



Rapports scientifiques et techniques  
de l'IFREMER n° 1 1985

**CALIBRATION DES MESURES  
D'UNE SONDE CTDO2 NEIL BROWN  
EXEMPLE DE LA CAMPAGNE TOPOGULF**

Andre BILLANT  
Centre de BREST



**IFREMER**

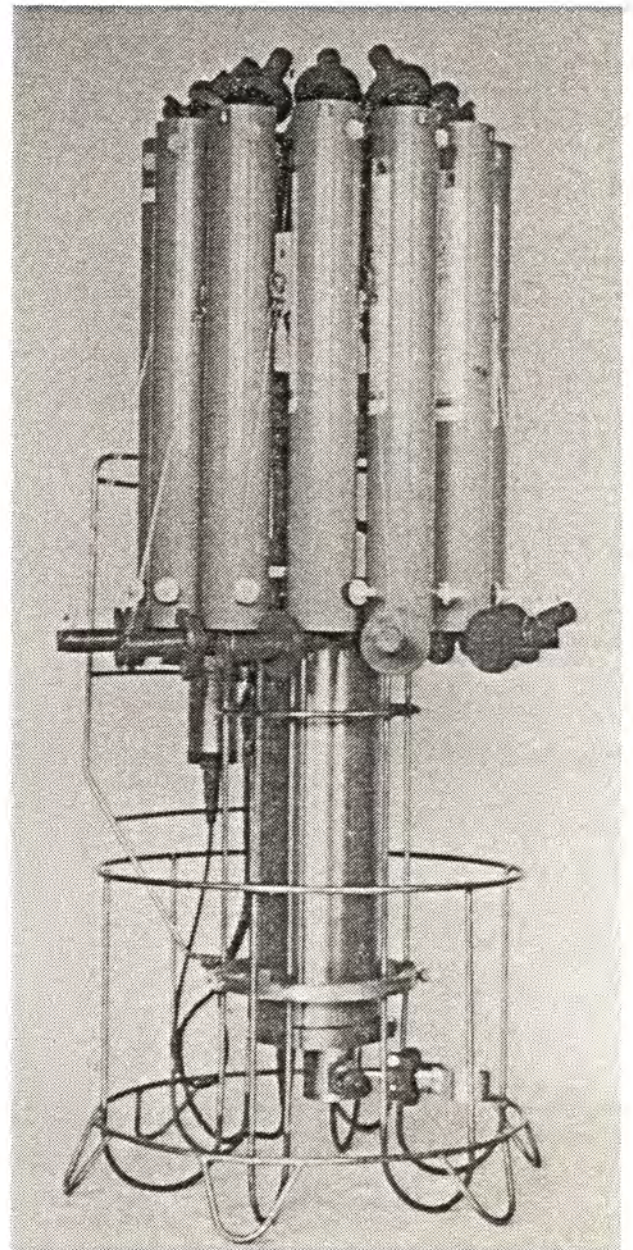
11002

Rapports scientifiques et techniques  
de l'IFREMER n° 1 1985

**CALIBRATION DES MESURES  
D'UNE SONDE CTDO<sub>2</sub> NEIL BROWN  
EXEMPLE DE LA CAMPAGNE TOPOGULF**

**Andre BILLANT  
Centre de BREST**

**1985**





# INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

CENTRE DE BREST  
 B.P. 337  
 29273 BREST CEDEX  
 Tél. (98) 45.80.55

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
 ET DES RECHERCHES OCEANIQUES  
 DEPARTEMENT "ETUDES OCEANIQUES"

AUTEUR (S) : André BILLANT		CODE :
		N° _____
TITRE Calibration des mesures d'une sonde CTDO <sub>2</sub> Neil Brown. Exemple de la campagne TOPOGULF.		date :
		tirage nb :
		Nb pages :
		Nb figures :
		Nb photos :
CONTRAT (intitulé)		DIFFUSION
N° _____		libre <input type="checkbox"/>
		restreinte <input type="checkbox"/>
		confidentielle <input type="checkbox"/>

## RÉSUMÉ

Ce rapport décrit la méthode appliquée au Centre Océanologique de Bretagne pour calibrer les mesures d'une sonde NEIL BROWN en prenant la campagne TOPOGULF 83 comme exemple. Les capteurs de pression et de température sont étalonnés en laboratoire avant et après la campagne. Les mesures de conductivité et d'oxygène dissous sont calibrées *in situ* par comparaison avec des mesures chimiques effectuées sur des échantillons prélevés au cours de la remontée de la sonde. Les résultats obtenus par cette calibration sont confrontés à ceux obtenus par d'autres laboratoires.

## ABSTRACT

This report describes the method used to calibrate measurements delivered by a NEIL BROWN probe (CTDO<sub>2</sub>) with TOPOGULF 83 cruise as example. Pressure and temperature are calibrated in the laboratory before and after the cruise conductivity and dissolved oxygen are calibrated using measurements obtained on water samples collected on the upward profile of the probe. Such a calibration gives measurements which are compared to those obtained by other institutions.

mots-clés : Calibration - CTDO<sub>2</sub> - NEIL BROWN - Oxygène dissous -  
 Salinité - TOPOGULF

key words : Calibration - CTDO<sub>2</sub> - NEIL BROWN - Dissolved oxygen -  
 Salinity - TOPOGULF

© IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, 1985.



SERVICE DE LA DOCUMENTATION  
ET DES PUBLICATIONS (SDP)  
IFREMER - CENTRE DE BREST  
B.P. 337-29273 BREST CEDEX

ISSN 0761-3970

© Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, 1985.

CALIBRATION DES MESURES D'UNE SONDE CTDO<sub>2</sub> NEIL-BROWN  
- EXEMPLE DE LA CAMPAGNE TOPOGULF 83 -

- PREMIERE PARTIE -

SYSTEME DE MESURES UTILISE POUR LA CAMPAGNE TOPOGULF

A - INSTRUMENTATION	9
1. Généralités	
2. Caractéristiques des capteurs	
B - ACQUISITION DES DONNEES ET TRAITEMENT EN TEMPS REEL	10
C - CAMPAGNE TOPOGULF	10

- DEUXIEME PARTIE -

PRINCIPE DES CALIBRATIONS ET VERIFICATIONS

A - CALIBRATIONS EN LABORATOIRE	14
1. Etalonnage de la mesure de pression	
a) Etude de l'hystérésis	
b) Etude de l'influence de la température sur la réponse du capteur	
c) Correction de la mesure de pression	
2. Etalonnage de la mesure de température	
B - CALIBRATION DE LA MESURE DE CONDUCTIVITE	17
1. Nettoyage de la cellule de conductivité	
2. Mesure de la salinité sur les échantillons prélevés	
3. Mesures de la sonde au niveau des prélèvements	
4. Validation des prélèvements	
5. Recalage de la mesure de conductivité	
6. Contrôle de la réponse du capteur station par station	
7. Contrôle de la réponse du capteur aux niveaux standard	
8. Calcul final des coefficients appliqués à TOPOGULF	
9. Vérifications de la calibration	
a) Contrôle des diagrammes $\theta$ -S	
b) Contrôle de l'homogénéité des mesures entre leg 2 et leg 3	
C - CALIBRATION DE L'OXYGENE DISSOUS	24
1. Mesure de l'oxygène dissous sur les prélèvements	
2. Caractéristiques du capteur Beckman	
3. Calcul de l'oxygène dissous à l'aide des paramètres mesurés par la sonde	
4. Méthode de calcul des coefficients de recalage	
5. Calibration des profils oxygène de la campagne TOPOGULF	
6. Contrôles des résultats	
D - CONCLUSION	30
E - BIBLIOGRAPHIE	31
FIGURES	32



RESUME :

Ce rapport décrit la méthode appliquée au Centre Océanologique de Bretagne pour calibrer les mesures d'une sonde NEIL BROWN en prenant la campagne TOPOGULF 83 comme exemple. Les capteurs de pression et de température sont étalonnés en laboratoire avant et après la campagne. Les mesures de conductivité et d'oxygène dissous sont calibrées *in situ* par comparaison avec des mesures chimiques effectuées sur des échantillons prélevés au cours de la remontée de la sonde. Les résultats obtenus par cette calibration sont confrontés à ceux obtenus par d'autres laboratoires.

ABSTRACT :

*This report describes the method used to calibrate measurements delivered by a NEIL BROWN probe (CTDO<sub>2</sub>) with TOPOGULF 83 cruise as example. Pressure and temperature are calibrated in the laboratory before and after the cruise conductivity and dissolved oxygen are calibrated using measurements obtained on water samples collected on the upward profile of the probe. Such a calibration gives measurements which are compared to those obtained by other institutions.*

*Ce rapport est le résultat de différentes collaborations. Aussi j'exprime mes plus vifs remerciements :*

- à François MADELAIN, Chef du Département Etudes Océaniques, Alain COLIN DE VERDIERE, chef du projet TOPOGULF et Michel ARHAN, chef de mission à la campagne TOPOGULF,*
- aux marins du N/O "Le Suroît" et scientifiques qui ont participé à la campagne, et plus particulièrement aux chimistes qui ont analysé quelques 1400 échantillons à bord (Guy BORDIN, Claude DOUCHEMENT et Marc RICHERAL),*
- au Département Informatique du COB qui a activement collaboré à la mise au point du traitement des données en temps réel,*
- au laboratoire de métrologie du COB (Martine CAMBON),*
- à Jean KERVELLA qui a mis au propre les figures de ce rapport et Annie GRAMOULLE qui en a assuré la frappe.*

Le Département Etudes Océaniques du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) utilise, depuis 1982, une sonde NEIL-BROWN pour ses études d'hydrologie. Il a été nécessaire de développer :

une routine utilisée en temps réel, pour le traitement des données délivrées par la sonde au cours de son utilisation en mer, et,  
une routine, utilisée en temps différé, au retour de la campagne, qui permet l'exploitation de ces données recueillies en mer.

La qualité des données obtenues dans cette dernière phase est liée à une tâche importante qui consiste à calibrer les mesures de la sonde.

L'objet de ce rapport est de décrire le processus utilisé pour recalibrer les mesures de la sonde à travers l'expérience menée au cours de la campagne TOPOGULF qui s'est déroulée en juillet-août 1983 au sud des Açores.

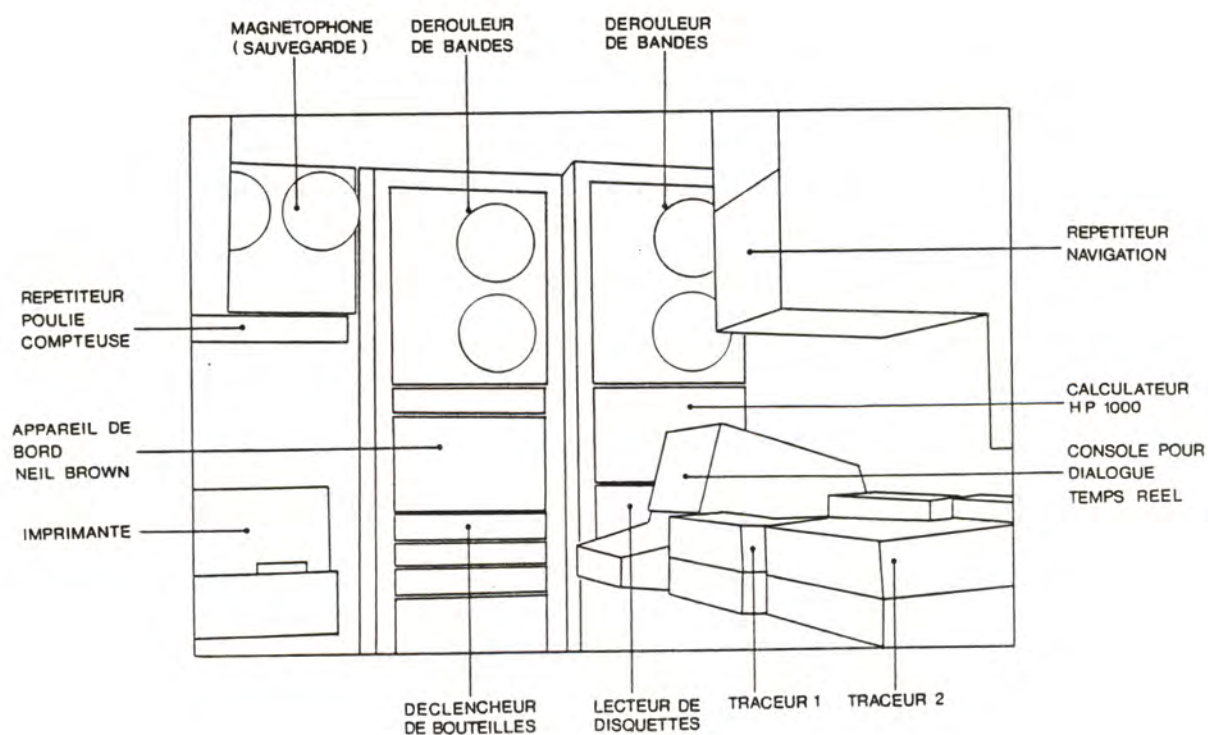
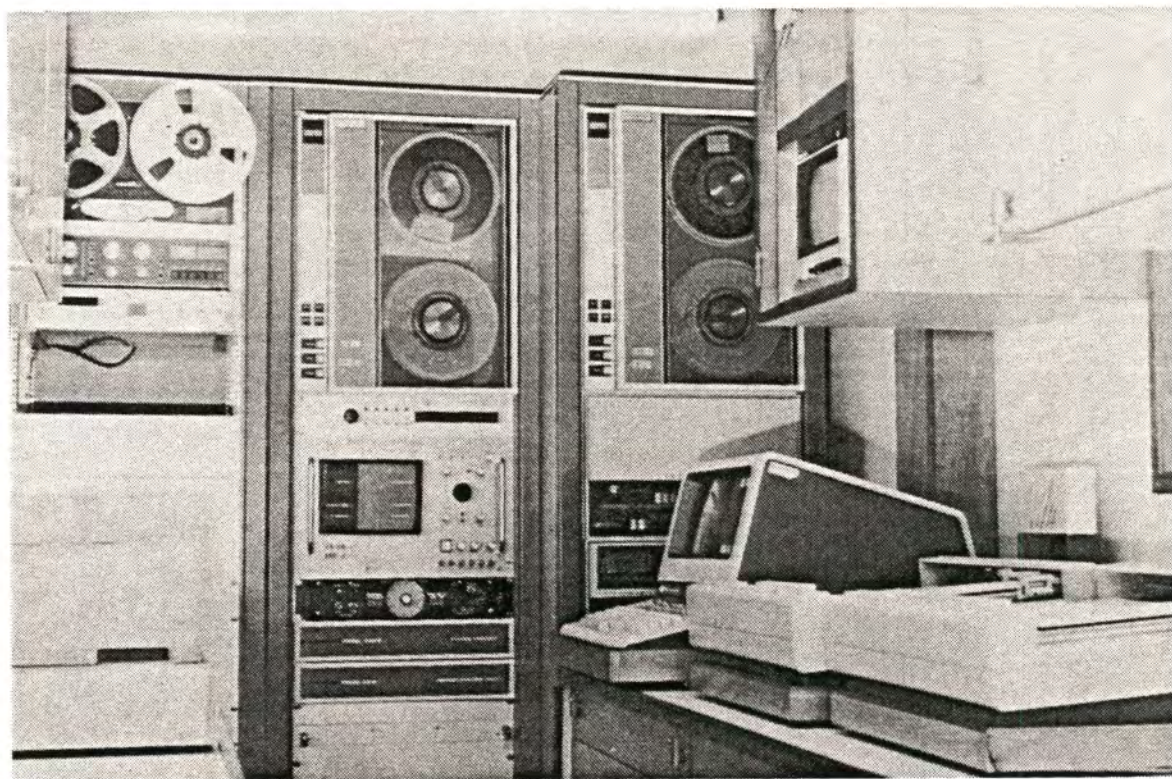
La pression et la température ne peuvent être étalonnées, avec une précision suffisante, qu'en laboratoire avant la campagne. Une vérification est nécessaire au retour.

La calibration de la conductivité et de l'oxygène dissous doit être faite par comparaison avec des mesures *in situ*. Ceci impose un certain nombre de tâches à exécuter en mer pour garantir la qualité de la mesure. Elles consistent notamment à :

- nettoyer périodiquement la cellule de conductivité,
- prélever les échantillons avec un maximum de précautions,
- mesurer la salinité sur ces échantillons dans un délai relativement court,
- doser l'oxygène avec précision,
- confronter ces mesures avec celles délivrées par la sonde.

Au retour de la campagne, de nombreux calculs et diverses vérifications et comparaisons permettent de donner toute leur signification à la précision des mesures de la sonde.





Equipements embarqués pour le traitement des données de la sonde CTD<sub>2</sub> NEIL BROWN



- PREMIERE PARTIE -

SYSTEME DE MESURES UTILISE POUR LA CAMPAGNE TOPOGULF

A - INSTRUMENTATION

1. Généralités
2. Caractéristiques des capteurs

B - ACQUISITION DES DONNEES ET TRAITEMENT EN TEMPS REEL

C - CAMPAGNE TOPOGULF

SYSTEME DE MESURES UTILISE POUR LA CAMPAGNE TOPOGULF

A - INSTRUMENTATION

1) Généralités :

La sonde CTDO<sub>2</sub> NEIL BROWN est équipée de capteurs qui permettent d'obtenir des mesures de pression, de température, de conductivité et d'oxygène dissous.

Cette sonde, branchée sur un câble électroporteur, permet de réaliser des profils d'hydrologie jusqu'à une profondeur de 6000 mètres, à une vitesse optimale de 1 mètre par seconde.

L'électronique de la sonde transmet des signaux, décodés dans l'appareil de bord, à une cadence de 5000 bits par seconde. L'information est codée en mots successifs de 8 bits. Un cycle complet de mesures est transmis en 32 ms et codé de cette manière :

- 1 mot de synchronisation (alternativement 00001111 et 11110000),
- 2 mots pour la mesure PRESSION
- 2 " " " TEMPERATURE
- 2 " " " CONDUCTIVITE
- 1 mot de signes
- 2 mots pour la mesure COURANT OXYGENE
- 2 " " " TEMPERATURE OXYGENE

La télémétrie continue à transmettre des bits (valeur 1) jusqu'au début du cycle suivant.

Le type de codage utilisé permet, en fonction de la gamme de mesure, d'obtenir pour chaque paramètre la résolution indiquée dans le tableau ci-après :

Variable	Gamme de mesure	Nombre de bits transmis	Résolution
PRESSION	0 → 6500 db	16 + 1 (signe)	0,1 db
TEMPERATURE	- 32 → + 32°C	16 + 1 (signe)	0,0005°C
CONDUCTIVITE	1 → 65 mmho/cm	16	0,001 mmho/cm
COURANT OXYGENE	0 → 2.047 µA	12	0,5 nA
TEMPERATURE OXYGENE	- 1.9 → 30.8°C	8 + 1 (signe)	0,13°C

L'information est renouvelée à chaque cycle transmis pour pression, température et conductivité. Par contre, les deux mesures concernant l'oxygène sont moyennées par le système, pendant une durée de 1024 ms, ce qui fait que la même valeur est transmise dans 32 cycles consécutifs.

2) Caractéristiques des capteurs :

. *Pression* :

C'est un capteur à jauges de contraintes. La précision de la mesure est de 0,1% de la pleine échelle, soit ± 6.5 dbar et la stabilité est garantie à 0,1% par mois.

. *Température* :

La mesure de température est réalisée par un thermomètre de platine, de type Rosemount, dont le temps de réponse est de 250 ms. Une thermistance, de type Fenwall, permet de détecter les variations brutales de température. Le résultat de la combinaison de ces deux



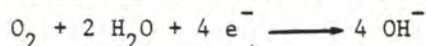
mesures donne une température dont la précision est de  $\pm 0,005^{\circ}\text{C}$  dans une gamme de  $- 2$  à  $+ 32^{\circ}\text{C}$ . Le temps de réponse de l'ensemble est de 25 ms.

. *Conductivité :*

Il s'agit d'une cellule, de type NEIL-BROWN, équipée de 4 électrodes. La forme est parallélépipédique, de longueur 3 cm avec une base carrée de 0,4 cm. Le temps de réponse de ce capteur est de 25 ms lorsque le profil est exécuté à une vitesse de 1 mètre par seconde. La précision de la mesure est de  $\pm 0,005$  mmho/cm dans la gamme de 1 à 65 mmho/cm.

. *Oxygène dissous :*

Il est mesuré à l'aide d'un capteur polarographique de type Beckman. Deux électrodes, une en argent, l'autre en or, baignent dans un électrolyte constitué de chlorure de potassium isolé du milieu extérieur par une membrane en téflon. Un potentiel constant de 0,8 volt est appliqué au niveau des électrodes. L'oxygène dissous dans l'eau de mer diffuse à travers la membrane et est décomposé au niveau de la cathode suivant la réaction :



simultanément, l'anode se décompose conformément à la réaction :



L'intensité du courant oxygène est directement proportionnelle à la pression partielle d'oxygène dissous. L'influence de la température est importante sur cette réaction, aussi une thermistance permet de mesurer la température de l'électrolyte qui subit les variations extérieures avec un retard important.

Le temps de réponse de ce capteur est nettement plus important que pour la mesure de température et de conductivité. Il est de l'ordre de 2 secondes, ce qui justifie la moyenne effectuée par le système pendant 1,024 s.

## B - ACQUISITION DES DONNEES ET TRAITEMENT EN TEMPS REEL

Les informations transmises par l'électronique, par mots de 8 bits successifs, sont décodées par l'appareil de bord qui visualise les mesures sous forme digitale.

Parallèlement, les informations sont transmises vers une carte interface qui permet au calculateur Hewlett-Packard de les récupérer dans des mots de 16 bits. Un "driver" mis au point par le Service d'Exploitation des Ordinateurs (S.E.O.) du COB permet d'avoir accès à ces informations pour les traiter en temps réel. Ces données transmises au calculateur sont rangées par 76 cycles consécutifs dans deux "buffers" remplis alternativement en 2,432 s de transmission.

Dès que l'un des "buffers" est complet, il est verrouillé et le traitement de son contenu se déclenche, alors que la transmission des informations de la sonde se poursuit dans l'autre. Dès que le traitement est terminé, le "buffer" redevient disponible pour ranger la suite des informations dès que l'autre est complet.

Le traitement en temps réel consiste à exécuter les tâches suivantes :

- décodage des informations transmises par la sonde pour les transformer en valeurs mesurées (PR, TE, CO, OC, OT),
- élimination des cycles contenant une mesure aberrante en utilisant des tests de validité,
- calcul des moyennes pondérées de chaque type de mesure à des niveaux entiers de pression, en appliquant une fenêtre gaussienne dont l'écart-type est choisi en début de campagne,
- stockage des paramètres moyennés à chaque niveau entier de pression sur une bande magnétique,
- calcul d'un certain nombre de paramètres déduits des mesures : salinité, température potentielle, oxygène dissous, densité, ..
- visualisation des mesures moyennées et paramètres calculés sur imprimante et sortie graphique de différentes courbes.

