



**HAL**  
open science

## PHYSALIE VI

Sa Comex

► **To cite this version:**

| Sa Comex. PHYSALIE VI. COMEX. 1972. hal-04464911

**HAL Id: hal-04464911**

**<https://hal.univ-brest.fr/hal-04464911>**

Submitted on 19 Feb 2024

**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° 72/496

MAI 1972

”  
**PHYSALIE VI**  
”

CENTRE EXPERIMENTAL HYPERBARE DE LA  
COMEX

**CNEXO**

39 Avenue d'Iéna  
75783 Paris Cedex 16

**COMEX**

Traverse de la Jarre  
13275 Marseille Cedex 2

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION :

RESULTATS PHYSIOLOGIQUES :

- Neurologie :.....	1
- Ergonomie : . Psychométrie.....	8
. Travail dynamique (ergocycle).....	17
. Travail statique.....	21
. Mécanique ventilatoire.....	23
. Estimation subjective de la fatigue.....	29
- Biologie :.....	42
- Diététique :.....	61
- Neurophysiologie :.....	63
. Tremblement.....	64
. Activités électroencéphalographiques....	68
. Activités EEG pendant le travail intel- lectuel.....	78
. Potentiels évoqués visuels et cycles d'excitabilité.....	89
- Bibliographie.	

PHYSALIE VI : 610 METRES

---

NOUVELLE PERFORMANCE MONDIALE  
DE PLONGEE PROFONDE EN CAISSON  
REALISEE A MARSEILLE  
AU CENTRE EXPERIMENTAL HYPERBARE  
DE LA COMEX, DU 16.5 AU 2.6.1972

---

Les plongeurs avaient été sélectionnés parmi ceux qui avaient parfaitement supporté les 500 mètres :

- . Patrice CHEMIN, 24 ans : "recordman" de la 520 mètres ;
- . Robert GAURET, 30 ans : ayant déjà effectué une saturation de 17 heures à 500 mètres.

Le Mardi 16 Mai, la compression commençait, suivant une courbe mise au point grâce aux résultats de PHYSALIE V et SAGITTAIRE II (départ à 15 m/h).

Ils passaient le 17, à 08.00, à 200 mètres (10 m/h), et arrivaient à 350 mètres, le 18 à 02.54.

Séjour de 46 heures à cette profondeur, qu'ils quittaient le 20, à 01.00. A 21.06, ils se trouvaient à 457 mètres et atteignaient 535 mètres le 21, à 17.54. Ils y passaient la nuit pour repartir le 22 à 08.00 et atteindre à 18.06, 565 mètres.

Nouveau palier à cette profondeur jusqu'au 23 Mai, à 08.00.

.../...

Considérant qu'il était possible de continuer, les responsables de l'opération décidaient de poursuivre la compression, à raison de moins de 3 mètres à l'heure, selon un schéma gardé en réserve et permettant d'atteindre 610 mètres.

Les plongeurs se trouvaient :

- . à 18.00 à 591 mètres
- . à 22.00 à 600 mètres

et le 24 Mai

- . à 01.20 à 610 mètres, soit 2001 pieds d'eau de mer.

Ils y restaient 01.20, le temps de faire une prise de sang et quelques tests.

Ils se trouvaient alors sous 61,61 ATA d'un mélange contenant :

- . 0,65 % d'oxygène, 0,17 % d'azote, 99,15 % d'hélium, et
- . 0,03 % de vapeur d'eau et quelques ppm de CO<sub>2</sub>.

La masse volumique du mélange respiré était de 10,51 g/l à 31°C (profondeur équivalente à l'air : 81 mètres).

La remontée commençait à 02.40. Un palier de 19 heures environ devait être effectué à 467 mètres, pour divers contrôles physiologiques.

La remontée reprenait ensuite. Les plongeurs retrouvaient la surface le 2 Juin à 20 heures, comme prévu dans le programme initial.

Ils avaient passé :

- |               |            |             |
|---------------|------------|-------------|
| . 01.20       | à          | 610 mètres  |
| . 05.00       | au-delà de | 600 mètres  |
| . 3 jours     | au-delà de | 518 mètres  |
| . 6 jours     | au-delà de | 400 mètres  |
| . 9 jours 17h | au-delà de | 300 mètres. |

Au cours de l'opération, les deux plongeurs ont, naturellement, été soumis à de nombreuses investigations : étude du comportement, contrôle EEG permanent pendant le sommeil et fréquent pendant la journée, avec tests ; psychométrie ; examens neurologiques, épreuves respiratoires (capacité vitale, débit maximum et ventilation maximale) ; épreuves d'effort statique et dynamique (140 Watt) sous électromyogramme et électrocardiogramme ; examens sanguins et urinaires ; mesures itératives de trémor, température, rythme cardiaque, tension artérielle, etc...

D'ores et déjà, on peut dire que le Syndrome Nerveux des Hautes Pressions est apparu à l'arrivée à 350 mètres pour disparaître à la fin du séjour à ce niveau, et, qu'aux profondeurs de 535 et 565 mètres, il a été plus marqué après la nuit de repos que pendant la compression.

A ces profondeurs, a paru se manifester une certaine insuffisance respiratoire au repos, différente de celle déjà observée et mesurée pendant l'effort.

Il semble que cette inadaptation de la ventilation pulmonaire ait joué un rôle dans l'accentuation du S.N.H.P. C'est dans la mesure où, grâce à la courbe de compression, celui-ci a paru contrôlable qu'il a été possible d'atteindre la profondeur maximale, sans jamais compromettre la sécurité des océanographes dont le comportement et les tests psychométriques étaient demeurés sensiblement normaux.

Les résultats obtenus autorisent de grands espoirs quant à la possibilité de travail industriel sous la mer, dans la zone des 500 mètres.

La plongée expérimentale PHYSALIE VI a été réalisée dans le cadre du programme C.N.E.X.O. - COMEX, avec la collaboration de plusieurs groupes de recherches de l'Université, de la Marine et de l'Armée de l'Air, et,

.../...

pour la partie neurophysiologique, l'aide du Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.) et de la Direction des Recherches et Moyens d'Essais (D.R.M.E.).

Etaient responsables de l'Opération :

- pour la Direction Générale, scientifique, physiologique, technique et médicale :

X. FRUCTUS - C. AGARATE

- pour la direction des caissons et la permanence des contrôles :

J. COUSTAL - P. MARTIN - A. JULLIEN

- pour la direction du laboratoire :

D. PROSPERI

- pour la surveillance photo-cinéma-magnétoscope :

A. TOCCO

L'exploitation physiologique était assurée par 9 équipes :

- pour la neurologie :

A. GOSSET - P. BORDENAVE

- pour la neurophysiologie :

R. NAQUET - J.C. ROSTAIN

- pour la psychométrie :

J.P. CHARPY

- pour la respiration et l'ergonomie :

P. VARENE - H. MONOD - C. LEMAIRE

- pour la cardiologie :

M. BERGONZI

- pour l'appareil ostéo-articulaire :

V. CONTI

- pour la biologie :

B. BROUSOLE - F. SICARDI - C. BOUTIER - L. BONDIL

- pour la diététique :

Geneviève SEGUI

- pour la surveillance clinique :

R. SCIARLI.

MARSEILLE, Juin 1972

C O M E X

EXAMENS NEUROLOGIQUES  
-----

Une surveillance neurologique tri-quotidienne a apprécié :

a) - le tremblement

L'examen neurologique se réduisait du fait de l'exiguité du caisson et des petites dimensions du hublot d'observation aux épreuves suivantes:

- épreuve du serment (bras et mains tendus en avant, doigts écartés) permettant l'étude du tremblement.
- épreuve des bretteurs (opposition des deux index légèrement écartés au devant de la poitrine, coudes à l'horizontale) : même intérêt que l'épreuve du serment.
- épreuve de l'index sur le nez : permettant l'étude du tremblement cinétique et de la dysmétrie.
- épreuve des marionnettes (alternance rapide de mouvements de pronation et supination, avant-bras en position verticale, coudes fléchis) : explorant la coordination.
- position gynécologique (décubitus dorsal avec membres inférieurs demi-fléchis, jambes horizontales) : permettant l'étude du tremblement au niveau des membres inférieurs.
- épreuve du talon sur le genou (en position couchée) : équivalent au niveau du membre inférieur de l'épreuve de l'index sur le nez.

D'autres éléments (écriture, dessin, ponctions veineuses pour prélèvements sanguins effectuées par les plongeurs eux-mêmes) ont permis d'apprécier le retentissement sur les mouvements fins.

b) - Les troubles de la vigilance et du sommeil

Ils ont été appréciés d'après l'interrogatoire (sur une éventuelle somnolence diurne et sur la qualité du sommeil nocturne) et l'observation des plongeurs durant l'examen neurologique.

Les plongeurs -

. 1 ; P.C.

24 ans - 1,73 m - 60 Kg.- avait participé en 1970, à la COMEX, à l'expérience PHYSALIE V (plongée fictive à 520 mètres).

tabac : 10 à 15 cigarettes/J - alcool 1/2 litre de vin/J  
thé : 1 tasse / J.

appendicectomie ancienne - hépatite virale en 1969.

pas d'antécédents neurologiques familiaux.

L'examen neurologique en surface (5-5-72) est normal, en dehors d'un discret signe de CHVOSTEK bilatéral. Pendant confinement: examen normal (11-5-1972).

. 2. R. G.

30 ans - 1,65m - 70 kg.- avait participé en 1971, au Centre d'Etudes Marines Avancées, à l'expérience Saturation III(plongée fictive avec séjour de 18 heures à 500 mètres).

tabac : 1 paquet/J (fume la pipe) - alcool: 1/2 litre de vin/J  
- café : 10 à 15 tasses/J.

appendicectomie ancienne.

pas d'antécédents neurologiques familiaux.

L'examen neurologique en surface est normal (5-5-1972,) de même que l'examen pendant le confinement (11-5-72).

Les résultats -

- A - Etude clinique -

. 1 . Le compte rendu chronologique est résumé ci-après.

. 2 . Commentaires -

Le tremblement est apparu chez les deux plongeurs entre 300 et 350 mètres. Il possédait les mêmes caractéristiques que celles exposées à propos de SAGITTAIRE II. Cependant son intensité est restée inférieure et son évolution a été influencée par les trois paliers isobares effectués durant la compression :

- Le palier de 46 heures à 350 mètres a eu une influence nettement favorable, avec régression du tremblement jusqu'à sa disparition en une quarantaine d'heures.

- après reprise de la compression, le tremblement a réapparu mais est resté stable pendant près de 200 mètres.

- les paliers suivants (14 heures à 535 mètres et à 565 mètres) n'ont pas eu la même influence, l'intensité du tremblement s'étant accrue à la fin du premier et ayant atteint son maximum à la fin du deuxième palier. Il faut remarquer que ces paliers ont été relativement brefs et effectués de nuit.

Durant la décompression le tremblement est resté stable jusqu'à 460 mètres avant de régresser progressivement pour disparaître, de même que pour SAGITTAIRE II, aux environs de 150 mètres.

. L'écriture et le dessin sont restés comparables à ce qu'ils étaient en surface.

. Les ponctions veineuses ont toujours été possibles

. Les troubles de la vigilance et du sommeil

- somnolence diurne s'installant dès 500 mètres pour les deux plongeurs, disparaissant dans la même zone lors de la décompression. Comme pour SAGITTAIRE II, elle était facilitée par certaines circonstances (décubitus yeux fermés) et le niveau de vigilance a toujours été bon durant les examens neurologiques.



J 5	13:00 20:00	418 m 452 m	Examen comparable au précédent Idem	Examen comparable au précédent Idem	Vitesse de C° : 5,00 m/heure Vitesse de C° : 4,61 m/heure R.G. qui dormait a été réveillé pour l'examen
J 6	08:00 13:00 20:00	501 m 519 m 535 m	Accentuation importante du tremblement Myoclonies plus fréquentes et plus amples au premier plan du tableau clinique A l'épreuve du doigt au nez: léger tremblement en fin d'acte à gauche Examen comparable au précédent Atténuation Pas de tremblement en fin d'acte	Accentuation du tremblement avec apparition de secousses myocloniques distales, distales, disparaissant au repos Examen comparable au précédent Atténuation	P.C. reconnaît trembler de façon plus importante Les 2 plongeurs ont mal dormi la nuit précédente Vitesse de C° 3,75 m/heure Vitesse de C° : 3,52 m/heure En palier depuis 2 heures
J 7	08:00 20:00	535 m 565 m	Accentuation du tremblement par rapport à l'examen précédent réapparition du tremblement en fin d'acte à gauche Amélioration Pas de tremblement en fin d'acte	Accentuation du tremblement Les myoclonies sont plus fréquentes et plus amples Amélioration	Reprise de la compression Vitesse de C° : 3,15 m/heure Les plongeur remarquent trembler plus qu'à l'examen précédent En palier depuis 2 heures Les plongeurs remarquent trembler moins le soir que le matin
J 8	08:00 13:00	565 m 579 m	Myoclonies plus amples et plus fréquentes intéressant maintenant les racines Tremblement en fin d'acte à gauche Amélioration - Le tremblement prédomine - Les racines ne sont plus intéressées	Myoclonies au premier plan, n'atteignant pas les racines Amélioration Le tremblement prédomine	Reprise de la compression Vitesse de C° : 2,72 m/heure Légère somnolence. Mauvaise nuit pour les 2 plongeurs.P.C. reconnaît trembler beaucoup plus Vitesse de C° : 2,60 m/heure

18:00 590 m	Examen comparable au précédent	Examen comparable au précédent	Vitesse de C° 2,50 m/heure
20:00 595 m	Idem	Idem	Vitesse de C° : 2,40 m/heure
22:00 600 m	Idem	Idem	Vitesse de C° : 2,30 m/heure
24:00 605 m	Idem	Idem	Vitesse de C° : 2,22 m/heure
J <sub>9</sub> 01:20 610 m	Idem	Idem	Ponction veineuse facilement réalisées Séjour de 100mn à 610 mètres
08:00	Comparable à l'examen précédent	Idem	Les 2 plongeurs ont peu et mal dormi Sont somnolents
20:00 (Zone des 500 m)	Amélioration Persistence d'un léger tremblement en fin d'acte à gauche	Idem	
J <sub>10</sub> 08:00 (Zone des 460 m)	Persistence de l'amélioration Disparition du tremblement en fin d'acte	Idem	
J <sub>11</sub> 08:00 (Zone des 400 m) Examen suivants jusqu'à	Amélioration progressive	Amélioration progressive	
J <sub>14</sub> 20:00	Comparable à l'examen précédent	Comparable à l'examen précédent	
J <sub>15</sub> 08:00 (Zone des 150 m)	Examen normal	Examen normal	
J <sub>18</sub> 20:00	Sortie du caisson	Sortie du caisson	

- insomnie nocturne relative : dès 450 mètres pour les deux plongeurs, l'amélioration en qualité du sommeil se faisant à partir de 350 mètres au cours de la décompression.

- rêve : chez les deux sujets augmentation du nombre de souvenirs des rêves et modification de leur contenu :

. chez P.C. essentiellement rêves de lévitation et de déplacement à grande vitesse, ressentis de façon agréable (il est intéressant de noter que durant les trois jours les plus " profonds " la sensation de déplacement à grande vitesse se produisait également dans la journée, dès que le sujet fermait les yeux.)

. chez R.G. rêves désagréables fréquents (qui s'étaient déjà produits chez ce sujet au cours de l'expérience Saturation III au C.E.M.A.). Pas de rêves de lévitation.

. Les troubles du caractère ont été minimes mais présents dès 400 mètres, avec une certaine irritabilité (reconnue seulement par P.C. après l'expérience) et disparition de l'entrain pendant les examens.

#### - Description du S.N.H.P. -

Les signes cliniques comprennent un tremblement parfois entrecoupé de myoclonies et une somnolence de degré variable.

a/ le tremblement observé lors de SAGITTAIRE II et PHYSALIE VI est rapide (fréquence 8 à 12), d'amplitude modérée, prédomine aux membres supérieurs et aux extrémités. Il apparaît dans le maintien volontaire des attitudes, persiste parfois dans l'acte, et disparaît totalement au repos.

Ce tremblement est entrecoupé ou mêlé de myoclonies bilatérales, asymétriques et arythmiques, dont l'amplitude croît selon la pression en demeurant modérée. Ces myoclonies, qui prédominent aux membres supérieurs et aux extrémités, ont aux fortes pressions tendance à gagner les racines et parfois les muscles du cou et de la face. Elles ne s'accompagnent pas de pointes à l'EEG.

- 5 -

b/ Les troubles de la vigilance et du sommeil, de même que le tremblement, sont retrouvés dans tous les cas où apparaît le S.N.H.P. ils associent:

- une somnolence diurne, n'apparaissant, pour PHYSALIE VI, qu'au repos sensoriel et intellectuel, et plus particulièrement dans certaines circonstances (tôt le matin ou en position couchée). Cette somnolence devient parfois majeure (c'est le cas de PHYSALIE III à 365 mètres et de SATURATION III à l'arrivée à 400 mètres).

- une insomnie nocturne relative, avec réveils plus fréquents et réendormissement plus difficile qu'en surface. Il paraît important de noter que durant la nuit certains plongeurs éprouvent une gêne respiratoire ("envie de respirer deux fois plus"chez R.G.).

- parallèlement nous avons noté une augmentation du nombre de souvenirs des rêves ( qui pourrait s'expliquer par une moindre fréquence des stades de sommeil profond).

c/ Les troubles du caractère que nous avons relevés lors de PHYSALIE VI ne sont pas rapportés par les auteurs. S'ils ne font pas partie intégrante du S.N.H.P., il convient cependant de remarquer qu'il ne sont apparus qu'aux profondeurs extrêmes, et qu'ils n'avaient pas existé durant les épreuves de confinement précédant les expériences.

#### Expression graphique des résultats -

Il a paru intéressant de donner une expression graphique des résultats ( tout au moins du tremblement ). Pour cela, on a porté en abscisses les temps, en ordonnées l'intensité du tremblement cotée de 0 à 5 et on a reporté les résultats sur un profil de chaque plongée.

La cotation a été établie sur la base suivante :

- 1 : apparition d'un tremblement
- 2 : apparition de myoclonies
- 3 : extension des myoclonies aux racines des membres
- 4 : extension des myoclonies aux muscles de la face et du cou.

Par ailleurs la cote est augmentée de 1 quand l'amplitude du tremblement ou des myoclonies devient notablement plus importante d'un examen à l'autre ou quand apparaît un tremblement intentionnel.

Cette méthode est critiquable car ne s'appuyant pas sur les données objectives, précises, telles que l'enregistrement graphique.

Cependant, à condition de tenir compte de ses limites et de ses imperfections, elle paraît présenter certains points d'intérêt :

- Elle permet de rendre compte, de façon chiffrable, d'une impression clinique (elle, difficilement communicable.)

- Elle tient compte de la présence des myoclonies (dont l'enregistrement graphique n'a pu être obtenu pour diverses raisons techniques) et de leur extension aux racines et aux muscles du cou et de la face ( alors que l'enregistrement graphique effectué ne rend compte que du tremblement du majeur de la main droite).

- enfin, elle permet d'étudier de façon synoptique l'évolution du tremblement au cours de l'expérience.

## P H Y S A L I E V I

### PLONGEUR P.C.

Les premiers examens sont normaux et le tremblement apparaît à 350 mètres, d'emblée à la cote 2.

- durant le palier à 350 mètres, il régresse et il disparaît
- à la reprise de la compression ( le matin) : réapparition à la cote 2, puis accentuation pendant la compression.
- atténuation au début du palier à 535 mètres ( qui se situait le soir) et aggravation à la fin de ce palier (le matin).
- mêmes constatations pour le palier à 565 mètres (avec passage de la cote 2 à la cote 4, entre début et fin de palier).
- à l'arrivée à 610 mètres et dès 590 mètres: cote 3, le tremblement se stabilisant à ce niveau pendant le début de la décompression.
- pendant la décompression : amélioration sensible à partir de 500 mètres environ, puis atténuation progressive et disparition aux environs de 150 mètres

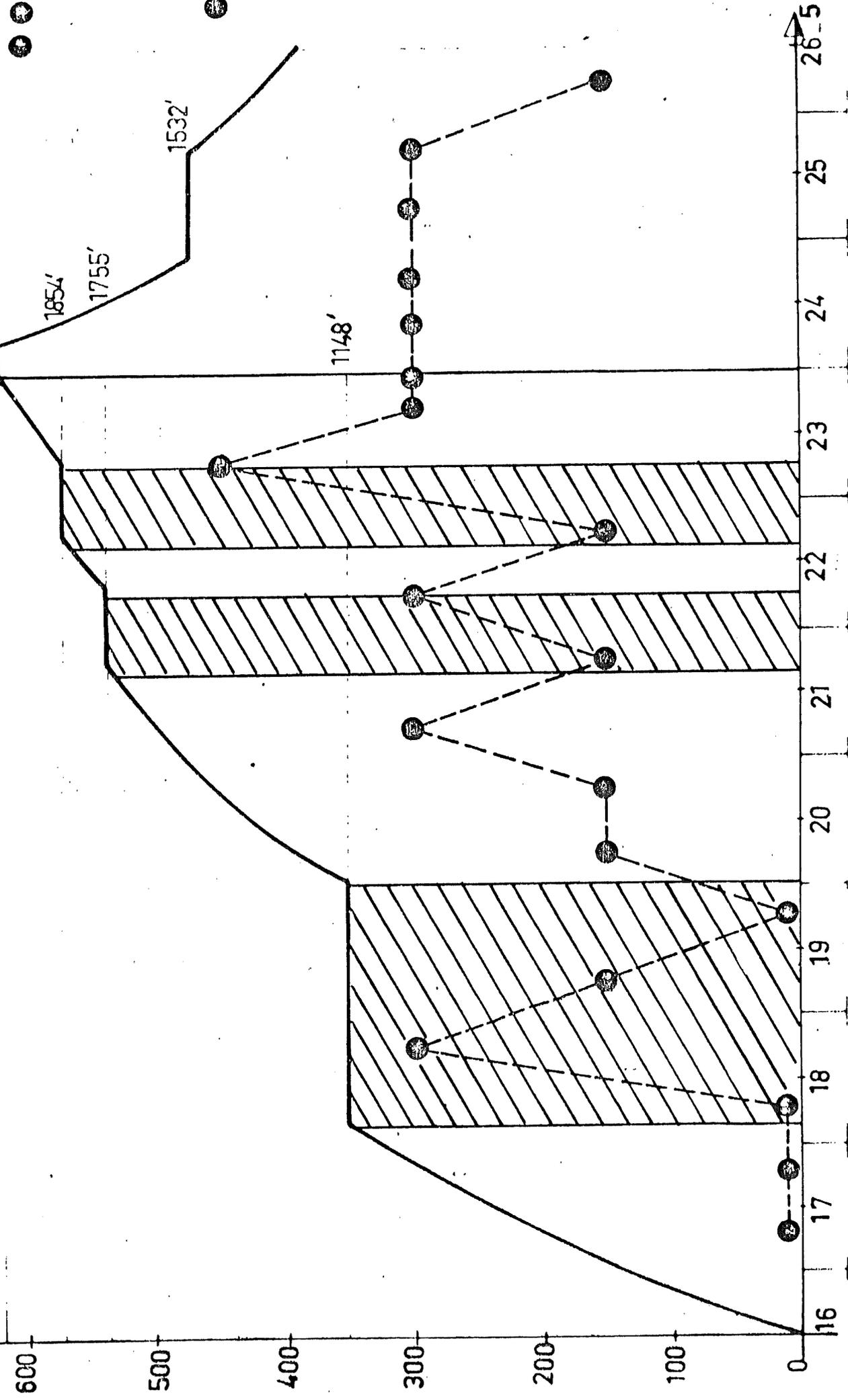
### PLONGEUR R.G.

Le tremblement apparaît également pendant le palier à 350 mètres, et disparaît durant ce palier.

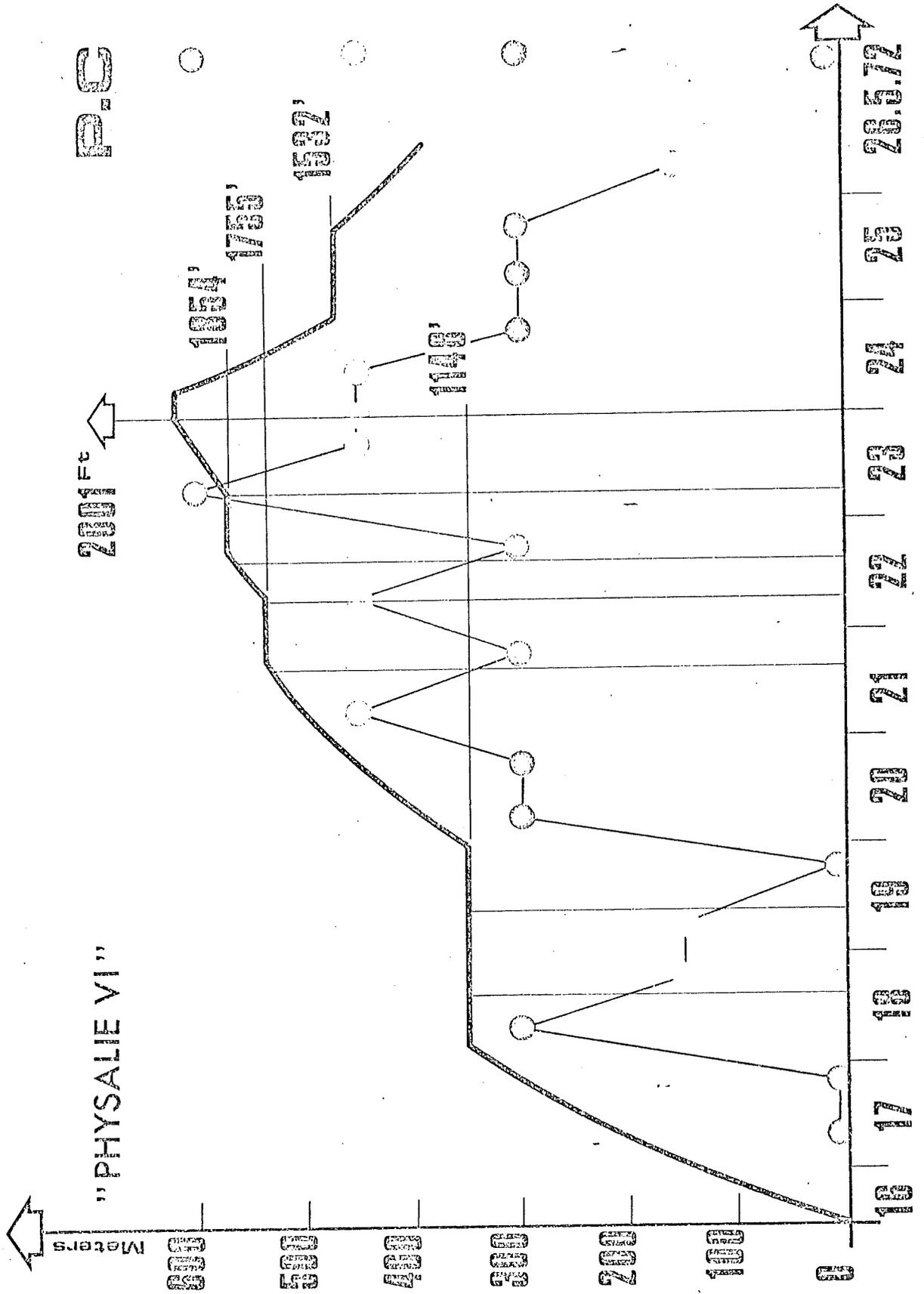
- Il réapparaît à la reprise de la compression et augmente avec la pression.
- les paliers à 535 et 565 mètres ont le même effet que chez P.C.
- durant la décompression , il y a stabilisation jusqu'à 450 mètres environ puis amélioration progressive et disparition entre 200 et 150 mètres.

