



**HAL**  
open science

## SAGITTAIRE I

Sa Comex, O Cnexo

► **To cite this version:**

| Sa Comex, O Cnexo. SAGITTAIRE I. COMEX. 1971. hal-04358163

**HAL Id: hal-04358163**

**<https://hal.univ-brest.fr/hal-04358163>**

Submitted on 21 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License



The present document is the property of COMEX SAS. It has been entrusted to the ORPHY laboratory, which scanned and uploaded it.

COMEX (Compagnie Maritime d'Expertises), established in 1962, has positioned itself in the offshore activities sector, where it held a leading international position, becoming the world's foremost company in engineering, technology, and human or robotic underwater interventions. Comex designed a Hyperbaric Testing Center in 1969 and developed its own research programs on various breathing mixtures used in deep-sea diving (helium and later hydrogen). These research efforts led to spectacular advancements in this field, including several world records, both in real conditions and simulations. Comex still holds the world record at -701 meters, achieved in its chambers during Operation HYDRA 10.

The ORPHY laboratory focuses on major physiological functions, their regulation, interactions, and their contribution to the development and prevention of certain pathologies. The primary mechanisms studied involve metabolic aspects (oxygen transport and utilization, energetics, etc.) and electrophysiological aspects (contractility and excitability), mainly related to respiratory, vascular, and/or muscular functions. These mechanisms are studied under various physiological and physiopathological conditions, ranging from the cellular and subcellular levels to the entire organism. In Europe, the ORPHY laboratory is one of the leaders in hyperbaric physiology and diving research.

Being a major player in innovation and expertise in the field of pressure, COMEX maintains a scientific archive from its experimental diving campaigns. The value of this archive is both scientific and historical, as it documents a remarkable chapter in the history of marine exploration and contains results obtained during dives that are very unlikely to be replicated in the future.

CONTRAT C.N.E.X.O./COMEX

N° 71 / 296

NOVEMBRE 1971

"SAGITTAIRE I"

CENTRE EXPERIMENTAL HYPERBARE DE LA COMEX

Box 38

**CNEXO**

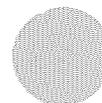
39, avenue d'Iéna

75783 PARIS CEDEX 16

**COMEX**

Traverse de la Jarre

13275 MARSEILLE CEDEX 2



SAGITTAIRE I  
Septembre 1973

TABLE DES MATIERES

-----

A)	- Avant propos	A <sub>1</sub>
	- Schéma de la plongée -	
	- Matériel mis en oeuvre -	A <sub>4</sub>
	- Contrôle des paramètres d'environnement -	A <sub>8</sub>
	- Compte rendu quotidien (extraits du chrono)	A <sub>13</sub>
B)	- RESULTATS PHYSIOLOGIQUES	
	- Ergonomie : .Psychométrie	B <sub>1</sub>
	.Adaptation cardio-vasculaire au travail	
	Step - Test -	B <sub>11</sub>
	.Travail statique et électromyographie	B <sub>15</sub>
	- Fréquence cardiaque - Pression artérielle	
	- Résistance capillaire - capacité vitale.	
	- Bilan diététique	B <sub>20</sub>
	- Appareil ostéo-articulaire	B <sub>22</sub>
	- Bactériologie	B <sub>24</sub>
	- Osmométrie	B <sub>31</sub>
	- Biologie	B <sub>35</sub>
	- Neurophysiologie	B <sub>48</sub>
C)	- DISCUSSION ET CONCLUSIONS	C <sub>1</sub>
	Bibliographie.	
D)	- ANNEXE 1 : Décompression	D <sub>1</sub> à 4
	ANNEXE II : Equipes participantes	
	ANNEXE III : Bilan thermique.	1 à 85

## AVANT - PROPOS

-----

Dans le cadre du programme de pénétration profonde de l'homme sous la mer du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) a été réalisée du 5 Novembre au 3 Décembre 1971 l'opération SAGITTAIRE I, co-financée par la COMEX et le CNEXO (contrat n° 71-296) avec la participation du Département de Neurophysiologie appliquée de l'Institut de Neuro-physiologie et de Psychophysiologie du C.N.R.S., MARSEILLE, subventionné en partie par un contrat de recherche de la D.R.M.E. (contrat n° 71-34-342-00-480-75-01)

Les buts de cette plongée expérimentale réalisée dans l'hydrosphère du CNEXO à la COMEX à MARSEILLE, à 300 m à saturation étaient variés.

On voulait étudier :

- 1°) - le comportement des quatre hommes dont trois plongeurs et un Médecin Biologiste non plongeur, au cours d'un séjour prolongé, à la profondeur fictive de 300 m sous héliox et à des  $Pi_{O_2}$  allant de 300 mb à 600 mb.
- 2°) - les variations des constantes biologiques sanguines au cours de la descente par palier et du séjour grâce à la présence d'un Médecin biologiste et à l'organisation d'un véritable laboratoire dans l'hydrosphère en hyperbarie.
- 3°) - le bilan thermique total de l'homme au repos en atmosphère d'héliox hyperbare.

Ce bilan étant calculé à partir :

- du métabolisme du sujet,
- des échanges cutanés par radiation, convection et évaporation
- et des échanges thermiques respiratoires par évaporation et convection.

Et cela aux profondeurs successives de :

0 - 13 - 5 - 34 - 74 - 152 et 300 m.

- 4°) - Une étude ergonomique portant sur l'adaptation cardio-vasculaire au travail musculaire à 300 m sous des  $Pi_{O_2}$  de 300, 450 et 600 mb, et sous ces mêmes  $Pi_{O_2}$  l'évaluation de la capacité de travail statique ainsi que des performances psychiques et psychomotrices.
- 5°) - Une étude neurophysiologique destinée à objectiver les troubles dus à la compression (dans la descente de 152 à 300 m), et à détecter les manifestations les plus discrètes du S.N.H.P. au cours du séjour.

Cette plongée expérimentale a permis aussi de réaliser :

- une étude diététique,
- des observations sur le syndrome articulaire des hautes pressions,
- des mesures de la pression osmotique du sang, du plasma et du sérum des sujets en hyperbarie.

La comparaison des résultats avec ceux obtenus en surface est évocatrice de modifications des conformations macromoléculaires des liquides organiques soumis à des hautes pressions d'héliox.

Il s'agit là d'une nouvelle et intéressante voie ouverte à la recherche.

- une étude myco-bactériologique sur les sujets confinés en hyperbarie, en fonction de l'hyperoxie et de l'hygrométrie du milieu,

Tout cela nous permet d'avancer que SAGITTAIRE I devait être une des saturations expérimentales les plus riches d'enseignement en physiologie et en biologie humaines.

L'expérience commença le 5 Novembre 1971 par une phase de confinement.

Les sujets sélectionnés étaient :

Bernard	BROUSSE	23 ans, Plongeur de la COMEX
Patrice	LEONARD	30 ans, Plongeur de la COMEX
Bernard	ADAM	37 ans, Plongeur de la COMEX
Francis	SICARDI	31 ans, Médecin Biologiste.

La mise en pression commença le 9 Novembre 1971 au soir.

La fin de la décompression et la sortie s'effectuèrent le Vendredi 3 Décembre au soir.

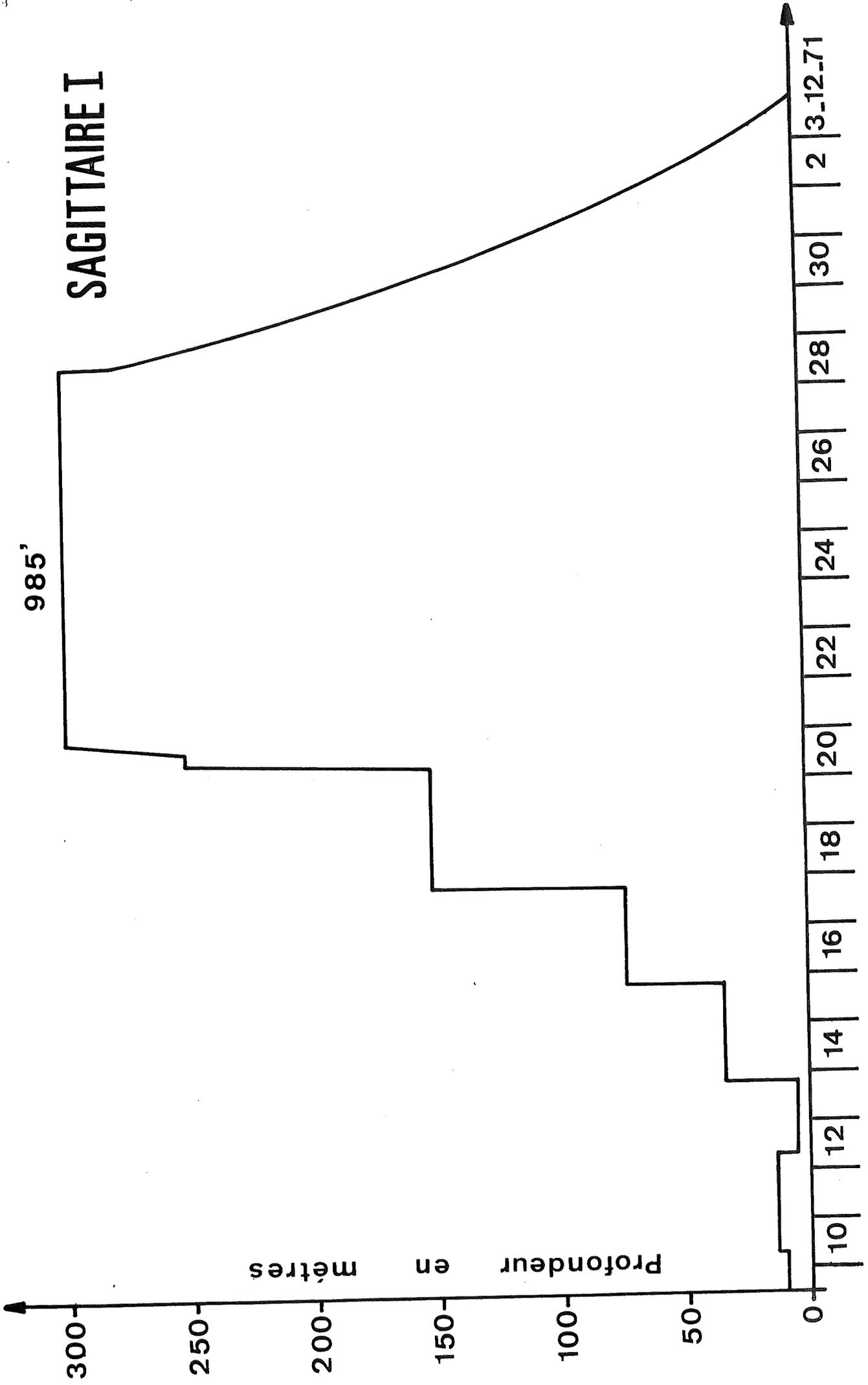
La bonne marche de l'opération dépendait de :

- X. FRUCTUS, Direction Scientifique
- C. AGARATE, Direction Technique
- D. PROSPERI, Chef de Laboratoire,  
Contrôle des paramètres d'environnement
- J. COUSTAL, Chef de Centre,  
Direction de la plongée expérimentale.

Les équipes scientifiques participant à l'exploitation de l'expérience sont énumérées en annexe.

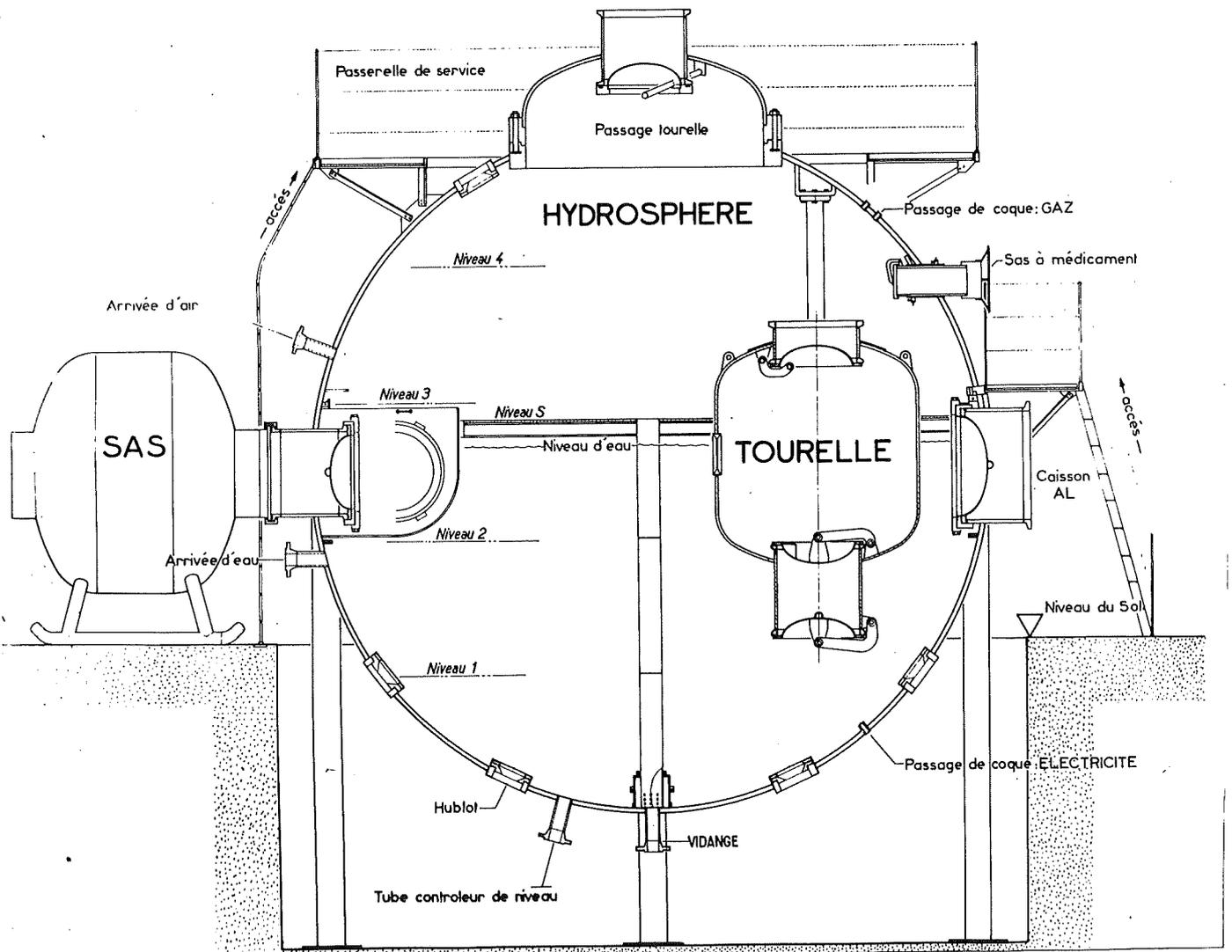
# SAGITTAIRE I

985'



Profondeur en mètres

3-12-71



HYDROSPHERE C. N. E. X. O. / C O M E X

## MATERIEL MIS EN OEUVRE

-----

HYDROSPHERE (plan ci-joint)1° - description des chambresa) hydrosphère proprement dite :

-----  
chambre hydropneumatique sphérique (diamètre : 5 mètres)  
volume : 65,43 m<sup>3</sup> pression de service : 30 bars

Cette chambre remplie d'eau dans sa moitié inférieure (profondeur maximale : 2,80 m) est séparée en deux parties par un plancher :

- . la moitié supérieure, en phase gazeuse, sera aménagée pour permettre aux 4 plongeurs d'y vivre et d'y stocker leur matériel.
- . la moitié inférieure, en phase liquide, permet d'effectuer des plongées, et, de par le volume important disponible (plus de 35 m<sup>3</sup>), de simuler des travaux dans des conditions très proches de la réalité

b) caisson-sas "D"

-----  
Cette chambre clampée à l'équateur de l'hydrosphère lui sert de sas et de sanitaire (WC, lavabo, douche).

volume : 3,2 m<sup>3</sup>

pression de service : 35 bars

2° - pupitre de commande

Un jeu de pupitres et de tableaux situé dans un kiosque attenant à l'hydro sphère permet d'effectuer les opérations suivantes :

- manipulation des gaz : pressurisation, ventilation, décompression, alimentation en mélanges respiratoires.

- commandes électriques : éclairage, régénération de secours, alimentation des prises en différents voltages.

Ils sont équipés :

- d'un jeu de manomètres pour le contrôle des pressions atmosphère-caisson et mélanges respiratoires
- de prises pour l'analyse des gaz où un oxymètre peut être branché en permanence
- de sorties permettant l'aiguillage des gaz de décompression vers les réservoirs de stockage à des fins de récupération
- d'un jeu d'électro-vannes permettant l'utilisation du programmeur de décompression.

A noter qu'indépendamment de ces pupitres de commande, chaque chambre est individuellement équipée de :

- une vanne d'admission d'air
- une vanne d'admission de mélange vie
- une vanne d'admission auxiliaire
- une vanne d'échappement
- une vanne d'échappement régulé
- deux clarinettes de distribution de mélanges respiratoires équipées de détendeurs.

### 3° - contrôle des pressions dans les chambres

Chaque chambre est équipée d'une série de manomètres Bourdon, permettant le contrôle de la pression intérieure.

Le pupitre de commande de chaque chambre est équipé d'un jeu identique de manomètres branché en parallèle sur le précédent.

Un lecteur digital de pression est installé à proximité de l'opérateur de service et peut être relié, à l'aide d'un commutateur, à l'un des capteurs de pression disposé dans chacune des chambres. Il permet de suivre avec une grande précision les profils de pressurisation et de décompression.

La pression des mélanges respiratoires est contrôlée par un jeu de deux manomètres (indiquant les pressions en amont et en aval du détendeur) incorporé à chaque pupitre.

#### 4° - contrôle de la température ambiante

Chaque chambre est équipée d'un manothermomètre Blondel permettant le contrôle permanent de la température ambiante.

Par ailleurs, le système de régénération des gaz est suivi d'un échangeur thermique, alimenté en eau chaude ou froide, permettant la régulation de la température ambiante de l'atmosphère et par conséquent la climatisation des chambres.

#### 5° - liaisons avec les plongeurs

a) un réseau téléphonique RALLY, spécialement conçu, relie l'hydrosphère et le kiosque de commande.

Ce dernier, ainsi que le sas "D" sont reliés par ailleurs au réseau général d'interphones du centre.

b) un circuit fermé de télévision SONY permet à l'opérateur de surveiller les plongeurs et d'effectuer, éventuellement, des enregistrements sur magnétoscope.

#### 6° - alimentation en eau

a) le sas "D" est équipé de réservoirs d'eau chaude et froide sous pression qui alimentent le lavabo, la douche et le W.C.

b) la phase liquide de l'hydrosphère est connectée à un ensemble de circulation et de filtrage sous pression incluant un échangeur thermique permettant de la réfrigérer à l'aide d'un groupe CARRIER de grande puissance.

#### 7° - nourriture

Le sas à médicaments équipant l'hydrosphère permet le passage des repas et boissons nécessaires à l'alimentation des plongeurs.

8° - confort

Le volume relativement important de la phase gazeuse de l'hydrosphère permet de l'équiper pour des séjours de longue durée dans des conditions de confort acceptables. Elle est équipée du mobilier nécessaire (couchettes, sièges, table, placards, étagères, ...) aux quatre plongeurs pour un séjour de très longue durée.

Le plancher métallique de séparation des deux phases est recouvert d'un plancher en contre-plaqué marine assurant l'isolement thermique et d'un tapis caoutchoucté assurant l'isolement hygrométrique entre l'atmosphère et la phase liquide. Ce plancher est muni d'une trappe permettant d'accéder à la phase liquide.

## CONTROLE DES PARAMETRES D'ENVIRONNEMENT

---

### I. APPAREILLAGE MIS EN OEUVRE

#### 1°/ - Analyseurs d'oxygène

---

- SERVOMEX OA 137
- SERVOMEX OA 250
- BIO MARINE

Les appareils SERVOMEX sont basés sur les propriétés paramagnétiques de l'oxygène. Ils mesurent directement le pourcentage d'oxygène dans le gaz détendu.

Ils possèdent plusieurs échelles :

- 0 - 1 %
- 0 - 5 %
- 0 - 25 %
- 0 - 100 %

Ces appareils sont équipés d'une cellule effectuant la mesure de la susceptibilité magnétique de l'échantillon par une méthode de zéro.

La densité, la conductibilité thermique, les affinités chimiques des gaz analysés n'influent pas sur les mesures et les erreurs pouvant provenir de la susceptibilité magnétique des gaz autres que l'oxygène sont très faibles, et toujours prévisibles.

Le temps de réponse de la mesure est faible, et pour les grandes profondeurs, l'échelle 0 - 1 % de l'OA 137 permet d'obtenir une excellente précision (25 Vpm).

De plus, l'OA 137 est équipé d'un système régulateur d'ambiance permettant d'annuler les variations de susceptibilité magnétique de l'oxygène, dues aux variations de température.

Ces appareils nous ont donné entière satisfaction.

## 2°/ - Analyseur d'anhydride carbonique

L'appareil utilisé est un analyseur de gaz, à absorption de rayonnement infra-rouge. UNOR S2 et ANIR 11 (SCHLUMBERGER).

Ils présentent les caractéristiques suivantes :

0 - 50 Vpm

2 étendues de mesure :

0 - 500 Vpm

La précision est de 2%. Les analyses sont effectuées sur le gaz détendu. Du fait des faibles teneurs en CO<sub>2</sub>, nous n'avons pratiquement utilisé que l'échelle 0 - 50 Vpm.

## 3°/ - Hygrométrie

Le taux d'humidité dans les caissons a été contrôlé au moyen d'hygromètres à cheveux.

Les teneurs en eau sont directement lues sur le cadran en % d'humidité relative.

Parallèlement, nous avons effectué toute une série de mesures par G.L.C. qui ont confirmé, avec une bonne approximation ( $\pm 5$  % H.R.), les résultats fournis par l'hygromètre à cheveux.

Le Chromatographe utilisé était un CARLE 8000 muni d'un catharomètre à thermistances, la séparation de l'eau s'effectuant sur colonne de PORAPAK Q.

## 4°/ - Analyses G.L.C.

Toutes les analyses étaient contrôlées systématiquement, au laboratoire, par chromatographie en phase vapeur.

L'appareil utilisé était un Microtek MT 150 à cellule ultrasonique.

Ce mode de détection permet de mesurer les gaz permanents, avec une très grande précision.

Sa cellule ultra-sensible (on peut mesurer 1/20 de Vpm d'O<sub>2</sub> ou de N<sub>2</sub>) a de plus l'avantage d'être linéaire de 1/20 Vpm à 100 %.

Les colonnes utilisées pour les gaz permanents étaient à remplissage de tamis moléculaires 5 Å, de granulométrie 60/80 mesh.

#### CONTROLE DES TEMPERATURES

Mesures par sondes à résistances de platines, du type 100 ohms à 0° C.

4 sondes étaient disposées en différents points des caissons.

Chaque sonde est incluse dans un pont de Wheastone, alimenté en courant continu. Les variations de tension, produites par toute variation de température, sont mesurées et enregistrées potentiométriquement.

La grande sensibilité de ces sondes et leur faible temps de réponse ont permis de corriger toute variation de température de  $\pm 0,2^\circ$  C.

#### CONTROLE DES PRESSIONS

Utilisation d'un profondimètre utilisant des jauges de contrainte. La lecture s'effectue sur un voltmètre numérique à 5 "digits".

Ce procédé donne des valeurs à 0,2 % près, comparables avec les indications fournies par un manomètre de type laboratoire. Cependant, en valeur relative, l'opérateur chargé de conduire les manoeuvres de compression ou de décompression, peut lire immédiatement toute variation de pression, équivalent à 10 cm d'eau.

#### PROTECTION CONTRE LES BACTERIES

Utilisation du procédé AEROVAP à l'Hexyl-Resorcinol

## II - CONDITIONS DE TRAVAIL

La présence d'une phase liquide dans l'hydrosphère a provoqué des difficultés de contrôle de la vapeur d'eau dans la phase gazeuse.

De ce fait, nous avons eu de nombreux points à 90 % H R, cependant les valeurs moyennes se sont situées entre 65 et 75 % H R.

## III - CONCLUSIONS

Nous avons pu respecter les teneurs en différents constituants gazeux suivant le programme prévu. La  $PpO_2$  ne nous pose aucun problème et nous respectons aisément la valeur désirée, avec une erreur relative maximale de  $\pm 3$  %.

Le gaz inerte étant réputé être de l'hélium, la quantité d'azote maximale obtenue à la fin du palier était de 0,82 %.

Les teneurs en  $CO_2$  à 300 mètres n'ont jamais excédé 3,4 mb avec une valeur moyenne située entre 0,5 et 1,5 mb.

Les températures ont été maintenues à un niveau plus élevé que prévu et comprises en moyenne à 300 mètres entre 32° et 35 ° C.

Ceci s'explique par le fait que les océanographes, pour diverses raisons et en particulier pour répondre aux impératifs des mesures de bilan thermique qui exigeaient d'eux une longue immobilité, alors qu'ils étaient simplement vêtus d'un slip de bain, avaient une tenue vestimentaire des plus sommaires.

Nous avons vu que le contrôle de l'humidité nous avait posé quelques problèmes sans paraître pour autant perturber les sujets.

Les contrôles discontinus, effectués par G.L.C. concernant les teneurs en  $CO - CH_3 - CH_4$  etc, ont pu être assurés convenablement et à aucun moment nous n'avons enregistré de valeurs importantes de l'un de ces constituants. Exception doit être faite cependant pour le  $CO$  qui a été pour nous une source de soucis du fait que nous l'éliminons de façon peu satisfaisante et, de ce fait, nous avons dû changer avec une fréquence plus grande les filtres destinés à l'absorber.

Le contrôle bactériologique a été celui devenu maintenant classique à la COMEX.  
Il ne nous a posé aucun problème.

"S A G I T T A I R E I"  
(extraits du chrono)

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
09H 30	5	300	-	23°	-	Mise en pression
12H 05	-	-	-	-	-	test bilan thermique BROUSSE
15H 30	5	300	0,43	28°	57	test bilan thermique ADAM
17H 35	5	300	0,57	29°	-	
19H 30	5	300	-	-	-	décompression ADAM pour implantation électrodes
20H 10	5	300	-	-	-	recompression ADAM et repas
20H 30	5	300	-	-	-	décompression LEONARD
20H 50	5	300	-	-	-	recompression LEONARD
21H 00	5	300	-	-	-	décompression BROUSSE
21H 35	5	300	-	-	-	recompression BROUSSE
22H 00	5	300	-	-	-	début des E.E.G sommeil
23H 00	5	300	-	-	-	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

CONFINEMENT

"SAGITT AIRE I" (extraits du chrono)

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
6 H 30	5	300	0,30	23°	-	réveil des plongeurs compression SICARDI et BERGONZI fin ECG et prise de sang- déc. SICARDI et BERGONZI } } test bilan thermique LEONARD } passage repas rentrée SICARDI - début test bilan thermique tests E.E.G. E.E.G. sommeil
7 H 00	5	300	0,75	24°	-	
7 H 55	5	300	0,75	24°5	-	
9 H 00	5	300	0,37	28°	77	
11 H 30	5	300	0,57	30°	54	
12 H 00	5	300	0,60	28°	-	
15 H 00	5	300	0,84	29°	60	
19 H 00	5	300	-	28°	-	
22 H 00	5	300	0,75	28°	-	
06 H 30	5	300	0,75	26°	85	
07 H 00	5	300	0,75	26°5	-	
08 H 15	5	300	-	28°	-	
11 H 40	-	-	-	-	-	

05.11.71

06.11.71

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

-----

J 1 - 10.11.71

"S A G I T T A I R E I" (extraits du chrono)

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	10	320	0,68	24°	80	réveil des plongeurs - prise de sang
11 H 55	13	290	-	28°	74	test bilan thermique BROUSSE
14 H 45	-	-	-	-	-	réveil des plongeurs
15 H 00	13	300	-	25°	-	) test bilan thermique ADAM { { {
17 H 55	13	290	0,46	32°5	-	
19 H 00	13	290	0,85	30°	-	
23 H 45	13	295	0,64	29°	71	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 2 - 11.11.71

(extraits du chrono)

"SAGITTARE I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	13	295	0,34	26°5	50	réveil des plongeurs - prise de sang } test bilan thermique LEONARD }
09 H 00	13	300	0,42	29	73	
11 H 30	13	300	0,51	34	70	
13 H 30	13	300	0,65	31	-	tests E.E.G.
14 H 40	13	300	0,57	31	-	réveil plongeurs
15 H 10	13	300	0,69	32	65	test bilan thermique SICARDI
18 H 00	13	300	0,69	30	-	tests E.E.G.
19 H 00	13	300	0,53	30	-	repas
23 H 40	13	300	0,53	27	-	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 3 - 12.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06H 00	13	300	0,25	29°	73	réveil des plongeurs - début décompression } test bilan thermique BROUSSE } } test bilan thermique ADAM } } passage repas
08H 30	5	310	0,39	28°	-	
11H 00	5	300	0,43	30°	77	
15H 00	5	300	0,57	29°	78	
17H 30	5	300	0,57	30°	80	
19H 00	5	300	0,71	28°	-	

COMPTÉ - RENDU QUOTIDIEN

J 4 - 13.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	5	300	0,35	26°5	67	réveil des plongeurs
08 H 30	5	300	0,72	28°	81	) bilan thermique LEONARD
11 H 00	5	300	0,65	33°	64	)
13 H 00	5	310	0,63	32°5		tests E.E.G.
15 H 00	5	310	0,73	31°5	78	) bilan thermique SICARDI
17 H 30	5	300		30°		)
19 H 56	5	300	1,12	30°		début pressurisation
20 H 25	34	300	0,83	33°5	82	fin pressurisation
23 H 40	34	300	0,88	32°	70	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

-----

J 5 - 14.11.71

(extraits du chrono)

"SAGITTARE I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	34	300	0,53	29°5	66	réveil des plongeurs - prise de sang - ergométrie
08 H 15	34	300	1,14	30°	70	} bilan thermique BROUSSE
10 H 40	34	310	1,28	32°5	72,5	
11 H 50	34	310	1,19	34°5	-	
15 H 00	34	300	2,11	32°	81	} bilan thermique ADAM
17 H 25	34	300	2,11	31°	73	
19 H 15	34	300	1,54	30°	78	repas
23 H 00	34	295	1,01	30°	-	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 6 - 15.11.71

(extraits du chrono)

"SAGITT'AIRE I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	34	300	0,72	29°		réveil des plongeurs
08 H 30	34	300	1,45	29°	88	} bilan thermique LEONARD
11 H 00	34	300	1,06	31°	85	
15 H 00	34	300	1,76	32°5	88	} bilan thermique SICARDI
17 H 30	34	295	1,61	32°5	83	
17 H 45	-	-	-	-	-	exercice passage rapide dans caisson D - durée : 20 sec porte fermée
19 H 48	34	300	1,10	30°5	-	début pressurisation
20 H 06	74	280	1,36	34°	-	fin pressurisation
23 H 50	74	300	0,76	32°	69	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

-----

J 7 - 16.11. 71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	74	300	0,46	29°	86	réveil des plongeurs
08 H 30	74	300	0,75	31°5	88	} bilan thermique BROUSSE
11 H 00	74	300	0,92	32°	73	
11 H 30	74	300	0,80	32°	75	
15 H 00	74	295	1,09	30°5	83	} bilan thermique ADAM
17 H 20	74	295	0,75	32°	89	
20 H 30	74	300	1,01	30°	85	trémor - 4 plongeurs
22 H 45	74	300	0,75	30°	94	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

-----

"S A G I T T A I R E I" J 8 - 17.11.71  
(extraits du chrono)

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	74	300	0,42	29°	83	réveil des plongeurs
08 H 40	74	300	0,88	32°	69	} bilan thermique LEONARD
11 H 15	74	300	0,92	33°	68	
13 H 00	74	300	0,88	32°	-	
15 H 05	74	300	1,09	31°5	65	bilan thermique SICARDI
19 H 30	74	300	1,08	33°	-	début pressurisation
19 H 49	112	300	1,12	36°	80	pressurisation stoppée-chaleur trop importante
20 H 35	152	300	0,97	34°	87	fin de la pressurisation
22 H 10	152	310	0,57	33°	-	extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 9 - 18.11.71

(extraits du chrono)

"SAGITTARE I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	152	310	0,49	32°5	-	réveil des plongeurs
08 H 30	152	310	0,97	33°	77	prise de sang - ergométrie
11 H 00	152	300	0,97	32°	76	) bilan thermique BROUSSE ) )
11 H 35	152	300	0,97	33°	76	tests E E G
14 H 30	152	300	1,05	32°5	66	réveil des plongeurs
17 H 35	152	300	1,05	32°	56	début bilan thermique ADAM
18 H 35	152	300	1,46	32°	-	fin du bilan thermique ADAM
23 H 35	152	300	0,89	32°	-	tests E. E. G. extinction des feux

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 10 - 19.11.71

-----

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	152	300	0,65	32°	58	réveil des plongeurs
08 H 40	152	295	1,54	32°	67	prise de sang - mesure capacité vitale
11 H 10	152	300	1,62	32°	67	} bilan thermique LEONARD
15 H 00	152	310	1,62	32°	71	
18 H 00	152	305	1,94	32°	72	} bilan thermique SICARDI
18 H 10	152	-	-	-	-	
20 H 30	152	305	2,11	32°	78	exercice secours - 17 secondes porte fermée
23 H 30	152	305	1,94	32°	75	osmométrie EEG de sommeil

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 11 - 20.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 45	152	305	0,97	32°	-	réveil des plongeurs
07 H 30	152	300	1,05	31°5	-	ergométrie - potentiels évoqués visuels SICARDI
08 H 20	152	300	-	32°5	70	mesure tremblement - début pressurisation sous EEG
10 H 00	252	305	1,90	30°5	84	fin pressurisation
15 H 00	252	310	1,05	31°	49	début pressurisation
19 H 50	300	310	0,37	32°	69	fin pressurisation - repas
21 H 00	300	310	0,93	32°	-	E E G de sommeil

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 12 - 21.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 30	300	300	0,59	33°	85	Mesure capacité vitale - prise de sang - ergométrie
08 H 30	300	300	1,30	32°	81	} bilan thermique BROUSSE
11 H 30	300	310	1,15	34°	73	
11 H 50	-	-	-	-	-	
15 H 00	300	305	1,86	32°5	69	début bilan thermique ADAM
20 H 30	300	300	1,70	33°	-	potentiels évoqués
22 H 10	-	-	-	-	-	EEG de sommeil

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

"SAGITTARE I" (extraits du chrono)

J 13 - 22.11.71

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 30	300	300	0,96	34°	72	fréquence cardiaque - prise de sang
07 H 30	300	300	1,30	32°5	77	résistance capillaire
11 H 30	300	310	2,17	31°5	82	fin de l'ergométrie
12 H 00	-	-	-	-	-	fin du bilan thermique LEONARD
15 H 07	300	300	2,54	32°	82	osmométrie
18 H 00	300	305	2,23	32°	87	} bilan thermique SICARDI
21 H 25	300	305	1,70	32°	-	} mesure du tremblement

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 14 - 23.11.71

(extraits du chrono)

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 30	300	310	0,65	32°	69	step-test sous ECG
07 H 35	-	-	-	-	-	prise de sang - mesure capacité vitale
08 H 30	300	310	1,55	31°	81	mesure de la capacité de travail statique
11 H 00	300	305	1,83	31°	73	fin des tests EEG et PEV
15 H 30	300	305	2,08	33°	-	tests psychométriques
17 H 30	300	310	2,80	33°	88	step-test sous ECG
21 H 50	300	305	3,10	34°5	82	fin des potentiels évoqués

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 15 - 24.11.71

(extraits du chrono)

"SAGITTAIRE I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
07 H 00	300	455	1,05	32°	88	prise de sang - mesure capacité vitale
11 H 00	300	450	3,16	31°	-	début tests EEG et PEV
16 H 00	300	455	0,77	33°	90	fin de la mesure de capacité de travail
19 H 30	300	420	1,60	33°	-	osmométrie
21 H 00	300	450	2,48	33°	-	mesure du tremblement
22 H 00	300	450	2,02	33°	-	EEG de sommeil

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 16 - 25.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	300	455	1,08	32°	83	prise de sang - fréquence cardiaque - step-test
09 H 00	300	450	2,48	32°5	-	capacité de travail statique - osmométrie
15 H 30	300	455	0,62	33°	75	capacité de travail statique
16 H 15	300	455	0,71	33°	-	fin des tests ergométriques
19 H 00	300	420	0,95	33°	90	repas
22 H 00	300	450	0,93	33°	-	fin de l'osmométrie - EEG de sommeil

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 17 - 26.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
08 H 30	300	450	0,93	32°	80	début mesure capacité de travail
09 H 30	300	455	1,67	32°	85	tests EEG - temps de réaction
16 H 00	300	450	1,55	32°	85	implantation électrodes LEONARD
17 H 30	300	450	1,70	33°	-	fin des P E V
18 H 52	300	410	1,70	30°	82	passage repas
20 H 15	300	450	1,95	34°	78	passage à PiO <sub>2</sub> 600 mb
23 H 00	300	580	1,39	34°	-	

COMPTÉ - RENDU QUOTIDIEN

-----

(extraits du chrono)

J 18 - 27.11.71

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
06 H 15	300	600	0,87	34°5	-	arrêt des EEG de sommeil - résistance capillaire
10 H 30	300	600	2,42	32°	85	tests EEG, puis osmométrie
12 H 05	300	600	2,04	32°	86	fin des EEG - repas
15 H 10	300	590	2,02	32°5	-	tests ergométriques
18 H 00	300	590	2,94	32°	86	step-test sous ECG
23 H 00	300	620	2,63	32° 5	77	EEG de sommeil

COMPTE - RENDU QUOTIDIEN

J 19 - 28.11.71

(extraits du chrono)

"S A G I T T A I R E I"

Heure	Prof.	PiO <sub>2</sub> mb	PiCO <sub>2</sub> mb	temp. °C	H <sub>2</sub> O %	Observations
05 H 45	300	610	1,55	33°5	88	réveil des plongeurs
07 H 45	300	600	2,42	32°	-	mesure capacité de travail
09 H 00	300	600	3,04	32°	83	tests psychométriques sous EEG
09 H 40	300	610	2,48	32°	93	osmométrie
12 H 15	300	605	0,46	31°5	70	fin des tests psychométriques
13 H 00	300	605	0,56	32°	-	début décompression
14 H 05	275	600	0,55	32°	-	fin des tests EEG
22 H 22	248	600	0,58	33°	81	tests EEG
20 H 17	0					SORTIE DES PLONGEURS

J 24 - 03.12.71

Doc 2.

## ETUDE PSYCHOMETRIQUE

-----

I - HYPOTHESES

- 1 - Les résultats des expériences précédentes (PHYSALIE V - JANUS II) ont montré qu'à 300 mètres, on n'observait pas d'altérations des performances appréciées par les différents tests psychométriques.

L'opération SAGITTAIRE I devait permettre de vérifier si un séjour d'une semaine à cette profondeur, les sujets devant travailler pendant ce séjour, ne faisait pas apparaître une détérioration des performances qui était apparue, lors de PHYSALIE V, à partir de la profondeur de 350 mètres.