## C - CAMPAGNE TOPOGULF

La sonde NEIL-BROWN n° 2521 a été utilisée avec le système de traitement de données décrit dans le chapitre B pendant la campagne TOPOGULF. Cette campagne s'est déroulée en juillet-août 1983 dans le sud-ouest des Açores, à bord du N.O. "Le Suroit". Elle s'est décomposée en deux parties : 39 stations d'hydrologie (n° 1 à 39) ont été réalisées au cours de la première (leg 2) et 76 (n° 40 à 115) au cours de la deuxième (leg 3). La carte 1 indique leur position géographique (cette carte montre en outre la position de stations effectuées au cours d'autres campagnes et qui nous ont servi pour comparer les résultats des mesures).

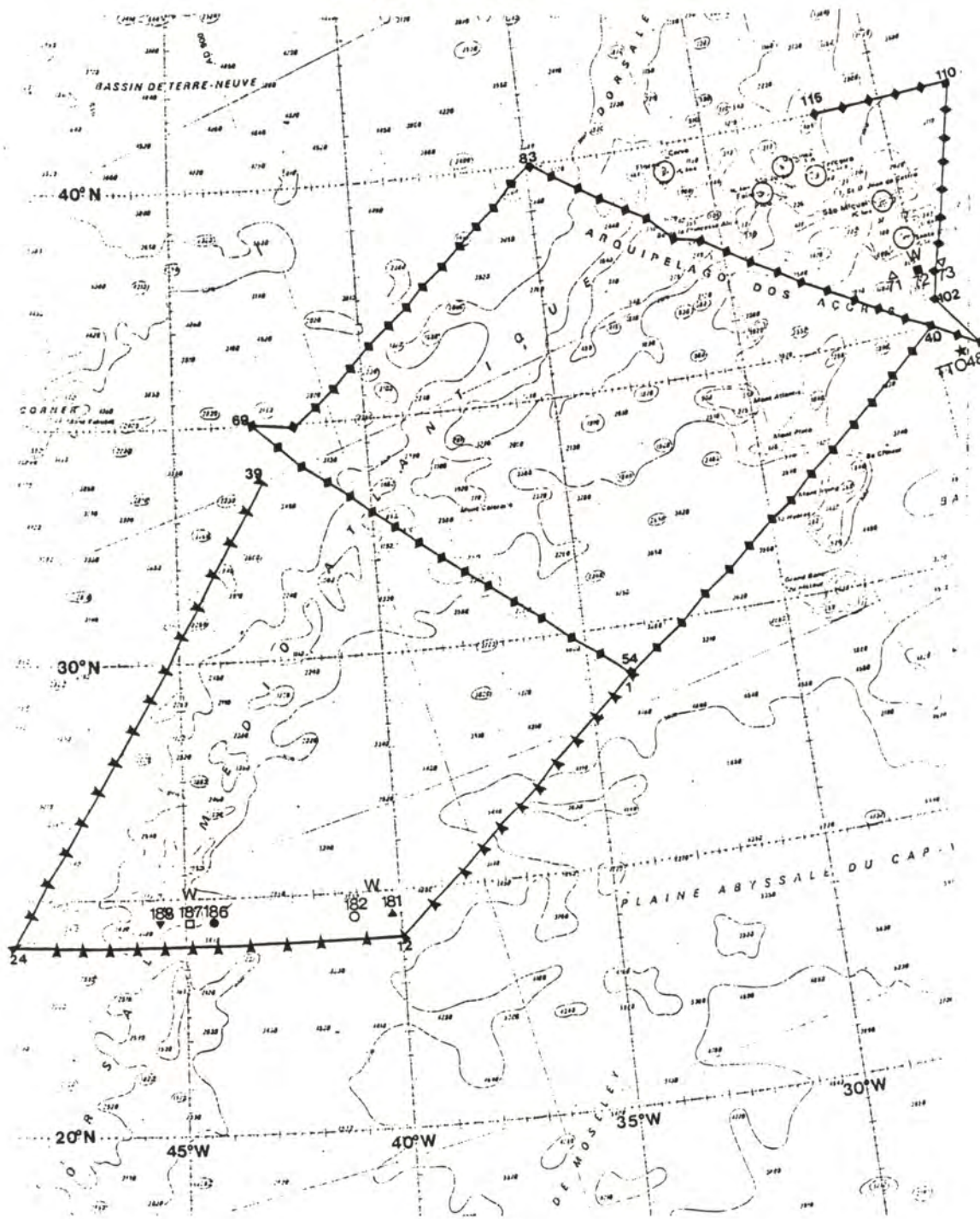
Les stations TOPOGULF sont réparties de part et d'autre de la dorsale médio-atlantique et les profils ont été effectués jusqu'à 4000 mètres de profondeur, chaque fois que le fond était suffisant. Les profils descente et montée de la sonde ont été enregistrés à chaque station.



La sonde était équipée d'une rosette avec douze bouteilles de 2,5 litres. Ces bouteilles sont descendues en position ouverte sur le profil de descente et, à l'aide d'un signal électrique, déclenchées, une à une, après arrêt de la sonde au cours de la remontée. A chaque station, des prélèvements ont ainsi été recueillis, dans la plupart des cas, aux profondeurs suivantes : 3500 - 3000 - 2500 - 2000 - 1500 - 1000 - 800 - 650 - 500 - 350 - 200 - 100.

Dès le retour de la sonde en surface, des échantillons ont été prélevés sur chacune de ces bouteilles pour mesurer, d'une part un certain nombre de traceurs chimiques et, d'autre part, la salinité et l'oxygène dissous afin de calibrer les mesures de la sonde.

FIGURE 1: POSITION DES STATIONS TOPOGULF



- DEUXIEME PARTIE -

PRINCIPE DES CALIBRATIONS ET VERIFICATIONS

A - CALIBRATIONS EN LABORATOIRE

1. Etalonnage de la mesure de pression
  - a) Etude de l'hystérésis
  - b) Etude de l'influence de la température sur la réponse du capteur
  - c) Correction de la mesure de pression
2. Etalonnage de la mesure de température

B - CALIBRATION DE LA MESURE DE CONDUCTIVITE

1. Nettoyage de la cellule de conductivité
2. Mesure de la salinité sur les échantillons prélevés
3. Mesures de la sonde au niveau des prélèvements
4. Validation des prélèvements
5. Recalage de la mesure de conductivité
6. Contrôle de la réponse du capteur station par station
7. Contrôle de la réponse du capteur aux niveaux standard
8. Calcul final des coefficients appliqués à TOPOGULF
9. Vérifications de la calibration
  - a) Contrôle des diagrammes  $\theta-S$
  - b) Contrôle de l'homogénéité des mesures entre leg 2 et leg 3

C - CALIBRATION DE L'OXYGENE DISSOUS

1. Mesure de l'oxygène dissous sur les prélèvements
2. Caractéristiques du capteur Beckman
3. Calcul de l'oxygène dissous à l'aide des paramètres mesurés par la sonde
4. Méthode de calcul des coefficients de recalage
5. Calibration des profils oxygène de la campagne TOPOGULF
6. Contrôles des résultats



## PRINCIPE DES CALIBRATIONS ET VERIFICATIONS

### A - CALIBRATIONS EN LABORATOIRE

La précision des capteurs de pression et de température est telle que celle des thermomètres à renversement utilisés auparavant en mer s'avère insuffisante pour obtenir une référence correcte.

En raison de la fiabilité et de la faible dérive de ces capteurs dans le temps, en effectuant certains contrôles en mer, il est préférable de faire une bonne calibration avant et après la campagne avec du matériel de précision et dans des conditions nettement plus favorables. Ces calibrations ont été faites au laboratoire de métrologie du COB en mars 1983 et confirmées en novembre 1983.

#### 1) Etalonnage de la mesure de pression :

Un banc balance manométrique Desgranges et Huot étalonné au Laboratoire National d'Essais est utilisé comme référence de la mesure de pression. L'incertitude relative sur la pression de référence appliquée au capteur est de  $\pm 2.10^{-4}$  ce qui donne une erreur maximale de  $\pm 1.2$  dbar à 6000 dbar. Pendant la durée des expériences, la sonde est immergée dans un bain d'eau thermostaté.

##### a) Etude de l'hystérésis :

Le capteur de la sonde présente une hystérésis assez importante comparée à la précision de sa mesure. Il est donc important d'en étudier l'amplitude en fonction de la pression à laquelle il est soumis. Par paliers successifs, des pressions croissantes puis décroissantes sont appliquées au capteur branché sur le banc balance. Plusieurs cycles de pression permettent de comparer l'indication du capteur, décodés par l'appareil de bord Neil-Brown à la pression référence appliquée.

Une première série d'essais a été réalisée à une température de 10°C. Le maximum de pression P<sub>MAX</sub> appliqué à chaque cycle a été, successivement de 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 puis 6000 dbar. La figure 2 regroupe les résultats obtenus : les signes indiquent pour chaque pression les écarts  $\Delta P$  observés entre la pression référence et la réponse correspondante du capteur. On peut faire les constatations suivantes :

- très bonne répétabilité du capteur lorsqu'il est soumis à des pressions croissantes,
- la variabilité est plus importante lorsqu'il est soumis à des pressions décroissantes, notamment lorsque P<sub>MAX</sub> est inférieur à 3000 dbar. Néanmoins, pour les cycles dont P<sub>MAX</sub> est supérieur à 3000 dbar, les écarts  $\Delta P$  obtenus à chaque pression diffèrent au maximum de 1 dbar,
- le maximum d'hystérésis est de 4,5 dbar à une pression de l'ordre de 1000 dbar.

##### b) Etude de l'influence de la température sur la réponse du capteur :

La sonde est utilisée en mer dans des conditions de température très différentes entre la surface et le fond. Il est intéressant de vérifier si la compensation automatique de cet effet de température sur la réponse du capteur de pression est suffisante. Ce contrôle est effectué en soumettant le capteur à des cycles 0-6000 dbar, par paliers de 1000 dbar, à des températures différentes : 2°, 4°, 8°, 10°, 15°, 18°, 23° C.



Quelle que soit la température, on obtient, à chaque pression de mesure, des écarts  $\Delta P$  qui diffèrent au maximum de 1 dbar, sur les montées comme sur les descentes en pression. On peut donc considérer que l'effet de température sur la réponse du capteur de pression est bien compensé.

c) Correction de la mesure de pression :

Pour obtenir une bonne précision de la mesure pression, il est nécessaire de corriger la réponse du capteur dans la gamme de son utilisation. Une régression linéaire utilisant le critère des moindres carrés permet de calculer les coefficients du polynôme qui corrige les indications du capteur en les comparant aux pressions référence correspondantes. Il s'avère que la meilleure correction est obtenue en utilisant un polynôme de degré 3 :

$$PR_R = A_0 + A_1 \times PR + A_2 \times (PR)^2 + A_3 \times (PR)^3$$

Une telle correction doit être faite pour les montées et les descentes en pression.

Les profils de la campagne TOPOGULF ont été réalisés jusqu'à une profondeur de 4000 mètres. Les coefficients du polynôme de recalage ont donc été calculés à l'aide de 11 points de mesure répartis de 0 à 5000 dbar. L'écart-type obtenu en corrigeant les mesures sur la montée en pression est de 0,55 dbar et sur la descente en pression de 0,36 dbar.

La figure 3 représente, pour le cycle montée en pression, les écarts  $\Delta P$  observés en chacun des 11 points, entre la mesure pression référence et l'indication correspondante du capteur. La figure 4 représente les écarts obtenus pour le cycle descente en pression.

Ces polynômes, déterminés avant le début de la campagne, peuvent être considérés comme valables pour toutes les mesures de la campagne, à condition qu'il n'y ait pas de dérive de la réponse du capteur. Pour vérifier ceci, il est indispensable de contrôler l'indication du capteur au début de chaque station : ce contrôle a permis de constater qu'en surface, celle-ci restait dans la marge d'incertitude de sa mesure.

En novembre 1983, après la campagne, la calibration en laboratoire, similaire à celle de mars 1983, a été répétée. On a observé un écart maximum de 0,4 dbar entre les deux séries. Ceci confirme que la réponse du capteur n'a pas évolué sensiblement pendant la campagne.

2) Etalonnage de la mesure de température :

Pour ces essais, la sonde est entièrement immergée dans un bain d'eau thermostaté et brassé. L'ensemble est soigneusement calorifugé. La température du bain, dont la stabilité est assurée à quelques millièmes de degrés, est mesurée à l'aide d'une sonde à résistance de platine ROSEMOUNT, conformément à l'Echelle Pratique Internationale de 1968 (EIP 68). Cette sonde référence, placée au voisinage immédiat des capteurs Neil-Brown, a un temps de réponse très court, ce qui permet de se mettre à l'abri des petites fluctuations de température. Elle a été étalonnée au Laboratoire National d'Essais, en janvier 1979, et elle est périodiquement contrôlée par rapport au point triple de l'eau.

Vingt et un points de mesures comparatives ont été effectuées en mars 1983 dans une gamme de température comprise entre + 2°C et + 26°C. Le bain est refroidi jusqu'à la température la plus basse, 2° C, puis, dès que celle-ci est atteinte, une régulation s'établit. Après quelques heures de stabilisation thermique, il est possible de comparer la réponse du capteur Neil-Brown et celle de la sonde référence enregistrées parallèlement sur graphique. Cet enregistrement est maintenu pendant 10 à 20 minutes de manière à s'affranchir des fluctuations liées à chaque capteur et à suivre une éventuelle évolution de la température du bain. La comparaison



des deux graphiques permet de relever l'écart observé à cette température. Le bain est ensuite réchauffé, de 1°C environ, pour répéter les mêmes opérations à cette température.

Ces comparaisons ont permis de constater que, avec 21 points de contrôle, la sonde Neil-Brown indique une température supérieure de 0,005°C à celle indiquée par la référence. Il a donc été décidé de retrancher 0,005° C ( $\Delta T$ ) des températures mesurées par la sonde au cours de la campagne TOPOGULF :

$$TE_R = TE - 0.005$$

En novembre 1983, 5 points de contrôle ont été réalisés à 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C dans les mêmes conditions au laboratoire. Ces points indiquent que l'écart  $\Delta T$  est réduit à 0,003°C. Cette différence (0,002°C), par rapport aux mesures de mars 1983, peut être attribuée à une dérive de la sonde Neil-Brown ou à des incertitudes liées au mode opératoire et à la température référence. De toute manière, au cours de la mission, l'utilisation de thermomètres à renversement ne pouvait nous donner d'informations complémentaires étant donné l'incertitude sur leur lecture (0,01°C) et leur propre étalonnage. Un tel étalonnage en laboratoire, avant et après la campagne, nous permet d'assurer que les températures mesurées sont connues avec une incertitude absolue de  $\pm 0,002^\circ\text{C}$ .

## B - CALIBRATION DE LA MESURE DE CONDUCTIVITE

Pour obtenir des mesures d'une grande précision en valeur absolue, il est tout à fait indispensable de faire une calibration *in situ*. Les échantillons prélevés sur la rosette permettent de faire une mesure de la salinité. Cette mesure permet de déduire la conductivité *in situ* de l'échantillon aux conditions de pression et température de son niveau de prélèvement. La mesure de conductivité effectuée par la cellule au niveau du prélèvement peut donc être comparée à cette valeur. Il est important de prélever à différents niveaux pour faire des comparaisons et établir un recalage satisfaisant dans toute la gamme de conductivité.

### 1) Nettoyage de la cellule de conductivité :

La mesure de conductivité est fonction de la conductance et de la géométrie de la cellule utilisée sur la sonde Neil-Brown. Les réactions électro-chimiques dans l'eau de mer provoquent un dépôt de carbonates de calcium et de magnésium à l'intérieur de la cellule, ce qui modifie son facteur de forme. La réponse au capteur s'en trouve affectée d'une dérive de l'ordre de  $1.10^{-4}$  à  $5.10^{-4}$  pour mille sur la valeur de la salinité par heure d'immersion. Il est donc important d'essayer de s'affranchir de cette dérive en éliminant périodiquement ce dépôt. La procédure de nettoyage préconisée par le constructeur a été appliquée pendant toute la campagne. Cette opération consiste à éliminer le dépôt de sel par une solution acide, puis à neutraliser cet acide avant de rincer à l'eau douce. Cette opération était répétée tous les deux jours soit environ toutes les huit stations.

### 2) Mesure de la salinité sur les échantillons prélevés :

Dès la remontée de la sonde en surface, un échantillon est prélevé sur chaque bouteille pour mesure de la salinité. Ces échantillons sont récupérés dans des canettes de  $130\text{ cm}^3$  avec joint caoutchouc pour assurer un bouchage hermétique. La procédure suivante a été utilisée :

- deux rinçages successifs du flacon et du joint,
- remplissage et fermeture en évitant le contact entre l'échantillon et le joint,
- passage de la partie supérieure de la canette sous un robinet d'eau douce. Ceci évite la formation de cristaux, à l'extérieur du bouchon, qui peuvent passer en solution au moment de l'ouverture pour analyse,
- stockage des prélèvements dans le laboratoire où est placé le salinomètre. La température du local est maintenue à une température la plus proche possible de  $21^{\circ}\text{C}$ .

Les échantillons sont ainsi conservés pendant une durée de 24 heures avant leur analyse. Le salinomètre utilisé est de type GUILDLINE G 8400 dont le bain est thermostaté à  $21^{\circ}\text{C} \pm 0.005^{\circ}\text{C}$ . Les ampoules d'eau normale utilisées pour la standardisation appartiennent au lot P93 ( $K_{15} = 099990$  date de fabrication : 31.10.1981). Une standardisation est répétée tous les jours avant de commencer une série d'analyses puis contrôlée à la fin de la série. La salinité déduite de la mesure est la salinité pratique de 1978 (P.S.U.).

### 3) Mesures de la sonde au niveau des prélèvements :

Les échantillons sont prélevés au cours de la remontée de la sonde après arrêt de celle-ci au niveau choisi. Le traitement temps réel offre la possibilité, après arrêt de la sonde et juste avant d'envoyer le signal de déclenchement de la bouteille, de provoquer un transfert parallèle des mesures (non moyennées) dans un fichier sur support disquette. Ce transfert est maintenu pendant une durée de 15 à 20 secondes, ce qui permet d'enregistrer de l'ordre de 500 cycles de mesures.



En fin de station, on a ainsi obtenu douze fichiers correspondant chacun à un prélèvement. Ces fichiers sont ensuite décodés, puis une valeur moyenne est calculée pour chaque paramètre mesuré après rejet des cycles dont l'une des mesures s'écarte trop de sa valeur moyenne. L'écart-type permet de vérifier si le prélèvement correspond à un niveau où les mesures sont homogènes.

Il est ainsi possible de constituer un jeu de données correspondant à un ensemble de prélèvements. Pour chacun de ces prélèvements les informations suivantes sont regroupées :

Numéro de station	
Numéro de bouteille	
Pression (PR)	} mesures de la sonde (moyenne au niveau du prélèvement)
Température (TE)	
Conductivité (CO)	
Salinité :	déterminée par le salinomètre sur l'échantillon.

#### 4) Validation des prélèvements :

On a recueilli 468 prélèvements au cours du leg 2 et 912 au cours du leg 3 de TOPOGULF. Une première vérification en mer consistait à comparer la salinité du prélèvement à celle déduite des mesures de la sonde, au même niveau et visualisée en temps réel. Cette confrontation a permis de constater que, outre les fuites accidentelles, plusieurs bouteilles présentaient des défauts d'étanchéité. Dans la mesure du possible, nous avons essayé d'y remédier au fur et à mesure du déroulement de la campagne. Ces fuites étaient dues probablement au traitement acide imposé, avant la campagne, au caoutchouc des bouteilles afin de doser les métaux traces sur les prélèvements.

Les prélèvements étaient écartés lorsque l'écart entre les deux mesures de salinité excédait 0,02 P.S.U., ce qui était le cas de 132 échantillons sur le leg 2 et 170 sur le leg 3.

#### 5) Recalage de la mesure de conductivité :

Au niveau de chaque prélèvement, nous avons, d'une part, les mesures de la sonde (PR, TE, CO) et, d'autre part, la salinité S mesurée sur l'échantillon.

La salinité permet de calculer la conductivité *in situ*  $C_H$  de l'échantillon dans les conditions de pression et de température du niveau de prélèvement. Ces paramètres sont mesurés par la sonde, il suffit de les corriger pour obtenir  $PR_R$  et  $TE_R$ . Ces calculs sont effectués conformément à la nouvelle définition de la salinité pratique (SAL 78) préconisée par l'UNESCO (la valeur de la conductivité de l'eau normale ( $C_{35,15,0} = 42,896$  mmhos/cm) est celle indiquée par WEYL en 1964).

La cellule de conductivité est soumise à l'effet de pression et de température. La mesure CO doit donc être corrigée suivant la formule indiquée par le constructeur :

$$CO_S = CO \times (1 - \alpha \times (T_{48} - 15) + \beta PR_R)$$

avec  $\alpha = 6,5 \times 10^{-6}$

$$\beta = 1,48 \times 10^{-8}$$

$$T_{48} = TE_R + 4,4 \times 10^{-6} \times TE_R (100 - TE_R)$$

Le but de la calibration est donc de comparer  $CO_S$  à  $C_H$  et de faire coïncider au mieux ces deux valeurs en utilisant une approximation par le critère des moindres carrés sur un ensemble d'échantillons. La conductivité est donc recalée de la manière suivante :

$$CO_R = C_1 \times CO_S + C_0$$

Le processus utilisé est inspiré de la méthode utilisée par MILLARD au Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI).

Différents essais, d'une part sur la totalité des prélèvements de la campagne, d'autre part sur ceux des legs 2 et 3 pris séparément ont permis d'obtenir de meilleurs résultats dans le second cas. Toute la suite considère donc une calibration appropriée à chaque leg.

