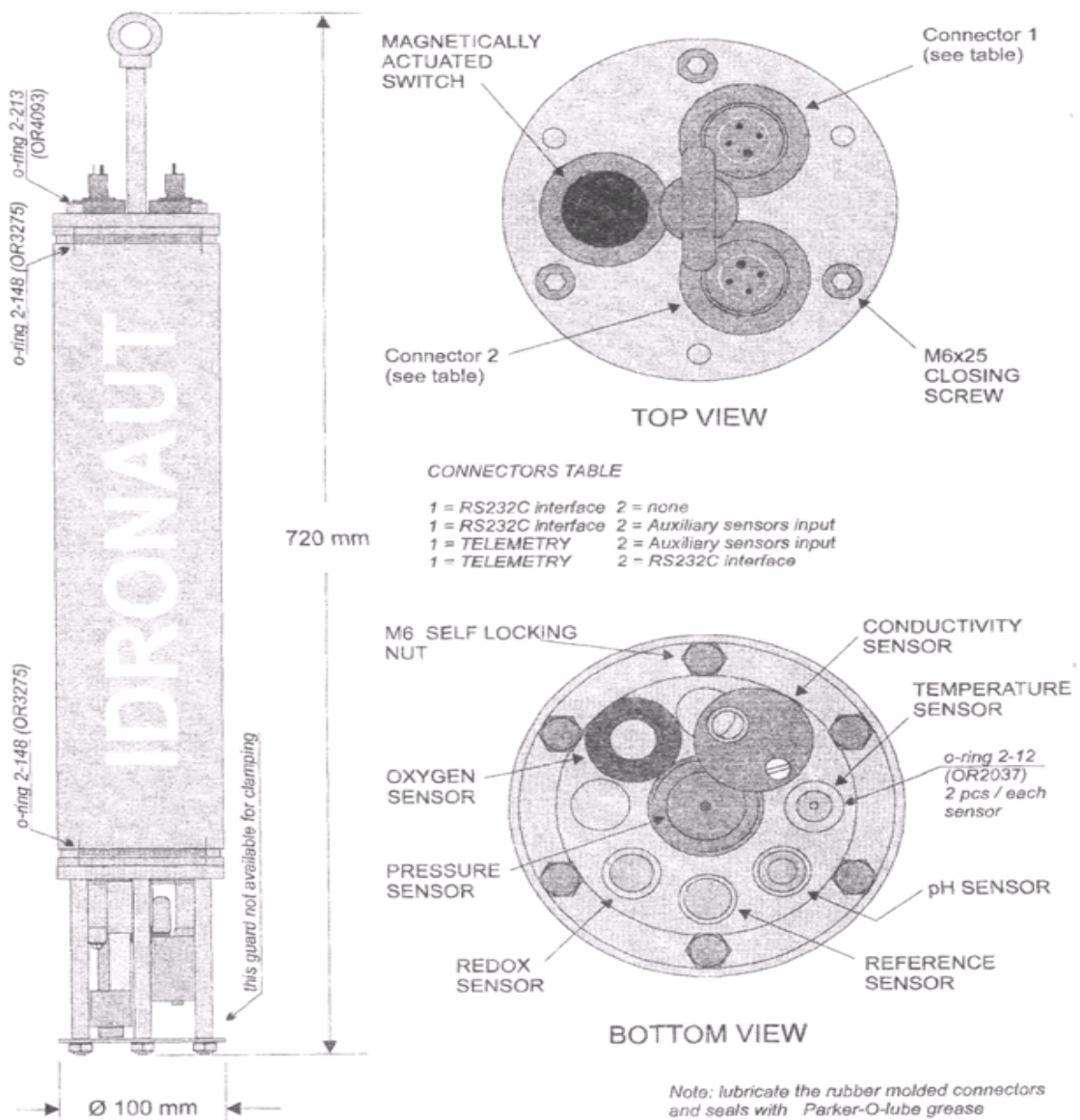


Figure 2.3: les dimensions les constituants de la sonde.
(Operator's manual, ocon seven 316 probe).

1.2. Les interfaces de la sonde :

La sonde est équipée de 02 interfaces matérielles : la télémétrie et la RS232C.

- **L'interface de la télémétrie** : cette interface nécessite l'utilisation de l'unité de commande ou D.U. « deck unit » qui alimente la sonde, décode les données issues de la sonde et envoie les données à la sonde. Son utilisation est indispensable pour l'acquisition de données en temps réel.
- **L'interface de RS232C** : Cette interface permet une connexion directe entre la sonde et un pc. Elle est préférable quand la sonde est utilisée en mode d'auto-enregistrement de données pour les acquérir en fonction de temps ou en fonction de la profondeur, ou en laboratoire pour accomplir sa calibration ou sa maintenance.

1.3. Les modes de fonctionnement :

La sonde a 02 modes de fonctionnement : le mode VERBOSE et le mode NON-VERBOSE.

- **Le mode VERBOSE** : Ce mode facilite l'utilisation de la sonde à l'aide d'un menu. Toutes les fonctions qu'elle accomplit sont exécutables en les sélectionnant parmi celles qui sont affichées sur l'écran. Une hiérarchie de sous-menus est utilisée pour subdiviser les fonctions selon leurs rôles.
- **Le mode NON-VERBOSE** : Ce mode permet une commande très conviviale au point de vue systématique. Par de courtes commandes, 02 lettres en majuscule suivies d'un « Line Feed », le pc peut commander toutes les fonctions exécutables par la sonde.

2. L'installation et le démarrage :

2.1. Installation de la batterie :

Pour l'installation de la batterie il faut utiliser 10 piles de type C, 15 volts. La batterie connectée à la sonde et toute seule est présentée dans la *figure 2.4*.

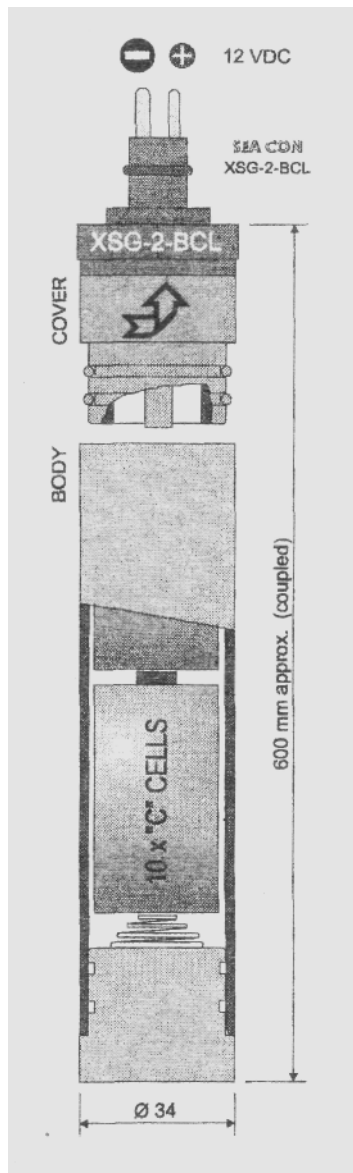


Figure 2.4 : Le boîtier des piles à gauche et la batterie connectée à la sonde à droite.
(Operator's manual, ocean seven 316 plus probe).

2.2. Installation de la D.U « Deck Unit »

Description

La D.U alimente l'unité sous-marine par un courant continu, décode les données reçues et les fait suivre à un pc, et transmet les données issues du pc à la sonde. La sonde est alimentée à partir de la D.U en 220 volts D.C



Figure 2.5: La D.U. (Operator's manual, telemetry deck units).

Le panneau de face :

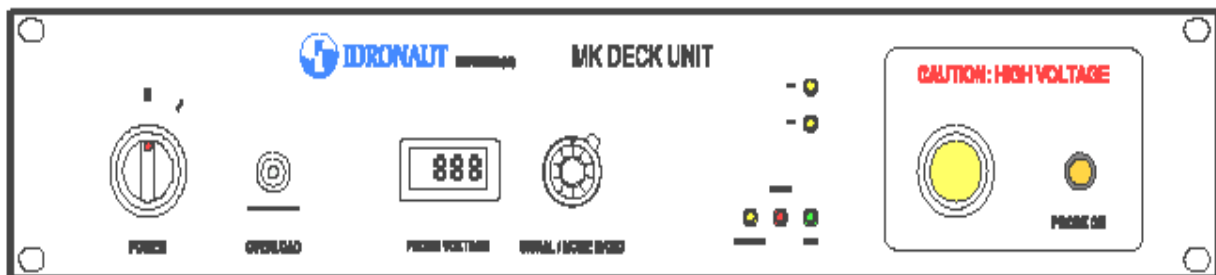


Figure 2.6 : Le panneau de face de la D.U. (Operator's manual, telemetry deck units).

1. POWER : ce bouton permet la mise en marche la sonde.
2. OVERLOAD : ce bouton disjoncteur de sécurité contrôle le courant de l'unité sous-marine, et s'il dépasse 0.5 A pour plus d'une minute il interrompra l'alimentation.
3. PROBE VOLTAGE : cet afficheur montre la tension du courant continu présent dans l'unité sous-marine.
4. SIGNAL /NOISE RATIO : ce bouton permet le réglage précis de la communication de la télémétrie par le réglage du rapport signal /bruit.
5. STAND-BY **yellow** LED (light-emitting diode) (diode électroluminescente): s'allume quand la D.U. est en marche.
5. ALARM **red** LED: s'allume quand il y a une absorption anormale du courant via le câble reliant la D.U. à la sonde.
6. RUN **green** LED: s'allume quand l'unité sous-marine fonctionne correctement.
7. Rx **Yellow** LED : clignote quand la D.U. reçoit des caractères de l'unité sous-marine.
8. Tx **yellow** LED: clignote quand la D.U. transmet les caractères reçus de pc à l'unité sous-marine.
9. PROBE ON : ce bouton permet d'activer l'alimentation de l'unité sous-marine. Immédiatement après avoir poussé ce bouton sa lumière s'allume. Les lumières des 03 LED sont utilisés en conjonction avec le bouton PROBE ON pour vérifier le fonctionnement de l'unité sous marine.
10. PROBE ON **amber** light : s'allume une fois la tension est appliquée au connecteur arrière BNC.

Le panneau arrière :

Figure 2.7: Le panneau arrière de la D.U. (Operator's manual, telemetry deck units).

1. SEA CABLE BNC : ce connecteur permet la connexion entre la D.U. et le « SEA CABLE » du bord du navire.
2. PC INTERFACE : permet la connexion avec le pc ;
3. AC INPUT : cette tâche permet l'alimentation par le courant alternatif à travers le câble consacré.
4. AC SELECTOR : permet à l'opérateur de sélectionner parmi 115v CA et 220v CA.

Installation :**Le contrôle de la sonde par la D.U.**

On va décrire comment installer et accomplir le test préliminaire et final pour communiquer la sonde au pc au moyen de la D.U.

On installe le programme REDAS et on utilise la fonction "terminal" disponible dans le menu "utility" ou bien on exécute le programme « Terminal Emulation ».

On connecte la D.U. au pc à l'aide du câble RS232C, et si le pc n'a pas de port RS232C on utilise un adaptateur USB/RS232C.

On connecte la sonde à la D.U. par le SEA CABLE.