- 2 - Par ailleurs, pendant le séjour à 300 mètres, la pression partielle d'oxygène du mélange respiratoire était successivement de 300, 450 et 600 millibars (cf calendrier de l'opération). C'est pourquoi trois passages de tests ont été réalisés pour vérifier si les variations de la pression partielle d'oxygène avaient une incidence sur les performances.

- 3 - Enfin, nous avons utilisé deux tests de personnalité afin de voir si ces tests avaient une validité pour prédire l'adaptation psychologique des sujets aux conditions imposées par les expériences de plongée simulée.

II - DESCRIPTION DES EPREUVES

En fonction de nos hypothèses, nous avons retenu les épreuves suivantes :

Efficienc e sensori-motrice

-----

- 1 - temps de réaction visuel de choix (1) T.R.  
2 - dextérité manuelle (1) D.M.

-----

(1) Les quatre épreuves (1) sont décrites dans le rapport de l'opération PHYSALIE V où elles ont été utilisées.

Efficiencce intellectuelle

- 3 - Ordination de chiffres (1) O.C.
- 4 - Paper Form Board (1) : Formes A et B ; P.F.B.
- 5 - Echelle de facteur G de Catell (formes A et B).

Cette épreuve a été choisie pour sa difficulté supérieure à celle des deux autres épreuves d'efficiencce intellectuelle.

Epreuves de personnalité

- 6 - labyrinthes de Porteus  
=====

Cette épreuve donne, à la fois, une note de niveau intellectuel et une note qualitative en rapport avec l'adaptation sociale et émotionnelle.

- 7 - Le questionnaire d'auto-analyse ou Echelle d'anxiété de Catell  
=====

Outre divers paramètres, il permet d'apprécier l'anxiété manifeste par rapport à l'anxiété latente.

III - LA PROCEDURE EXPERIMENTALE

décrite au tableau I, a été adaptée en fonction de nos hypothèses et des caractéristiques des épreuves utilisées.

S A G I T T A I R E I - TABLEAU I (procédure expérimentale)

-----

Appellation	Date	Profondeur	PpO <sub>2</sub> mb	T. R.	D. M.	O. C.	P F B	G	Porteüs	Auto- Analyse
C 1	29.10.71	0	210			+	A	AA	+	
		5		+						BB
S 1	23.11.71	300 m	300	+	+	+	A	AA		+
S 2	26.11.71	300 m	450	+	+	+				
S 3	28.11.71	300 m	600	+	+	+	B	BB	+	
S 4	1.12.71	100 m		+		+				

Contrôles

Séjour à 300 mètres

Décom-  
pres-  
sion

IV - RESULTATS1 - TEMPS DE REACTION (T.R.)  
-----

Nous utilisons la médiane et l'écart inter-quartile, indiqué entre parenthèses, des distributions de 30 mesures par série.

	C 1	C 2	S 1	S 2	S 3	S 4
SIC		51 (12)		71 (14)	64 (9)	69 (14)
ADA		51 (8)		41 (6)	47 (12)	47 (19)
BRO		59 (8)		62 (12)	49 (6)	54 (13)
LEO		56 (15)		50 (22)	59 (9)	53 (12)

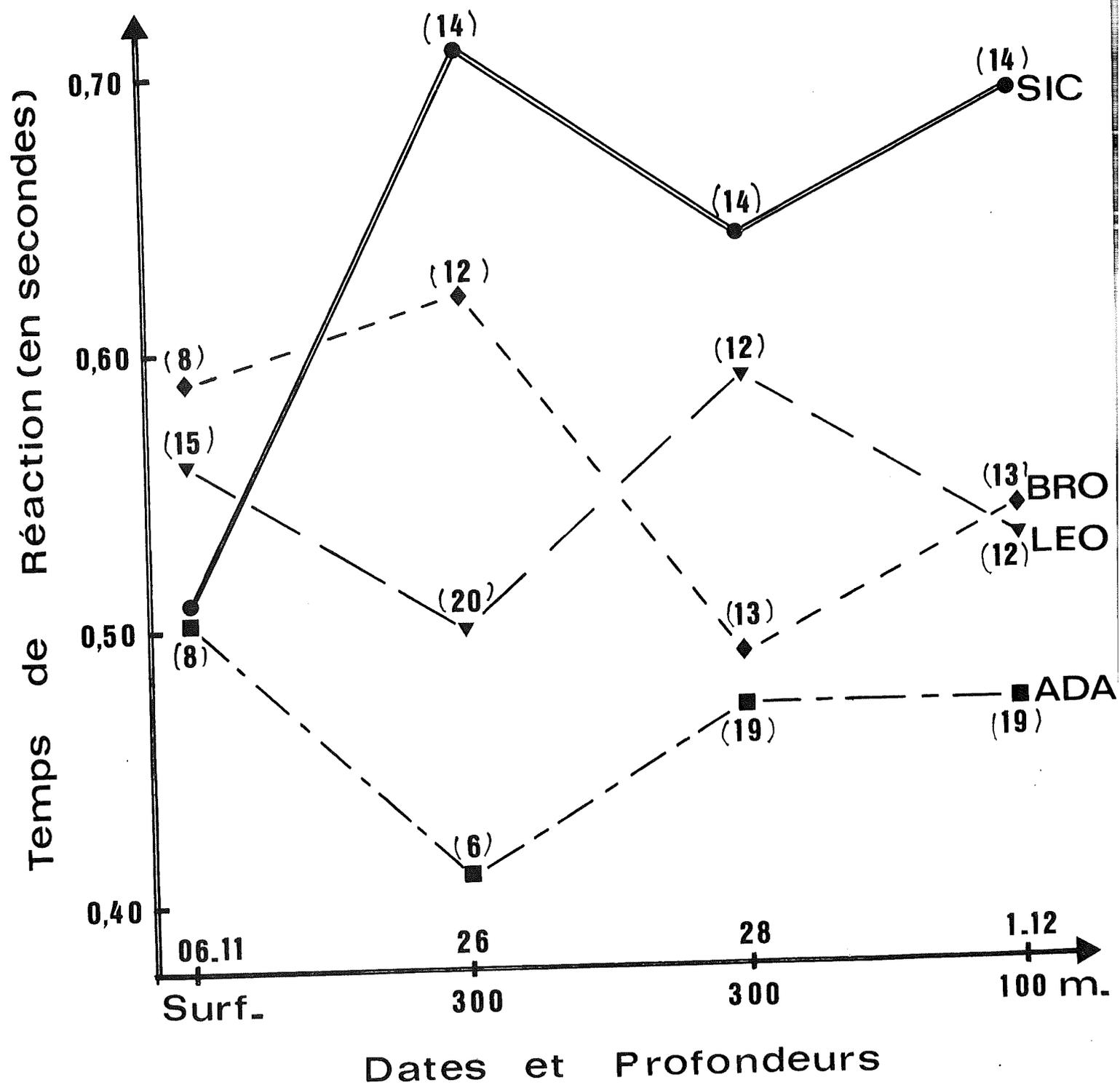
Tableau 2 - Temps de réaction  
-----

Ces résultats représentés au graphique 1, permettent d'opposer les 2 résultats de ADA et LEO à ceux des deux autres plongeurs. Mais, les variations de performance sont faibles chez BRO et LEO.

Par contre, chez ADA, la diminution du T.R. médian est de 20 % en S2 et  
chez SIC, l'augmentation du T.R. médian est de 40 % en S2.

Nous n'enregistrons pas de variation notable de l'indice de dispersion.

Conclusion : seule l'augmentation du T.R. de SIC (40 % en S 2, 26 % en S 3 et 36 % en S 4) paraît significative.



GRAPHIQUE 1 - TEMPS DE REACTION VISUEL DE CHOIX

Valeurs médianes des distributions de 30 notes.

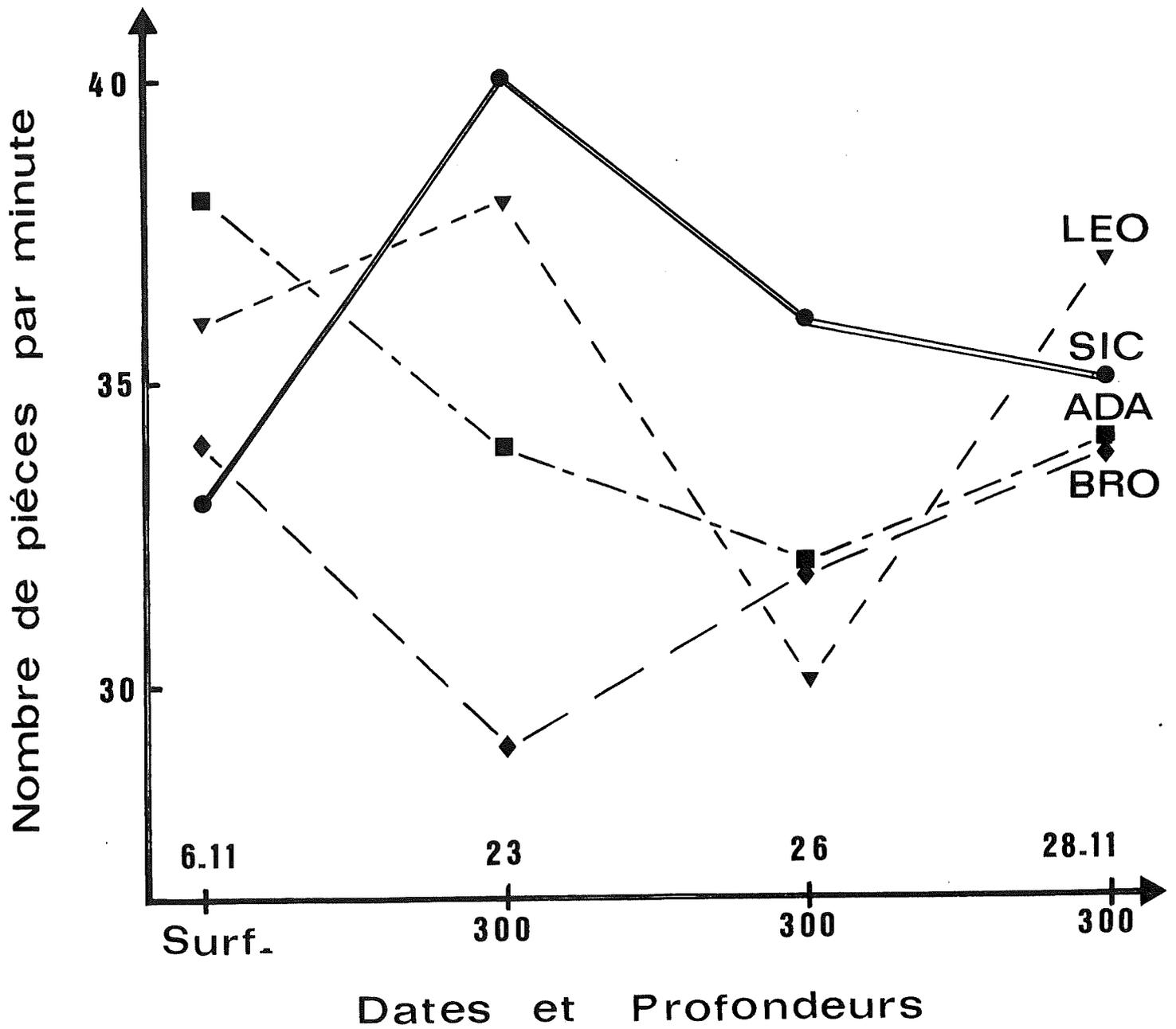
Les écarts inter-quartiles sont indiqués entre parenthèses.

## 2 - DEXTERITE MANUELLE (D. M.)

		C	S 1	S 2	S 3
SIC	D	32	40	38	34
	G	34	41	34	37
	<i>M</i>	66 (33)	81 (40)	72 (36)	71 (35)
ADA	D	38	36	34	36
	G	38	33	31	32
	<i>M</i>	76 (38)	69 (34)	65 (32)	68 (34)
BRO	D	30	27	28	32
	G	38	32	36	37
	<i>M</i>	68 (34)	59 (29)	64 (32)	69 (34)
LEO	D	38	40	30	37
	G	34	37	30	37
	<i>M</i>	72 (36)	77 (38)	60 (30)	74 (37)

Dans le tableau ci-dessus figurent le nombre de pièces correctement placées, par minute, de la main droite, de la main gauche, leur somme et la performance moyenne par minute.

*M* = Somme



GRAPHIQUE 2 - DEXTERITE MANUELLE

Performance moyenne par sujet et par série.

La représentation de ces résultats, au graphique 2, montre que deux sujets, SIC et LEO améliorent leur performance en S1 (arrivée à 300 mètres), alors que ADA et BRO ont une performance moindre à cette série.

Pour les deux premiers, il faut remarquer :

- 1° - que l'accroissement de performance en S1 est de + 21 % chez SIC, et de + 55 % chez LEO.
- 2° - que cet accroissement en S1 est suivi d'une diminution des performances en S2 et S3.  
Cette diminution est faible chez SIC, dont les performances restent supérieures aux valeurs de contrôle.  
Elle est importante chez LEO en S2 (-16,60 %) dont la performance en S3 est similaire aux valeurs de contrôle.

Pour les deux sujets dont les performances baissent :

- 1° - en S1 (arrivée à 300 mètres), cette diminution est de 10 % chez ADA et 15 % chez BRO.
- 2° - chez ADA, cette diminution se poursuit en S2 (- 16 %) et la performance S3 reste inférieure aux valeurs de contrôle (- 10 %).  
Chez BRO, la performance augmente en S2 et est, en S3, similaire aux valeurs de contrôle.

## CONCLUSION

=====

Le tableau suivant résume :

- 1° - les valeurs extrêmes des variations des performances par référence aux valeurs de contrôle.
- 2° - la performance la plus basse.
- 3° - la valeur de la performance S3 (fin du séjour à 300 mètres) relativement à la performance de contrôle.

SIC	+ 21 %	+ 2 %	performance la plus basse en C	S 3 > C
ADA	- 10 %	- 16 %	S 2	S 3 < C
BRO	0 %	- 15 %	S 2	S 3 = C
LEO	+ 5,5 %	- 17 %	S 2	S 3 = C

### 3 - ORDINATION DE CHIFFRES (O. C.)

Le tableau ci-dessous indique les performances moyennes par minute.

	C 1	C 2	S 1	S 2	S 3	S 4
SIC	60,2	64,4	65,8	67,9	78,0	79,8
ADA	48,4	57,2	47,6	64,7	68,6	76,3
BRO	39,6	49,0	47,4	46,9	58,1	55,4
LEO	37,5	36,2	45,8	46,2	48,3	56,1

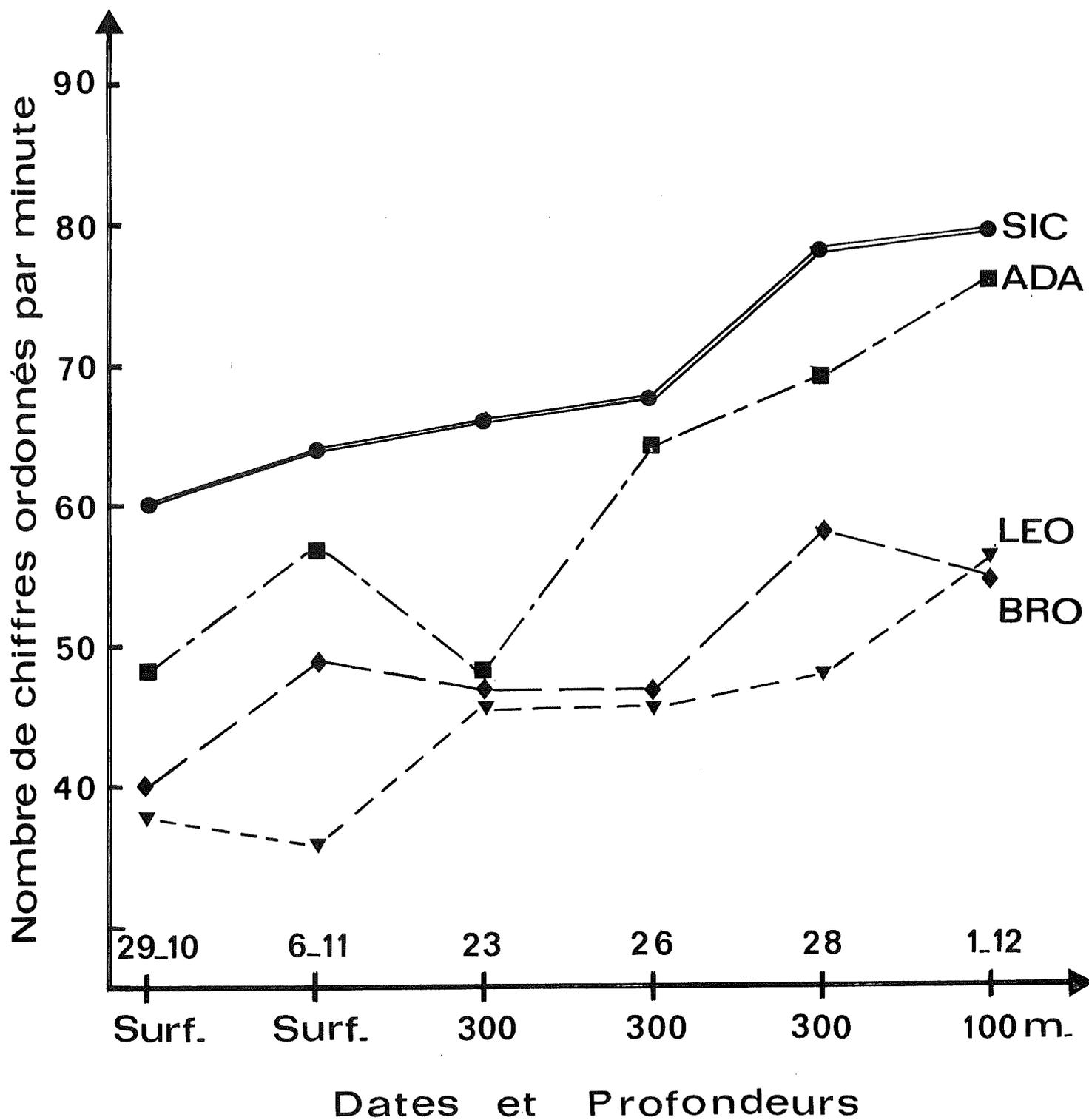
Rappelons que cette épreuve autorise à la répétition un apprentissage qui est, en moyenne de 12 % lorsque les séries sont répétées à intervalle correct et régulier.

Les variations de performance sont représentées au graphique 3.

1° - du 1er au second contrôle, nous observons un effet d'apprentissage chez trois sujets.

2° - les variations de C2 à S1 ne montrent pas d'amélioration de performance, sauf chez le sujet dont la performance n'avait pas augmenté en C2. Pour ce sujet, nous pouvons faire l'hypothèse d'un effet d'apprentissage latent en C2.

.../...



GRAPHIQUE 3 : ORDINATION DE CHIFFRES

Performance moyenne par sujet et par série

- 3° - De S1 à S2, la performance est stable chez 3 sujets. Elle augmente chez ADAM dont la performance S1 était retombée au niveau du 1er test C1.
- 4° - De S2 à S3, l'accroissement de performance se manifeste chez les 4 sujets.
- 5° - De S3 à S4, les performances sont stables chez 2 sujets et en augmentation chez les 2 autres.

#### RESUME

=====

- 1° - tous les sujets réalisent un apprentissage sur l'ensemble des séries.
- 2° - La performance maximale est observée en S3 chez BROUSSE et en S4 chez les 3 autres sujets.
- 3° - les variations d'un test à l'autre diffèrent selon les sujets et renvoient à la façon dont le processus d'apprentissage est réalisé.

#### CONCLUSION

=====

Le processus d'apprentissage normalement attendu est observé chez les 4 sujets.

#### 4 et 5 - PAPER FORM BOARD (P.F.B.) et ECHELLE DE CATELL (G)

Les résultats, enregistrés à ces deux épreuves, montrent peu de variations systématiques. Ces variations, quand elles se produisent, traduisent une amélioration de performance.

(voir tableau page suivante).

		C 1	C 2	S 1	S 2	S 3	S 4
P. F. B.	SIC	51	49	50		53	
	ADA	55	56	57		55	
	BRO	38	48	45		52	
	LEO	58	54	51		53	
G.	SIC	25	32	25		31	
	ADA	26	27	32		29	
	BRO	27	28	27		27	
	LEO	27	32	29		29	

## 6 - TESTS DE PERSONNALITE

---

Les résultats de ces tests, qui ne peuvent être exposés en détail dans ce rapport, tendent à montrer quels sont les paramètres psychologiques qui peuvent permettre de prédire l'adaptation des sujets aux conditions de telles expériences dont la signification anxiogène ne peut être méconnue.

L'inadaptation des sujets à ce type de situation, pour des motifs psychologiques, peut se traduire au premier degré, par une attitude négative face aux exigences de la situation, attitude correspondant à une réaction de type dépressif d'un sujet envahi par l'angoisse.

## V - CONCLUSION

-----

1 - Nous synthétisons les variations de performances pendant la plongée dans le tableau ci-dessous :

	T.R.	D.M.	O.C.	P.F.B.	G.
SIC	-	+	+	=	=
ADA	=	-	+	=	=
BRO	=	-	+	=	=
LEO	=	-	+	=	=

Nous n'enregistrons de diminution de performances que dans les épreuves sensori-motrices. Chaque sujet a une diminution de performance significative dans un des deux tests. Ces baisses de performances restent discrètes, et ne sont pas constantes durant le séjour à 300 mètres.

## ADAPTATION CARDIO-VASCULAIRE AU TRAVAIL

-----

L'intérêt de la pratique d'une épreuve d'effort était double dans cette expérience :

- d'une part, c'était l'observation du comportement du futur travailleur sous-marin à -300 mètres ;
- d'autre part, c'était aussi l'étude de l'influence de la pression partielle d'oxygène inspiré ( $PiO_2$ ) sur ce comportement.

Pour cela, les plongeurs restaient 6 jours à -300 mètres dans des conditions d'environnement constantes, excepté la  $PiO_2$  qui était successivement maintenue à 300, 400, puis 600 millibars.

Grâce au volume important offert par l'hydrosphère, nous avons pu pratiquer une épreuve classique et éprouvée, le Step-test de Masters. Afin que le niveau d'effort demandé soit suffisant, nous avons retenu sa version la plus sévère dite "double".

Elle consiste en 50 montées et descentes complètes de 2 marches de 22,5 centimètres en trois minutes.

La pose d'électrodes à demeure sous-cutanées par injection de fil d'argent (subtrodes Siemens) nous permettait d'enregistrer un tracé électrocardiographique continu pendant l'effort.

Les quatre électrodes étaient en position proximale (acromion, épine iliaque antéro-supérieure), ce qui donne un tracé très peu différent de l'E. C. G. standard.

Le déroulement était le suivant :

Le matin au repos, avant tout effort ou absorption digestive :

- . tracé E.C.G. (6 dérivations frontales)
- . une minute d'enregistrement pour la fréquence cardiaque de repos

- . le sujet se lève et se tient 30 secondes debout devant les marches
- . 3 minutes de montées et redescentes qui sont réglées par un métronome
- . aussitôt après, le sujet s'allonge pour l'observation de la première minute de récupération et un nouvel enregistrement de l'E. C. G. standard est pratiqué.

La pression artérielle au brassard (méthode auscultatoire) était mesurée au repos et aussitôt après l'effort, la présence d'un médecin parmi les plongeurs accréditant la valeur des résultats.

Pour l'étude de la fréquence cardiaque, les tracés obtenus étaient découpés par tranches de 15 secondes pour améliorer la précision de mesure (voir figures 1-2-3-4-5).

### RESULTATS

On voit que la fréquence de repos s'élève déjà nettement au passage à la position debout (mécanisme connu de compensation au changement des conditions hémodynamiques).

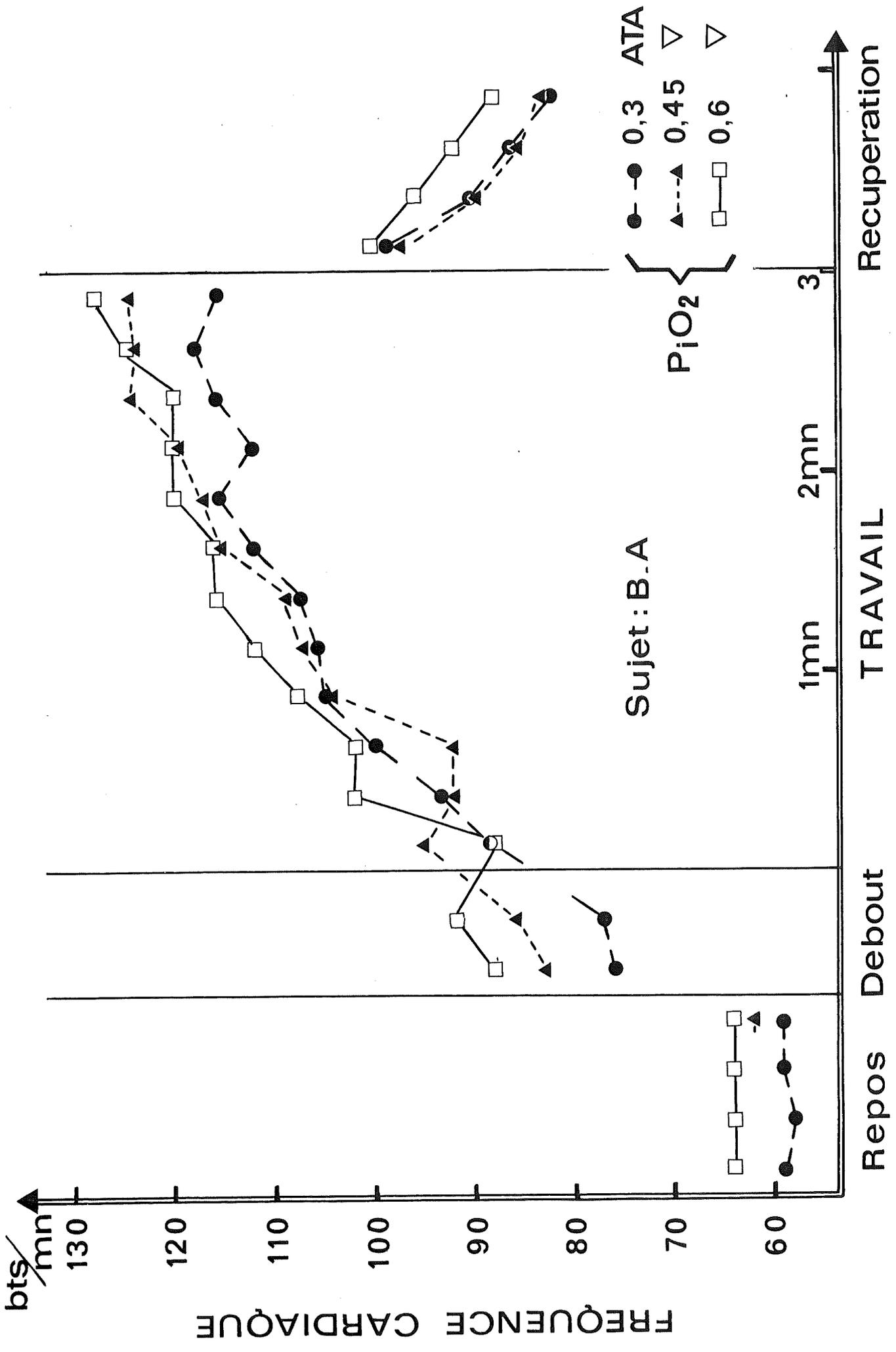
Lors de l'effort, l'élévation d'abord rapide pendant la première minute se ralentit ensuite et tend, pendant la dernière minute, à se rapprocher d'un plateau stable.

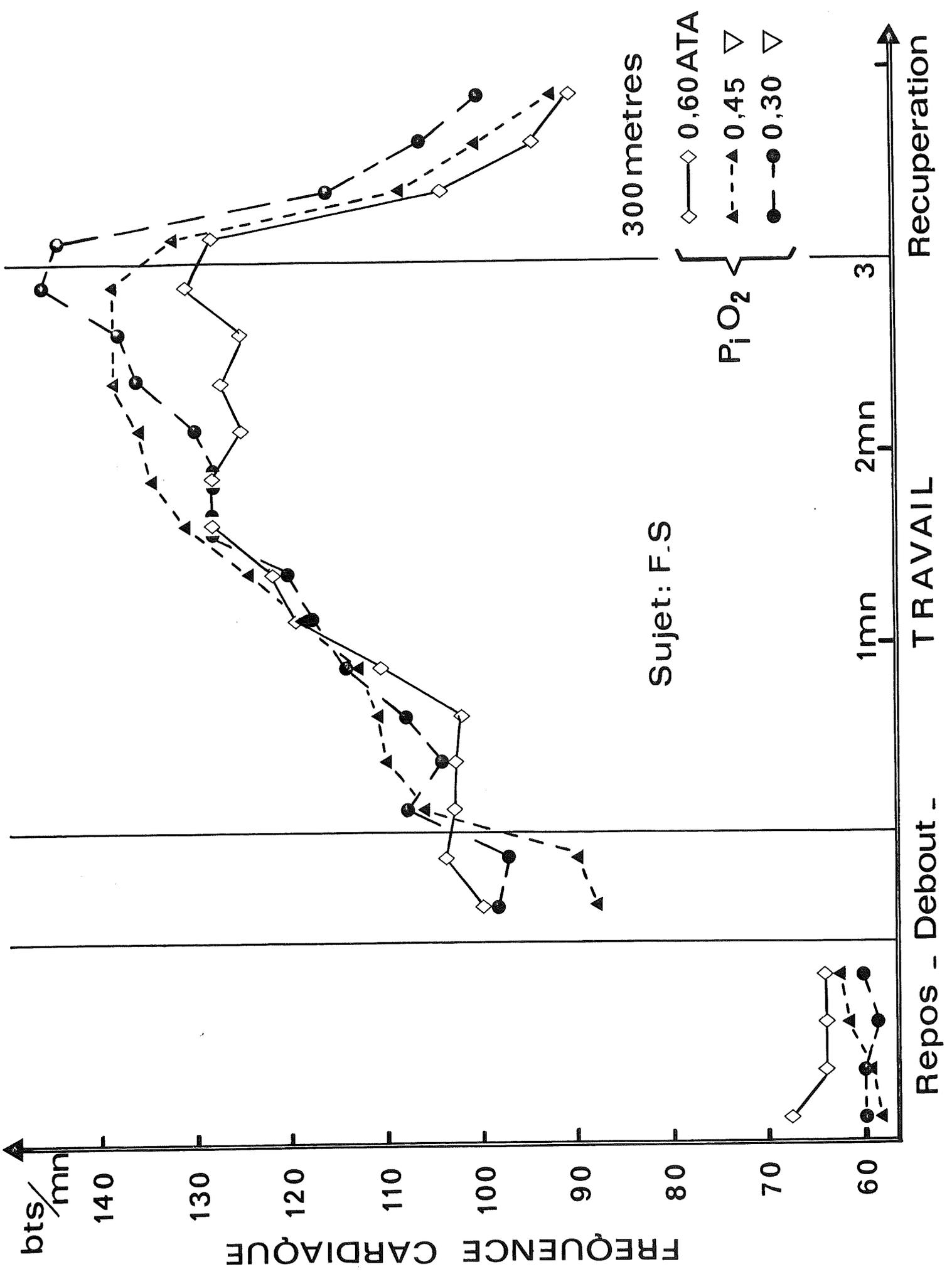
La récupération se fait à une vitesse très satisfaisante.

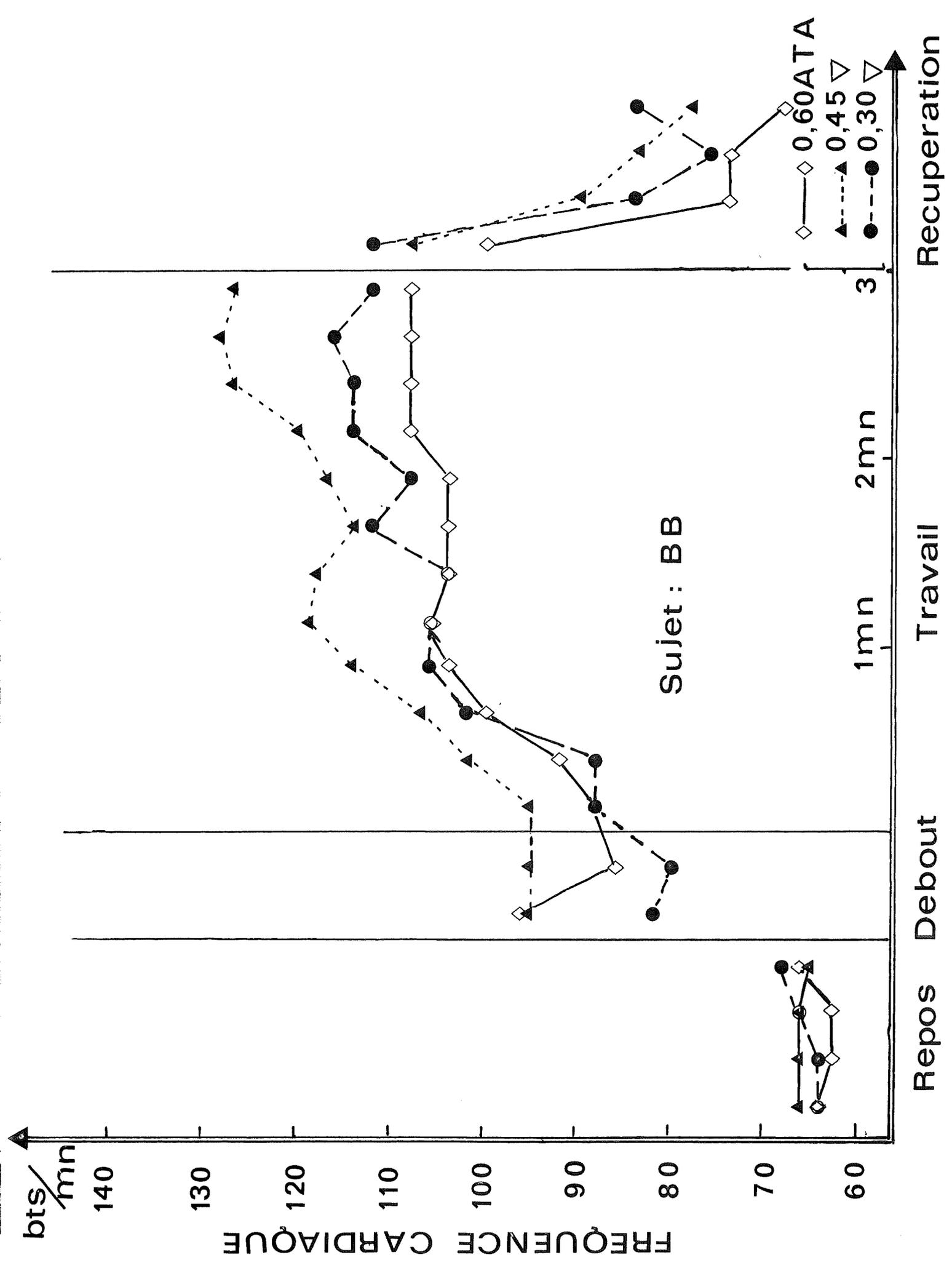
Si l'on s'intéresse aux résultats en fonction de la  $PiO_2$  choisie, on peut noter que :

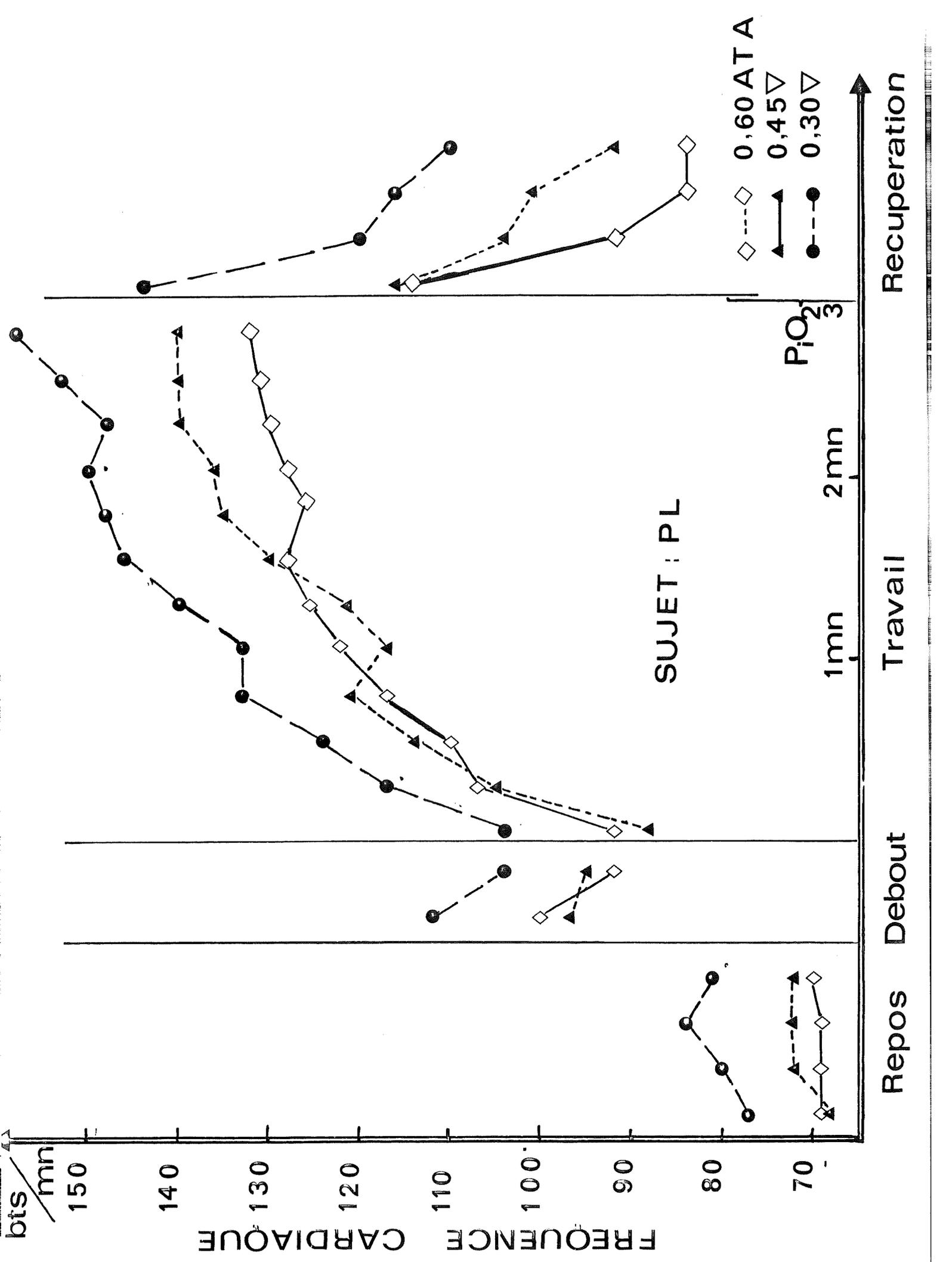
- les fréquences cardiaques de repos n'ont pas été affectées par le changement (pas de bradycardie se développant avec l'augmentation de  $PiO_2$ , comme on aurait pu le suspecter).