Dans un premier temps, nous avons essayé la méthode de MILLARD qui consiste à recalibrer  $CO_S$  sur  $C_H$  avec un polynôme de degré 1 dont le terme constant est négligé. Le processus de calcul est le suivant :

- 1° - calcul pour chaque prélèvement, de :  $PR_R, TE_R, CO_S, C_H$
- 2° - calcul, par le critère des moindres carrés, du coefficient  $C_1$  sur l'ensemble des prélèvements :

$$C_1 = \frac{\sum_{i=0}^N (C_H)}{\sum_{i=0}^N (CO_S)}$$

- 3° - calcul, pour chaque prélèvement, de la conductivité corrigée de la sonde ( $CO_S$ ) et affectée du coefficient  $C_1$  :

$$CO_R = C_1 \times CO_S$$

- 4° - calcul de l'écart-type  $\sigma_o$  pour l'ensemble de ces N prélèvements :

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (C_H - CO_R)^2}{N - 1}}$$

- 5° - calcul, pour chaque prélèvement, de l'écart  $\Delta C$  :

$$\Delta C = C_H - CO_R$$

- 6° - rejet et visualisation de tous les prélèvements qui présentent un écart  $\Delta C$  supérieur à  $\Delta C_{max} = 2,8 \times \sigma_o$
- 7° - le processus de calcul est relancé automatiquement au niveau du 2° sur les échantillons non exclus par le test précédent. Le coefficient  $C_1$  retenu est celui calculé sur l'ensemble d'échantillons dont aucun n'est rejeté par le test du 6°.

Cet enchaînement a permis d'aboutir aux résultats regroupés dans le tableau ci-après.

	Leg 2	Leg 3
Nombre de prélèvements	468	912
Dont validés en mer	336	742
Retenus par le processus de calcul	332 (71%)	723 (79%)
Coefficient $C_1$	0.999774	0.999735
Ecart-type $\sigma_o$	0.0056	0.0041
Ecart maximum $\Delta C_{max}$ (mmho/cm)	0.016	0.011

La qualité de cette calibration peut être jugée en visualisant les écarts  $\Delta C$  subsistants en fonction du niveau du prélèvement et de la valeur de la conductivité mesurée. Les figures 5 et 6 montrent les résultats obtenus pour le leg 3.



L'observation de ces figures montre que la répartition des écarts n'est pas homogène dans la gamme de mesure. Il en ressort qu'une amélioration peut être apportée en faisant un recalage avec un polynôme dont la valeur à l'origine est différente de zéro. Les coefficients de régression  $C_1$  et  $C_0$  sont obtenus à l'aide du calcul matriciel suivant :

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^N (CO_S)^2 & \sum_{i=0}^N (CO_S) \\ \sum_{i=0}^N (CO_S) & \sum_{i=0}^N (1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1 \\ C_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^N (CO_S \times C_H) \\ \sum_{i=0}^N (C_H) \end{bmatrix}$$

Le même processus est appliqué sur l'ensemble des échantillons pour déterminer les coefficients  $C_1$  et  $C_0$  qui recalent la conductivité en utilisant la formule suivante :

$$CO_R = C_1 \times CO_S + C_0$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

	Leg 2	Leg 3
Nombre de prélèvements	468	912
Dont validés en mer	336	742
Retenus par le processus de calcul	315 (67%)	704 (77%)
Coefficient $C_1$	0.999186	0.999181
Coefficient $C_0$	+ 0.02259	+ 0.02116
Ecart-type $\sigma_0$	0.0038	0.0029
Ecart maximum $\Delta C_{max}$ (mmho/cm)	0.010	0.008

Quelques échantillons supplémentaires ont été éliminés par rapport à la première calibration. Il apparaît déjà que le recalage est de meilleure qualité, sur les deux legs, en observant l'écart-type. En comparant les coefficients obtenus pour chaque leg, on constate que la réponse du capteur est corrigée par la même pente de recalage, il y a simplement un décalage à l'origine.

Les écarts  $\Delta C$  subsistants lorsqu'on utilise cette calibration sont visualisés en fonction de la pression et de la conductivité pour chaque leg (voir figures 7 à 10). La première constatation est une meilleure répartition des écarts dans toute la gamme de mesure. Globalement cette calibration semble satisfaisante. Toutefois, il apparaît que, à certains niveaux, les écarts sont excentrés.

Les figures 11 et 12 font le bilan des prélèvements qui ont été écartés soit lors de la validation en mer, soit par le processus de calcul des coefficients  $C_1$  et  $C_0$ . On peut constater que certaines bouteilles fuyaient systématiquement. Si la fuite était importante, elles ont été remplacées en cours de mission, mais dans d'autres cas, il n'a pas été possible de s'en rendre compte. La constatation qui s'impose est que les écarts systématiques à certains niveaux sont à imputer à un problème de fuite.

#### 6) Contrôle de la réponse du capteur station par station :

La calibration étant différente pour chaque leg, il faut vérifier s'il n'y a pas dérive du capteur au cours de chacun d'eux. Pour cela, les écarts  $\Delta C$  observés à chaque station sont reportés en fonction du temps. Les figures 13 et 14 visualisent ces résultats pour chaque leg.



Ces figures montrent pour, chaque station, les  $\Delta C$  obtenus pour chaque prélèvement validé. L'extrémité du trait placé sur la gauche de chaque station indique la moyenne arithmétique  $\Delta C_M$  des écarts obtenus :

$$\Delta C_M = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta C)}{N}$$

Les triangles placés sur l'axe horizontal correspondent à un nettoyage de la cellule de conductivité.

La répartition de ces écarts est homogène dans le temps. Il n'y a ni dérive, ni rupture brutale de la réponse du capteur. Les  $\Delta C_M$  les plus importants correspondent aux stations pour lesquelles les prélèvements sont de moins bonne qualité et proviennent très souvent de niveaux non standard, plus proches de la surface où les gradients sont plus importants.

On peut en conclure, d'une part, que le capteur est très fiable et, d'autre part, que le nettoyage périodique de la cellule de conductivité s'est révélé efficace.

#### 7) Contrôle de la réponse du capteur aux niveaux standard :

Comme les prélèvements proviennent en général de niveaux standard, il est intéressant de vérifier si le recalage par  $C_1$  et  $C_0$  est satisfaisant à tous les niveaux. Le contrôle de la répartition des écarts  $\Delta C$  dans le temps permet aussi de vérifier par exemple qu'un changement de bouteille modifie la répartition des écarts. Ce travail a été effectué uniquement sur le leg 3 qui comporte plus de stations et pour lequel les prélèvements sont de meilleure qualité.

La figure 15 montre la répartition des écarts  $\Delta C$  pour les échantillons prélevés à 650 dbar avec la bouteille 8. La grande majorité des échantillons ont été validés à ce niveau où pourtant le gradient est assez important : la répartition des écarts est homogène. Une telle visualisation par niveau a permis de mettre en évidence l'efficacité, ou l'inefficacité, de tels changements de bouteille. Par exemple, le niveau 1500 dbar (bouteille 5) pour lequel de nombreux prélèvements ont été écartés, montre une répartition excentrée des écarts, ce qui confirme que de petits problèmes de fuite ont persisté jusqu'à la fin de la campagne. Une telle analyse opérée à chaque niveau a permis d'éliminer la quasi-totalité des échantillons douteux : 561 prélèvements ont ainsi été retenus sur le leg 3.

#### 8) Calcul final des coefficients appliqués à TOPOGULF :

Le processus décrit au paragraphe 5 a permis de calculer les nouveaux coefficients  $C_{31}$  et  $C_{30}$  pour recalibrer les mesures du leg 3. Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus :

	Leg 3
Nombre de prélèvements	912
Nombre de prélèvements validés (voir § 7)	561
Retenus par le processus de calcul	532 (58%)
Coefficient $C_{31}$	0.999278
Coefficient $C_{30}$	+ 0.01682
Ecart-type $\sigma_0$	0.0025
Ecart maximum $\Delta C_{max}$ (mmho/cm)	0.007



La figure 16 montre la répartition des écarts  $\Delta C$  en-fonction de la pression. On note une petite amélioration par rapport à la figure 8.

Les vérifications décrites au paragraphe suivant (9) ont permis d'établir que les mesures de la campagne TOPOGULF, recalées avec les coefficients  $C_1$  et  $C_0$  appropriés à chaque leg, sont homogènes dans leur ensemble. Les nouveaux coefficients  $C_{31}$  et  $C_{30}$  améliorent les résultats pour le leg 3 et sont donc retenus pour corriger les mesures délivrées par la sonde. La démarche qui permet d'améliorer ces résultats est beaucoup plus difficile à appliquer au leg 2 qui présente des mesures de moindre qualité. Pour respecter l'homogénéité des mesures corrigées par  $C_1$  et  $C_0$ , il a été décidé d'appliquer au leg 2 les mêmes modifications que celles apportées au leg 3 aux extrémités de l'échelle de mesure, soit 30 et 50 mmho/cm. Ceci a permis de calculer les coefficients de recalage à apporter aux mesures du leg 2 :

$$C_{21} = 0.999283$$

$$C_{20} = 0.02225$$

#### 9) Vérifications de la calibration :

##### a) Contrôle des diagrammes $\theta$ -S :

La calibration du capteur de conductivité est déterminée en établissant une comparaison avec les résultats des mesures sur les échantillons prélevés au cours de la campagne. Il est indispensable de comparer ces mesures à celles obtenues par d'autres organismes dans la même zone géographique. En effet, en dépit d'une calibration qui peut paraître satisfaisante, des écarts systématiques peuvent apparaître. Ceux-ci sont liés essentiellement aux techniques de prélèvements et de conservation de l'échantillon.

P. SAUNDERS de l'"Institute of Oceanographic Sciences" (IOS), a effectué de très nombreuses mesures, à plusieurs reprises et durant 8 ans, entre 30°N et 48°N de latitude. Ces observations lui ont permis d'établir une relation linéaire entre la température potentielle  $\theta$  et la salinité S. Cette formule qui s'applique à des eaux dont la température potentielle est comprise entre 1,9°C et 2,5°C est la suivante :

$$S = 34.698 + 0.098 \times \theta$$

Cette constatation s'applique au bassin est de l'Atlantique, tandis que le bassin ouest présente une eau plus salée de 0,015 PSU à une température potentielle de 2,0°C.

La figure 17 représente la relation  $\theta$ -S préconisée par P. SAUNDERS. Les tracés qui sont reportés correspondent aux  $\theta$ -S obtenus avec les mesures TOPOGULF recalées avec les coefficients  $C_{31}$  et  $C_{30}$ . Ces tracés sont obtenus en prenant tous les 10 dbar les valeurs correspondantes de température potentielle et de salinité sur les profils descente. Il s'agit des stations 40 à 54 situées sur la radiale est, entre 29°N et 35°N de latitude. Ces diagrammes  $\theta$ -S indiquent que la salinité varie dans une fourchette de 0,003 PSU et que sa valeur moyenne est supérieure de 0,001 PSU à celle de P. SAUNDERS. Les diagrammes  $\theta$ -S des stations 1 à 12 (entre 24°N et 29°N), effectuées au cours du leg 2, se répartissent dans une gamme identique de salinité.

Les points reportés sur cette même figure indiquent les valeurs obtenues au cours de la campagne T.T.O. et par C. WUNCH en 1981 (la position de chacune de ces stations est indiquée sur la figure 1).

Il apparaît que la salinité obtenue à partir des mesures de TOPOGULF est quasiment identique à la valeur indiquée par SAUNDERS et légèrement supérieure à celle de TTO et WUNCH.



Les mêmes diagrammes  $\theta$ -S obtenus pour les stations 68 à 83 entre 34°N et 40°N de latitude, dans le bassin ouest sont représentés sur la figure 18. La relation  $\theta$ -S ne s'applique manifestement pas à ce bassin dont la salinité est supérieure à celle du bassin est. Il est par contre difficile d'avancer que la salinité du bassin ouest est supérieure de 0,015 PSU (à une température de 2,0°C), étant donné l'augmentation (0,010 PSU) observée entre 24°N et 40°N dans ce bassin.

b) Contrôle de l'homogénéité des mesures entre leg 2 et leg 3 :

Le but est de contrôler, sur les radiales est et ouest, que les mesures effectuées au cours de legs différents présentent une répartition de salinité uniforme à une même température potentielle. Cette première vérification a permis de déduire que les salinités déduites du recalage de la conductivité par  $C_1$  et  $C_0$ , approprié à chaque leg, étaient homogènes sur l'ensemble de la campagne. D'une part, les coefficients  $C_{21}$  et  $C_{20}$  pour le leg 2 et d'autre part  $C_{31}$  et  $C_{30}$  pour le leg 3, nous ont permis de calculer la salinité pour l'ensemble des stations TOPOGULF. Les figures 19 et 20 représentent les résultats obtenus. Le long de chaque radiale, la salinité correspondant aux isothermes potentielles, dans les couches profondes et stables, est relevée pour quelques stations. La répartition de la salinité correspondant à chaque isotherme ne met pas en évidence de rupture liée au passage d'un leg à l'autre. Dans le bassin ouest, l'augmentation progressive de salinité du sud vers le nord est mise en évidence : cette évolution ne peut être que physique et non pas instrumentale, étant donné les résultats cohérents obtenus dans le bassin est. Ceci est d'ailleurs confirmé par les mesures de WORTHINGTON (1970) : la figure 21 montre la répartition de salinité correspondant à la température potentielle de 2,2°C dans l'Atlantique nord.



## C - CALIBRATION DE L'OXYGENE DISSOUS

La calibration de l'oxygène est compliquée par le fait que la réponse du capteur est différente sur un profil "descente" et "montée" de la sonde. Les prélèvements étant recueillis au cours de la montée, une calibration différente sur chaque type de profil s'impose.

Les profils "descente", exécutés à une vitesse constante et sans arrêt de la sonde, sont recalés en comparant les mesures transmises par la sonde aux valeurs d'oxygène obtenues sur les prélèvements, à pression équivalente. La mesure oxygène de la sonde (OC) est relativement instable, ce qui oblige à faire une moyenne, sur tous les paramètres, dans une tranche d'eau de 5 dbar centrée sur la pression référence. Une source d'erreurs importante est liée au fait que les prélèvements sont différés dans le temps : le navire dérive et la structure hydrologique peut évoluer à un même niveau. Ceci est particulièrement vrai entre 0 et 2000 dbar.

D'autres difficultés apparaissent pour le recalage du profil "montée". Le ralentissement, puis l'arrêt de la sonde à chaque niveau de prélèvement et enfin la coupure de l'alimentation électrique de la sonde pendant la transmission du signal de déclenchement de la bouteille perturbent la réponse du capteur. Ces inconvénients obligent à calculer une moyenne des mesures dans la tranche d'eau, entre (P-6) et (P-2), l'échantillon étant prélevé à la pression P.

### 1) Mesure de l'oxygène dissous sur les prélèvements :

Au cours de la campagne TOPOGULF, un échantillon est prélevé sur chacune des douze bouteilles, à toutes les stations, dans un flacon rodé à bouchon plongeur. Le volume de ces flacons, connu avec précision, est de l'ordre de 130 ml. Le dosage de l'oxygène dissous est réalisé par la méthode de Winkler. L'iode libéré est dosé par une solution de thiosulfate de sodium dont la normalité (0,01N) est contrôlée avant et après chaque série de mesures. Les dosages sont effectués au cours de chaque leg par le même chimiste.

### 2) Caractéristiques du capteur Beckman :

La réduction de l'oxygène à la cathode provoque un courant dont l'intensité est déterminée par la loi de Faraday :

$$I = Q_r \times n \times F \quad (1)$$

I = courant mesuré en ampères

$Q_r$  = vitesse de réduction de l'oxygène à la cathode (moles/seconde)

n = nombre d'équivalents par mole d'oxygène (= 4)

F =  $9,65 \times 10^4$  coulombs/équivalent

La diffusion de l'oxygène à travers la membrane de téflon est obtenue par la formule :

$$Q_d = \frac{P_m}{d_m} \times A_e \times (P_s - P_c) \quad (2)$$

$Q_d$  = vitesse de diffusion ( $\sim Q_r$ )

$P_m$  = perméabilité de la membrane

$d_m$  = épaisseur de la membrane

$A_e$  = surface de la cathode

$P_s$  = pression partielle de l'oxygène dans l'eau ( $P_{O_2}$ )

$P_c$  = pression partielle de l'oxygène à l'interface cathode/électrolyte)

La combinaison de (1) et (2) permet d'écrire :

$$I = n \times F \times A_e \times \frac{P_m}{d_m} \times (P_s - P_c) \quad (3)$$

Il apparaît que la condition suffisante pour obtenir une relation linéaire entre le courant mesuré (OC) et la pression partielle de l'oxygène dissous est que  $P_c$  soit négligeable comparativement à  $P_s$ . Si cette condition est remplie, le courant mesuré est indépendant de la vitesse de la réaction chimique et ne dépend que des caractéristiques physiques du capteur.

La perméabilité de la membrane est sensible aux conditions de température, pression et salinité. L'influence de la température est donnée par la relation suivante :

$$P_T = P_{to} \times e^{-B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

$P_T$  = perméabilité à la température absolue T

$P_{to}$  = perméabilité à la température référence absolue  $T_0$

B = constante du téflon

L'influence de la pression s'exprime de la manière suivante :

$$P_m = P_o \times e^{-kp}$$

$P_m$  = perméabilité à la pression p

$P_o$  = perméabilité à la pression atmosphérique

k = constante du téflon

L'influence de la salinité est négligeable étant donné le peu de variabilité dans l'océan (35 - 38 PSU).

### 3) Calcul de l'oxygène dissous à l'aide des paramètres mesurés par la sonde :

La sonde CTDO<sub>2</sub> transmet les paramètres suivants : pression (PR), température (TE), conductivité (CO), courant oxygène (OC), température de l'électrolyte (OT).

Le taux d'oxygène dissous, exprimé en ml/l, est égal à :

$$O_{2CTD} \text{ (ml/l)} = p_{O_2} \times \text{OXSAT}$$

L'oxygène à saturation (OXSAT) est calculé par la méthode de WEISS (1970) :

$$\text{OXSAT} = e^{A_1 + (A_2 \times \frac{1}{T}) + (A_3 \times \ln T) + (A_4 \times T) + S \times ((B_1 + B_2 \times T) + B_3 \times T^2)}$$

T =  $TE_R + 273.16$  ( $TE_R$  température recalée)

S = salinité calculée à l'aide de  $PR_R$ ,  $TE_R$ ,  $CO_R$

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  constantes déterminées par WEISS.

L'algorithme qui permet de calculer l'oxygène dissous à l'aide des mesures CTD est inspiré de celui appliqué par le groupe GEOSECS en 1975 :

$$\text{OXYC (ml/l)} = \text{soc} \times \text{OC} \times \text{OXSAT} \times e^{\text{oxtc} \times (\text{oxc1} \times TE_R + \text{oxc2} \times (OT - TE_R)) + \text{oxpc} \times PR_R} \quad (4)$$

OC = courant oxygène mesuré par la sonde en microampères

$TE_R$  = mesure température recalée

$PR_R$  = mesure pression recalée

OT = température de l'électrolyte mesuré par la sonde

soc = facteur de recalage courant oxygène

oxtc = facteur de correction de l'effet de température sur la membrane

oxc1 = 1

oxc2 = facteur de pondération de l'écart ( $OT - TE_R$ )

oxpc = facteur de correction de l'effet pression sur la membrane.



#### 4) Méthode de calcul des coefficients de recalage :

Le but est de comparer la valeur d'oxygène dissous OH obtenue par dosage sur l'échantillon à l'oxygène calculé OS à l'aide des paramètres mesurés par la sonde.

Sur un ensemble n d'échantillons, prélevés à différentes profondeurs, une approximation par le critère des moindres carrés permet de calculer les coefficients soc, oxc2, oxpc et oxtc.

La formule (4) peut être linéarisée de la manière suivante :

$$\ln \left[ \frac{OH}{OC \times OXSAT} \right] = \ln soc + oxtc \times (TE_R) + oxtc \times oxc2 \times (OT-TE_R) + oxpc \times (PR_R)$$

Cette linéarisation permet d'obtenir un système de la forme :

$$\ln \left[ \frac{OH}{OC \times OXSAT} \right] = A_0 + A_1 \times \varphi_0(TE_R) + A_2 \times \varphi_1(OT-TE_R) + A_3 \times \varphi_2(PR_R)$$

et de le résoudre :

$$A_0 \sum_{i=0}^n \varphi_k + A_1 \sum_{i=0}^n \varphi_k \times \varphi_0 + A_2 \sum_{i=0}^n \varphi_k \times \varphi_1 + A_3 \sum_{i=0}^n \varphi_k \times \varphi_2 - \sum_{i=0}^n \varphi_k \times \ln \frac{OH}{OC \times OXSAT}$$

Les coefficients sont obtenus en résolvant le système matriciel suivant :

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n (1) & \sum_{i=0}^n (TE_R) & \sum_{i=0}^n (OT-TE_R) & \sum_{i=0}^n (PR_R) \\ \sum_{i=0}^n (TE_R) & \sum_{i=0}^n (TE_R)^2 & \sum_{i=0}^n ((OT-TE_R)TE_R) & \sum_{i=0}^n (TE_R \times PR_R) \\ \sum_{i=0}^n (OT-TE_R) & \sum_{i=0}^n ((OT-TE_R)TE_R) & \sum_{i=0}^n (OT-TE_R)^2 & \sum_{i=0}^n ((OT-TE_R)PR_R) \\ \sum_{i=0}^n (PR_R) & \sum_{i=0}^n (PR_R \times TE_R) & \sum_{i=0}^n ((OT-TE_R)PR_R) & \sum_{i=0}^n (PR_R)^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \ln soc \\ oxtc \\ oxtc \times oxc2 \\ oxpc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n [1] \times \ln \frac{OH}{OC \times OXSAT} \\ \sum_{i=0}^n [TE_R] \times \ln \frac{OH}{OC \times OXSAT} \\ \sum_{i=0}^n [OT-TE_R] \times \ln \frac{OH}{OC \times OXSAT} \\ \sum_{i=0}^n [PR_R] \times \ln \frac{OH}{OC \times OXSAT} \end{bmatrix}$$

#### 5) Calibration des profils oxygène de la campagne TOPOGULF :

La réponse du capteur d'oxygène étant différente sur les profils "descente" et "montée", il faut au préalable constituer le jeu de données correspondant à chaque type de profil.

Un processus identique à celui utilisé pour la conductivité est appliqué : sur un ensemble N d'échantillons, un premier calcul de coefficients permet d'obtenir un écart  $\Delta O = OH - OS$  pour chaque prélèvement. Les échantillons dont  $\Delta O$  est supérieur à  $\Delta O_{\max} = 2,8$  fois l'écart-type  $\sigma$  sont éliminés. Un nouveau calcul de coefficients, en n'utilisant que les échantillons validés, est relancé jusqu'à ce qu'aucun autre ne soit rejeté.