PHYSALIE VI

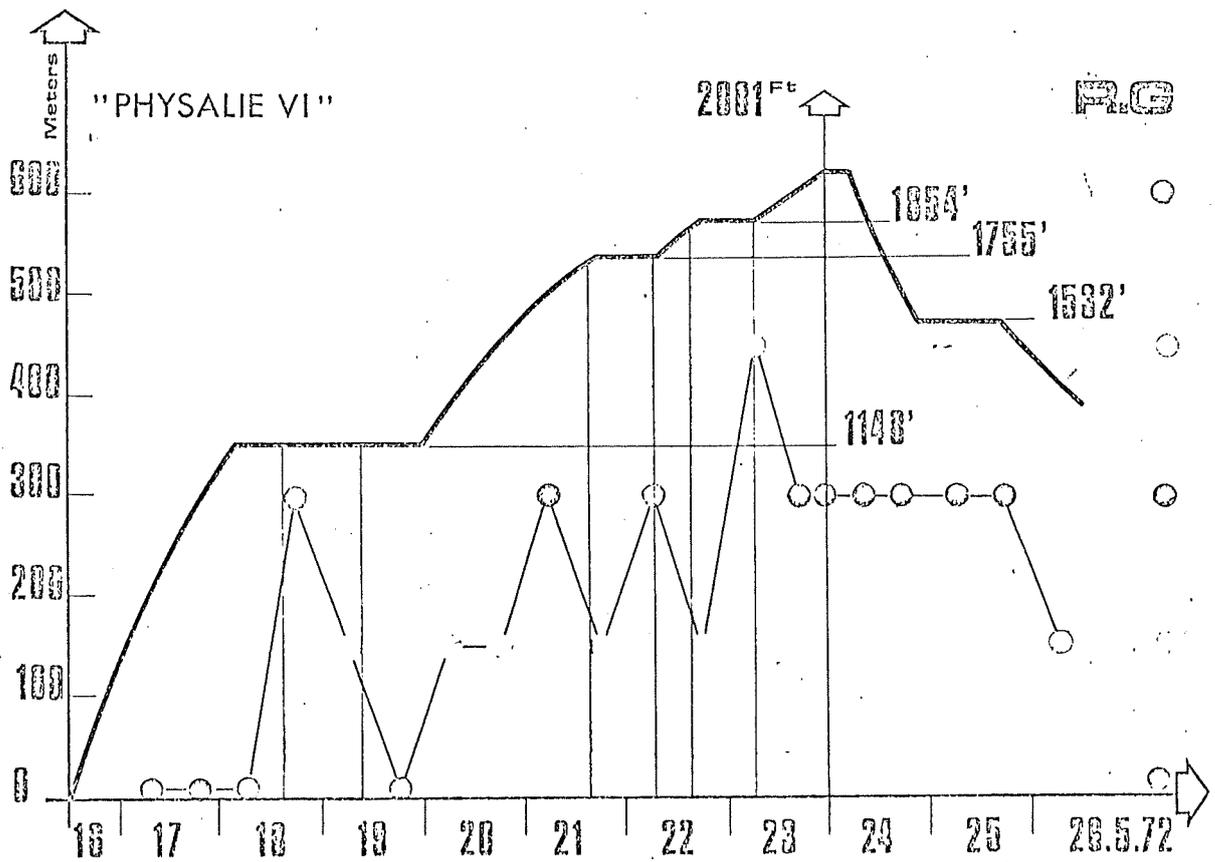
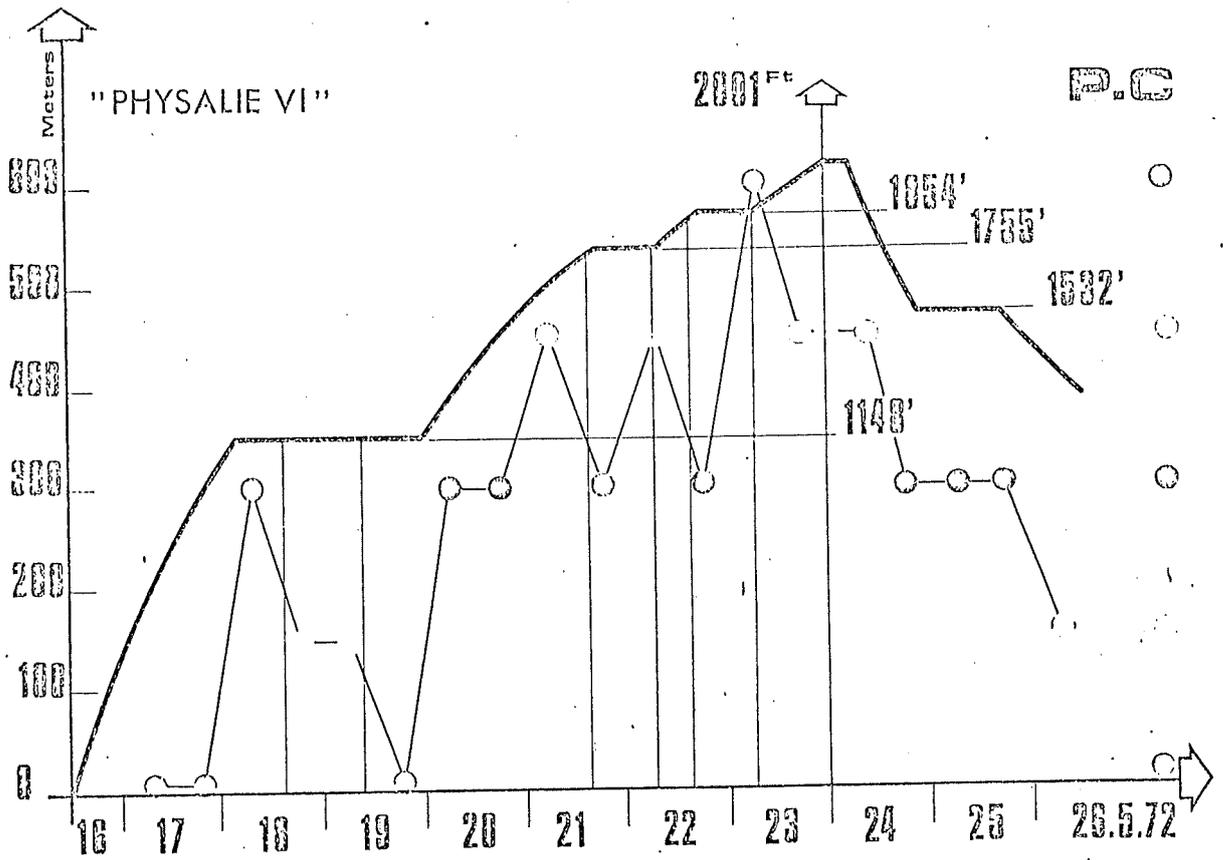
R.G.











## PSYCHOMETRIE

---

L'étude psychométrique avait pour but de contrôler l'efficacité sensori-motrice et intellectuelle des 2 sujets pendant la plongée.

### I - TECHNIQUES -

Nous avons utilisé une série de 5 épreuves choisies en tenant compte des Expériences précédentes PHYSALIE V et SAGITTAIRE II :

Efficiency sensori-motrice :

1. Temps de réaction visuel de choix - T.R.
2. Dextérité manuelle D.M.
3. Dextérité digitale D.D.

Efficiency intellectuelle :

4. Ordination de chiffres (Rey) O.C.
5. Test des deux barrages (2a220) D.B.

### 2 - METHODES -

Selon le cas, la répétition des épreuves est possible (T.R.- D.M. - D.D. -O.C.), ou limitée (D.B.).

Nous avons donc tenu compte à la fois de ces critères et du déroulement de la plongée pour constituer 7 séries de tests décrites au tableau 1.

.../...

Tableau 1 : Organisation de l'Expérience  
Les séries de tests se lisent horizontalement.

Date	Profondeur	TESTS				
		T.R	D.M	D.D	O.C	D.B
09.5.73	0	+	+	+	+	
18.5.73	350	+	+	+	+	
19.5.73	350	+				
20.5.73	450	+	+	+	+	
22.5.73	540	+	+	+	+	
23.5.73	570	+	+	+	+	+
24.5.73				+	+	

La série du 09.5.73 réalisée en caisson à profondeur 0 constitue la série de contrôle. Le contrôle du test D.B. ne pouvait être réalisé qu'ultérieurement pour éviter d'avoir l'intervalle trop bref entre test et retest.

3 - RESULTATS -

3.1. Efficiences sensori-motrice

3.1.1. Temps de réaction visuel de choix : Nous utilisons le matériel et la procédure décrits dans les rapports SAGITTAIRE I et II. Nous retenons 30 mesures par série et utilisons la médiane (Med) et les quartiles de chaque distribution de 30 mesures. Les résultats sont présentés au tableau 2.

Tableau 2 : T.R. : Médiane (Méd), Quartiles inférieurs (Qi) et Supérieurs (Qs) ; Ecart quartile (EQ = Qs - Qi)

		Profondeur	Qi	Med.	Qs	E.Q
R.G.	09.5	0	59	66	75	16
	18.5	350	58	70	78	20
	19.5	350	68	76	86	18
	20.5	450	65	74	81	16
	22.5	540	71	77	85	14
	23.5	572	68	74	88	20
P.C.	09.5	0	60.5	68	76	15.5
	18.5	350	74	79	89	15
	19.5	350	63	68	73	10
	20.5	450	67	75	85	18
	22.5	540	61	68	74	13
	23.5	572	70	76	84	14

Sujet R.G :

a) Valeurs médianes : Les médianes des séries expérimentales montrent un accroissement moyen de 11,2 % relativement à la médiane de la série de contrôle. Les médianes des séries expérimentales sont toutes supérieures

.../...

à la valeur de contrôle.

La médiane la plus élevée est observée sur la série réalisée à 540 mètres le 22.5 (+ 16,6 %).

On observe chez le sujet que la performance est moins bonne à la fin du palier à 350 mètres qu'à l'arrivée à cette profondeur.

b) La dispersion des performances reste comparable à celle de la série de contrôle pour 3 des séries expérimentales ; elle est sensiblement augmentée pour 2 séries (350 m 18.5 et 572).

Sujet P. C.

a) Valeurs médianes :

Les médianes des séries expérimentales traduisent un accroissement moyen de 10,7 % relativement à la médiane de la série de contrôle.

Deux séries expérimentales 350 m le 19.5. et le 22.5 ont une médiane égale à celle de la série contrôle.

L'accroissement du T.R est donc moins constant chez ce sujet. La comparaison des deux séries réalisées à 350 mètres montre que la performance est améliorée par le palier.

La performance à l'arrivée à 350 mètres est d'ailleurs la moins bonne ; elle traduit l'accroissement de 16,1 % relativement à la série de contrôle.

b) Les dispersions des différentes distributions sont relativement stables.

3.1.2. Dextérité manuelle (D.M.). Nous utilisons le matériel et la procédure décrits dans les rapports SAGITTAIRE I et II. Nous retenons le nombre de pièces placées par minute.

cf. Tableau page suivante

Tableau 3 : D. M. Nombre de pièces par minute

	P.C			R.G		
	M D	M G	mo	M D	M G	mo
9 - 5 0	32	30	31	29	25	27
350	32	29	31	26	25	25
20 - 5 450	34	30	32	22	23	23
22 - 5 540	31	30	30	25	26	25
23 - 5 572	30	27	28	26	26	26

R.G. : Les performances des séries expérimentales traduisent une diminution moyenne de la performance de 8,5 %. La diminution la plus importante est observée à 450 mètres (14,8 %).

P.C. : La moyenne des performances des séries expérimentales est faiblement inférieure (- 2 %) à la performance de contrôle. On enregistre une diminution plus importante d'environ 10 % sur la série à 572 mètres.

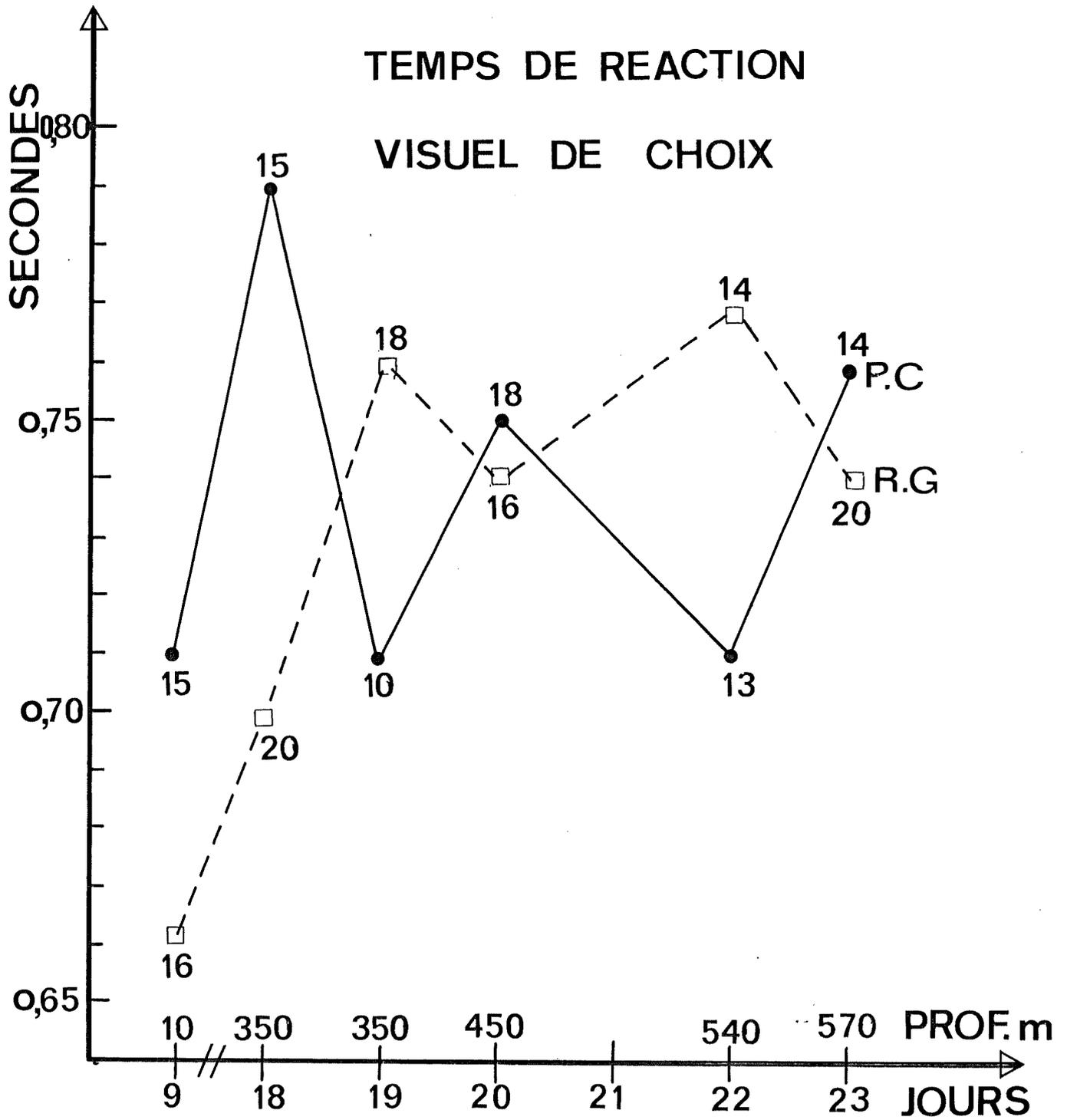
3.1.3. Dextérité Digitale (D.D.) L'épreuve consiste à remplir d'une croix en X le plus grand nombre possible de lignes de 25 cases de 1 x 1 cm. Le sujet travaille 3 minutes. Nous retenons le nombre de cases remplies par minute (mo).

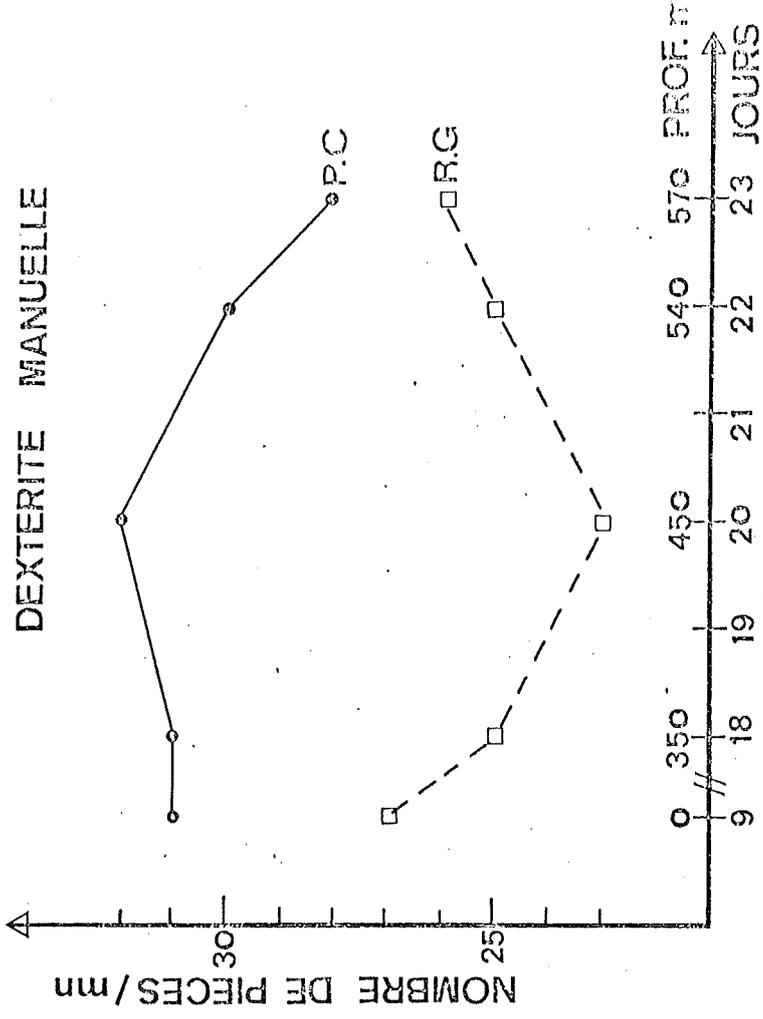
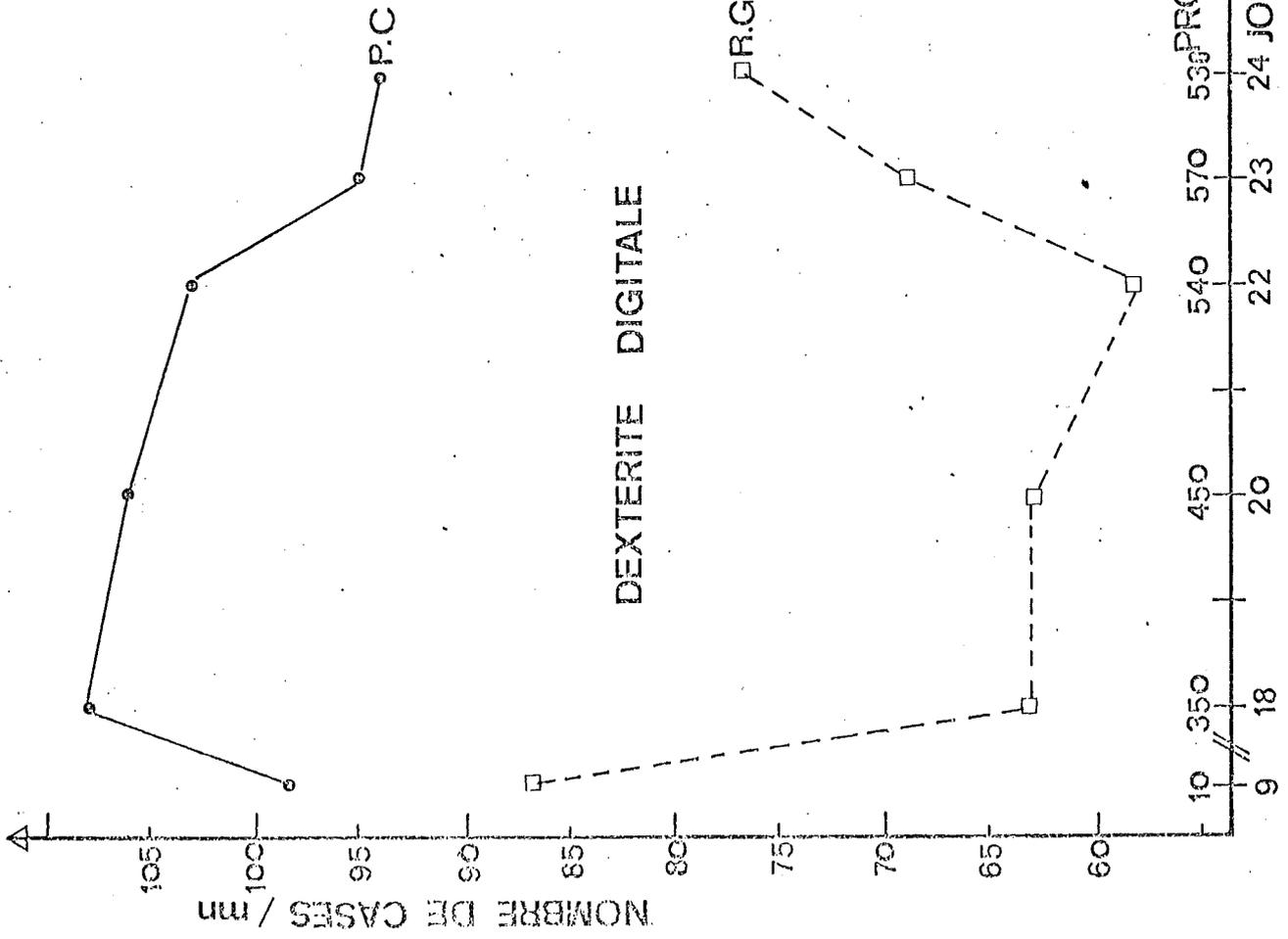
cf. Tableau n° 4 page suivante

.../...