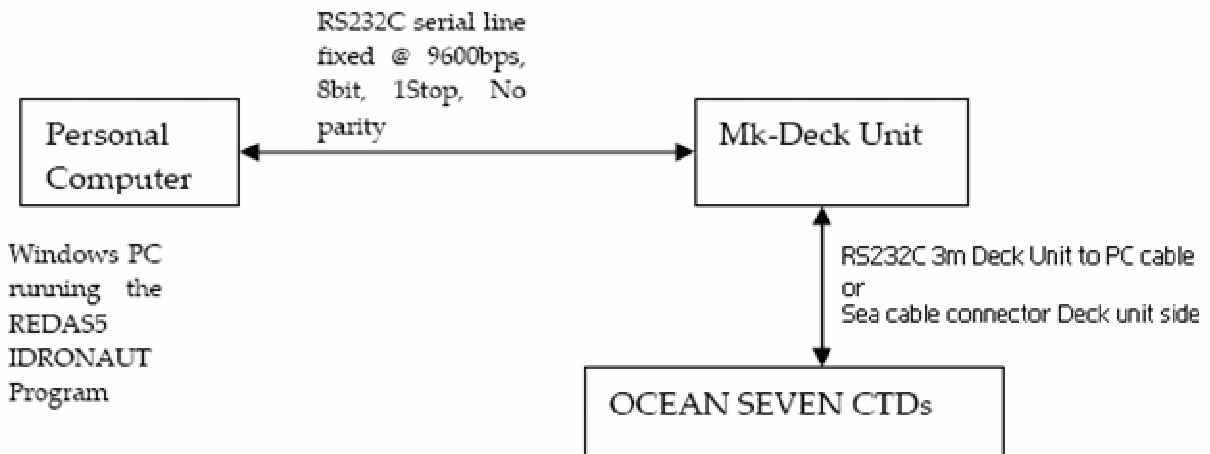


Figure 2.8: schéma indiquant les connexions entre la sonde, D.U. et le pc. (Operator's manual, telemetry deck units).

Après l'installation de toutes les connexions on procède comme suit :

- On allume la D.U.
- On pousse sans lâcher le bouton "probe ON" et on observe les trois LED à son côté gauche.
- Après quelques secondes pendant lesquelles les LED peuvent clignoter, ces dernières vont se stabiliser. Si la LED "alarm" est allumée il faut libérer le bouton poussé et contrôler la connexion avec l'unité sous marine car il y a un court circuit dans le câble qui les relie. Si la LED « stand-by » est allumée la sonde n'est probablement pas connectée. Et si le bouton « run » s'allume l'unité sous-marine fonctionne correctement et les messages d'entrées doivent apparaître sur l'écran du pc, sinon il faut revenir au point de démarrage et contrôler toutes les connexions entre le PC, la D.U. et l'unité sous marine.

Après le contrôle préliminaire on passe au contrôle final où la seule différence est l'utilisation d'un « sea cable » du bord du navire au lieu du court câble du laboratoire.

Pour effectuer des mesures en temps réel, il faut assurer la connexion entre le câble électroporteur et le câble qui relie le treuil à la D.U. Pour cela, le treuil utilisé doit comporter un système de contact tournant « slip ring ». (Voir *figure 2.9*).

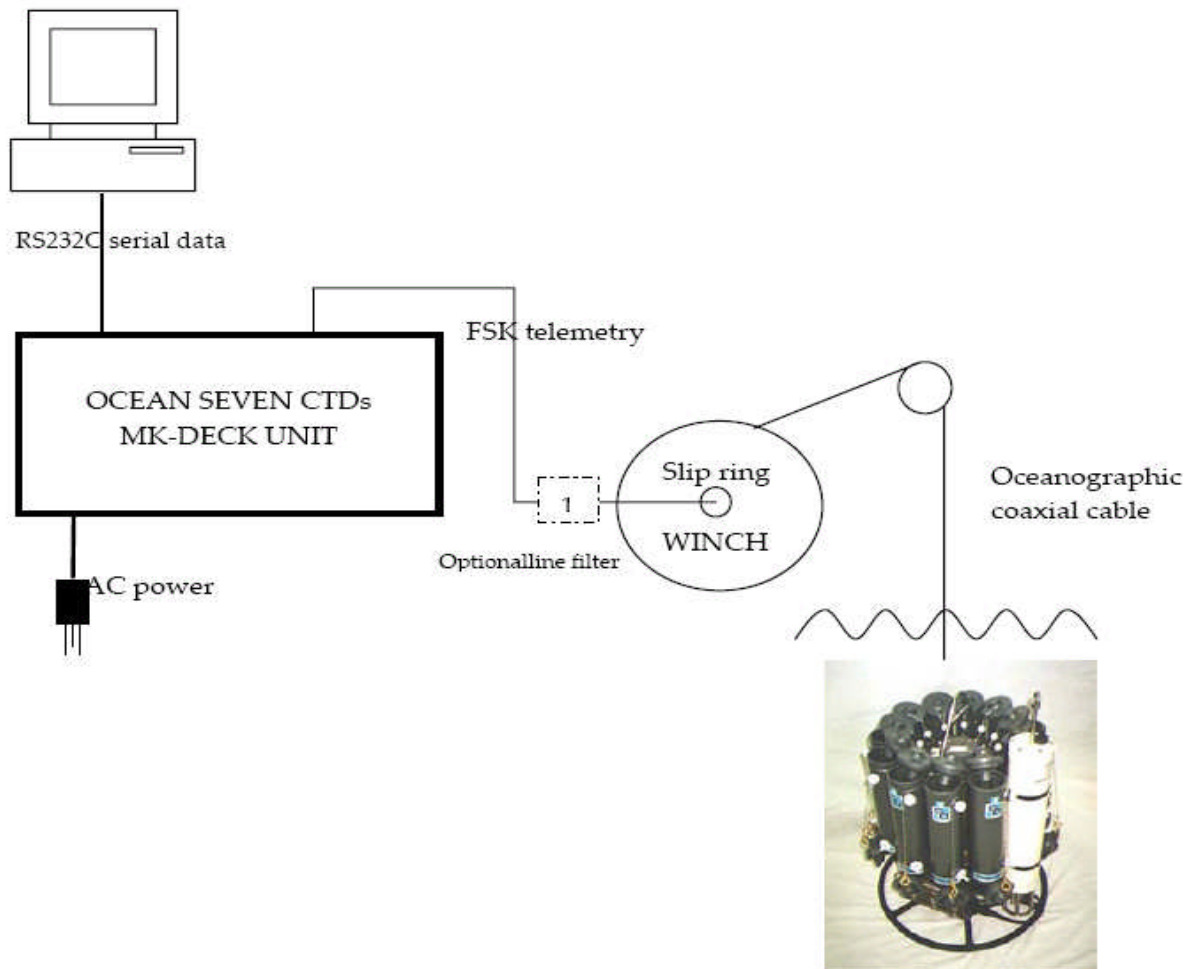


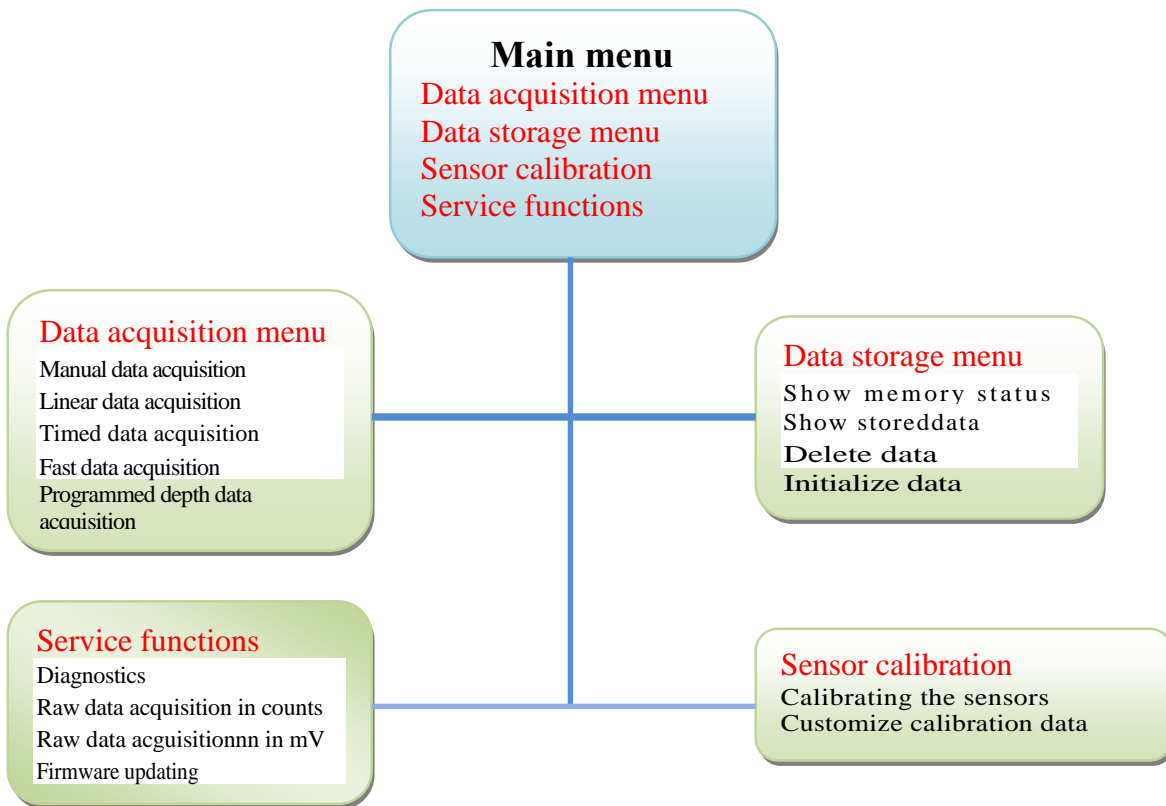
Figure 2.9: Schéma indiquant une installation du système de mesure en temps réel au moyen de la sonde. (Operatoir's manual, telemetry deck units).

3. Le menu principal :

Après une installation correcte de toutes les connexions de la sonde, son système affichera le menu principal, à travers lequel on pourra contrôler la sonde et avoir conscience de son comportement, et on aura accès à chacune de ses fonctions en tapant le numéro qui la précède.

<0> [SHUT] Shutdown	: Éteindre
<1> [DATA] Data acquisition	: Acquisition de données
<2> [MEMO] Memory	: Gestion de la mémoire
<3> [CALB] Calibration	: Calibration
<4> [SERV] Service	: Entretien
<5> [OPMD] Switch to non-verbose mode	: Aller au mode NON-VERBOSE

Le schéma suivant représente le menu principal et les sous-menus dérivants.



3.1 Acquisition de données « data acquisition »:

La fonction d'acquisition de données collecte les données de tout capteur et convertit chaque paramètre en son unité physique, en appliquant des formules basées sur les données de calibration. Les paramètres concernés par cette fonction sont la température, la pression et la conductivité pour les mesures CTD. Autres paramètres, comme la salinité et la densité, ne sont pas obtenus à partir des mesures mais sont calculés à l'aide des programmes installés dans la sonde utilisant les résultats des mesures comme données.

Le menu d'acquisition de données :

- <0> [DAUP] Leave data acquisition menu : **Quitter le menu d'acquisition de données.**
- <1> [DAMD] Manual data acquisition : **Acquisition manuelle**
- <2> [DALD] Linear data acquisition : **Acquisition linéaire (en fonction de la profondeur)**
- <3> [DATD] Timed data acquisition : **Acquisition en fonction du temps**
- <4> [DAFD] Fast data acquisition : **Acquisition rapide**
- <5> [DAPR] Programmed depth data acquisition : **Acquisition en fonction de profondeurs programmées.**

<1> **Acquisition manuelle « Manual data acquisition » :**

À l'aide de cette fonction la sonde montre l'acquisition en temps réel, et elle enregistre les données à la demande.