Une première validation en mer a permis d'écarter un certain nombre de mesures Winkler manifestement fausses. Le premier essai en utilisant les échantillons validés en mer, séparés par leg, a permis d'aboutir aux résultats suivants :

	Profils "descente"		Profils "montée"		
	Leg 2	Leg 3	Leg 2	Leg 3	
Nombre de prélèvements	468	907	464	895	
Dont validés en mer	414	870	410	858	
Retenus par le processus de calcul	384	826	392	801	
Coefficients	SOC	2.9209	2.8743	2.9365	2.8646
	OXPC	0.000154	0.000155	0.000156	0.000160
	OXTC	- 0.0328	- 0.0316	- 0.0337	- 0.0335
	OXC1	1	1	1	1
	OXC2	0.384	0.522	0.639	0.645
Ecart-type $\sigma$	0.055	0.060	0.076	0.052	
Ecart maximum $\Delta O_{\max}$ (ml/l)	0.15	0.17	0.21	0.14	

Ce recalage permet de contrôler si la réponse du capteur n'a pas évolué au cours de chaque leg. Cette vérification est possible en visualisant l'écart moyen arithmétique :

$$\Delta O_M = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta O)}{N}$$

obtenu pour les prélèvements validés à chaque station. Les figures 22 et 23 montrent les résultats obtenus pour les descentes et les montées du leg 3. Il apparaît que  $\Delta O_M$  est systématiquement positif pour les stations 40 à 54 et très souvent négatif pour les stations 55 à 115. Les stations qui se distinguent par un  $\Delta O_M$  non conforme à la répartition globale sont celles dont les échantillons ont été prélevés à des niveaux non standard et plus près de la surface dans les forts gradients ou, dont de nombreux prélèvements ont été éliminés. Des constatations similaires ont été faites pour le leg 2.

Les profils d'oxygène tracés en temps réel permettent de contrôler si tel échantillon a été prélevé à un niveau qui correspond à un fort gradient d'oxygène. C'est, par exemple, très souvent le cas du niveau 100 dbar où la variabilité du taux d'oxygène peut atteindre 0,08 ml/l et par mètre. Une nouvelle validation des échantillons consiste à éliminer ceux par lesquels un écart  $\Delta O$  important correspond à un fort gradient.

La visualisation des écarts moyens ( $\Delta O_M$ ) a permis de mettre en évidence une différence notable de leur répartition entre le début et la fin de chaque leg. Un nouveau calcul de coefficients est effectué en séparant les échantillons validés et prélevés aux stations 1 à 24, 25 à 39, 40 à 54 et 55 à 115. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-après :



	Profils "descente"				Profils "montée"				
	Leg 2		Leg 3		Leg 2		Leg 3		
	Stations 1 à 24	Stations 25 à 39	Stations 40 à 54	Stations 55 à 115	Stations 1 à 24	Stations 25 à 39	Stations 40 à 54	Stations 55 à 115	
Nbre de prélèvements	264	156	192	739	262	154	190	729	
Dont validés en mer	227	148	166	664	225	146	175	705	
Retenus par processus de calcul	222	137	150	619	220	137	169	675	
Coeff.	SOC	2.9257	2.8979	2.8935	2.8535	2.9405	2.9227	2.9311	2.8660
	OXPC	0.000154	0.000156	0.000153	0.000157	0.000157	0.000157	0.000155	0.000159
	OXTC	- 0.0328	- 0.0323	- 0.0295	- 0.0316	- 0.0350	- 0.0330	- 0.0314	- 0.0336
	OXC1	1	1	1	1	1	1	1	1
	OXC2	0.405	0.398	0.754	0.475	0.779	0.513	0.301	0.639
Ecart-type $\sigma$	0.068	0.044	0.057	0.046	0.079	0.054	0.072	0.047	
Ecart-maximum $\Delta O_{max}$ (ml/l)	0.19	0.12	0.16	0.13	0.22	0.15	0.20	0.13	

Après ce nouveau recalage, une nouvelle visualisation des écarts moyens  $\Delta O_M$  permet de vérifier les améliorations apportées. Les figures 24 et 25 montrent les résultats obtenus pour les descentes et montées du leg 3. Ces écarts sont mieux regroupés sur l'ensemble de chaque leg. Toutefois, on constate un écart relativement important à certaines stations : la qualité des mesures Winkler est probablement à mettre en cause. Malgré tout, la réponse du capteur semble bien corrigée sur l'ensemble de la campagne.

Cette correction est vérifiée en visualisant les écarts  $\Delta O$  observés à chaque niveau standard de prélèvement. La figure 26 montre que par exemple, à 2500 dbar la répartition des écarts a une allure homogène sur l'ensemble des profils "descente" du leg 3.

Il est aussi important de vérifier si la répartition des écarts est la même à tous les niveaux de prélèvements. Les figures 27 et 28 montrent les résultats obtenus pour les descentes et montées du leg 3. Il apparaît que les profils "descente" présentent des écarts excentrés à 1000 et 1500 dbar.

Or, à ces niveaux de prélèvement, de légères fuites de bouteilles ont pu être mises en évidence par la calibration de la conductivité. Toutefois, des essais ultérieurs après élimination de ces valeurs, n'ont pas permis d'obtenir des résultats sensiblement meilleurs : ceci prouve que la limite de la précision de la calibration est atteinte. La calibration des profils "montée" met en évidence une distorsion supplémentaire aux niveaux 2000 et 2500 dbar. A ces niveaux, les profils d'oxygène sont homogènes et la qualité des prélèvements ne peut être mise en cause : un écart systématique est induit sur les profils "montée".

Il résulte de ces dernières observations que, pour l'interprétation correcte des données, il n'est possible d'établir des comparaisons qu'entre profils de même type.

Une calibration individualisée pour chaque station de la campagne à l'aide de 12 échantillons prélevés sur chacune entraîne des distorsions à cause des valeurs erronées qu'il est très difficile de discerner : il est donc préférable d'opter pour une calibration globale.



#### 6) Contrôles des résultats :

Le tracé des profils obtenus en utilisant ces coefficients de recalage, les mesures Winkler correspondantes y étant reportées, a permis de vérifier pour un grand nombre de stations, surtout celles dont le  $\Delta O_M$  était important, la qualité de la calibration. Les profils "descente" et "montée" de la station 110 sont représentés sur les figures 29 et 30. Les écarts moyens sont assez importants :  $\Delta O_M = - 0,052$  ml/l pour la descente et  $\Delta O_M = - 0,023$  ml/l pour la montée. L'exemple de cette station, pour laquelle les valeurs d'oxygène obtenues sur le profil diffèrent notablement des mesures Winkler, montre que les résultats sont relativement satisfaisants. Il faut noter sur le profil "montée" le décrochement de la mesure d'oxygène lié au déclenchement de chaque bouteille.

La comparaison des profils d'oxygène, obtenus sur des legs différents, en des positions géographiques proches, a permis de conclure que la calibration donne des résultats cohérents avec les mesures Winkler pour l'ensemble de la campagne.

Enfin, une comparaison avec les résultats obtenus au cours de campagnes précédentes d'autres laboratoires permet de juger la qualité des mesures obtenues sur les profils TOPOGULF. Par exemple, la station 18 est relativement proche des stations 186, 187 et 188 réalisées par WUNCH en 1981 (figure 1). La figure 31 montre le profil "descente" obtenu à la station 18 avec les mesures Winkler correspondantes et, à titre de comparaison, les mesures obtenues par WUNCH aux stations précitées. Ce profil, dont la calibration ne semblait pas très bonne ( $\Delta O_M = - 0,059$  ml/l), fait apparaître, outre une bonne corrélation avec les mesures Winkler, des résultats tout à fait cohérents avec les mesures de WUNCH aux pressions supérieures à 2000 dbar. Par contre, si la calibration TOPOGULF est tout à fait correcte entre 0 et 2000 dbar, les mesures de WUNCH montrent qu'il y a de fortes variabilités entre des stations relativement proches : ceci met en évidence les difficultés rencontrées pour la calibration d'un profil d'oxygène.

D'autres comparaisons avec des résultats obtenus lors des campagnes GEOSECS et TTO 81 conduisent à des écarts du même ordre de grandeur et acceptables. Il est donc possible de déduire que les mesures d'oxygène dissous obtenues sur les profils TOPOGULF sont cohérentes avec les résultats, provenant d'autres campagnes, utilisés pour établir les comparaisons.



D - CONCLUSION

Il est évident qu'il ne suffit pas d'avoir à sa disposition un matériel performant pour organiser des campagnes d'hydrologie et obtenir des résultats de bonne qualité : ce rapport décrit une procédure, qui permet d'aboutir à des résultats satisfaisants et comparables à ceux obtenus par d'autres laboratoires.

Cette méthode a pu être mise au point au COB du fait que le laboratoire de métrologie donne la possibilité de faire des étalonnages précis à terre et qu'une "routine" de calibration a pu être développée sur un ordinateur Hewlett-Packard du Département Informatique. Cette procédure peut être mise en oeuvre par tout laboratoire extérieur, utilisateur du système Neil-Brown, soucieux de garantir la qualité de ses mesures.

E - BIBLIOGRAPHIE

- BECKMAN. Dissolved Oxygen Monitor Polarographic Oxygen Sensor. Technical Memorandum.
- BILLANT, A., 1983. Description et utilisation du système embarqué de mesures d'hydrologie recueillies par une sonde Neil-Brown. Rapport interne CNEXO/COB.
- BROWN, N.L. and G.K. MORRISON, 1978. WHOI/Brown conductivity, temperature and depth microprofiler. *Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report* n° 78-23.
- CARRITT, D.E. and J.H. CARPENTER, 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler Method for determining dissolved oxygen in sea water. UNESCO Report. *J. Marine Res.*, 24 (3) : 286-318.
- FOFONOFF, N.P., S.P. HAYES and R.C. MILLARD, 1974. WHOI/Brown microprofiler : methods of calibration and data handling. *Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report* n° 74-89.
- FOFONOFF, N.P., 1981. Algorithms for oceanographic computations. SCOR Working Group Report.
- MILLARD, R.C., A. BLUMER and N. GALBRAITH, 1978. A digital tape format for Woods Hole Oceanographic Institution CTD data. *Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report* n° 26.
- MILLARD, R.C., 1982. CTD calibrations and data processing techniques at WHOI using the 1978 practical salinity scale. International STD Conference and Workshop, San Diego.
- PICHERAL, M., 1983. Acquisition et contrôle de données chimiques et physiques lors d'une campagne océanographique. Rapport de stage.
- SAUNDERS, P.M., 1981. CTD data from the North Madeira Basin 19 january-12 february 1981 Discovery Cruise 117.
- UNESCO, 1981. Technical papers in *Marine Sciences* : n° 36, 37, 38, 39, 40.
- VANLANDINGHAN, J.W. and M.W. GREENE, 1971. An *in situ* molecular oxygen profiler (a quantitative evaluation of performance). *Marine Technology Society Journal*, vol. 5, n° 4.
- WEISS, R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water. *Deep Sea Res.*, 17 : 721-735.
- WORTHINGTON, L.V. and W.R. WRIGHT, 1970. North Atlantic Ocean Atlas of potential Temperature and salinity at the deep water from the Erika Dan Cruise of 1962. The Woods Hole Oceanographic Institution Atlas Series, vol. 2.



LEGENDE DES FIGURES

- Figure 1 : Position des stations TOPOGULF
- Figure 2 : Calibration du capteur de pression
- Figure 3 : Correction de la réponse du capteur de pression (cyle montée en pression)
- Figure 4 : Correction de la réponse du capteur de pression (cycle descente en pression)
- Figure 5 : Ecart en conductivité en fonction de la pression (leg 3) } après recalage avec
- Figure 6 : " " de 30 à 50 mmhos/cm (leg 3) } terme égal à zéro.
- Figure 7 : " " en fonction de la pression (leg 2) }
- Figure 8 : " " " " " (leg 3) }
- Figure 9 : " " de 30 à 50 mmhos/cm (leg 2) }
- Figure 10 : " " " " (leg 3) } Après recalage avec
- Figure 11 : Bilan des prélèvements éliminés (leg 2) } terme constant
- Figure 12 : " " " (leg 3) } différent de zéro.
- Figure 13 : Ecart en conductivité observés par station (leg 2) }
- Figure 14 : " " " " (leg 3) }
- Figure 15 : " " observés par station à 650 dbar (leg 3) }
- Figure 16 : Ecart en conductivité en fonction de la pression (leg 3) : recalage final
- Figure 17 : Diagrammes  $\theta$ -S des stations 40 à 54 (bassin est) avec }  
mesures comparatives
- Figure 18 : Diagrammes  $\theta$ -S des stations 68 à 83 (bassin ouest) } Calibration finale
- Figure 19 : Répartition de la mesure salinité à certaines températures }  
potentielles (bassin est)
- Figure 20 : Répartition de la mesure salinité à certaines températures }  
potentielles (bassin ouest)
- Figure 21 : Répartition de la salinité à  $\theta = 2.2^{\circ}\text{C}$  dans l'Atlantique d'après WORTHINGTON
- Figure 22 : Ecart moyens en oxygène dissous pour chaque profil "descente" }  
du leg 3
- Figure 23 : Ecart moyens en oxygène dissous pour chaque profil "montée" }  
du leg 3
- Figure 24 : Ecart moyens en oxygène dissous pour chaque profil "descente" }
- Figure 25 : Ecart moyens en oxygène dissous pour chaque profil "montée" }
- Figure 26 : Ecart en oxygène dissous à 2500 dbar pour profils }  
"descente" du leg 3
- Figure 27 : Ecart en oxygène dissous en fonction de la pression }  
(profils "descente" du leg 3)
- Figure 28 : Ecart en oxygène dissous en fonction de la pression }  
(profils "montée" du leg 3)
- Figure 29 : Profil "descente" d'oxygène dissous de la station 110
- Figure 30 : Profil "montée" d'oxygène dissous de la station 110
- Figure 31 : Profil "descente" d'oxygène dissous de la station 18 avec }  
avec mesures comparatives

FIGURE 2 : CALIBRATION DU CAPTEUR DE PRESSION (23-3-83)