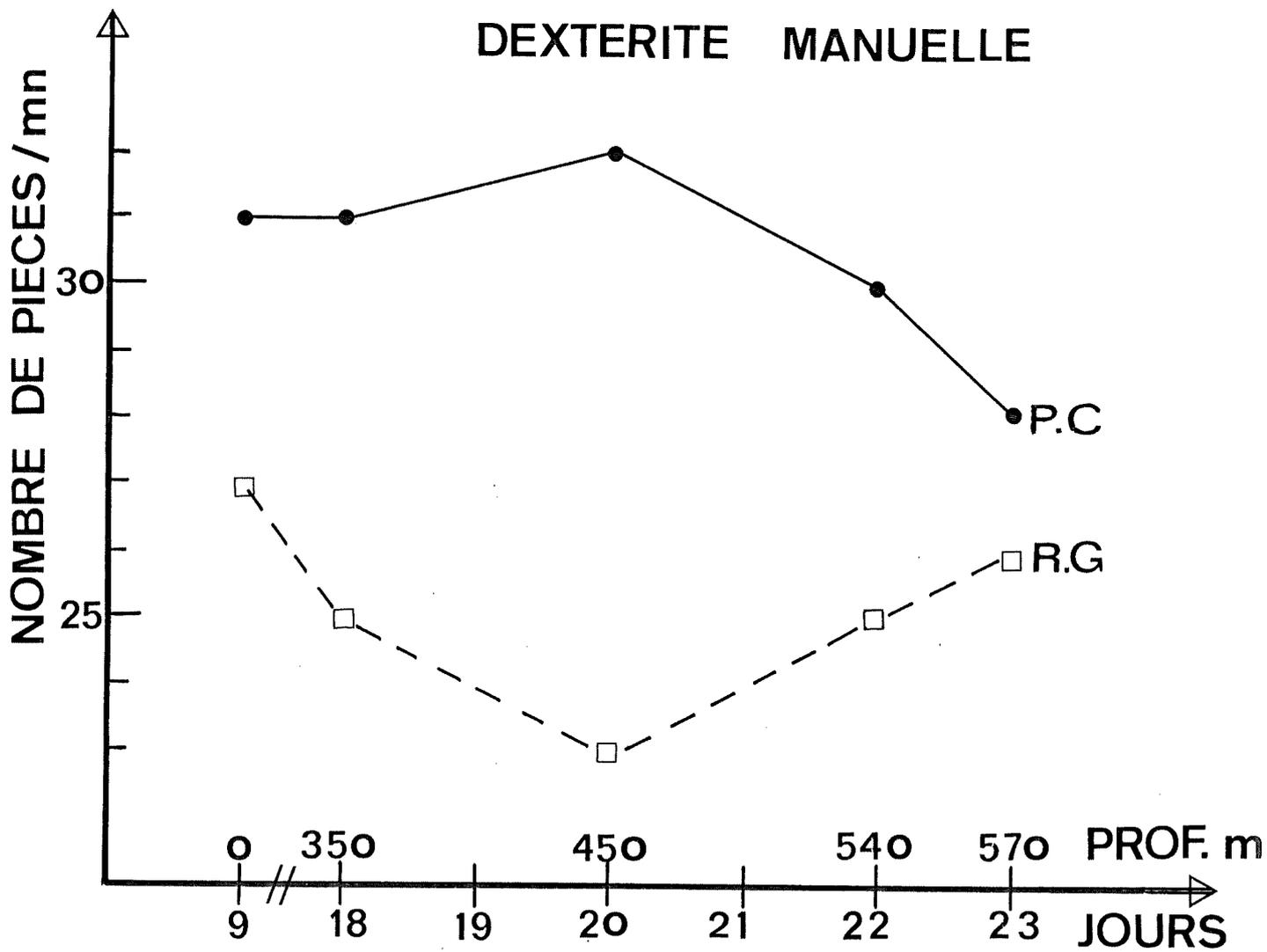
# TEMPS DE REACTION

## VISUEL DE CHOIX





# DEXTERITE MANUELLE



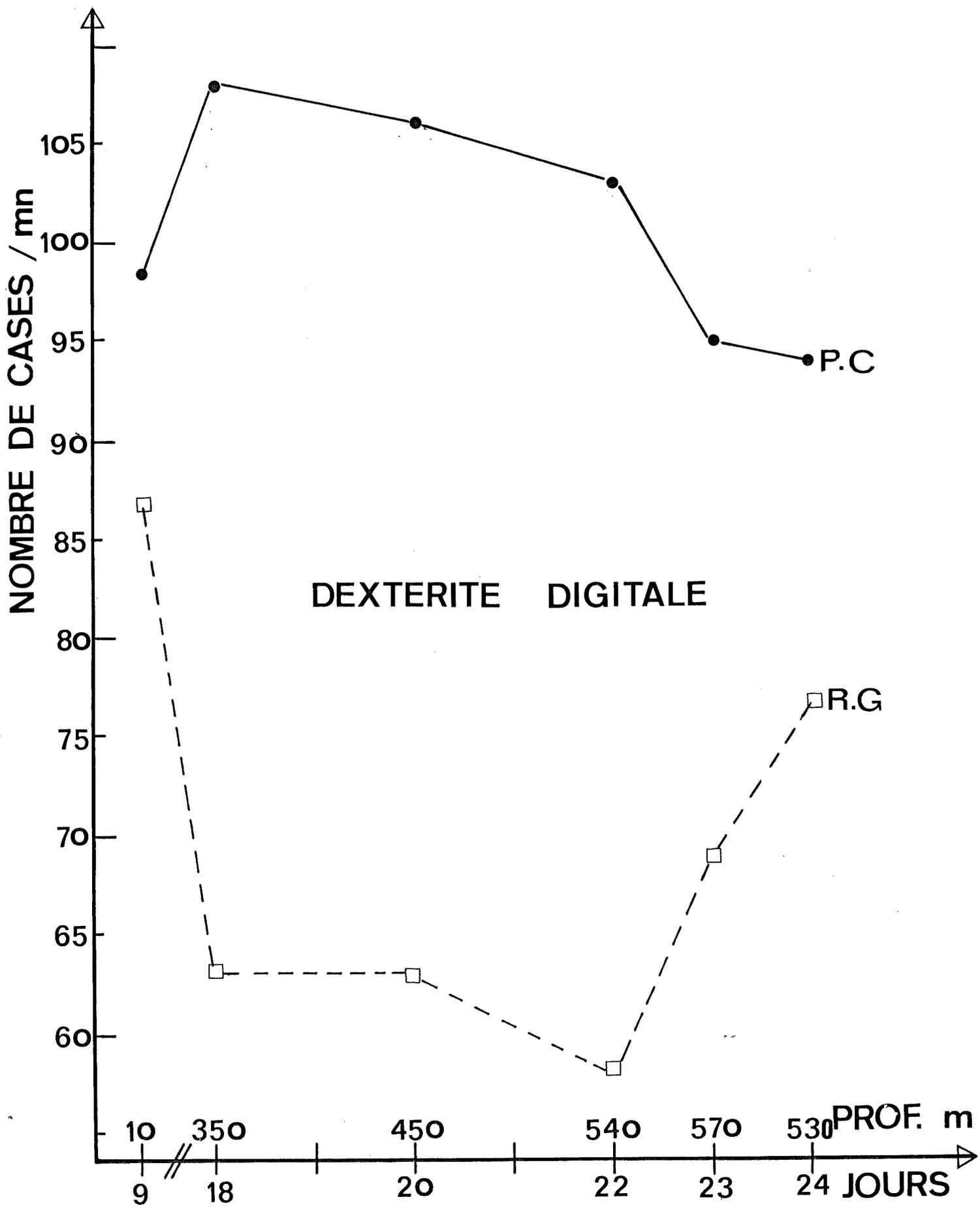


Tableau n° 4 : D.D. Nombre de cases cochées par minute

		P.C	R.G
9 - 5	0	98	87
18 - 5	350	108	63
20 - 5	450	106	63
22 - 5	540	103	58
23 - 5	572	95 - 3 %	69
24 - 5		94	77

P.C : Le 1er retest à 350 mètres témoigne d'un apprentissage dont les effets s'atténuent ultérieurement. A 572 mètres, la performance est inférieure à la performance initiale (- 3 %). La moyenne des valeurs expérimentales est légèrement supérieure à la valeur de contrôle (+ 3 %).

Chez R.G. : La performance décroît dès 350 mètres atteignant son minimum au test réalisé à 540 mètres. Il faut noter enfin l'amélioration relative de la performance à 572 mètres.

### 3.2. Efficienc e intellectuelle :

#### 3.2.1. Ordination de chiffres :

cf. Tableau n° 5 page suivante

.../...

Tableau 5 : Nombre de chiffres correctement ordonnés pendant 10 minutes

Jour	Prof.	P.C	R.G
9 - 5	0	732	259
18 - 5	350	812	294
20 - 5	450	784	217
22 - 5	570	707	238
23 - 5	570	714	218
24 - 5	525	623	245

Chez les 2 sujets on observe I accroissement de performance à 350 mètres suivi d'une diminution aux tests suivants.

Chez P.C : les diminutions sont faibles, - 1,3 % sur l'ensemble de la série expérimentale, et 3,4 % à 570 mètres.

La diminution de performance se poursuit atteignant un maximum de 14,75 % au début de la décompression (530 mètres).

Chez R.G. : la diminution de performance est relativement plus importante, compte tenu du faible niveau de performance initial (- 6,5 % en moyenne).

Les moins bonnes performances sont observées à 450 et 570 mètres (- 14,6 %)

### 3.2.2. Barrage de signes :

Les résultats sont présentés au tableau ci-dessous au moyen des 8 indices retenus Zazzo.

$V_1$	Vitesse au barrage de un signe	} Nombre de signes examinés par minute
$V_2$	" " " " 2 signes	

$In_1$  Indice d'inexactitude au barrage de I signe  
 $In_2$  " " " 2 signes  
 $R_1$  Rendement au barrage de I signe  
 $R_2$  " " 2 signes  
 $Q.V$  Quotient des vitesses  
 $Q.R$  " rendements

Tableau 6 : Valeurs des 8 indices du test

	$V_1$	$V_2$	$In_1$	$In_2$	$R_1$	$R_2$	QV	QR
P.C	300	115.3	.16	.44	369	239	.77	.64
R.G	189.2	95.8	.64	.08	229	230	1.01	1.04

La représentation du graphique 5 permet de situer ces performances.

#### 4 - DISCUSSION -

Les variations de performance sont appréciées :

- en comparant la moyenne des valeurs expérimentales à la valeur de contrôle,
- en comparant à la valeur de contrôle la performance expérimentale qui s'en écarte le plus (max.).

Les comparaisons sont résumées au tableau 7.

cf. Tableau 7 page suivante

.../...

# PHYSALIE VI

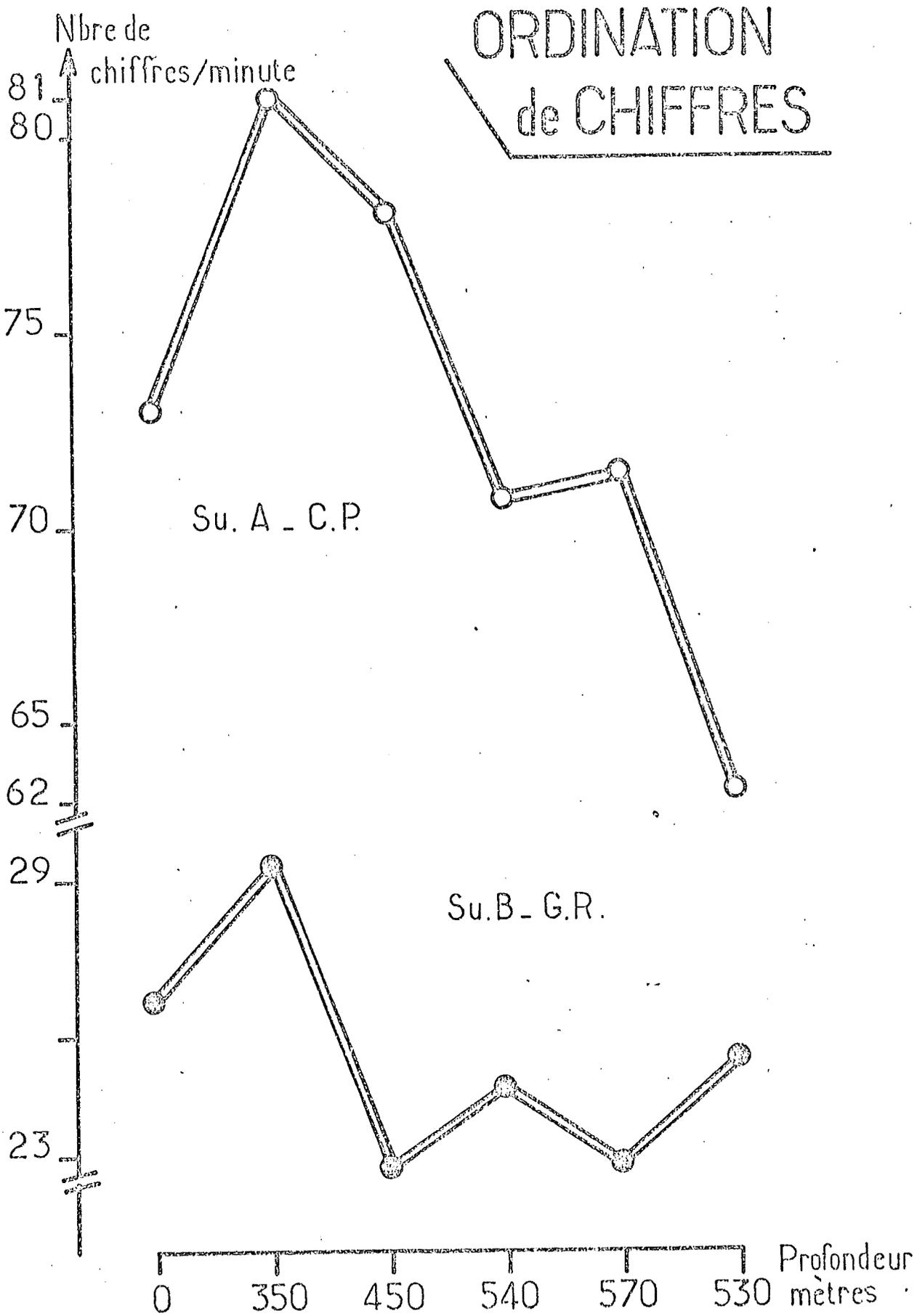


Tableau 7 : Variations moyennes et maximum des valeurs expérimentales  
relativement aux valeurs de contrôle

	R.G	P.C
T.R	- 16.6 % à <u>540 mètres</u> (- 11.2 %)	- 16.1 % à <u>350 et 572 m</u> (- 10.7 %)
D.M	- 14.8 % à <u>450 mètres</u> (- 8.5 %)	- 10 % à <u>572 mètres</u> (- 2 %)
D.D	- 33.3 % à <u>540 mètres</u> (- 24 %)	- 3 % à <u>572 mètres</u> (+ 3 %)
O.C	- 14.6 % à 450 et 572 m (- 6.5 %)	- 14.75 % à la décompres- sion 530 mètres (- 1.3 %)

1. La moyenne des performances expérimentales de R.G traduit une détérioration pour les 4 tests.  
Chez P.C seul le T.R indique une détérioration constante.
2. La diminution maximum des performances est dans l'ensemble plus précoce chez R.G que chez P.C.
3. Les résultats du T.R au début et à la fin du palier à 350 mètres montrent que celui-ci semble avoir eu un effet positif chez P.C et non chez R.G.  
Ceci peut rendre compte de la différence des résultats d'ensemble signalée entre les 2 sujets.

## TRAVAIL DYNAMIQUE SUR ERGOCYCLE

Les résultats obtenus lors de SAGITTAIRE II nous ont conduit à utiliser le même dispositif expérimental (pédalage couché sur le dos).

Les modalités du test ont été modifiées en ce sens que nous avons diminué la puissance du travail, et limité la durée du pédalage à 3 minutes. La puissance estimée est de 100 Watts.

La fréquence cardiaque est obtenue à partir de l'E.C.G. recueilli par trois électrodes sous-cutanées précordiales. La pression artérielle est mesurée au brassard par les plongeurs. La ventilation est enregistrée par l'intermédiaire d'un débitmètre de Fleisch. Les volumes ont été corrigés en condition BTPS. Après chaque épreuve de pédalage, les plongeurs réalisaient une ventilation maximale minute.

### RESULTATS :

Les valeurs 1 ATA ont été obtenues avant et après le confinement, à la pression atmosphérique, les sujets respirant l'air ambiant.

Les valeurs 2 ATA correspondent au confinement (Héliox; 0,40 ATA de  $P_{I}O_2$ ).

### Fréquences cardiaques :

Les fréquences cardiaques portées sur les courbes sont celle des 15 dernières secondes de chaque épreuve de 3 minutes. Les courbes inférieures représentent les fréquences cardiaques de repos.

On voit sur ces courbes que la réaction d'adaptation cardiaque est peu affectée par la profondeur.

Le ralentissement de repos qui se retrouve pendant le travail entre 1 ATA air et 2 ATA HélioX est peut-être dû à l'augmentation de la pression partielle d'oxygène inspiré, mais surtout, à notre avis, aux conditions basales impossibles à obtenir à l'entrée et à la sortie du caisson, tant par les conditions émotives que par le manque de repos physique suffisant.

Pour minimiser l'influence de la fréquence cardiaque de repos à l'instant considéré, on peut exprimer les résultats selon la classique notion de coût cardiaque, c'est-à-dire la différence entre fréquence cardiaque lors du travail et fréquence cardiaque au repos (voir figure).

La valeur du coût cardiaque est également sans corrélation avec la profondeur atteinte, sauf peut-être pour le début d'une augmentation noté lors des dernières mesures.

Ventilation :

Le problème ventilatoire est lié à l'augmentation de la densité des mélanges respirés. (350 mètres : 6,42 g/l - 565 mètres : 9,83 g/l.)

Nous avons étudié le volume expiré par minute ( $\dot{V}_E$ ) obtenu par addition du volume de toutes les expirations entre les temps de 2 et 3 minutes du travail.

Comme pour les fréquences cardiaques, les valeurs obtenues en air 1 ATA sont plus élevées que pendant le confinement en hélioX.

Au fur et à mesure de l'augmentation de la profondeur, on trouve des valeurs très légèrement croissantes tandis que la dispersion est très faible.

L'arrivée aux profondeurs maximales nous fait retrouver à peu près les valeurs obtenues à l'air (55 l/mn contre 45 l/mn en héliox près de la surface).

Au contraire de la ventilation de travail, la mesure de ventilation maximale minute comporte un assez large degré d'incertitude. Il y a principalement 2 raisons à cela :

1. Le résultat dépend de la fréquence utilisée, imposée ou non.
2. Il dépend de la motivation du sujet.

La fréquence de 70 par minute avait été retenue, mais nous pensons qu'elle est encore trop rapide pour les conditions de ventilation des gaz denses. La durée de l'épreuve était de 15 secondes, les résultats sont rapportés à la minute.

Les valeurs importantes, de près de 170 litres par minute obtenues à 130 mètres pour les deux sujets, ne dépassent pas 100 litres à 350 mètres (6,42 g/l). A 565 mètres, les valeurs sont comprises entre 75 et 90 litres. Il semble d'ailleurs qu'à ces profondeurs, les sujets améliorent leur efficacité.

Il est de règle d'admettre que la ventilation maximale d'effort ne dépasse pas 75 % de la V.M.M. Or ici, elle dépasse ces valeurs :

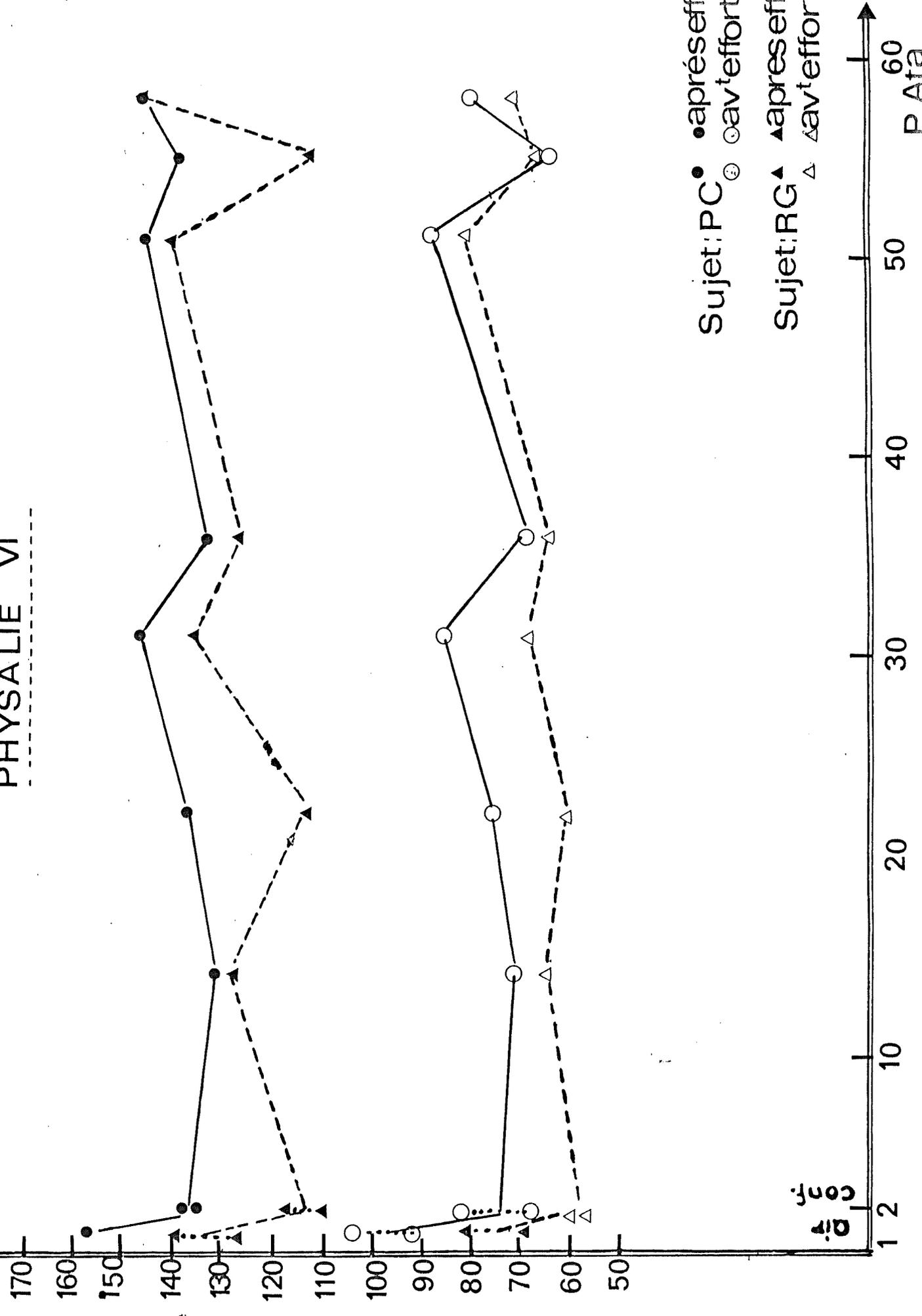
- Nous venons de dire qu'une fréquence plus lente aurait pu relever la V. M. M.

- D'autre part, il est probable que cette règle édictée pour des valeurs beaucoup plus importantes de ventilation perd de sa valeur dans les conditions hyperbares.

Pour ce qui concerne les fréquences respiratoires, il est à noter que P.C. augmente constamment sa fréquence pendant le travail, mais que R. G., au rythme toujours plus lent, élève par sa fréquence, ne

Rythme cardiaque  
(cycles / mn)

PHYSALIE VI



Sujet: PC ● ● après effort  
○ ○ avant effort

Sujet: RG ▲ ▲ après effort  
△ △ avant effort

conf. 1 2

P. Ata 60

la modifie pas ou même l'abaisse parfois légèrement pendant le travail.

Il semble qu'avec un travail d'environ 100 Watts, nous soyons, à 565 mètres, assez près de la limite des possibilités ventilatoires.

## TRAVAIL STATIQUE

Les modifications de fréquence cardiaque notées chez le sujet J. T. lors de SAGITTAIRE II nous ont amenés à reconduire pour cette plongée le protocole déjà éprouvé.

Au cours des mesures, le sujet est allongé, le bras posé sur le lit, avec l'avant-bras vertical perpendiculaire au bras. Le sujet est relié à une charge constante par l'intermédiaire d'un câble fixé à un bracelet entourant le poignet. Le câble passe sur une poulie dont la hauteur par rapport au lit est telle que la direction de la force transmise soit parallèle à la direction de la force exercée par le biceps. Pour les 2 sujets, la charge -16 kg- représentait environ 50 % de la force maximale du groupe musculaire considéré. La consigne donnée au sujet est de maintenir le plus longtemps possible la charge sans faire varier la position articulaire.

Le temps de maintien est mesuré au chronomètre et vérifié sur l'enregistrement de l'électromyogramme du principal muscle intéressé : le biceps brachial. La fréquence cardiaque est obtenue à partir de l'électrocardiogramme recueilli par 3 électrodes-fils sous-cutanées (Subtrodes SIEMENS) implantées en position précordiale. L'E. C. G. est amplifié, puis intégré (Ratemeter DEVICES). Les enregistrements sont effectués sur une chaîne Elema-Schönder.

### RESULTATS :

Les résultats portent sur trois épreuves pendant le confinement (10 mètres) et sur deux fois sept épreuves pendant la plongée.

Chez le sujet P. C., les temps de maintien augmentent au cours de la plongée avec une coupure le J<sub>7</sub> (565 mètres). La

dernière valeur  $J_{13}$  (235 mètres) est aussi assez faible.

Chez le sujet RG, au contraire, les temps de maintien décroissent légèrement jusqu'à 535 mètres ( $J_6$ ) et sont ensuite plus élevés.

Il ya donc peu de perturbations chez les deux sujets pour les durées de contraction isométrique. Les électromyogrammes globaux ne sont pas modifiés pendant le travail statique.

Les fréquences cardiaques ne sont pas remarquablement différentes en fonction des journées et des profondeurs. Chez le sujet P. C., le rythme cardiaque pendant le travail statique effectué au cours de la plongée est toujours inférieur à celui enregistré pendant le confinement. La courbe de fréquence la plus élevée de la plongée est celle obtenue à 535 mètres, la plus basse étant celle de 565 mètres.

Chez le sujet R. G., les courbes confinement et plongée sont très groupées et pratiquement confondues, la plus élevée étant celle réalisée à 495 mètres ( $J_9$  décompression).

### CONCLUSION

La stabilité des 2 sujets dans la réalisation de ces épreuves de travail statique est très grande. L'évolution différente des temps de maintien pour les 2 sujets rend difficile une corrélation avec la durée du séjour ou la profondeur. Le peu de variation des fréquences cardiaques et la constance des durées de contraction met en évidence la qualité de l'état physique -et psychique- (puisque l'on connaît l'importance de la motivation pour les épreuves de travail statique) des sujets pendant toute la plongée.

Aucun signe de fatigue ou de fatigabilité n'a été décelé par cette épreuve, toujours pénible à réaliser pour le sujet, même dans les conditions habituelles.

## MECANIQUE VENTILATOIRE

---

La limitation du travail musculaire peut survenir conséquemment à la diminution de ventilation entraînée par l'augmentation de la densité des mélanges gazeux. Nous avons donc suivi au cours de cette plongée les modifications de la mécanique ventilatoire.

Le protocole utilisé pour SAGITTAIRE II avait été reconduit, et nous avons mesuré : d'une part, bi-quotidiennement les capacités vitales ; d'autre part, à différents niveaux de profondeur, les débits expiratoires maximaux.

### TECHNIQUE

Les 2 sujets devaient effectuer une expiration et une inspiration lentes, suivies d'une expiration forcée, réalisée le plus rapidement possible, puis d'une inspiration forcée et d'une seconde expiration forcée, au travers d'un débitmètre de FLEISCH.

A chaque niveau de pression et pour chaque sujet, le débit et le volume (par intégration analogique) étaient enregistrés pour quatre ou cinq séances, chacune séparée par quelques minutes de repos.