<2> L'acquisition linéaire de données « Linear data acquisition »:

Avant de mettre la sonde à l'eau, il faut programmer l'intervalle de profondeur (en decibar) entre un cycle d'acquisition et un autre, ainsi que le nombre de série de données à acquérir à chaque point d'échantillonnage. Après la programmation de ces valeurs, ainsi que le mode de mesure à la descente ou à la remontée, la sonde est prête à commencer ces profils. Une fois sur le site de mesure, la sonde est mise en marche : le bouton magnétique en position ON, elle est prête à effectuer les mesures, en mode d'acquisition de données à la descente, elle commence cette acquisition dès que le capteur de pression enregistre une augmentation de la profondeur (pression). L'acquisition s'arrête dès que la sonde capte une diminution de pression (remontée). En surface, on peut l'éteindre à l'aide du bouton magnétique et le fichier concernant les données acquises pour ce profil est fermé, sinon sa remise à l'eau provoquerait le démarrage d'une nouvelle acquisition (nouveau profil). Chaque nouvelle acquisition de données aura son nouveau header (en tête). Cette opération peut être exécutée à plusieurs reprises jusqu'à l'épuisement de la batterie où jusqu'à ce que la mémoire de la sonde soit pleine.

Les données acquises sont stockées dans la mémoire de la sonde où on peut les visualiser à la fonction «Show stored data » disponible dans le menu de stockage des données.

<3> L'acquisition de données en fonction du temps « Timed data acquisition »:

Grâce à sa capacité d'exécution des cycles de mise en marche et d'arrêt automatique, la sonde peut acquérir des données pour une longue période en tant qu'enregistreur de données.

Dans ce mode, la sonde exécute des cycles d'acquisitions de données suivant un intervalle du temps que l'opérateur doit programmer entre deux mesures consécutives. L'opérateur doit programmer aussi :

- Le temps à dépenser avant le démarrage de l'acquisition des données et s'il est supérieur à 30 secondes, la sonde le dépenserait en mode OFF. Dans le cas où cette option est choisie.
- Le mode économique d'énergie (l'alimentation s'arrête entre les acquisitions des données) ou le mode normal (alimentation continue). Ces choix dépendent de l'autonomie de la batterie. Le mode économique d'énergie est programmable seulement si l'intervalle du temps choisi est supérieur à 30 secondes.
- Le nombre maximal de série des données à acquérir (qui dépend de la mémoire libre).
- Le nombre de série des données à acquérir à chaque point d'échantillonnage.

<4> L'acquisition rapide de données « Fast data acquisition » :

Cette opération est utile lors de l'exécution d'un micro profil, la sonde collectionne les données à un temps maximal sans les afficher. L'opérateur doit programmer le nombre maximal des données à acquérir.

<5> L'acquisition de données à des profils programmés « Programmed depth data acquisition » :

La sonde possède 10 profils programmés par défaut. L'opérateur doit choisir l'un d'eux qui soit disponible et configuré dans la mémoire de la sonde, sachant que chaque profil peut comprendre jusqu'à 50 points d'échantillonnage. Les cinq profils configurés sont disponibles en annexe C.

La procédure de reconnaissance des données :

A la fin de toute fonction de l'acquisition des données, les données sont stockées temporairement et la sonde montre sur l'écran du PC les nombres de CAST (stations, ou profils), de données et des séries enregistrées. L'opérateur doit confirmer leur stockage.

Récupération des données stockées :

Les données stockées dans la sonde doivent être récupérées, et la fonction UPLOAD disponible dans le menu SERVICE permet l'exécution de cette procédure. Elles peuvent être aussi converties en format ASCII pour les traiter.

3.2. Le stockage des données :

La sonde est équipée d'une mémoire SRAM non volatile capable de stocker jusqu'à 32000 séries de données (chaque série se compose de la date, l'heure et les mesures des capteurs). Cette mémoire est organisée en 2 parties principales, une stocke les informations du CAST et l'autre stocke les enregistrements des données. La mémoire standard permet de stocker jusqu'à 224000 enregistrements de données.

Les fonctions de la gestion de la mémoire :

On choisissant la fonction «memory» du menu principal, la liste suivante apparaît :

- <0> [MEUP] Leave memory menu : **quitter le menu de mémoire.**
- <1> [MESM] Show memory status : **montrer l'état de la mémoire.**
- <2> [MESD] Show stored data : **montrer les données stockées.**
- <3> [MEDM] Delete data : **supprimer les données.**
- <4> [MEIN] Initialize data : **initialisation de la mémoire de données.**

<1> Montrer l'état de la mémoire « Show memory status » :

Cette fonction montre toutes les informations à propos de l'état de la mémoire comme sont affichées dans le message suivant:

```
OCEAN SEVEN 316 data memory statistics - Fri March 31 15:49:45.6 95

-----
Type MaximuUsedFree
Cast area      100   3  97
Data area (Data set)  32000  1015  30985
Data area (Data record) 224000  7105  216895
----- Data area usage -----
000KByte:.....XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
064KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
128KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
192KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
256KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
320KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
384KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
448KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
512KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
576KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
640KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
704KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
768KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
832KByte:XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
X = 1024 free bytes . = 1024 used bytes

-----
Type <any key>To continue
Stored casts
-----

| Data | Parameters | Acquisition

Cast | Record | Acquired | Stored | Data Set | Type | Area code
Date&Time
1 35 10 7 5 MANUAL manual Thu
Dec 21 17:14:53.8 95 2 70 10 7
10 TIMED ER-0105 Thu Dec 21 17:15:39.8 95
3 7000 10 7 1000 TIMED ER-0105 Fri Dec
22 10:24:13.8 95
```

A- Les statistiques de la mémoire

- Le nombre maximal des CAST stockables
- Le nombre des CASTs stocké
- Le nombre des CASTs libres
- Le nombre des enregistrements de données
- Le nombre des séries de données stockables
- Le nombre des enregistrements de données stockés
- Le nombre des séries de données stockées
- Le nombre des séries de données libres

B- CAST statut

- 1- **CAST** : Les nombres progressifs des CAST stockés.
- 2- **Data record** : Nombre des données stockées par chaque CAST.
- 3- **Paramètre acquired** : Nombre des paramètres acquis, montré pour chaque série de données.
- 4- **Paramètre stored** : Nombre des paramètres stockés pour chaque série de données.
- 5- **Data set** : Nombre des séries de données pour chaque CAST.

6- Acquisition type :

- Manuel

- Linéaire
- Chronométrie
- Rapide
- En profil programmé
- Brute

7- Acquisition area code : Code d'identification de la zone d'échantillonnage.

8- Acquisition date&time : Date et heur du démarrage d'acquisition.

<2> Montrer les données stockées « Show stored data » :

Cette fonction permet de visualiser les données stockées, l'opérateur doit choisir un CAST pour afficher ses données.

<3> La suppression des données « Delete data » :

Cette fonction permet à l'opérateur d'effacer les données stockées dans la mémoire. La suppression peut être accomplie en 2 manières :

a- Supprimer toute un CAST.

b- Supprimer une série de données dans un CAST choisi.

<4> Initialisation de la mémoire « Initialize data » :

Cette fonction permet l'initialisation des espaces de la mémoire. Après l'initialisation, toutes les données seront perdues.

3.3. La calibration des capteurs :

Cette fonction est beaucoup plus utile pour le fabricant lors des procédures de calibration, sachant qu'une calibration usine, faite par le fabricant une fois par an est recommandée. Les résultats de la calibration sont représentés dans le certificat de calibration qui contient les coefficients (un exemplaire du certificat de la dernière calibration est disponible en annexe D). Et pour l'opérateur cette fonction est utile pour la vérification des coefficients des polynômes.

3.4. Le menu d'entretien « service menu » :

Toutes les fonctions d'entretien sont disponibles sur ce menu. Une fois appelée ce message apparait :

```
IDRONAUT PROBE 316 SERVICE MENU - [SW 5.3]
<0> [SEUP]-Return to the Main Menu
<1> [CONF]-Configuration
<2> [DIAG]-Diagnostics
<3> [RAWC]-Raw data acquisition in counts
<4> [RAWM]-Raw data acquisition in mV
<5> [FWUP]-Firmware updating
end >
```

<1> La configuration « Configuration » :

Cette fonction permet la configuration des paramètres dont dépendra le comportement de la sonde.

Le menu de configuration:

```

<0> [CNUP]   Leave    configuration menu.
<1> [CNDA]   Data    acquisition parameters.
<2> [CNOP]   Operating parameters.
<3> [CNAP]   Acquired parameters.
<4> [CNPR]   Programmed depth acquisition.
<5> [CNDT]   Change  current Date&Time.
<6> [CNFW]   Updating the firmware CRC code.
cnd>

```

<1> Les paramètres d'acquisition de données « Data acquisition parameters » :

Cette fonction permet la configuration des paramètres utilisés par les fonctions d'acquisition de données. Par exemple la durée entre 02 mesures consécutives, le choix de la fonction de traitement des données brutes, le nombre de mesure pour faire la moyenne etc.

<2> Les paramètres de fonctionnement « Operating parameters »

Cette fonction permet la configuration des paramètres utilisés par les fonctions de la gestion du système de la sonde pour la faire fonctionner. Quelques paramètres sont : Le test du voltage de la batterie et sa limite inférieur, les paramètres d'affichage des données, la commande automatique de la rosette et la réception de données du courantomètre en cas d'installation etc.

<3> Les paramètres acquis « Acquired parameters » :

Cette fonction permet la modification, l'ajout et la suppression d'un ou plusieurs paramètres de la liste des paramètres d'acquisition. Un exemple des paramètres configurés, comme affiché par la sonde, est le suivant:

Configure the parameter to acquire		
Index	parameter	
01	depth	8
02	temp	9
03	cond	10
04	sal	255
05	dens	255
06	O ₂ ppm	255
07	O ₂ sat %	
11		
08	pH	12
09	eH	13
CMD: (I)nititalize, (A)dd, (D)elete, (M)odify, (Q)uit		

<4> La configuration des profils de profondeurs programmées « Programmed depth acquisition »:

5/10 profils sont configurés, cependant tout les profils peuvent être configurés ou modifiés au moyen de cette fonction. L'opérateur doit choisir le profil à configurer ou à modifier. Pour la modification l'opérateur doit entrer le code d'identification du profil (de 1 à 10), en suite le nombre de points d'acquisition (de 01 à 50), et en fin il faut entrer la valeur de la profondeur pour chaque point d'acquisition.

<5> Changer la date et l'heure « Change current Date&Time »:

Cette fonction permet la modification de la courante date et heure.

<6> La mise à jour du code CRC « Updating the firmware CRC code »:

La mise à jour du code CRC code se fait seulement après une amélioration du « firmware ».

Pour plus d'information sur les paramètres configurables et leurs configurations consulter le manuel de la sonde.

<2> Les fonctions du diagnostic :

Grace à cette fonction, la sonde permet à l'opérateur de tester ses appareils.

<3> L'acquisition de données brutes en « counts » « Raw data acquisition in counts » :

Ce type est dévoué pour les fonctions du diagnostic et pour la calibration.