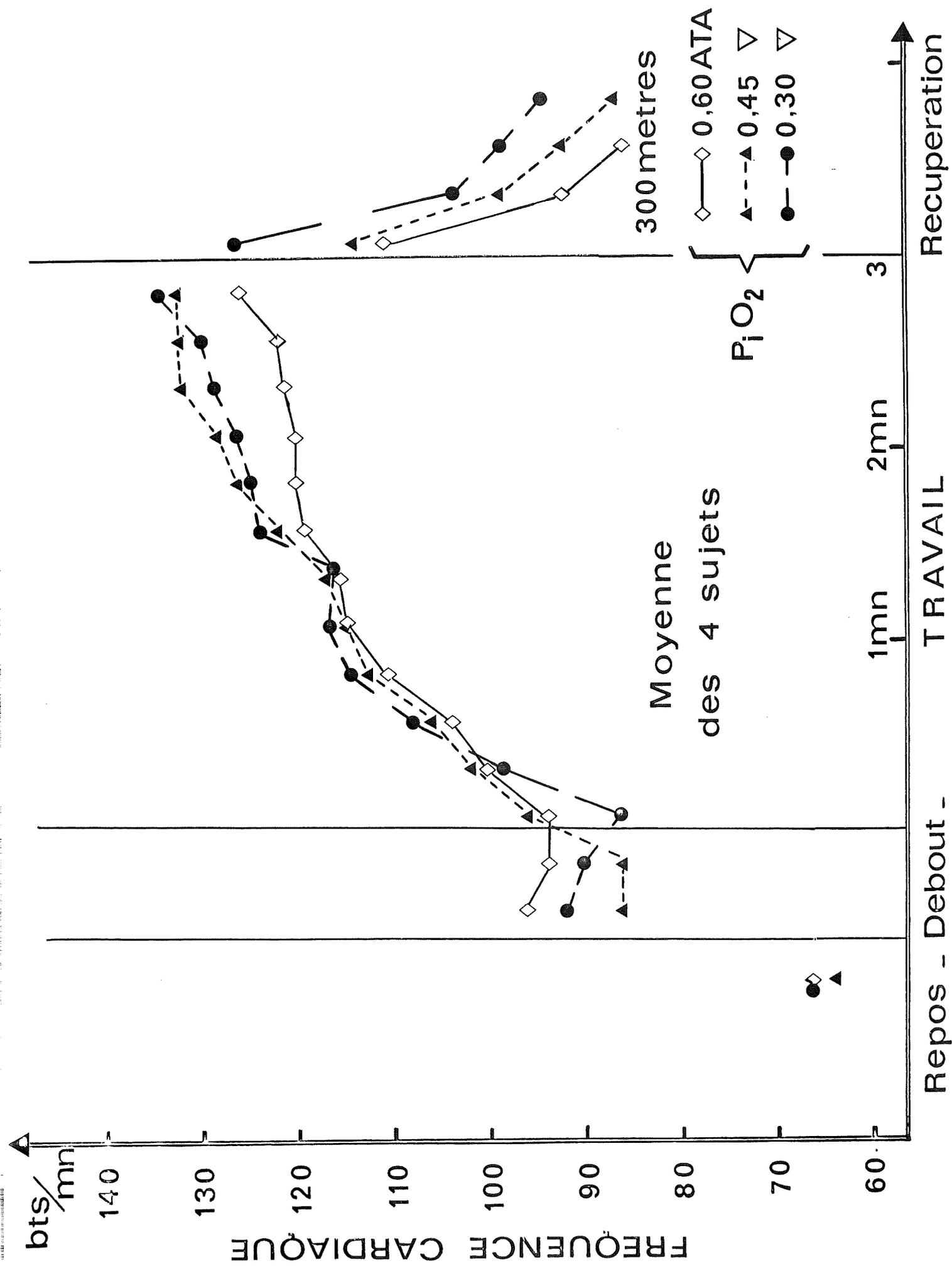
Ceci apparaît mieux sur la cinquième figure où sont faites les moyennes de fréquence des quatre plongeurs, ce qui diminue l'incidence des variations fortuites inévitables en pareil cas.











- en moyenne, la fréquence cardiaque à l'effort est diminuée en milieu enrichi en  $O_2$ , mais de manière concordante pour les deux plongeurs P.L. et F.S., seulement.
- chez B.B., les valeurs à 450 mb sont discordantes.
- chez B.A., il n'y a aucune concordance avec cette affirmation.

Quant aux fréquences cardiaques de récupération, elles sont de même abaissées par le relèvement de la  $PIO_2$  pour trois plongeurs sur quatre.

Ainsi, il nous est suggéré que le coût cardiaque est légèrement moindre à 600 mb qu'à 450 et à 450 qu'à 300, sans que la concordance soit pleinement démonstrative.

Soulignons à ce propos la très grande variabilité du paramètre "fréquence cardiaque" qui interdit la certitude de mesure des phénomènes pour des variations fines. Les trois mélanges choisis étaient hyperoxiques, le plus pauvre comportant déjà une  $PO_2$  1,5 fois plus élevée qu'à l'air atmosphérique.

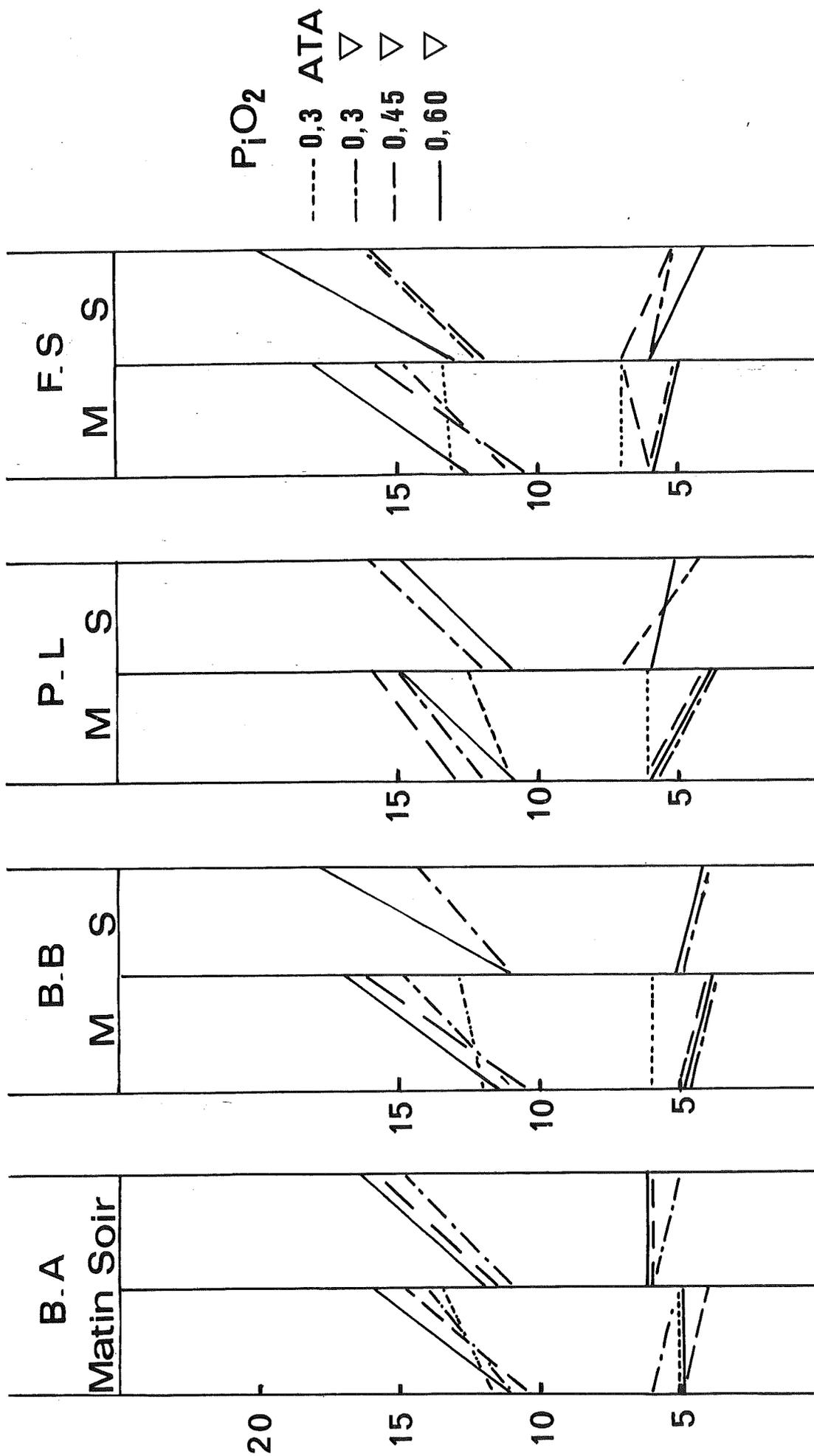
La masse volumique de ces mélanges était élevée :

air.....	1,293
mélange 300 mb $O_2$ .....	5,54
450 mb $O_2$ .....	5,75
600 mb $O_2$ .....	5,91

mais pas suffisamment pour que nous ayons craint une limitation ventilatoire à cette profondeur. De fait, l'effort demandé était toujours bien supporté par les quatre plongeurs qui n'ont pas manifesté d'essoufflement anormal, ni de différence appréciable de difficulté subjective en fonction du mélange choisi.

Les tests étaient répétés le soir de la même manière, survenant sur l'état de fatigue quelconque du moment.

Les résultats sont très voisins, les fréquences cardiaques atteintes en fin d'effort étant souvent trouvées plus basses pour un même sujet que lors



PRESSION ARTERIELLE relevée avant et juste après le step-test.

La première valeur à la  $PIO_2$  de 0,3 ATA a été obtenue à 5 mètres, au cours du confinement.

Les autres ont été réalisées à 300 mètres.

du test du matin au repos.

De fait, le choix du matin au repos n'était pas fait pour viser à la meilleure performance, (le sujet était cueilli "à froid" avec des muscles non échauffés) mais permettait seulement de rendre les résultats reproductibles et comparables.

Les mesures de pression artérielle, avant et après effort, nous ont révélé une notion constante chez les quatre plongeurs, le matin comme le soir :

Le gradient d'élévation de la P systolique à l'effort a été plus élevé à 600 mb qu'à 450 et à 450 qu'à 300 mb.

Ceci se traduit par les différentes pentes d'augmentation de la systolique.

Le fait que la fréquence cardiaque soit diminuée ou peu modifiée dans le même temps que la pression artérielle s'élève, suggère une augmentation des résistances périphériques, en pratique une augmentation du tonus vasomoteur en milieu hyperoxique.

En conclusion, le passage de 300 à 450, puis 600 mb de  $PiO_2$  n'a entraîné que des variations minimales dans les performances. Il a eu, essentiellement, pour rôle d'élever la pression artérielle après effort, alors qu'elle était inchangée au repos.

Il faudrait, bien sûr, avoir l'occasion de répéter ces mesures pour confirmer avec plus de certitude cette constatation.

Quoi qu'il en soit, nous avons retenu pour cette série de tests une impression très favorable sur les possibilités à - 300 mètres, nous engageant à pratiquer des épreuves plus dures lors des expériences à venir.

## TRAVAIL STATIQUE ET ELECTROMYOGRAPHIE

-----

Le but de notre expérimentation a été :

- d'une part, l'étude de la fatigabilité dans l'acte musculaire simple, en fonction du séjour ;
- d'autre part, l'étude -en conditions hyperbares- de l'influence de la  $PIO_2$  (hyperoxie modérée) sur la capacité de travail local statique.

Durant le séjour à 300 mètres (30,80 ATA), différentes  $PIO_2$  ont été maintenues suivant le schéma suivant :

3 jours à 0,30 ATA (228 Torr)  
3 jours à 0,45 ATA (342 Torr)  
2 jours à 0,60 ATA (456 Torr).

Si certains auteurs ont rapporté la fatigabilité des sujets et la limitation de l'effort fourni en hyperbarie, aucune étude ne semble avoir été faite pour le travail musculaire local.

### I - CAPACITE DE TRAVAIL STATIQUE

Le travail statique local (mise en jeu de moins d'un tiers de la musculature totale) a le double avantage de ne pas faire intervenir d'adaptation respiratoire -qui peut être limitative du travail par la densité des gaz ventilés (BROUSSOLLE - VARENE)- et d'éliminer le problème d'éventuelles douleurs articulaires, provoquant une gêne dans le travail dynamique.

Le travail statique à forte charge s'effectuant en ischémie, et les épreuves réalisées en hypoxie (jusqu'à 8 %) n'étant pas modifiées (MONOD - DELAVELLE), l'établissement des courbes de capacité de travail statique présentait un double intérêt : l'équation établie en normobarie et normoxie (MONOD) pouvait-elle être vérifiée, en hyperbarie, d'une part, et en hyperoxie, d'autre part.

## TECHNIQUE

-----

Chacun des quatre sujets a participé aux trois séries d'épreuves (à 0,30 - 0,45 et 0,60 ATA) pendant le séjour à 300 mètres.

Les sujets assis doivent maintenir, le plus longtemps possible, avec l'avant-bras horizontal, perpendiculaire au bras, plusieurs charges (20 kg - 17 kg - 14 kg - 12 kg et 10 kg : de 70 % à 30 % de la force maximale). Un temps de repos suffisamment long (5 à 8 minutes) est imposé entre chaque épreuve. Les charges sont fixées à un bracelet entourant le poignet en demi-pronation, la position de l'avant-bras étant repérée par rapport à une plaque adjacente.

Le temps de maintien est mesuré au chronomètre, et vérifié sur l'enregistrement de l'électromyogramme du principal muscle intéressé, le biceps brachial ; E M G recueilli par électrodes de surface, et intégré.

Le tremblement de l'avant-bras est aussi enregistré, par l'intermédiaire d'un accéléromètre fixé sur le pouce.

L'ensemble des données est amplifié et enregistré sur une chaîne Elema-Schonander.

## RESULTATS

-----

Les courbes de temps de maintien en fonction de la charge imposée ont été tracées.

Nous retrouvons, pour tous les sujets et à toutes les  $PIO_2$ , les courbes classiques de capacité de travail local statique (fig 1).

Pour les quatre sujets, les courbes de capacité de travail à 0,60 ATA sont supérieures à celles obtenues à 0,45 ATA et celles à 0,30 ATA de  $PIO_2$ , les différences de temps de maintien étant d'autant plus grandes que les charges sont plus faibles.

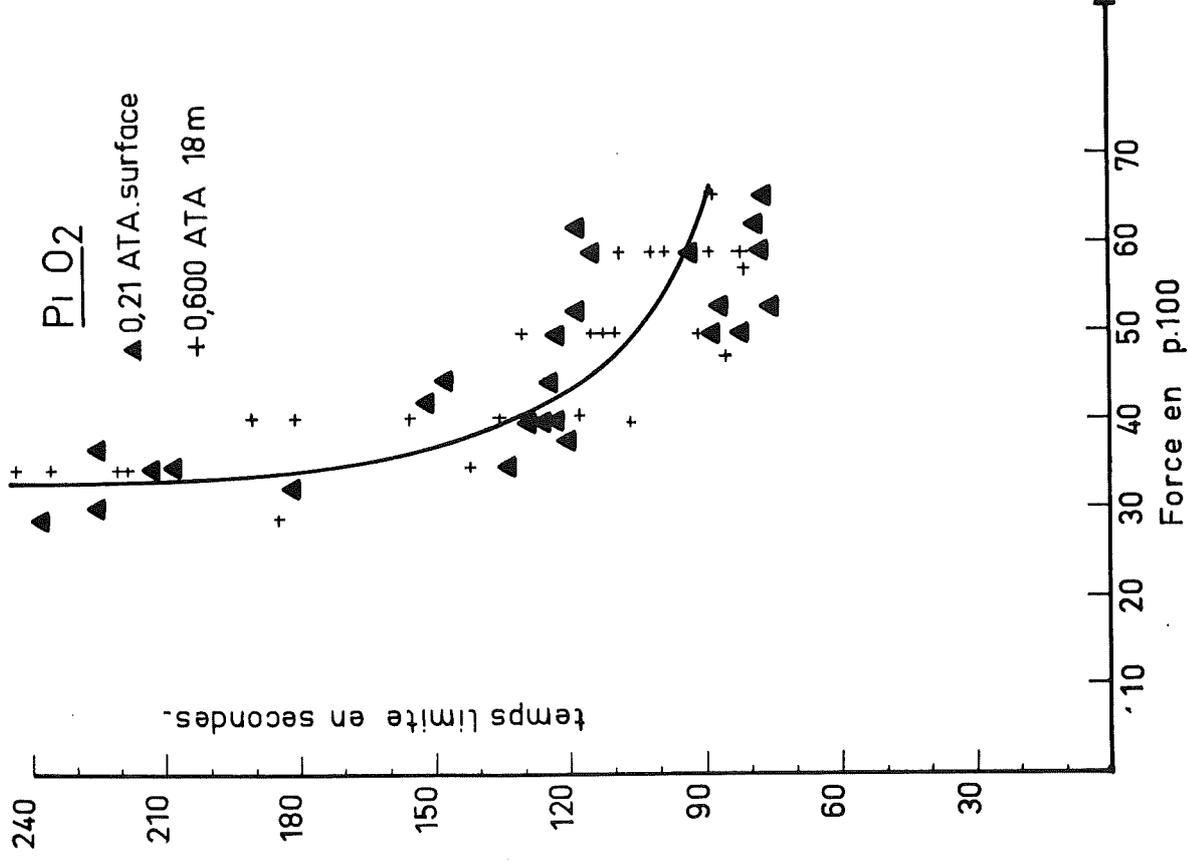


Fig.2

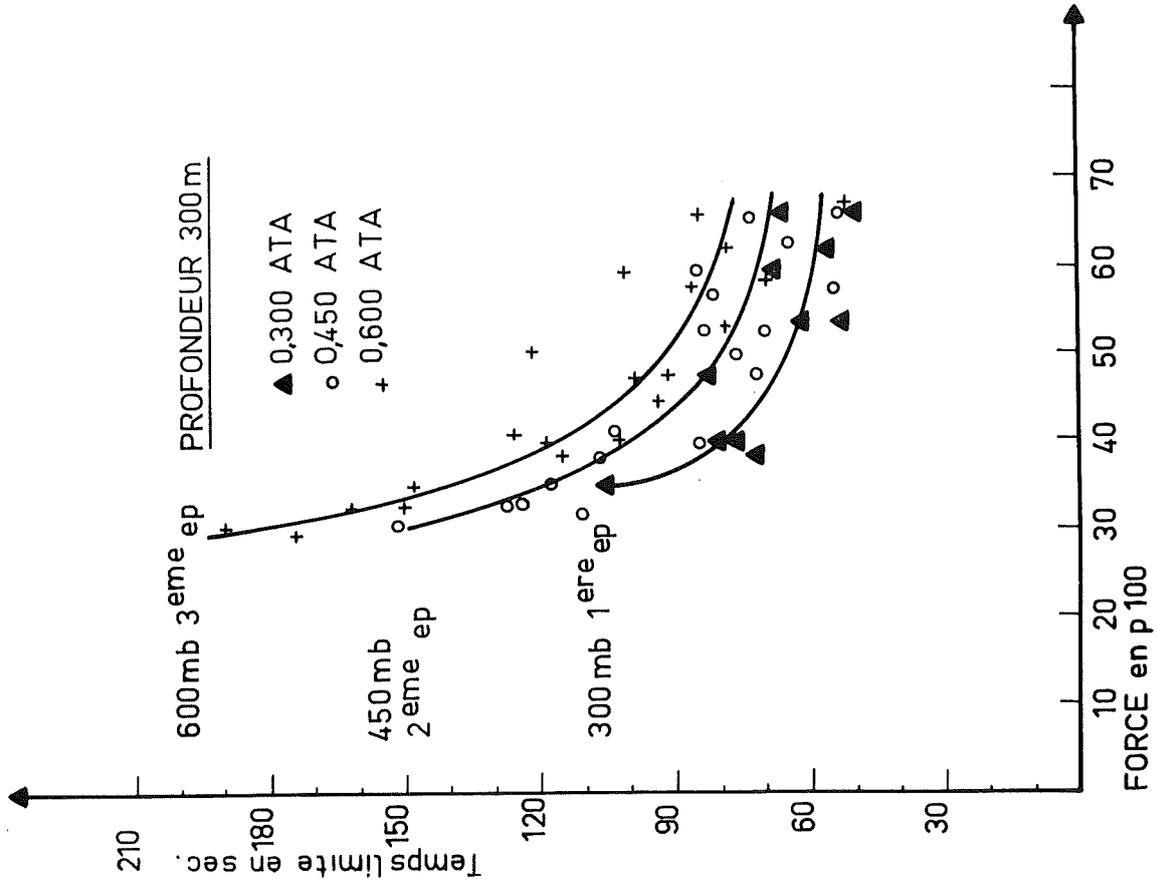
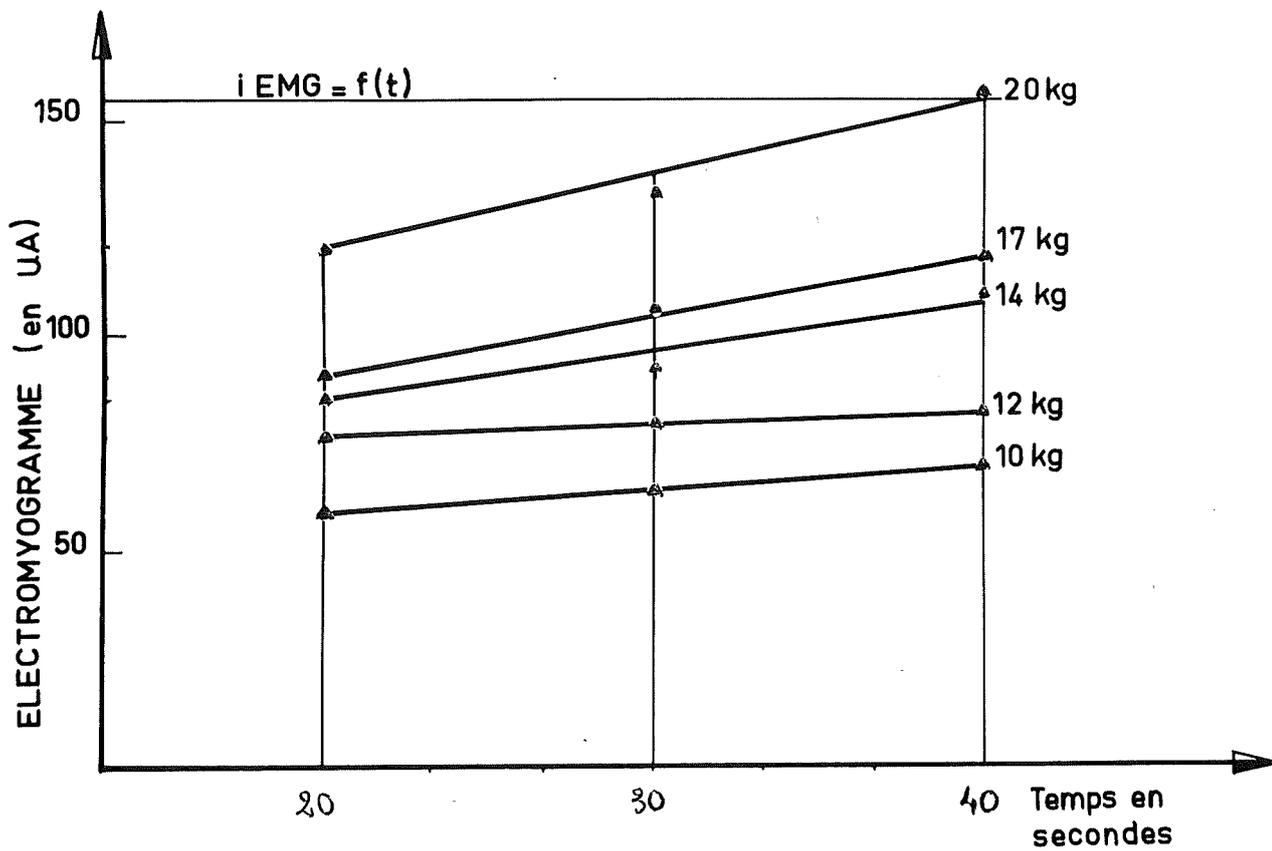
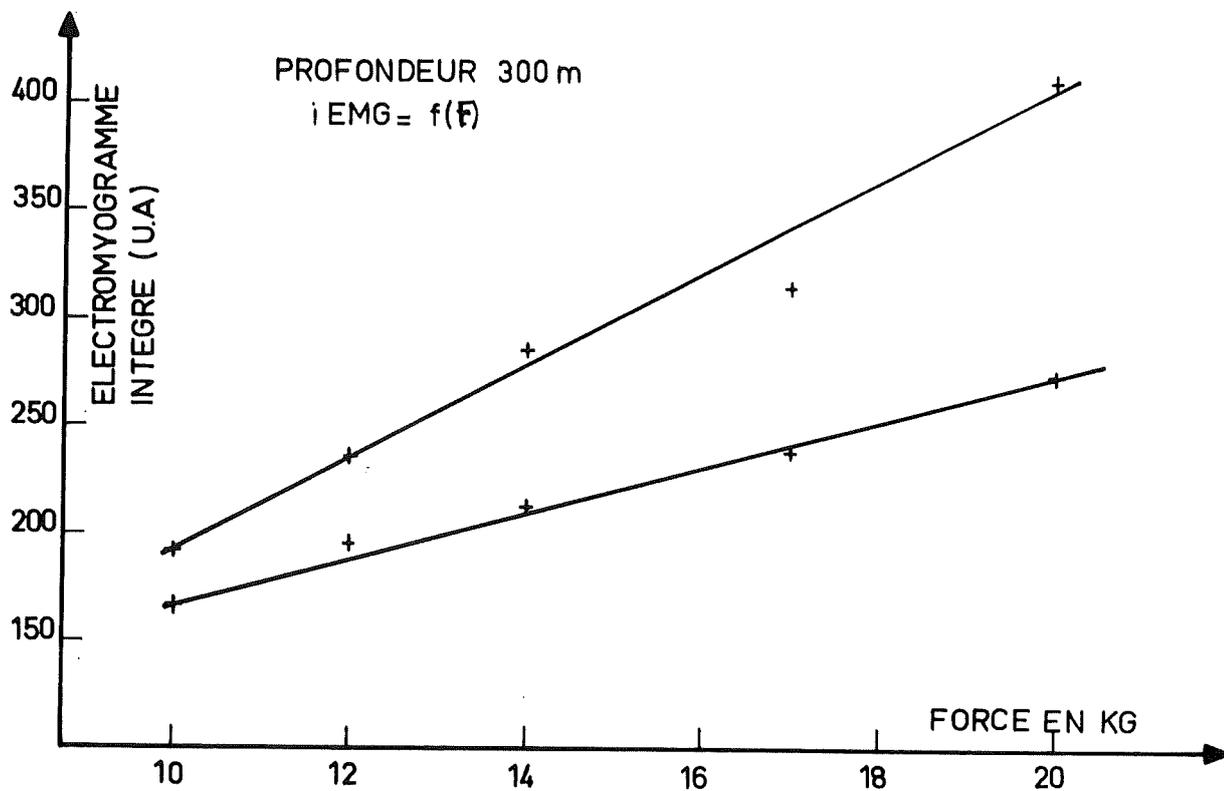


Fig.1



Les E M G analysés se révèlent sans perturbations. Les courbes d'E M G intégré, en fonction de la durée de l'épreuve ont été tracées (fig III). Là aussi, les résultats s'avèrent identiques à ceux obtenus classiquement.

## DISCUSSION

-----

Les résultats montrent donc une augmentation significative de la capacité de travail, pour chaque série d'épreuves réalisée.

Ceci prouve, tout d'abord, qu'il n'y a pas eu d'accumulation de fatigue entre la première et la dernière épreuve (effectuées à 5 jours d'intervalle), que les sujets n'ont pas montré de perturbations, et qu'il n'y a pas eu de dégradation des performances (bien au contraire).

La raison de cette augmentation de la capacité de travail ne semble pas devoir être reliée à la  $PIO_2$ , les épreuves de travail statique en hypoxie n'ayant pas entraîné de variations et nos épreuves de contrôle, effectuées chez des sujets préalablement entraînés, n'ayant pas fait apparaître de différence significative, avec des variations de  $PIO_2$  plus importantes (0,21 à 0,60 ATA). (Fig II)

Pour les plongeurs de SAGITTAIRE I, nous pensons que le facteur habitude et entraînement est intervenu. Le travail statique continu provoque des sensations douloureuses, et la douleur inhabituelle peut limiter davantage le temps de maintien dans les premières épreuves.

## II - ERGOPINCE

La seconde manipulation concernant le travail musculaire a été réalisée, d'abord tous les deux jours, puis journallement par chacun des quatre sujets, à partir du séjour à 300 mètres.

Les sujets doivent maintenir, le plus longtemps possible, la main fortement serrée sur une pince écartée par des ressorts, et dont la force en fermeture est supérieure à 35 kg.

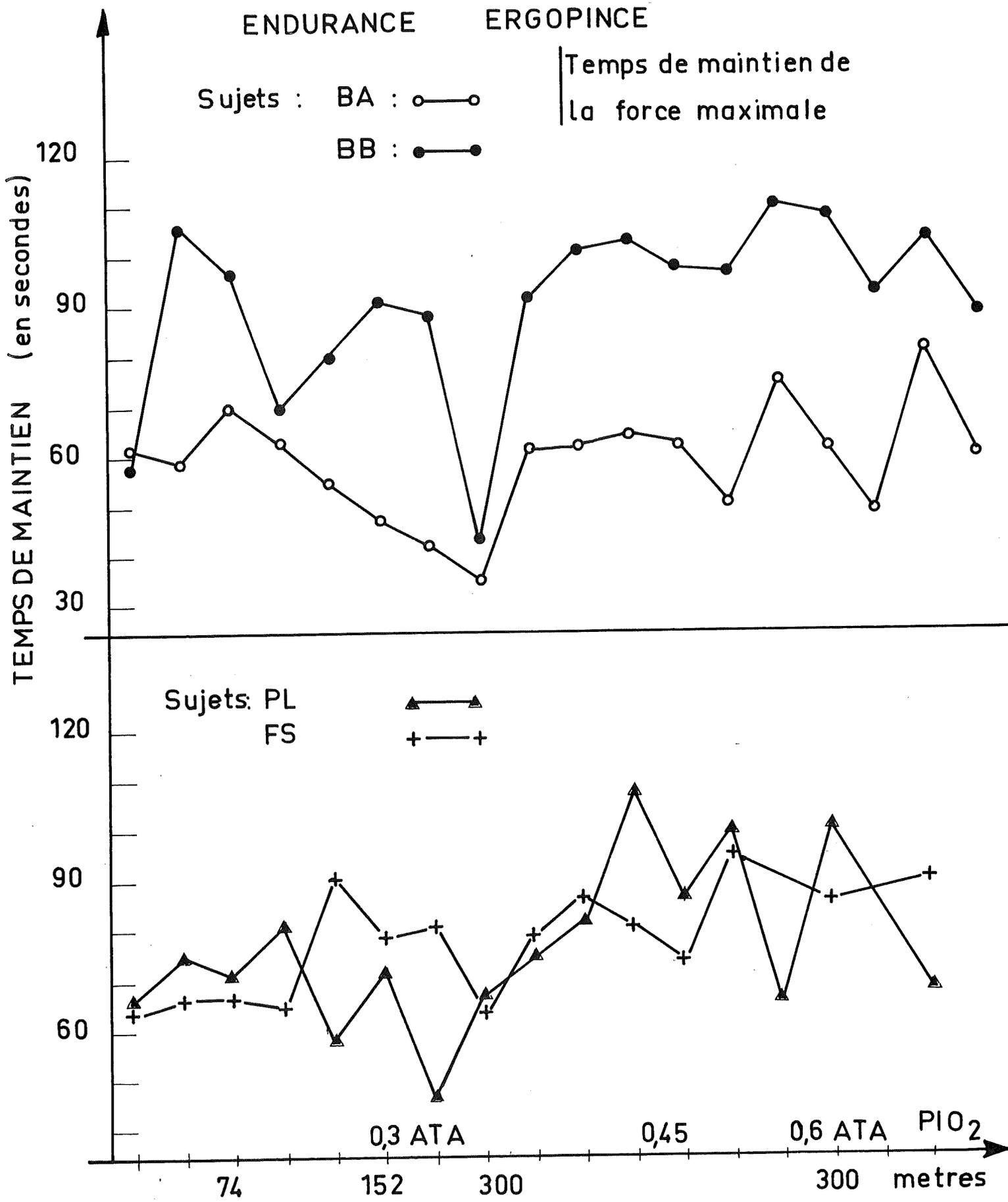


Fig. 4

Les sujets travaillent donc en force maximale, et le temps de maintien est compté du début du serrage (force maximale) jusqu'à ce que la force soit diminuée de moitié.

La pince ergométrique est munie d'un potentiomètre axial, ce qui permet, par l'enregistrement, de connaître à tout moment le degré de serrage, et après étalonnage, de connaître la force développée.

Les courbes présentées (fig IV) en fonction de la durée du séjour font apparaître un léger entraînement, et l'ensemble des valeurs, malgré quelques instabilités -peut-être plus significatives de l'état psychologique et de la motivation des sujets- ne montre aucune dégradation des performances. L'endurance des sujets n'a donc pas été altérée, ni par la profondeur, ni par la durée de l'expérience.

### III - ELECTROMYOGRAPHIE

L'étude électromyographique a porté sur deux plans :

- d'une part, étude quantitative de l'E M G intégré au cours des épreuves de capacité de travail, avec courbes en fonction de la force ;
- d'autre part, étude qualitative de tracés enregistrés à grande vitesse pendant une contraction maximale du biceps brachial, avec comparaison des tracés obtenus à différents niveaux ( étude de fréquence et d'amplitude).

L'activité E M G a été recueillie par électrodes de surface, amplifiée (bande passante : 700 Hz), puis intégrée (Circuit de Miller). La résistance inter-électrodes a été vérifiée à plusieurs reprises au cours de chaque série d'épreuves.

Les résultats, tant quantitatifs que qualitatifs ne sont nullement modifiés et aucune différence ne peut être mise en évidence entre les tracés de surface et ceux réalisés au fond.

## CONCLUSION

-----

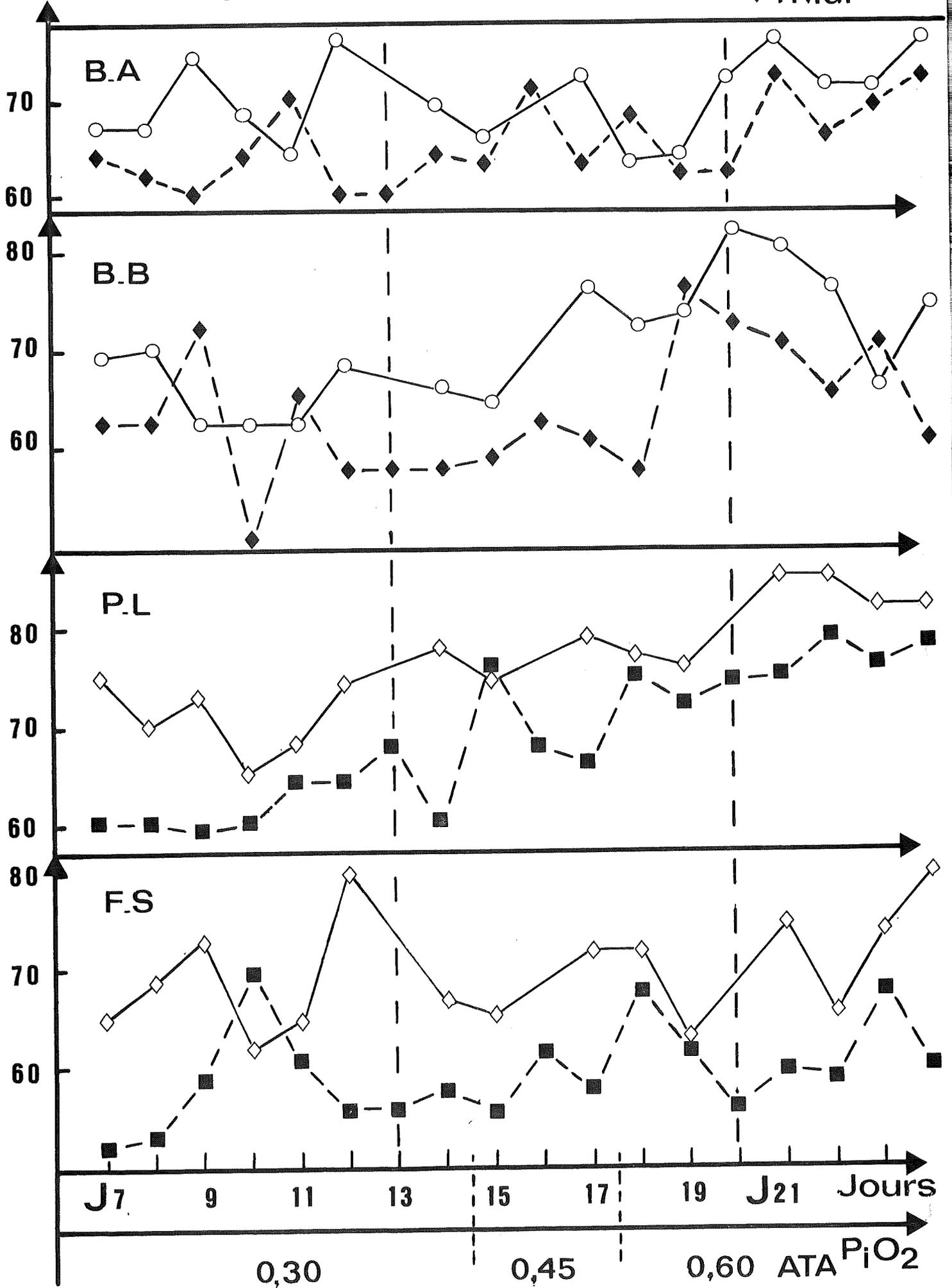
L'ensemble des résultats concernant le travail statique -capacité de travail, temps de maintien, endurance, électromyographie- ne mettent donc nullement en évidence une quelconque limitation d'effort fourni ou une quelconque altération de la force ou du travail.

Si le travail général doit se trouver limité à cette profondeur de 300 mètres, ce ne sera pas pour des raisons propres au muscle, mais peut-être par les répercussions ventilatoires, la densité des gaz étant un facteur aggravant.