La capacité vitale des sujets a été mesurée 2 fois par jour, au spiromètre, tout au long de la plongée.

### RESULTATS

Les capacités vitales des sujets n'ont pas varié significativement pendant cette plongée profonde, même lorsque la  $PIO_2$  est de 0,50 ATA pendant la décompression,

A partir des enregistrements des débits instantanés et des volumes, en fonction du temps, les courbes de débit maximal ont été tracées.

Entre 60 et 20 % de la capacité vitale, où il y a sûrement une limitation du débit, la variation du débit maximal en fonction du volume peut être assimilée à une droite ( $\dot{V}_{\text{max}} = a + bV$ ). Les régressions linéaires de ce type ont été calculées pour chaque sujet à chaque niveau de pression.

Les résultats du Tableau I montrent une diminution de la pente de la relation débit-volume, en fonction de la pression ou de la masse volumique. Le coefficient a, différent de zéro, confirme le fait bien connu que la dernière partie d'une expiration forcée ne suit pas la même loi que la partie du milieu. Ce coefficient ne varie pas systématiquement avec la pression, mais son signe est généralement constant pour un même sujet.

SUJETS	$P_B$ (Ata)	a	b	r	n
R. G.	1,99	- 0,666	11,46	0,98	27
	29	- 0,474	5,43	0,97	19
	60,6	0,138	2,96	0,92	34
P. C.	1,99	0,081	12,53	0,90	24
	29	- 0,092	6,10	0,94	19
	60,6	0,425	3,79	0,87	36

TABLEAU I : COEFFICIENTS DES EQUATIONS

$$\dot{V}_{\text{max}} = a + b \frac{V}{C \cdot V}$$

$$\dot{V}_{\max} = a + b \frac{V}{C V}$$

a et b sont donnés en  $\text{dm}^3$  et  $\text{s}^{-1}$   
 r est le coefficient de corrélation  
 n est le nombre de mesures

A partir de ces données, il est possible de représenter l'évolution de la limitation des débits en calculant les relations du débit maximal en fonction de la pression (ou de la masse volumique) pour un volume donné.

Les équations, classiquement représentées par une fonction puissance, sont données dans le Tableau II pour 50 % de la C. V.

SUJETS	R. G.	P. C.
v	4,79	5,32
m	- 0,45	- 0,37

TABLEAU II : COEFFICIENTS DE L'EQUATION

$$\dot{V}_{\max} = v e^{-m}$$

à 0,5 CV pour  $\dot{V}_{\max}$  en  $\text{dm}^3 \text{s}^{-1}$  et  $e$  en  $\text{gr. dm}^{-3}$

Les résultats montrent que les valeurs de l'exposant sont identiques à celles déjà publiées (WOOD et al. ; 1969, 1971 - ANTHONISEN et al. ; 1971).

Elles sont en accord avec l'expression générale du débit de gaz dans

un tube qui s'écrit, pour un mélange donné :

$$P = K V^\alpha e^\beta$$

$$V = \left( \frac{\Delta P}{K} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot e^{-\frac{\beta}{\alpha}}$$

D'autres indices de la diminution du débit maximal avec la pression sont exprimés par le rapport  $\frac{V_{EMS}}{CV}$ ,

ou le temps  $\tau$ , nécessaire pour expirer la moitié de CV comprise entre 75 et 25 % de la CV (Mid. expiratory time de LEUALLEN et FOWLER ; 1955)

ou le débit moyen correspondant  $\frac{0,5}{\tau}$

A partir de ces données et de l'hypothèse selon laquelle la limitation du débit expiratoire est la principale cause de la limitation de l'exercice musculaire en profondeur, deux voies peuvent être suivies pour faire une prévision :

- d'une part, les débits instantanés, pendant l'expiration forcée et pendant l'exercice musculaire peuvent être comparés.
- d'autre part, la comparaison peut être faite sur des débits moyens.

Dans les deux cas, un niveau ventilatoire donné dans la CV doit être supposé pour l'exercice musculaire.

Pour les débits instantanés, on peut supposer que le débit expiratoire maximal à 0,5 CV atteint 2 ou 3 dm<sup>3</sup> par seconde pendant un exercice intense. Si c'est aussi le cas pendant la plongée, on peut conclure de nos résultats qu'une limitation relative peut apparaître entre 500 et 600 mètres en atmosphère héliox.

D'autre part, si l'on suppose que pour un exercice intense ou maximal,  $\dot{V}_T$  est égal approximativement à  $\frac{1}{2}$  CV, que dans ces conditions, le niveau ventilatoire est compris entre 0,25 et 0,75 CV, avec un temps d'expiration égal au temps d'inspiration, la ventilation maximale possible ( $\dot{V}_{\max}$ ) peut être calculée à partir des valeurs de Maximal Midexpiratory Flow qui ont été mesurés pour les quatre sujets :

$$\dot{V}_{\max} = \frac{0,5 \text{ CV}}{2 \tau}$$

Pour les sujets des expériences SAGITTAIRE II et PHYSALIE VI, l'équation de l'évolution de  $\dot{V}_{\max}$  ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) en fonction de la pression est :

$$\dot{V}_{\max} = 2,95 \cdot P_B^{-0,30}$$

Nous avons comparé les valeurs de  $\dot{V}_{\max}$  obtenues à partir de la dernière équation avec les valeurs de ventilation  $\dot{V}_E$  publiées antérieurement, pour l'exercice en profondeur en atmosphère He O<sub>2</sub> par BRADLEY et coll. 1971, SALZANO et coll. 1971.

Les résultats publiés par ces auteurs sont très proches les uns des autres, ainsi que des valeurs de surface, en normoxie.

Elles peuvent être représentées par la régression linéaire :

$$\dot{V}_E (\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}) = 0,170 + 0,0054 \dot{W}_{\text{Mec}} \quad (r = 0,99)$$

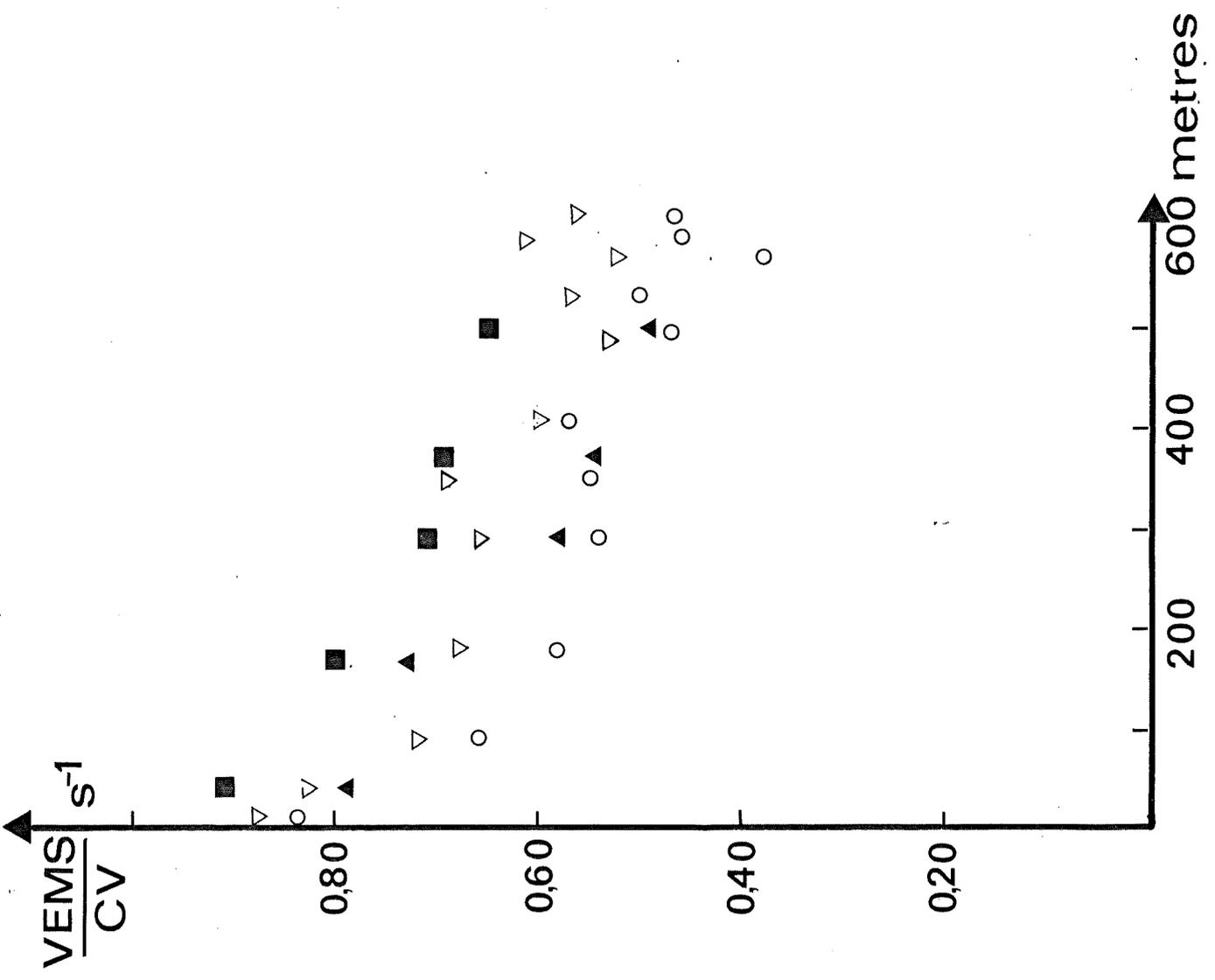
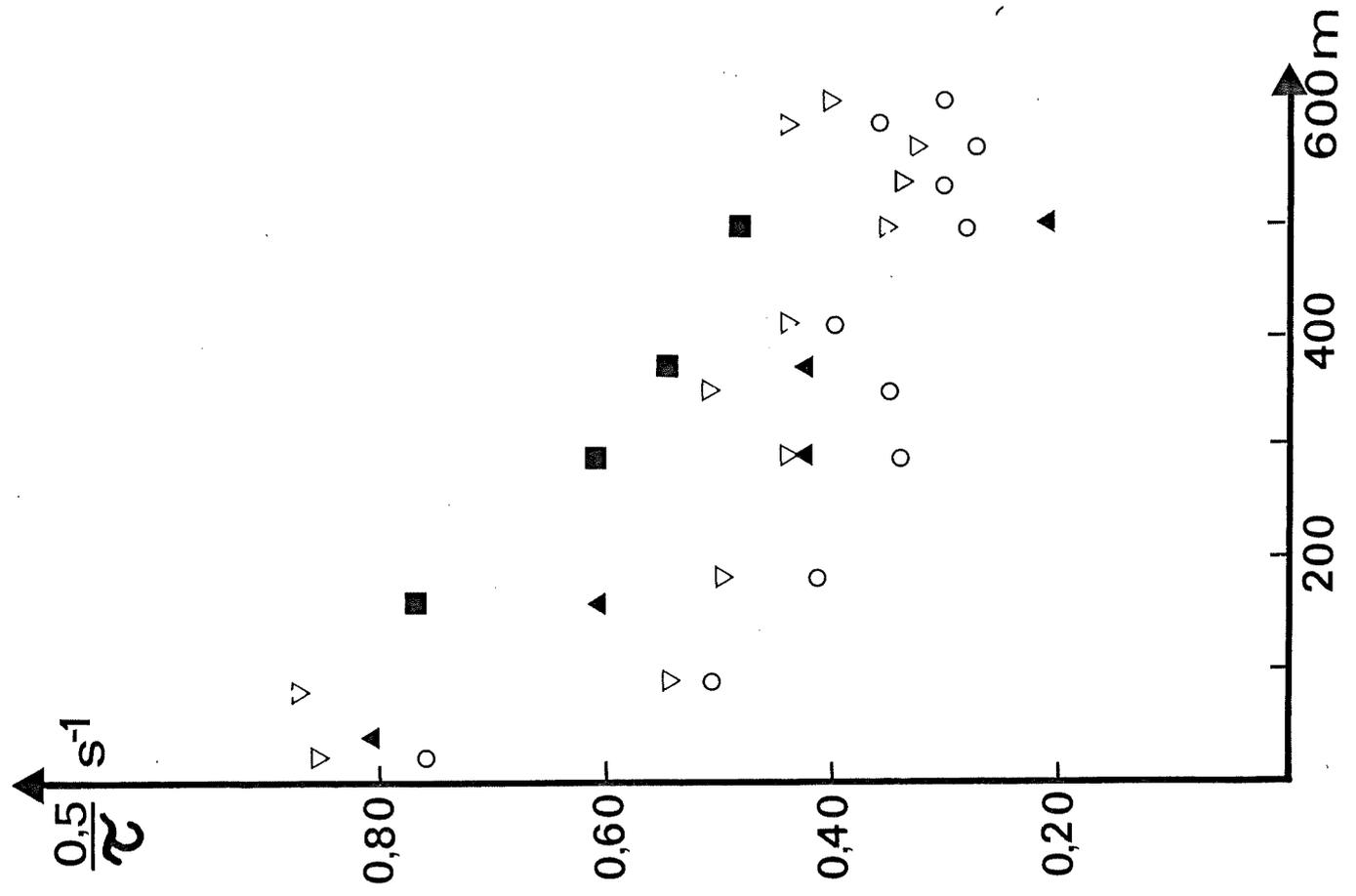
$$\dot{W}_{\text{Mec}} = \text{puissance de l'exercice exprimée en Watts.}$$

La solution graphique ou analytique de l'équation  $\dot{V}_{\max} = \dot{V}_E$  conduit à la conclusion que l'exercice musculaire maximal possible

sera de 150 Watts à 400 mètres, de 135 Watts à 500 mètres, 125 Watts à 600 mètres de profondeur (en atmosphère He-O<sub>2</sub>, P<sub>IO<sub>2</sub></sub> = 0,30 ou 0,40 ATA).

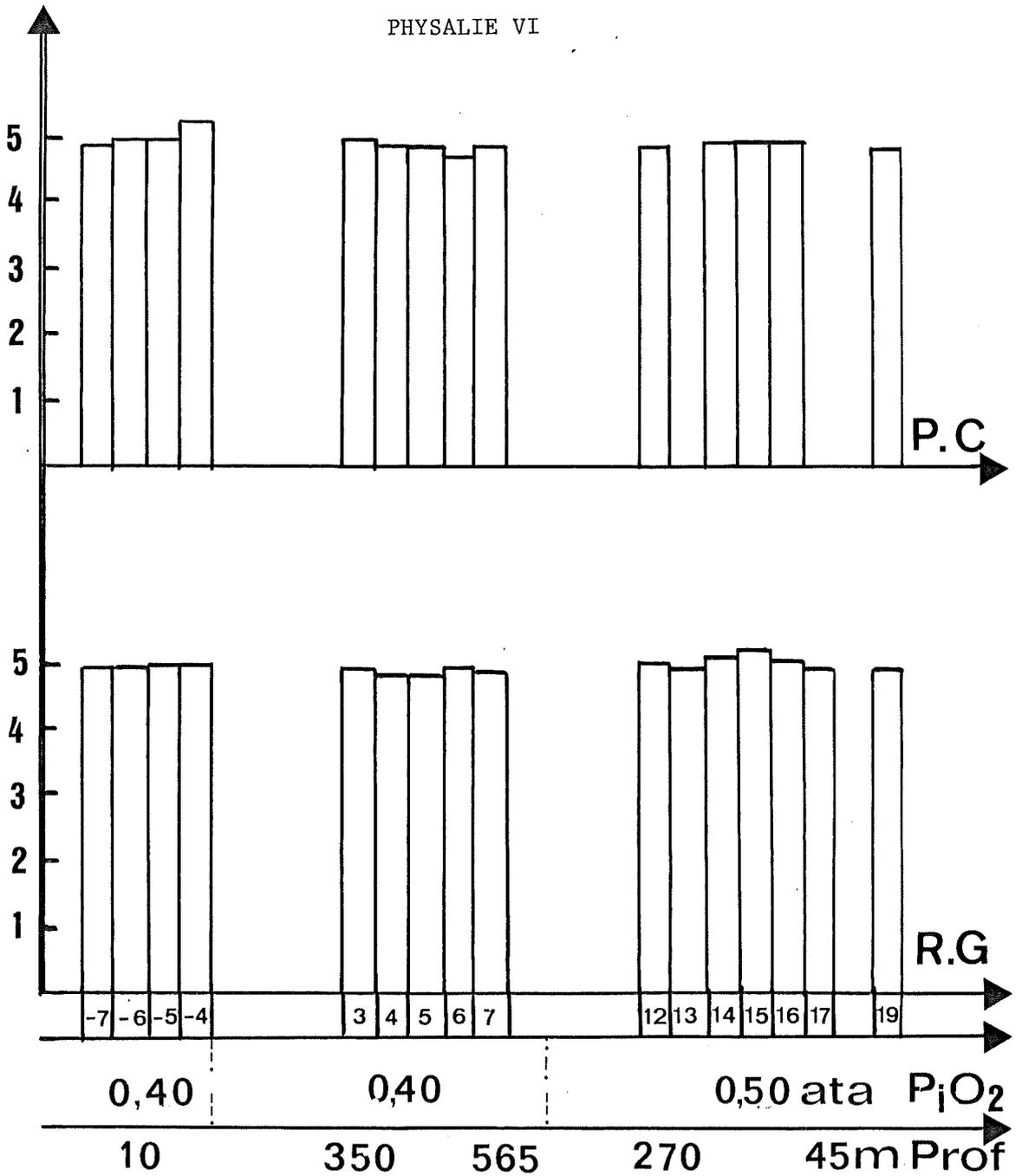
Ces estimations peuvent bien sûr être discutées. Elles sont valables dans la mesure où les hypothèses de départ sont valables. D'autant plus qu'étant des estimations moyennes, nous avons des variations d'un sujet à l'autre.

On peut ainsi penser, par exemple, que l'exercice maximal possible sera plus important pour des sujets ayant une grande capacité vitale et un temps de demi-expiration plus faible.



# CAPACITE VITALE (litres B.T.P.S.)

PHYSALIE VI



# ESTIMATION SUBJECTIVE DE LA FATIGUE

## METHODES :

Nous avons employé trois ensembles de tests qui donnent naissance à trois estimations complémentaires de la fatigue.

a) - Estimation subjective globale de la sensation de la fatigue. (Fig. 1 et Fig. 2).

Le sujet exprime en langage verbal selon une échelle en 7 ou 9 points qu'il est de (en excellente forme) à (fatigué, exténué). Cette estimation a été inspirée par les travaux de Mc. Nelly (G.W.) (1954). Nous la décrivons sous le nom d'estimation subjective de la fatigue, en abréviation E.S.F.

b) - Analyse subjective de la fatigue corporelle.

Elle a été conduite en proposant aux sujets un inventaire de la fatigue corporelle, considérée essentiellement au niveau des territoires musculaires et articulaires. Sur deux schémas du corps humain (face antérieure du corps et face postérieure) nous avons délimité 50 zones corporelles les plus clairement définies. A cette description imagée correspond un questionnaire de 50 items. Nous avons établi une telle division ne comportant que 50 éléments en raison de la capacité de traitement statistique des appareils (ordinateur) que nous possédons. Le sujet indique les régions qui sont le siège d'une fatigue, c'est-à-dire finalement "d'une sensation de malaise, de courbature, voire même de douleur". L'inventaire de cette description donne lieu à une notation, par points simples. Tous les territoires ont la même valeur 1. Une description moyenne générale et une description moyenne statistique ainsi qu'un dénombrement des points de fatigue permettent d'exprimer la fatigue en 12 points sur 50, par exemple. Ce dénombrement donne lieu à une appellation qui est : Analyse subjective de la fatigue corporelle, en abréviation A.S.F.C.

.../...

c) - Enquête des symptômes subjectifs de la fatigue.

Elle a été aussi demandée au sujet. Le sujet exprime en langage verbal que telle région de son corps est en état de fatigue ressentie, que telle activité est pénible. C'est un questionnaire quantitatif qui est proposé au sujet. Ce questionnaire a été établi en fonction des travaux de KOGI (1970). Il est appelé "Enquête des symptômes subjectifs" en abréviation E.S.S.

Cette enquête a été conduite selon un questionnaire en trois parties A., B., et C. que l'on retrouvera en annexe. Les dix questions de chacune des séries A., B., et C. sont regroupées en gros selon un ensemble de symptômes.

caractéristiques en A par le niveau de vigilance, en B par le niveau de motivation et en C par des questions qui définissent les caractéristiques physiques de la fatigue ressentie. L'originalité des trois séries A., B., et C. de symptômes subjectifs résulte d'une analyse factorielle, conduite par KOGI, auprès de professionnels japonais de divers métiers (18 000 sujets répartis en 150 professions). Nous avons considéré à la suite de KOGI que cette division en trois séries de symptômes était statistiquement fondée (Méthode analyse factorielle - Varimax de Kaiser).

Ainsi donc, nous interrogeons les sujets du point de vue global de la sensation de la fatigue (E.S.F.), analyse subjective de la fatigue corporelle (A.S.F.C.) et enquête des symptômes subjectifs de la fatigue (E.S.S.).

Du point de vue technique nous avons procédé de la façon suivante:

Nous avons d'abord défini les circonstances générales de l'observation et la conduite même de l'observation. Nous avons fait passer les tests à deux plongeurs (P.C. et R.G.) en situation de plongée expérimentale pendant 18 jours. Ces 18 jours comprennent du 1er au 8ème jour la compression, le 9ème jour au fond et du 9ème au 18ème jour la décompression.

Les sujets n'ont pas été examinés, ni avant la compression ni après la décompression, pour des raisons purement matérielles. Les circonstances générales de l'observation ont été les suivantes :

Nous avons interrogé les sujets au cours d'une expérience de plongée profonde qui a atteint 610 m en 8 jours du 16 au 24 mai 1972. Cette compression a été suivie d'une décompression en 10 jours du 24 mai au 2 juin 1972.

Nous avons proposé chaque jour à 08 h 00 le matin et à 20 h 00 le soir aux sujets les questionnaires présentés en annexe et qui, dans l'ordre, interrogent les sujets sur l'E.S.S., l'A.S.F.C., et l'E.S.F.

- Sur l'E.S.S. : les sujets devaient répondre par oui ou non à chaque question (30) de A, B et C.
- Sur l'A.S.F.C. : ils devaient marquer d'une croix les points du corps où ils percevaient un malaise, une douleur, une difficulté qui pouvait être rapportée au séjour au fond et par conséquent à un certain état de fatigue.
- Enfin, sur l'E.S.F. : ils devaient coter d'une croix le point général de l'échelle de fatigue.

L'ENQUETE DE SYMPTOMES SUBJECTIFS

-----

N° .....

NOM .....

DATE / /197

Heure.....

REMARQUE .....

Nous vous demandons maintenant l'état de votre corps.

Répondez à toutes les questions qui suivent par oui ou par non

A.

- 1. Avoir la tête lourde.....
- 2. Etre fatigué .....
- 3. Avoir les jambes lourdes.....
- 4. Bailler.....
- 5. Avoir les idées embrouillées.....
- 6. Avoir envie de dormir.....
- 7. Avoir les paupières lourdes.....
- 8. Etre ankylosé.....
- 9. Tituber.....
- 10. Vouloir s'allonger.....

B.

- 11. Avoir de la difficulté à penser.....
- 12. Devenir fatigué en parlant.....
- 13. Devenir nerveux.....
- 14. Incapable de concentrer son attention.....
- 15. Incapable de se concentrer.....
- 16. Etre susceptible d'oublier des choses.....
- 17. Manque de confiance en soi.....
- 18. Tourmenté par quelque chose.....
- 19. Incapable de se tenir droit debout.....
- 20. Manque de patience.....

C.

- 21. Avoir mal à la tête.....
- 22. Se sentir les épaules lourdes.....
- 23. Avoir mal aux reins.....
- 24. Avoir des difficultés pour respirer.....
- 25. Avoir soif.....
- 26. Etre enroué.....
- 27. Avoir la tête qui tourne.....
- 28. Avoir les yeux qui papillotent.....
- 29. Avoir les bras ou les jambes qui tremblent.....
- 30. S'ennuyer à ne rien faire.....

FIG. I

## R E S U L T A T S

-----

Le dénombrement auquel nous avons procédé selon les techniques précédemment décrites n' a pas donné lieu à un traitement statistique, mais seulement à une représentation graphique, exprimée par les tableaux 1, 2, et Fig. 3.

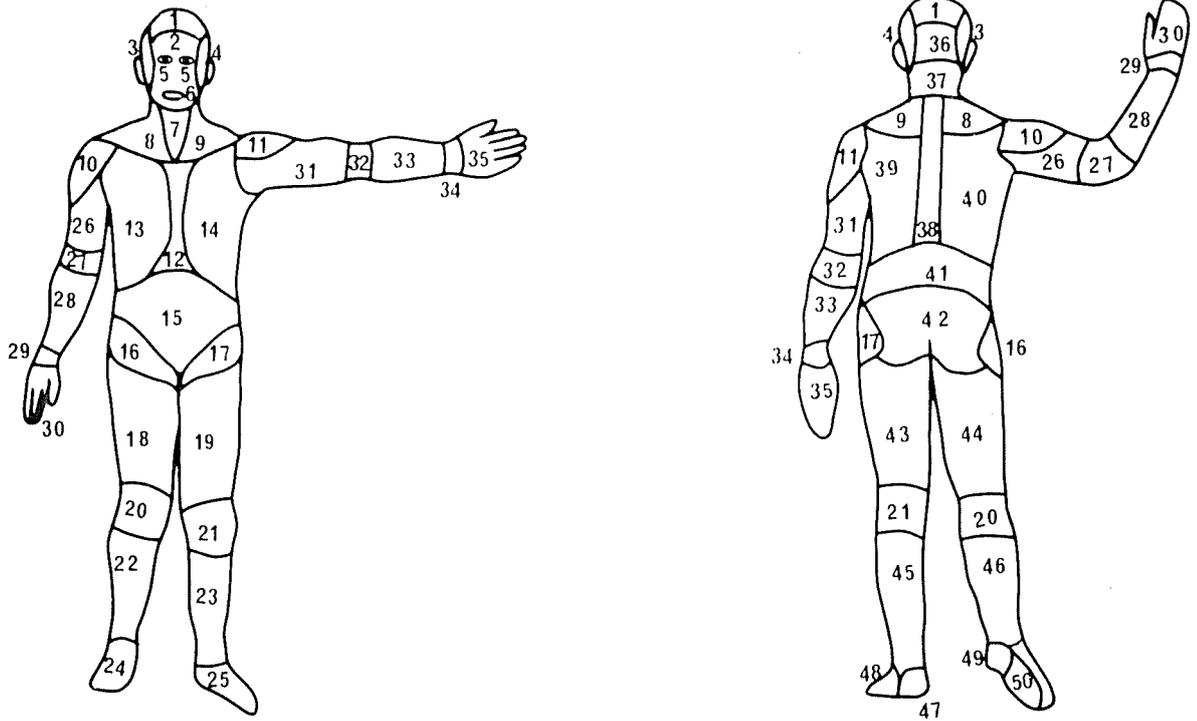
Du point de vue des faits mêmes le tableau 1, dans ses diverses parties résume les réponses données par les sujets. On s'y reportera pour ce qui est de l'analyse fine, jour par jour et de l'état des deux sujets.