<4> L'acquisition de données brutes en millivolt « Raw data acquisition in mV » :

Ce type a le même rôle que celui de ci-dessus, seulement les données sont exprimées en millivolt.

4. La maintenance :

La maintenance de la sonde concerne surtout ces capteurs. Les procédures de maintenance nécessaires pour garder la sonde dans ces meilleures conditions de fonctionnement sont décrites au-dessous.

4.1. La maintenance du capteur de conductivité :

Les électrodes de la cellule de conductivité ne doivent pas être contaminés par les huiles, les poussés biologique ou tout matériau étranger pour obtenir une meilleur détermination de la conductivité. Pour les mesures de longue durée le fooling biologique et chimique altère la performance de la cellule de conductivité.

Pour optimiser la qualité des mesures, il faut nettoyer les anneaux de platinium de la cellule, par le coton-tige mouillé avec la solution de nettoyage du capteur de conductivité, en le tournant doucement contre ses surfaces internes. Il faut remplacer le coton-tige après le nettoyage de chaque anneau et il faut répéter l'opération jusqu'à la sortie du coton-tige en état complètement propre.

Quand le capteur de conductivité n'est pas utilisé pour long temps, il est gardé à sec et une fois ce capteur mis à l'eau, des bulles d'aire peuvent être attachées aux électrodes ; ce qui conduit à l'obtention d'une valeur de conductivité au-dessous de la vraie. Pour enlever ces bulles d'aire il faut nettoyer l'intérieur de la cellule de conductivité utilisant un coton-tige mouillé avec la solution de nettoyage du capteur de conductivité, en le faisant tourner doucement contre toute la surface interne de la cellule de quartz. Cette application va mouiller les électrodes ainsi réduire la tension de la surface de la cellule et diminuer considérablement le risque de piéger les bulles d'aire.

4.2. La maintenance du capteur de température :

Il faut nettoyer le capteur de température une fois par an, avec du papier-verre pour enlever les carbonates dont la présence va augmenter le temps de sa réponse.

En plus de ces procédures de maintenance, il faut rincer la sonde à l'eau douce et ses capteurs à l'eau distillée après chaque utilisation en mer.

Chapitre 3

La partie pratique

Cette partie ne représente pas un rapport de stage avec sa méthodologie, ses équipements, ses mesures, ses résultats et leurs discussions, mais seulement un essai de configuration, de customisation et de manipulation. Ce n'est qu'un essai à cause de la non-disponibilité d'embarcation munie d'un treuil électrique évitant les secousses pour procéder à un véritable profil vertical, car le risque de perdre la sonde étant grand dans ces conditions. De plus la sonde n'a pas été calibrée, comme le préconise le fabricant (une fois par an), les données obtenues concernant la conductivité notamment auront été erronées.

Dans cet essai de manipulation, on a procédé aux différentes configurations de la sonde pour effectuer des mesures sans surveillances en fonction de temps, dans le laboratoire de l'ISMAL à Sidi Fredj. Et on l'a immergée dans l'eau de mer, à la plage ouest de Sidi Fredj, pour effectuer des mesures en fonction du temps.

1. Les équipements :

- Une multiprise
- La sonde «IDRONAUT ocean seven 316 »
- La D.U. « MK Deck Unit ».
- Un ordinateur portable contenant le logiciel IDRODAC 316.
- La batterie externe de la sonde.
- Un câble pour alimenter la D.U
- Un câble pour alimenter le pc.
- Un câble pour assurer la connexion entre la sonde et la D.U. (câble du laboratoire)
- Un câble pour connecter la D.U. au pc.
- Un câble pour assurer la connexion entre la sonde et la batterie.

2. Le démarrage :

Après l'installation de toutes les connexions entre la sonde, la D.U et le pc, on a procédé comme suivant pour exécuter le démarrage :

- On a exécuté le programme IDRODAC 316.
- On a mis la D.U en marche à l'aide du bouton POWER.
- Après la stabilisation de la valeur du voltage sur l'afficheur, on envoyé le courant à la sonde à l'aide du bouton PROBE ON.
- On a mis la sonde en marche à l'aide du bouton magnétique. Cette action a provoqué l'affichage du message « probe on line » sur la fenêtre du programme.
- On a accès au menu principale de la sonde en mode VERBOSE après avoir tapé « <v> <t> et <ctrl > + <j> » (< > et + ne sont pas pris en considération).

3. La programmation :

Avant de programmer la sonde pour effectuer les mesures, on a visualisé et procédé en laboratoire toutes ses fonctions :

- Les types d'acquisition de données.
- Les fonctions de la gestion de la mémoire.
- La vérification des coefficients de calibration.
- La configuration.

Sur le menu principal on a choisi la fonction Acquisition de données « Data acquisition » en tapant <1>, où on a sélectionné l'Acquisition de données en fonction de temps « Timed data acquisition » (le seul type qui était applicable). On répondant au message de la sonde, on a programmé les paramètres suivants :

- L'intervalle de temps entre deux mesures consécutives.
- L'heure de démarrage des mesures.
- Les nombres maximaux de séries de données à acquérir.
- Le nombre de séries de données pour chaque point d'échantillonnage.

Après la programmation on a mis sonde on état OFF à l'aide de la fonction SHUTDOWN et du bouton magnétique. En suite on installé la batterie.

4. Sur le lieu de mesure :

On a immergé la moitié de la sonde dans l'eau de mer, on l'a laissée pour effectuer ses mesures. Après sa sortie de l'eau, on l'a rincée par l'eau douce ensuite les capteurs par l'eau distillée.

5. récupération des données :

Après les procédures d'installation et du démarrage, on a pu visualiser les données acquises à l'aide de la fonction « Show stored data » disponible dans le menu « Memory ». On a téléchargé le fichier de données à l'aide de la fonction « UPLOAD » disponible dans le menu « Service » de la fenêtre du programme IDRODAC. Et pour avoir ces données en fichier texte pour les traiter on les a converties au format ASCII à l'aide de la fonction « Convert to ASCII file » disponible dans le menu « UTILITIES » sur la fenêtre d'IDRODAC.

6. La présentation des données acquises :

L'analyse de la plupart des données océanographiques enregistrées nécessite une présentation visuelle pour faciliter l'interprétation. Les profils verticaux, les sections verticales, les cartes horizontales, les présentations des données en fonction de temps et les présentations reliant plusieurs paramètres acquis simultanément sont les présentations les

plus utilisées. Le développement des instruments électroniques avec leur capacité d'échantillonnage rapide peut changer la manière de présenter les données mais toujours sous le même principe.

Exemple de présentation des données :

Les données acquises lors de nos mesures sont erronées (une salinité de 17 psu en méditerranée !) parce que la sonde n'est pas calibrée, en plus on n'avait pas un profil représentable. Pour ces raisons on a choisi des données acquises au moyen de la même sonde au large d'Annaba. Les données de cette station sont disponibles en annexe B. Pour obtenir une présentation graphique, l'exécution du fichier texte (format ASCII) qui contient les données à partir de Microsoft Office Excel et à l'aide de la fonction Graphique disponible nous permet de tracer les présentations voulues. Les *figures 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5*, représentent ces données.

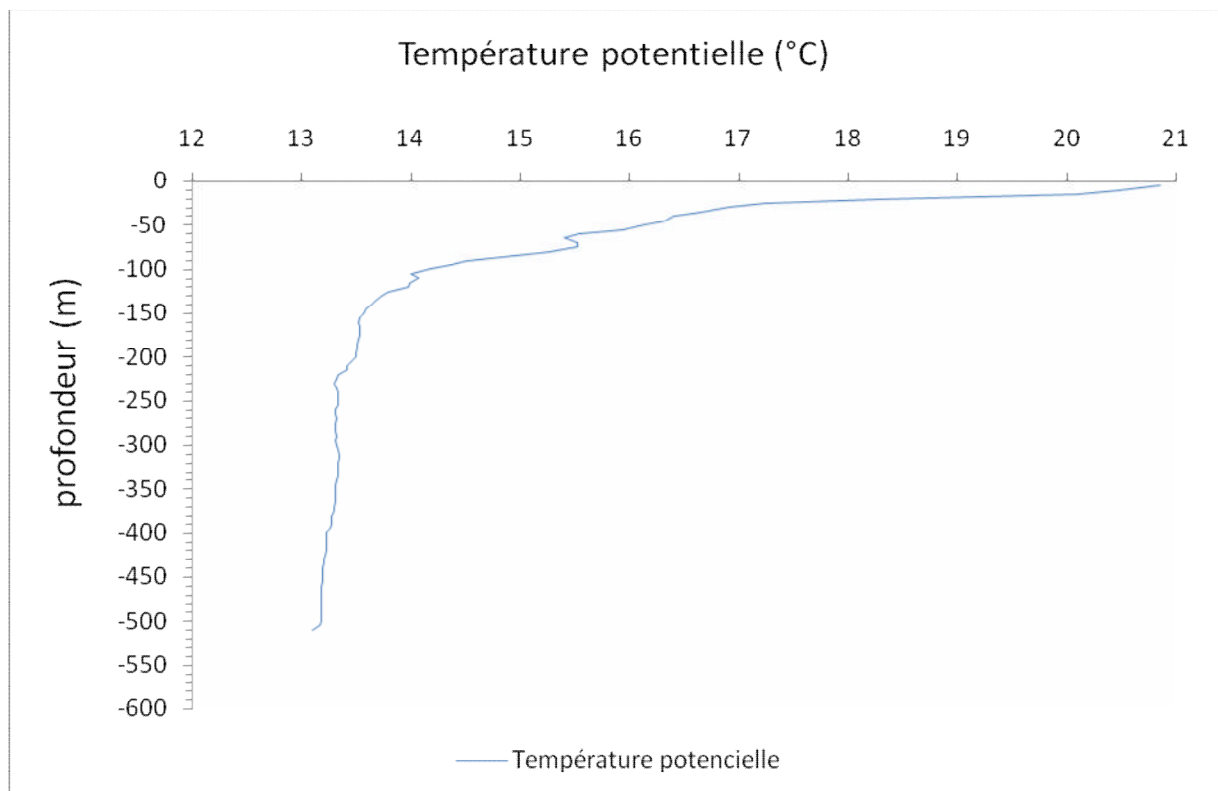


Figure 3.1: profil vertical de la température potentielle à la station 1.