Température des essais 10°18 C

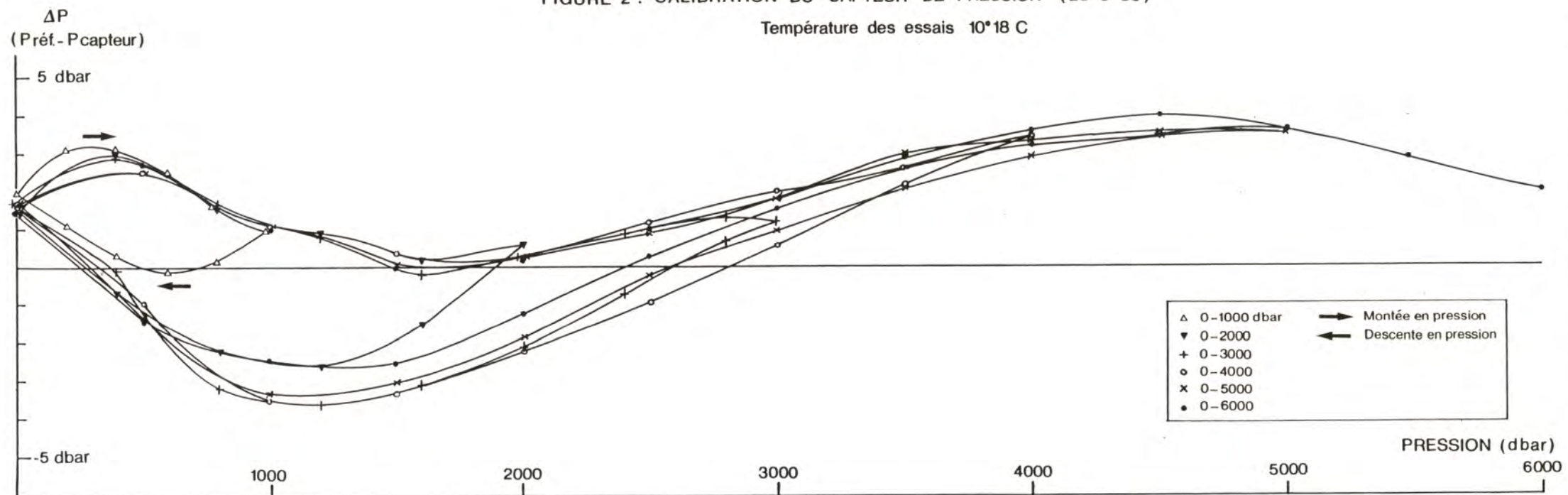




FIGURE 3 : CORRECTION DE LA REPONSE DU CAPTEUR DE PRESSION

ECHELLE ECARTS : 1 DIV. = 1.0 DBAR

P25210

CYCLE MONTEE EN PRESSION

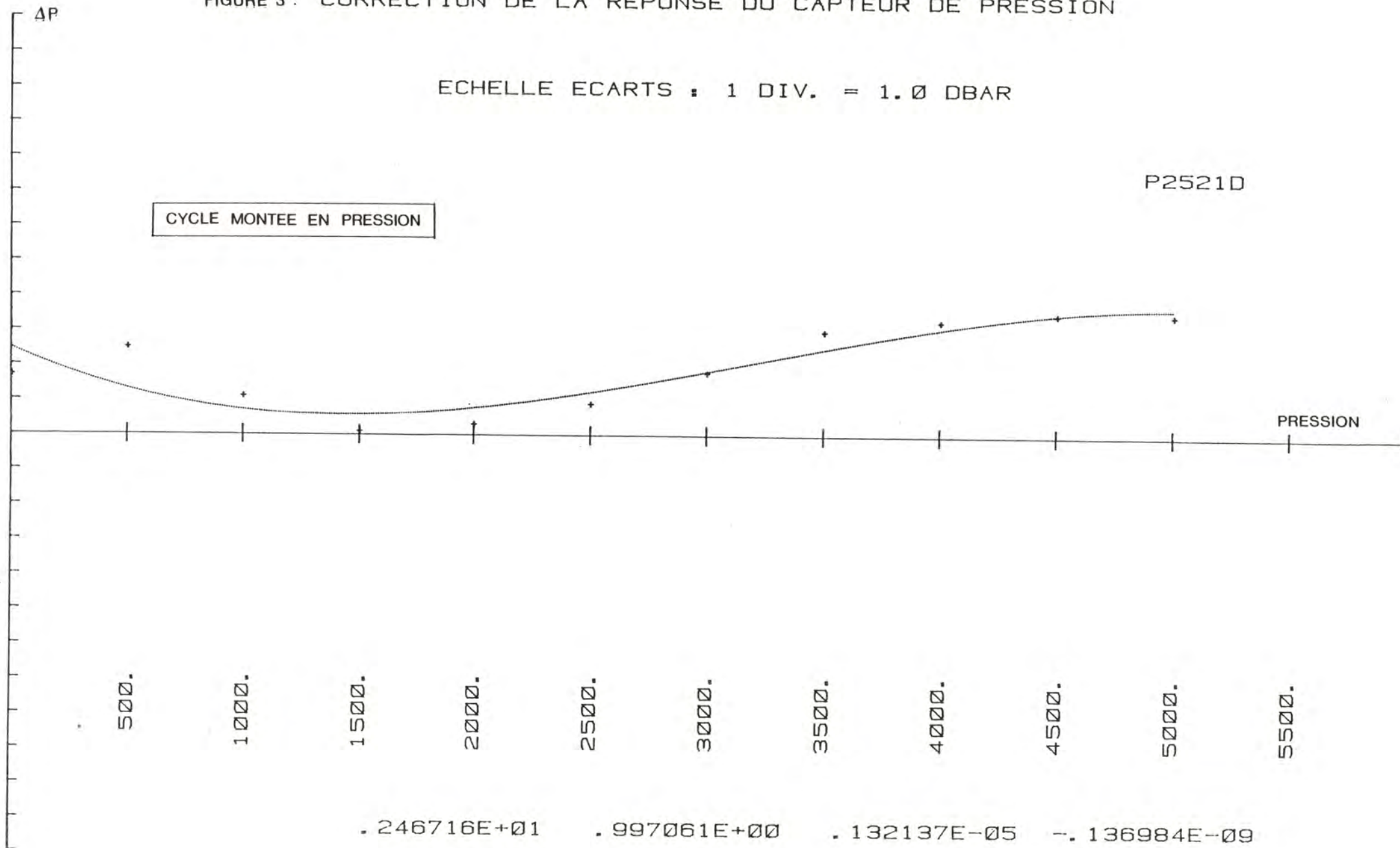


FIGURE 4 : CORRECTION DE LA REPONSE DU CAPTEUR DE PRESSION

ECHELLE ECARTS : 1 DIV. = 1.0 DBAR

P2521M

CYCLE DESCENTE EN PRESSION

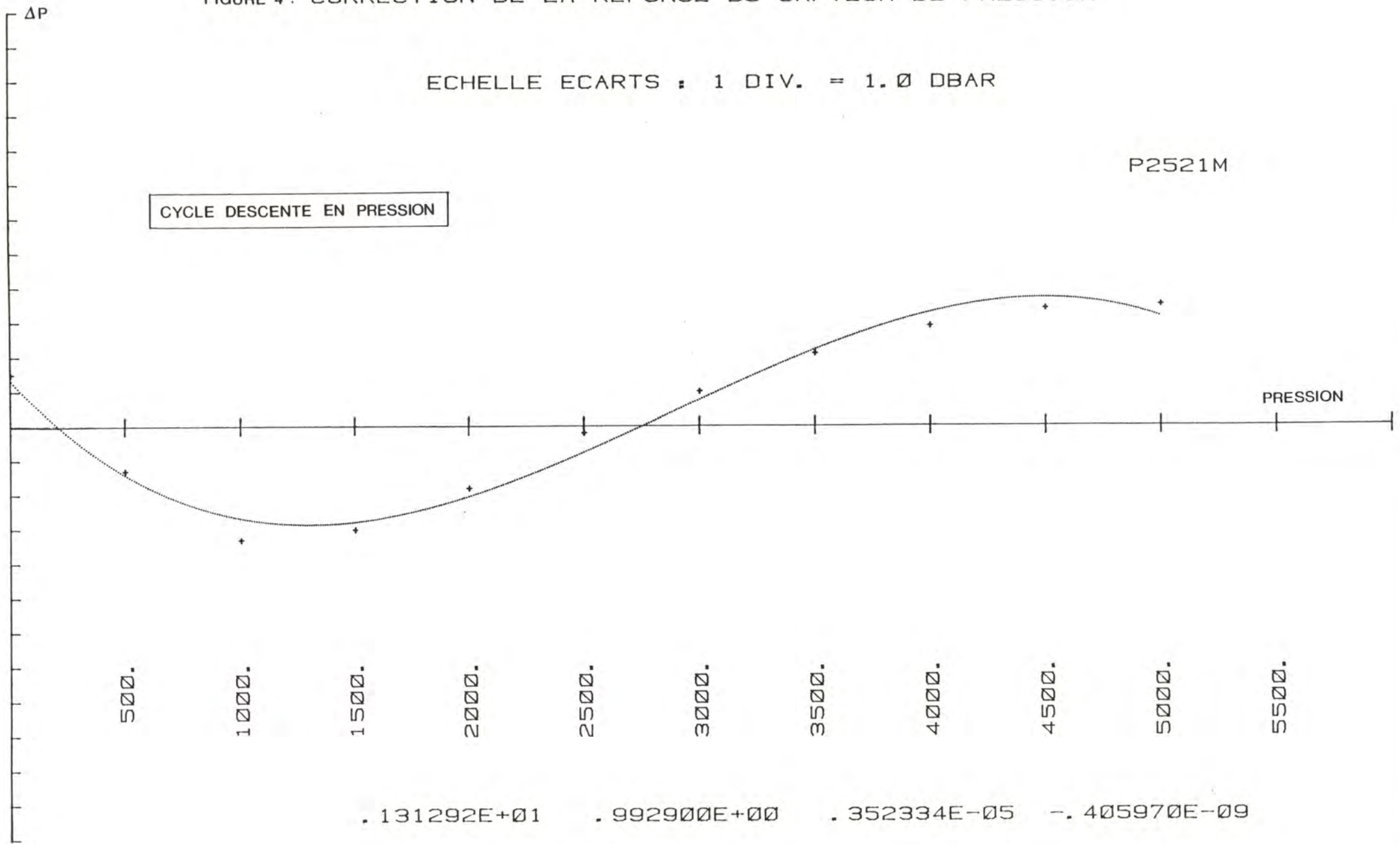




FIGURE 5 : ECARTS EN CONDUCTIVITE EN FONCTION DE LA PRESSION

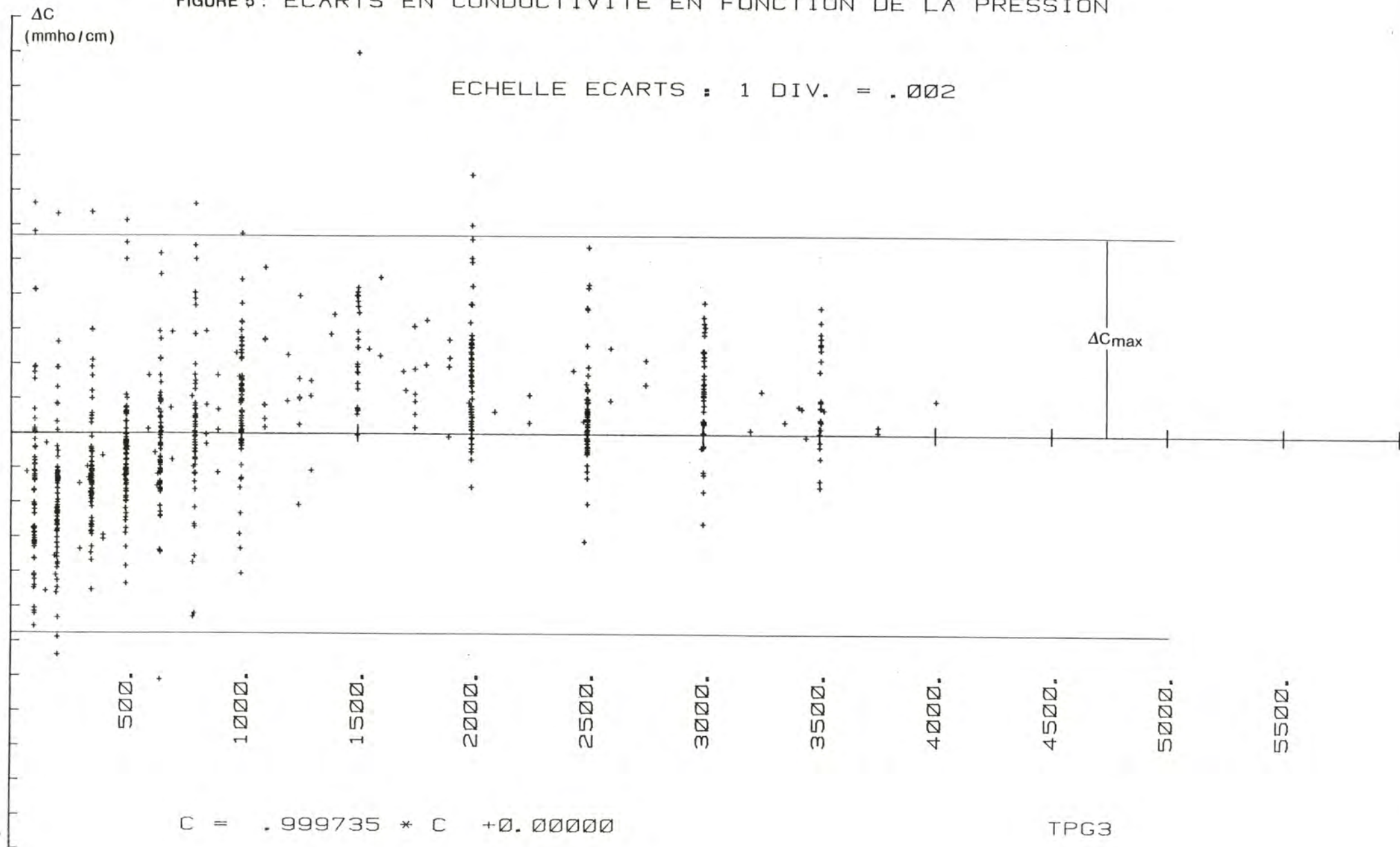


FIGURE 6 : ECARTS EN CONDUCTIVITE DE 30 A 50 MMHOS/CM

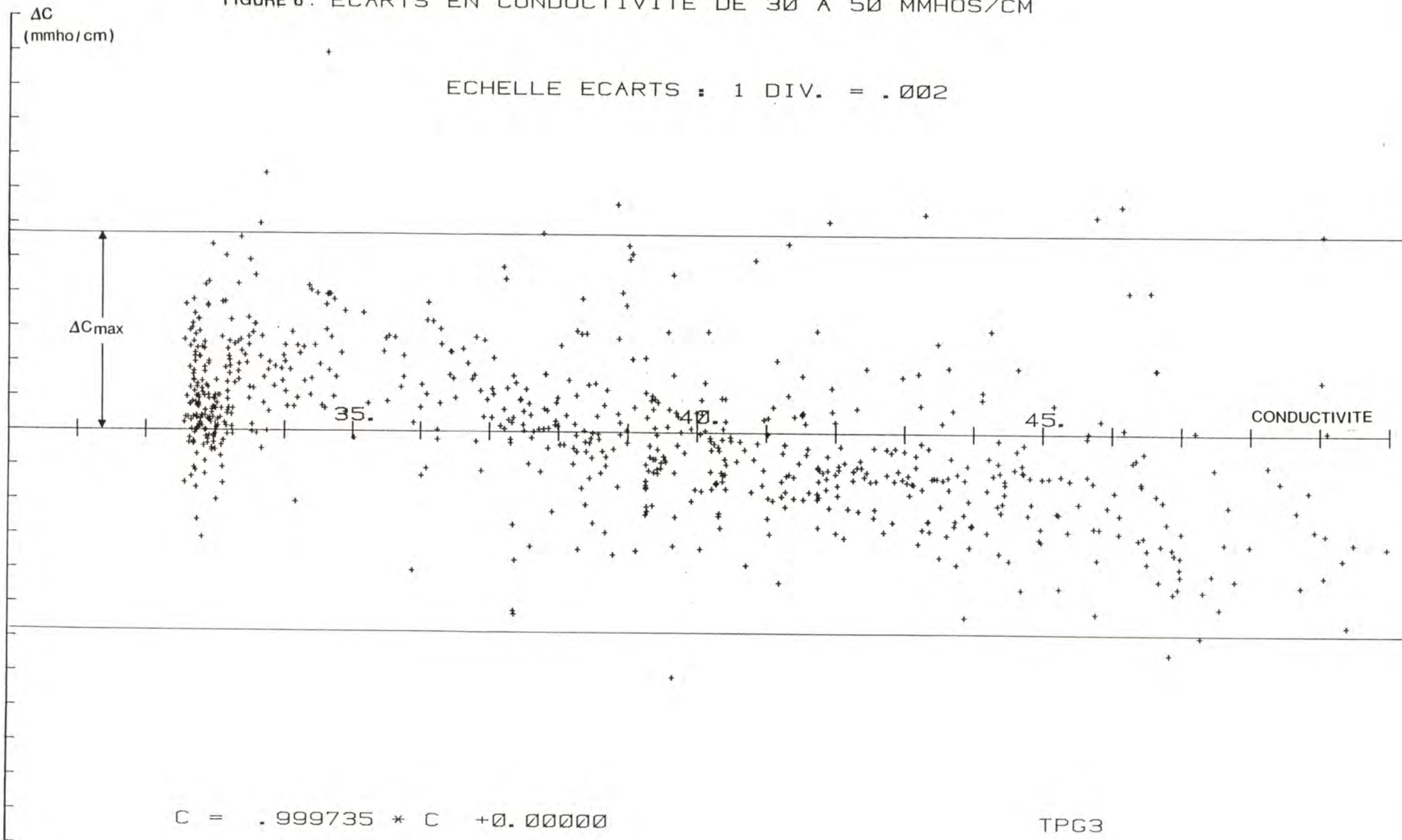
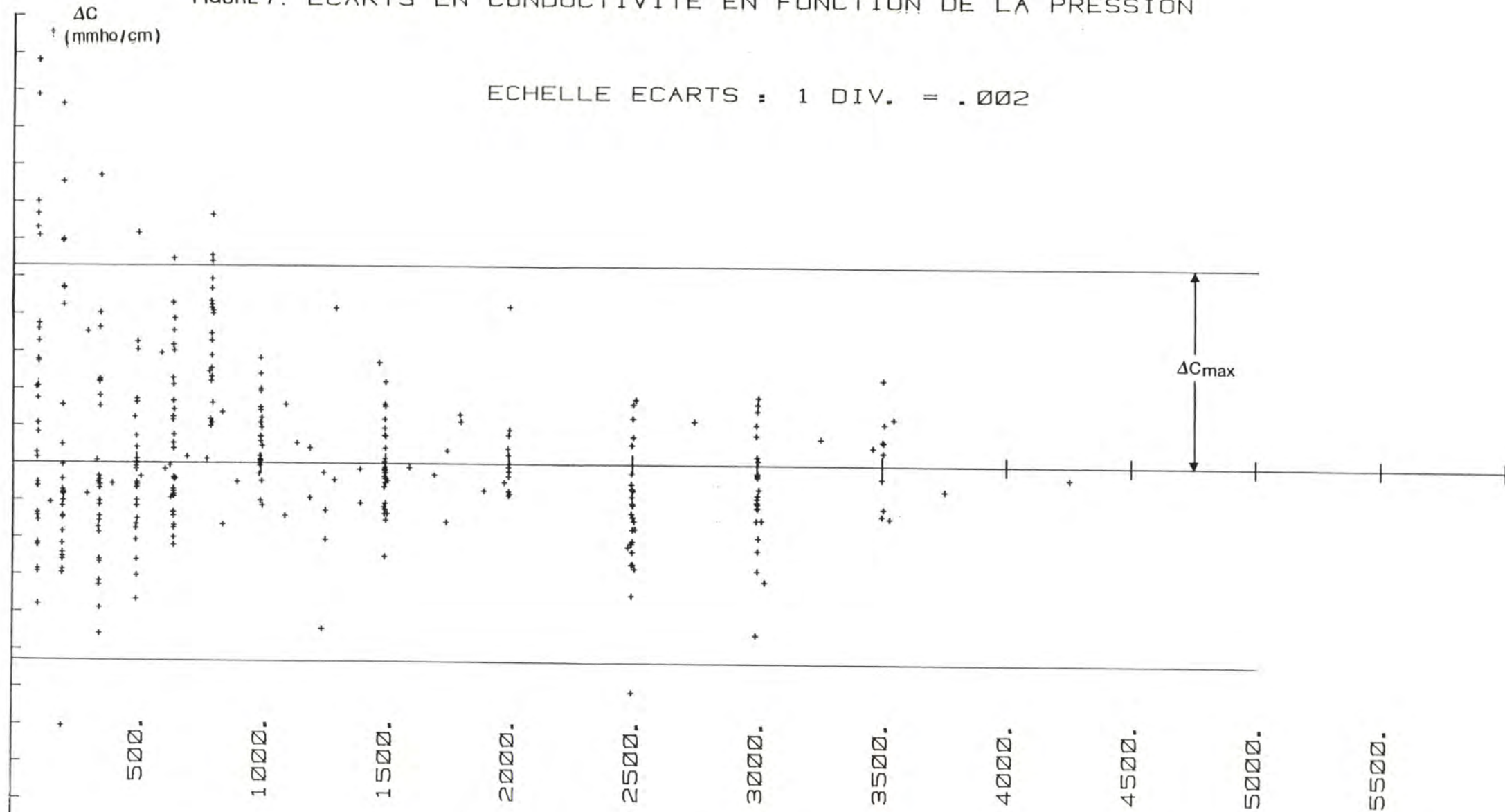




FIGURE 7: ECARTS EN CONDUCTIVITE EN FONCTION DE LA PRESSION



$$C = .999186 * C + .02259$$

TPG2

FIGURE 8 : ECARTS EN CONDUCTIVITE EN FONCTION DE LA PRESSION

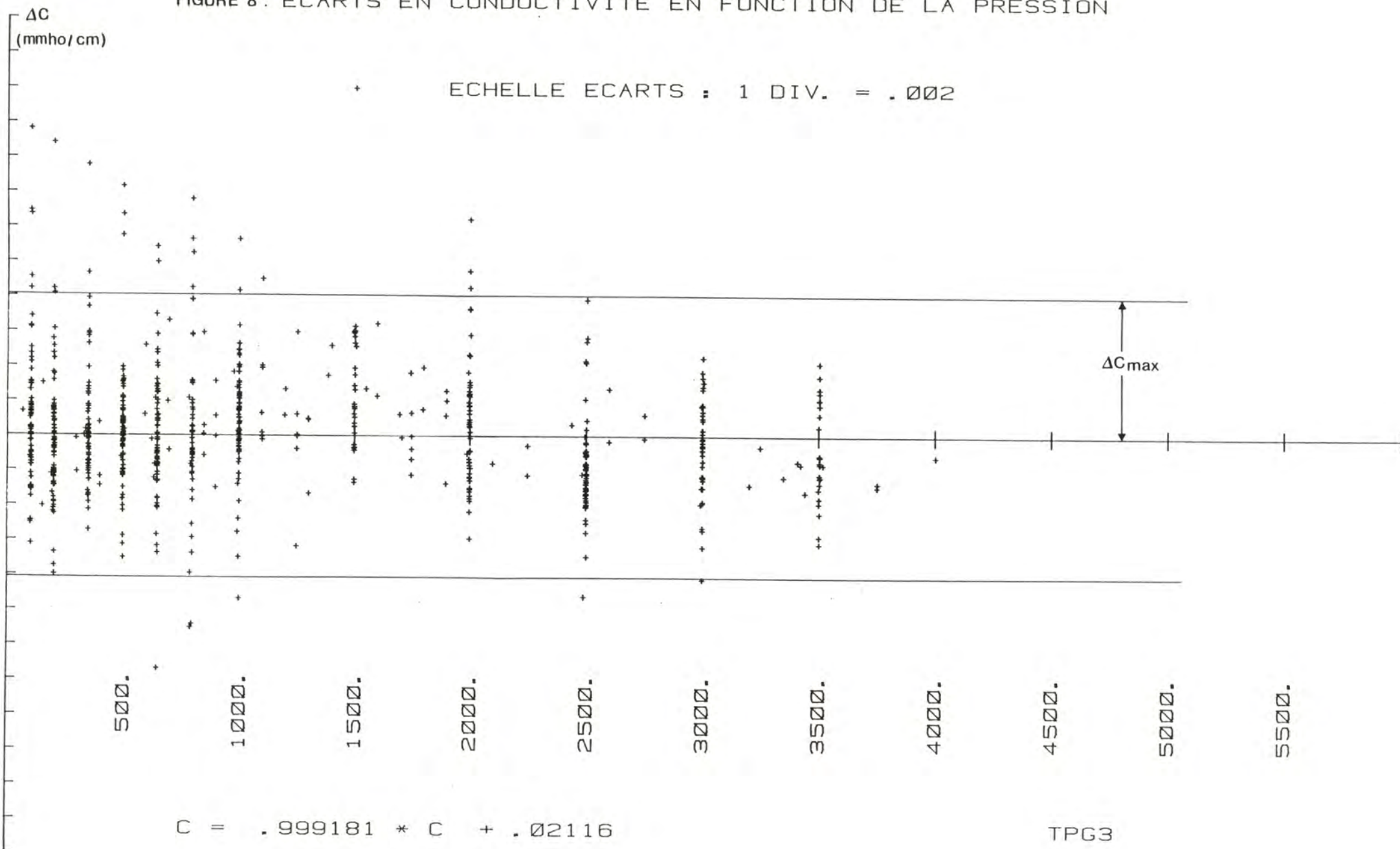




FIGURE 9 : ECARTS EN CONDUCTIVITE DE 30 A 50 MMHOS/CM

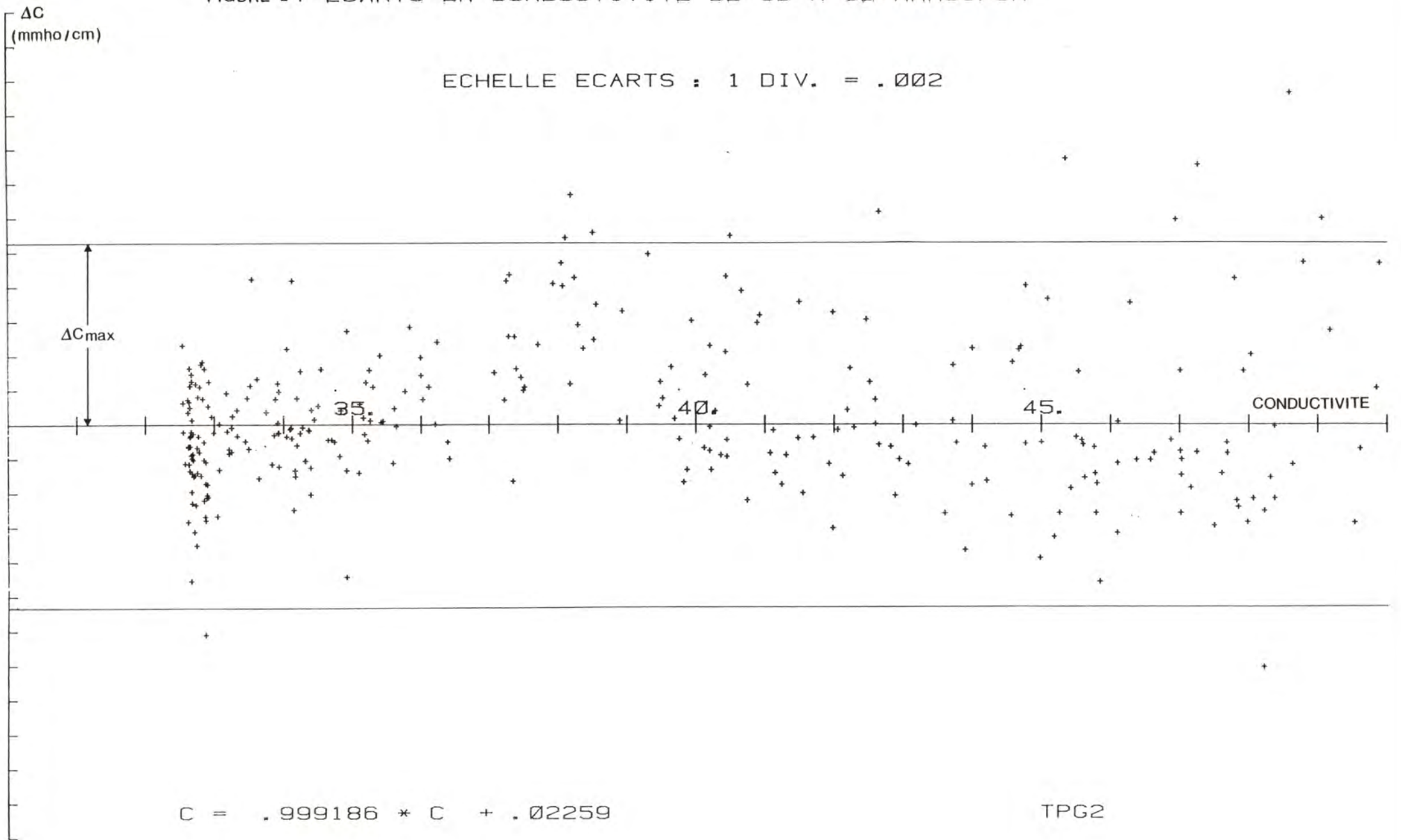


FIGURE 10 : ECARTS EN CONDUCTIVITE DE 30 A 50 MMHOS/CM

$\Delta C$   
(mmho/cm)