Le tableau 2 exprime le même résultat sous une forme graphique. C'est à propos du tableau 2 que nous pouvons donner les commentaires généraux suivants.

- 1) - Du point de vue de la compression pendant le 1er et 2ème jour, les sujets n'ont pas manifesté de signes subjectifs de fatigue, qu'il s'agisse de l'estimation analytique ou bien de l'appréciation globale . Aux 4ème et 5ème jours, on voit se développer une fatigue subjective légère, appréciée soit à travers l'estimation globale (E.S.F.), soit à travers une estimation corporelle (A.S.F.C.). Un sujet (P.C.) en particulier, témoigne des troubles corporels. Il est intéressant de noter que ces troubles localisés du sujet (P.C.) ne sont pas exprimés par une sensation globale de fatigue (E.S.F.) ni d'ailleurs par aucune des analyses A., B., et C., de l'E.S.S. , de caractères plus psychologiques.

A la fin de la 1ère phase de compression, le palier à 350 m ne se signale pas par une manifestation physique de fatigue marquée. Par contre, les sujets, à partir de 500 m ont exprimé en général des troubles qu'ils ressentaient et qui sont lisibles sur les trois tests, mais surtout à la profondeur maximale de 610 m, les

II. SOUS CE SCHEMA LOCALISEZ LES POINTS OU LES ZONES DE VOTRE CORPS OU VOUS RESSENTEZ DE LA FATIGUE.



III. NOUS VOUS DEMANDONS D'EVALUER VOTRE SENSATION DE FATIGUE GRACE A UNE ECHELLE NUMERIQUE ALLANT DE 1 A 9.

- 1 - EN EXCELLENTE FORME
- 2 - EN TRES BONNE FORME
- 3 - EN BONNE CONDITION
- 4 - EN ASSEZ BONNE CONDITION
- 5 - EN MOYENNE CONDITION
- 6 - UN PEU FATIGUE
- 7 - FATIGUE
- 8 - TRES FATIGUE
- 9 - ETRE EXTENUE

Fig. 2

signes de fatigue ne se sont pas manifestés de façon grave, sauf pour une estimation globale, qui reste modérée puisqu'elle ne dépasse pas le degré II de E.S.F.

On considère donc que la compression d'une part, la pression d'autre part, ne sont pas par elles-mêmes responsables d'une altération grave de l'état des sujets.

- 2) - Par contre, quand la décompression commence jusqu'au palier 467 m, on voit se développer des signes corporels qui atteignent un des sujets, le sujet (R.G.) de façon marquée, alors que l'autre sujet (P.C.) voit ses signes corporels (A.S.F.C.) se réduire.

Quoiqu'il en soit de ces variations corporelles analytiques très marquées, on note ici une certaine corrélation entre (A.S.F.C.) et (E.S.F.). Pour le test E.S.S. d'analyse psychologique à travers les séries A, B, et C, c'est surtout la vigilance (A) qui chez les deux sujets semble gravement atteinte au cours de la décompression. Les signes B sont pratiquement nuls. Les signes C de la fatigue physique sont relativement faibles. Le palier de 467 m se signale par une similitude de réponse aux signes de fatigue pour les 2 sujets.

La décompression se poursuit et on trouve alors qu'à partir de 100 m, les sujets ne présentent plus de troubles corporels analytiques (A.S.F.C.), ni signes A, B, et C. (E.S.S.) de la fatigue. Simplement, l'échelle générale subjective (E.S.F.) témoigne d'une fatigue très modérée, puisqu'elle s'exprime par des jugements tels que bonne condition, assez bonne condition, etc... qui sont finalement des témoignages de l'état général des sujets. On doit noter que cette estimation accompagne le 13ème et 14ème jour de confinement en pression.

.../...

# FATIGUE SUBJECTIVE

## PHYSALIE VI

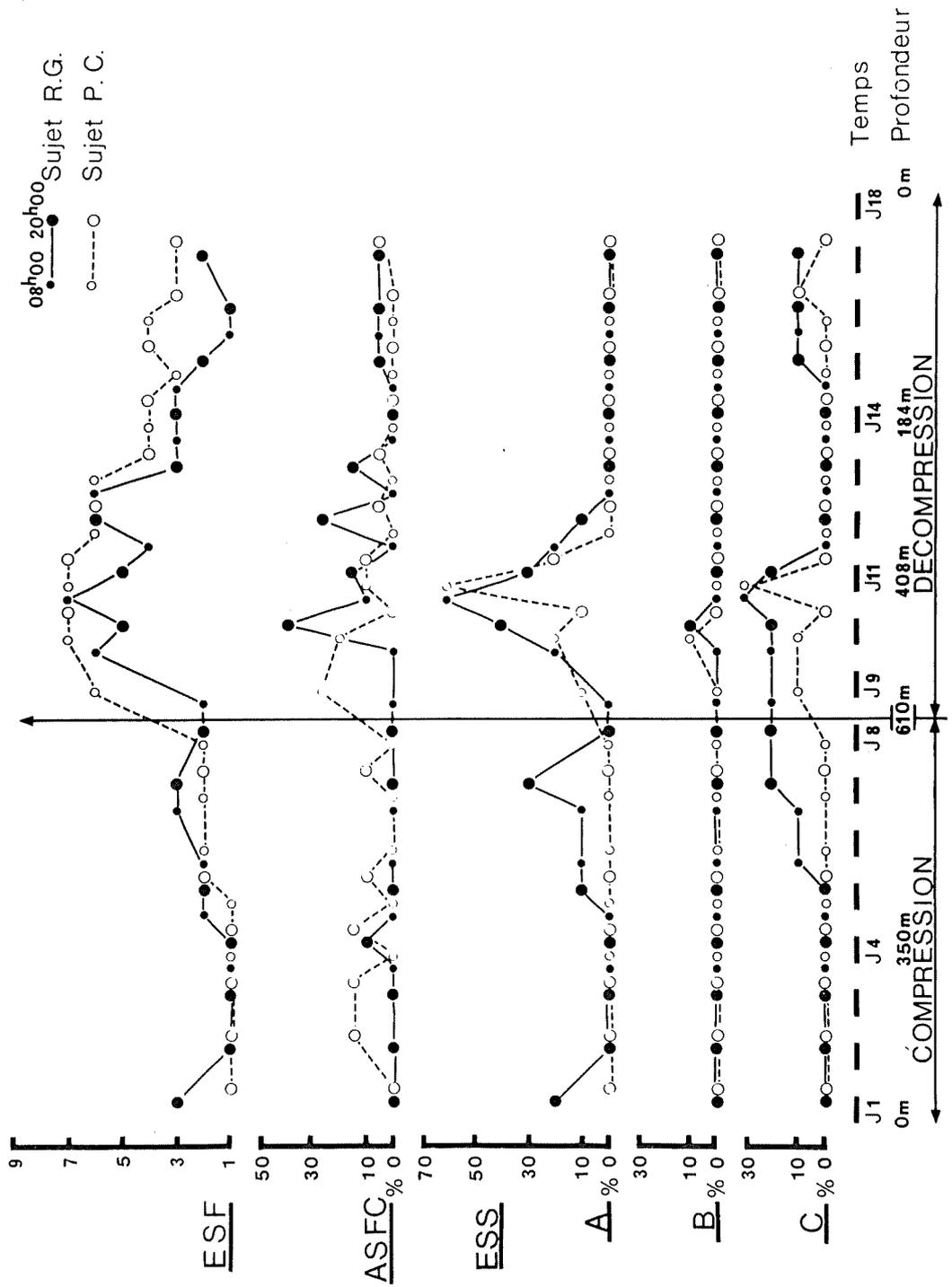


Tableau 2

# ANALYSE SUBJECTIVE DE LA FATIGUE CORPORELLE PHYSALIE VI

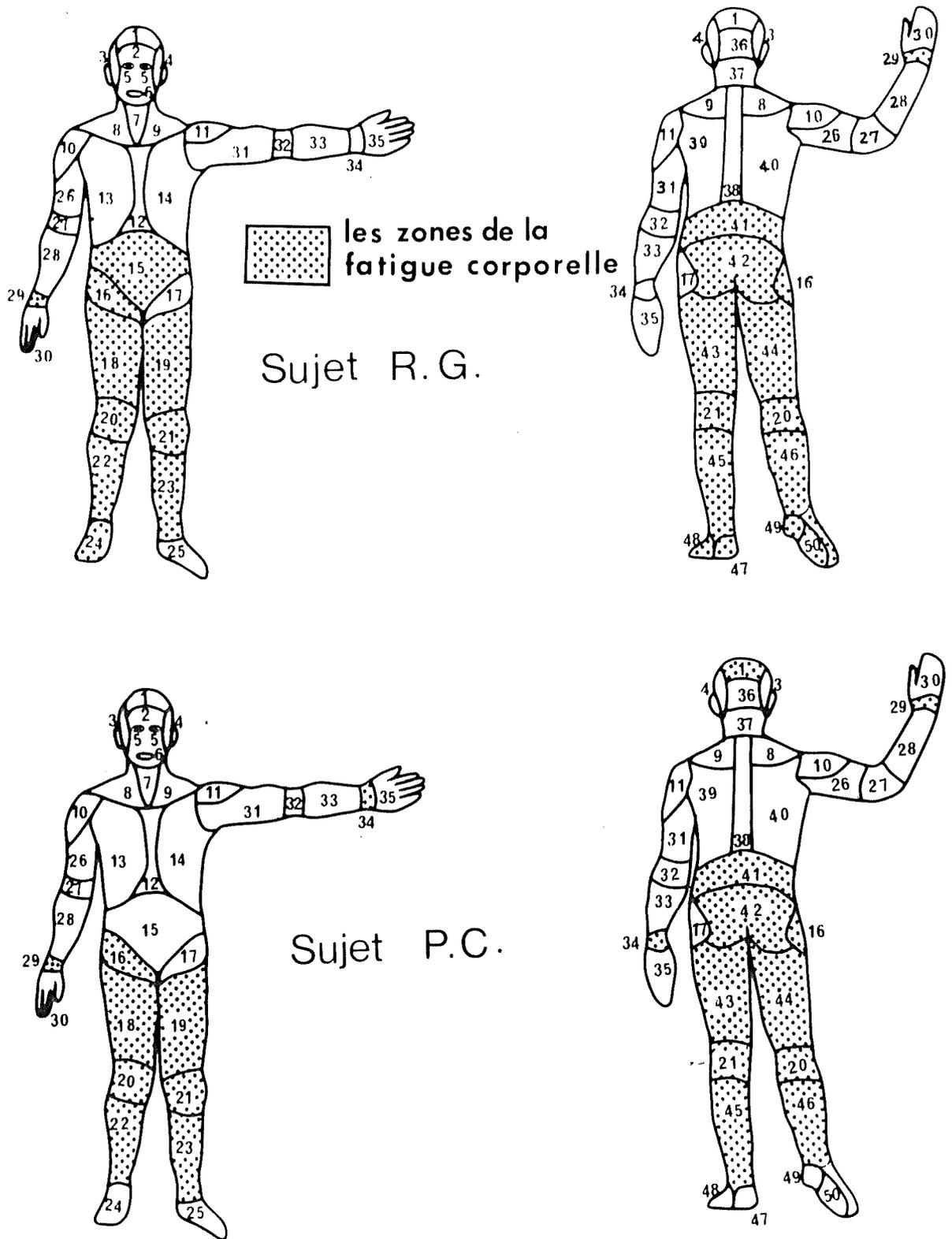


FIG. 3

Les difficultés observées se situent au niveau des reins, entendu au sens essentiellement musculaire du terme.

Enfin, on note que la fin de décompression, avant même que les sujets soient sortis, s'accompagne d'un retour à des jugements tout à fait optimistes sur l'état du sujet qu'il s'agisse de l'E.S.S., l'A.S.F.C., et l'E.S.F., tandis qu'au retour en surface les sujets témoignent d'un excellent état.

## D I S C U S S I O N

-----

En ce qui concerne la vue d'ensemble, disons que ce qui frappe l'observateur à la lecture du tableau 2, c'est que les témoignages de fatigue subjective sont portés au début de la décompression et qu'ensuite quand la décompression se poursuit, ces témoignages disparaissent. Les témoignages sont finalement de trois classes.

Il y a des troubles corporels au moment de la décompression. La question se pose alors de savoir à propos de ces troubles dont la définition est assez claire et précise, s'il s'agit de troubles de fatigue ou d'accidents liés à la décompression et qui pourraient avoir par exemple une cause circulatoire. On est alors obligé de passer de l'estimation globale (E.S.F.) à une considération des territoires auxquels sont rapportés les troubles des deux sujets. La figure 3 indique d'une façon très générale que les troubles présentés concernent la moitié inférieure du corps. L'un et l'autre sujet ayant répondu avec possibilité de concertation mutuelle. Nous admettrons néanmoins à la base de notre discussion qu'il n'y a pas d'inférence du jugement d'un sujet sur le jugement de l'autre sujet.

Ceci étant admis, d'une façon plus précise, les troubles dont il est fait état sont essentiellement des troubles articulaires qui intéressent par conséquent les hanches, les genoux, les chevilles et les poignets. Il s'agit là de signes qui paraissent classiques et correspondent à des signes de la maladie des caissons. S'il en est bien ainsi, cela pose le problème de la vitesse de décompression, mise en relation avec les qualités circulatoires des sujets, au niveau des régions articulaires et nous retrouvons là, le problème général de la circulation, de l'équilibre osmotique, du dysbarisme.

Du point de vue propre de la fatigue au sens où nous l'entendons d'usage, on peut se demander si ces troubles articulaires, troubles de décompression ont quelque chose à voir avec une fatigue, c'est-à-dire un épuise-

.../...

ment dû à l'exercice. C'est un point qui paraît peu probable.

Pour ce qui est du résumé général de l'épreuve :

1. - Le test de l'E.S.F. montre que c'est au début de la décompression que cette fatigue s'est accrue en même temps que la vigilance a baissé (voir série A de l'E.S.S.).

Il se pose alors la question de savoir, si cette baisse de vigilance consécutive à la sensation générale de fatigue n'est éventuellement pas due à la baisse de motivation au cours d'une épreuve dont on sait qu'elle est entrée dans la pratique courante. Autrement dit, ces sujets qui participaient à une plongée extrême dans les conditions actuelles de la technique ne se sont-ils pas trouvés considérablement motivés quand il s'agissait de la compression et moins motivés quand il s'agissait de décompression. Avec d'ailleurs dans le même esprit au fur et à mesure qu'on revient vers la surface l'expression vécue d'un retour en forme avec la perspective d'un succès pour l'ensemble de l'opération et d'un retour à la liberté. Autrement dit, la perception rapportée par les sujets étant considérée comme sensée et véritable était liée aux circonstances générales de la plongée plutôt qu'aux conditions techniques particulières de la performance.

2. - Le deuxième point de l'analyse était d'examiner si les variations rapportées pouvaient être corrélées entre elles. On voit que cette corrélation entre points de fatigue corporelle (A.S.F.C.) et fatigue générale (E.S.F.) n'est pas claire. En effet, un sujet (R.G.) manifeste des troubles ostéo-musculaires et une fatigue, en bonne corrélation il est vrai. Mais l'autre sujet (P.C.) témoigne de la même fatigue, plus marquée quand il s'agit de l'estimation globale (E.S.F.) et les signes ostéo-musculaires (E.A.S.F.C.) sont nuls chez lui.

Par conséquent on ne peut pas dire qu'il y a une corrélation entre l'E.S.F. et A.S.F.C. La corrélation n'existe pas pour autant qu'on puisse en juger à travers ces deux sujets. Cette conclusion rejoint d'ailleurs ce qu'on avait estimé précédemment, à savoir que les risques ostéo-musculaires pouvaient être d'origine "circulatoire" plutôt que signes généraux de fatigue.

3. - Le troisième point abordé est de savoir si l'on pouvait mettre cette fatigue en relation avec les circonstances générales de la plongée fictive et en particulier avec l'activité des sujets et la charge de travail que cette activité pouvait constituer pour les sujets pendant la plongée fictive. Il est alors important de rappeler que pendant la plongée fictive les sujets (P.C.) et (R.G.) avaient diverses tâches à accomplir. D'autre part, il est tout à fait important de signaler que pendant la compression les sujets étaient soumis à un certain nombre de tests qui étaient, soit des tests d'analyses biologiques, soit des tests de mécanique ventilatoire et aussi des épreuves ergométriques statique et dynamique utilisant en particulier la bicyclette.

L'emploi du temps des plongeurs étant particulièrement rempli, disons que les journées de plongée fictive étaient aussi des journées de travail. Rappelons que la composition de l'atmosphère était Hélium-Oxygène avec une  $piO_2$  de 400 mb, donc un milieu légèrement hyperoxique. Pendant ces journées de compression avec travail physique et travail attentif, les sujets n'ont pas manifesté en gros de fatigue, sauf un petit début de fatigue globale qu'on peut rapporter à l'ensemble de la situation.

Pendant la décompression, il n'était demandé aux sujets aucune activité et c'est à ce moment-là qu'ils ont les témoignages de fatigue. On peut dire alors ou bien que la fatigue exprimée par le sujet était en rapport avec le début de la deuxième partie de l'épreuve, telle que cela a été défini précédemment et elle aurait une source purement psychologique, ou bien le sujet en état de décompression sans exercice physique se trouve dans des conditions circulatoires qui ne sont pas les meilleures et peut-être y-a-t-il là alors effectivement une source objective de la fatigue subjective, ce qui pose la question de savoir si finalement pendant la décompression il vaut mieux être au repos complet ou avoir une activité modérée.

.../...

4. - La dernière partie de la discussion concerne la critique de la méthodologie. Elle peut porter sur la structure du questionnaire et sur les modes de passation.

Pour ce qui est de la structure du questionnaire et à propos de la technologie nous allons faire quelques remarques touchant en particulier l'opportunité des questions et l'opportunité de la cotation.

Pour ce qui est de la technique de passation, il est bien certain que le sujet doit évidemment répondre à un questionnaire qu'il connaît et dont il se souvient puisque c'est le même questionnaire qu'il reçoit matin et soir, chaque jour.

Alors se pose la question d'induction que peuvent avoir les réponses du jour, du matin, du soir, et les réponses de la veille sur les réponses du lendemain, l'induction aussi que peut exercer d'une façon générale la situation du sujet, soit qu'il ait tendance à aggraver ses jugements de pessimisme, soit qu'au contraire il ait tendance à les colorer d'optimisme. Il est difficile de juger, puisque cela dépend de la personnalité du sujet en règle générale optimiste ou pessimiste et de la façon dont il juge l'interrogatoire en regard de la situation actuelle et de l'avenir de la plongée. Autrement dit la question se pose de savoir si les relations subjectives possèdent un degré suffisant d'objectivité. La réponse à cette question ne saurait venir que de la mise en corrélation avec des tests objectifs.

Dans la plongée PHYSALIE VI, il est néanmoins possible de mettre en rapport nos résultats, avec des résultats obtenus par les équipes qui ont étudié l'ergonomie, l'ergométrie et le travail physique.



TEMPS HEURE PROFONDEUR DATE	SUJET.	E. S. S.	A. S. F. C.	E. S. F.
J5 20 : 00 455 M. 20 mai 1972	R. G.	6 - avoir envie de dormir	R. A. S.	2 - en très bonne forme
	P. C.	R. A. S.	I6 - aine droite 20 - genou 2I - genou gauche 29 - poignet droit 34 - poignet gauche	2 - en très bonne forme
J6 08 : 00 500 M. 21 mai 1972	R. G.	6 - avoir envie de dormir 25- avoir soif	R. A. S.	2 - en très bonne forme
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	2 - en très bonne forme
J7 08 : 00 535 M. 22 mai 1972	R. G.	6 - avoir envie de dormir 25- avoir soif	R. A. S.	3 - en bonne condition
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	2 - en très bonne condition
	R. G.	4 - bailler 6 - avoir envie de dormir 8 - être ankylosé 23- avoir mal aux reins 25- avoir soif	R. A. S.	3 - en très bonne condition
	P. C.	R. A. S.	20 - genou droit 2I - genou gauche	2 - en très bonne forme
J8 08 : 00 565 23 mai 1972	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	2 - en très bonne forme
	R. G.	24- avoir des difficultés pour respirer 25- avoir soif	R. A. S.	2 - en très bonne forme
J9 08 : 00 543 M.	R. G.	24- avoir des difficultés pour respirer 25- avoir soif	R. A. S.	2 - en très bonne forme
	P.C.	3 - avoir les jambes lourdes	I- sommet de la Tête 2- front	6 - un peu fatigué ..../..

TEMPS HEURE PROFONDEUR DATE	SUJET	E. S. S.	A. S. F. C.	E. S. F.
J9 8 : 00 543 M.  20 : 00  24 Mai 1972	P. C.	-2I avoir mal à la tête	-18 face antérieure cuisse droite -19 face antérieure cuisse gauche -20 genou droit -21 genou gauche -22 face antérieure jambe droite  -23 face antérieure jambe gauche -29 poignet droit -43 face postérieure de cuisse gauche -44 face postérieure cuisse droite -45 face postérieure jambe gauche -46 face postérieure jambe droite	
J10 08 : 00 470 M.	R. G.	-2 être fatigué -10 vouloir s'allonger -23 avoir mal aux reins -27 avoir la tête qui tourne	R. A. S.	-6 un peu fatigué
	P. C.	- 2 être fatigué - 3 avoir les jambes lourdes -20 manque de patience -21 avoir mal à la tête	-18 face antérieure cuisse droite -19 face antérieure cuisse gauche -20 genou droit -21 genou gauche -22 face antérieure jambe droite -23 face antérieure jambe gauche -43 face postérieure cuisse gauche -44 face postérieure cuisse droite -45 face postérieure jambe gauche -46 face postérieure jambe droite	-7 fatigué

TEMPS HEURE PROFONDEUR DATE	SUJET	E. S. S.	A. S. F. C.	F. S. F.
IIO 20 : 00 447 M.	R. G.	2 - être fatigué 6 - avoir envie de dormir 9 - tituber IO- vouloir s'al- longer 20- manque de patience 23- avoir mal aux reins 27- avoir la tête qui tourne	I5 - ventre I6 - aine droite I7 - aine gauche I8 - face antérieure cuisse droite I9 - face antérieure cuisse gauche 20 - genou droit 2I - genou gauche 22 - face antérieure jambe droite 23 - face antérieure jambe gauche 4I - reins 42 - fesses 43 - face postérieure cuisse gauche 44 - face postérieure cuisse droite 45 - face postérieure jambe gauche 46 - face postérieure jambe droite 47 - talon gauche 48 - plante du pied gauche 49 - talon droit 50 - plante du pied droit	5 - en moyenne condi- tion
JIO 20 : 00 447 M. 25 Mai 1972	P. C.	2 - être fatigué	R. A. S.	7 - fatigué
JII 08 : 00 408 M.	R. G.	2 - être fatigué 4 - bailler 6 - avoir envie de dormir 7 - avoir les pau- pières lourdes 8 - être ankylosé IO- vouloir s'al- longer 23- avoir mal aux reins 25- avoir soif 27- avoir la tête qui tourne	4I - reins	7 - fatigué

TEMPS HEURE PROFONDEUR DATE	SUJET	E. S. S.	A. S. F. C.	E. S. F.
...	P. C.	2 - être fatigué 4 - bailler 6 - avoir envie de dormir 7 - avoir les paupières lourdes 8 - être ankylosé 10- vouloir s'allonger 23 -avoir mal aux reins 25- avoir soif 27- avoir la tête qui tourne	4I - reins	7 - fatigué
20 : 00 358 M  26 Mai 1972	R. G.	6 - avoir envie de dormir 9 - tituber 10- vouloir s'allonger 23- avoir mal aux reins 27- avoir la tête qui tourne	18 - face antérieure cuisse droite 19 - face antérieure cuisse gauche 20 - genou droit 21 - genou gauche 41 - reins 42 - fesses 43 - face postérieure cuisse gauche 44 - face postérieure cuisse droite	5 - en moyenne condition
JI2 08 : 00 316 M.	R. G.	9 - tituber 10- vouloir s'allonger	R. A. S.	4 - en assez bonne condition.
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	6 - un peu fatigué
JI2 20 : 00 278 M.	R. G.	9 - tituber	20 - genou droit 21 - genou gauche 29 - poignet droit 41 - reins 42 - fesses 43 - face postérieure cuisse gauche 44 - face postérieure cuisse droite	6 - un peu fatigué.