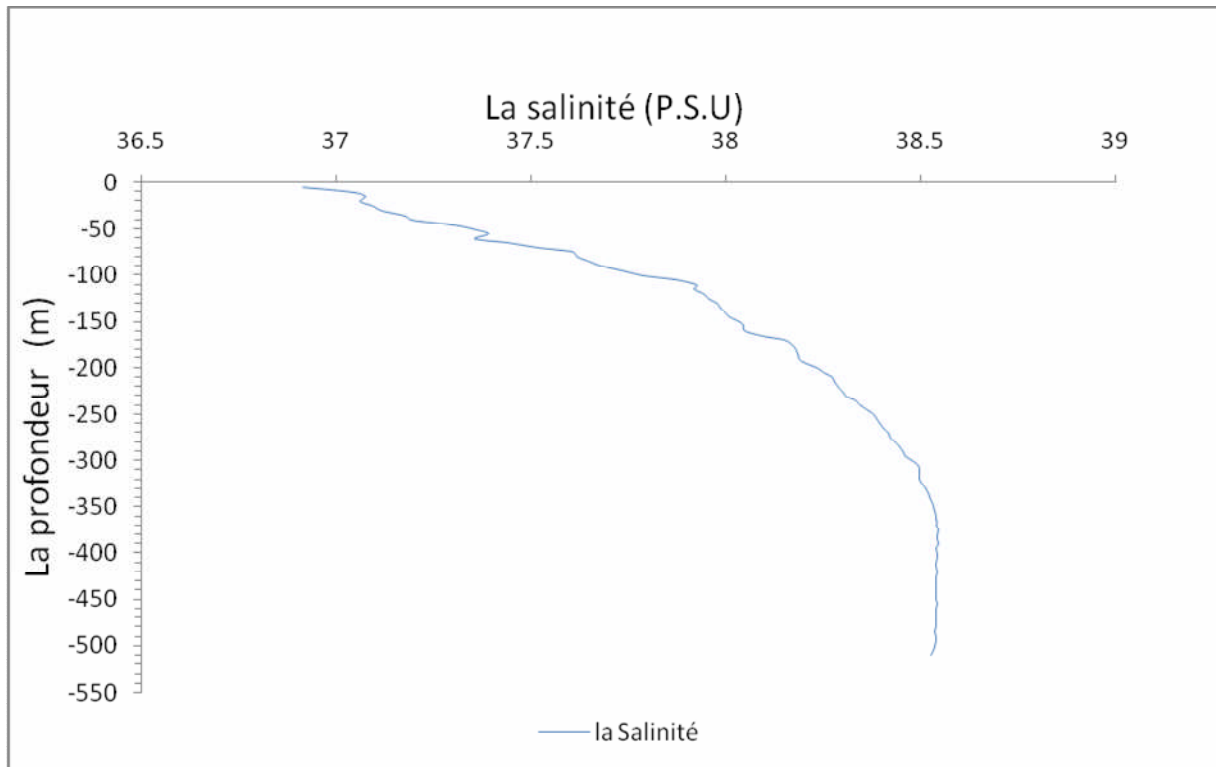


Figure 3.2 : profil vertical de salinité à la station 1.

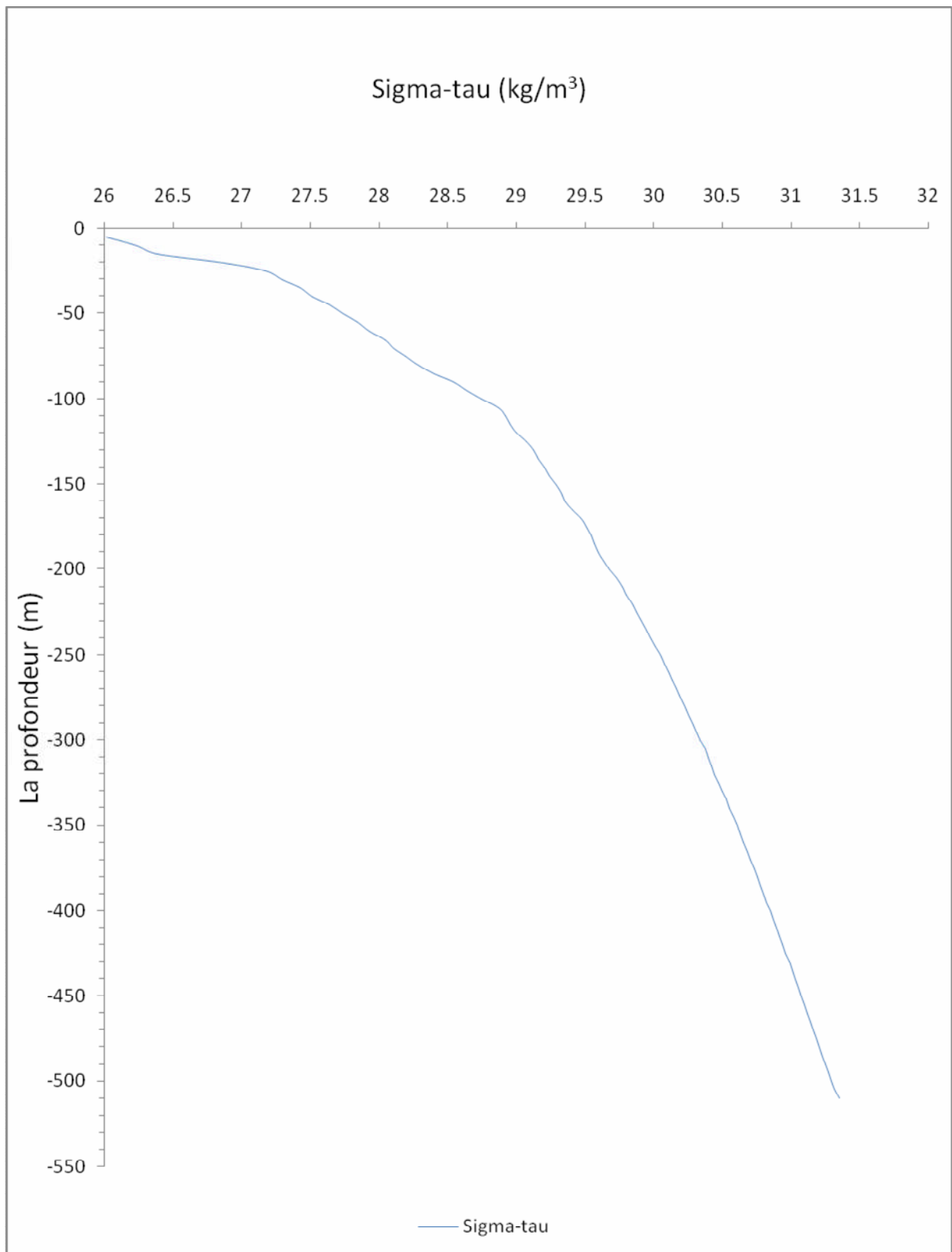


Figure 3.3 : profil vertical de la densité potentielle.

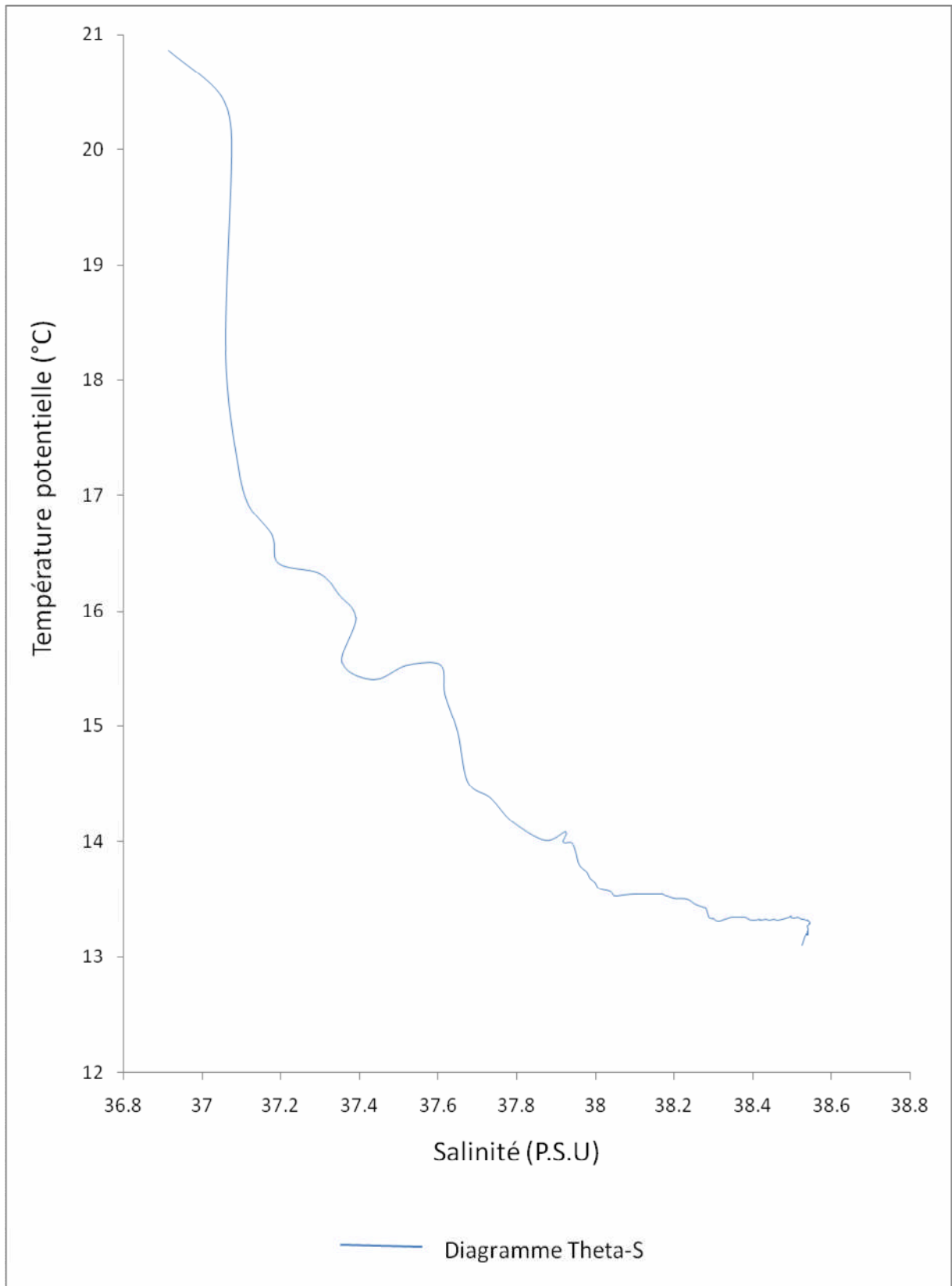


Figure 3.4 : Le diagramme température potentielle-salinité Theta-S.