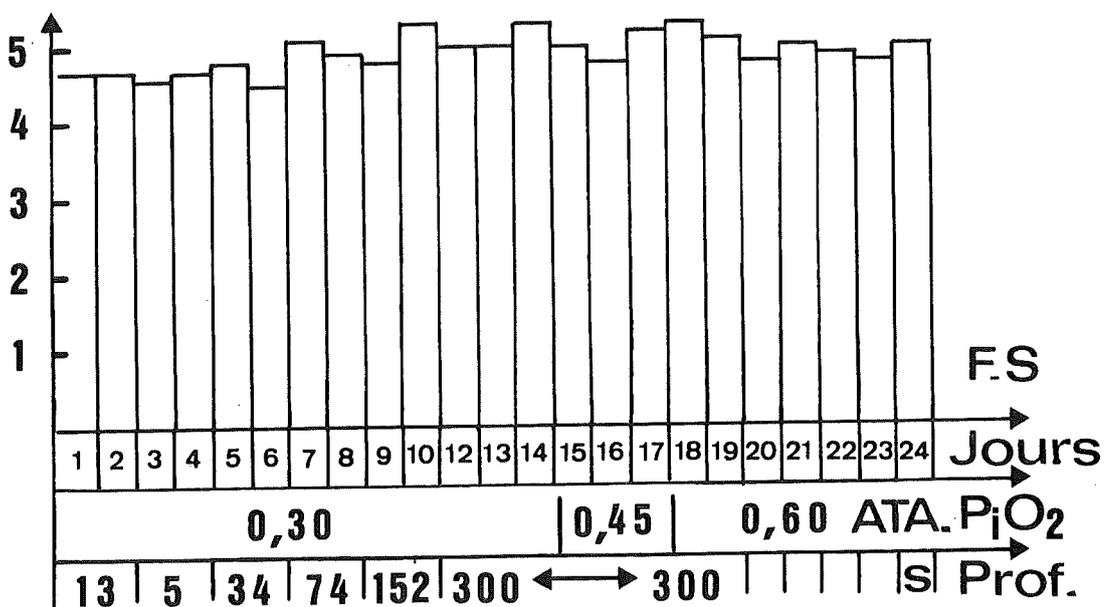
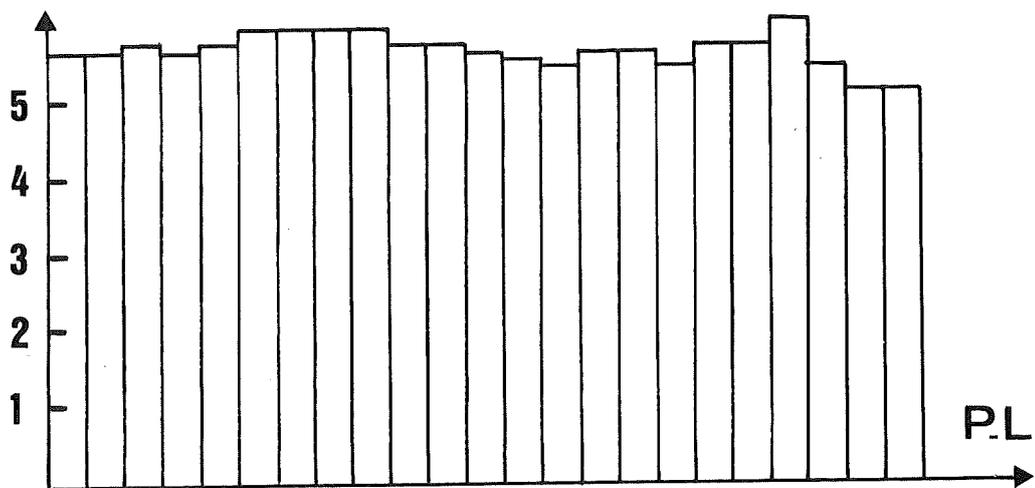
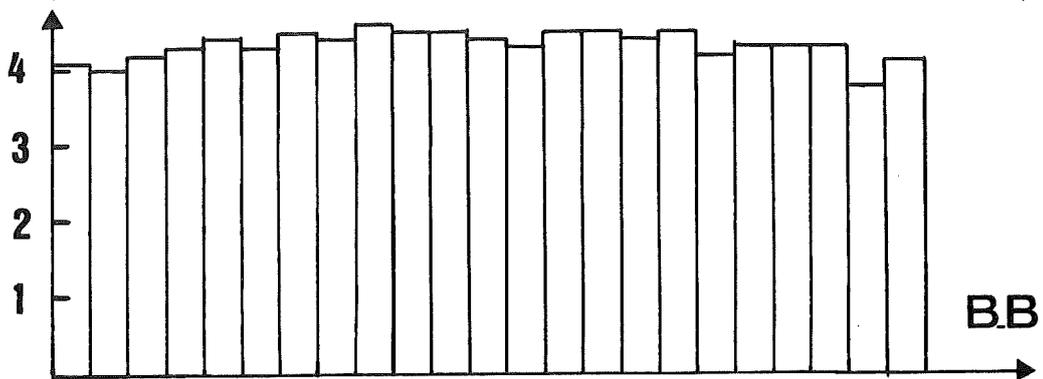
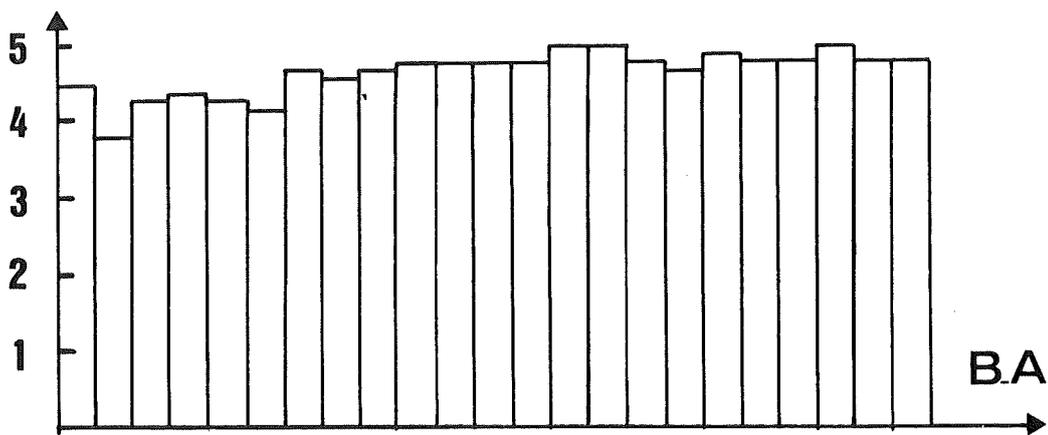
FREQUENCE

CARDIAQUE

◆-■ matin  
○-◇ midi



# CAPACITE VITALE ( dm<sup>3</sup> <sup>A</sup> B.T.P.S.)

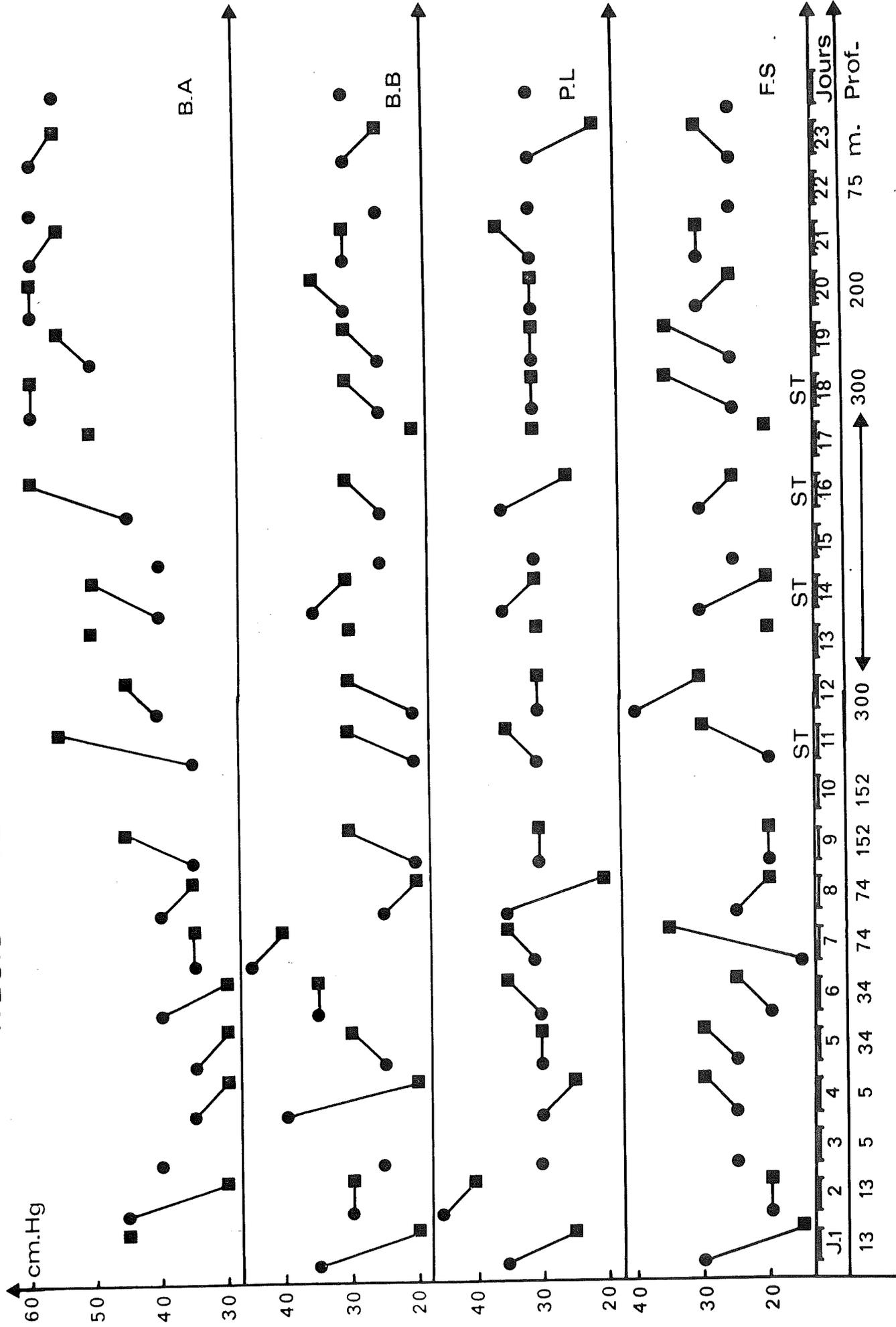


**PRESSION ARTERIELLE (matin)**

JOURS	PROF.	B.A	B.B	P.L	F.S
J 6	74	11,5/6	11 /6	12 /7	12 /7
J 7					
J 8					
J 9	152	11,5/7	11,5/6	12 /7	12,5/7
J 10	152	11,5/6	10,5/7	12 /7	12,5/7
J 11	152	10,5/6,5	13 /7	12,5/7	12,5/6
J 12	300	11 /7,5	11 /6,5	12 /7	12 /7
J 13	300				
J 14	300				
J 15	300				
J 16	300	10,5/5	10,5/5	11 /6	10,5/6
J 17	300	11 /5	12 /6	11 /6	11 /7
J 18	300	11 /5	11,5/5	11 /6	12 /6
J 19	300	11 /6	12 /7	11,5/6,5	12,5/7
J 20	225	11 /5	12,5/6	11 /6	12,5/7
J 21	145	11 /6	12 /6	11 /5	12 /7
J 22	100	11,5/6	12 /5	12 /6	12 /6
J 23	55	11,5/6	11,5/6	13 /7	13 /7
J 24		11 /6,5	11 /6,5	11,5/6,5	11,5/7

RESISTANCE

CAPILLAIRE



COMPTÉ RENDU DIÉTÉTIQUE

-----

Au cours de la plongée, nous avons observé des résultats différents suivant les plongeurs :

- pour ADAM, LEONARD, BROUSSE : une diminution de la ration à partir de 300 mètres jusqu'à la fin de l'expérience.
- pour SICARDI : une ration sensiblement égale du début à la fin et même supérieure à la fin.

MOYENNE DE CES RATIONS

		protides	lipides	glucides	calories	eau
		gr	gr	gr		boisson+alim.
ADAM	mise en pression	105	155	255	2830	2480
	- 300 m	80	124	212	2280	2400
	décompr.	94	153	232	2680	2490
LEONARD	mise en pression	113	158	383	3400	3545
	- 300 m	95	130	325	2850	2930
	décompr.	80	133	298	2700	2930
BROUSSE	mise en pression	155	198	380	3950	3920
	- 300 m	125	160	290	3100	2900
	décompr.	120	165	275	3060	3240
SICARDI	mise en pression	92	125	178	2200	2390
	- 300 m	90	125	225	2380	2450
	décompr.	100	145	255	2750	2630

Au point de vue qualité des aliments :

rien de spécial, alimentation habituelle de type normal léger, variée.

très peu de modification de la texture des aliments.

Les quatre plongeurs ont maigri; nous n'avons pu établir de relation entre cet amaigrissement et la ration calorique ou la consommation d'eau ou la courbe d'urine.

## L'APPAREIL OSTEO - ARTICULAIRE

-----

Nous avons étudié le métabolisme phospho-calciqne et essayé de préciser les douleurs articulaires aux hautes pressions.

### 1° - LE METABOLISME PHOSPHO - CALCIQUE

Son étude dans les conditions hyperbares ne peut être qu'une approche, car nous n'avons pu mesurer les ingesta et les excreta ainsi que les pertes sudorales.

La calciurie et l'hydroxyprolinurie chez les quatre plongeurs ont varié dans les limites de la normale.

La radiodensimétrie ne nous a pas apporté de modification nettement pathologique. Nous pouvons conclure que, dans les limites des méthodes utilisées, cette exploration ne montre pas de perturbation du squelette. Cependant, à la fin d'une prochaine expérience de vie à saturation, nous nous proposons de faire une biopsie osseuse au niveau de la crête iliaque afin d'avoir un document anatomo-pathologique.

### 2° - LES DOULEURS ARTICULAIRES AUX HAUTES PRESSIONS

Malgré une pressurisation lente, il est apparu un syndrome articulaire atteignant trois plongeurs vers 75 mètres et ADAM vers 100 mètres. Paradoxalement, le moins atteint a été SICARDI. Tous ont souffert des poignets ; ADAM qui avait eu une fracture du poignet gauche n'a pas eu une exacerbation des douleurs au niveau de cette articulation. BROUSSE a eu une atteinte des chevilles, une lombalgie et LEONARD, des douleurs au niveau des hanches. Les arthralgies ont été permanentes, mais certainement plus intenses au début du séjour au fond.

ADAM signale que, lorsqu'on augmentait le pourcentage d'oxygène dans le mélange respiratoire, les arthralgies étaient atténuées.

Ces douleurs n'ont jamais modifié l'habileté manuelle ; elles s'accompagnent souvent de craquements surtout au début du séjour au fond.

Nous savons que l'élasticité et la perméabilité sont les deux propriétés mécaniques les plus importantes du cartilage et qu'elles conditionnent les possibilités de nutrition. Il faut rappeler aussi la notion nécessaire de dépression et de pression alternatives pour maintenir la vitalité du cartilage. De plus, nous savons que la pression modifie la structure du liquide synovial au cours de la vie normale.

En partant de ces données physiologiques, nous croyons que la vie en hyperbarie peut jouer directement sur le cartilage et le liquide synovial en association avec les phénomènes dysbariques qu'elle entraîne.

## MYCOBACTERIOLOGIE ET PLONGEE A SATURATION

-----

Dans le cadre de cette plongée, une étude mycobactériologique a été effectuée pour essayer de connaître plus précisément et de prévenir les affections cutanées et ORL.

Rappelons que la  $PIO_2$  a été de 300 mb au cours de la descente, de 450 mb au fond et de 600 mb pendant la remontée et que température ambiante et degré hygrométrique ont été relevés à plusieurs reprises quotidiennement, cette dernière mesure grâce à un hygromètre à cheveu.

Par ailleurs, l'atmosphère du caisson, régénérée en permanence, était désinfectée par un appareil du type AEROVAP, fonctionnant avec une température d'utilisation de 70 à 80°, permettant d'évaporer à minima une solution d'HEXYLRESORCINOL.

Pour leur désinfection individuelle et l'antisepsie locale préventive, les plongeurs ont utilisé systématiquement, soit comme un savon suivi de rinçage, soit pur, du TRICHLORO 3,4,4' CARBANILIDE en solution à 0,50 % dans un excipient contenant de l'ALKYL-DIMETHYL-CARBOXYMETHYLAMINE à 6 %, commercialisé sous le nom de SEPTIVON. Sa tolérance a été parfaite et aucune réaction irritative ou allergique n'a été constatée.

CONSTATATIONSA - AMBIANCE CAISSON

Les prélèvements d'atmosphère ont été effectués sur gélose stérile placée dans des boîtes exposées pendant une heure.

Il y avait dans la sphère de vie deux boîtes : l'une au sol, l'autre à 1,50 m de hauteur, tandis qu'une seule boîte au sol se trouvait dans la sphère de toilette. Des prélèvements ont été effectués les 26, 27 et 29 novembre, ainsi que le 2 décembre, veille de la sortie. Ils ont été examinés 48 h et 72 h après un séjour à 37°.

.../...

La totalité des boîtes au sol a montré la présence constante de nombreuses colonies de staphylocoque non pathogène, à l'exclusion de tout autre bactérie ou champignon.

Les prélèvements sur les boîtes situées à 1,50 m au dessus du sol sont demeurés négatifs, sauf le 2 décembre où une colonie de staphylocoques, également non pathogènes, a été mise en évidence.

Dans ces conditions, l'on peut dire, en ce qui concerne l'atmosphère, que, malgré l'utilisation permanente du sas et son ouverture pluri-quotidienne avec passage de produits organiques ou d'objets divers non stériles dans les deux sens, l'AEROVAP a parfaitement rempli son rôle.

#### B - PLONGEURS

1 - Sur le plan clinique, il a été observé chronologiquement pour :

AD : le 13 novembre : une pustule de l'aile du nez, guérie très rapidement après application d'une pommade à base de FUSIDATE de Na (FUCIDINE).  
le 28 novembre : des algies du conduit auditif gauche, guérissant en 48 H avec un traitement banal (OTOLYSINE, ASPIRINE 1,50g par 24 H).

LEO : le 17 novembre : des algies du conduit auditif droit avec écoulement, s'améliorant rapidement avec OTOLYSINE.  
le 24 novembre : une conjonctivite de l'oeil droit qui rétrocede en 48 H avec DACRYOSERUM et PENISULFA COLLYRE.

BR : le 22 novembre : une folliculite du nez, sans pus, guérissant très rapidement avec FUCIDINE.  
le 28 novembre : algies des deux conduits auditifs pendant 48 H.  
le 30 novembre : une éruption généralisée de type Sudamina guérissant en 48 H.

SIC : le 30 novembre : souffre bilatéralement des conduits auditifs.

A la suite, le 3 décembre, les quatre plongeurs souffraient tous des conduits auditifs, surtout SIC. Tout rentre dans l'ordre en 48 H avec un traitement par OTOLYSINE.

Il faut noter que la totalité des examens otoscopiques effectués au cours de la plongée, et après celle-ci n'ont mis en évidence que des affections des conduits auditifs, enflammés et sécrétants, les tympans étant toujours demeurés normaux.

- 2 - En ce qui concerne les prélèvements, et selon les conseils de Mr le Professeur CALAS, ils ont été effectués systématiquement pour les 4 plongeurs ou à la demande, en fonction des cas pathologiques observés.

Le matériel de prélèvement était constitué par :

- du coton monté en tubes stériles, pour la bactériologie
- de petits fragments de moquette stérile pour la mycologie.

Les examens et les analyses ont été confiés à :

- Madame Y. ASSADOURIAN, du service de Microbiologie de l'Hôpital Michel LEVY.
- Monsieur le Professeur Agrégé QUILICI, du Laboratoire de Parasitologie de Monsieur le Professeur RANQUE à la Faculté de Médecine.

2.1. Les prélèvements automatiques ont intéressé :

- I - nez et oreilles
- II - aisselles et aines
- III - pieds
- IV - selles

résultats :

le 5 novembre 1971

AD	:	I	:	Sarcines
		II	:	bactéries non pathogènes
		III	:	" " "
		IV	:	cultures négatives

- BR : I : Sarcines  
 II : cultures négatives  
 III : Geotrichum Candidum  
 IV : cultures négatives
- LEO : I : Sarcines  
 II : Candida Albicans  
 III : " "  
 IV : cultures négatives
- SIC : I : Sarcines  
 II : cultures négatives  
 III : Rhodotorula Sp - rares Candida Albicans  
 Torulopsis cutanéum  
 IV : cultures négatives

Le 2 décembre 1971 (veille de la sortie) :

- AD : I : staphylocoque blanc au niveau du nez ;  
 pseudomonas Aeruginosa et Candida Parapsilosis au  
 niveau des oreilles  
 II : Candida Albicans  
 III : Rhodotorula Sp et Mucor Sp  
 IV : cultures stériles
- BR : I : cultures stériles  
 II : Candida Albicans 60 colonies  
 III : Candida albicans  
 Mucor Sp (souillure probable)  
 IV : cultures stériles
- LEO : I : cultures stériles  
 II : Candida Albicans 22 colonies  
 III : Candida Albicans - Pénicillium Sp (souillure probable)  
 IV : cultures stériles

- SIC : I : Staphylocoque blanc au niveau du nez ; cultures  
stériles au niveau des oreilles
- II : Torulopsis Famata
- III : Torulopsis glabrata
- IV : cultures stériles

Donc, aucun germe potentiellement pathogène n'a été mis en évidence, si l'on excepte les souches de Candida Albicans.

Il faut cependant remarquer, en ce qui concerne la journée du 2 décembre, que les cultures de 3 prélèvements sur 4 intéressant les oreilles sont demeurées stériles alors que les 4 plongeurs souffraient tous des conduits auditifs et que les examens biologiques ont témoigné de l'inflammation; les immunoglobulines demeurant cependant toujours dans les limites de la normale.

- le 30 novembre : la formule de BR montrait 9000 leucocytes avec une VS à 30/69 et AD avait une VS de 12/32
- le 1 décembre : LEO avait 12.000 leucocytes avec une VS à 30/70 ; SIC présentait une VS à 20/50
- le 2 décembre : la numération de BR montrait 7000 leucocytes et une VS à 22/40.

2.2. Les prélèvements effectués à la demande, en fonction des symptômes que nous avons déjà considérés, ont objectivé la présence :

- a) pour AD : le 23 novembre : staphylocoque doré au niveau de la pustule de l'aile du nez.
- b) pour LEO: le 18 novembre : nez : sarcines  
oreilles: Proteus Mirabilis et Pseudomonas  
Aeruginosa non pathogènes
- le 24 novembre : oeil: staphylocoque pathogène  
oreilles: Pseudomonas Aeruginosa

DATES	PROFONDEUR	PI O <sub>2</sub>	TEMPERATURE	HYGROMETRIE
4 nov. 1971	confinement 48 H			
5 nov.	à 5 mètres			
6 nov.	midi à midi			
9 nov. 1971	entrée à 21 H			
10 nov.	} 13 m	300 mb	25° / 31°	74/76 %
11 nov.			31° / 33°	70/80 %
12 nov.	} 5 m		28° / 29°	78/80 %
13 nov.			31° / 32°	76/78 %
14 nov.	} 34 m		31° / 33°	72/81 %
15 nov.			31° / 32°	88/83 %
16 nov.	} 74 m		31° / 32°	77/89 %
17 nov.			31° / 33°	68/70 %
18 nov.	} 152 m		32° / 32°	56/65 %
19 nov.			32° / 32°	67/76 %
20 nov.	300 m		31° / 31°	70/84 %
21 nov.			34° / 35°	70/80 %
22 nov.			32° / 33°	78/82 %
23 nov.			31° / 33°	73/88 %
24 nov.			33° / 33°	80/90 %
25 nov.			33° / 33°	80/90 %
26 nov.			32° / 33°	85/85 %
27 nov.			32° / 33°	85/93 %
28 nov.			31° / 32°	80/88 %
29 nov.			32° / 32°	70/80 %
30 nov.	décompression	600 mb	32° / 33°	70/85 %
1 déc. 1971			30° / 33°	63/79 %
2 déc.			29° / 31°	67/80 %
3 déc.	sortie 20 H 17		29° / 27°	76/94 %

## C O N C L U S I O N S

-----

Ainsi que cela était prévisible, de nombreuses colonies de champignons ou levures - dont certaines douées d'un pouvoir pathogénique potentiel - ont été mises en évidence. Elles n'ont cependant entraîné aucun trouble objectif ou persistant.

Des infections staphylococciques localisées ont été parfaitement contrôlées par la thérapeutique in situ et n'ont donné lieu à aucune épidémie grâce à la désinfection préventive.

La remarque qui doit être faite concerne la différence constatée au regard des otalgies externes dont l'origine infectieuse demeure indéterminée ainsi que de la prolifération de certaines souches (Candida Albicans, surtout), entre la première moitié et la deuxième partie de la plongée.

C'est ainsi que, pour les otalgies, au cours des douze premiers jours, seul LEO a accusé des douleurs avec écoulement à partir du 17 novembre. Alors que, postérieurement au 22 novembre, et surtout au cours de la période finale, les quatre plongeurs ont tous souffert des conduits auditifs externes, consécutivement à un processus inflammatoire de ces derniers, objectivés biologiquement par une hyperleucocytose avec polynucléose. Ces douleurs étaient si importantes qu'elles ont perturbé leur sommeil.

Il semble bien que l'origine de cette dualité doive être cherchée au niveau du degré hygrométrique, nettement plus élevé à partir du 23 novembre, avec une moyenne d'environ 86 % d'humidité contre 74 % antérieurement à cette date, si l'on excepte la journée du 16 novembre au cours de laquelle l'hygrométrie a atteint très passagèrement en soirée 89 % (cette dernière élévation expliquant certainement l'apparition des otalgies chez LEO, le lendemain).

Ni la température, ni le taux d'oxygène n'ont paru intervenir directement et on ne peut leur attribuer, éventuellement, qu'un rôle favorisant par rapport au processus de macération.

## ETUDE OSMOMETRIQUE

-----

Les constatations faites lors de plongées expérimentales sur les mouvements de l'eau dans l'organisme sont d'autant plus marquées que la compression-décompression est plus rapide.

Ainsi, HEINBECKER et ses collaborateurs ont constaté chez le hamster et le chien, une stase capillaire et une hémococoncentration, auxquelles s'ajoutait une augmentation parallèle du volume extracellulaire, lors de décompression rapide.

Ces phénomènes ne paraissent pas liés à la présence de bulles car il peut apparaître ces mêmes phénomènes d'hémococoncentration lors des compressions accélérées. Les accidents de dysbarisme ont été étudiés par de nombreux auteurs, et KYLSTRA, puis HILLS ont attribué ces modifications à la présence des gaz dissous qui modifieraient la pression osmotique du fait de leur dissolution dans le sang circulant.

Ces auteurs ont utilisé un osmomètre à capillaire qui n'est pas à réponse rapide et dont l'équilibre survient après de longues heures. De plus, ces appareils ne permettent pas de mesurer de fortes modifications de la pression osmotique.

Nous avons décidé au cours de cette opération de mesurer la pression osmotique du sang des plongeurs ainsi que la pression osmotique de différentes molécules telles que la P.V.P., le dextran, ou de polyacides dont on connaissait les valeurs normales.

Cette décision était secondaire du fait qu'au cours des numérations de globules rouges effectuées dans le caisson, il apparaissait une lyse de ces éléments lorsqu'ils étaient dilués dans un liquide physiologique. Cette lyse pouvait se suivre sous le microscope où l'on voyait les globules rouges, augmenter progressivement de volume, puis disparaître.

Cette observation montrait donc l'existence d'une perturbation de globules rouges, en hyperbarie gazeuse, perturbation qui pouvait résulter tout aussi bien d'une variation dans l'état du solvant.

Souvent, le globule rouge a pu être comparé à un osmomètre; aussi, avons-nous essayé d'étudier les variations de la pression osmotique au cours de notre expérience de plongée profonde.

L'étude osmométrique du sang des plongeurs a été faite à l'aide d'un osmomètre type CHARMASSON, qui est un osmomètre très sensible, à réponse rapide et qui, de plus, peut mesurer les pressions osmotiques élevées.

D'autre part, l'un de nous s'est intéressé de très près aux problèmes de pression osmotique et aux modifications de sa valeur sous l'effet de hautes pressions hydrostatiques seules. Il a été montré (1) que l'action d'une haute pression sur les solutions aqueuses de dextrane, par exemple, entraînait une augmentation des pressions osmotiques bien que la masse moléculaire restât inchangée.

Cette constatation fournit la preuve que la variation de la pression osmotique avec la pression hydrostatique doit être imputée à des variations dans les interactions ou encore dans les conformations macromoléculaires.

La pression osmotique apparaît donc comme une grandeur physico-chimique sensible à la conformation macromoléculaire.

L'explication suivante peut en être donnée :

La pression intervient sur les liaisons hydrophiles et les liaisons hydrophobes dans la solution ; d'après le principe de Le CHATELIER et dans le cas où le solvant est l'eau, une élévation de la pression favorise les liaisons hydrophiles qui ont lieu avec une destruction du solvant, c'est-à-dire de l'eau, tandis qu'elle défavorisera les interactions du type hydrophobe au niveau des groupes apolaires où l'eau est fortement structurée.

## RESULTATS DES MESURES EFFECTUEES.

Le mélange gazeux ambiant était le mélange HELIUM OXYGENE ( avec une pression partielle d'oxygène d'environ 400 mb..)

Le résultat des mesures de la pression osmotique a été le suivant pour un sang normal prélevé sur héparine, à l'extérieur du caisson = 50 mb • Après passage de ce sang dans l'hydrosphère, une nouvelle mesure sur le même appareil a donné des chiffres de l'ordre de 350 mb.

Les valeurs des pressions osmotiques des sujets présents dans l'hydrosphère ont été un peu semblables, et comprises entre 350 et 400 mb.

Par ailleurs, nous avons constaté que la pression osmotique subissait des variations après un changement de pression gazeuse.

MESURES EFFECTUEES A L'ATMOSPHERE NORMALE.-

Le sang des plongeurs après mesure de la pression osmotique à l'intérieur du caisson est sorti et de nouvelles mesures effectuées après décompression donnent des résultats de l'ordre de 100 à 130 mb.

Ainsi les valeurs mesurées pour la pression osmotique demeurent supérieures aux valeurs de départ après la décompression.

La pression osmotique est donc une information physicochimique qui est sensible devenant beaucoup plus importante après un choc de pression.

Nous pensons que les modifications osmotiques observées sur le sang doivent être imputées à la présence d'Hélium. En effet, la pression elle même ne constitue qu'un effet secondaire dans le domaine des pressions étudiées de l'ordre de quelques dizaines de bars.

Le non retour à une valeur normale de la pression osmotique du sang des plongeurs après leur remontée n'est concevable que si l'on admet une perturbation des biopolymères sanguins en hyperbarie gazeuse.

Ainsi, indépendamment d'une variation de la structure de l'eau doivent se produire des changements conformationnels des macromolécules, et l'action de l'hélium dans le cas particulier doit être recherchée au niveau des interactions -gaz dissous - eau - biopolymères.

## B I O L O G I E

=====

Sur le plan biologique, SAGITTAIRE I devait permettre d'étudier dans l'hydrosphère un certain nombre de paramètres et plus particulièrement les modifications éventuelles des éléments figurés.

Dans ce but avait été installé dans l'hydrosphère un microscope. Une centrifugeuse avait été également prévue afin de centrifuger le sang avant la décompression, pour éviter toute hémolyse qui aurait été gênante pour les dosages enzymatiques.

Les prélèvements de sang étaient effectués tous les matins entre 7 h et 7 h 30, tous les deux jours pour chaque plongeur. La quantité de sang prélevée était en moyenne de 30 CC. Le sang était recueilli sur E. D. T. A. K2 pour la numération des éléments figurés qui était effectuée dans le caisson, puis à l'extérieur sur appareil automatique COULTER. Les étalements de sang étaient effectués dans l'hydrosphère, puis la formule était pratiquée à l'extérieur.

Pour les examens de coagulation pratiqués sur plasma (temps de Thrombine, temps de Reptilase, temps de Céphaline Kaolin, anti-thrombine et dosage du fibrinogène) le sang citraté était centrifugé 20 minutes à 2 500 tours pour éliminer les plaquettes et le plasma conservé et décomprimé dans de la glace.

Pour la numération des hématies, le sang était dilué dans de l'oxalate (Unopette B D) mais, très rapidement, cet examen s'est révélé difficile à effectuer. En effet, les hématies qui paraissaient assez bien se conserver dans le liquide de dilution disparaissaient très rapidement, lorsqu'elles étaient mises entre lame et lame sur

la cellule.

En effet, 5 minutes après, bien que la cellule soit conservée dans une boîte de Piétri en ambiance humide, il n'y avait plus d'hématies visibles.

La lecture immédiate au microscope permettait de voir des hématies plus ou moins spiculées, qui augmentaient rapidement de volume et devenaient optiquement invisibles.

Ce phénomène évidemment ne se reproduisait pas lorsque la numération était effectuée au microscope optique en dehors du caisson. Cette hémolyse survenant sur la cellule nous a fait envisager la possibilité de modifications osmotiques au niveau de la membrane érythrocytaire peut-être augmentées par des phénomènes de tension superficielle et nous a permis d'entreprendre avec Monsieur CHARMASSON l'étude des pressions osmotiques sur le sang des plongeurs dans l'hydrosphère.

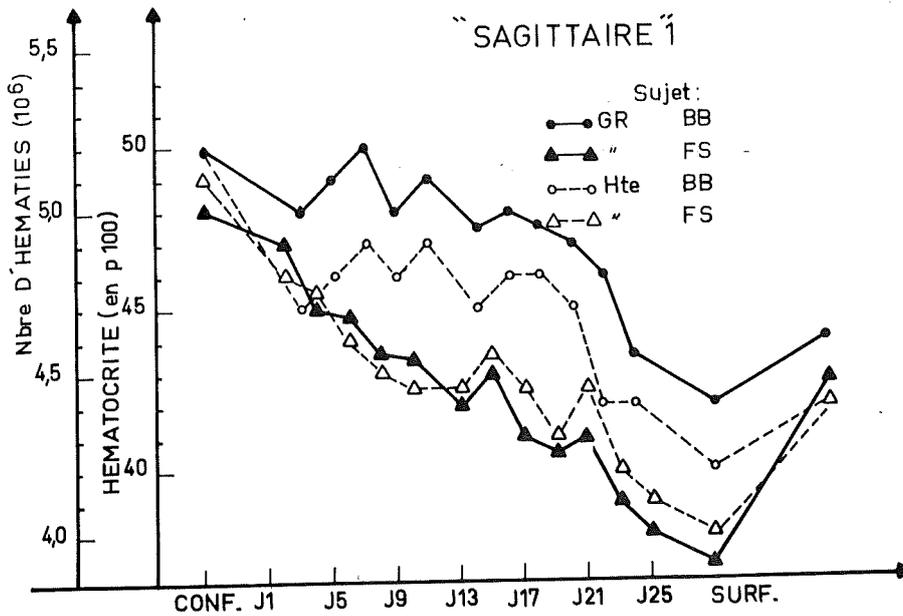
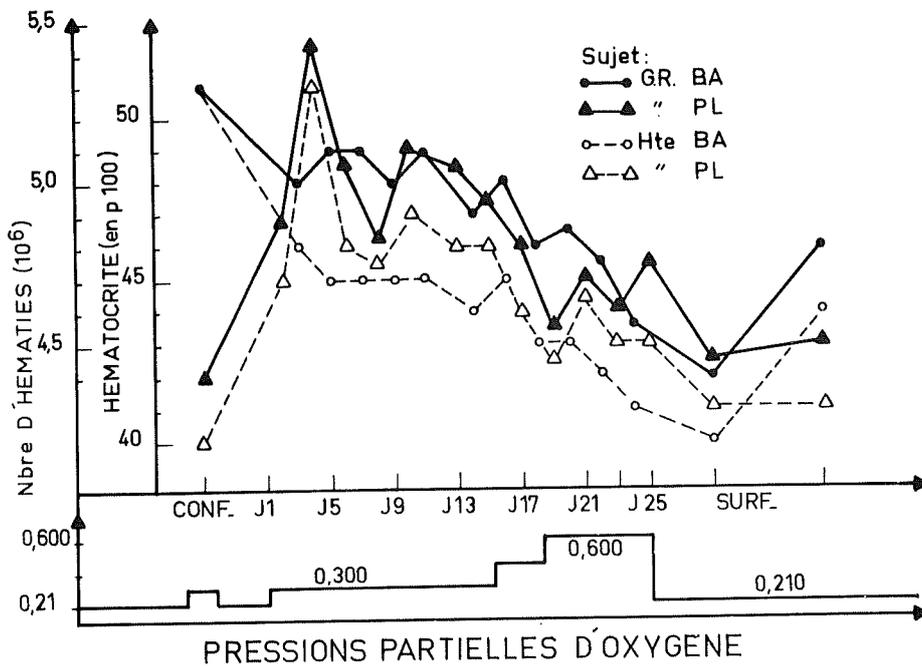
Ces modifications, toutefois, n'intéressaient pas les globules blancs et les plaquettes.

## R E S U L T A T S

Les globules rouges diminuent légèrement dès le début de la compression, sauf pour un plongeur dont le nombre d'hématies est passé de 4 200 000 à 5 200 000 pendant les 5 premiers jours.

Cette diminution des globules rouges s'intensifie avec l'augmentation de la pression partielle d'oxygène et avec la décompression.

Cette sensibilité des hématies paraît plus marquée chez le plongeur inexpérimenté pour lequel le nombre des éléments décroît beaucoup plus rapidement dès le début de la compression, pour passer de



EVOLUTION DU TAUX D'HEMATIES ET DE L'HEMATOCRITE

4 800 000 à 3 800 000 en fin de décompression sans que celle-ci ait paru accélérer le phénomène.

Hémoglobine et hématoците ont varié dans le même sens.

A noter qu'il a été prélevé en moyenne 375 cc de sang à chaque plongeur pendant l'expérimentation.

La numération des globules blancs a subi quelques modifications durant la plongée pour deux plongeurs au décours d'atteintes infectieuses très vite jugulées.

Les plaquettes ont conservé pendant la compression et le séjour à 300 mètres les valeurs de départ. Pendant la décompression, les thrombocytes ont diminué en nombre pour revenir aux valeurs de départ 3 jours après la fin de l'expérience.

La formule sanguine enfin, a mis en évidence une lymphocytose pour l'ensemble des plongeurs.

La baisse des plaquettes ne paraît pas avoir entraîné des perturbations au niveau de la coagulation car, contrairement à ce que nous avons observé lors d'une plongée précédente, les antithrombines n'ont pas subi de modifications importantes durant la compression et n'ont pratiquement pas varié durant la décompression.