TEMPS HEURE PROFONDEUR DATE	SUJET	E. S. S.	A. S. F. C.	E. S. F.
.....			45 - face post. jambe gauche 46 - face postérieure jambe droite 47 - talon gauche 48 - plat du pied gauche 49 - talon droit 50 - plat du pied droit	
27 mai 1972	P. C.	R. A. S.	20 - genou droit	6 - un peu fatigué
JI3 08 : 00 244 M.	R. G.	R. A. S.	R. A. S.	6 - un peu fatigué
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	6 - un peu fatigué
20 : 00 212 M.	R. G.	R. A. S.	19 - face antérieure cuisse droite 20 - genou droit 21 - genou gauche 22 - face antérieure jambe droite 23 - face antérieure jambe gauche 24 - dessus du pied droit 4I - reins	3 - en bonne condition
	P. C.	R. A. S.	20 - genou droit	4 - en assez bonne condition
28 mai 1972	R. G.	R. A. S.	R. A. S.	3 - en bonne condition
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	4 - en assez bonne condition
JI4 08 : 00 184 m	R. G.	R. A. S.	R. A. S.	3 - en bonne condition
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	4 - en assez bonne condition
20 : 00 158 M.	R. G.	R. A. S.	R. A. S.	3 - en bonne condition
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	4 - en assez bonne condition.
29 mai 1972				

TEMPS HEURE PROFONDEUR DATE	SUJET	E. S. S.	A. S. F. C.	E. S. F.
JI5 08 : 00 134 M.	R. G.	R. A. S.	R. A. S.	3 - en bonne condition
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	3 - en bonne condition
20 : 00 113 M.  30 mai 1972	R. G.	23- avoir mal aux reins	4I - reins	2 - en très bonne forme
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	4 - en assez bonne condition
JI6 08 : 00 92 M.	R. G.	23- avoir mal aux reins	4I - reins	2 - en très bonne forme
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	4 - en assez bonne condition
20 : 00 73 M.  31 mai 1972	R. G.	23- avoir mal aux reins	4I - reins	1 - en excellente forme
	P. C.	R. A. S.	R. A. S.	3 - en bonne condition
JI7 20 : 00 37 M.  1er juin 1972	R. G.	23- avoir mal aux reins	4I - reins	2 - en très bonne forme
	P. C.	R. A. S.	4I - reins	3 - en bonne condition
JI8 20 : 00 0 M. 2 Juin	R. G. et P. C. SORTIE DU CAISSON			

" C O N C L U S I O N "

-----

A partir donc de nos observations, on peut conclure qu'au moment où l'épreuve entre dans la phase de la décompression apparaissent des troubles qui peuvent avoir deux origines :

- 1) - Des troubles qui sont liés à la décompression par elle-même
- 2) - Des troubles dus à une baisse du moral (baisse de vigilance et baisse de motivation).

Les deux classes de troubles sont à considérer puisque, s'il s'agit de difficultés de décompression, ou de baisse de vigilance, l'importance de l'observation est évidente, car il convient qu'en situation de plongée la motivation reste portée à un niveau suffisant.

On peut en juger en particulier à partir des troubles de la plongée à l'air. Combien la baisse de motivation, de concertation, d'attention, tout autant que l'euphorie peuvent être nuisibles à la sécurité des plongeurs. Disons alors que du point de vue pratique, les deux classes de tests qui paraissent intéressantes et qui peuvent être conservées à travers cette analyse, sont l'estimation globale de fatigue (E.S.F.) qui est assez cohérente pour chacun des deux sujets, puis l'analyse des troubles articulaires et musculaires (A.S.F.C.).

La série A. B. et C. (E.S.S.) est un inventaire laborieux qui, finalement, ne se révèle pas à travers notre enquête plus sensible que les autres estimations.

Enfin, il paraît tout à fait nécessaire de contrôler le jugement des plongeurs par une épreuve plus objective.

On peut résumer tout ce qui a été dit ci-dessus de la manière suivante :

.../...

Dans l'expérience PHYSALIE VI nous avons étudié diverses expressions subjectives de la fatigue au cours des phases de compression et décompression à la profondeur maximum atteignant 610 m.

- 1°) - Les deux sujets qui ont accompli la plongée ont montré des caractères de fatigabilité différente.
- 2°) - Les signes de fatigue à la plongée sont très faibles, et sans localisation définie.
- 3°) - Au début de la période de décompression, la sensation globale de fatigue (E.S.F.) augmente chez les deux Océanautes. La fatigue corporelle (A.S.F.C.) a été localisée dans la moitié inférieure du corps.
- 4°) - Les signes de fatigue disparaissent en fin de décompression.
- 5°) - Les troubles observés suggèrent des difficultés d'ordre circulatoire à retentissement ostéo-musculaire : une baisse de vigilance et peut-être de la motivation au début de la décompression. Enfin les phénomènes de soif attirent l'attention sur l'état du milieu interne du sujet et sur la régulation hydrique.

CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES  
BIO-PHYSIOLOGIQUES APPLIQUEE A LA MARINE

OPERATION UNITAIRE DE RECHERCHE N° 73 912 202 et n° 73 912 301

RAPPORT N° 72 - 8

Etude de paramètres biochimiques sanguins et urinaires,  
chez deux plongeurs au cours d'une plongée fictive à  
610 mètres.

par le Médecin en Chef de 2° classe BROUSSOLLE B.  
Maître de Recherches du Service de Santé des Armées

le Pharmacien-Chimiste de I° classe RICCI R.  
Assistant de Recherches du Service de Santé des Armées

avec la participation de :

Médecin de I° classe HYACINTHE R.  
Pharmacien-Chimiste Aspirant BOUTIER Ch.

et du Laboratoire de Biologie Hormonale, Unité 33 I.N.S.E.R.M.,  
Hôpital de Bicêtre (Professeur BAULIEU, Professeur MILGROM,  
M. ROBIN).

collaboration technique :  
Mademoiselle LAJEUNE Cl.  
Monsieur MANTOUX  
Monsieur PINEAU.

## I. - INTRODUCTION

Une expérience de plongée fictive à saturation à 6I ATA (610 mètres) a eu lieu du 16 Mai 1972 au 2 Juin 1972 dans le caisson de la C. O. M. E. X. à MARSEILLE sous la Direction du Dr FRUCTUS. Cette expérience entre dans le cadre d'une série de plongées fictives financées par le C. N. E. X. O. en vue de déterminer les possibilités de travail à grande profondeur, et qui se sont déroulées soit à la C. O. M. E. X. soit au C. E. M. A., à MARSEILLE. Le laboratoire de Physiologie respiratoire du C. E. R. B. a étudié les modifications respiratoires au cours des expériences du C. E. M. A. dans le cadre de son contrat C. N. E. X. O. n° 7I 388.

Dans cette dernière expérience C. O. M. E. X. baptisée Physalie VI, et dans le cadre de ce même contrat C. N. E. X. O., le C. E. R. B. a été chargé de certains dosages biologiques sous la responsabilité du Pharmacien de Ière classe RICCI, Chef de la Section de Physico-Chimie.

## II. - PROTOCOLE DE LA PLONGEE

La figure I représente le déroulement de l'expérience de plongée fictive en caisson.

Deux plongeurs avaient été sélectionnés, l'un Robert GAURET, 32 ans avait participé à l'expérience Saturation I (à 250 mètres) et Saturation III (500 mètres) au C. E. M. A., le second, Patrice CHEMIN 24 ans était l'un des plongeurs de l'expérience Physalie V (518 mètres) à la C. O. M. E. X.

L'expérience proprement dite, a été précédée par une plongée fictive à saturation à 2 ATA d'une durée de 48 heures, ( $P_{I_{O_2}} = 400$  mb) pendant laquelle ont été réalisées les mêmes mesures.

Pendant toute la plongée fictive, les sujets sont sous surveillance électrocardiographique et électro encéphalographique; des mesures de physiologie respiratoire sont également faites, par l'équipe de recherche de la C. O. M. E. X.

../..

### III. - PARAMETRES BIOCHIMIQUES ETUDIES

Les mesures suivantes ont été effectuées :

A. - Par le laboratoire de Physico-chimie du C. E. R. B.

#### I. Sur le sang

- Adénosine triphosphate (ATP), 2 - 3 diphosphoglycérate (2.3. D.P.G.),
- Lactico\_deshydrogenase (L.D.H.), magnésium.
- Phosphatases alcalines totales
- Phosphatases alcalines inhibées par la phénylalanine.

#### 2. Sur les urines

- diurèse
- créatinine
- 17 cétostéroïdes
- 17 hydroxycorticoïdes
- catécholamines
- métanéphrines
- acide vanilmandelique.

B. - Par le laboratoire de physiologie respiratoire du C. E. R. B.

- affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène (estimée par la  $P_{50}$ )

C. - Par le laboratoire de Biologie Hormonale du Professeur BAULIEU, I.N.S.E.R.M.

Hôpital de Bicêtre , 94 - BICETRE : - cortisol plasmatique.

### IV. - METHODE DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS :

Le sang est prélevé par ponction veineuse (par les plongeurs eux-mêmes), sur seringue héparinée, tous les matins à 8 H. Les échantillons en flacons siliconés ouverts, sont ramenés à la surface à l'extérieur par l'intermédiaire d'un sas, où ils sont décomprimés lentement en une heure environ, de manière à éviter le bullage ou dégazage.

Pour les dosages enzymatiques, le sang est déféqué immédiatement

à la sortie du caisson. Les défécats sont ensuite conservés dans un container contenant de la glace en vue du transport immédiat sur TOULON. Le plasma était conservé de la même façon pour les phosphatases et le cortisol. Pour ce dernier dosage, le plasma est congelé à - 20 ° C. A la fin de l'expérience, tous les plasmas sont mis dans un container avec de la neige carbonique et transportés au laboratoire du Professeur BAULIEU au Kremlin-Bicêtre.

Les urines sont recueillies à l'intérieur du caisson par période de 24 Heures. Les flacons sont passés à l'extérieur par le sas en même temps que les échantillons de sang.

La diurèse est mesurée, une certaine quantité d'urine est prélevée et conservée à + 4 ° C pour les dosages hormonaux.

#### V. - RAISONS DU CHOIX DES PARAMETRES ETUDIES

Les dosages hormonaux ont été retenus pour mettre en évidence, la fatigue et le "stress" provoqués par les différents stades de la plongée (compression, séjour en hyperbarie, décompression).

Les sécrétions hormonales d'origine médullo-surrénalienne présentent de nombreuses interactions avec les centres nerveux (hypothalamus). Klepping et collaborateurs (12) ont étudié l'excrétion urinaire des catécholamines et de leurs métabolites au cours du nyctémère chez des sujets, selon leurs activités physique et psychique. Ils ont montré que l'augmentation de l'excrétion de noradrénaline est en rapport surtout avec le niveau d'activité physique alors que celle de l'adrénaline est le reflet essentiel du retentissement d'ordre psychologique.

Nous n'avons malheureusement pas pu doser séparément noradrénaline et adrénaline, mais uniquement les catécholamines totales et leurs métabolites.

Le laboratoire de Biologie hormonale du Professeur BAULIEU a étudié particulièrement le cortisol plasmatique au cours de la fatigue chez l'homme dans différentes situations (15).

Mesures du 2. 3. D.P.G., de l'A.T.P. et de la  $P_{50}$

---

L'équilibre entre hémoglobine réduite et oxyhémoglobine est étroitement lié au métabolisme intraérythrocytaire et au taux des composés phosphorés organiques dont deux sont fondamentaux : l'A.T.P. et le 2.3. D.P.G.

Le 2. 3. D.P.G. ou 2.3. diphosphoglycérate est un phosphate organique ; il est produit par la dégradation anaérobie du glucose par la voie d'EMBDEN-MEYERHOF. Il est un des facteurs principaux de la régulation de la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Il se fixe sur l'hémoglobine et entre en compétition avec l'oxygène. L'A.T.P. joue indirectement le même rôle : quand le rapport  $\frac{ATP}{ADP}$  diminue, la glycolyse est stimulée et la production de 2.3. D.P.G.

est augmentée.

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène peut être estimée par la détermination d'un point caractéristique de la courbe de saturation (ou de dissociation) de l'hémoglobine en fonction de la pression partielle d'oxygène : ce point appelé  $P_{50}$  est la pression partielle d'oxygène correspondant à la demi-saturation. Plus la  $P_{50}$  est élevée, moins l'hémoglobine a d'affinité pour l'oxygène et vice versa.

La preuve de l'action du taux de 2.3. D.P.G. sur les courbes de saturation de l'hémoglobine a été apportée par R. BENESCH et R. F. BENESCH (3), et par CHANUTIN et coll. (7), qui ont montré que les taux élevés de 2.3. D.P.G. déplacent vers la droite les courbes de saturation donc diminuent l'affinité et augmentent la  $P_{50}$ .

Une expérience récente, (résultats non encore publiés) du laboratoire de Physiologie Respiratoire du C. E. R. B., a mis en évidence un déplacement vers la gauche de la courbe de saturation et une diminution de la  $P_{50}$ , chez des rats exposés de façon chronique à de l'oxygène pur en pression atmosphérique. L'exposition à des pressions partielles élevées d'oxygène accroît donc l'affinité de l'hémoglobine. Dans la plongée fictive à saturation objet de cette étude, les deux plongeurs sont soumis à des pressions partielles relativement élevées

..../..

d'oxygène (jusqu'à 600 millibars). Si dans ces conditions l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est augmentée, l'oxygène est cédé plus difficilement au niveau tissulaire. Le facteur pourrait aggraver une éventuelle hypoxie arrivant secondairement et due à un trouble de diffusion bronchiale ou alvéolo-capillaire, signalé par CHOUTEAU sur l'animal en ambiance hyperbare très profonde.

C'est la raison de la mesure simultanée de 2. 3. D.P.G. ; de l'A.T.P. et de la  $P_{50}$  dans cette expérience.

#### Dosages des phosphatases alcalines

Au cours de nos expériences sur des rats soumis à l'oxygène pur normobare pendant plusieurs heures, nous avons trouvé une augmentation de l'activité enzymatique des phosphatases alcalines totales et inhibées par la phénylalanine. Ces dernières d'origine fibroblastique, nous ont paru particulièrement intéressantes chez des sujets soumis à des pressions partielles élevées d'oxygène pendant un temps relativement long.

### VI. - TECHNIQUE UTILISEE

#### I. - Sang

##### I.I. Phosphatases alcalines

La méthode de dosage est celle de BESSEY, LOWRY et BROCK (5). La paranitro phényl phosphate disodique est incolore. Après hydrolyse, le paranitrophénol est libéré, la réaction est arrêtée par addition de soude.

En utilisant la même technique, mais en ajoutant au milieu de la réaction de la phénylalanine, on dose les phosphatases alcalines inhibées par la phénylalanine d'origine fibroblastique.

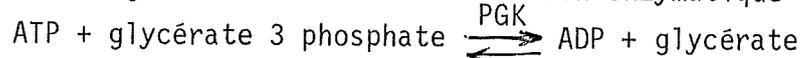
../..

I.2. - Magnésium

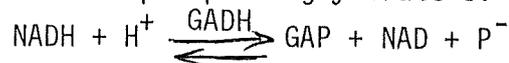
Le dosage met à profit le colorant de MANN et YVES (I2). Le réactif bleu forme avec le magnésium, dans un milieu hydro-alcoolique de pH compris entre 9 et 10 un complexe rougeâtre dont l'intensité de la teinte est proportionnelle au taux de magnésium.

I.3. - A. T. P.

Le dosage utilise la double réaction enzymatique :-



I. 3. diphosphate glycérate I. 3. diphosphate +



L'oxydation du NADH sert de réaction de mesure appréciée au spectrophotomètre à 340 nm.

I.4. - 2. 3. D.P.G.

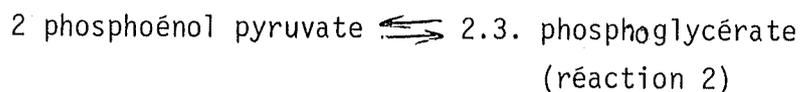
La technique utilisée est celle de KRIMSKY (I3) dont le principe est le suivant :

le 2.3. D.P.G. est nécessaire comme cofacteur pour la réaction :



Le phosphoglycérate mutase catalyse cette réaction. La valeur initiale de la réaction est proportionnelle à la concentration en 2.3. D.P.G., à condition que ce composé soit présent en quantité limitée. Le contenu en 2.3. D.P.G. de l'échantillon est déterminé en comparant son effet actif avec une préparation standard.

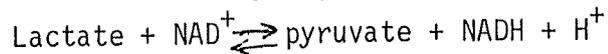
La réaction I est couplée avec la réaction catalysée par l'énolase :



La valeur de la réaction I est mesurée par la chute de la densité optique à 240 nm due à la diminution du phosphoénol pyruvate, dans la réaction 2.

## I.5. - L.D.H.

La lactico déshydrogénase catalyse la réaction :



L'activité de la LDH est mesurée par le taux de consommation du pyruvate et l'oxydation du NADH.

La décroissance de la densité optique mesurée à 340 nm due à l'oxydation du NADH est mesurée. (Technique de BERGMEYER, 4).

## I.6. - Cortisol plasmatique par compétition (I5).

L'équilibre de la transcortine avec le cortisol titré est déplacé par des quantités connues de cortisol non radioactif lié à la protéine dans le surnageant, après absorption de la fraction libre grâce à un silicate ; on se réfère à une courbe étalon pour connaître la quantité de cortisol présente dans le plasma.

I.7. - Mesure de la  $P_{50}$ 

Principe (6) :

Le sang est tonométré avec des mélanges gazeux de différentes pressions partielles d'oxygène et saturés de vapeur d'eau.

La saturation oxyhémoglobinée correspondante à chaque  $PO_2$  est mesurée au moyen d'un oxymètre radiometer. Le calcul de la saturation est établi au moyen de la densité optique de l'échantillon du sang aux longueurs respectives de 505 et 598 nm et d'abaques délivrées avec l'appareil.

En pratique, on choisit 3 mélanges gazeux contenant 5 % de  $CO_2$  et dont la  $PO_2$  provoque dans l'échantillon de sang tonométré, des valeurs de saturation comprises entre 25 et 75 %, c'est-à-dire dans la partie pratiquement rectiligne de la courbe de dissociation de l'hémoglobine. Sur le graphique de la saturation en fonction de la  $PO_2$ , on fait passer une droite par les trois points et on repère la pression partielle correspondant à une saturation de 50 %. La valeur de la  $P_{50}$  ainsi déterminée est corrigée, en fonction du pH de l'échantillon pour obtenir la valeur à pH 7,40, en utilisant l'équation de DILL :  $\Delta \log PO_2 = 0,48 (\Delta pH)$

../..

Modalités expérimentales :

La mesure est faite entre 3 et 10 heures après le prélèvement veineux (conservé dans la glace).

Une quantité de sang de 1,5 ml environ est tonométrée dans un microtonomètre (maintenu dans un bain marie à 37°), pendant 30 minutes environ.

Chacun des trois mélanges gazeux utilisés à une  $F_{CO_2}$  de 0,05 soit pour une pression de 760 mmHg saturée d'eau à 37°, soit une  $P_{CO_2}$  de 36,5 mm Hg. Les  $F_{O_2}$  sont respectivement de 0,0247 - 0,0304 et 0,00427, les pressions partielles d'oxygène pour une  $P_B$  de 760 mm Hg sont de :

1°) 17,60 mm Hg

2°) 21,67 mm Hg

3°) 30,27 mm Hg

La mesure de saturation est faite sur sang total prélevé en tube capillaire, et hémolysé dans un hémolyseur cryogénique.

Parallèlement du sang prélevé également en tube capillaire est passé dans un appareil IL meter pour mesurer la pH et contrôler la  $PO_2$  et la  $P_{CO_2}$ .

2. - Urines

2.1. Créatinine

On utilise la réaction de JAFFE avec du picrate sodé. La lecture se fait au spectrophotomètre par comparaison avec une gamme étalon.

2.2. 17-cétostéroïdes

Le dosage met à profit la réaction de ZIMMERMANN. Libérés par hydrolyse, les 17 cs sont extraits par  $SO$ . Après purification, le dosage se fait par colorimétrie grâce à la réaction de ZIMMERMANN : condensation en milieu alcalin des dérivés cétoniques avec le métadinitrobenzène.

../..

2.3. 17 hydroxycorticoïdes

Hydrolyse enzymatique puis extraction par un solvant le chloroforme. Le dosage est effectué à l'aide de la coloration que donnent ces composés avec la phénylhydrazine. C'est la réaction de SILBER et PORTER.

2.4. Catécholamines - métanéphrines

Ces substances sont d'abord isolées sur des colonnes de résines échangeuses d'ions. Les catécholamines éluées à pH acide puis oxydées en adrérochrome et N adrérochrome sont ensuite transformées en lutines (trihydroxyindol) fluorescentes par passage en milieu alcalin. Le dosage se fait par fluorimétrie.

Les mêmes échantillons d'urines soumis à d'autres réactifs sur les mêmes colonnes donneront un éluat qui permettra de doser les métanéphrines par l'action du métapériodate de sodium, puis par celle du métabisulfite de sodium. Les lectures se font au spectrophotomètre à 350 nm par comparaison avec une gamme étalon.

2.5. A. V. M.

On utilise ici une méthode chromatographique sur papier, qui est celle décrite par le Pharmacien-Chimiste en Chef de 2ème classe FALET et coll. chef de la section Physicochimie du LEMP. (Laboratoire d'études médico-physiologiques de Mont-de-Marsan (9)). On utilise une chromatographie sur papier monodimensionnelle descendante sans extraction préalable. Le solvant utilisé est le butanol-acide acétique-eau. La diazoparanitroaniline sert de révélateur pour l'A.V.M.

On élueet on lit au spectrophotomètre à 520 nm.

../..

## VII. - RESULTATS ET DISCUSSIONS.

Les dosages urinaires pour R. GAURET sont portés dans les tableaux I et II, ceux concernant P. CHEMIN dans les tableaux V et VI.

Les dosages sanguins pour R. GAURET figurent dans les tableaux III et IV, et ceux pour P. CHEMIN VII et VIII.

Tous ces résultats sont également traduits en graphiques (figures 2 à 18) : en ordonnées sont indiquées les valeurs pour chaque dosage, en abscisses les jours de plongées. (on indique également la profondeur fictive correspondante en mètres). Au jour 0 correspondent les résultats des dosages faits au niveau du sol avant le départ de l'expérience.

Les prélèvements de sang et les recueils d'urine étant toujours faits à 8 H. du matin, les résultats pour le sang indiquent donc les valeurs à cette heure, tandis que les résultats pour les urines correspondent à l'excrétion des 24 Heures précédentes (8 H. à 8 H.).

Le tableau IX indique les correspondances entre les jours du calendrier, les numéros des jours de plongée et de prélèvement, la pression partielle d'oxygène, et la profondeur fictive en mètres.

Enfin, le tableau X indique les valeurs de certains dosages faits au cours de l'expérience préliminaire de confinement, en comparaison avec les valeurs au niveau du sol : avant et, pour certains, après ce confinement.

### a) Hormones cortico-surréaliennes :

I) Excrétion urinaire d'hormones cortico-surréaliennes (17 OH, 17 céto-téroïdes). Pour chacune nous avons d'abord indiqué l'excrétion par 24 Heures, puis les valeurs par gramme de créatinine excrétée en 24 Heures également. En effet, l'excrétion de créatinine est considérée comme indépendante du volume urinaire, peu influencée par le régime, et seulement légèrement augmentée par l'exercice physique. Depuis FOLIN en 1905, l'excrétion

../..

urinaire de créatinine est classiquement utilisée comme un index de recueil complet des urines de 24 H. En fait, l'excrétion de créatinine est très variable chez nos sujets, il ne semble pas que l'on puisse incriminer un recueil incomplet des urines.

Un travail de EDWARDS, BAYLISS et MILLEN, 1969, cité par RUBIN (18) tend à prouver que l'index de créatinine n'est pas satisfaisant, l'excrétion journalière étant variable pour un individu donné. Une étude de RUBIN (18) montre que la privation de sommeil en modifie l'excrétion : chez l'individu normal, il existe des variations nyctémérales, avec des valeurs plus basses la nuit, qui disparaissent lors de privation de sommeil. Le taux de créatinine est alors en étroite corrélation avec le volume urinaire. Or, les deux plongeurs ont eu un sommeil très irrégulier. On ne doit donc en définitive considérer que les valeurs brutes d'excrétion en 24 Heures.

Les hormones cortico-surréaliennes (17 hydroxy-stéroïdes et 17 cétostéroïdes)(figures 4 et 6) dans l'ensemble, baissent de façon importante vers le milieu de la période de plongée (de moitié environ) et ont tendance à remonter en pic dans les derniers cents mètres de la décompression. La hauteur de ce pic est plus importante chez CHEMIN, chez lequel la baisse initiale était plus précoce.

## 2) Taux plasmatiques de cortisol (figure I4) chez les deux plongeurs.

Il existe une augmentation très importante de ce taux pendant toute la phase de compression. Le retour à des valeurs normales est très rapide dès le début de la décompression avec une augmentation passagère et moins importante, aux environs de 100 mètres.

Il faut cependant signaler une augmentation, pendant la période de confinement, presque aussi importante ( $269 \text{ ng.ml}^{-1}$  pendant le confinement, 300 pendant la compression pour GAURET, 250 et 290 pour CHEMIN).

## 3) Discussion

Il est difficile d'étudier une situation stressante sans évoquer le "syndrome général d'adaptation" de SELYE, qui se traduit par une activation de l'axe hypophysocorticosurrénalien. Le problème est donc de savoir, si sous l'influence du stress physique et psychique constitué par cette expérience de plongée fictive très profonde, il y a activation du cortex surrénal, et si on peut estimer l'état de fatigue des plongeurs par les résultats des

différents dosages hormonaux que nous avons pratiqués. Il faut d'abord remarquer qu'il serait bien illusoire de tirer des conclusions de dosages faits sur deux sujets seulement. Mais on peut comparer ces résultats avec ceux obtenus dans des situations comparables de stress. Toutefois, l'accord est loin d'être fait entre les différents auteurs (voir revue générale de DUKESDOBOS -8-) : ceci provient d'abord de ce que les situations expérimentales sont très différentes (en durée, ou en nature, stress à prédominantes psychique ou physique), et que les sujets ont des réponses divergentes à l'agression. D'autre part, jusque vers les années 1955, on ne disposait que de dosages urinaires de métabolites d'hormones, plus ou moins spécifiques ou imprécis. Les dosages récents par méthodes radio-immunologiques, de cortisol et d'aldostérone en particulier, nous apportent des éléments plus utilisables.