ECHELLE ECARTS : 1 DIV. = .002

$\Delta C_{max}$

35

40

45

CONDUCTIVITE

$$C = .999181 * C + .02116$$

TPG3

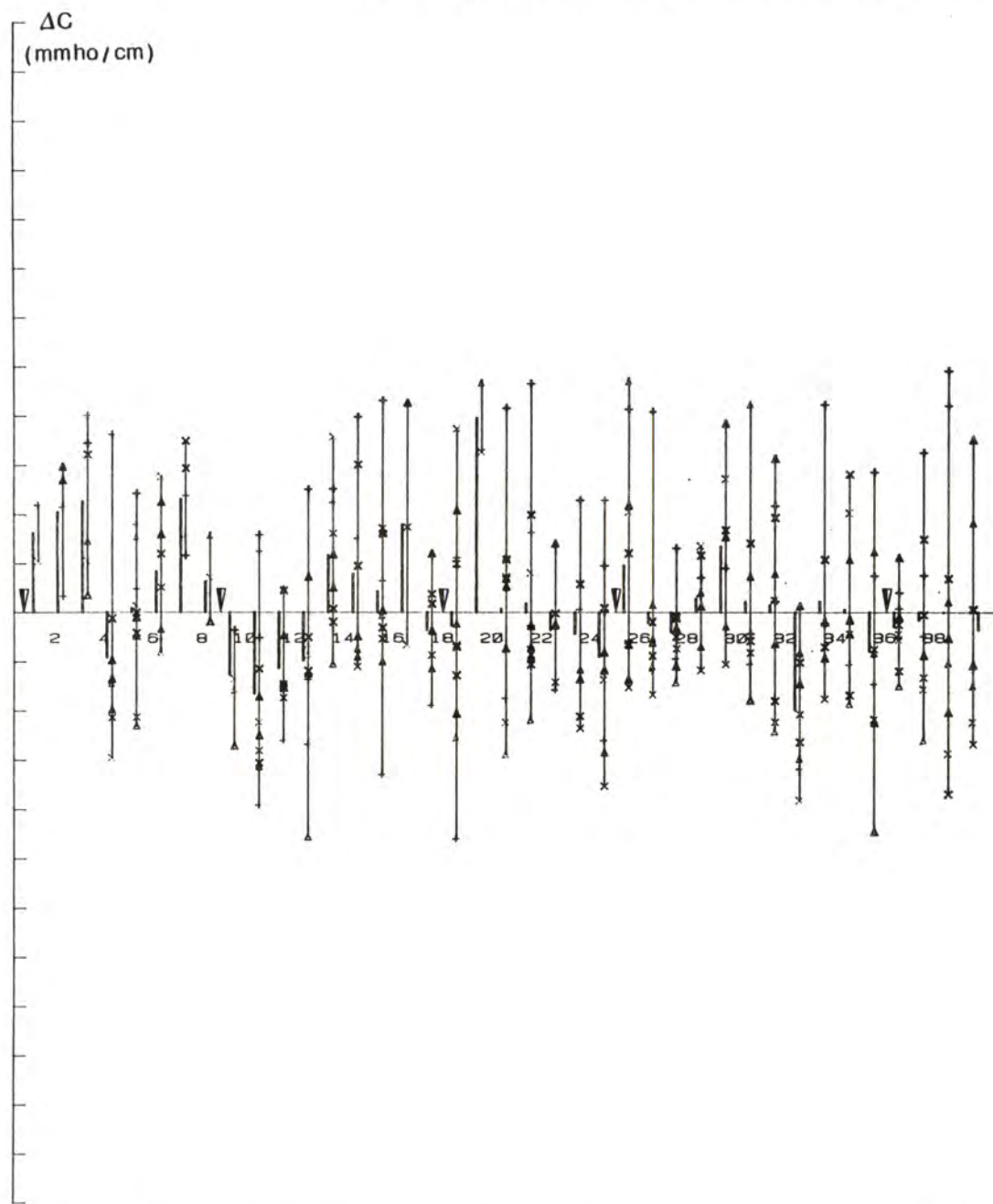








FIGURE 13 : ECARTS EN CONDUCTIVITE POUR LES STATIONS 1 A 40

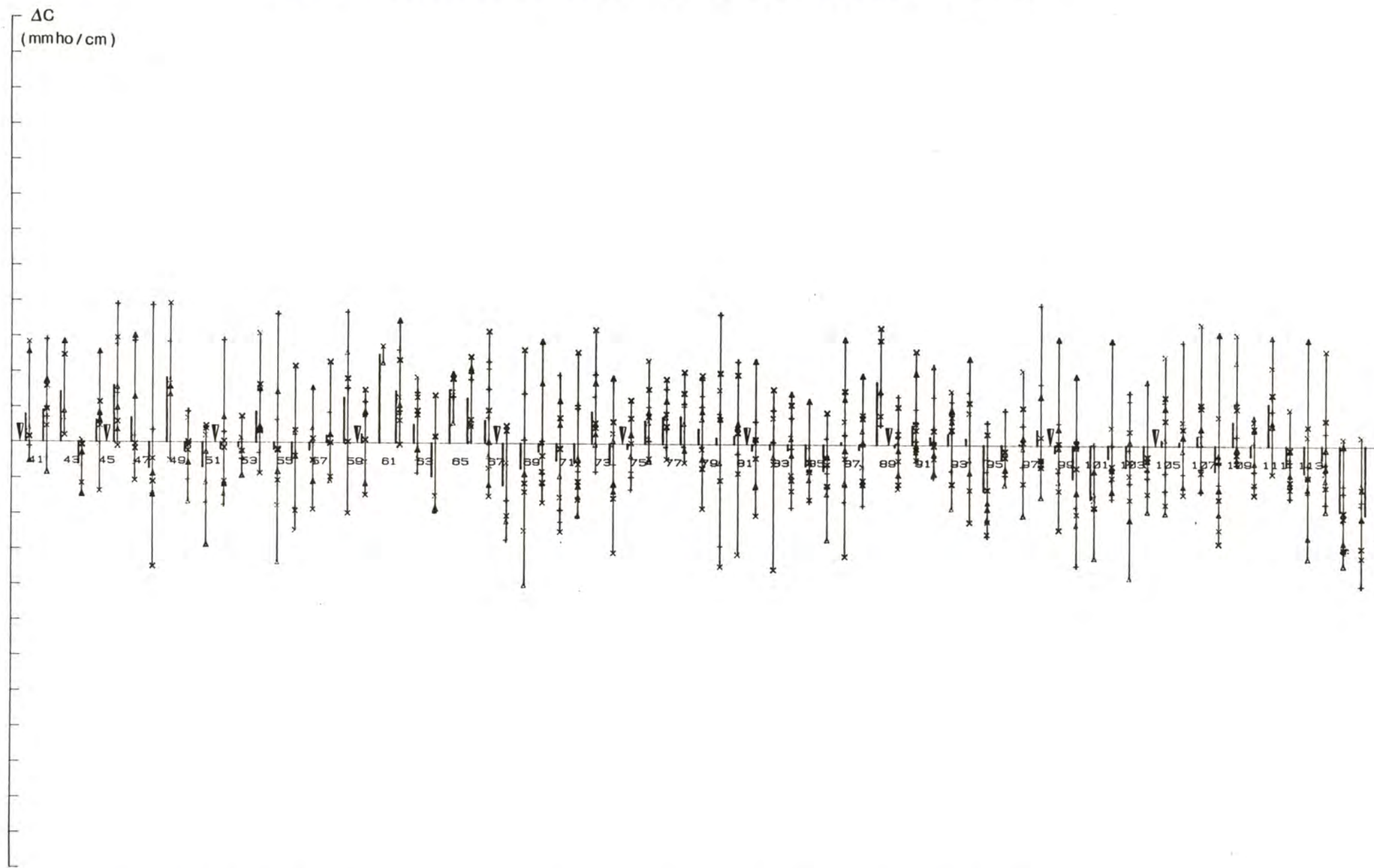


ECHELLE ECARTS : 1 DIV = .00200

ECART-TYPE : .00377

NOMBRE DE POINTS : 315

FIGURE 14 : ECARTS EN CONDUCTIVITE POUR LES STATIONS 40 A 116



ECHELLE ECARTS : 1 DIV = .00200

ECART-TYPE : .00287

NOMBRE DE POINTS : 704



FIGURE 15: ECARTS EN CONDUCTIVITE POUR LES STATIONS 40 A 115 A LA PRESSTON 650. DECIBARS

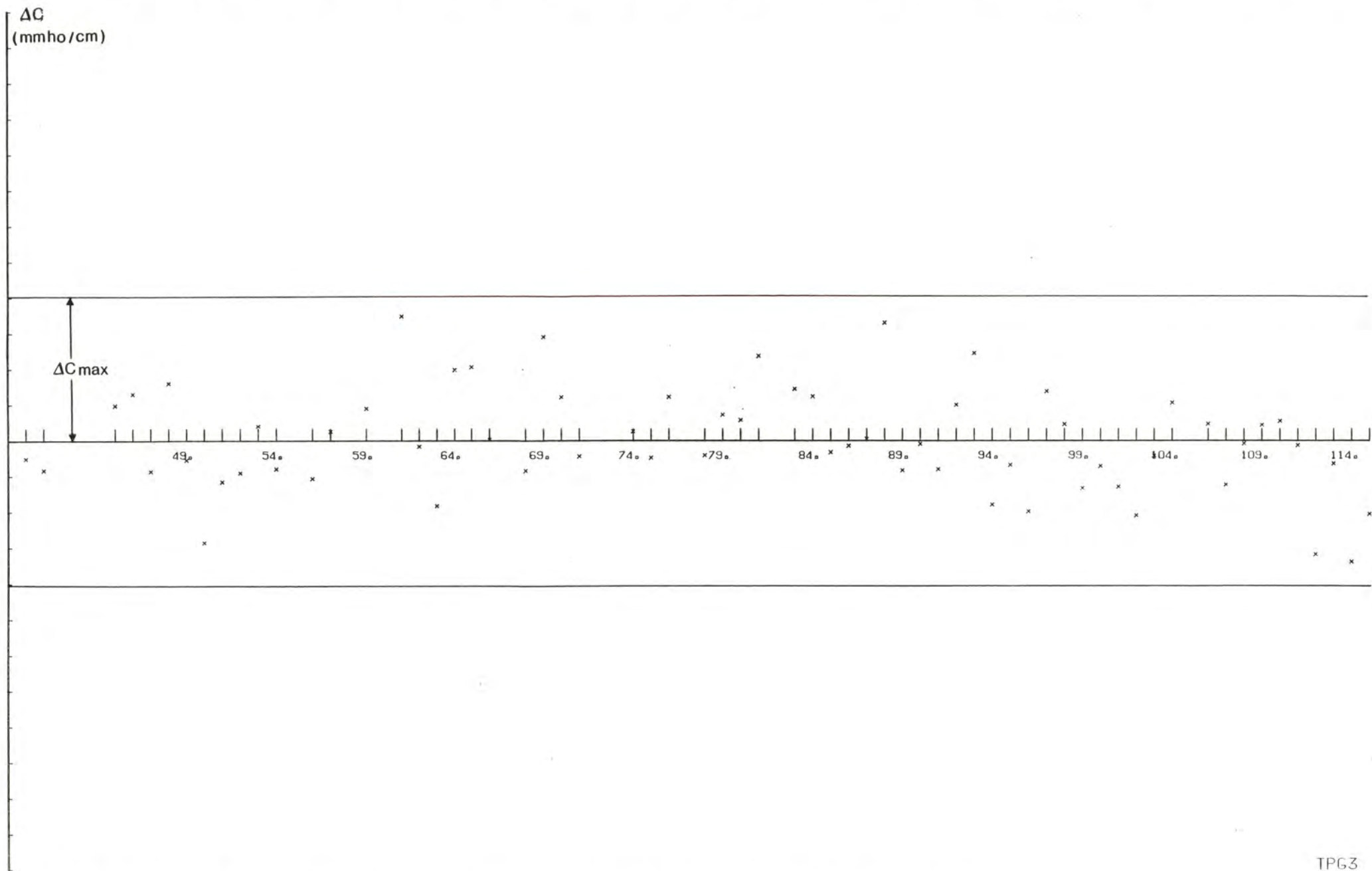
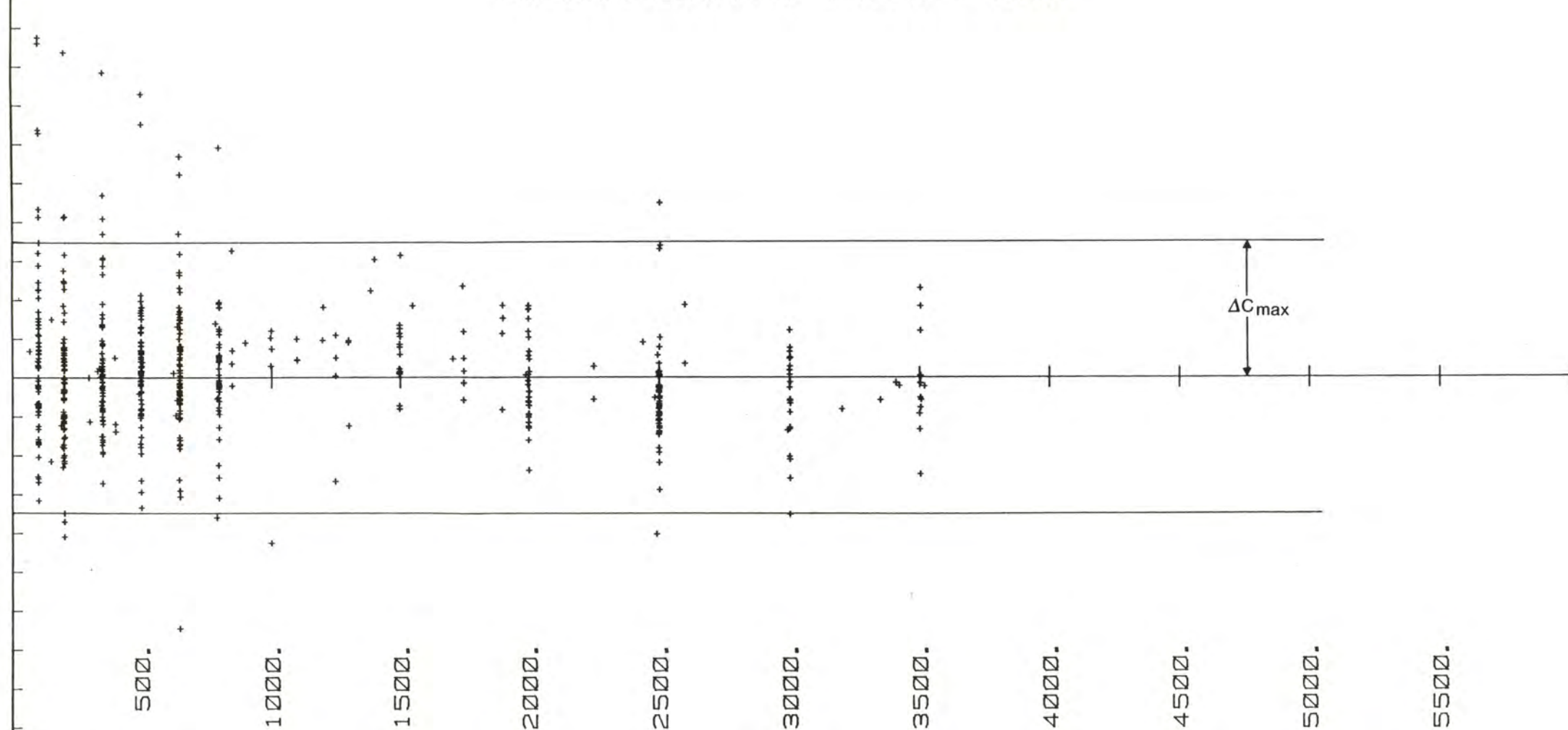


FIGURE 16 : ECARTS EN CONDUCTIVITE EN FONCTION DE LA PRESSION

$\Delta C$   
(mmho/cm)