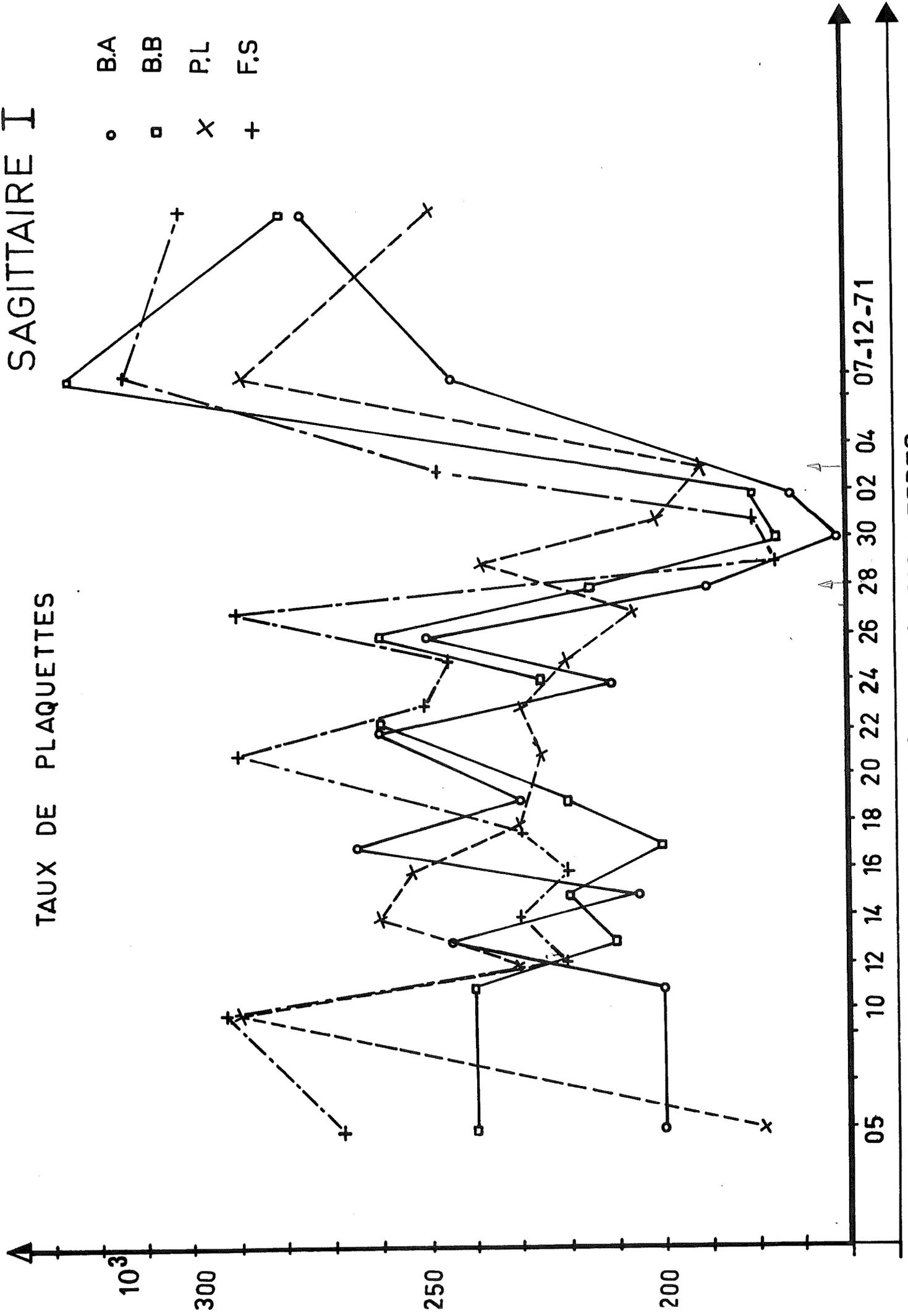
Les autres tests de coagulation, temps de thrombine, temps de reptilase, temps de Céphaline Kaolin et fibrinogène ont conservé durant l'expérience les valeurs de départ. Toutefois, la thrombélastrographie sur plasma riche en plaquettes et sur sang total permet de mettre en évidence à la fin de l'expérience, une hypercoagulabilité cinétique et chronométrique qui persiste pendant plusieurs jours.

Enfin, nous avons contrôlé l'évolution des lipides durant la plongée en dosant les lipides totaux, les bêta lipoprotéines, le cholestérol total et les triglycérides à la recherche de modifications que nous

# SAGITTAIRE I

B.A  
 B.B  
 P.L  
 F.S  
 ○ □ × +

TAUX DE PLAQUETTES

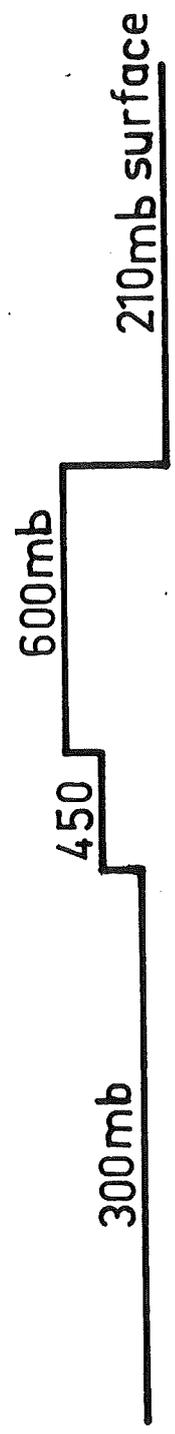
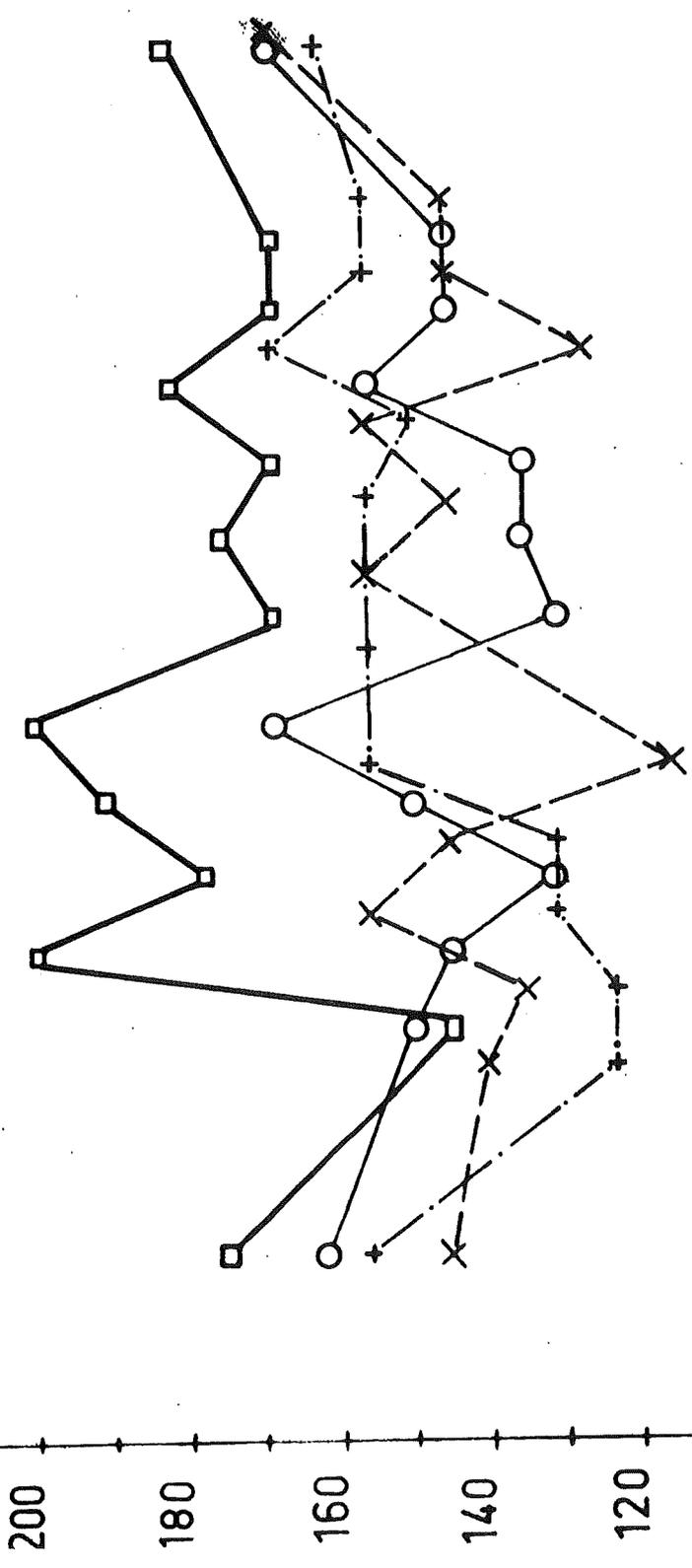


300 → 300 METRES

# SAGITTAIRE I

## ANTITHROMBINES

SUJETS  
 ○—○ BA  
 □—□ B.B  
 ×---× P.L  
 +---+ F.S



DATE 14  
 PROF 07

152 300 → 300 METRES

avons constatées lors d'une précédente plongée.

Les lipides totaux subissent dès le début de la plongée une augmentation qui persiste durant toute l'expérience pour revenir aux valeurs de départ en fin de décompression.

Les bêta-lipoprotéines et le cholestérol total suivent à peu près les mêmes modifications.

Les triglycérides conservent durant toute l'expérience à peu près les mêmes valeurs.

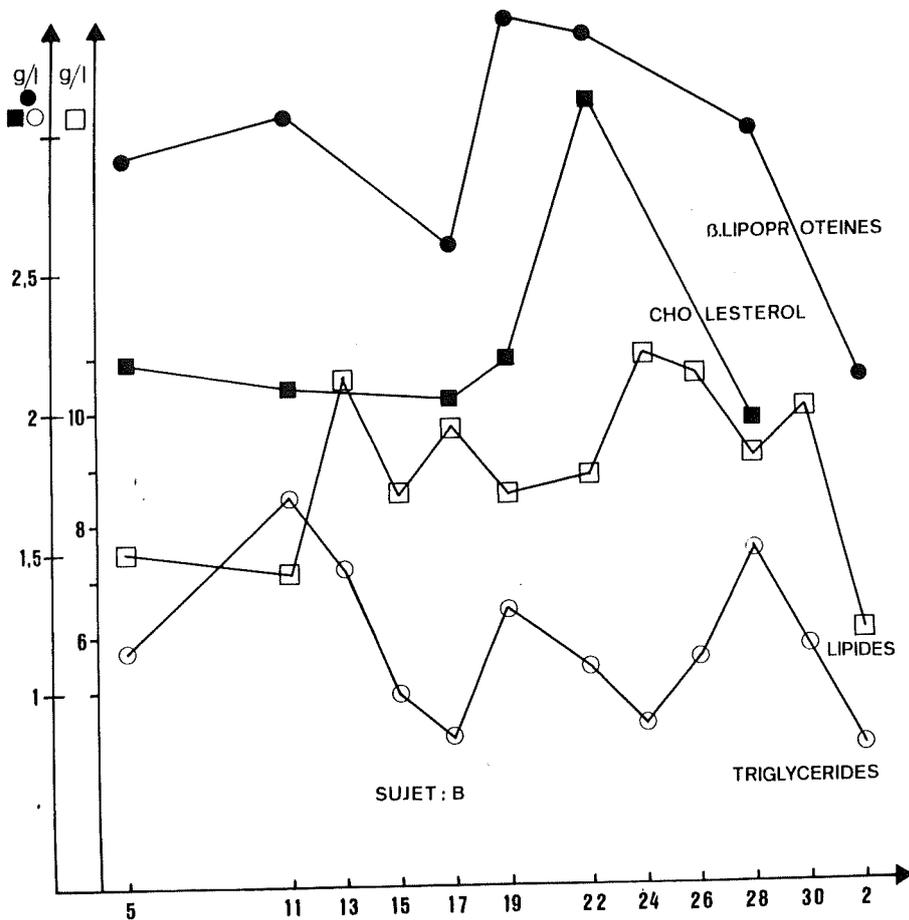
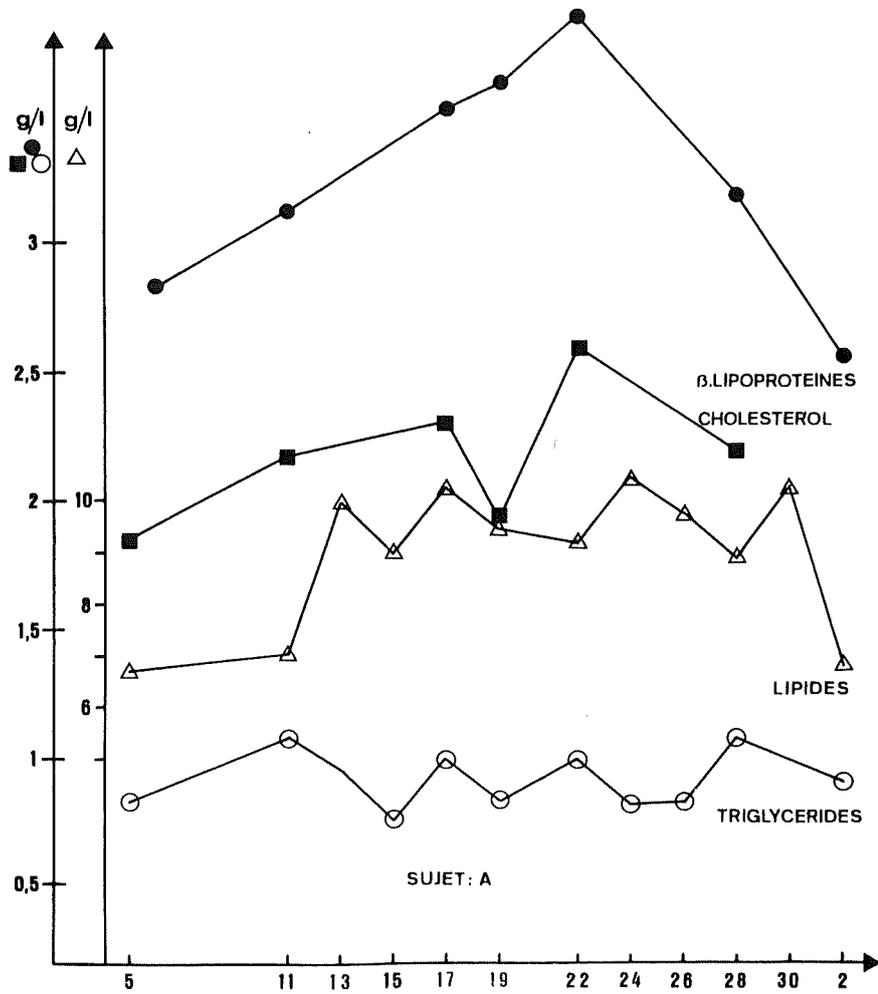
Enfin, pour essayer de déterminer le rôle éventuel des immuno-globulines dans les affections cutanées souvent rencontrées dans les plongées profondes, nous avons pratiqué des dosages sélectifs des immuno-globulines (IgG - IgA - IgM).

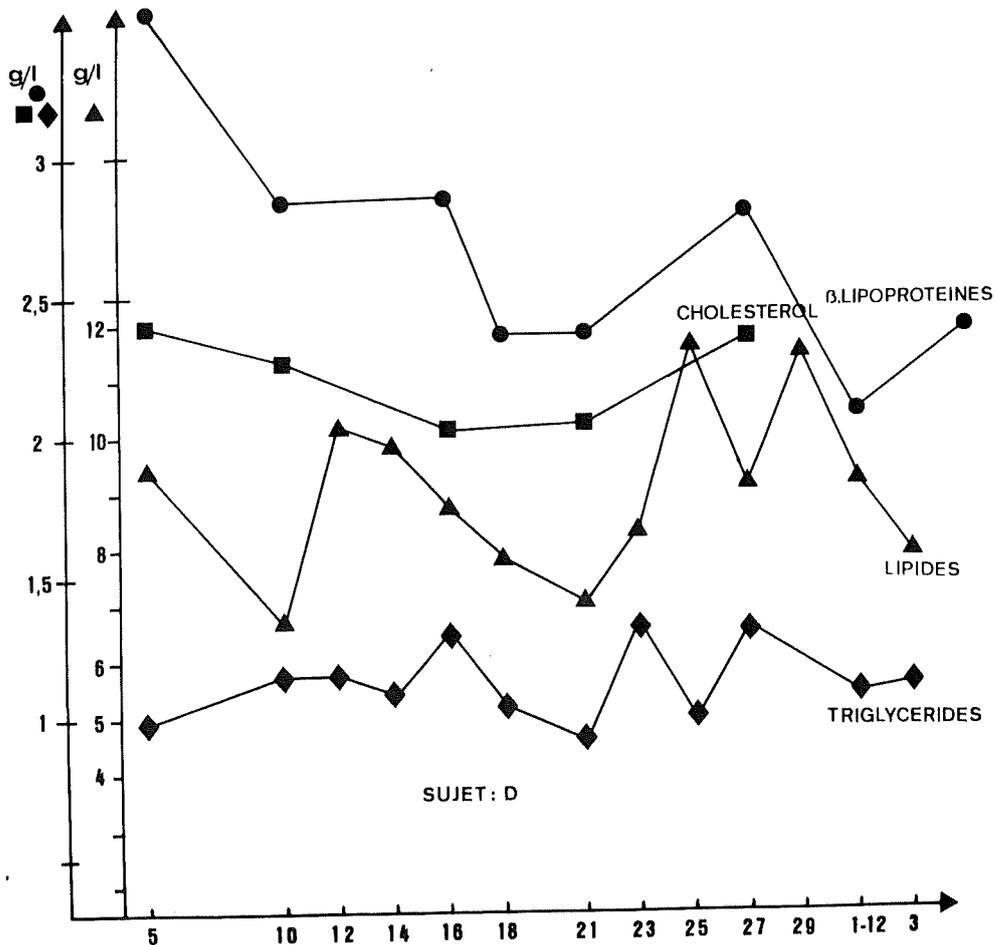
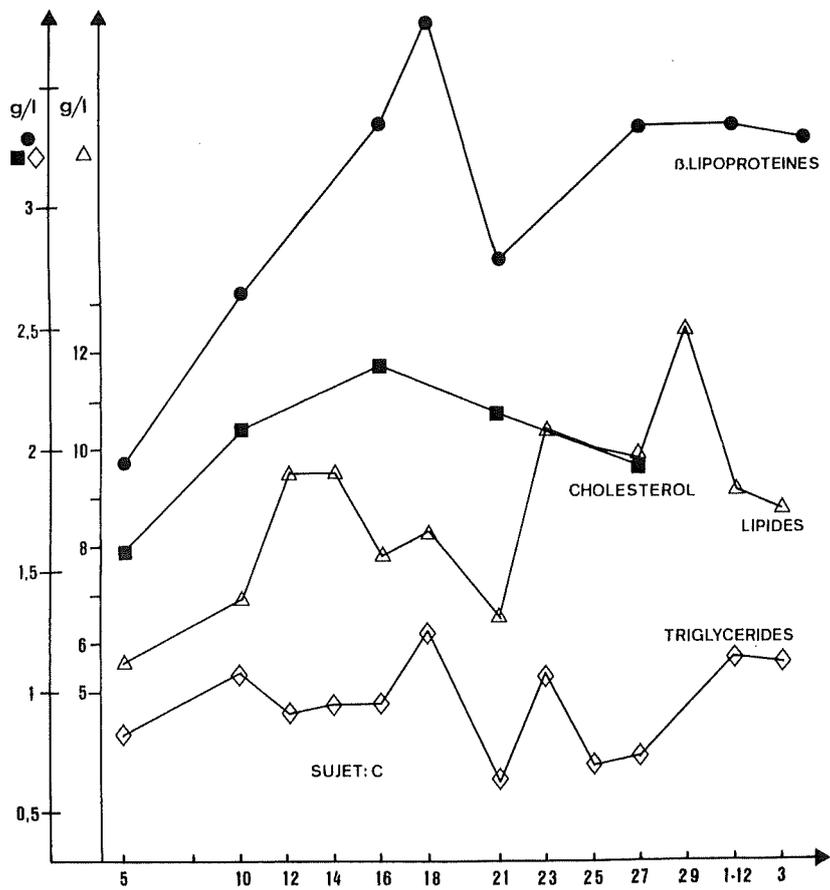
Les IgM ne subissent pas de modifications.

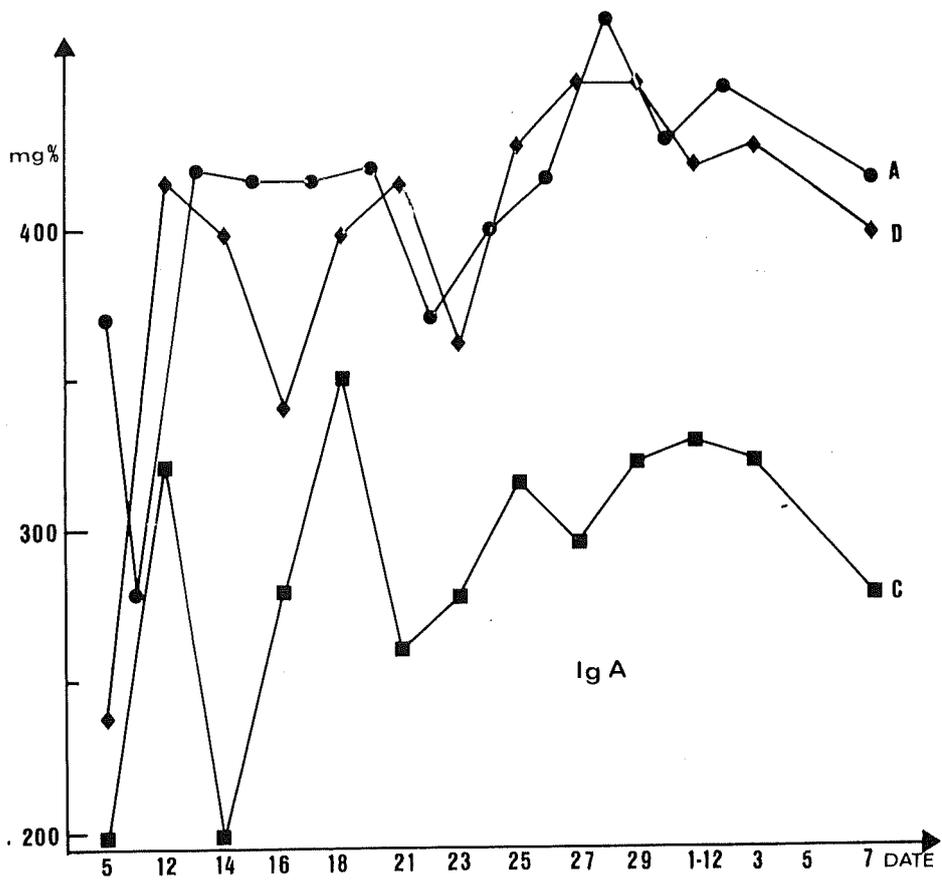
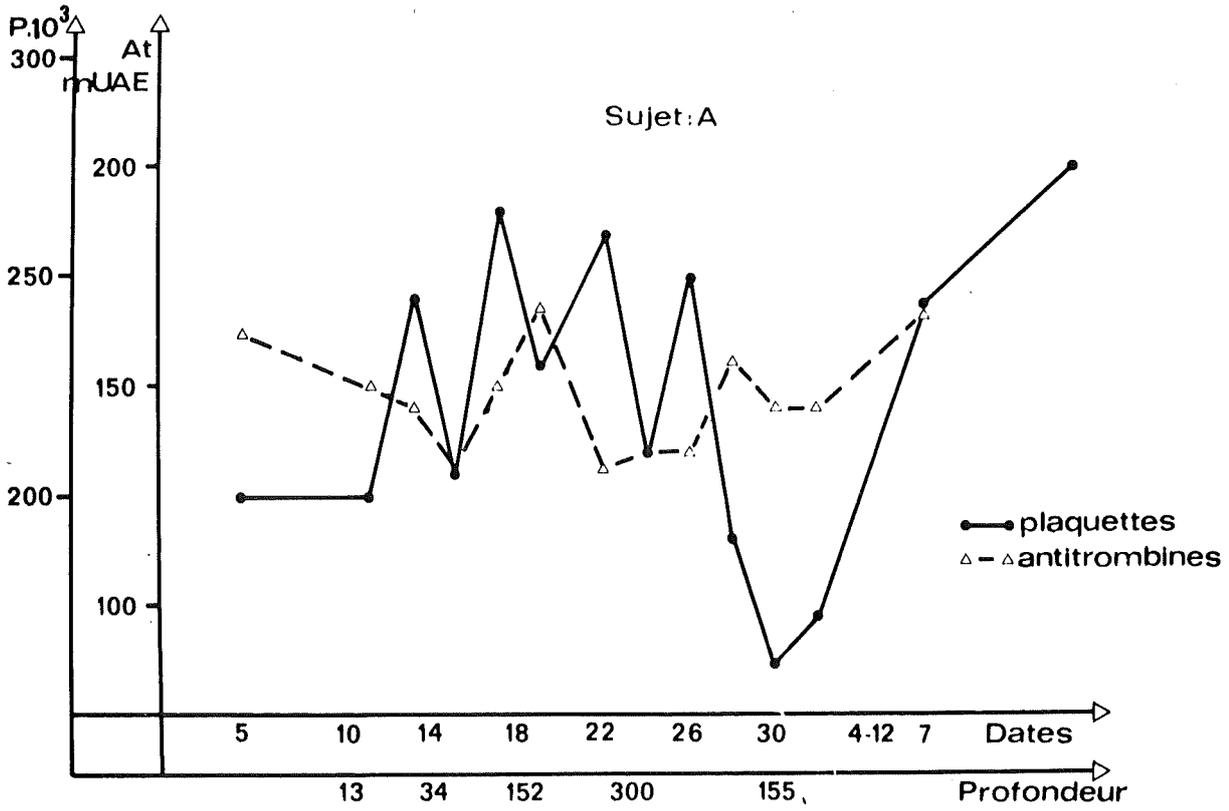
Les IgA paraissent, dans l'ensemble, augmentées et conservent après l'expérience des valeurs supérieures à celles mesurées pendant la période de confinement.

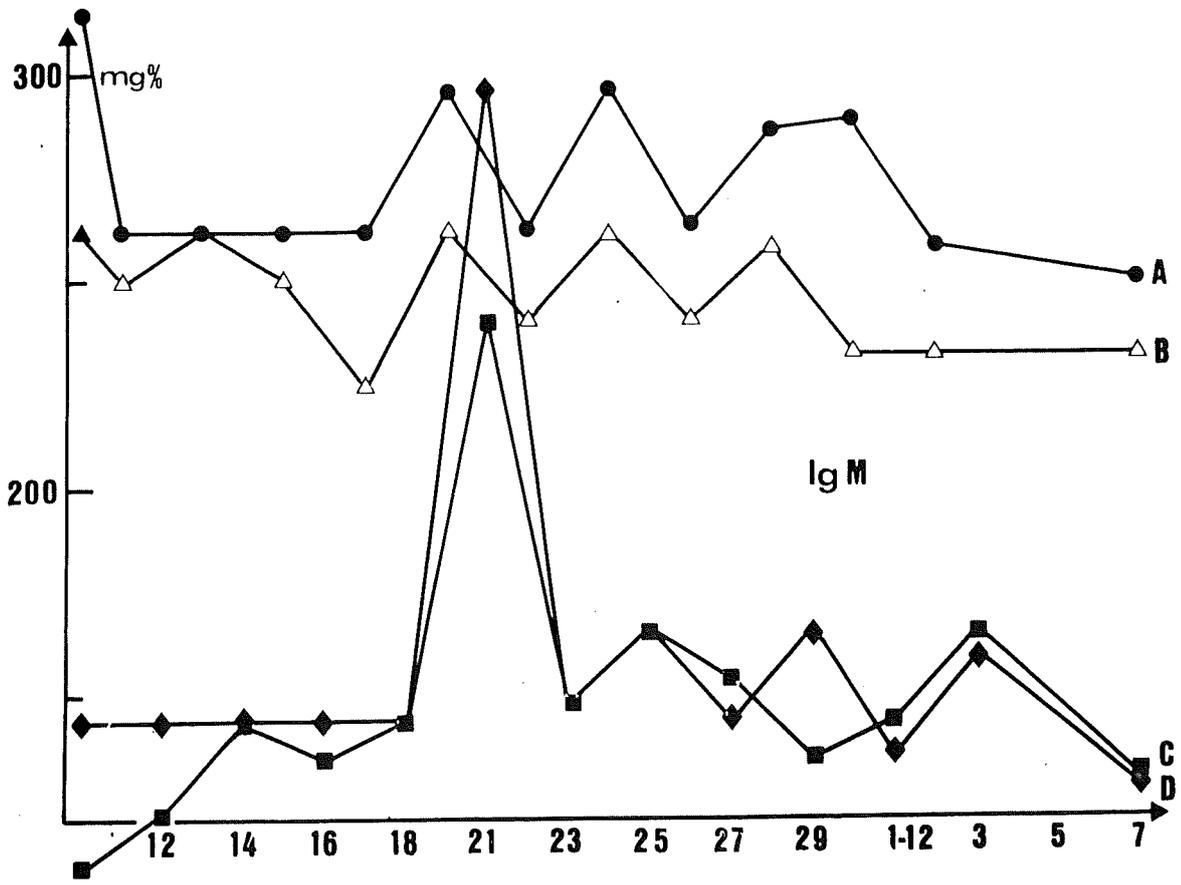
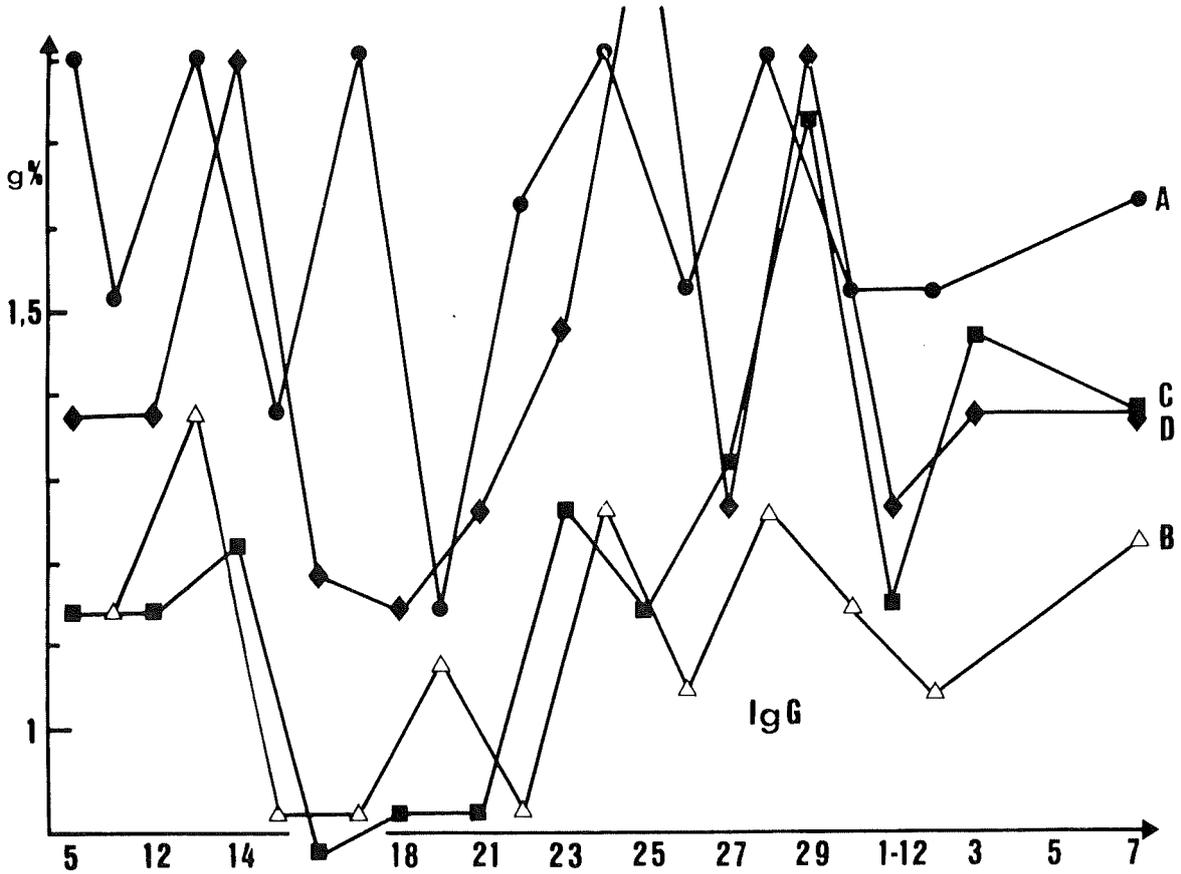
Ce sont au niveau des IgG que les modifications paraissent les plus marquées, toutefois de façon anarchique pour deux plongeurs. Le pic très important supérieur à 2 g % pour l'un d'entre eux, correspond vraisemblablement à une vaccination antitétanique pratiquée quelques jours avant la plongée.

De toutes façons, les valeurs retrouvées 4 jours après l'expérience, sont semblables à celles de départ. Il semble que les variations des immunoglobulines ne favorisent pas les infections cutanées et qu'il faille en rechercher la cause au niveau de la température et de l'hygrométrie.









C O N C L U S I O N

Si cette expérience de plongée à saturation a pu entraîner quelques modifications, seul l'électroencéphalogramme a pu en être le témoin, car sur le plan biologique, l'ensemble des éléments n'a pas subi de modifications importantes.

Il est à noter, toutefois, que dans SAGITTAIRE I la compression a été "mesurée", sauf dans la dernière partie entre 152 mètres et 300 mètres.

Les seules modifications notables ont porté sur les globules rouges mais il est vraisemblable que la forte pression partielle d'O<sub>2</sub> en est la cause.

En ce qui concerne la chute des plaquettes, qui n'est toutefois pas importante, peut-être l'O<sub>2</sub> joue-t-il un rôle mais aussi la présence de bulles infracliniques toujours présentes, malgré une décompression très lente.

## ENZYMES SERIQUES

-----

I - METHODES DE DOSAGE UTILISEES

La lactico déshydrogénase (E C 1.1.1.,27), l'aldolase (E C 4.1.2.1.3.), la créatine-kinase (E C 2.7.3.2.) ont été dosées par spectrophotométrie U.V. en utilisant les boîtes tests U.V. Boehringer (tests U.V. activés par la créatine-kinase).

L'ornithine-carbamy1-transférase a été déterminée selon la méthode de KONTTINEN ; la céruloplasmine d'après RAVIN, l'haptoglobine d'après CONNELL et SMITHIES.

La séparation des isoenzymes de la L D H a été effectuée après électrophorèse sur acétate de cellulose (cellogel) pendant 1 heure 30 à 180 V, dans un tampon véronal de force ionique 0,05. La révélation est effectuée au moyen d'un mélange contenant du tampon tris-HCl pH 8,0, du N A D, du lactate de lithium, du phénazine méthosulfate et du nitro-bleu de tétrazolium selon un procédé déjà décrit (AQUARON et al.).

II - BUT DU TRAVAIL

- a) rechercher si les conditions de pression peuvent altérer la perméabilité des tissus ou léser un organe, en particulier le muscle ou le foie.

La lactico déshydrogénase, l'aldolase, la créatine kinase ont été déterminées en vue d'explorer les altérations éventuelles de la perméabilité musculaire. Les iso-enzymes de la L D H ont été déterminés afin de vérifier s'il existait une variation de la répartition des 5 iso-enzymes au cours des variations de pression.

L'ornithine carbamy1 transférase, enzyme à localisation exclusivement hépatique a été dosée comme témoin d'une éventuelle altération hépatique.

b) MENGEL et al. ont montré que, dans certaines conditions, l'augmentation de la pression en oxygène détermine une augmentation de l'hémolyse.

Une façon de mesurer l'hémolyse est la détermination du taux sérique de l'haptoglobine, protéine qui fixe l'hémoglobine.

Si une hémolyse intravasculaire se produit au cours de l'exposition à des pressions fortes et croissantes, l'hémoglobine sera fixée par l'haptoglobine et éliminée du sérum avec comme résultat une diminution du taux d'haptoglobine.

UDDIN et SELLERS ont constaté, au contraire, expérimentalement, chez le rat après exposition à un environnement hyperbare, une augmentation du taux d'haptoglobine dont la cause est inconnue.

Dans les conditions subies par nos plongeurs, nous avons voulu vérifier comment se comportait le taux d'haptoglobine sérique.

L'haptoglobine étant une  $\alpha$ -2 glycoprotéine synthétisée par le foie, nous avons étudié, parallèlement, les variations d'une autre  $\alpha$ -2 glycoprotéine synthétisée par le foie, la céruloplasmine pour vérifier si ces deux protéines variaient ensemble ou non.

### III - RESULTATS (tableaux I,II,III et IV)

#### a) L D H - A L D - C P K

Les variations des activités de ces trois enzymes restent dans l'ensemble toujours dans les limites des valeurs normales et fluctuent d'une façon irrégulière, témoignant de variations journalières et individuelles.

On peut noter, cependant, une augmentation notable du taux de l'aldolase pour la profondeur 300 mètres pendant deux (BR., LE., SI.. ) ou trois jours (AD..).

La créatine kinase qui est, classiquement, le test le plus sensible permettant de tester la perméabilité musculaire ne présente pas ces variations, mis à part le sujet BR., qui, pour la même profondeur, présente trois valeurs successives supérieures à la valeur normale.

On doit noter, cependant, chez ce sujet, des valeurs plus fortes que chez les trois autres plongeurs pendant toute la durée de l'expérience.

La répartition des iso-enzymes de la L D H, chez tous ces sujets, est normale

LDH <sub>1</sub>	20 ± 10 %		LDH <sub>2</sub>	40 ± 10 %	
LDH <sub>3</sub>	26 ± 10 %		LDH <sub>4</sub>	10 ± 5 %	
				LDH <sub>5</sub>	5 ± 5 %

et ne varie que dans les limites de la normale.

#### b) O. C T

-----

Les variations de l'activité de cette enzyme, bien que quelques valeurs dépassent transitoirement la valeur supérieure limite, ne présentent pas de signification physio-pathologique.

#### c) HAPTOGLOBINE et CERULOPLASMINE

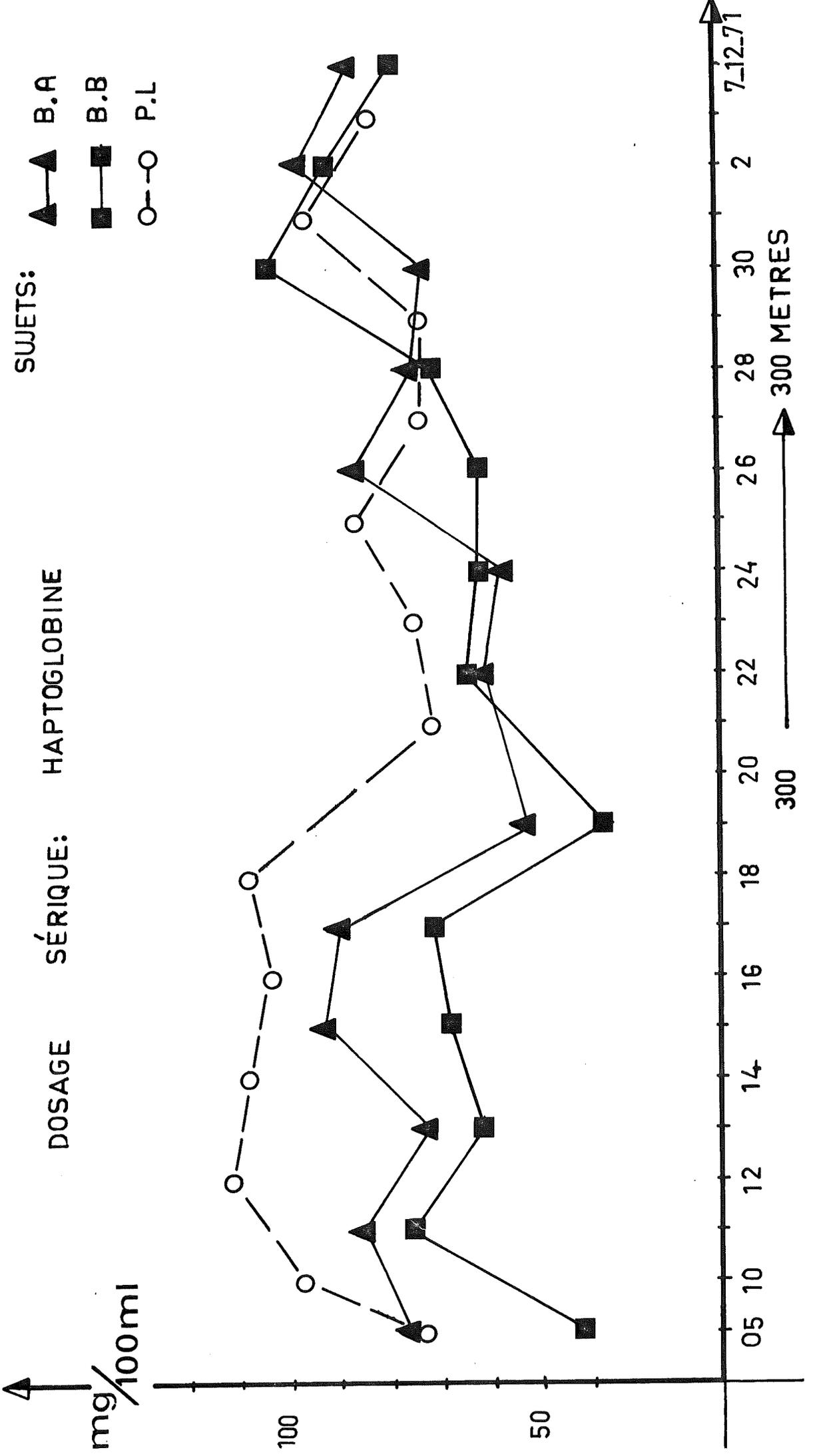
-----

Chez trois plongeurs (BR., LEO., SIC.), on constate une augmentation du taux d'haptoglobine par rapport au taux de base pendant les sept à dix premiers jours de la descente.