La diminution de l'excrétion urinaire de 17 hydroxycorticoïdes n'a pas été signalée dans les autres expériences de plongée. Il y a au contraire une augmentation au cours d'une plongée à 650 pieds, deux jours après la compression (HAMILTON R. W., Ocean System, 16) et une augmentation également chez un plongeur (avec deux pics contemporains d'un syndrome vestibulaire et d'un bend dans une jambe) pendant une plongée fictive à 1500 pieds (RNPL, Alverstock, 17). SCHAEFFER par contre, n'a pas trouvé de différence significative au cours d'une exposition prolongée à l'air à 7 Atmosphères absolus (19). La même irrégularité dans les résultats est notée par HALE et coll., dans des conditions d'expériences pourtant plus standardisées (missions de vols de longue durée sur avion-cargos C-130 et C-135) (10).

En fait la diminution de l'excrétion urinaire n'indique pas forcément une diminution de synthèse des hormones.

Le taux plasmatique de cortisol est beaucoup plus significatif, encore qu'une élévation puisse être en rapport avec une rétention. Mais au cours de cette expérience de plongée, les variations de cortisolémie sont très parallèles aux variations de cortisol urinaire que nous avons observées précédemment (BROUSSOLLE, MORCELLET, non publié) lors d'une expérience de plongée fictive à 250 mètres : l'élévation observée du cortisol plasmatique, correspond donc très probablement, à une augmentation de sécrétion. Mais nous avons signalé une augmentation similaire pendant la période de confinement. L'activation de la sécrétion de cortisol serait donc en rapport avec le stress psychique, en dehors de tout effet de la pression.

Dans les prochaines expériences, nous envisageons les dosages simultanés de cortisolémie et de cortisolurie. Les dosages de 17 OH, et surtout de

17 cétostéroïdes seront abandonnés. L'injection de cortisol tritié, aux plongeurs avant la mise en pression puis le dosage pendant la plongée, permettraient d'avoir une indication plus exacte de la synthèse hormonale mais cet examen risque de poser quelques problèmes.

b) Hormones médullo-surréaliennes (catécholamines) : excrétion urinaire.

Les mêmes considérations générales sur l'expression des résultats que nous avons faites à propos des hormones cortico-surréaliennes peuvent être appliquées aux catécholamines et à leurs métabolites.

L'excrétion urinaire de catécholamines totales est considérablement augmentée (multipliée par 2,5 environ : figure 8) au moment de la plus grande pression atteinte (période correspondant subjectivement à la plus grande fatigue) alors qu'il n'y avait aucune variation pendant la période de confinement (tableau X).

Les catécholamines urinaires ont été trouvées élevées aussi dans d'autres plongées (SCHAEFFER, 19, WALDVOGEL et BULHMANN<sup>22</sup>) mais de façon beaucoup plus modérée et inégale. HALE dans son étude sur les pilotes d'avion-cargos signale que les variations les plus significatives concernent les catécholamines. L'augmentation est globale (et comparable à celle que nous observons), mais est plus importante pour l'adrénaline que pour la noradrénaline (changement du rapport noradrénaline (adrénaline)). Nous n'avons pas pu faire un dosage séparé de noradrénaline et adrénaline.

Pour KLEPPING (12) l'augmentation de noradrénaline serait en rapport avec l'activité physique, et celle d'adrénaline rendrait compte essentiellement du retentissement d'ordre psychologique. Cependant, on sait que la noradrénaline urinaire ne donne pas une très bonne estimation de la noradrénaline totale secrétée par le système nerveux sympathique. Une partie seulement de celle secrétée par le cerveau passe la barrière hémato-méningée. Il existe aussi des variations individuelles de réponse au stress, l'excrétion de noradrénaline serait plus élevée chez les individus de type agressif tandis que celle d'adrénaline le serait pour les sujets de type passif (MALAMUD et SANDS cité par DUKES - DOBOS, 8) KOJIMA et coll. (cité par DUKES DOBOS) observent que les changements de l'excrétion urinaire de catécholamines sont surtout dûs au stress émotionnel subi par les sujets pour lesquels l'activité stressante est nouvelle car ces changements disparaissent avec l'adaptation à la situation.

Il est donc difficile de faire un lien étroit entre nos résultats et l'état

de fatigue de nos plongeurs.

Cependant, ce dosage des catécholamines semble devoir être maintenu pour les prochaines expériences de plongées fictives. Ce n'est qu'avec un grand nombre de résultats, dans des situations analogues que l'on pourra tirer des conclusions. Le dosage des métabolites des catécholamines, qui n'apporte pas de renseignements supplémentaires, sera abandonné.

c) Lactico deshydrogénase plasmatique (LDH)

La lactico deshydrogénase peut (comme les transaminases SGOT et SGPT) être considérée comme indicateur d'altération tissulaire.

Or nous pouvons remarquer (figure I5) qu'il existe chez nos deux plongeurs un pic au moment de la compression, vers 390 mètres, et un deuxième pic dans la première partie de la décompression. Entre ces deux pics le taux de LDH revient aux valeurs de départ. Le retour à la normale est également complet à la fin de la décompression. Au moment des pics, le taux de LDH est augmenté d'environ 75 %.

Au cours des différentes expériences de plongées fictives du RNPL (I7), le taux de LDH mesuré avant et après la plongée était normal; mais aucune mesure n'a été faite durant la plongée. Au cours de différentes plongées à saturation VOROSMARTI (2I) n'a pas trouvé de variation significative des LDH totales. Par contre, des mesures ont été faites pendant la plongée d'Ocean System à 650 pieds (environ 200 mètres) : le taux de LDH est augmenté de 28 % par rapport aux valeurs du départ. Dans l'expérience SEALAB II (II) on signale également une augmentation en pic le 3ème jour. SCHREINER (20) a démontré un taux élevé de LDH chez des rats et des cobayes ayant fait des accidents de décompression.

Dans notre expérience, nous avons donc une augmentation relativement importante, pendant les variations de pression, alors que la pression par elle-même n'apporte pas de trouble. C'est d'ailleurs une constatation très générale. JACEY, cité par VOROSMARTI (2I) a signalé que le taux de LDH varie avec le cycle circadien, et qu'il est élevé si la plongée commence dans la portion descendante de ce cycle (de 22 Heures à 8 Heures) et VOROSMARTI pense que c'est la raison pour laquelle il n'a pas observé de variation dans ses plongées, dont la compression commençait dans la partie ascendante du cycle circadien.

Ceci ne semble pas démontré dans notre plongée dont la compression a débuté à 16 H.

Cet examen devra donc être conservé dans les prochaines expériences. Il sera utile d'ajouter le dosage des transaminases SGOT et SGPT.

d) Phosphatases alcalines plasmatiques (figures I6 et I7)

Il existe une augmentation très modérée des phosphatases alcalines totales et inhibées par la phénylalanine chez l'un des plongeurs (R. GAURET). Chez le deuxième plongeur l'augmentation est très importante, pendant la décompression aux environs de 100 mètres, alors que la  $P_{I_{O_2}}$  est depuis sept jours supérieure à 500 mb. L'hypothèse que nous avons faite page 5 à propos du rôle de l'hyperoxie est-elle confirmée ? Il est difficile de le dire. Ce dosage devra cependant être répété lors des expériences de longue durée avec légère hyperoxie.

e) Magnésium plasmatique :

Il existe une augmentation importante du magnésium plasmatique chez les deux plongeurs. Celle-ci peut être due à une diminution de la filtration glomérulaire et à une rétention.

Ce résultat devra être confronté avec les résultats des autres électrolytes dont les dosages ont été faits par l'équipe de la C. O. M. E. X.

Une rétention de magnésium (et également de sodium, calcium et chlore) a été notée par BULHMANN(22) pendant une plongée à 800 pieds et par les expérimentateurs du RNPL pendant la plongée à 1500 pieds (I7).

f) Dosage de l'ATP (figure I2) du 2-3 D.P.G. (figure I3) et mesure de la P50 (tableaux III et VII)

Il existe une très légère diminution de la  $P_{50}$  au cours de la plongée (de 24,8 mm Hg et 24,7 mm Hg avant la plongée à 23,9 et 23,4 à la fin). Il y a donc une tendance à l'augmentation de l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène. Cependant les variations de 2-3 D.P.G. et de l'A.T.P., sont peu

../..

significatives, mais nos techniques de dosages étaient à l'époque peu fidèles, et ont été changées depuis.

Cette étude est à poursuivre dans les prochaines expériences de plongée, car nous avons obtenu des résultats très importants sur l'animal en hyperoxie (augmentation de l'affinité de l'hémoglobine et baisse du 2-3 DPG).

#### VIII . - CONCLUSIONS

Les différents dosages effectués à l'occasion de cette plongée semblent poser plus de problèmes qu'ils ne permettent d'en résoudre.

Nous avons en particulier des signes très nets d'activation de la médullo-surrénale et de la cortico-surrénale, en réponse à la situation, stressante sur le plan psychologique et sur le plan physique, constituée par cette plongée. Ils ne permettent pas plus que dans d'autres situations expérimentales étudiées par ailleurs d'évaluer l'état de fatigue des sujets. Nos connaissances sur ce problème sont encore trop fragmentaires.

Ce n'est pas une raison pour abandonner ces dosages dans les futures expériences. Ces résultats ponctuels ne seront fructueux que quand des comparaisons pourront être faites dans de nombreuses situations expérimentales analogues.



- I3.- KRIMSKY I, (1963)  
D-2, 3 diphosphoglycerate  
-in methods of enzymatic analysis, Acad. Press.  
N.Y. un volume, 238-240.
- I4.- MANN C.K., YVES (J.H.), (1956)  
Anal. Chem. 28,202.
- I5.- MILGROM E., BAULIEU E. E. 1972  
Paramètres hormonaux de la fatigue.  
Rapport final du contrat D.R.M.E. n° 70/I45.
- I6.- Ocean Systems, Inc- (1966)  
Saturation Diving to 650 feet, Technical Memorandum B-4II
- I7.- Royal Naval Physiological Laboratory, Alverstoke (G.B.) (1971)  
Report n° I-7I
- I8.- RUBIN R.T. (1971)  
Urine creatinine excretion : variability and volume dependency during sleep  
deprivation.  
Psychosomatic Medicine, 33, n° 6, 539-543.
- I9.- SCHAEFER K.E., BOND G.F., MAZZONE W.F., CAREY C.R., DOUGHERTY J. H. (1968)  
Carbone dioxide retention and metabolic changes during prolonged exposure to  
high pressure environment.  
Aerospace Medicine 39, n° I, I206 - I2I5.
- 20.- SCHREINER H.R. (1967)  
The Physiological effects of Argon, Helium and the Rare Gases.  
Union Carbide Corp., Techn. Report NR-I02-597.
- 2I.- VOROSMARTI J., BRADLEY M.E., LINAWEAVER P.G., KLECKNER J. C., ARMSTRONG F.W.  
(1970)  
Helium - Oxygen Saturation Diving :  
I Hematologic, lactic acid deshydrogenase and carbon monoxide-Carboxy hemaglobin  
studies.  
Aerospace Medicine 4I, n\_ I2, I347-I353.
- 23.- WALDVOGEL W., BUHLMANN A. A. (1968)  
Man's reaction to long- lasting over pressure exposure : examination of the  
saturated organism at a helium pressure of 2I - 22 ATA.  
Helvetica Medica Acta 34, I30-I50.

JOUR DE PLON- GEE	PROFONDEUR EN METRES	PiO2 mb	DIURESE ml	CREATININE g/24 H	I7. CETO mg/24 H	I7. CETO CREATININE	I7. OH mg/ 24 H	I7. OH CREATININE
Départ	-	-	I 240	I,49	I7,7	II,9	8;9	6,0
2	350	400	3 I20	I,87	27,4	I4,6	I2,4	6,6
3	350	400	2 620	I,84	I8,8	IO,2	I2,3	6,7
4	390	400	2 500	I,76	I8,7	IO,6	II,I	6,3
5	497	390	-	-	-	-	-	-
6	535	400	-	-	-	-	-	-
7	565	400	2 600	I,53	22,2	I4,5	9,2	6
8	550	500	2 480	I,62	20,8	I2,8	2,8	I,7
9	470	550	I 600	I,83	I5,3	8,4	-	-
IO	4I2	600	I 640	I,48	IO	6,7	2	I,3
II	3I8	595	3 020	I,98	IO,4	5,2	IO,2	5,I
I2	246	500	I 430	I,36	IO,3	7,5	3	2,2
I3	I86	530	I 430	I,36	IO,3	7,5	3	2,2
I4	I36	500	I 500	I,72	II,2	6,5	2,55	I,5
I5	92	500	I 250	I,76	II,6	6,6	3	I,7
I6	53	500	I 840	I,84	I2,8	6,9	4,8	2,6
I7	Surface	630	I 780	I,50	9,3	6,2	3,5	2,3

Tableau I : DOSAGES URINAIRES

Sujet : GAURET R.

JOUR DE PLON- GEE	PROFONDEUR EN METRES	P102 mb	CATECHOL. mcg/ 24 H	CATECHOL. CREATININE	M.N.P. mcg/24 H	M.N.P. CREATININE	A. V. M. mg/ 24 H
Départ	Surface	210	102	68	454	304	12,2
2	350	400	90	48	874	467	27,4
3	350	400	120	65	893	485	20,4
4	390	400	100	56	1 550	881	15,5
5	497	390	-	-	-	-	21,3
6	535	400	-	-	-	-	21,3
7	565	400	118	77	1 486	971	16,6
8	550	500	233	143	4 160	2 567	12,9
9	470	550	118	64	1 536	835	9,1
10	412	600	131	88	1 908	1 289	8,5
11	318	595	139	70	1 812	915	14,1
12	246	500	35	25	1 035	761	9,2
13	186	530	35	25	1 035	761	9,2
14	136	530	36	21	480	275	15,7
15	92	500	30	17	1 050	596	-
16	53	500	61,5	33	442	240	-
17	Surface	630	16	10	739	492	-

Tableau II : DOSAGES URINAIRES

Sujet : GAURET R.

JOUR DE PLONGEE	PROFONDEUR EN METRES	P <sub>IO2</sub> mb	A. T. P. mg.l <sup>-1</sup>	2-3 D. P. G. m M.l <sup>-1</sup>	P 50 mm Hg	CORTISOL ng. ml <sup>-1</sup>
Départ	Surface	210	322	2,96	24,8	62
2	350	400	287	2	-	231
4	390	400	286	2,56	-	281
6	535	400	346	2,44	-	300
9	470	550	311	2,44	-	62
11	318	595	257	2,12	24,5	69
14	136	530	292	2,60	24,9	31
15	92	500	269	2,60	24,7	94
16	53	500	281	2,29	24,0	125
17	Surface	630	234	2,9	23,9	69
4 Jours après la sortie	Surface	210	246	3,38	24,2	34

T A B L E A U I I I : D O S A G E S S A N G U I N S

Sujet : G A U R E T R.

JOUR DE PLONGEE	PROFONDEUR EN METRES	PI <sub>O2</sub> mb	L.D.H. M.l <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	P.A.L. TOTALES n M.l <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	P.A.L. INHIBEE PAR Phe n M.l <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	MAGNESIUM mg. l <sup>-1</sup>
Départ	Surface	210	171	194	192,2	20
2	350	400	154	50,2	20,2	21,8
4	390	400	253	175	116	27
6	535	400	167	175	110	25,6
9	470	550	240	255	134	25,3
11	318	595	202	-	-	-
14	136	530	202	232,5	98,6	26,6
15	92	500	139	177,5	164,61	26,4
16	53	500	167	-	160	25,6
17	Surface	630	139	220	201	23,5
4 jours après la sortie	Surface	210	167	117,5	51,6	23

Tableau IV : DOSAGES SANGUINS.

Sujet : GAURET R.

JOUR DE PLON- GEE	PROFONDEUR EN METRES	P <sub>I</sub> O <sub>2</sub> mb	DIURESE ml	CREATININE g/24 H	I7 CETOS. mg/24 H	I7 CETOS. CREATININE	I7 OH mg/24 H	I7 OH CREATININE
Départ	Surface	210	I 240	I,56	21	I3,4	8,3	5,3
2	350	400	I 980	I,78	I4,8	8,31	9,9	5,6
3	350	400	I 640	I,48	I5,5	I0,5	7,6	5,1
4	390	400	I 320	0,79	7,6	9,6	5,4	6,8
5	497	390	I 750	I,8	-	-	6,3	-
6	535	400	I 750	I,8	-	-	6,3	-
7	565	400	I 510	I,5	I1,3	7,5	3,5	2,3
8	550	500	I 920	2,2	I2,5	5,7	5,4	2,4
9	470	550	I 000	-	I0,7	-	-	-
10	412	600	900	I,31	I0,2	7,8	7,8	5,9
11	318	595	I 300	I,37	II	8	8,3	6
12	246	500	940	I,38	I1,9	8,6	6,8	4,9
13	186	530	940	I,38	I1,9	8,6	6,8	4,9
14	136	II	I 000	0,95	I2,8	I3,5	5,1	5,4
15	92	500	I 250	I,70	I4,2	8,3	6,9	4,1
16	53	II	I 640	2,55	20,8	8,1	11,8	4,6
17	Surface	-	760	I,3	9,7	7,5	6,6	5,1

Tableau V : DOSAGES URINAIRES

Sujet : CHEMIN P.

JOUR DE PLON- GEE	PROFONDEUR EN METRES	P <sub>I</sub> O <sub>2</sub> mb	CATECHOL, mcg/ 24 H	CATECHOL, CREATININE	M. N. P. mcg/ 24 H	M. N. P. CREATININE	A. V. M. mg/ 24 H
Départ	Surface	210	43,4	27,8	47,2	30	10,3
2	350	400	59	33,1	713	400	14,4
3	350	400	103	69,6	693	468	8,8
4	390	400	73	92,4	856	I 083	10,7
5	497	390	-	-	-	-	11,7
6	535	400	-	-	-	-	11,7
7	565	400	114	76	875	583	9,2
8	550	500	180	50	I 483	674	16,3
9	470	550	104	-	442	-	9,1
10	412	600	900	68	I 442	I 100	10,3
11	318	595	111	81	I 326	967	11,7
12	246	500	40	29	I 260	913	9,1
13	186	530	40	29	I 260	913	9,1
14	136	530	40	42	320	336	8,2
15	92	500	12,5	7	750	44	-
16	53	500	48	19	836	327	-
17	Surface	630	34	26	410	315	-

Tableau VI : DOSAGES URINAIRES

Sujet : CHEMIN P.

JOUR DE PLONGEE	PROFONDEUR EN METRES	P <sub>I02</sub> mb	A.T.P. mg. l <sup>-1</sup>	2-3 D. P. G. m M. l <sup>-1</sup>	P <sub>50</sub> mm Hg	CORTISOL ng. ml <sup>-1</sup>
Départ	Surface	210	334	2,44	24,7	I53
2	350	400	287	2	-	244
4	390	400	310	2,96	-	212
6	535	400	263	2	-	290
9	470	550	287	2,84	-	I75
11	318	595	257	2,12	-	I66
14	136	530	234	2,93	23,8	212
15	92	500	234	2,48	23,4	I94
16	53	500	327	3,2	23,5	I53
17	Surface	630	187	3,4	23,8	I03
4 jours après	Surface	210	281	3,24	23,8	I44

Tableau VII : DOSAGES SANGUINS

Sujet : CHEMIN P.

JOUR DE PLONGEE	PROFONDEUR EN METRES	P <sub>I</sub> O <sub>2</sub> m b	L. D. H. M.l <sup>-1</sup> mn <sup>-1</sup>	P. A. L. TOTALES n M.l <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	P. A. L. INHIBEES par Phe n M.l <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	MAGNESIUM mg. l <sup>-1</sup>
Départ	Surface	210	I27	I40	I00	I8,4
2	350	400	I37	92,5	56,6	20
4	390	400	202	97,5	52,8	31
6	535	400	I52	70	-	25,6
9	470	550	233	-	-	27,6
11	318	595	I69	82,5	58,6	23,2
14	I36	530	I52	237,5	227,6	28
15	92	500	I52	557,5	358,6	-
16	53	500	I52	I70,6	I47,5	25,1
17	Surface	630	I52	I40	I02	20,5
4 jours après la sortie	Surface	210	I64	I35	53	21,9

Tableau VIII : DOSAGES SANGUINS

Sujet : CHEMIN P.

T A B L E A U I X

DATES	NUMEROS DU JOUR DE PRELEVEMENT (8 Heures du matin)	$P_{I_{O_2}}$ mb	PROFONDEUR METRES
16 Mai	départ	210	Surface
17	1	400	195
18	2	400	350
19	3	400	350
20	4	400	390
21	5	390	497
22	6	400	535
23	7	400	565
			610
24	8	500	550
25	9	550	470
26	10	600	412
27	11	595	318
28	12	500	246
29	13	530	186
30	14	530	136
31	15	500	92
1er Juin	16	500	53
2 Juin	17	630	17
6 Juin	21		Surface à 18 H.

PERIODE DE CONFINEMENT

	C O R T I S O L mg. ml <sup>-1</sup>		CATECHOLAMINES mcg/24 H		METANEPHRINES mcg / 24 H		I7 CETOSTEROIDES mg/ 24 H		I7 HYDROXYSTEROIDES mg/ 24 H	
	GAURET	CHEMIN	GAURET	CHEMIN	GAURET	CHEMIN	GAURET	CHEMIN	GAURET	CHEMIN
Avant		194	102	43,4	454	472	12,5	I7	6,25	6,7
Pendant	269	250	113	47	576	620	14,5	I6,5	6,25	6,25
Après	106	153								

Tableau X.