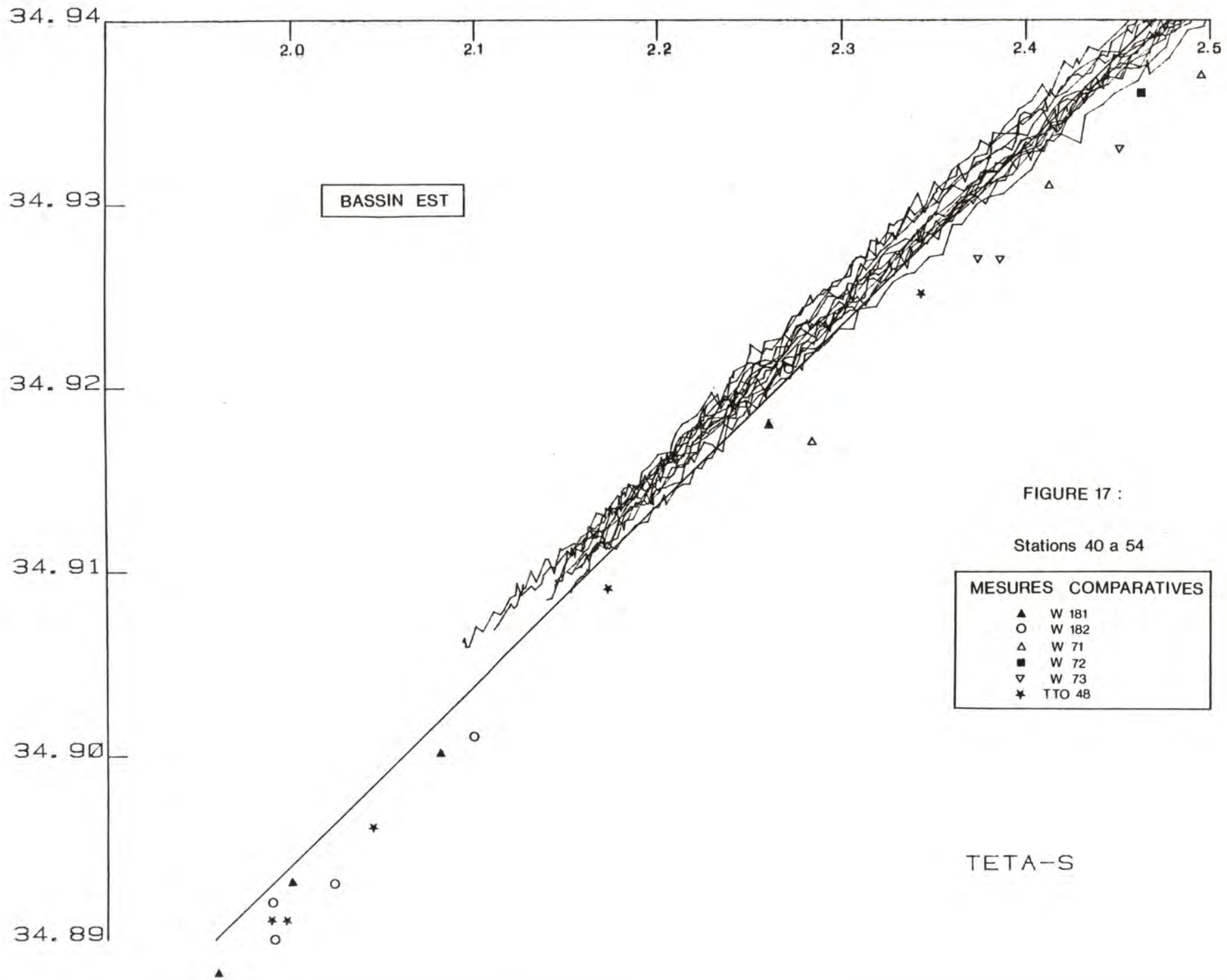
ECHELLE ECARTS : 1 DIV. = .002



$$C = .999278 * C + .01682$$

T3B





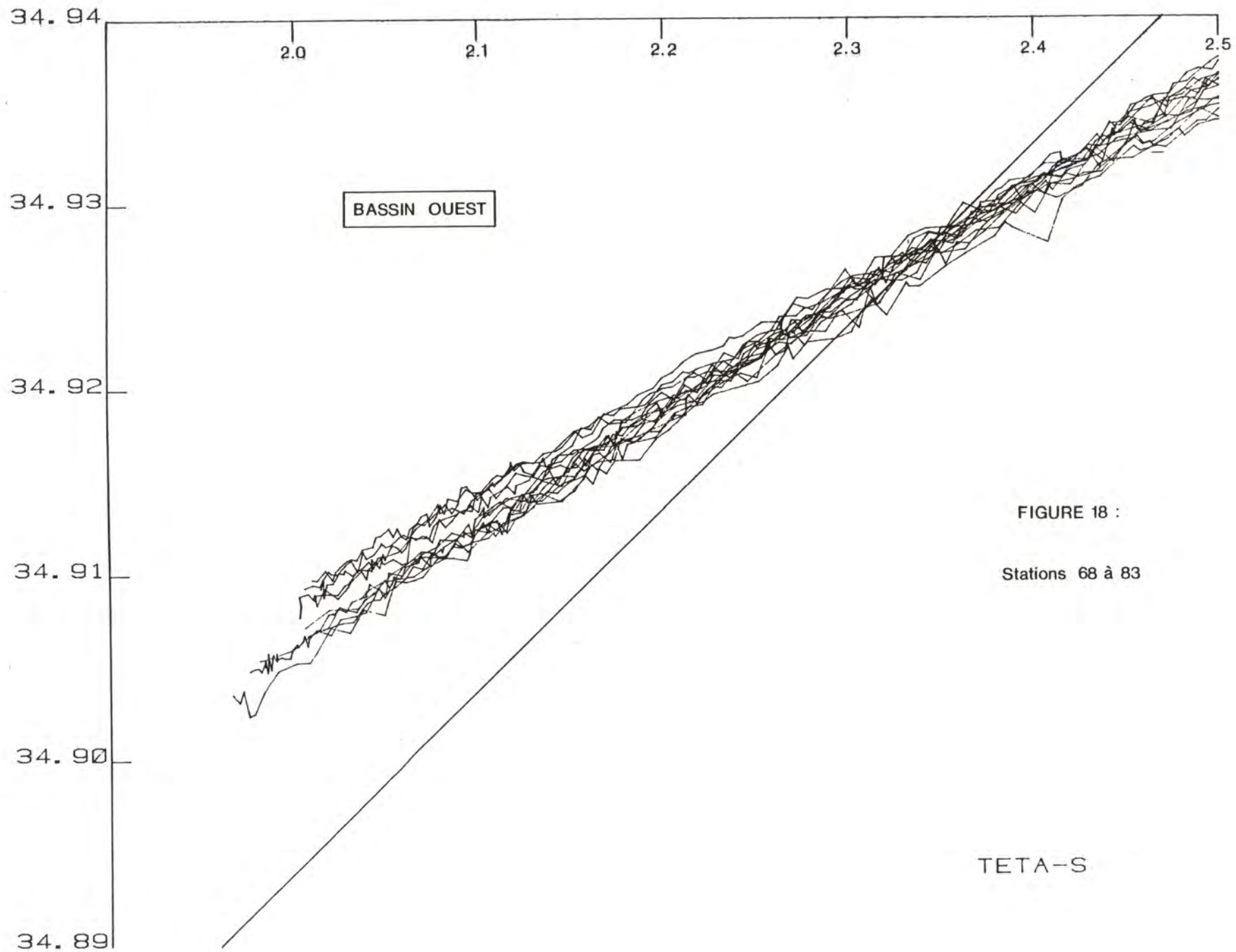


FIGURE 18 :  
Stations 68 à 83

TETA-S



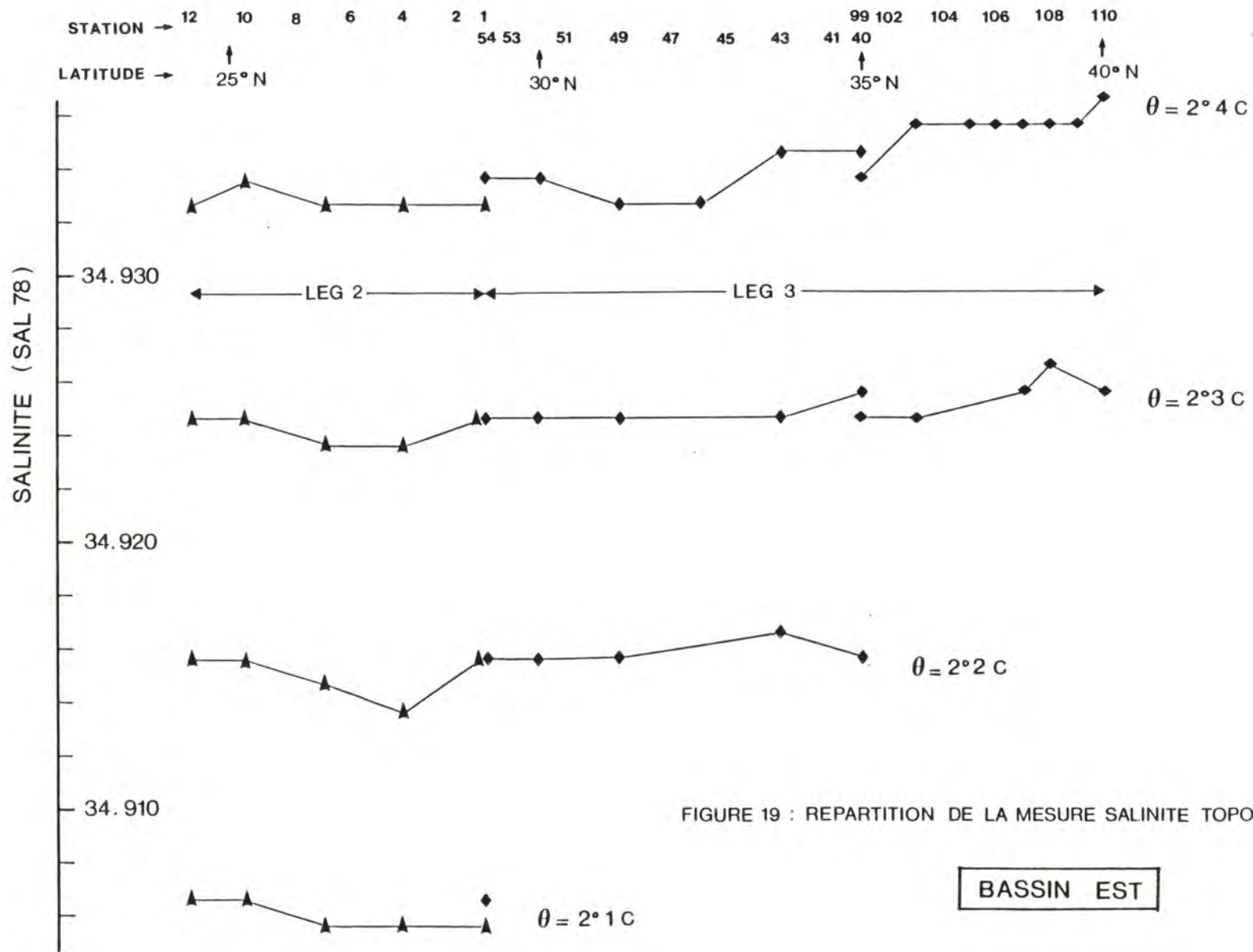


FIGURE 19 : REPARTITION DE LA MESURE SALINITE TOPOGULF

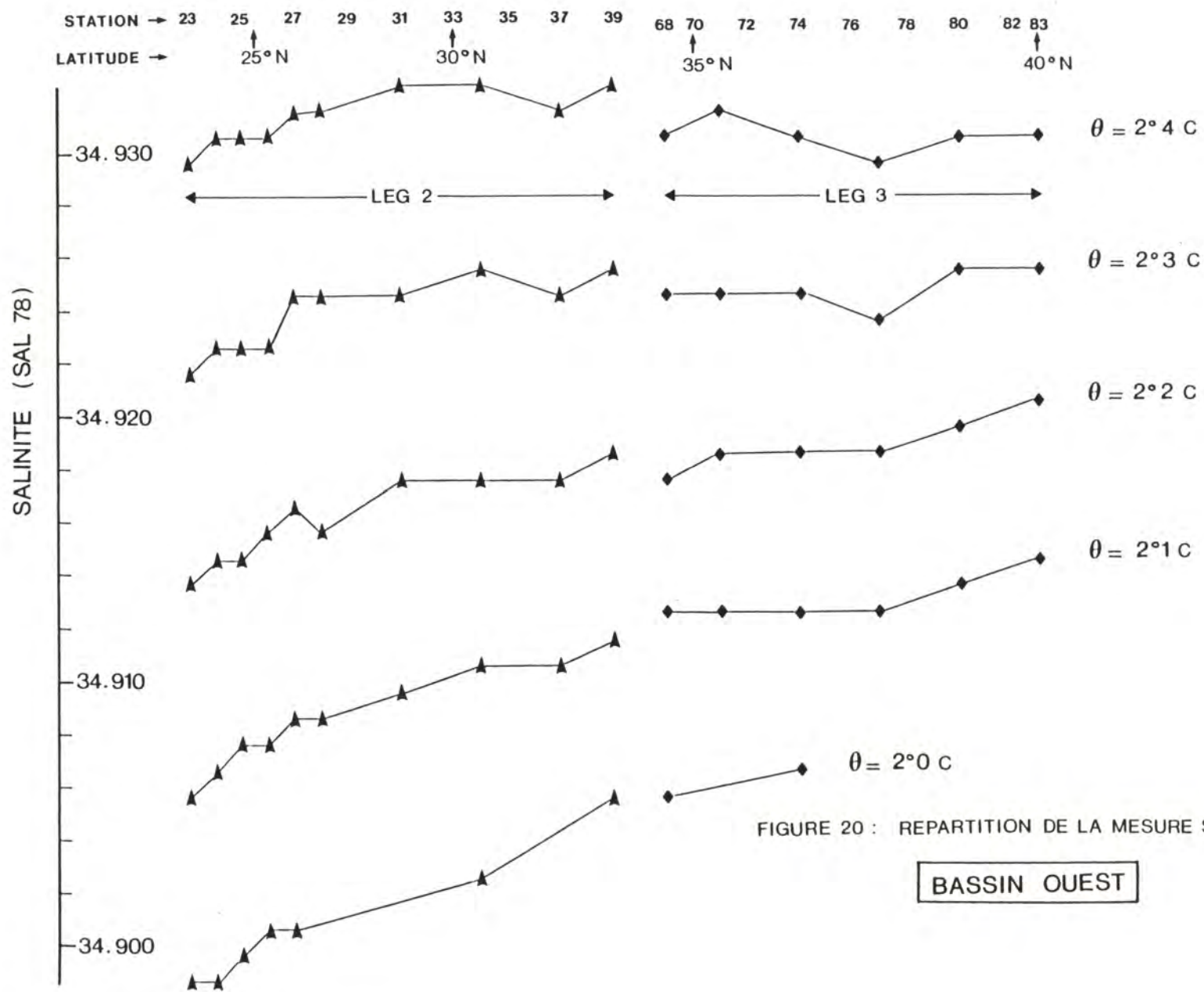


FIGURE 20 : REPARTITION DE LA MESURE SALINITE TOPOGULF

BASSIN OUEST



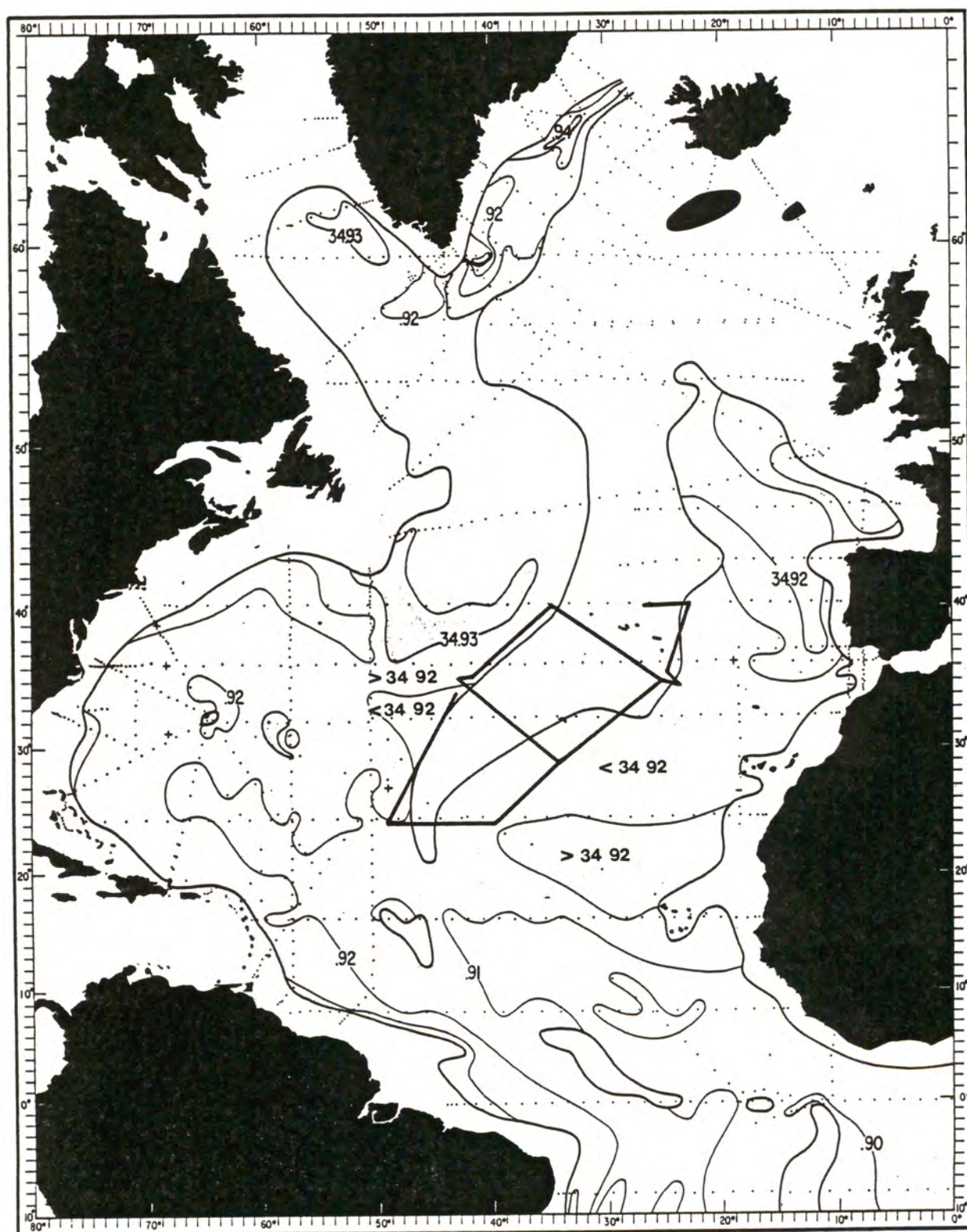


FIGURE 21 : SALINITY (‰) AT THE 2.2°C POTENTIAL TEMPERATURE SURFACE

d'après WORTHINGTON (1970)

FIGURE 22 : PREMIERE CALIBRATION SUR PROFIL DESCENTE (LEG 3)

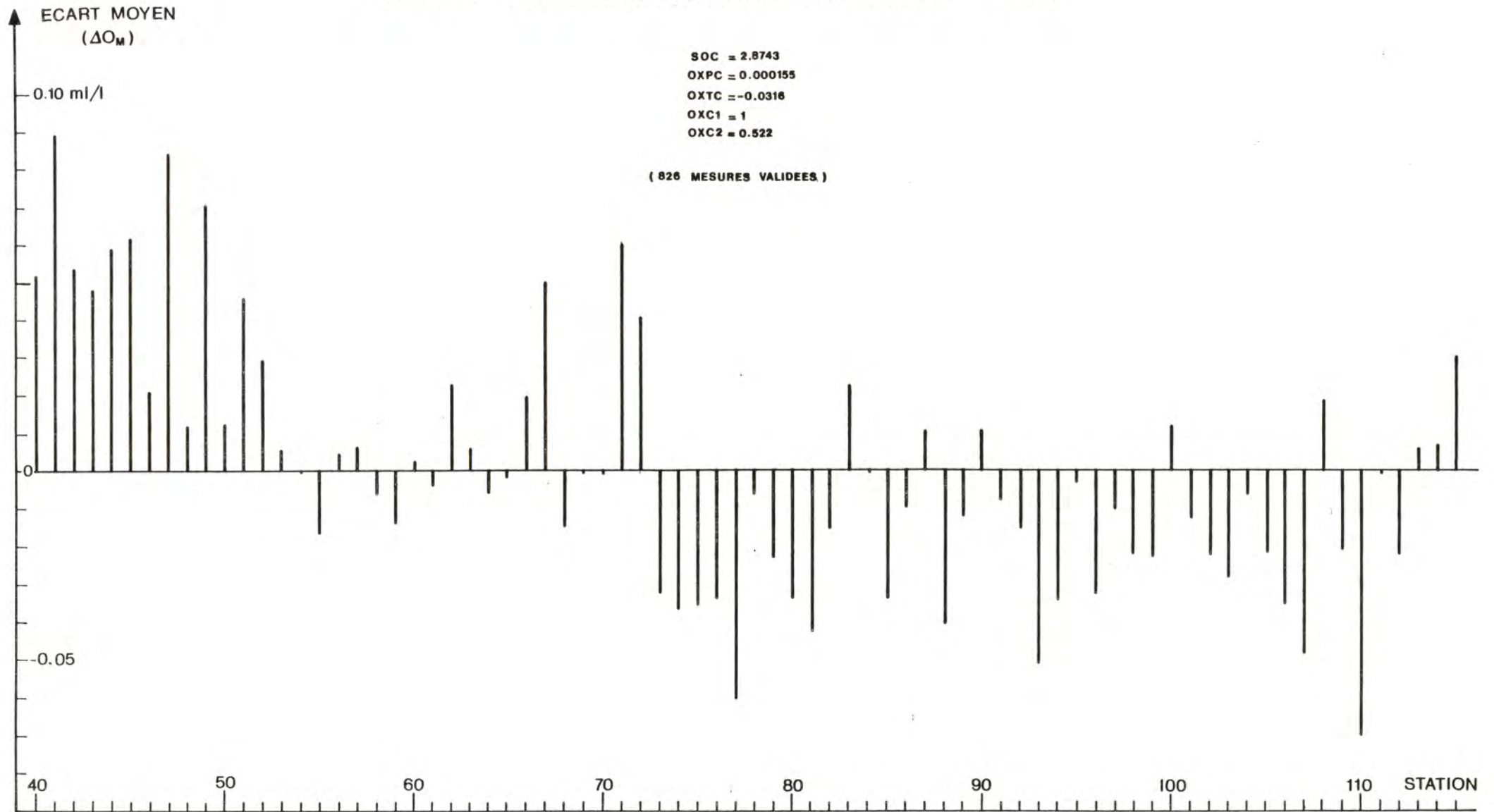




FIGURE 23 : PREMIERE CALIBRATION SUR PROFIL MONTEE (LEG 3)

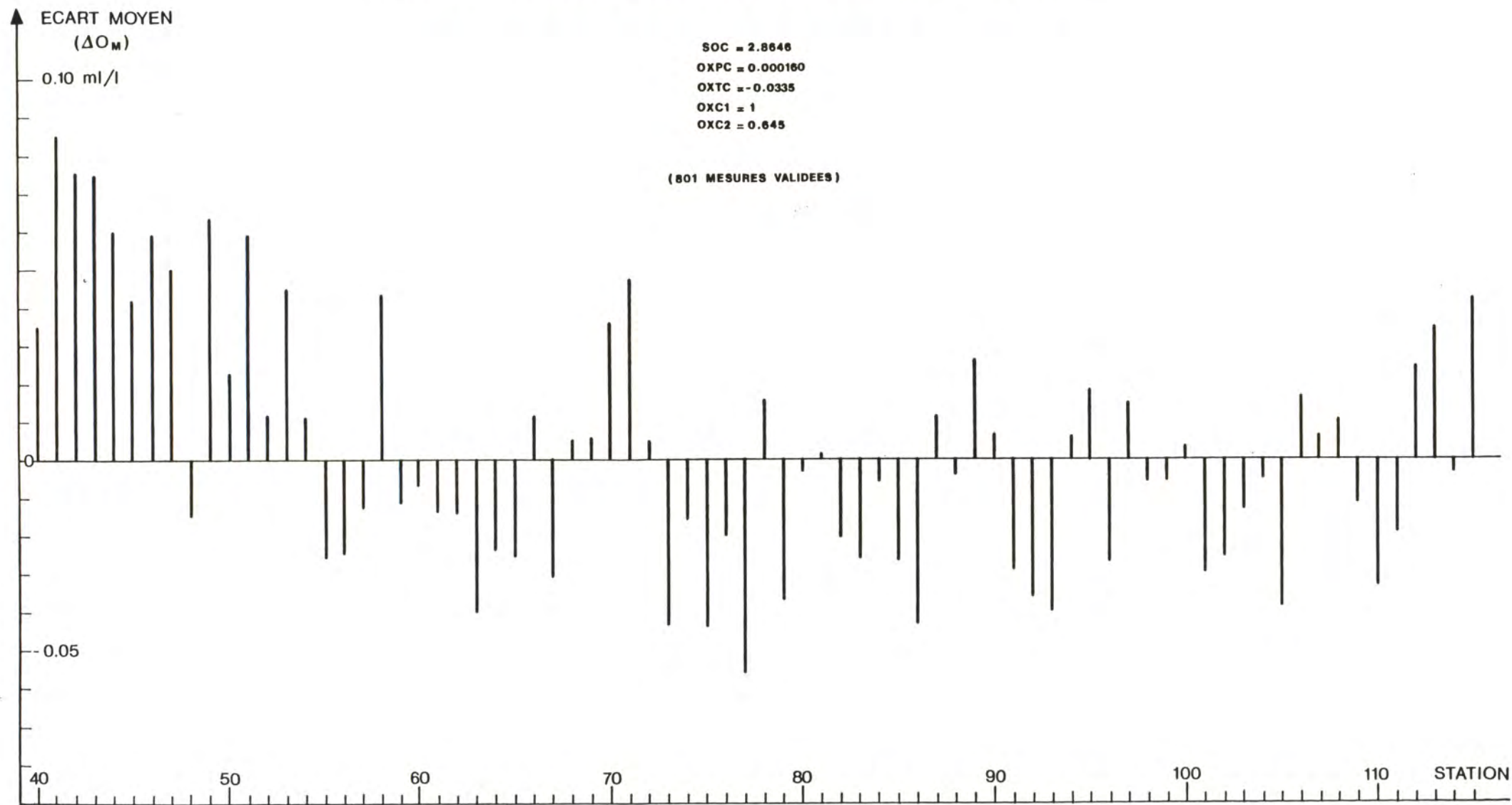


FIGURE 24 : CALIBRATION FINALE SUR PROFIL DESCENTE (LEG 3)

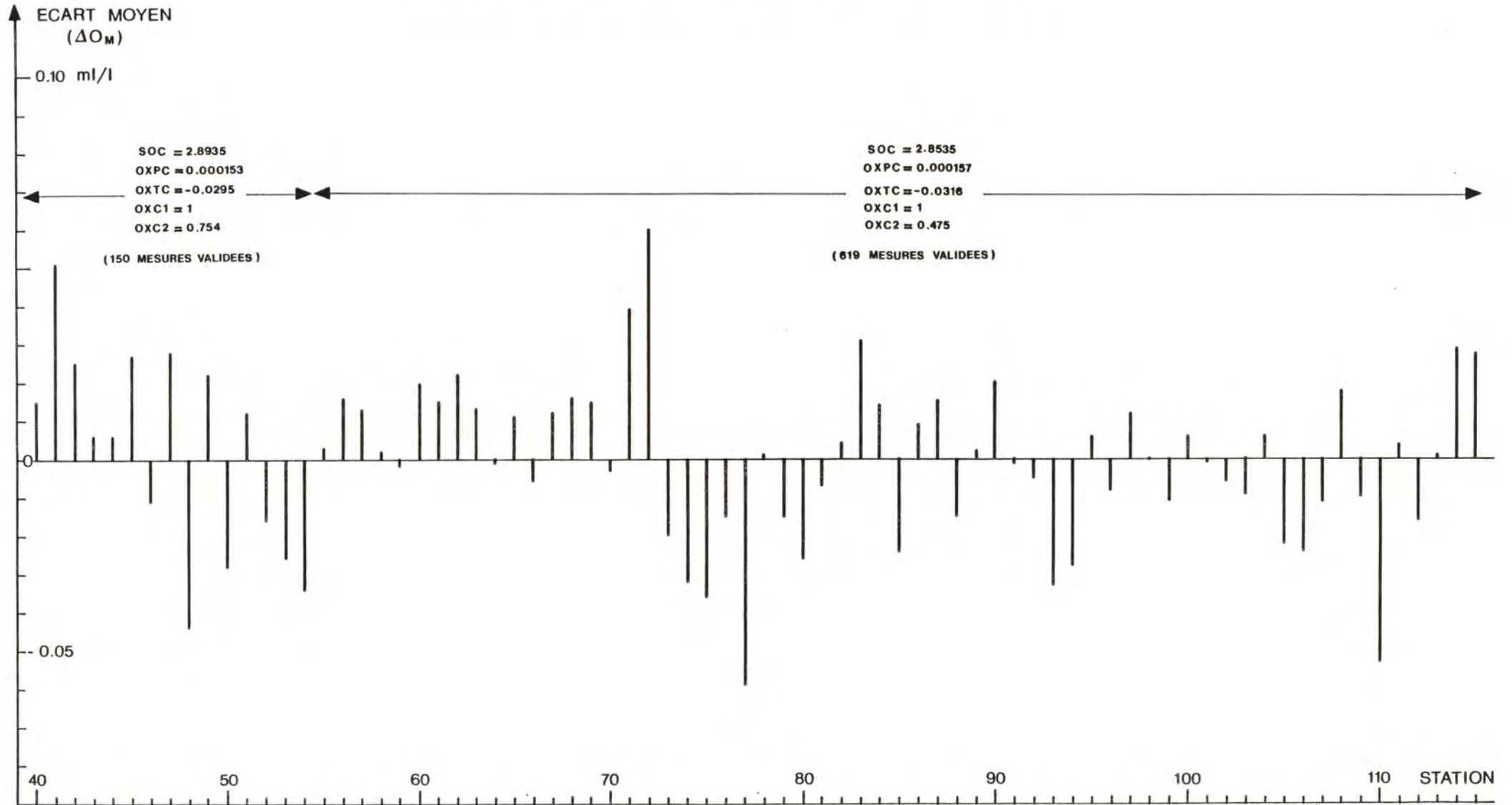




FIGURE 25 : CALIBRATION FINALE SUR PROFIL MONTEE (LEG 3)