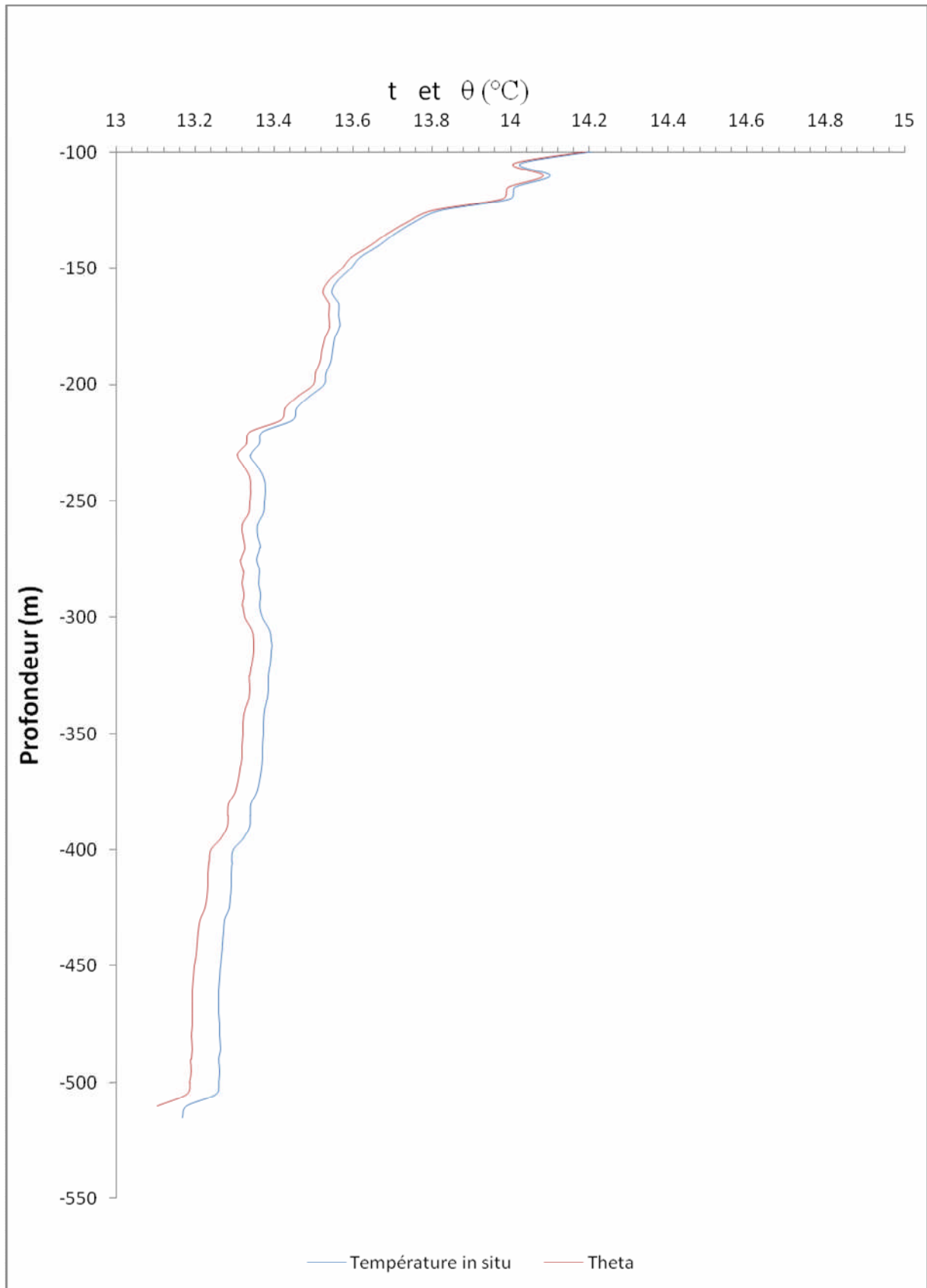


Figure 3.5 : profils verticaux de la température in situ (t) et la température potentielle (θ) à partir de 100 m de profondeur.

Conclusion

Dans les mesures de la sonde, la grandeur à mesurer est transformée par le capteur en un signal électrique, puis en donnée digitale brute. Cette donnée est convertie en une donnée physique exploitable l'aide des fonctions de traitement de données brutes à base de données de calibration. Grâce à la haute technologie des capteurs, du software, et du microprocesseur tous ces processus sont exécutés en fractions de seconde.

Pour mieux exposer les avantages de la sonde CTD, on prend l'exemple de la station ou CAST acquis par la sonde IDRONAUT Ocean seven 316 au large d'Annaba (disponible dans l'annexe B.) Le profil linéaire a une profondeur maximale supérieure à 500 m, et un intervalle de profondeur entre 02 mesures consécutives de 0.5 dbar, donc plus de 100 séries de données. La durée des mesures en cette station n'excède pas une vingtaine de minutes (sans compter la durée de la remontée de la sonde). Imaginant combien de temps prendrait une telle station si l'on effectuait des mesures classiques.

Cette rapidité d'acquisition permet l'obtention d'un grand volume de données, et s'il y manque de précision elles vont fourvoyer leur utilisateur, d'où l'adage anglo-saxon : « *no data is better than bad data* ». Avec une calibration régulière et une bonne maintenance, la sonde IDRONAUT Ocean seven 316 a une précision de 0.003 °C pour la température et 0.003 mS/cm pour la conductivité et 0.2% PE pour la pression. Ces précisions suffisent les besoins océanographiques.

Ce qui facilite l'utilisation de la sonde est que tous ses comportements sont commandés ou configurés par software : les paramètres à mesurer et à calculer, les modes d'acquisition de données, les options de mesure comme l'intervalle de temps etc. Selon le besoin des océanographes on peut choisir facilement le type d'acquisition nécessaire, entre l'acquisition manuelle en temps réel où les données sont affichées en directe sur l'écran, l'acquisition sans surveillance « unattended » en fonction de temps ou en fonction de la profondeur et l'acquisition en fonction des profils préprogrammés. Nous aurions voulu réaliser des mesures avec la sonde de l'ISMAL, si elle était calibrée et si l'on pouvait disposer d'une embarcation munie d'un treuil électrique pour vérifier tous ces modes d'acquisition que nous avons procédés en laboratoire.

Références bibliographiques

- AMINOT A., KEROUEL R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, 336p.
- COPIN-MONTÉGUT G., 1996. *Chimie de l'eau de mer*. Éd. Institut océanographique, 319p.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Le courant géostrophique. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Le sel de la mer. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Acquisition des données hydrologiques avec une sonde CTD. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Traitement des données hydrologiques de base. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Algorithme EPS 78. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Algorithme Tempo. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Algorithme EOS 80. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Algorithme anomalie. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- COPIN-MONTÉGUT G., 2006. Propriétés physique de l'eau de mer. Site : www.obs-vlfr.fr/Enseignement/enseignants/copin/Porte_marine.html.
- EMERY J., et THOMSON R., 2004. *Data analysis methods in physical oceanography*. Edi. ELSEVIER. 638 p.
- FOFONOFF N., et MILLARD R., 1991: *Calculation of Physical Properties of Seawater*. WHP Operations and Methods, 15p.
- GIRARDOT J., 2002. Capteurs et instrumentation utilisés en océanographie. Site : www.univ-brest.fr/lpo/instrumentation/index.html
- GUILYARD E., 200: Quand le sel de l'océan pimente le climat, *La Météorologie* n° 33, 34-44.
- KNAUSSE J. 1997. *Introduction to Physical Oceanography*. 2eme Ed. Prentice-Hall, New Jersey. 309p.
- LE MENN M., 2003. Capteurs de conductivité en océanographie : état de l'art. Communication orale n° 05 de *l'Atelier Expérimentation Instrumentation INSU, IFREMER, METEO FRANCE*, Brest les 28-29 janvier 2003.

MICHEL S., 2006 : Télédétection de la salinité à la surface des océans. Thèse de l'Université Paris VII – DENIS DIDEROT, 353p.

MYERS J., DINDAL A., WILLENBERG Z., et RIGGS K., 2003: Environmental Technology Verification Report General Oceanics, Inc., Ocean Seven 316 Multi-Parameter, Water Quality Probe/Sonde.

Ocean Seven 316Plus multiparameter probe OPERATOR'S MANUAL. Idronaut S.R.L., Milano, 2007.

Ocean Seven 316/MK 317 multiparameter probe OPERATOR'S MANUAL. Idronaut S.R.L., Milano, 1999.

RONDAY F., et BECKERS J., 2004: Océanographie Physique, version préliminaire, Université de Liège, Faculté des Sciences.

STALCUP M., 1991: Salinity Measurements. WHP Operations and Methods, 9p.

STEWART R., 2007. Introduction to physical oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University. 345 p.

Telemetry Deck Units OPERATOR'S MANUAL. Idronaut S.R.L., Milano, 2007.

TOMCZAC M., et RODFRREY. 2005.Regional Oceanography: an Introduction. School of Earth Studies, The Flinders University of South Australia and CSIRO Division of Oceanography, Tasmania, Australia. 378 p.

Annexes

Annexe A : Algorithmes de calcul.

L'échelle pratique de salinité et les équations d'état de l'eau de mer sont souvent présentées sous forme des programmes de calcul. Des exemples d'algorithme en langage de programmation BASIC présentés par Montigu, 1996 sont les suivants :

1. Echelle pratique de salinité EPS 78 :

L'Échelle Pratique de Salinité a été publiée dans les *Unesco technical papers in marine science*, No 36, 1981, et No 44, 1983. Elle fournit 6 relations auxquelles sont associés 24 coefficients numériques. Les équations originales ont été réorganisées en lignes de calcul ; les indices des coefficients ont pour base 1.

- La pression P doit être entrée en décibar, la température T en °C.
- Pour le traitement des données CTD le calcul débute à *Sonde*. Les conductivités absolues C sont entrées en siemens m-1.
- Avec un salinomètre, le calcul débute à *Salino*. Les valeurs sont entrées sous forme de rapport de conductivité RT .
- La salinité S est obtenue en unités pratiques (unité sans dimension).

```
A1 = 0.0080      : A2 = -0.1692      : A3 = 25.3851
A4 = 14.0941     : A5 = -7.0261      : A6 = 2.7081
B1 = 0.0005      : B2 = -0.0056      : B3 = -0.0066
B4 = -0.0375     : B5 = 0.0636       : B6 = -0.0144
C1 = 0.6766097   : C2 = 2.00564E-2   : C3 = 1.104259E-4
C4 = -6.9698E-7  : C5 = 1.0031E-9    : D1 = 3.426E-2
D2 = 4.464E-4    : D3 = 4.215E-1     : D4 = -3.107E-3
E1 = 2.070E-5    : E2 = -6.370E-10  : E3 = 3.989E-15
```

Sonde:

```
R = C/4.2914
```

```
R1 = C1 + (C2 + (C3 + (C4 + C5 * T) * T) * T) * T
```

```
RP = 1 + ((E1 + (E2 + E3 * P) * P) * P) / (1 + (D1 + D2 * T) * T + (D3 + D4 * T) * R)
```

```
RT = R / R1 / RP
```

Salino:

```
SRT = SQR(RT)
```

```
B = B1 + (B2 + (B4 + B6 * RT) * RT) * SRT + (B3 + B5 * RT) * RT
```

```
DS = B * (T - 15) / (0.757 + 0.0162 * T)
```

```
S = A1 + (A2 + (A4 + A6 * RT) * RT) * SRT + (A3 + A5 * RT) * RT + DS
```

EPS 78 est utilisable dans un domaine de température allant de -2°C à 35°C, de salinité de 2 à 42 et de pression de 0 à 10000 dbar. Quelques valeurs-test sont fournies :

R	T	P (dbar)	R1	RP	RT	S
1	15	0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	35.000000
1.2	20	2000	1.1164927	1.0169429	1.0568875	37.245628
0.65	5	1500	0.77956585	1.0204864	0.81705885	27.995347

2. Algorithme de calcul de la température potentielle :

Taux de décroissance adiabatique $G1$ ($^{\circ}\text{C}$ par décibar) et température potentielle $THETA$ ($^{\circ}\text{C}$) des eaux de mer en fonction de la température T en $^{\circ}\text{C}$, de la salinité S en u.p.s. de la pression in situ P et de la pression de référence PR en décibar.