Elle croît et se maintient à un niveau assez élevé chez deux d'entre eux (LEO., SIC.), sans toutefois dépasser les valeurs normales.

A la profondeur 300 mètres et au cours de la décompression, les taux diminuent et redeviennent plus ou moins identiques au taux de base.

# SAGITTAIRE I



On n'observe pas, comme chez le rat, une augmentation du taux de l'haptoglobine après l'arrêt de la compression. L'augmentation du taux d'haptoglobine au cours de la mise en pression peut, peut-être, s'expliquer, soit par une hémoco-concentration ou une sortie d'haptoglobine tissulaire vers le sérum ou une augmentation de la synthèse.

Les variations du taux de la céruloplasmine ne sont pas très importantes et ne s'éloignent jamais d'une valeur moyenne témoignant de variations individuelles et journalières.

#### BIBLIOGRAPHIE

H..A. RAVIN : An improved colorimetric enzymatic assay of ceruloplasmin  
J. Lab. Clin. Ned ; 1961, 58, 161

G.E. CONNELL et O. SMITHIES  
Human haptoglobins estimation and purification  
Biochem. J. ; 1959, 72, 115.

R. AQUARON, M. ROUX et G. SERRATRICE : La lactico deshydrogénase et ses iso-enzymes dans le tissu musculaire du lapin avant et après administration de corticoïdes.  
C.R. Soc. Biol. ; 1971, 169, 2583

D.E. UDDIN et W. H. SELLERS : Increased serum haptoglobin following exposure to a hyperbaric environment  
Canad. J. Biochem. ; 1970, 48, 1368

C.E. MENGEL, H.E. KANN, W.W. SMITH et B.D. MORTON : Proc. Soc. Exp Biol. Med. ; 1964, 116, 259

A. KONTTINEN : A further simplified method of ornithine-carbamytransferase measurement  
Clin. Chim. Acta, 1968, 21, 29

DATE	L D H UI/L à 25°	AL D UI/L à 37°	C P H UI/L à 25°	O C T UI/L à 37°	Céru洛plasmine mg/100 ml	Haptoglobine mg/100 ml
Normales	jusqu'à 195	0,5-3,1	jusqu'à 50	0,20-0,40	25-40	60-170
5. 11	61	0,9	17	0,36	39	87
11. 11	71	0,9	9	0,61	48	86
13. 11	51	1,4	17	0,35	39	72
15. 11	61	0,5	9	0,18	37	94
17. 11	76	0,5	9	0,58	34	90
19. 11	142	0,9	9	0,53	40	53
22. 11	51	1,8	17	0,56	40	62
24. 11	71	4,0	17	0,23	43	57
26. 11	76	0,5	17	0,60	38	87
28. 11	71	1,8	9	0,85	37	75
30. 11	61	-	9	0,25	-	73
2. 12	30	-	8	0,56	-	98
7. 12	-	-	-	-	-	87

DOSAGES DANS LE SERUM

BROUSSE

DATE	L D H (-) UI/l à 25°	A L D (-) UI/l à 37°	C P K (-) UI/l à 25°	O C T (-) UI/l à 37°	Céru Plasmine mg/100 ml	Haptoglobine mg/100 :
normales	jusqu'à 195	0,5-3,1	jusqu'à 50	0,20 - 0,40	25 - 40	60 - 170
5.11	61	2,3	61	0,24	39	42
11.11	71	-	67	0,74	50	87
13.11	61	1,4	52	0,41	41	62
15.11	61	--	26	0,35	53	68
17.11	101	0,9	44	0,50	44	72
19.11	51	0,5	26	-	42	38
22.11	61	3,6	70	0,56	43	62
24.11	91	1,8	79	0,61	41	62
26.11	142	-	84	-	37	62
28.11	71	-	42	-	36	72
30.11	82	-	50	0,60	-	104
2.12	71	-	50	0,33	-	92
7.12	-	-	-	-	-	79

(-) L D H Lactico déshydrogénase (E.C. 1.1.1.27)

A L D Aldolase

(E.C. 4.1.2.13)

C P H Créatine phosphokinase (E.C. 2.7.3.2.)

O C T Ornithine Carbamyl transférase (E.C. 2.1.3.3.)

## DOSAGES DANS LE SERUM

DATE	L D H UI/l à 25°	A L D UI/l à 37°	C P H UI/l à 25°	O C T UI/l à 37°	Céru Plasmine mg/100 ml	Haptoglobine mg/100ml
normales	jusqu'à 195	0,5-3,1	Jusqu'à 50	0,20-P,40	25 - 40	60 - 170
5. 11	51	2,3	18	0,24	54	78
10. 11	81	0,9	9	0,61	58	98
12. 11	91	2,8	9		54	112
14. 11	61	0,9	17	0,10	56	109
16. 11	81	3,2	9	0,25	54	104
18. 11	76	1,8	9	0,73	48	109
21. 11	51	1,3	26	0,10	48	72
23. 11	81	3,2	17	0,12	51	75
25. 11	91	3,2	26	0,10	48	87
27. 11	91	-	17		43	83
29. 11	76	-	17	0,70	41	83
1. 12	81	-	17	0,42	39	96
3. 12	91	2,7	9	0,62	33	83

## DOSAGES DANS LE SERUM

DATE	L D H UI/l à 25°	A L D UI/l à 37°	C P K UI/l à 25°	O C T UI/l à 37°	Céruoplasmine mg/100 ml	Haptoglobine mg/100 ml
Normales	jusqu'à 195	0,5-3,1	jusqu'à 50	0,20-0,40	25-40	60-170
5. 11	51	2,3	1 7	0,72	35	73
10. 11	51	0,9	1 7	0,77	45	86
12. 11	81	-	1 7	0,87	35	94
14. 11	51	1,8	1 7	0,70	39	83
16. 11	92	1,8	3 5	0,65	37	104
18. 11	76	2,7	2 6	0,73	39	124
21. 11	51	1,8	1 7	0,19	46	87
23. 11	76	3,6	1 7	0,33	40	68
25. 11	76	4,5	1 7	0,29	37	59
27. 11	111	1,4	3 3	0,16	39	87
29. 11	101	0,5	1 7	0,25	36	92
1. 12	71		1 7	0,48	32	99
3. 12	111	4,9	1 7	0,66	32	104

## ETUDE NEUROPHYSIOLOGIQUE

-----

Au cours de cette plongée, l'étude neurophysiologique a comporté :

- la détection du tremblement par accélérométrie,
- la recherche des modifications EEGraphiques de veille par les techniques classiques et au moyen des spectres de puissance ,
- la recherche des perturbations de l'organisation du sommeil,
- l'analyse des modifications des potentiels évoqués visuels moyens.

### A - LE TREMBLEMENT

#### I - TECHNIQUES

Le tremblement est détecté au moyen d'un géophone (Géo-Space HS-J), placé sur le majeur de la main droite. Le tremblement est mesuré au cours de l'"épreuve du serment". Les signaux sont amplifiés et transcrits sur un scripteur à jet d'encre "Elema-Schonander".

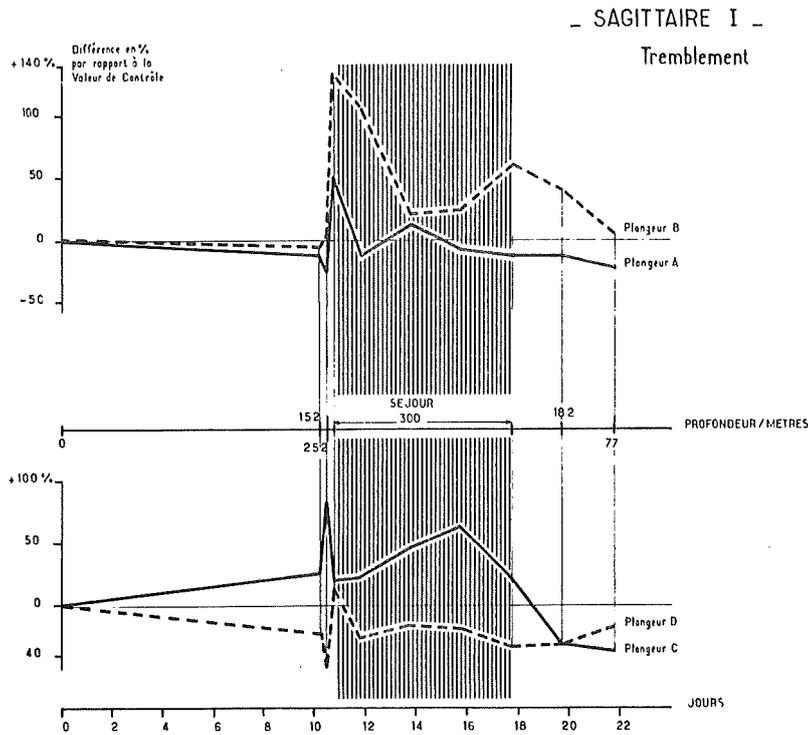
L'analyse des résultats consiste à déterminer la fréquence et l'amplitude. Ces mesures sont effectuées sur des séquences de 16 secondes selon la méthode utilisée pour "PHYSALIE V". Les résultats sont exprimés en pourcentage de différence par rapport à la valeur de surface.

#### II - RESULTATS

Au cours de la compression de 152 à 300 mètres, il existe chez tous les sujets, une accentuation du tremblement. On observe, à l'arrivée à 300 m., une augmentation qui varie selon les sujets de 25 à 150 % (sujet A : 50 % ; sujet B : 140 % ; Sujet C : 100 % ; sujet D : 25 %). (fig. I).

Le tremblement diminue en amplitude et retrouve même des valeurs proches de la normale 48 heures en moyenne après l'arrivée à 300 mètres.

Une nouvelle augmentation d'amplitude est observée chez deux des plongeurs (sujet B et C) à partir du 4ème jour (sujet C) ou du 6ème jour (sujet B) du séjour. (50 à 75 %). (fig. I);



**FIG 1**

Evolution du tremblement chez les 4 sujets au cours de Sagittaire 1 .

Graphique supérieur, évolution du tremblement des sujets A et B .

Graphique inférieur, évolution du tremblement des sujets C et D .

En ordonnées est portée l'amplitude exprimée en différence de pourcentage par rapport à la valeur de contrôle en surface .

En abscisses sont représentés les jours et les profondeurs en mètres .

La zone hachurée figure le séjour à 300 m .

( Commentaire voir texte ) .

Pendant la décompression, le tremblement régresse chez ces deux plongeurs et retrouve des valeurs proches de la normale.

## B - LES ACTIVITES E. E. G.

### I - TECHNIQUES

Les quatre sujets sont porteurs d'électrodes de type "hameçon ECEM" enfoncées dans le scalp en des points déterminés (fronto-polaire, vertex-médian, central, temporal moyen, occipital) et maintenues en place par de la gaze et du collodion. Une sixième électrode (capsulex Alvar) a permis de recueillir les mouvements oculaires.

Les enregistrements EEG de veille ont été effectués au cours du confinement, et pendant la plongée, à 74 m, 152 m, pendant la compression de 152 à 300 m, et tous les jours à 300 m, à l'exception du 3ème jour et du 6ème jour du séjour et pendant la décompression à 210 m, 152 m et 50 m. Des contrôles ont été pratiqués 3 jours, 15 jours et 2 mois après la fin de la plongée.

Les activités E.E.G. ont été recueillies sur un électroencéphalographe Alvar (Minihuit ou REEGA 8), en dérivation bipolaire jumelée : fronto-polaire-central, central-temporal moyen, temporal moyen-occipital.

Des séquences ont été enregistrées sur bandes magnétiques analogiques (EPI 2C CDC-Schlumberger), afin d'effectuer en temps différé un traitement sur ordinateur (PDP 12 Digital equipment Corporation), en vue d'obtenir des spectres de puissance des activités EEG. L'analyse porte sur des séquences de 8 secondes. Un moyennage est effectué sur les spectres de puissance de plusieurs séquences successives.

Les activités EEG de sommeil sont recueillies toutes les nuits, ce qui donne avec les enregistrements de contrôle effectués en surface dans un centre spécialisé 90 enregistrements de sommeil de durée moyenne de 8 Heures chacun. Après lecture des tracés, les données sont traitées sur ordinateur (CII 10070 du centre de calcul du Pharo, Marseille) afin d'effectuer différents calculs statistiques, à partir d'un programme qui permet d'obtenir :

- a) le nombre de changements d'état et la durée de chaque état répartis selon l'ordre chronologique (histogramme),

- b) la durée totale de l'enregistrement, la durée effective du sommeil, la durée du sommeil diminuée éventuellement de stades indéterminés,
- c) la répartition horaire de chaque stade,
- d) la fréquence d'apparition et les durées de chaque stade au cours de la nuit,
- e) pour chaque état, la moyenne, la médiane, l'interquartile, les quartiles inférieur et supérieur, calculés sur les durées de chaque apparition.

Ces différents calculs peuvent être pratiqués pour chaque nuit, soit globalement, soit par tranche de 3 heures. Ils pourront être effectués pour un ensemble de nuits correspondant à des conditions expérimentales analogues (programme en préparation sur C II I0070).

## II - RESULTATS

### I°) - les activités EEG de veille

#### a) - sujet A (A.B.) -----

##### - en surface :

Les activités EEG de veille, les yeux ouverts, sont peu amples et rapides. Quelques bouffées d'activité rythmique à 7 - 8 c/s de faible amplitude apparaissent sur les dérivations antérieure et moyenne. Les yeux étant fermés, les activités restent peu amples. L'alpha de faible amplitude est peu visible (8 - 9 c/s) : il est mélangé à quelques bouffées d'ondes lentes à 6 - 7 c/s de même amplitude.

##### - pendant la compression :

Dès les premiers mètres, l'ensemble des activités EEG diminue d'amplitude. Au cours de la compression de 152 mètres à 300 mètres, les activités de fréquence thêta se renforcent dans les régions

antérieure et moyenne, les yeux étant ouverts ou fermés. L'alpha qui apparaît à la fermeture des yeux est moins visible. Il est à 8 c/s et il est entrecoupé d'ondes lentes à 5-6 c/s de  $30 \mu V$  d'amplitude.

- pendant le séjour à 300 mètres :

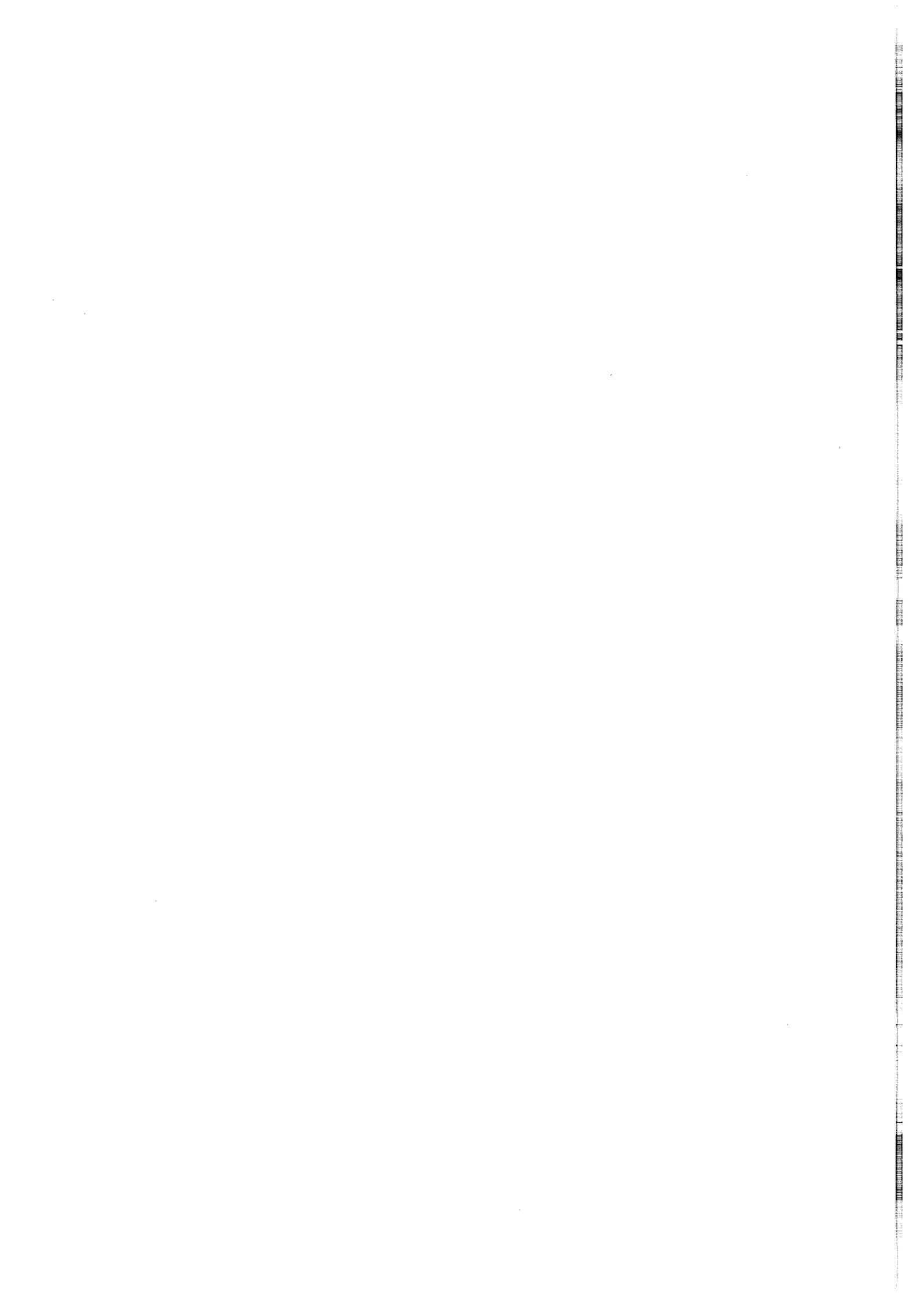
Dans un premier temps, les activités de fréquence thêta (5-6 c/s) régressent. Dans la région postérieure, l'alpha à 8 c/s est toujours peu visible à la fermeture des yeux; il est entrecoupé d'ondes lentes.

Dans un second temps, à partir du 4ème jour du séjour, les activités à 5-6 c/s sont en légère recrudescence sur l'ensemble des dérivations. De plus, quelques secondes après la fermeture des yeux, les tracés de veille sont remplacés par des tracés évoquant un stade I de sommeil.

- pendant la décompression :

Les activités lentes prédominantes dans les régions antérieure et moyenne sont en recrudescence dès 250 mètres, que les yeux soient ouverts ou fermés.

A la fermeture des yeux, l'alpha est un peu plus ample, un peu plus rapide (9 c/s), mais il est toujours entrecoupé d'ondes lentes à 6 c/s, pouvant atteindre une amplitude de  $30 \mu V$ . Les tracés évoquant un stade I de sommeil remplacent toujours quelques secondes après la fermeture des yeux les tracés de veille. Ce type de tracé persiste jusqu'à la fin de la plongée. Lors du 1er contrôle, on observe encore des ondes lentes et des tracés d'endormissement. Un retour à un état proche de la normale est constaté lors du contrôle effectué, 15 jours environ après la sortie du caisson.



b) Sujet B (B.B.) (fig. 2)

## - en surface

Les yeux étant ouverts, le sujet au repos, on observe une activité rythmique fronto-centrale à 11 c/s de faible amplitude (rythme mu) qui survient sur un fond d'activités plus rapides.

Les yeux étant fermés, l'activité rythmique fronto-centrale est plus ample. Dans la région postérieure, l'alpha à 10,5 c/s de  $50\mu V$  d'amplitude, est sous-tendu par des ondes lentes.

## - pendant la compression

Les tracés demeurent inchangés jusqu'à 152 m. Pendant la compression de 152 m à 300 m, à partir de 265 m, des activités de fréquence thêta à 5-7 c/s surviennent en bouffées peu nombreuses dans les régions antérieure et moyenne, les yeux étant ouverts ou fermés. Les activités rapides antérieures ont disparu. A la fermeture des yeux, l'alpha est moins ample et plus instable ; sa fréquence a peu varié.

## - pendant le séjour à 300 m

Une légère amélioration est observée 24 Heures après l'arrivée à 300 m. Les bouffées d'activités rapides antérieures font leur réapparition lorsque le sujet est au repos, les yeux ouverts ; les activités thêta sont moins nombreuses.

Lorsque les yeux sont fermés, l'alpha à 10 c/s est toujours moins ample, mais un peu plus stable. Il est sous-tendu par quelques ondes lentes. Les activités thêta fronto-centrales sont moins nombreuses.

A partir du 5ème jour du séjour, ce type de tracé se modifie : les activités rythmiques fronto-centrales sont moins visibles ; par contre les activités lentes sont en légère recrudescence.

- pendant la décompression.

Une légère amélioration est observée à partir de 135 mètres. Les activités rythmiques antérieures regagnent de l'amplitude ainsi que l'alpha qui a une fréquence de 9 - 10 c/s. Cependant, lorsque le sujet a les yeux fermés, des activités évoquant un stade I de sommeil remplacent de temps en temps les tracés de veille. Cette transformation du tracé de veille en tracé de sommeil persiste jusqu'à la fin de la décompression et lors du 1er contrôle, 3 jours après la sortie du caisson. La disparition des tracés évoquant une somnolence et un retour à des tracés proches de la normale sont constatés lors du contrôle pratiqué 15 jours après la sortie du caisson. Cependant, les épreuves d'hyperpnée effectuées au cours des deux contrôles montrent une réponse EEG inhabituelle (ondes lentes hypersynchrones). Ces modifications disparaîtront lors du 3ème contrôle effectué 2 mois après la fin de l'expérience.

c) Sujet C (L.P.) (fig. 3)

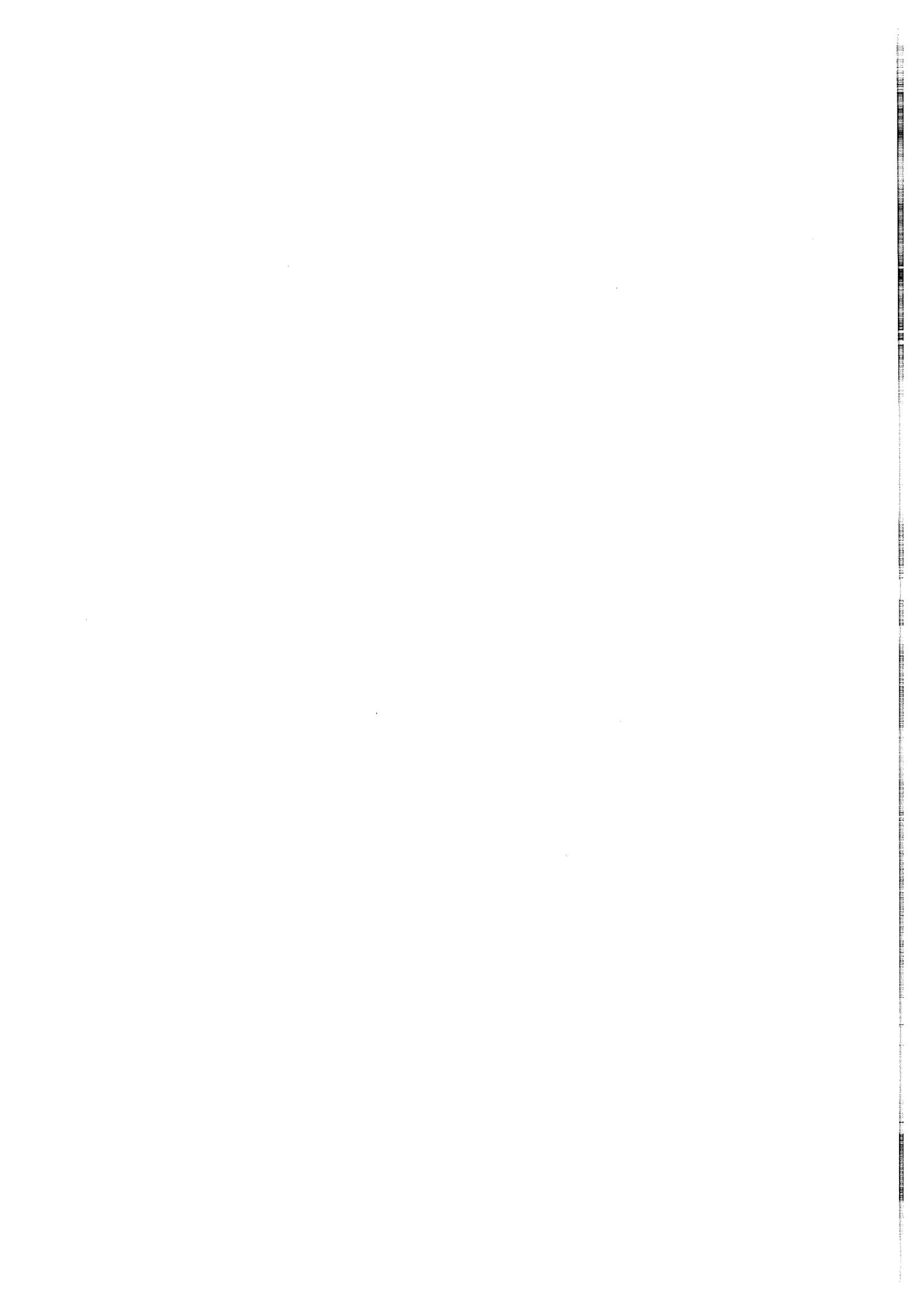
Les tracés EEG de repos les yeux ouverts montrent des activités rapides et peu amples ; dans la région antérieure, apparaissent sporadiquement des bouffées d'activités rythmiques à 10 c/s de faible amplitude (rythme mu).

Les yeux étant fermés, l'activité rythmique antérieure devient plus visible, mais conserve une faible amplitude - elle est entrecoupée d'activités plus rapides.

Dans la région postérieure, l'alpha est à 10 c/s et à  $50 \mu V$  d'amplitude.

- pendant la compression

A 74 mètres, quelques bouffées d'activités à 7 c/s surviennent dans les régions antérieure et moyenne, les yeux étant ouverts ou fermés. Ces activités s'accroissent de nouveau à partir de 252 mètres. Parallèlement, les activités rapides antérieures disparaissent (yeux ouverts ou fermés).



Quelques bouffées d'activités thêta apparaissent dans la région antérieure lorsque les yeux sont fermés. L'alpha diminue en amplitude ; il devient très instable. Des tracés évoquant un stade I de sommeil remplacent de temps en temps les tracés de veille.

- pendant le séjour à 300 mètres

En début de séjour, les tracés EEG, les yeux ouverts, sont caractérisés par la présence de bouffées d'activités thêta dans les régions antérieure et moyenne, parfois accompagnées de quelques bouffées delta dans les mêmes régions.

Les yeux étant fermés, l'alpha à 10 c/s apparaît moins ample ( $30\mu V$ ), plus instable qu'en surface. L'activité rythmique antérieure à 10 c/s est remplacée par une activité thêta à 5-6 c/s.

A partir du 3ème jour, et jusqu'à la fin du séjour, ces caractères s'accroissent. Les activités lentes se renforcent. L'alpha qui est à 9,5 c/s est sous-tendu par des ondes lentes et des activités évoquant le stade I de sommeil remplacent, par moment, les tracés de veille.

- Pendant la décompression

A partir de 210 mètres, les activités lentes commencent à régresser, les yeux étant ouverts ou fermés. L'alpha devient un peu plus stable, mais il est toujours sous-tendu par des ondes lentes.

Les modifications sont encore importantes et les tracés EEG de stade I de sommeil persistent à l'arrivée en surface.

Lors du premier contrôle effectué 3 jours après la sortie du caisson, les tracés de somnolence et quelques ondes lentes sont encore visibles. Un retour à un état proche de la normale est observé lors du 2ème contrôle, quinze jours après la sortie du caisson.



d) sujet D (S.F.) (fig. 4)

## - en surface

Lorsque le sujet est au repos, les yeux ouverts, quelques bouffées d'activités thêta à 5-6 c/s surviennent sur la dérivation centro-temporale, sur fond d'activités rapides et peu amples.

Les yeux étant fermés, une activité rythmique à 8 c/s relativement ample survient dans les régions antérieure et moyenne ; elle est entrecoupée d'activités plus rapides de faible amplitude. L'alpha à 10,5 c/s est ample (50  $\mu$ V).

## - pendant la compression

Dès la mise en pression, le tracé EEG de veille, yeux fermés, se modifie. L'alpha est moins ample (25-30  $\mu$ V), un peu plus lent (10 c/s). L'activité rythmique antérieure est moins visible. Ces tracés de veille sont remplacés, d'abord, par des bouffées d'activités rapides, puis par des ondes lentes. Ce type de tracé évoque un stade I de sommeil et correspond cliniquement à une baisse du niveau de vigilance.

Pendant la compression de 152 à 300 m, à partir de 250 m, des bouffées d'activités thêta à 6-7 c/s apparaissent dans la région antérieure lorsque le sujet a les yeux ouverts. Ces bouffées persistent lorsque le sujet ferme les yeux. L'alpha à 9 c/s est peu ample. Les tracés EEG de sommeil surviennent toujours sporadiquement.

A l'arrivée à 300 m, les activités thêta antérieures et moyennes sont très accentuées, que les yeux soient ouverts ou fermés. L'alpha est un peu plus rapide (10 c/s). Les tracés d'endormissement sont moins nombreux.

- pendant le séjour à 300 mètres

Au cours du séjour, jusqu'au 6ème jour, les tracés EEG, yeux ouverts et fermés, montrent une accentuation des fréquences thêta antérieures et moyennes. Parallèlement, l'activité rythmique à 8 c/s antérieure et l'alpha à 9 c/s deviennent moins visibles et moins amples. Les tracés évoquant un stade I de sommeil remplacent très rapidement les tracés de veille.

A partir du 6ème jour, les bouffées d'activités thêta deviennent moins nombreuses. L'alpha reste peu ample. Les tracés d'endormissement persistent.

- pendant la décompression

A partir de 135 mètres, alpha postérieur redevient plus ample, ainsi que l'activité rythmique antérieure.

Les bouffées d'activité thêta à 5-6 c/s reviennent à leur niveau de départ vers 50 mètres. Cependant les tracés d'endormissement persistent toujours ; ils seront encore visibles lors du 1er contrôle effectué, trois jours après la sortie du caisson.

Les tracés retrouvent des caractères proches de la normale, lors du 2ème contrôle pratiqué quinze jours après la sortie du caisson.

## 2° - Les activités EEG de sommeil

L'étude des activités EEG de sommeil et des perturbations de l'organisation du sommeil fera l'objet d'un rapport annexe.

Cependant, il semble ressortir en première analyse, que le sommeil des plongeurs a été plus léger qu'en surface. (augmentation des stades de sommeil léger au dépens des stades de sommeil profond).

.../...

### 3° - Les spectres de puissance des activités EEG de veille

#### a) sujet A (A.B.) (fig. 5)

pendant la compression

Au cours de la compression de 0 à 300 mètres, les puissances des activités EEG diminuent sur l'ensemble des dérivations.

pendant le séjour

Les puissances des activités dans les différentes bandes de fréquence considérées restent déprimées au début du séjour. A partir du 4<sup>ème</sup> jour, les pourcentages des fréquences delta et thêta augmentent légèrement sur la dérivation antérieure (Fp-C) (respectivement 100 % et 200 %). Parallèlement, les puissances des fréquences de la bande alpha retrouvent des valeurs proches de la normale et dépassent même ces valeurs surtout dans la région moyenne (C.-Tm) (250 %).

pendant la décompression

L'augmentation de la puissance des fréquences delta et thêta persiste dans la région antérieure au début de la décompression, On observe également un renforcement des fréquences thêta dans la région moyenne.

A partir de 200 mètres, ces modifications régressent. Les fréquences delta et thêta diminuent sur les dérivations antérieures et moyennes. Elles retrouvent des valeurs normales sur la dérivation postérieure ; il en est de même pour les activités de la bande de fréquence alpha dans la région moyenne et pour l'alpha postérieur. Seules les fréquences beta restent déprimées sur l'ensemble des dérivations.





b) sujet B (B.B.) (fig. 6)

## Pendant la compression

Dans un premier temps (compression de 0 à 152 mètres), les puissances de l'ensemble des fréquences se dépriment sur toutes les dérivi-  
à l'exception des fréquences de la bande alpha dans la région  
moyenne.

Dans un second temps (compression de 152 m à 300 m) la puissance  
des fréquences delta augmente dans la région moyenne, celle des  
fréquences thêta dans les régions antérieure et moyenne.

Les activités des bandes alpha et beta subissent également quelques  
variations au cours de cette compression et à l'arrivée à 300 m.,  
la puissance des fréquences beta est plus importante sur les déri-  
vations antérieure et postérieure .

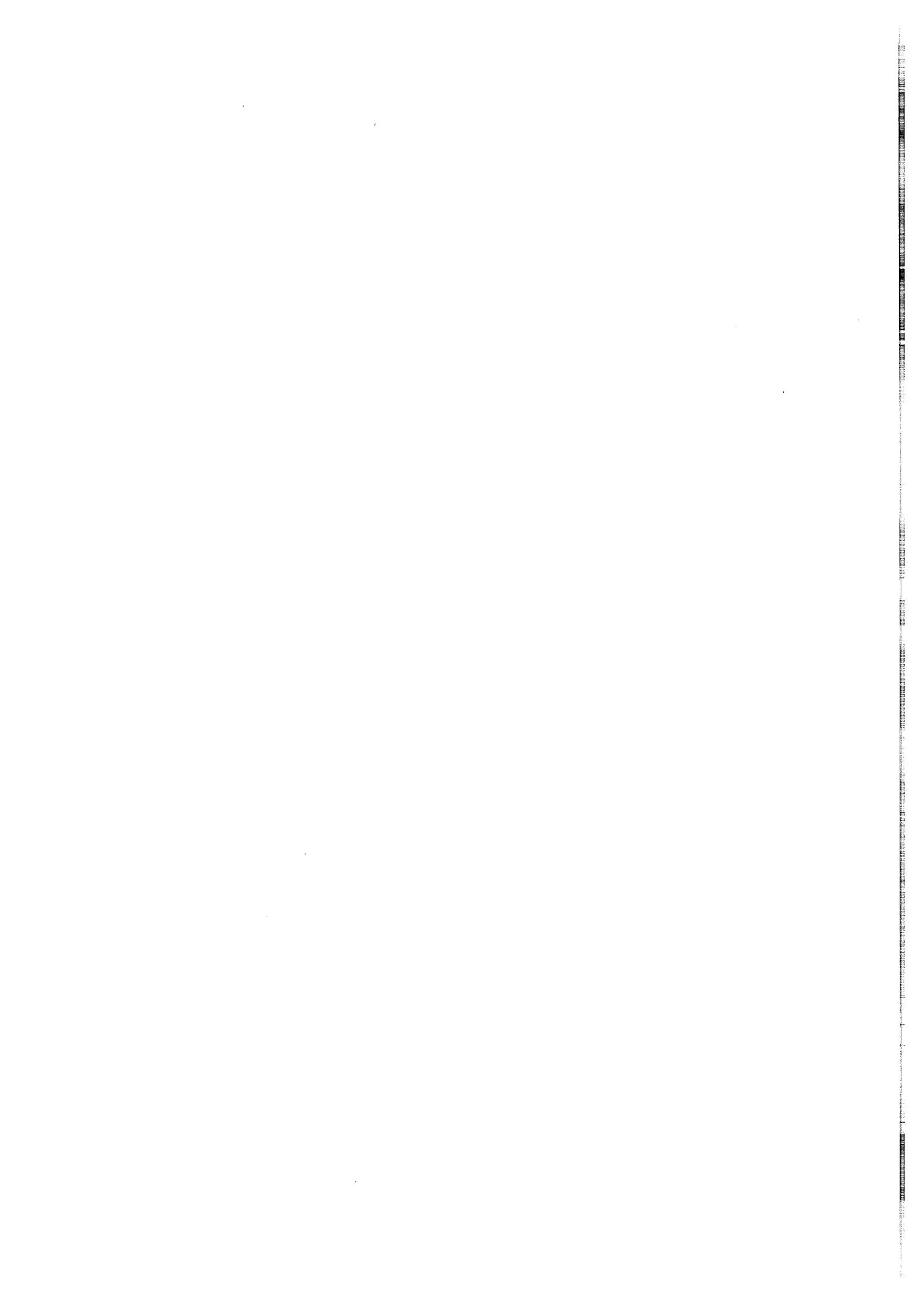
L'alpha postérieur reste déprimé.

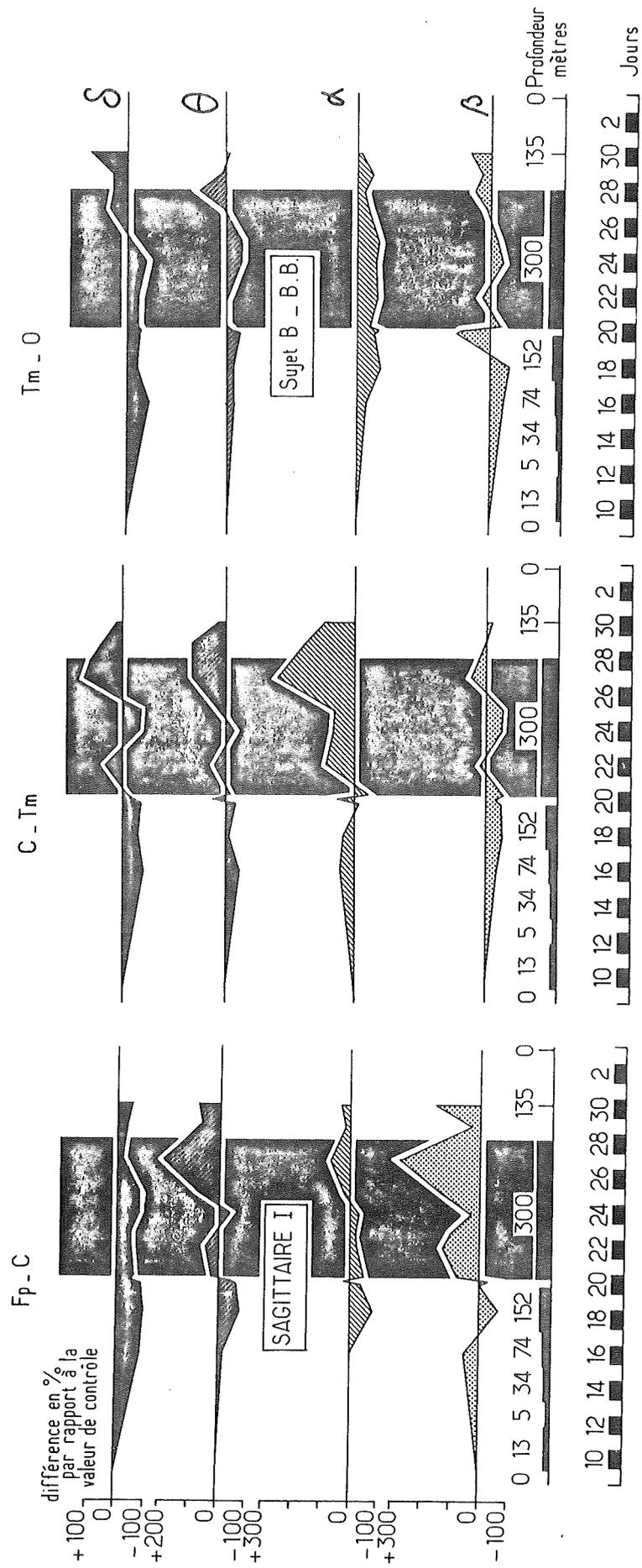
## Pendant le séjour

Les modifications observées au cours de la compression persistent  
et atteignent un maximum le 2ème jour ; il en est de même pour les  
activités de la bande de fréquence alpha qui sont en augmentation  
sur la dérivation moyenne.