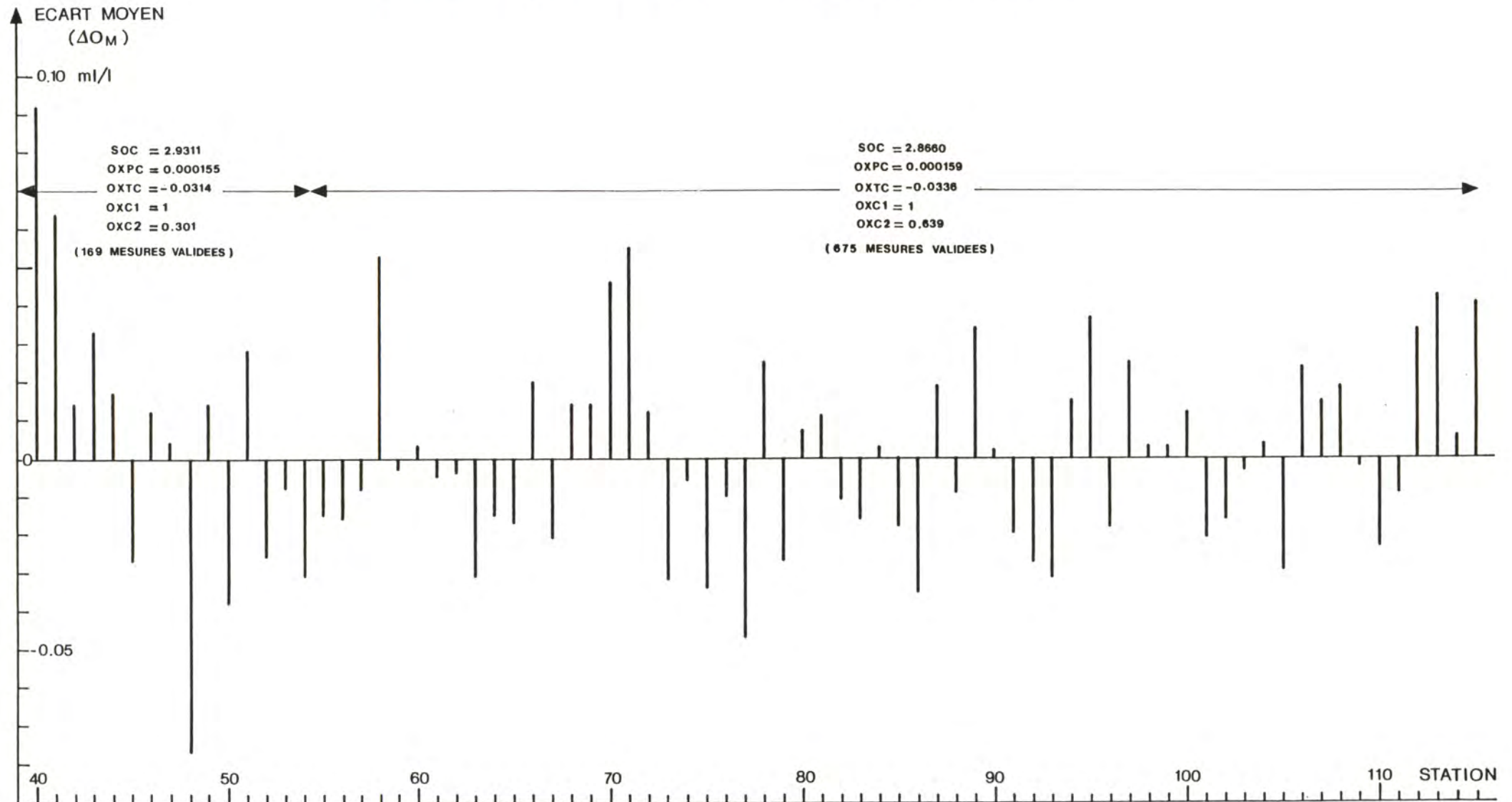
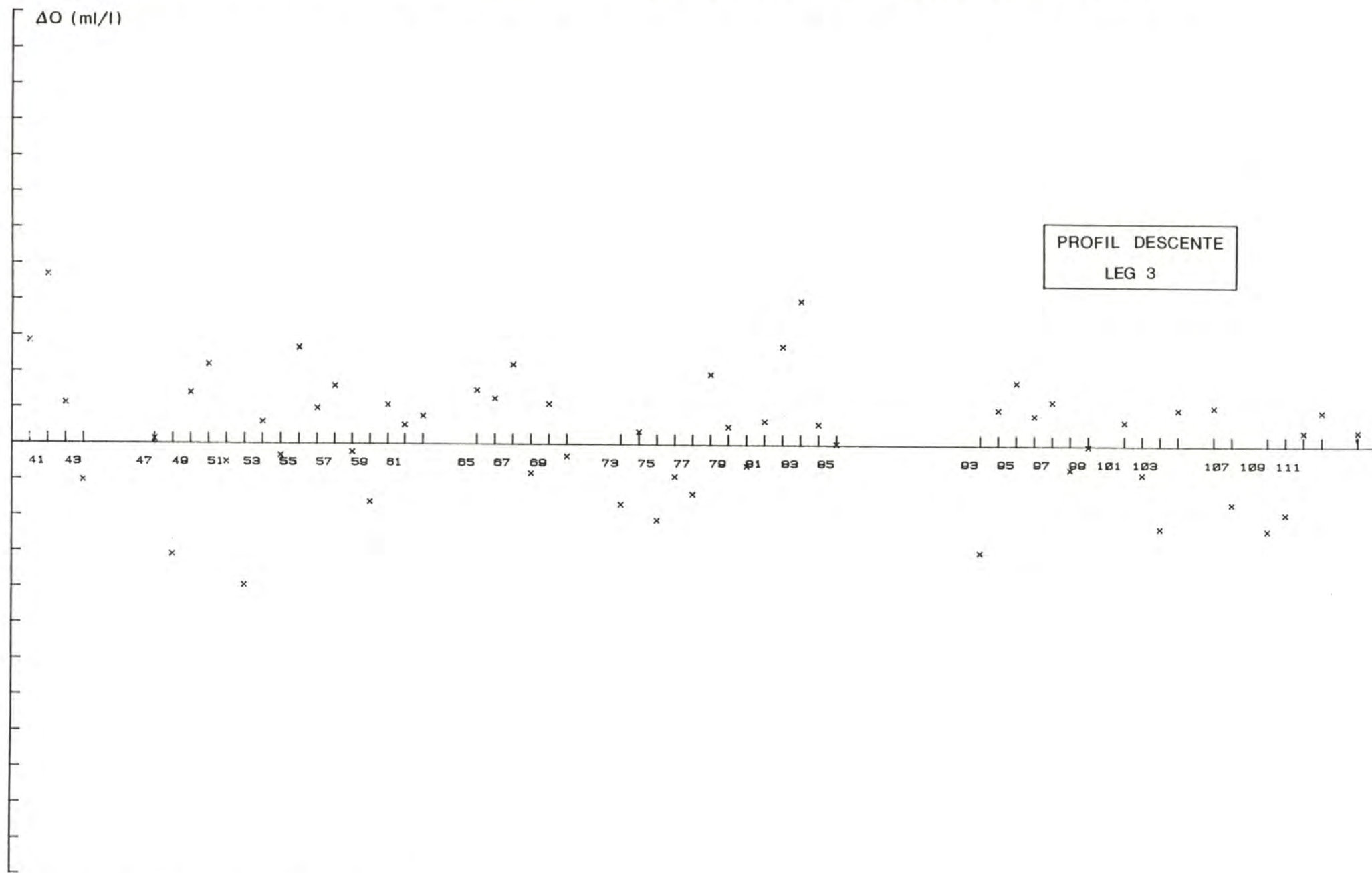


FIGURE 26 : ECARTS EN OXYGENE POUR LES STATIONS 40 A 115 A LA PRESSION 2500. DECIBARS



ECHELLE ECARTS : 1 DIV = .02000

NOMBRE DE POINTS : 59

FIGURE 27 : ECARTS EN OXYGENE DISSOUS EN FONCTION DE LA PRESSION

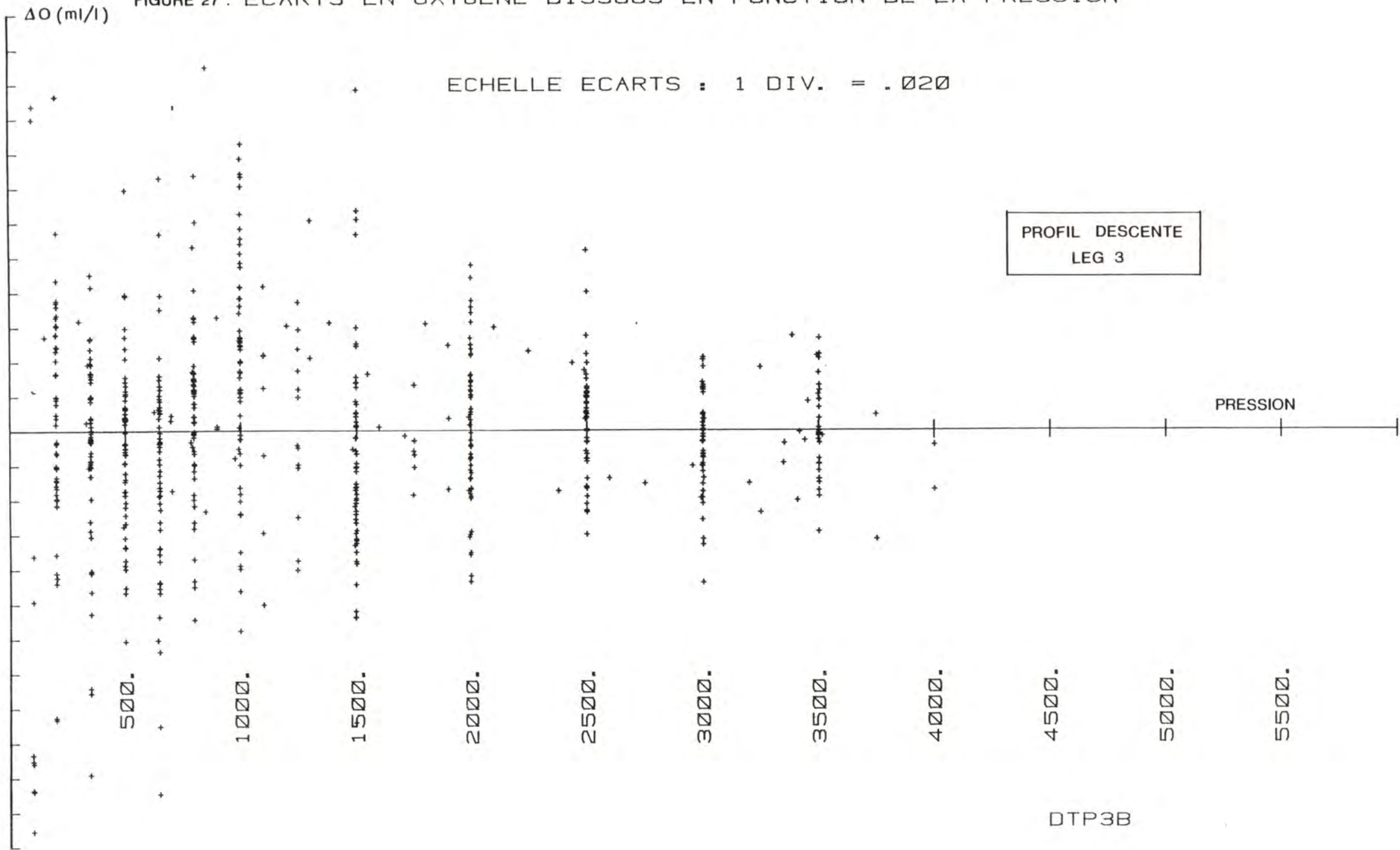






FIGURE 29 : PROFIL D'OXYGENE DISSOUS STATION : 110

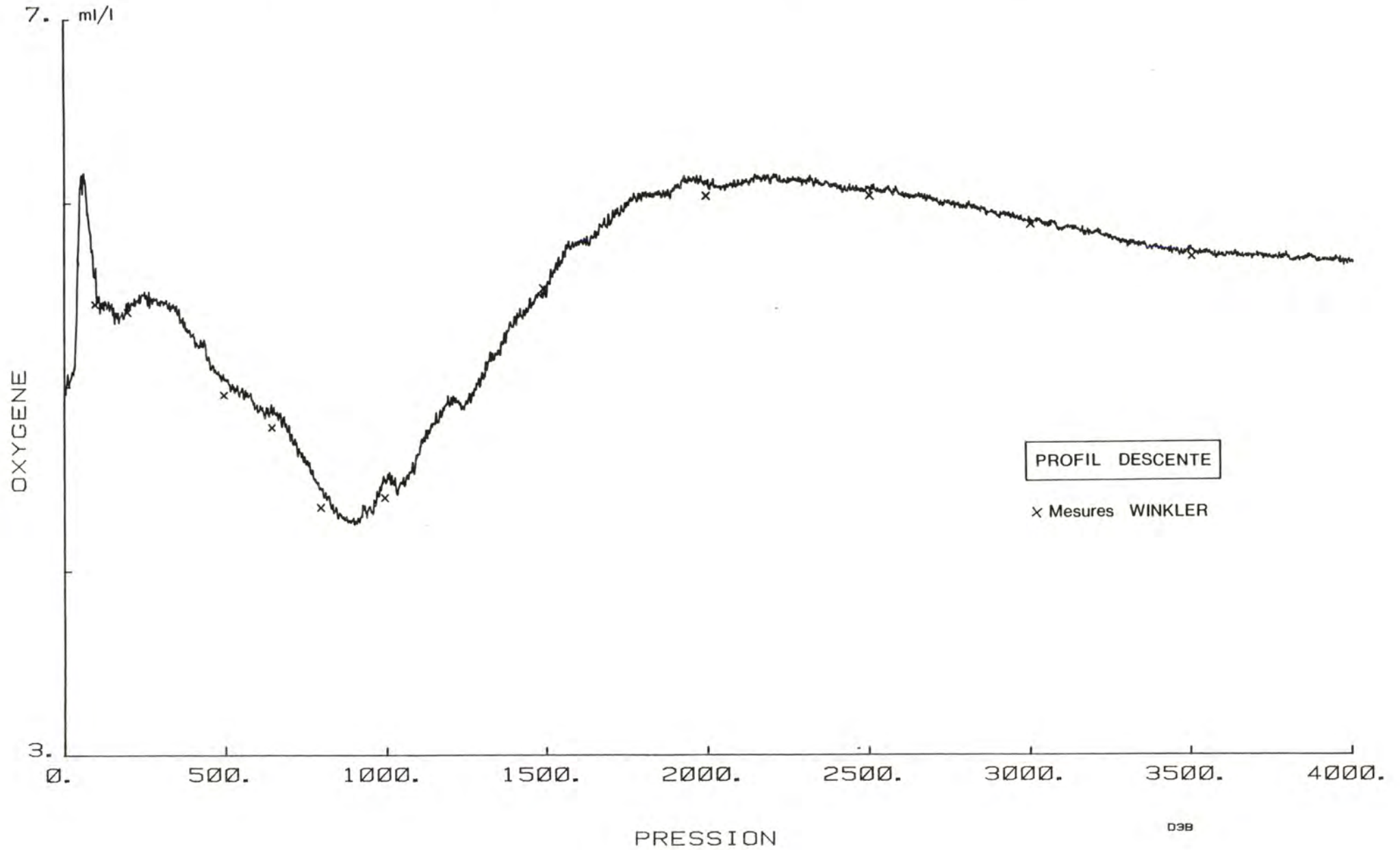


FIGURE 30 : PROFIL D'OXYGENE DISSOUS STATION : 110

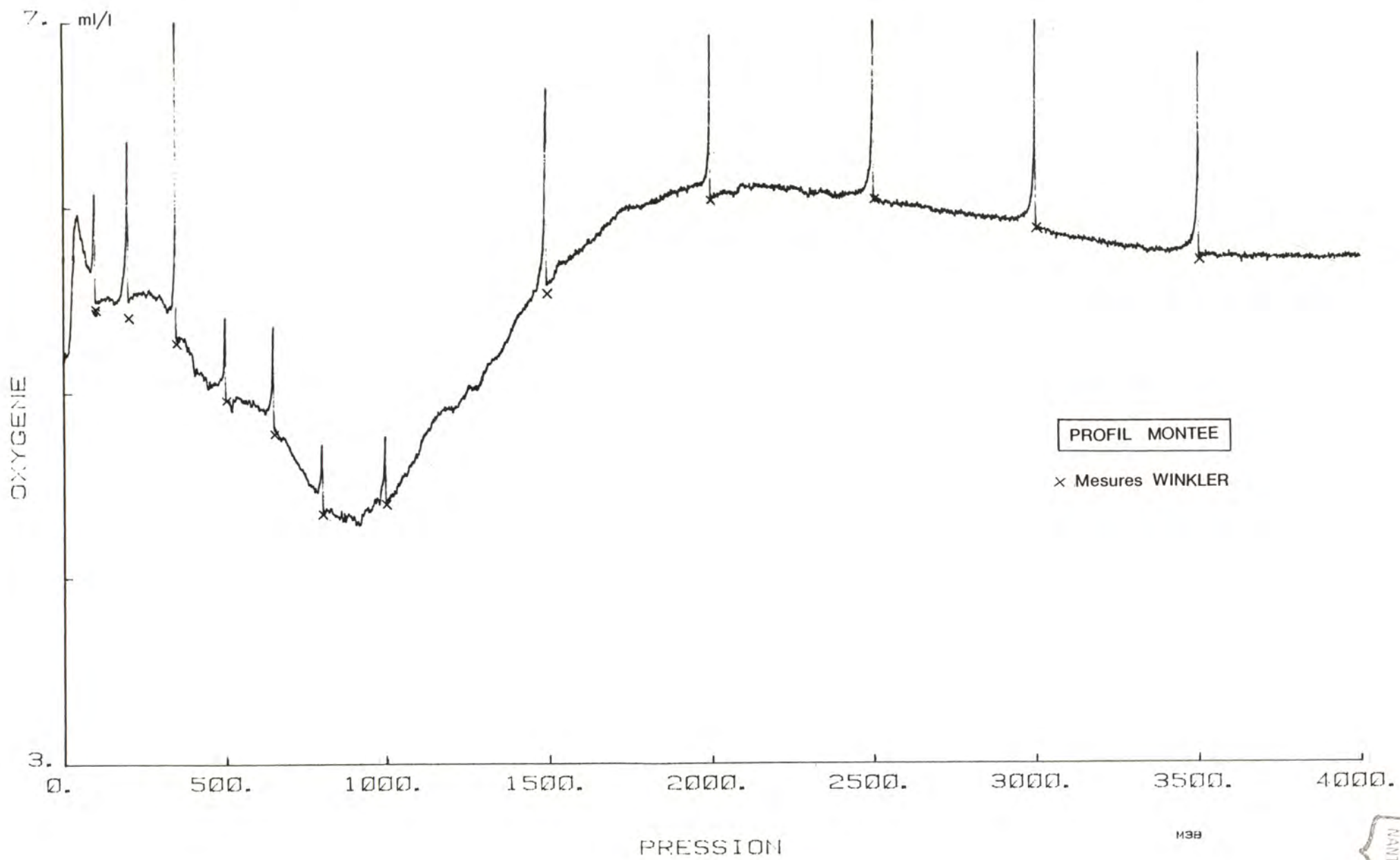
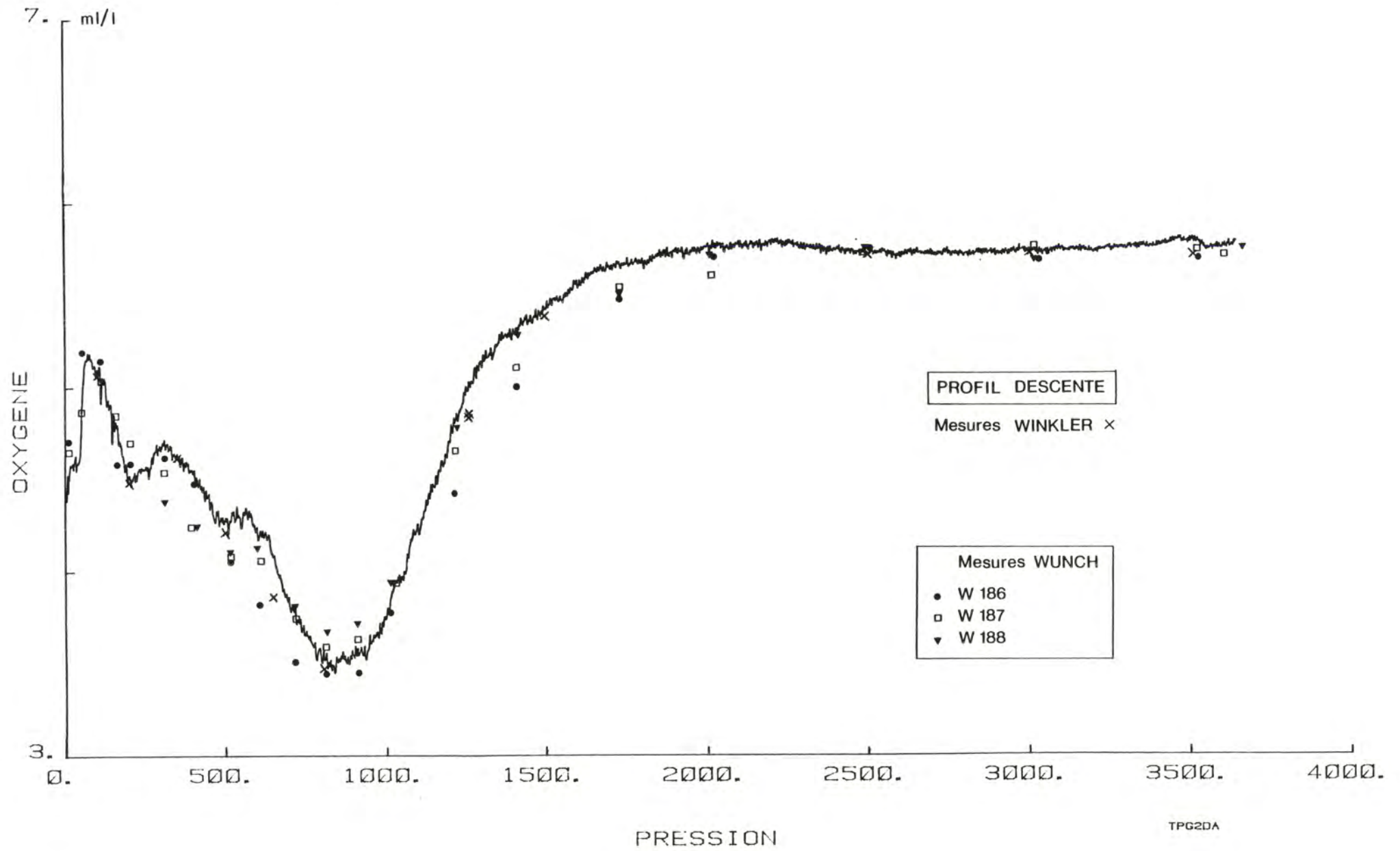




FIGURE 31 : PROFIL D'OXYGENE DISSOUS STATION : 18





Siege social 66, avenue d'Iéna 75116 Paris  
Tel 7235528 Telex 610775