Noter que le taux de décroissance adiabatique $G1$, première valeur renvoyée par le sous-programme BRYDEN, est indépendant de la pression de référence PR .

```
A1 = 3.5803E-5   : A2 = 8.5258E-06   : A3 = -6.8360E-08   : A4 = 6.6228E-10
B1 = 1.8932E-06   : B2 = -4.2393E-08
C1 = 1.8741E-08   : C2 = -6.7795E-10   : C3 = 8.7330E-12   : C4 = -5.4481E-14
D1 = -1.1351E-10  : D2 = 2.7759E-12
E1 = -4.6206E-13  : E2 = 1.8676E-14   : E3 = -2.1687E-16
F1 = 0.585786     : F2 = -0.414214    : F3 = 4.828427     : F4 = 3.414214
```

```
INPUT T,S,P,PR      'T en deg C, S en ups, P et PR en dbar
GOSUB BRYDEN
G1=G               'G1 est le taux de decroissance adiabatique en deg C/dbar
Q=(PR-P)/2
T=T+Q*G1
P=P+Q
GOSUB BRYDEN
G2=G
T=T+Q*F1*(G2-G1)
GOSUB Bryden
G3=G
T=T+Q*(F4*G3-2*G2+F2*G1)
P=PR
GOSUB BRYDEN
G4=G
THETA=T+Q*(G4-2*F4*G3+F3*G2+G1)/3 'temperature potentielle en deg C
END
```

```
BRYDEN:
A=A1+(A2+(A3+A4*T)*T)*T+(B1+B2*T)*(S-35)
C=(C1+(C2+(C3+C4*T)*T)*T+(D1+D2*T)*(S-35))*P
G = A+C+(E1+(E2+E3*T)*T)*P*P
RETURN
```

Valeurs de contrôle :

Pour $T = 40$ $^{\circ}\text{C}$, $S = 40$, $P = 10000$ dbar et $PR = 0$ dbar

$G1 = 3,255976 \times 10^{-4}$ $^{\circ}\text{C dbar}^{-1}$ et $THETA = 36,89073$ $^{\circ}\text{C}$.

3. Algorithme de l'équation d'état de l'eau de mer EOS 80 :

Masse volumique des eaux de mer, en fonction de t , S et p . L'Équation d'État Internationale de l'Eau de Mer a été publiée en 1981 dans *UNESCO technical paper in marine science*, No 36. L'algorithme *EOS 80 (Equation of State 1980)* comporte 11 polynômes auxquels sont associés 41 coefficients numériques. Ces équations sont réorganisées en lignes de calcul et les noms de variables simplifiés.

```

A1 = 999.842594   : A2 = 6.793952E-2   : A3 = -9.095290E-3
A4 = 1.001685E-4 : A5 = -1.120083E-6   : A6 = 6.536332E-9
B1 = 0.824493    : B2 = -4.0899E-3    : B3 = 7.6438E-5
B4 = -8.2467E-7  : B5 = 5.3875E-9     : C1 = -5.72466E-3
C2 = 1.0227E-4   : C3 = -1.6546E-6    : D1 = 4.8314E-4
E1 = 1.965221E+4 : E2 = 1.484206E+2    : E3 = -2.327105
E4 = 1.360477E-2 : E5 = -5.155288E-5   : F1 = 54.6746
F2 = -0.603459   : F3 = 1.09987E-2    : F4 = -6.1670E-5
G1 = 7.944E-2    : G2 = 1.648E-2      : G3 = -5.3009E-4
H1 = 3.239908    : H2 = 1.43713E-3    : H3 = 1.16092E-4
H4 = -5.77905E-7 : I1 = 2.2838E-3     : I2 = -1.0981E-5
I3 = -1.6078E-6  : J1 = 1.91075E-4    : K1 = 8.50935E-5
K2 = -6.12293E-6 : K3 = 5.2787E-8     : L1 = -9.9348E-7
L2 = 2.0816E-8   : L3 = 9.1697E-10

```

```

INPUT T,S,P  'T en deg C, S en ups, P en dbar
P=P/10       'La pression est convertie en bar
SR=SQR(S)

```

```

A=A1+(A2+(A3+(A4+(A5+A6*T)*T)*T)*T)*T
B=B1+(B2+(B3+(B4+B5*T)*T)*T)*T
C=C1+(C2+C3*T)*T
D=A+(B+C*SR+D1*S)*S
E=E1+(E2+(E3+(E4+E5*T)*T)*T)*T
F=(F1+(F2+(F3+F4*T)*T)*T)*S
G=E+F+(G1+(G2+G3*T)*T)*SR*S

```

```

H=H1+(H2+(H3+H4*T)*T)*T
I=I1+(I2+I3*T)*T
J=H+(I+J1*SR)*S
K=K1+(K2+K3*T)*T

```

```

L=K+(L1+(L2+L3*T)*T)*S
M=G+(J+L*P)*P
RHO = D/(1-P/M) 'Masse volumique en kg/m3
END

```

Valeurs de contrôle :

```

Pour S = 0, t = 5°C et p = 0 décibar, RHO = 999.96675
Pour S = 35, t = 5°C et p = 10000 décibar, RHO = 1069.48914

```

Annexe B : Les données acquises à la station d'Annaba

Les résultats obtenus par la sonde IDRONAUT Ocean Seven 316 après les mesures effectuées au large d'Annaba. La sonde a été programmée pour exécuter des mesures linéaires tout les 0.5 dbar.

**Station
Annaba**

LIN EAR - PRO ILE [step:0.50]

Sampling area: Station #1; Annaba; Position:

Acquisition date:26/06/2004

01:16:30

Mea- time	Depth	Temp	Cond	Sal	O2%	pH	Theta	O2ppm	SigmaTa
06/26/2004 01:15:50	0	22.327	0	0	93.9	15.522	22.327	8.18	-2.30165
06/26/2004 01:16:30	5.15	20.857	51.154	36.91	80.3	16.673	20.856	5.63	26.01483
06/26/2004 01:16:41	10.11	20.479	50.914	37.05	81.1	17.801	20.477	5.72	26.23982
06/26/2004 01:16:52	15.03	20.099	50.543	37.07	82.5	18.273	20.096	5.87	26.38479
06/26/2004 01:17:03	20.12	18.254	48.57	37.06	82.8	18.809	18.25	6.08	26.87619
06/26/2004 01:17:15	25.03	17.242	47.543	37.09	85.1	18.942	17.237	6.37	27.17306
06/26/2004 01:17:26	30.12	16.923	47.241	37.12	85.7	19.147	16.918	6.45	27.29298
06/26/2004 01:17:38	35.05	16.663	47.039	37.18	86.5	18.831	16.658	6.55	27.42291
06/26/2004 01:17:49	40.1	16.421	46.806	37.19	86.5	18.706	16.414	6.57	27.51554
06/26/2004 01:18:01	45.13	16.334	46.833	37.3	87.6	18.661	16.327	6.66	27.6379
06/26/2004 01:18:12	50.01	16.152	46.699	37.35	87.7	18.463	16.143	6.69	27.74
06/26/2004 01:18:23	55.07	15.951	46.539	37.39	87.4	18.155	15.942	6.69	27.84281
06/26/2004 01:18:34	60.02	15.557	46.091	37.36	87	17.716	15.548	6.72	27.92907
06/26/2004 01:18:46	65.13	15.42	46.041	37.44	86.8	17.256	15.41	6.71	28.04733
06/26/2004 01:18:57	70.14	15.537	46.255	37.52	86.4	17.07	15.526	6.66	28.10512
06/26/2004 01:19:08	75.02	15.54	46.355	37.61	84.8	16.778	15.528	6.54	28.19244
06/26/2004 01:19:20	80.18	15.287	46.104	37.62	84.3	16.62	15.275	6.53	28.28131
06/26/2004 01:19:30	85.01	14.956	45.796	37.65	83.8	16.466	14.943	6.53	28.40339
06/26/2004 01:19:41	90.01	14.528	45.378	37.68	83.6	16.29	14.514	6.57	28.54099
06/26/2004 01:19:53	95.23	14.391	45.299	37.73	83.9	16.273	14.377	6.61	28.63838
06/26/2004 01:20:03	100.01	14.193	45.153	37.79	84.7	16.146	14.178	6.7	28.74588
06/26/2004 01:20:14	105.12	14.023	45.066	37.87	84.5	15.978	14.007	6.7	28.86975
06/26/2004 01:20:25	110.08	14.099	45.203	37.92	80.5	15.903	14.082	6.37	28.91561
06/26/2004 01:20:37	115.11	14.01	45.106	37.92	78.4	15.923	13.993	6.21	28.95312
06/26/2004 01:20:47	120	13.998	45.122	37.94	78.3	15.794	13.98	6.21	28.9961

06/26/2004 01:20:58	125.1	13.82	44.954	37.96	77.6	15.556	13.802	6.17	29.06898
06/26/2004 01:21:10	130.06	13.755	44.908	37.98	77.8	15.442	13.736	6.2	29.11977
06/26/2004 01:21:20	135.13	13.705	44.869	37.99	77.9	15.93	13.685	6.21	29.16038
06/26/2004 01:21:32	140.02	13.664	44.842	38	78.1	15.873	13.644	6.22	29.2009
06/26/2004 01:21:42	145.04	13.618	44.806	38.01	78.3	15.814	13.596	6.25	29.24055
06/26/2004 01:21:54	150.06	13.593	44.811	38.04	78.7	15.719	13.571	6.29	29.28878
06/26/2004 01:22:05	155.2	13.562	44.791	38.05	78.8	15.387	13.539	6.29	29.32576
06/26/2004 01:22:16	160.01	13.547	44.782	38.05	79.8	15.308	13.524	6.38	29.35322
06/26/2004 01:22:27	165.04	13.564	44.848	38.09	79.6	14.622	13.54	6.36	29.40534
06/26/2004 01:22:38	170.08	13.564	44.909	38.15	77.5	14.9	13.539	6.19	29.47177
06/26/2004 01:22:49	175.12	13.567	44.936	38.17	74.4	15.74	13.541	5.94	29.50926
06/26/2004 01:23:01	180.13	13.555	44.936	38.18	72.5	13.194	13.529	5.78	29.54107
06/26/2004 01:23:11	185	13.548	44.935	38.18	71.8	12.648	13.521	5.73	29.56749
06/26/2004 01:23:22	190	13.544	44.938	38.19	70.8	12.653	13.517	5.65	29.5937
06/26/2004 01:23:34	195.14	13.533	44.941	38.2	70	12.571	13.505	5.59	29.62817
06/26/2004 01:23:45	200.02	13.528	44.974	38.23	69.5	12.543	13.499	5.55	29.67678
06/26/2004 01:23:56	205.05	13.489	44.955	38.25	67.3	12.718	13.459	5.38	29.72243
06/26/2004 01:24:08	210.15	13.458	44.946	38.27	67.9	12.696	13.428	5.43	29.76667
06/26/2004 01:24:19	215.02	13.448	44.945	38.28	67.1	12.005	13.417	5.36	29.79633
06/26/2004 01:24:31	220.23	13.372	44.877	38.29	66.4	11.798	13.34	5.31	29.84301
06/26/2004 01:24:42	225	13.364	44.88	38.3	65.4	11.443	13.331	5.24	29.87297
06/26/2004 01:24:54	230.22	13.341	44.872	38.31	64.9	11.561	13.308	5.19	29.90997
06/26/2004 01:25:05	235.11	13.359	44.914	38.33	64.1	14.943	13.325	5.13	29.94334
06/26/2004 01:25:17	240.01	13.375	44.948	38.35	63.6	15.314	13.34	5.09	29.97293
06/26/2004 01:25:28	245.14	13.378	44.973	38.36	63.1	14.982	13.342	5.05	30.00957
06/26/2004 01:25:39	250.14	13.376	44.99	38.38	62.3	14.917	13.339	4.98	30.04424
06/26/2004 01:25:51	255.06	13.373	44.996	38.39	61.4	14.907	13.336	4.91	30.07184
06/26/2004 01:26:03	260.01	13.358	44.992	38.4	60.9	14.88	13.32	4.87	30.10418
06/26/2004 01:26:14	265.01	13.359	45.006	38.41	60.4	14.877	13.321	4.83	30.13334
06/26/2004 01:26:25	270.12	13.365	45.027	38.42	59.9	14.773	13.326	4.79	30.16373
06/26/2004 01:26:36	275	13.356	45.022	38.42	59.6	14.686	13.316	4.76	30.18897
06/26/2004 01:26:47	280.05	13.364	45.047	38.43	59.3	14.604	13.323	4.74	30.22055
06/26/2004 01:26:59	285.1	13.361	45.056	38.44	59	14.378	13.32	4.72	30.25021
06/26/2004 01:27:10	290.02	13.367	45.077	38.45	58.7	14.501	13.325	4.69	30.27998
06/26/2004 01:27:22	295	13.364	45.083	38.46	58	14.523	13.321	4.64	30.30795
06/26/2004 01:27:33	300.08	13.372	45.109	38.48	57.5	14.449	13.328	4.6	30.33966
06/26/2004 01:27:45	305.02	13.389	45.147	38.49	57.1	14.366	13.344	4.56	30.37099
06/26/2004 01:27:55	310.05	13.394	45.158	38.5	56.7	14.387	13.349	4.53	30.39417
06/26/2004 01:28:07	315.05	13.394	45.162	38.5	56.5	14.39	13.348	4.52	30.41811
06/26/2004 01:28:18	320.03	13.39	45.16	38.5	56.4	14.314	13.343	4.51	30.44101
06/26/2004 01:28:30	325.05	13.386	45.165	38.5	56.2	14.262	13.338	4.49	30.46926
06/26/2004 01:28:41	330.05	13.387	45.176	38.51	56	14.3	13.339	4.48	30.49646
06/26/2004 01:28:53	335.16	13.384	45.185	38.52	55.7	14.315	13.336	4.45	30.52657
06/26/2004 01:29:04	340.01	13.376	45.181	38.52	55.5	14.07	13.326	4.43	30.5516
06/26/2004 01:29:15	345.04	13.374	45.188	38.53	55.1	13.759	13.323	4.4	30.57905