A partir du 3ème jour, ces modifications sont en régression. Cer-  
taines activités (delta et thêta) sont même déprimées par rapport  
à la valeur de contrôle. Au 5ème jour, les modifications s'accen-  
tuent de nouveau. La puissance des fréquences delta est en augmen-  
tation dans les régions moyenne et postérieure (100 %), celle  
des fréquences thêta est en augmentation sur les 3 dérivi-  
(d'avant en arrière 200 - 150 - 100 %).

Les activités de la bande de fréquence alpha s'accroissent sur les  
dérivations antérieure et moyenne (250 %) ; l'alpha reste déprimé  
sur la dérivation postérieure. Les activités de fréquence beta





sont renforcées sur l'ensemble des dérivations. Elles prédominent dans la région antérieure (300 %).

Pendant la décompression

L'ensemble des modifications régresse. Les différentes activités tendent à retrouver des valeurs proches de celles du contrôle.

c) Sujet C (L.P.) (fig. 7)

Pendant la compression

Entre la surface et 152 m, les activités de fréquence delta sont en augmentation sur la dérivation moyenne. Les fréquences thêta sont en augmentation sur l'ensemble des dérivations et prédominent dans la région moyenne. Les activités de la bande de fréquence alpha sont en régression et les fréquences beta sont en légère augmentation sur l'ensemble du cortex.

Au cours de la compression de 152 à 300 m, ces modifications s'accroissent surtout pour les fréquences thêta dans la région moyenne (700%).

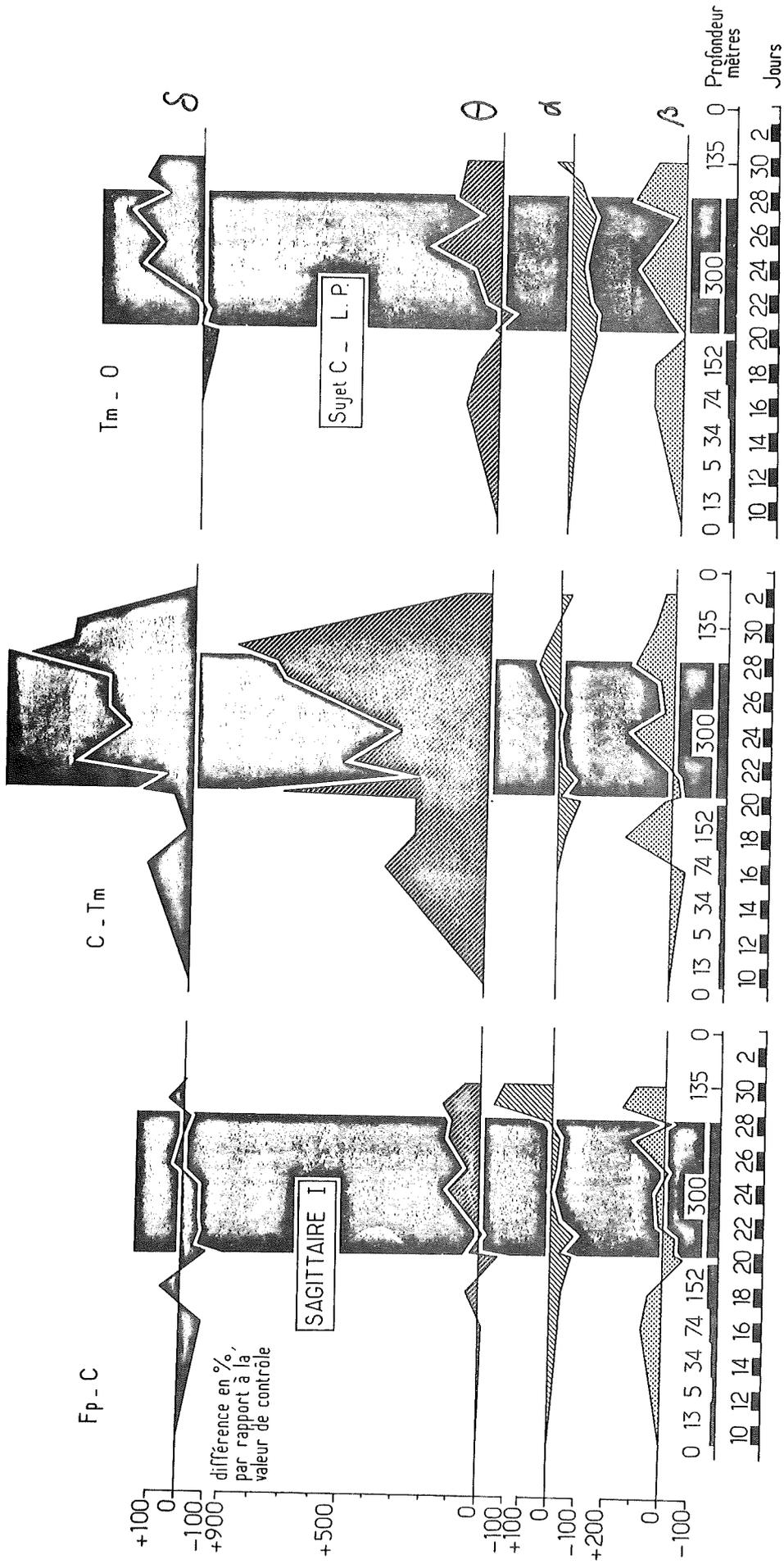
Pendant le séjour

Une légère régression de la plupart des modifications est observée 24 heures après l'arrivée à 300 mètres. Cependant, à partir du deuxième-troisième jour, les activités de fréquence delta s'accroissent sur les dérivations moyenne et postérieure ; elles atteignent leur maximum entre le 7ème et le 8ème jour (500 % et 250 %).

Les fréquences thêta augmentent également sur l'ensemble des dérivations ; le maximum est enregistré dans la région moyenne en fin de séjour (800 à 900 %).

De leur côté, les fréquences alpha restent déprimées dans la région postérieure. Elles sont en légère augmentation dans la région moyenne.





Les puissances des activités de fréquences beta sont supérieures à celles de la surface.

Pendant la décompression

La régression de l'ensemble de ces modifications est visible dès 135 m.

d) sujet D (S.F.) (fig. 8)

Pendant la compression

Jusqu'à 152 m, les différentes activités sont déprimées sur l'ensemble des dérivations, à l'exception des fréquences thêta qui sont en légère augmentation à 152 m, dans les régions antérieure et moyenne.

Pendant la compression de 152 m à 300 m, les fréquences delta et thêta sont renforcées sur les dérivations antérieure et moyenne. Cette augmentation est de l'ordre de 300 % par rapport aux valeurs de surface.

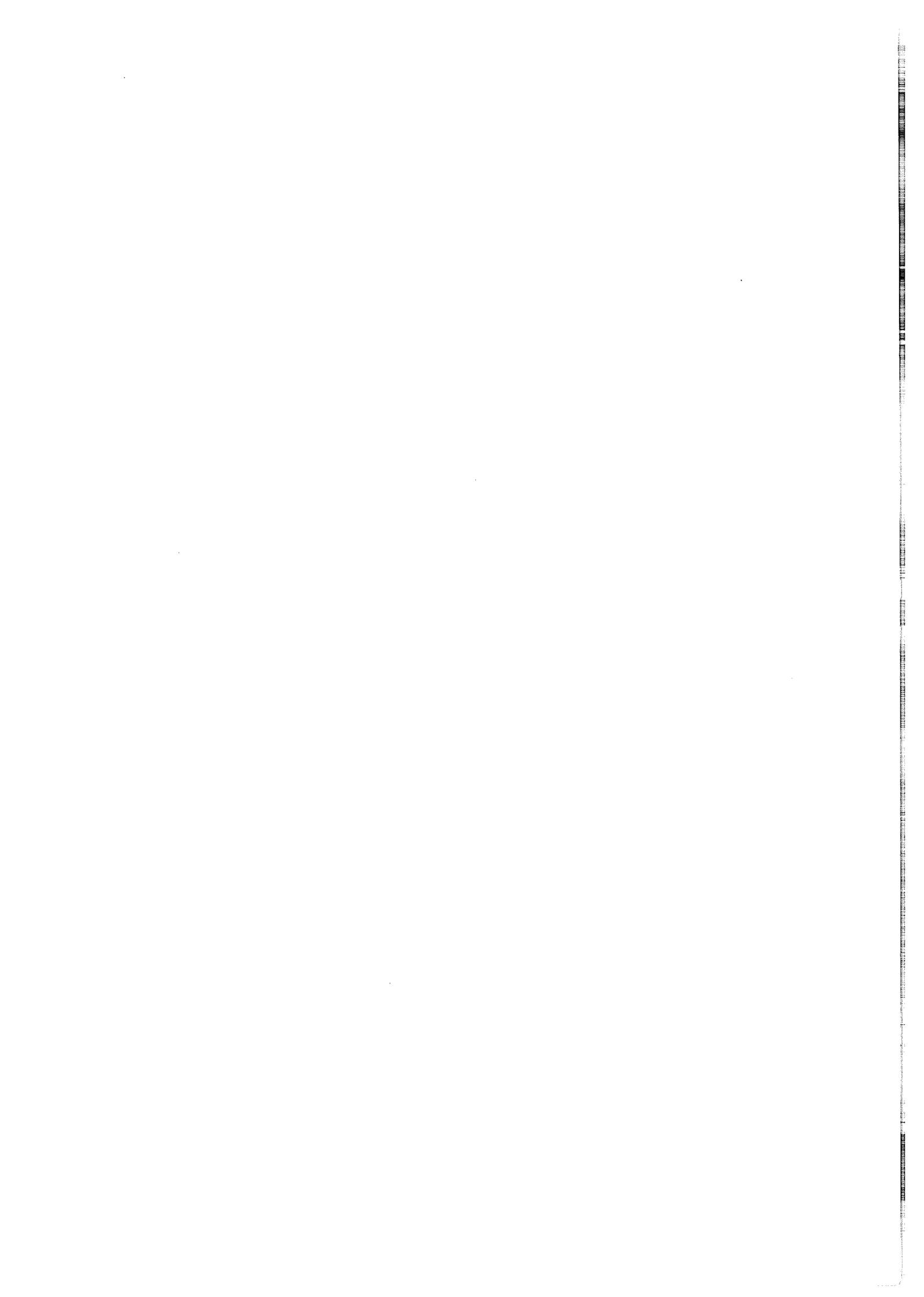
Pendant le séjour

Les activités delta régressent très rapidement entre 24 et 48 heures après l'arrivée au fond. Par contre, les fréquences thêta augmentent encore et le maximum est atteint entre le 2ème et le 5ème jour du séjour dans les régions antérieure (600 %), moyenne (800 %) et postérieure (200 %).

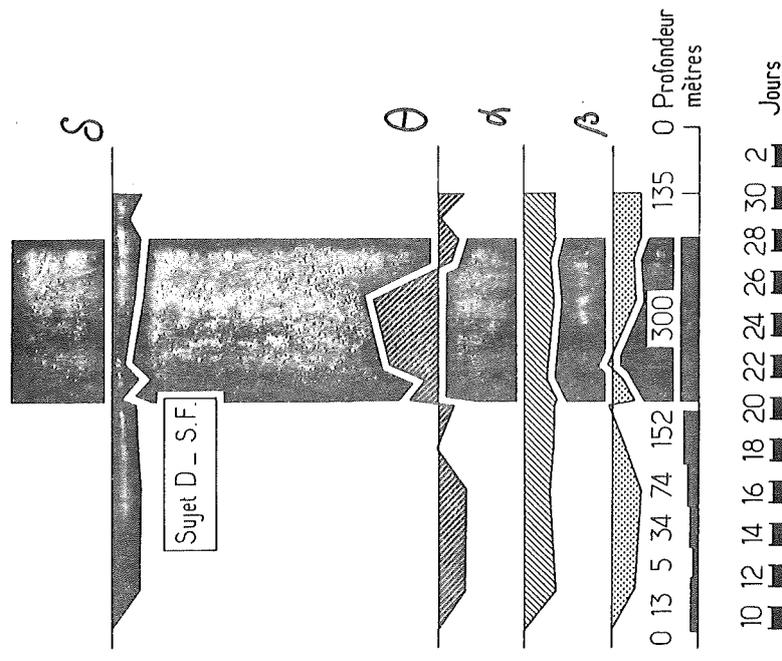
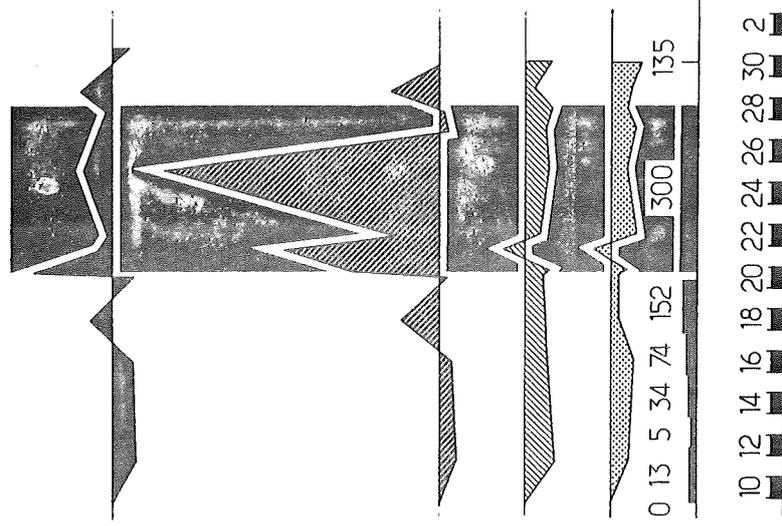
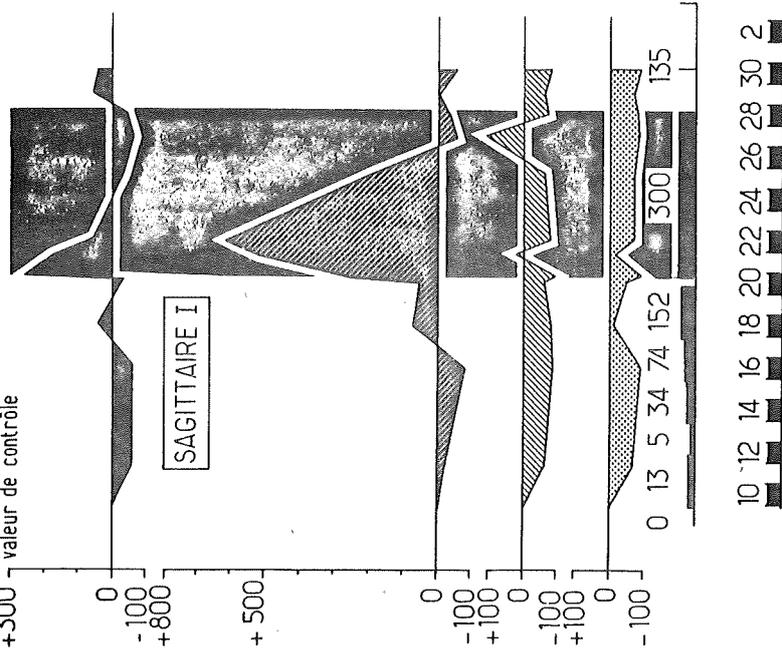
La puissance de ces activités diminue à partir du 6ème jour. La puissance des autres fréquences (alpha et beta) reste déprimée.

Pendant la décompression

La puissance des fréquences delta et thêta retrouve des valeurs proches de la normale vers 135 m. Par contre, les fréquences rapides restent déprimées.



différence en %  
par rapport à la  
valeur de contrôle



0 Profondeur  
mètres

0 Profondeur  
mètres

0 Profondeur  
mètres

0 Profondeur  
mètres

Jours

En résumé, l'analyse des tracés EEG et les résultats des spectres de puissance montrent qu'il existe 4 étapes dans l'évolution des modifications entre le début et la fin de la plongée.

1° - Les modifications EEG surviennent pendant la compression, surtout entre 152 et 300 mètres. Elles sont très importantes chez 2 sujets à l'arrivée à 300 m. Elles sont constituées par :

- une accentuation des activités thêta surtout dans les régions antérieure et / ou moyenne parfois accompagnée de celle des activités delta dans les mêmes régions.
- une dépression plus ou moins marquée des activités de fréquences rapides,
- il peut exister chez certains sujets des tracés évoquant un endormissement apparaissant quelques secondes après la fermeture des yeux.

2° - En début de séjour, les modifications EEG régressent chez 3 sujets.

3° - Les modifications EEG augmentent de nouveau vers le 4ème jour du séjour chez ces 3 mêmes sujets. En même temps, des tracés évoquant un stade de sommeil léger apparaissent après la fermeture des yeux chez la plupart des sujets.

4° - Pendant la décompression, la plupart des modifications EEG régressent entre 200 et 100 m. La somnolence persiste.

## C - LES POTENTIELS ÉVOQUÉS VISUELS MOYENS (P.E.V.M.).

### I - TECHNIQUES

Des potentiels évoqués visuels moyens ont été réalisés sur les quatre sujets. Une lampe de stroboscope (Vareclat TR) est introduite dans le caisson. De ce fait, la distance séparant les yeux du sujet et le flash n'excède pas 20 cm. Les stimulations lumineuses sont dispensées à raison d'un flash par seconde, et les séquences comportent 50 stimulations. Les réponses évoquées sont recueillies en bipolaire (dérivation vertex-médian occipitale). Elles sont visualisées sur oscilloscope "Tektronix" et enregistrées sur bandes magnétiques analogiques (EPI 2C CDC-SCHLUMBERGER).

Plusieurs séquences ont été réalisées au cours de la compression, du séjour à 300 m et de la décompression chez les 4 sujets.

Le traitement des résultats consiste en une sommation des réponses évoquées au moyen d'un petit calculateur "ENHANCETRON 1024", le calculateur étant déclenché par des tops de synchronisation enregistrés sur la bande magnétique et précédant la stimulation lumineuse.

La sommation porte sur 50 potentiels de 500 minutes de durée. L'analyse consiste à mesurer l'amplitude des différentes composantes du PEVM numérotées de I à VII selon la nomenclature de Gastaut (1964) et de la latence existant entre la stimulation et l'apparition des diverses composantes.

## II - RESULTATS

Les résultats n'ont pu être exploités à 100 % du fait de difficultés inhérentes à la présence intermittente d'une phase à la terre parasitant les enregistrements.

.../...

I°) - MORPHOLOGIE DES PEVM EN SURFACE

Les potentiels évoqués présentent les caractéristiques classiques des PEVM décrits par de nombreux auteurs.

Ils sont constitués de deux parties, une réponse précoce comprenant les ondes I, II et III et IV selon la nomenclature de Gastaut (1964) et une partie tardive comprenant les ondes V et VI. La réponse spécifique serait constituée par les ondes I, II et III.

Une post-décharge rythmique peut compléter la réponse.

Pour la présente étude, seules les Ondes II, III, IV, V et VI ont été prises en considération, l'onde I n'étant pas toujours visible.

Les latences d'apparition des différentes composantes chez les 4 sujets se répartissent comme suit :

	SUJET A (A.B)	B (B.B.)	C (L.P.)	D (S.F.)
Onde II	54 ms	42 ms	35 ms	60 ms
III	85 ms	77 ms	77 ms	80 ms
IV	112 ms	112 ms	120 ms	104 ms
V	140 ms	162 ms	166 ms	185 ms
VI	160 ms	190 ms	200 ms	250 ms



Chez presque tous les sujets, l'onde V présente des variations morphologiques ; elle est soit monophasique, soit triphasique ( $V_{a, b, c}$ ) : dans ce cas, seule l'onde  $V_a$  est prise en considération.

L'amplitude maximale de la réponse mesurée pic à pic entre les 2 points les plus espacés des ondes III et IV est la suivante :

Sujet A :  $8 \mu V$       Sujet B :  $40 \mu V$       Sujet C :  $16 \mu V$

Sujet D :  $9 \mu V$

## 2°) - MODIFICATIONS MORPHOLOGIQUES DES PEVM AU COURS DE LA PLONGEE

### a) - les latences

- Pendant la compression par paliers de 0 à 152 m :

Les latences des diverses composantes des PEVM des sujets A, B et D ne varient pas de façon significative.

Chez le sujet C, la latence de l'onde II est augmentée (fig. 10).

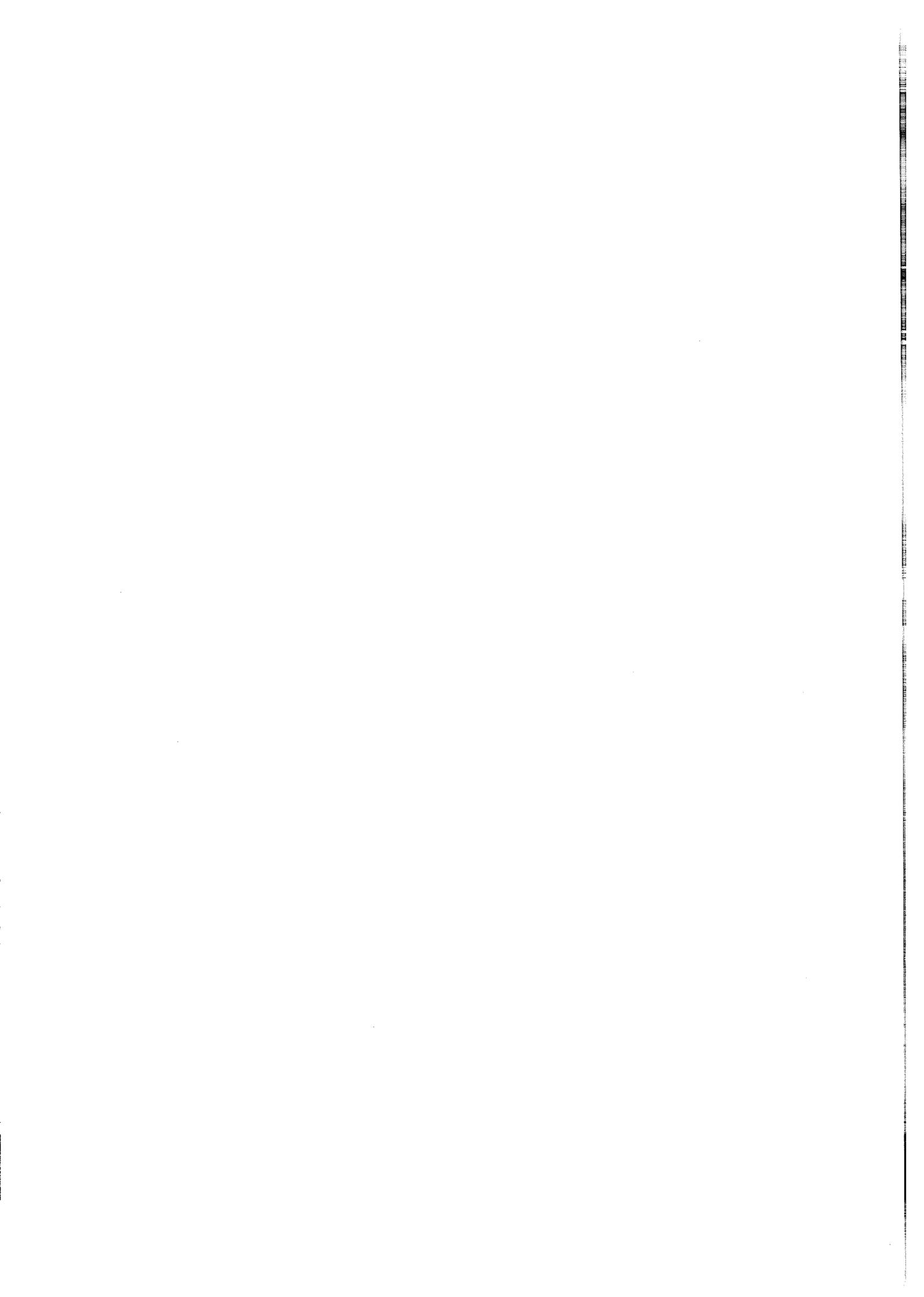
- Pendant la compression de 152 à 300 m :

Pendant cette phase, des variations plus importantes apparaissent. Elles concernent surtout les ondes II et VI des sujets B, C et D. (fig. 9, 10, 11).

Ainsi, la latence de l'onde II est raccourcie chez les sujets B et D, légèrement augmentée chez le sujet C. Celle de l'onde VI est augmentée chez les trois sujets.

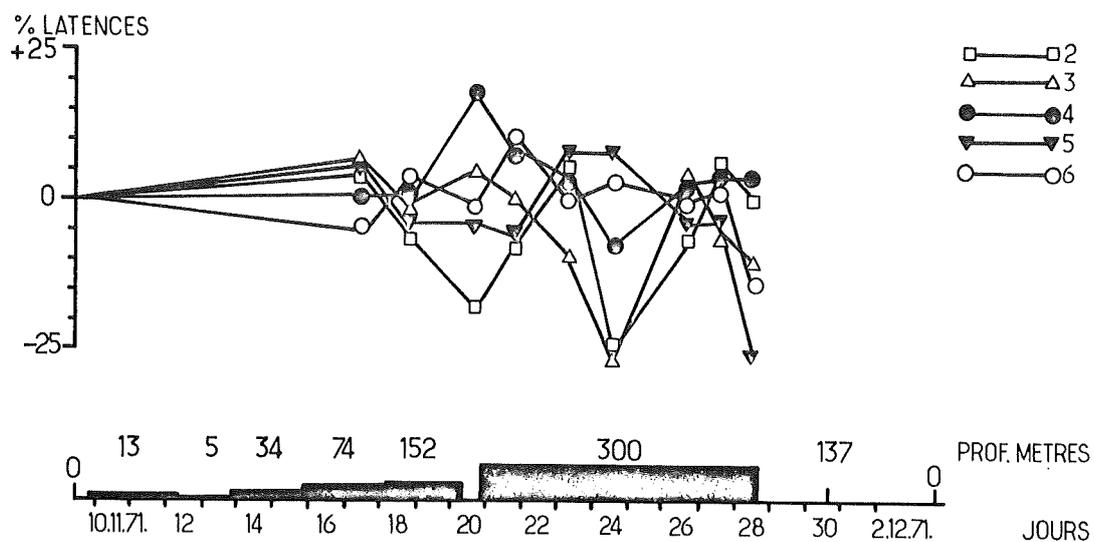
- Pendant le séjour à 300 m :

Les latences ne varient pas en dehors des limites physiologiques chez les sujets A et D, à l'exception chez ce dernier d'un raccourcissement de latence des ondes II et III, le 4ème jour du séjour (fig. 11). Chez le sujet B, les latences des ondes II et VI, demeurent supérieures à la normale (fig. 9) .



# SAGITTAIRE I

Su. D: S.F.



**FIG.11**

Evolution des latences des diverses composantes du PEVM du sujet D ( S.F.)  
 au cours de la plongée .

Même légende que la Fig.9

(Commentaire voir le texte ) .



Chez le sujet C, la latence de l'onde II continue à augmenter alors que celle de l'onde VI diminue pour retrouver des valeurs proches de la normale. De plus, à partir du 4ème jour, les latences des ondes II et IV se rallongent (fig. I0).

- Pendant la décompression :

Un retour à la normale est observé dans la plupart des cas, pour certaines composantes. Par contre, pour d'autres, les modifications persistent ou apparaissent.

Ainsi, chez le sujet A, les latences des ondes V et VI sont considérablement augmentées.

b) - les amplitudes

-----

Pendant la compression par paliers de 0 à 152 m.

Des modifications différentes apparaissent selon les enregistrements effectués le 2ème jour du palier à 74 m ou le premier jour du palier à 152 m.

Ainsi à 74 m, c'est une augmentation d'amplitude qui prédomine. Elle intéresse les ondes II (sujets B et C), IV (sujet D), V (sujets BCD) et VI (sujets B et D). Dans les autres cas, l'amplitude est peu modifiée. Dans un cas, chez le sujet D, l'amplitude de l'onde III est diminuée (fig. I2 à I7).

A 152 mètres, c'est au contraire une diminution d'amplitude qui prédomine. Elle concerne la plupart des ondes chez tous les sujets :

Onde II	sujets A et D
Ondes III et IV	sujets A - B - C - D
Onde V	sujets A - C - D
Onde VI	sujets C et D

L'augmentation d'amplitude persiste pour l'onde II chez les sujets B et C et pour les ondes V et VI chez le sujet B.

Pendant la compression de 152 à 300 m,

L'exploitation des résultats effectuée chez trois des quatre sujets montre que la diminution d'amplitude reste prédominante.

Elle concerne toutes les ondes chez le sujet D, les ondes III et IV chez les sujets B et C.

L'augmentation d'amplitude persiste pour l'onde II (sujets B et C) et pour l'onde IV (sujet B). Elle apparaît pour les ondes V et VI chez le sujet C.

Pendant le séjour à 300 mètres :

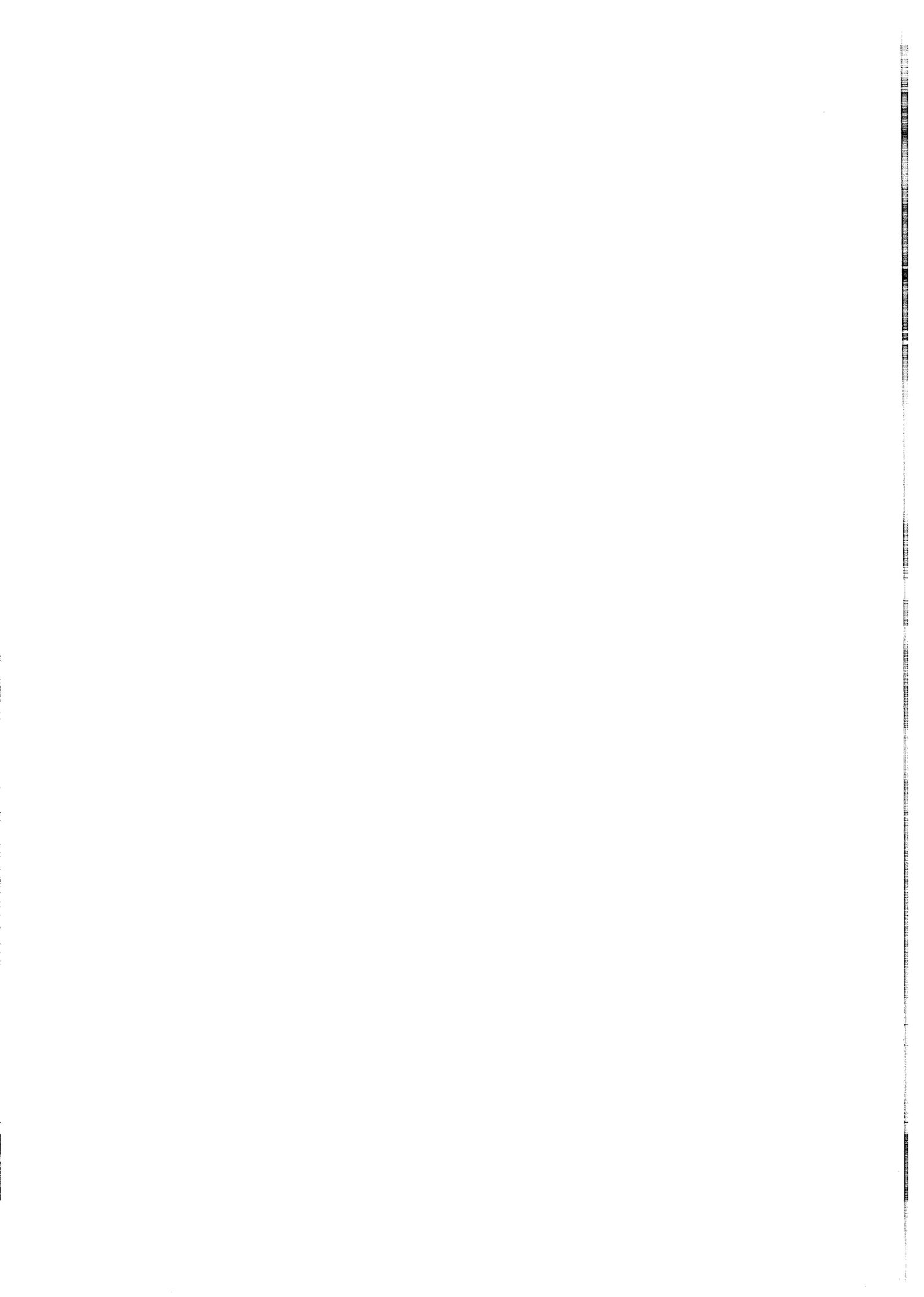
En début de séjour, une nouvelle augmentation d'amplitude est observée. Elle est plus ou moins importante selon les composantes et les plongeurs.

Cette augmentation d'amplitude concerne toutes les composantes chez le sujet C. Elle est nuancée chez les autres sujets puisqu'elle ne concerne que les composantes II et VI chez le sujet A, II, V, VI chez le sujet B, IV, V, VI chez le sujet D. Chez ce dernier, l'augmentation d'amplitude ne dépasse pas 60 % alors qu'elle atteint 200 et 300 % pour certaines composantes des sujets A et B.

La diminution d'amplitude persiste et s'accroît même dans certains cas pour les ondes II (sujet C), III (sujets A. B. C.), IV (sujets A et B) V (sujet A).

En fin de séjour, l'amplitude de toutes les composantes qui avaient subi une augmentation, rediminue. D'une façon générale, le dernier jour du séjour au fond, toutes les composantes ont une amplitude inférieure à la normale chez les 4 sujets.

.../...



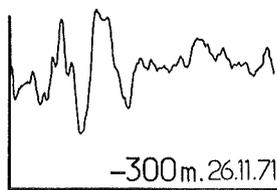
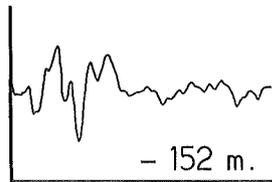
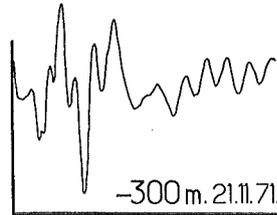
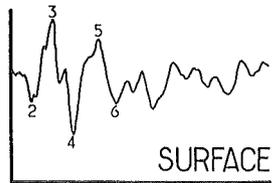
P.E.V.M.

N = 50

SAGITTAIRE I.

Su. C.: L.P.

Y.F.



10 $\mu$ v

500 msec

FIG.13

Evolution de la morphologie des PEVM du sujet C en surface , à différentes profondeurs pendant la compression et à différents jours au cours du séjour à 300m .  
On observe une diminution d'amplitude pendant la compression .Mais chez ce sujet, elle est surtout visible à 152 m .  
L'augmentation d'amplitude est visible à 252m , elle s'atténue pendant le séjour.

P.E.V.M.

N = 50

SAGITTAIRE I

Su. D : S. F.

Y. F.

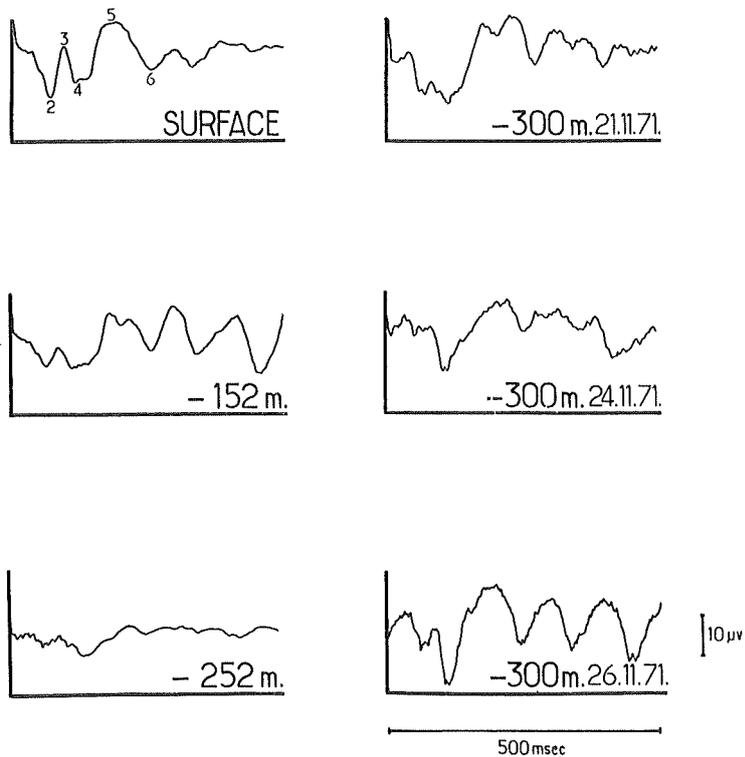


FIG.14

Evolution de la morphologie des PEVM du sujet D en surface, à différentes profondeurs pendant la compression et à différents jours pendant le séjour à 300 m .

On observe une disparition quasi totale de la réponse à 252 m .

Pendant le séjour l'augmentation d'amplitude est surtout visible pour les ondes 4, 5 et 6 .