06/26/2004 01:29:27	350.14	13.373	45.192	38.53	55	13.644	13.322	4.39	30.60376
06/26/2004 01:29:39	355.13	13.371	45.196	38.54	54.6	13.294	13.319	4.36	30.62897
06/26/2004 01:29:50	360.02	13.372	45.201	38.54	54.5	13.505	13.319	4.36	30.65183
06/26/2004 01:30:02	365.2	13.368	45.204	38.54	54.5	13.675	13.315	4.36	30.67834
06/26/2004 01:30:13	370.01	13.363	45.2	38.54	54.3	12.992	13.309	4.34	30.70027
06/26/2004 01:30:26	375.16	13.356	45.199	38.54	54.5	13.711	13.301	4.36	30.72777
06/26/2004 01:30:38	380.19	13.341	45.185	38.54	54.5	13.347	13.286	4.36	30.75259
06/26/2004 01:30:50	385.14	13.34	45.186	38.54	54.6	12.957	13.284	4.36	30.77431
06/26/2004 01:31:01	390.01	13.339	45.189	38.54	54.7	12.923	13.282	4.37	30.79725
06/26/2004 01:31:13	395.08	13.323	45.169	38.54	54.9	13.673	13.266	4.39	30.81892
06/26/2004 01:31:25	400.03	13.298	45.146	38.54	55.6	13.836	13.24	4.45	30.84734
06/26/2004 01:31:37	405.04	13.294	45.145	38.54	55.8	13.79	13.236	4.47	30.87055
06/26/2004 01:31:50	410.09	13.293	45.145	38.54	56	13.755	13.233	4.48	30.89216
06/26/2004 01:32:02	415.1	13.292	45.147	38.54	56.2	13.874	13.232	4.5	30.91462
06/26/2004 01:32:15	420.03	13.291	45.149	38.54	56.4	13.708	13.23	4.51	30.93705
06/26/2004 01:32:27	425.17	13.287	45.145	38.54	56.6	13.89	13.225	4.53	30.95947
06/26/2004 01:32:39	430.05	13.275	45.133	38.54	56.6	13.899	13.213	4.53	30.98219
06/26/2004 01:32:51	435.01	13.272	45.135	38.54	57	13.888	13.209	4.56	31.00688
06/26/2004 01:33:04	440.1	13.269	45.133	38.54	57.2	13.849	13.205	4.58	31.02854
06/26/2004 01:33:16	445.16	13.268	45.135	38.54	57.4	13.78	13.203	4.6	31.05167
06/26/2004 01:33:28	450.2	13.264	45.132	38.54	57.7	13.784	13.199	4.62	31.0739
06/26/2004 01:33:41	455.02	13.263	45.136	38.54	57.7	13.723	13.197	4.62	31.09735
06/26/2004 01:33:53	460.09	13.261	45.133	38.54	57.7	13.749	13.194	4.62	31.11794
06/26/2004 01:34:05	465.12	13.261	45.136	38.54	58.1	13.727	13.193	4.65	31.14059
06/26/2004 01:34:18	470.1	13.261	45.139	38.54	58.2	13.627	13.193	4.66	31.1627
06/26/2004 01:34:30	475.04	13.262	45.141	38.54	58.3	13.566	13.193	4.67	31.18391
06/26/2004 01:34:42	480.03	13.262	45.144	38.54	58.5	13.56	13.192	4.68	31.20579
06/26/2004 01:34:55	485.2	13.264	45.146	38.54	58.4	13.548	13.194	4.67	31.22617
06/26/2004 01:35:07	490.05	13.261	45.148	38.54	58.5	13.56	13.19	4.68	31.2504
06/26/2004 01:35:20	495.08	13.263	45.15	38.54	58.6	13.437	13.191	4.69	31.2707
06/26/2004 01:35:32	500.13	13.26	45.147	38.54	58.7	13.499	13.187	4.7	31.29247
06/26/2004 01:35:44	505.07	13.252	45.139	38.53	58.8	13.538	13.178	4.71	31.31413
06/26/2004 01:35:56	510.1	13.178	45.055	38.53	59.6	13.472	13.104	4.78	31.34561
06/26/2004 01:36:09	515.06	13.167	45.045	38.53	60.8	13.415	13.092	4.87	31.36987

Annexe C : Les profils programmés par défautTableau C.1 : les profils programmés par défaut dans la mémoire de la sonde

	N1	N2	N3	N4	N5
0	25	0	0	0	0
1	26	1	1	1	10
2	27	5	2	2	20
3	28	10	3	4	30
4	29	15	5	8	50
5	30	20	7.5	16	75
6	35	25	10	32	100
7	40	30	15	64	150
8	45	40	20	128	200
9	50	50	25	256	250
10	55	60	30	512	300
11	60	70	40	1024	400
12	65	80	50	2048	500
13	70	90	60	4096	600
14	75	100	70	8192	700
15	80	120	80		800
16	85	140	100		1000
17	90	160	120		1200
18	95	180	150		1500
19	100	200	200		2000
20	110	240	250		2500
21	120	280	300		3000
22	130	320	400		4000
23	140	360	500		5000
24	150	400	600		6000

Annexe D : Le certificat de calibration

Via Monte Amiata, 10
 Tel. +39 039879656 / 039883832
 E-mail: idronaut@idronaut.it
 ITALY

1-20047 **BRUGHERIO** (MI)
 Fax. +39 039883382
 Web: www.idronaut.it

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Model:	Probe 31 6	Serial No.	0700151
Calibration date	17 March 2004	Client: I.S.M.A.L. Alegria	
Next Calibration date		End User:	

This is to certify that the equipment has been calibrated and is within the manufacturers specified accuracy. Calibration results where appropriate are shown on the attached sheets
 The equipment used for calibration was as follows:


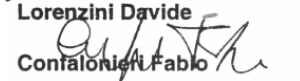
item	Model n°	Serial n°
Automatic thermometer bridge plus conductivity/ salinity adaptor	ATB1250 - CSA1250	10072 10072
Dead weight tester Budenberg	580	26947
Pt 25 Hart Scientific	5680	1093

All above equipment is within the manufacturers recommended calibration period and is traceable to the national standards except where no such standards exists.

Calibration Engineer signature

17.03.2004

Quality control Engineer signature


 Lorenzini Davide

 Confalonieri Fabio

Date: 17.03.2004

Date:

Model:		IDRONAUT Seven rings		Serial No.		0700151	
Calibration date:		17 March 2004					
Conductivity sensor data				Measurement range (mS/cm) 0-64			
Data point	Temp. Observed (deg C°)		Cond. Observed (mS/cm)	Cond. Observed (Counts)	Cond. Calculated (mS/cm)	Cond. Error (mS/cm)	
1	-0.0365		31.5410	55.1856	31.5419	+0.0009	
2	4.0533		35.4155	61.9460	35.4130	-0.0025	
3	8.1847		39.4902	69.0504	39.4872	-0.003	
4	12.1932		43.5861	76.1918	43.5891	+0.003	
5	16.1301		47.7331	83.4180	47.7359	+0.0028	
6	20.0426		51.9648	90.7879	51.9645	-0.0003	
7	23.9557		56.2967	98.3322	56.2956	-0.0011	
8	27.8920		61.1382	106.7515	61.1400	+0.0018	
9							
Maximum permitted conductivity error = 0.003 mS/cm							
Calibration coefficients							
A	-0.000271428923						
B	0.570363503						
C	2.209854956-5						

Model: IDRONAUT Pt100		Serial No. 0700151		
Calibration date: 17 March 2004				
Temperature sensor data		Measurement range (deg °C) -1 - 50		
Data point	Temp. Observed (deg °C)	Temp Observed	Temp Calculated	Temp. Error (deg °C)
1	-0.0365	100.0421	-0.0361	-0.0004
2	4.0533	101.6401	4.052	-0.001
3	8.1847	103.2528	8.185	+0.0005
4	12.1932	104.8158	12.19	+0,0004
5	16.1301	106.3490	16.12	-0.0003
6	20.0426	107.8708	20.0425	-0,0002
7	23.9557	109.3912	23.9558	
8	27.8915	110.9175	27.8890	-0,0025
Maximum permitted temperature error = 0.003 deg °C				
Calibration coefficients				
A	-246.378037			
B	2.36743062			
C	0.00094911393			

Model: KELLER PA-1 0			AF 1 01			
Calibration date			17 March 2004			
Pressure sensor data			Full scale reading (FSR) bar - 600			
Data point	Pressure Applied (bar)	Atmos. Pressure (mbar)	Pressure Observed (counts)	Pressure Calculated (bar)	Pressure Error (bar)	Pressure Error
1	10.000	1015	1239.4	10.009	+0.009	+0.002
2	20.000	1015	2001.5	19.998	-0.002	.
3	50.000	1015	4290.2	49.991	-0.009	-0.002
4	100.000	1015	8107.8	99.995	-0.005	-0.001
5	200.000	1015	15749.0	199.989	-0.011	-0.002
6	300.000	1015	23400.8	300.000	-	-
7	400.000	1015	31061.8	400.010	+0.010	+0.002
8	500.000	1015	38731.6		+0.011	+0.002
9	600,000	1015	46409.0	599.989	-0.011	-0.002
10						
Maximum permitted pressure error = 0.05 %FSR						
Calibration coefficients						
A	-62.3908494					
B	0.13111125					
C	-1.042858130-8					