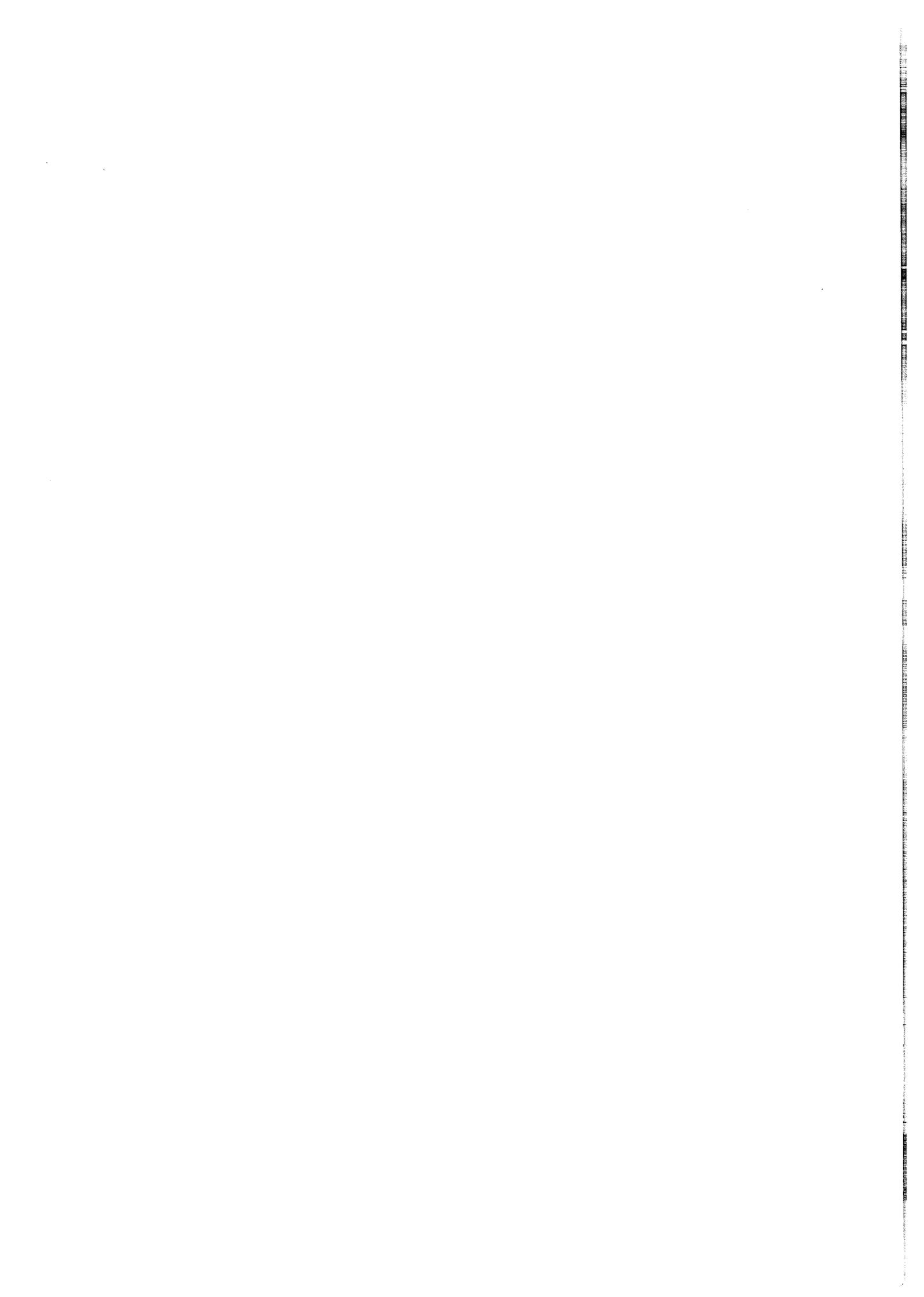
Les ondes 2 et 3 sont en général, moins amples qu'en surface .

Pendant la décompression :

L'évolution du PEVM du sujet D n'a pu être exploitée.

Chez deux des sujets (A et C), l'amplitude des différentes composantes augmente et les ondes II, V, VI dépassent même les valeurs des contrôles.

Chez le sujet B, l'amplitude reste inférieure à la normale.



# SAGITTAIRE I

Su. C : L.P.

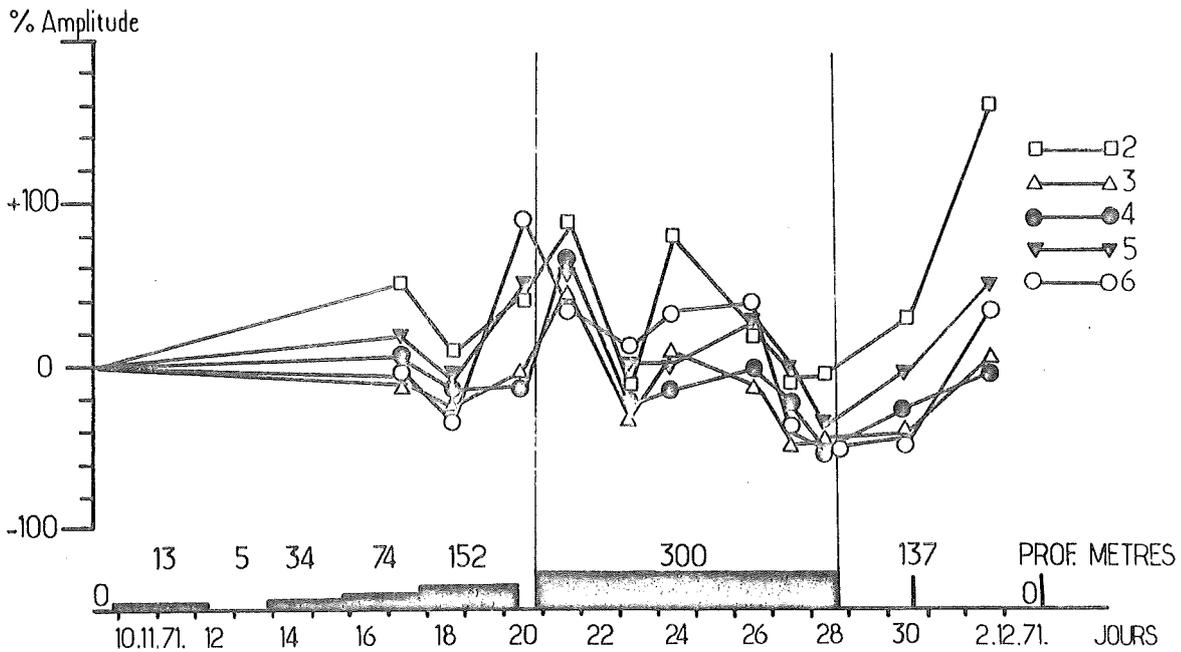


FIG. 16

Variation de l'amplitude des différentes composantes des PEVM du sujet C au cours de la plongée .

(Même légende que la Fig . 15 ) .

A 152 m l'amplitude des diverses composantes est légèrement inférieure à la normale ( 20 à 40% ) .

Par contre pendant la compression et une partie du séjour , l'amplitude des ondes 2,5 et 6 est supérieure à la normale .

En fin de séjour , l'amplitude des PEVM décroît .

Pendant la décompression l'amplitude des ondes 2,5 et 6 augmente à nouveau .

# SAGITTAIRE I

Su. D : S.F.

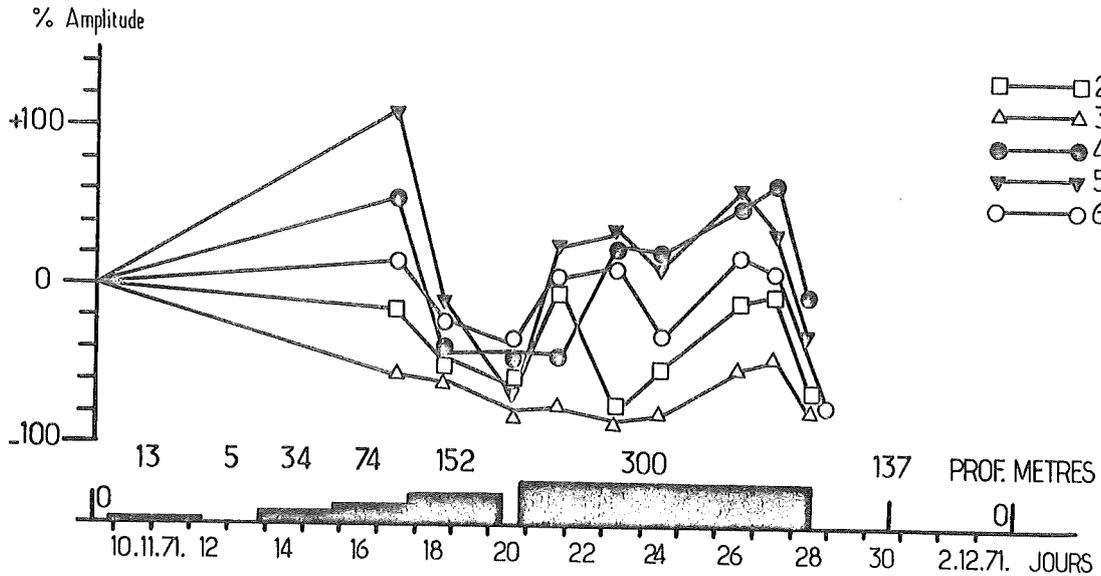


FIG.17

Variation de l'amplitude des différentes composantes des PEVM du sujet D au cours de la plongée .

( Même légende que pour la Fig. 15 ) .

On peut remarquer que l'augmentation d'amplitude concerne les ondes 4 , 5 , 6 et qu'au contraire les ondes 2 et 3 sont moins amples qu'en surface .

La diminution d'amplitude à 152 m et pendant la compression de 152 m à 300 m est notée pour toutes les ondes .

## EN RESUME

-----

Les variations de latence apparaissent pendant la compression rapide de 152 à 300 m ; elles persistent pendant le séjour et dans certains cas pendant la décompression. Il s'agit surtout d'un rallongement plus ou moins important de la latence de la plupart des composantes chez tous les sujets, à l'exception du sujet D. Chez ce dernier, les latences tendent à se raccourcir pendant le séjour.

Les variations d'amplitude sont beaucoup plus nettes, elles apparaissent dès 74 m. Ainsi, pendant les phases de compression ou en début de palier, la diminution d'amplitude prédomine. Par contre, en fin de palier ou pendant le séjour au fond, les amplitudes tendent à augmenter. En fin de séjour à 300 m, les amplitudes diminuent de nouveau et tendent vers des valeurs normales ou inférieures à la normale.

Pendant la remontée, l'amplitude tend à augmenter de nouveau.

L'augmentation d'amplitude est généralement observée pour les ondes II, V et VI et parfois IV. La diminution d'amplitude est notée surtout pour l'onde III et parfois l'onde IV.

Les modifications des diverses composantes des PEVM semblent présenter une plus grande uniformité chez les sujets qui ont les modifications EEG les plus importantes, c'est-à-dire les sujets C (L.P.), et D (S.F.) (fig. 15 et 16).

## D - COMMENTAIRES

Au cours de la plongée SAGITTAIRE I, l'évolution des modifications cliniques, d'une part, et celle des modifications EEGraphiques, d'autre part, présentent certaines analogies.

### I - MODIFICATIONS CLINIQUES ET EEGraphiques

I°) - Au point de vue clinique, le tremblement est apparu entre 200 et 300 m. Son intensité à l'arrivée à 300 m est inférieure à celle notée pour la même profondeur dans PHYSALIE V, bien que dans le cas présent, la vitesse ait été plus rapide.

- On peut donc penser que l'effet de la vitesse de compression rapide, mis en évidence dans PHYSALIE V, ait été compensé par l'existence de paliers à des profondeurs intermédiaires.
- De plus, l'importance de la variation de pression doit intervenir; en effet, pour une vitesse de compression de 1 m/min le tremblement n'apparaît seulement que lors de la compression de 152 à 300 m et non pour les compressions qui ont précédé, de 74 à 152 m par exemple.

Ces 2 hypothèses semblent être confirmées par le fait que le tremblement disparaît entre 24 et 48 h après l'arrivée au fond.

La recrudescence du tremblement, au cours du séjour à 300 m, chez deux des sujets, pourrait être due à un effet secondaire de la vitesse de compression, mais elle pourrait être également en relation avec un effet de la "pression par elle-même" ou un effet "pression mélange associé". La disparition du tremblement pendant la décompression semblerait étayer également ces 2 dernières hypothèses.

.../...

2°) - Au point de vue EEGraphique, les modifications peuvent apparaître très tôt (74 m) chez certains sujets.  
Cependant, chez tous, c'est au cours de la compression de I52 à 300 m que l'on trouve les principales perturbations (accentuation des fréquences lentes, transformation rapide à la fermeture des yeux du tracé de veille en tracé de sommeil).

Ces modifications peuvent être importantes (cas des sujets C et D). La vitesse de compression rapide à des profondeurs relativement grandes, apparaît être la seule cause de ces modifications ; en effet, on note une accentuation de 300 à 700 % pour les activités de fréquence thêta, alors que pour les mêmes profondeurs, au cours de PHYSALIE V où la compression était plus lente, ces modifications n'atteignaient pas 200 %. La régression de ces modifications entre 24 et 48 h après l'arrivée au fond semble confirmer l'hypothèse d'un effet vitesse de compression.

La nouvelle accentuation de ces signes EEGraphiques qui survient au milieu du séjour et qui persiste jusqu'au début de la décompression, chez trois des sujets pose un problème.

Elle peut être la conséquence de perturbations secondaires des microtraumatismes entraînés par la compression. Elle peut être aussi celle d'un effet pression par elle-même (mais on s'explique mal pourquoi il y a eu une amélioration dans un cas (sujet D), ou celle d'un effet pression - mélange associé. L'amélioration notée chez le sujet D a coïncidé avec une augmentation de la  $PiO_2$  qui est passée de 400 à 600 mb, cependant, on n'observe pas d'évolution analogue chez les trois autres sujets.

La décompression, à l'inverse, semble avoir eu un effet bénéfique chez tous les sujets, tout au moins sur l'EEG, à l'exception de la tendance à la somnolence qui a persisté.

.../...

Cette tendance à la somnolence diurne qui réapparaît pendant le séjour, qui persiste pendant la décompression et plusieurs jours après la fin de la plongée, ne semble pas pouvoir être rattachée de façon certaine au S.N.H.P. comme celle apparue transitoirement pendant la compression chez certains sujets. Cette somnolence diurne secondaire pourrait avoir pour origine une certaine désorganisation du sommeil nocturne, un excès de fatigue accumulé au cours de la plongée auxquels pourrait s'ajouter l'ennui causé par le confinement en caisson surtout pendant la décompression où les sujets ont été peu sollicités.

Enfin, on retrouve le ralentissement secondaire de l'alpha déjà décrit lors de JANUS II et de PHYSALIE V (CNEXO - COMEX 1970 - 1971 ; ROSTAIN et LYAGOUBI 1971). Ce ralentissement apparaît vers le 2ème, 3ème jour du séjour à 300 mètres chez 3 sujets, (A.B.C.) soit I2 à I3 jours après le début de la plongée ; dès 152 m, soit 8 jours après le début de la plongée chez le 4ème plongeur, (sujet D:S.F.). Comme ce dernier sujet a présenté une somnolence également précoce par rapport aux autres plongeurs, on peut se demander s'il n'existe pas une relation entre le ralentissement de l'alpha et la tendance à la somnolence.

3°) - Il faut remarquer de plus qu'il existe dans certains cas, une dissociation entre l'évolution du tremblement et celle des modifications EEG : un sujet peut avoir des modifications EEG notables, sans présenter un tremblement important (sujet D), et vice versa (sujet B).

4°) - En conclusion, l'examen de l'évolution des modifications cliniques et EEGraphiques permet donc de dire que dans l'apparition des symptômes interviennent certainement :

- la vitesse de compression
- l'importance de la variation de pression.

.../...

Il reste des incertitudes en ce qui concerne :

- l'effet de la pression par elle-même,
- l'effet "pression - mélange" associé
- l'effet de la durée du séjour en pression.

Pour dissocier ces effets, il faudrait amener les plongeurs dans les meilleures conditions possibles, à la profondeur désirée afin d'éliminer ou de limiter les effets dus à la compression.

## II - L'ETUDE DES PEVM

I°) - L'étude des PEVM permet de montrer dans nos conditions expérimentales surtout des variations d'amplitude de la réponse évoquée. Ces variations sont plus ou moins nuancées selon les sujets et les diverses composantes de la réponse. De plus, pour une même onde, la variation n'est pas toujours analogue d'un sujet à l'autre.

La plongée provoque des modifications de types différents selon les ondes des PEVM. Mais on peut dire que globalement on obtient soit une diminution d'amplitude du PEVM, soit au contraire une augmentation de son amplitude.

- la diminution d'amplitude peut être due à la vitesse de compression ; en effet, elle est préférentiellement observée pendant la compression et surtout entre 152 et 300 m.
- l'augmentation d'amplitude des PEVM a été trouvée systématiquement pendant le séjour à profondeur constante. Cette augmentation n'est que transitoire et est d'interprétation difficile. Elle peut être due à un effet secondaire de la compression trop rapide, ou au contraire, à l'arrêt de la compression, véritable "rebound" puisqu'il existait une dépression relative pendant la compression. Elle peut être due à un effet pression, mais elle disparaît en général à la fin du séjour, si bien qu'il faut admettre alors une "adaptation à la pression". Elle peut être due à un effet pression - mélange associé, ce qui paraît

possible étant donné qu'elle a disparu chez tous les sujets au moment où la  $PIO_2$  a été augmentée.

BENNETT et TOWSE (1971) ont observé au cours d'une plongée à 457 m une diminution du potentiel évoqué auditif. LANGLEY (1972) rapporte à côté de la diminution d'amplitude de la réponse auditive, une augmentation d'amplitude des potentiels évoqués somesthésiques au cours d'une plongée à 360 m, effectuée avec une compression très lente (8 jours); il explique la différence entre les 2 types de réponses par le fait que la perception des sons peut être perturbée dans les conditions hyperbares, hypothèse également émise par ACKLES et FOWLER (1971). Selon LANGLEY (1972), l'augmentation d'amplitude de la réponse somesthésique serait la conséquence des effets hypersynchronisants de la baisse du niveau de vigilance observée au cours de la plongée.

Dans notre expérience, il existe également une baisse du niveau de vigilance dont témoignent les endormissements fréquents, qui pourrait jouer un rôle dans l'augmentation d'amplitude des PEVM. On sait, en effet, (CORLETT et coll. 1967) que l'amplitude du potentiel évoqué augmente lors de l'endormissement. Cependant, cette explication n'est pas valable en fin de séjour puisque le PEVM tend à diminuer d'amplitude alors que la somnolence persiste.

En conséquence, à côté du rôle possible de la baisse du niveau de vigilance, il faut envisager l'intervention d'autres facteurs.

2°) - Il n'apparaît pas de parallélisme très étroit entre l'évolution des modifications des PEVM et celle des autres modifications du S.N.H.P.

Si pendant la compression, la diminution d'amplitude du PEVM qui prédomine est parallèle à l'apparition et à l'augmentation des modifications EEG, en revanche, pendant le séjour, la tendance à l'augmentation d'amplitude du PEVM n'est pas toujours parallèle aux variations de l'EEG. Il en est de même pour la décompression.

.../...

Cependant, les modifications des diverses ondes des PEVM apparaissent d'autant plus uniformes que les perturbations EEG sont importantes (sujets C et D). Il apparaît donc difficile actuellement d'invoquer l'intervention de tel ou tel mécanisme dans les modifications des PEVM, d'autant plus que certaines sont contradictoires.

#### E - CONCLUSION GENERALE A L'ETUDE NEUROPHYSIOLOGIQUE

L'étude neurophysiologique réalisée au cours de SAGITTAIRE I a apporté des résultats substantiels.

Certains, comme ceux apportés par l'étude des PEVM, sont d'interprétation encore difficile.

Ceux apportés par l'EEG et l'étude du tremblement semblent être plus utilisables dès maintenant.

La vie à saturation à 300 mètres dans des conditions relativement bonnes peut être envisagée. Il faut éviter une compression trop rapide que l'on a vu être traumatisante d'emblée, et dont les conséquences secondaires ne sont pas connues.

De plus, quelques réserves sont encore à faire sur le rôle que peut jouer la durée du séjour en pression. Comme nous l'avons vu dans certains cas, une accentuation des symptômes réapparaît secondairement, et le relèvement de la  $PiO_2$  est insuffisant pour entraîner une amélioration chez tous les sujets.

Il est donc nécessaire de poursuivre ce type d'expérimentation en réalisant des plongées de plus longue durée avec des méthodes de compression mieux adaptées.

## C O N C L U S I O N S

-----

Saturation expérimentale à six profondeurs successives et sous des pressions partielles d'oxygène allant de la presque normoxie à l'hyperoxie limite, Sagittaire I nous a fourni une somme appréciable d'informations nouvelles ; surtout en ce qui concerne le bilan thermique de l'homme en atmosphère d'Hélium hyperbare et les variations de ses constantes biologiques sanguines tout au long de son séjour aux grandes profondeurs.

Il a fallu pour cela que le confortable volume de l'hydrosphère du C.N.E.X.O. permette l'installation "in situ" de deux laboratoires : l'un de bioclimatologie (les océanauts réalisant parfaitement les manipulations auxquelles ils avaient été soigneusement entraînés, pour la mesure des échanges thermiques), l'autre d'hématologie (l'un des océanauts étant un médecin biologiste qui, bien que non plongeur, déploya une intense activité durant toute l'expérience).

La parfaite efficacité des uns (les trois plongeurs) et de l'autre (le Médecin) nous a démontré que ni une méthodologie nouvelle (pour ceux-là) ni la vie en caisson, même sous 30,8 ATA d'Héliox (pour tous) n'ont modifié leur comportement, réduit leurs facultés intellectuelles, altéré leur humeur.

Il a fallu vraiment se livrer à des investigations neurophysiologiques très fines pour détecter chez tous les sujets l'apparition, lors de la compression rapide de 152 à 300 Mètres, d'un syndrome nerveux des hautes pressions. S.N.H.P. à minima mais dont les signes EEGraphiques s'accroîtront en fin de séjour à 300 mètres. La mesure précise du tremblement et l'exploitation exhaustive des tracés E.E.G. nous donnent à réfléchir sur l'étiologie du syndrome à laquelle participent, plus ou moins certainement,

- la vitesse de compression,
- l'effet pression,
- l'effet pression/gaz,
- la durée du séjour.

Etant donné l'importance de ce problème, sinon pour 300 mètres, du moins pour des profondeurs plus grandes, toute la partie neurophysiologique de ce rapport vaut que l'on s'y attarde.

L'étude ergonomique des Océanauts comportait deux aspects :

- a) - Les réactions psychiques et sensori-motrices soumises à des tests renouvelés.

Si l'on enregistre chez tous une baisse discrète et inconstante au cours du séjour, des performances sensori-motrices, on ne constate aucune variation notable en ce qui concerne l'efficacité intellectuelle : ce qui confirme la stabilité du comportement évoqué plus haut.

- b) - L'adaptation au travail musculaire -

Les réactions cardio-vasculaires à l'effort ne différaient pas de celles enregistrées en surface. On nota toutefois une légère diminution de la fréquence cardiaque en fonction de l'augmentation de la  $PiO_2$ .

Le travail musculaire sous ses diverses formes ne fut pas altéré.

Tout ce qui précède est très rassurant quant aux possibilités opérationnelles à la profondeur de 300 m.

Sur le plan nutritionnel, rien à signaler d'important, si ce n'est un léger amaigrissement des quatre sujets, sans relation avec la ration calorique ni avec le bilan hydrique.

Le syndrome articulaire des hautes pressions n'a pas épargné les plongeurs à partir de 75 m, mais il fut peu gênant et les douleurs n'ont jamais diminué l'habileté manuelle.

Les constantes sanguines - tant en ce qui concernait les éléments figurés, que les lipides et les immuno-globulines - n'ont pas subi de modifications importantes.

Seul le nombre de globules rouges a diminué, et cela jusqu'au retour à la surface.

Il est permis de penser que cette hypoglobulie était en rapport avec l'augmentation de la pression partielle d'Oxygène, surtout à 600 mb.

La chute du nombre des plaquettes au cours de la décompression est un fait assez remarquable.

A la lumière des connaissances récemment acquises, nous aurions tendance à attribuer ce phénomène au développement de bulles infra-cliniques dans le sang des plongeurs à la remontée.

Les recherches effectuées sur les enzymes sériques ne mettent pas en évidence des variations significatives, sauf peut-être en ce qui concerne l'haptoglobine dont le taux augmente au cours de la compression, sans que nous sachions expliquer, pour le moment, l'origine du phénomène.

Les résultats comparés des mesures de pression osmotique effectuées sur le sang des plongeurs en surface et en hyperbarie, sont assez troublants : 50 mb en surface, et 350 à 400 mb au fond chez tous les sujets, cela représente une augmentation importante. La reproductibilité de ces variations reste à démontrer.

Quoiqu'il en soit, l'osmométrie nous a ouvert des horizons quant aux modifications biophysiques possibles des liquides organiques en hyperbarie.

L'expérimentation "in vitro" semble démontrer que ces modifications sont davantage liées aux gaz dissous qu'à l'effet de la pression par elle-même.

D'autres procédés d'études de la conformation des biopolymères sanguins devraient compléter l'osmométrie pour nous apporter plus de certitude.

Il est évident que devant la discrétion des réactions biochimiques aux grandes profondeurs, l'hypothèse de modifications biophysiques reste très séduisante et vaut que l'on poursuive des recherches dans cette voie.

Les seuls phénomènes pathologiques liés à l'environnement semblent être les infections bactériennes et mycosiques. Leurs manifestations sont gênantes et pénibles pour les plongeurs, en particulier les otites externes.

L'étude mycobactériologique qui a été effectuée semble démontrer l'influence prioritaire du degré d'hygrométrie : l'humidité favorisant la macération sous une température élevée. Ce micro-climat tropical sans soleil est certainement en cause.

La première mesure à prendre reste le contrôle du degré d'hygrométrie à maintenir au-dessous de 60 % si possible ; à cela s'ajouteront certainement des procédés de protection locale qu'il faudra perfectionner.

En ce qui concerne le bilan thermique, il nous serait impossible, sans les défigurer, de résumer les conclusions du rapport en Annexe III.

Il s'agit là encore d'une expérimentation originale et rigoureuse dont l'enseignement doit se traduire par une meilleure protection des plongeurs contre les pertes caloriques cutanées et respiratoires aux grandes profondeurs.

## B I B L I O G R A P H I E

-----

- ACKLES K.N. et B. FOWLER : Cortical evoked response and inert gas narcosis in man  
Aerospace Med. 43 : 1181 - 1184. 1971.
- BENNETT P.B. : The aetiology of compressed air intoxication and inert gas narcosis  
Pergamon Press, Oxford. 1966. 116 p.
- BENNETT P.B. : Changes in human physiology during simulated oxygen  
- helium exposures between 100 ft and 1500 ft.  
Royal Naval Physiological Laboratory ALVERSTOCKE Final report. 1971.
- BENNETT P.B. et E.J. TOWSE : The high pressure nervous syndrome during a simulated  
oxygen - helium dive to 1500 feet.  
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 31 : 388 - 393 . 1971.
- BRAUER R.W., S. DIMOV, X. et P. FRUCTUS, A. GOSSET et R. NAQUET :  
Syndrome neurologique et électrographique des hautes pressions,  
Rev. Neurol. Paris 121 : 264 - 265 . 1969.
- BUHLMANN A.A., H. MATTHYS, G. OVERRATH, P.B. BENNETT, D.H. ELLIOTT et S.P. GRAY :  
Saturation exposures at 31 ATA in an oxygen - helium atmosphere with excursion  
to 36 ATA.  
Aerospace Med. 41 : 394 - 402 . 1970.
- C.N.E.X.O.-COMEX  
JANUS II (Synthèses et Conclusions) rapport ELF/C.N.E.X.O. 34 p. 1970.
- C.N.E.X.O. - COMEX  
PHYSALIE V - Rapport COMEX/C.N.E.X.O. 105 p. 1971.
- CORLETTO F., A. GENTILOMO, A. ROSADINI, G.F. ROSSI et J. ZATTONI :  
Visual evoked responses during sleep in man  
Electroenceph. clin. Neurophysiol. Suppl. 26 : 61 - 69 . 1967.
- FRUCTUS X. : Down below the great depths.  
In proc. IIIème journée internationale d'hyperbarie et de physiologie subaquatique  
Marseille . 1970 - DOIN éditeurs Paris pp. 13 - 22 . 1972.

FRUCTUS X. et J. P. CHARPY : Etude psychométrique de 2 sujets lors d'une plongée fictive jusqu'à 52,42 ATA.

Bulletin MEDSUBHYP. 7 : 3 - 12 . 1972.

FRUCTUS X. et J. VIGREUX : Les plongées très profondes : point des résultats acquis.

Bulletin MEDSUBHYP. 2 : 23 - 25 . 1970.

GASTAUT H., F. BOSTEM, A. WALTREGNY, R. POIRE et H. REGIS :

Les activités cérébrales spontanées et évoquées.

Monographies de physiologie causale. Colloque de Marseille : GAUTHIER-VILLARD - Paris : 8. 1964. - 236 p.

LANGLEY T. D. : Somatic and auditory evoked brain responses in man breathing mixtures of normoxic helium, nitrogen and neon at pressures to 37 atmospheres (abstract). In. Proc. Fifth Underwater Physiology Symposium. Freeport. British Bahamas. 90 - 1972.

LEMAIRE C. et H. MONOD : Capacité de travail statique et électromyographie en hyperbarie et hyperoxie.

Bulletin MEDSUBHYP. 8 : 22- 25. 1972.

MONOD H. : Contribution à l'étude du travail statique

Thèse Doct. Méd. Paris : 1956.

OVERFIELD E. M., H.A. SALTZMAN, J.A. KYLSTRA et J. V. SALZANO.

Respiratory gas exchange in normal man breathing 0,9 % oxygen in helium at 31,3 ATA.

J. Appl. Physiol. 27.: 471 - 475 . 1969.

ROSTAIN J. C. : Evolution des potentiels évoqués visuels moyens chez l'homme au cours de séjours prolongés en atmosphère helium - oxygène à 300 et 500 M. In. Proc. First Meeting of the E.U.B.S. Stockholm Suède .1973 (in press).

ROSTAIN J. C. et S. LYAGOUBI : Résultats préliminaires d'une étude des activités E.E.G. de veille et de sommeil réalisée lors de plongées à saturation à 200 M.

Bulletin MEDSUBHYP. 5: 8-9. 1971 a.

ROSTAIN J. C. et S. LYAGOUBI : Etude electroencéphalographique de la veille et du sommeil sous hyperbarie prolongée en atmosphère helium-oxygène.

Rev. EEG Neurophysiol. I : 239 - 241 - 1971 b.

ROSTAIN J.C. et S. LYAGOUBI : E.E.G. study of waking and sleep under prolonged hyperbaric oxygen-helium atmospheres (opération JANUS II) (abstract)

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 32 : p. 578 - 580. 1972.

SCHERRER J. et H. MONOD : Le travail musculaire local et la fatigue chez l'homme.

J. Physiol. Paris 52 : 419 - 501 . 1960.

SCIARLI R., F. SICARDI, C. LEMAIRE et D. PROSPERI : Mycobactériologie et plongée à saturation.

Bulletin MEDSUBHYP. 9 : 15 - 21 , 1973.

SICARDI F. : La coagulation au cours de la plongée profonde.

Bulletin MEDSUBHYP. 4 : 15 - 16. 1970.

SICARDI F. et C. LEMAIRE : Expositions hyperbares de longue durée en hyperoxie modérée : Evolution des capacités vitales et des hématies.

Bulletin MEDSUBHYP . 8 : 18 - 21. 1972.

ANNEXE

-----  
LA DECOMPRESSION  
-----

La formule générale de la décompression après saturation s'écrit (cf rapport de synthèse JANUS II) :

$$\frac{dt}{dP} = \frac{T}{\text{Log } 2} \times \frac{DM}{dP} \times \frac{1}{10 P + 100 - H - M}$$

où  $\frac{dt}{dP}$  est l'inverse de la vitesse de décompression exprimé en minutes par mètre

T la période du tissu considéré exprimée en minutes

M la tension maximale tolérable de gaz inerte dissous dans le tissu considéré, exprimée en décimètres d'eau de mer

P la profondeur exprimée en mètres d'eau de mer

H la pression partielle d'oxygène exprimée en décimètres d'eau de mer

I - CHOIX DES DIFFERENTS PARAMETRES

a) caractéristiques générales

Cette décompression est effectuée à pression partielle d'oxygène constante et égale à 600 millibars .

Le pourcentage maximal d'oxygène dans le caisson reste fixé à 25 %, afin de supprimer les risques d'incendie; il en résulte qu'entre 14 mètres et surface, la décompression s'effectue à pourcentage d'oxygène constant et égal à 25 %, soit une pression partielle d'oxygène décroissant linéairement de 600 à 250 millibars jusqu'au retour en surface.

Le caisson reste sous mélange héliox jusqu'à l'arrivée en surface (pas de rinçage à l'air) et les plongeurs n'utilisent, normalement, aucun autre mélange que l'atmosphère du caisson (pas de port de masque, ni d'inhalation d'oxygène pur).

b) Période

Nous avons vu, lors de l'étude des décompressions des opérations "JANUS II" et "BELUGA", que le choix d'une période moyenne de 270 minutes s'avérait satisfaisant pour des décompressions de durée moyenne (3 à 4 jours).

Par ailleurs, les résultats de la décompression de l'opération "PHYSALIE V" nous ont montré que cette valeur de 270 minutes s'avérait probablement un peu faible en fin des décompressions de longues durées (de l'ordre de 8 jours) du fait d'une probable diminution progressive du taux de perfusion des sujets, dû à leur relative inactivité dans cette phase finale de l'opération.

C'est pourquoi nous avons, lors de SAGITTAIRE I, inauguré une méthode utilisant une période variable dans le temps et croissant au fur et à mesure de la diminution de profondeur.

Afin de simplifier les calculs correspondant, nous avons utilisé, dans cette première approche, une période T, fonction linéaire décroissante de la profondeur.

Nous avons choisi, à 300 mètres, la valeur  $T = 240$  qui, lors des différentes phases de l'opération "JANUS II" s'était avérée efficace en début de décompression. Nous avons conservé la valeur moyenne  $T = 270$  déduite des conclusions de JANUS II (phase III), PHYSALIE V et BELUGA.

Il en résulte une valeur de  $T = 300$  à l'arrivée en surface, plus conforme aux résultats de la phase finale de la décompression de "PHYSALIE V".

La fonction T de la profondeur s'écrit alors :

$$T = 300 - \frac{P}{5}$$

c) Fonction M

Suite aux résultats des opérations précédentes et en l'absence de données nouvelles nous permettant une recherche en ce domaine, nous avons conservé la fonction M définie lors de l'opération "JANUS II", soit :

$$M = \frac{P^2}{1500} + 10,2 P + 155$$

Ceci avait, de plus, l'avantage de nous permettre de mieux apprécier les résultats de la méthode à période variable par comparaison avec les opérations précédentes qui utilisaient la même fonction M.

II - CALCUL de la TABLE

La formule générale nous donne alors :

pour  $P \geq 14$  mètres (H = 60)

$$\frac{dt}{dP} = \frac{45.900.000 - 24.600 P - 4 P^2}{1.207.500 + 2100 P + 7 P^2}$$

et pour  $P \leq 14$  mètres (H = 2,5 P + 25)

$$\frac{dt}{dP} = \frac{45.900.000 - 24.600 P - 4 P^2}{840.000 + 28350 P + 7 P^2}$$

Au départ de 300 mètres, une phase de décompression "rapide" (1 mètre par minute) est possible jusqu'à la profondeur P telle que m(P) soit égal à la pression partielle de gaz inerte au fond.

Ce qui s'écrit (la pression partielle d'oxygène au fond, en fin de séjour, étant de 600 : millibars) :

$$\frac{p^2}{1500} + 10,2 P + 155 = 3000 + 100 - 60$$

d'où

$$P = 278 \text{ mètres}$$

Il en résulte la table suivante ( $-\frac{dt}{dP}$  étant, pour des raisons pratiques, arrondi à la minute supérieure) :

De 300 à 278 mètres	1 minute/mètre
de 278 à 272 mètres	17 minutes/mètre
de 272 à 254 mètres	18 minutes/mètre
de 254 à 237 mètres	19 minutes/mètre
de 237 à 221 mètres	20 minutes/mètre
de 221 à 206 mètres	21 minutes/mètre
de 206 à 192 mètres	22 minutes/mètre
de 192 à 178 mètres	23 minutes/mètre
de 178 à 165 mètres	24 minutes/mètre
de 165 à 152 mètres	25 minutes/mètre
de 152 à 140 mètres	26 minutes/mètre
de 140 à 128 mètres	27 minutes/mètre
de 128 à 116 mètres	28 minutes/mètre
de 116 à 104 mètres	29 minutes/mètre
de 104 à 92 mètres	30 minutes/mètre
de 92 à 80 mètres	31 minutes/mètre
de 80 à 68 mètres	32 minutes/mètre
de 68 à 57 mètres	33 minutes/mètre
de 57 à 46 mètres	34 minutes/mètre
de 46 à 35 mètres	35 minutes/mètre
de 35 à 24 mètres	36 minutes/mètre
de 24 à 14 mètres	37 minutes/mètre
de 14 à 13 mètres	38 minutes/mètre
de 13 à 12 mètres	39 minutes/mètre
de 12 à 11 mètres	40 minutes/mètre
de 11 à 10 mètres	41 minutes/mètre
de 10 à 9 mètres	42 minutes/mètre

sous 600 mb d'O<sub>2</sub>

sous 25 % d'O<sub>2</sub>

de 9 à 8 mètres	43 minutes/mètre
de 8 à 7 mètres	45 minutes/mètre
de 7 à 6 mètres	46 minutes/mètre
de 6 à 5 mètres	47 minutes/mètre
de 5 à 4 mètres	49 minutes/mètre
de 4 à 3 mètres	50 minutes/mètre
de 3 à 2 mètres	52 minutes/mètre
de 2 à 1 mètre	53 minutes/mètre
de 1 mètre à la surface	55 minutes

sous 25 % d'O<sub>2</sub>

### III - OBSERVATIONS CLINIQUES ET CONCLUSIONS

Cette décompression semble parfaite puisqu'elle s'est déroulée sans le moindre accident, mais il est difficile de conclure sur le cas de quatre sujets seulement.

LES EQUIPES SUIVANTES ONT PARTICIPE A L'OPERATION

---

- . LABORATOIRE DE NEUROPHYSIOLOGIE APPLIQUEE DE L'INSTITUT DE NEUROPHYSIOLOGIE ET DE PSYCHOPHYSIOLOGIE. C.N.R.S. MARSEILLE R. NAQUET  
et  
J.C. ROSTAIN
- . LABORATOIRE DE MEDECINE AEROSPATIALE DU CENTRE D'ESSAIS EN VOL. 9I. BRETIGNY-sur-ORGE et P. VARENE  
J. TIMBAL  
H. VIEILLEFOND
- . CENTRE REGIONAL DE TRANSFUSION SANGUINE. MARSEILLE L. BONDIL  
et  
F. SICARDI
- . LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE DU TRAVAIL C.N.R.S. PITIE SALPETRIERE PARIS J. SCHERRER  
H. MONOD et C. LEMAIRE
- . U.E.R. DE PSYCHOLOGIE. LUMINY. MARSEILLE J.P. CHARPY
- . CENTRE DE DIETETIQUE DE L'HOPITAL SAINT-JOSEPH. MARSEILLE G. SEGUI
- . LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES LIQUIDES DE LA FACULTE DES SCIENCES SAINT-CHARLES. MARSEILLE R. CHARMASSON  
R. CATELLA
- . LABORATOIRE DE BIOCHIMIE "LUCIEN CORNIL" DE LA FACULTE DE MEDECINE DE MARSEILLE R. AQUARON
- . POUR LA MYCOBACTERIOLOGIE R. SCIARLI
- . POUR L'APPAREIL OSTEO-ARTICULAIRE ET LE METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE V. CONTI
- . POUR LA CARDIOLOGIE M. BERGONZI.