FIGURE 2

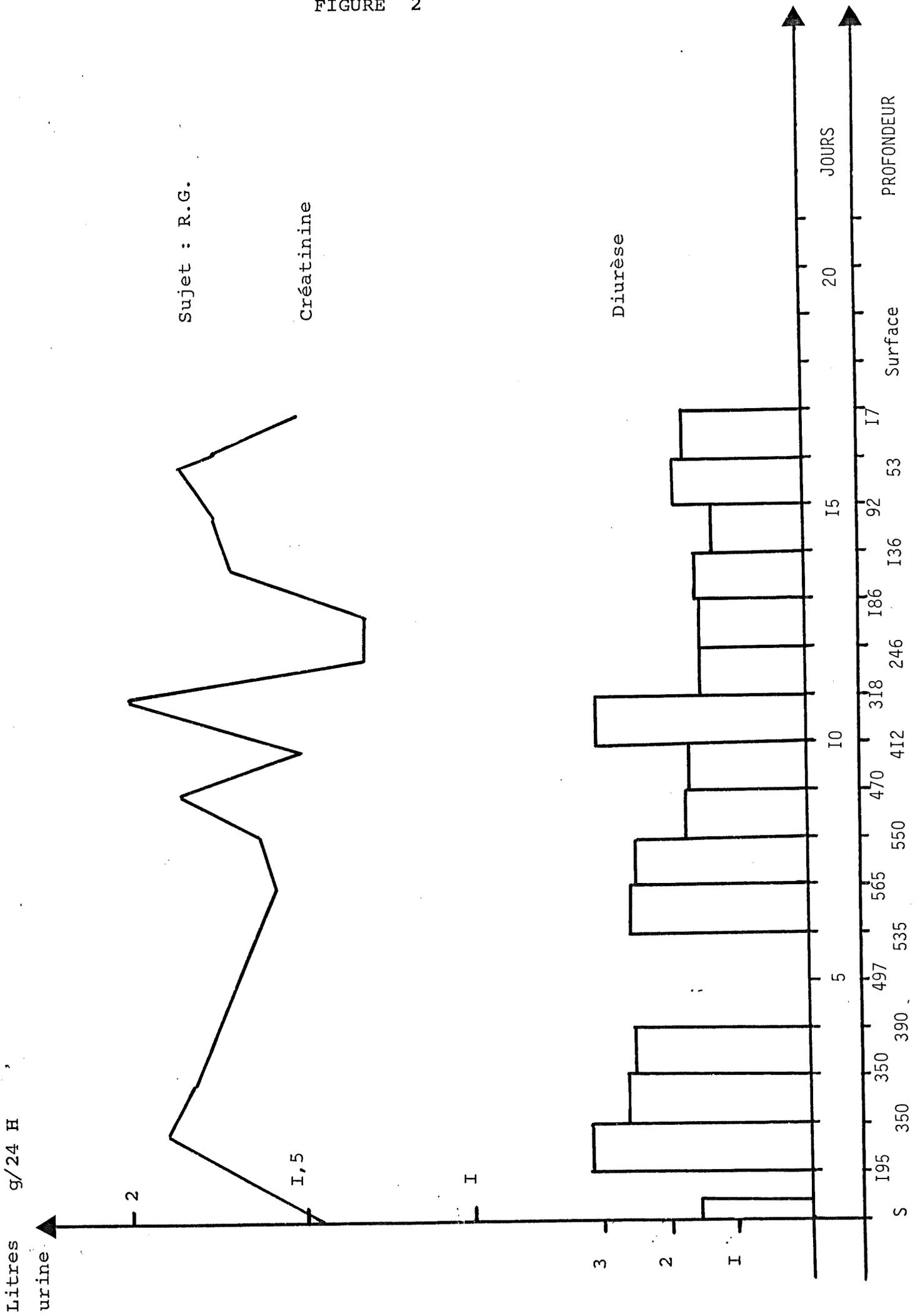


FIGURE 3

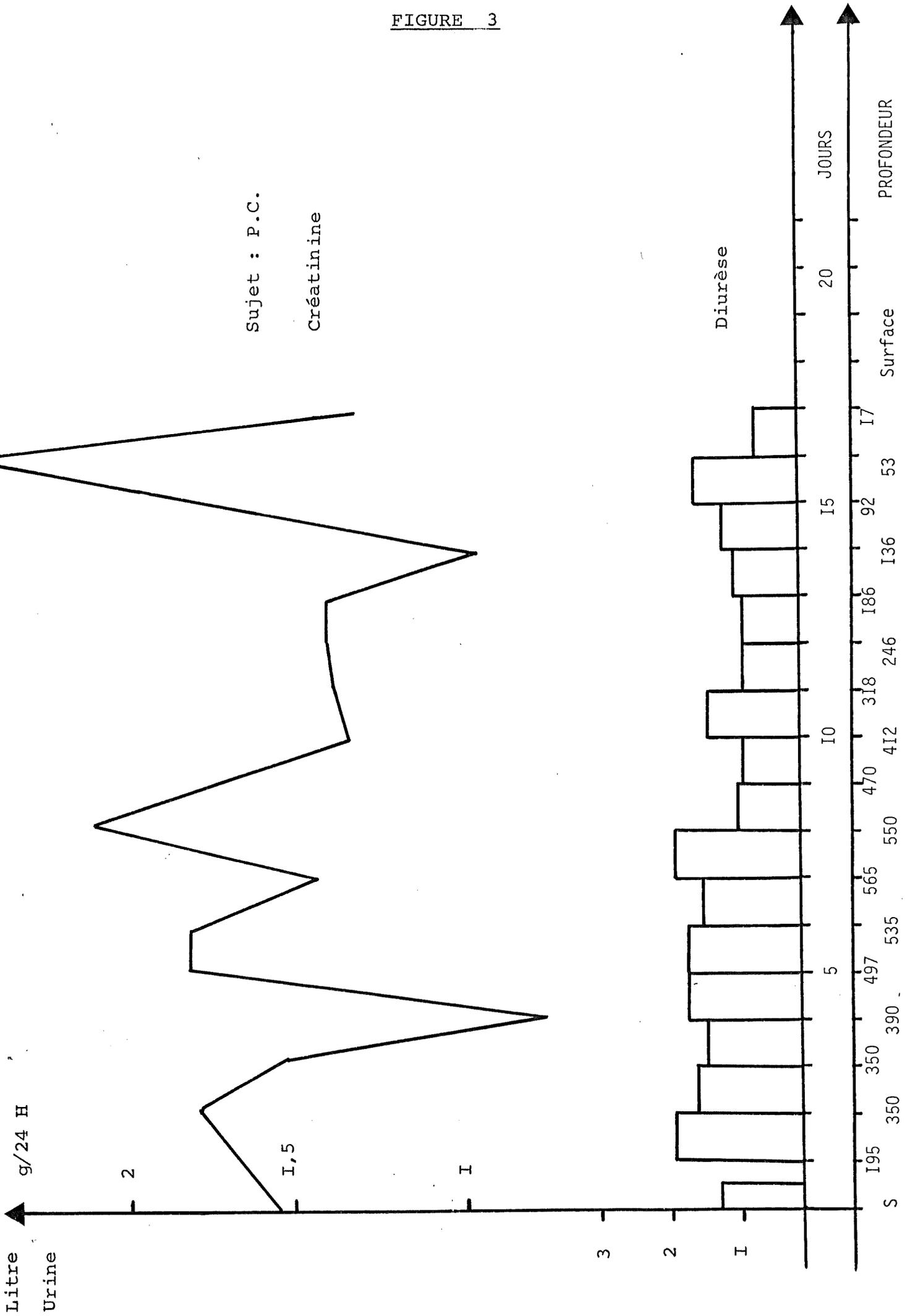


FIGURE 4

17 Cétostéroïdes.

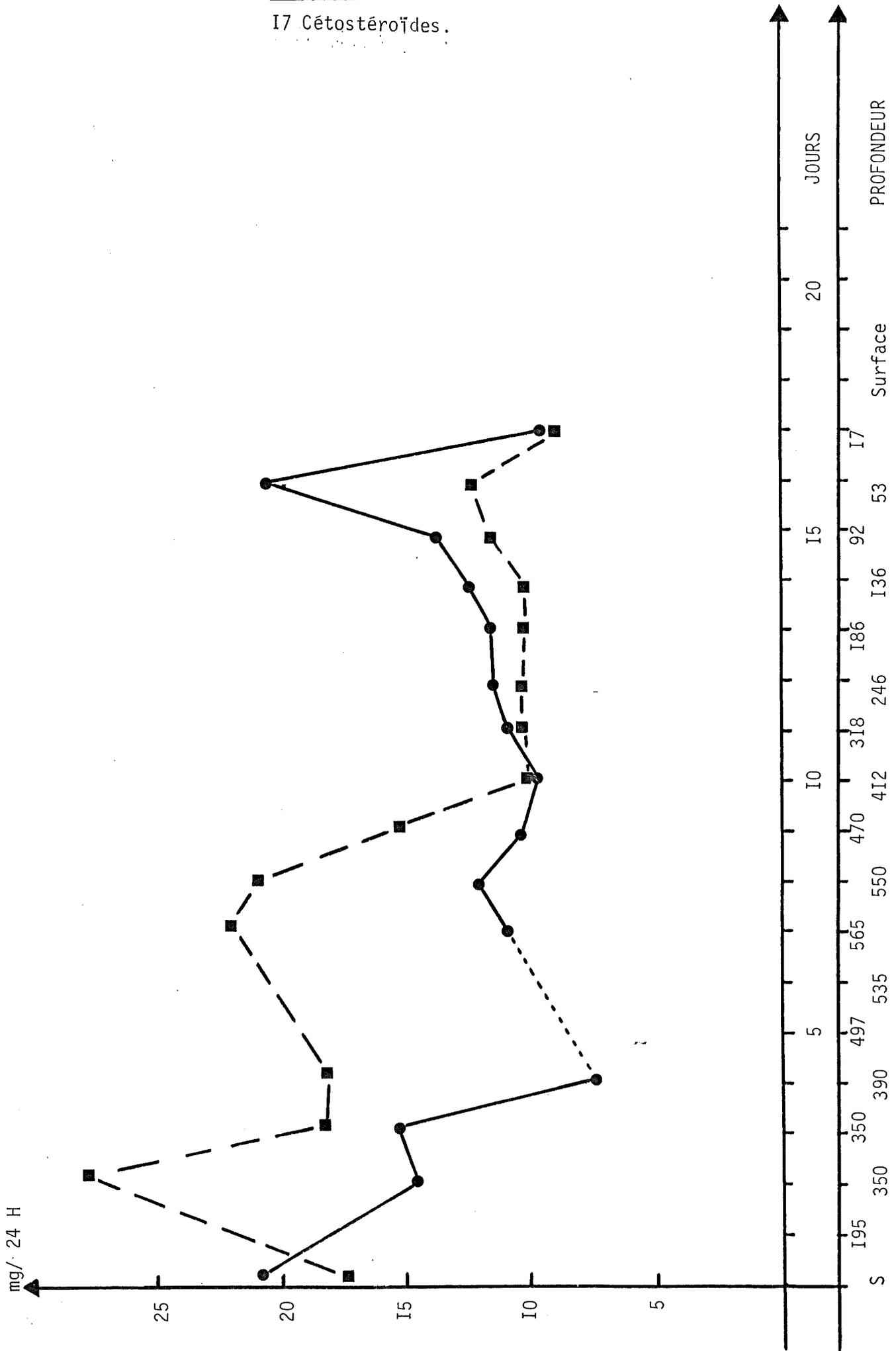


FIGURE 5

I7 Cétostéroïdes

Créatinine

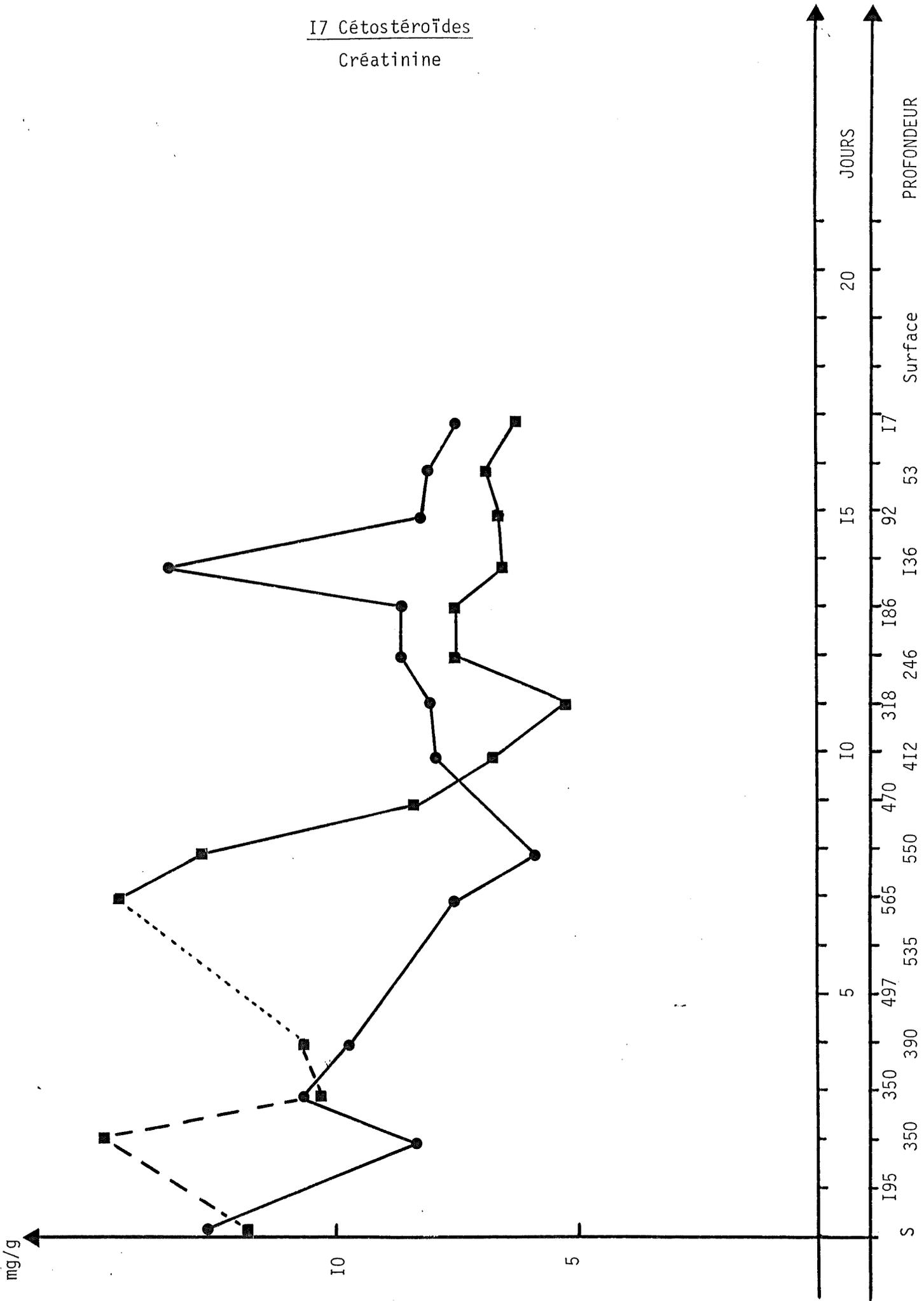


FIGURE 6

I7 - Hydroxycorticoides

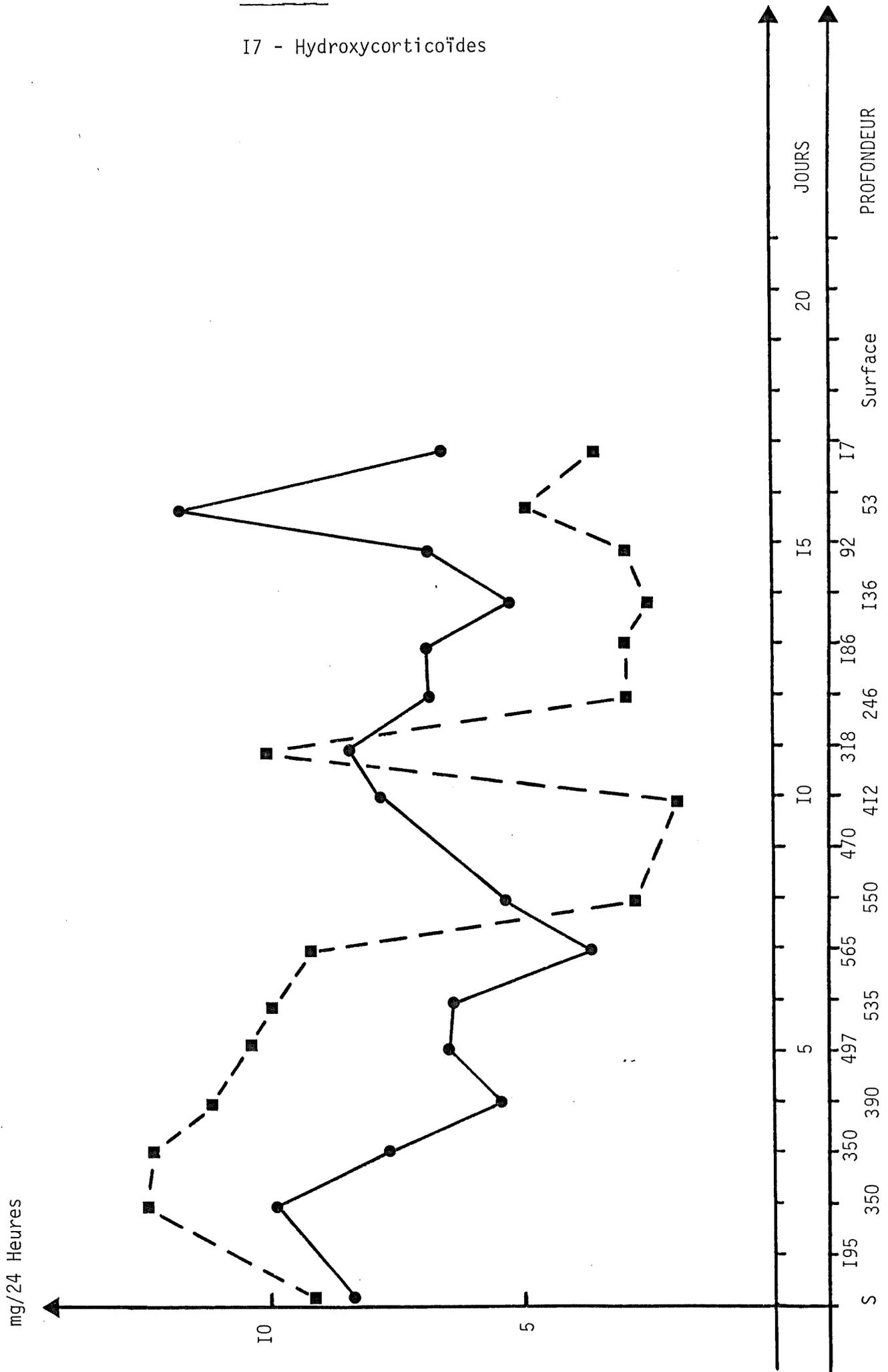


FIGURE 7

I7 - Hydroxicorticoïdes

Créatinine

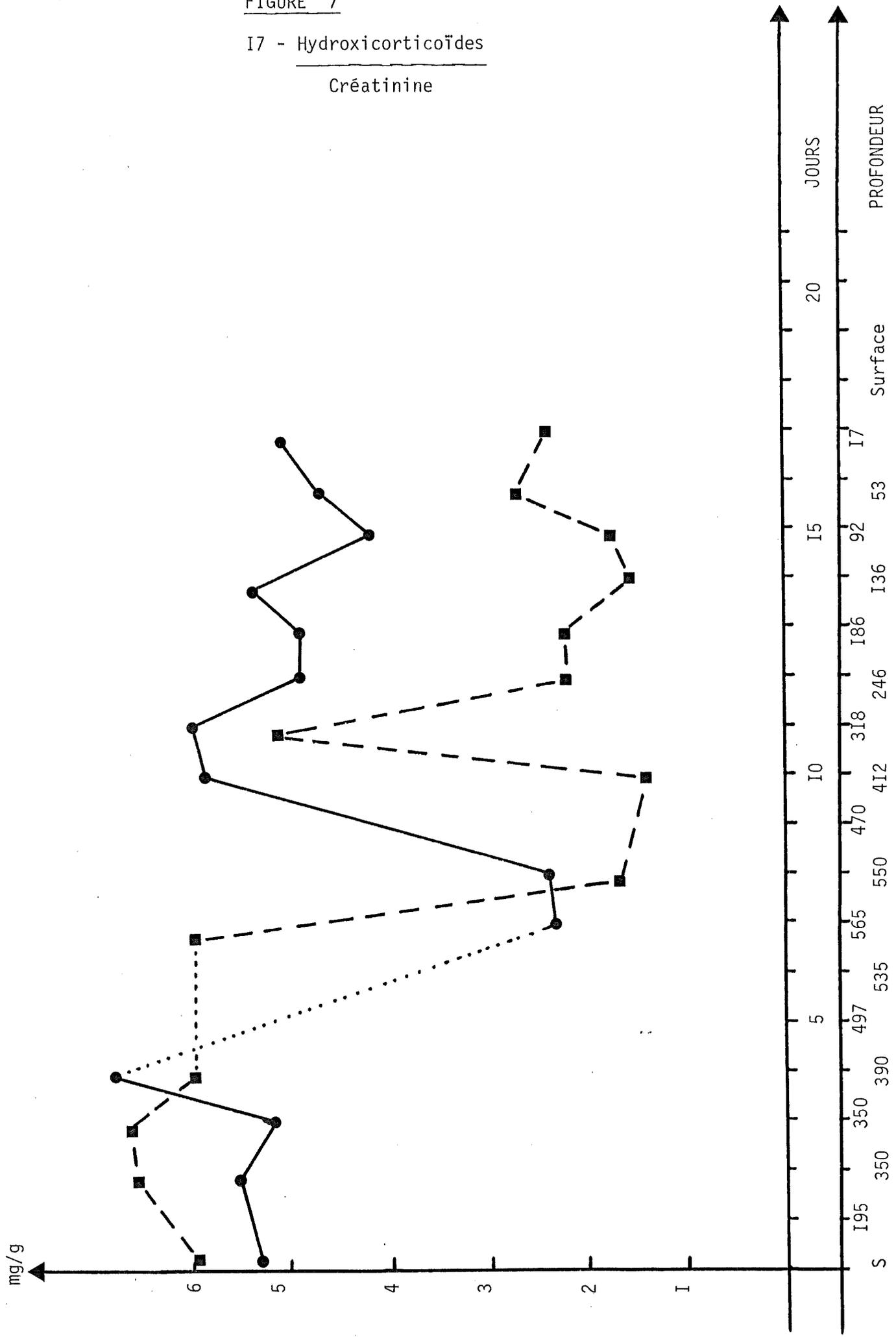


FIGURE 8

Catécholamines /24 H.

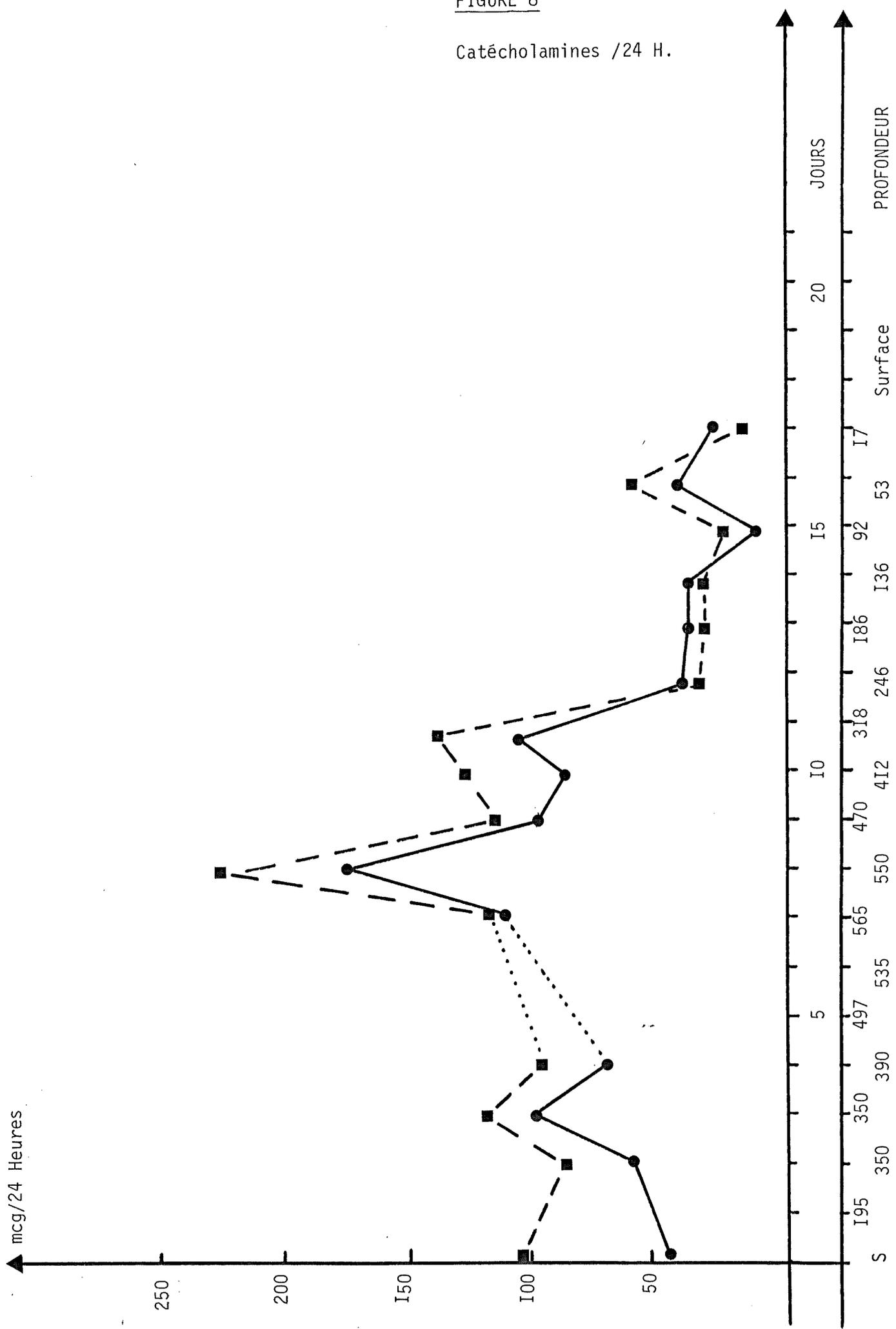


FIGURE 9

Catécholamines

Créatinine

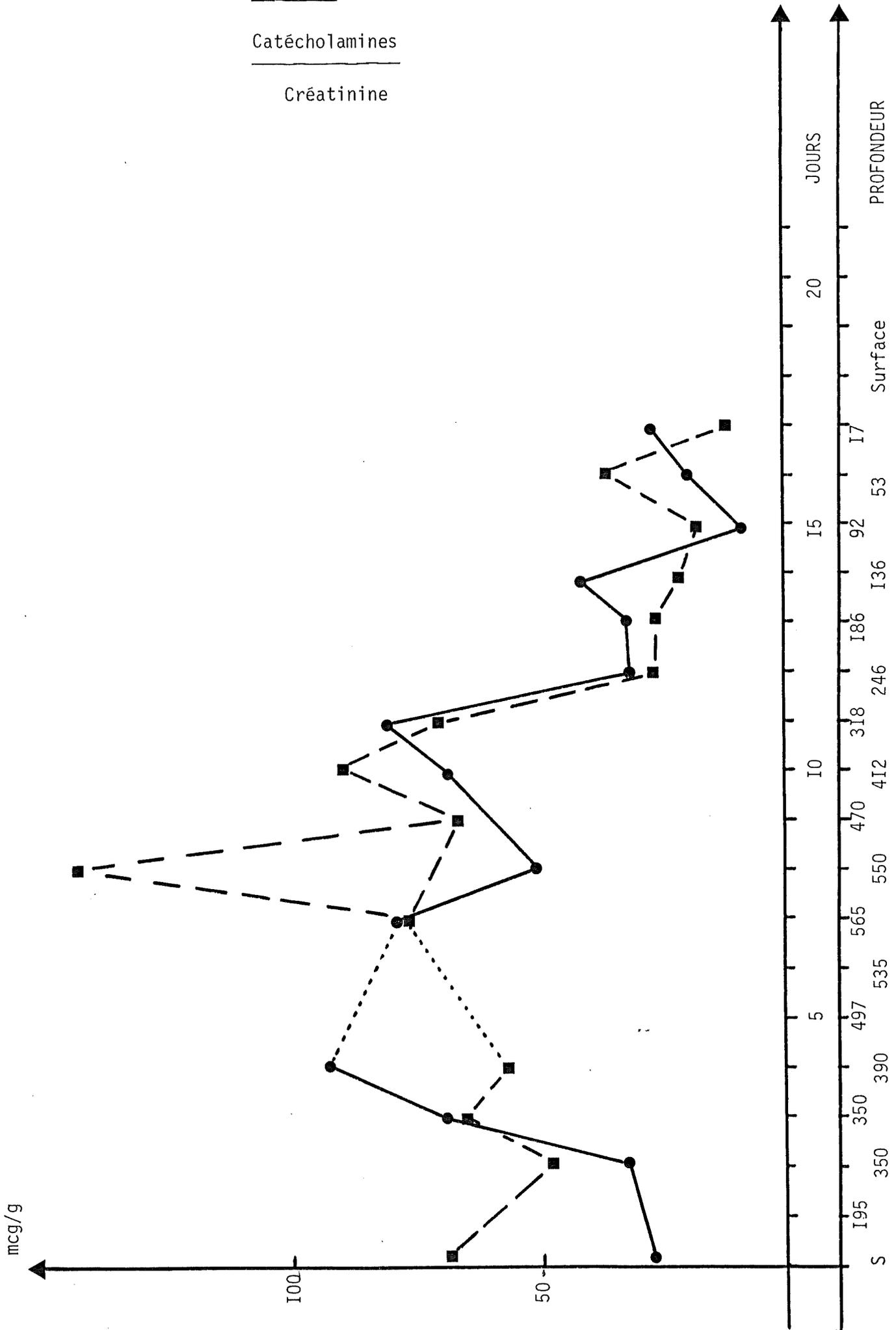


FIGURE 10

Métanéphrines / 24 Heures

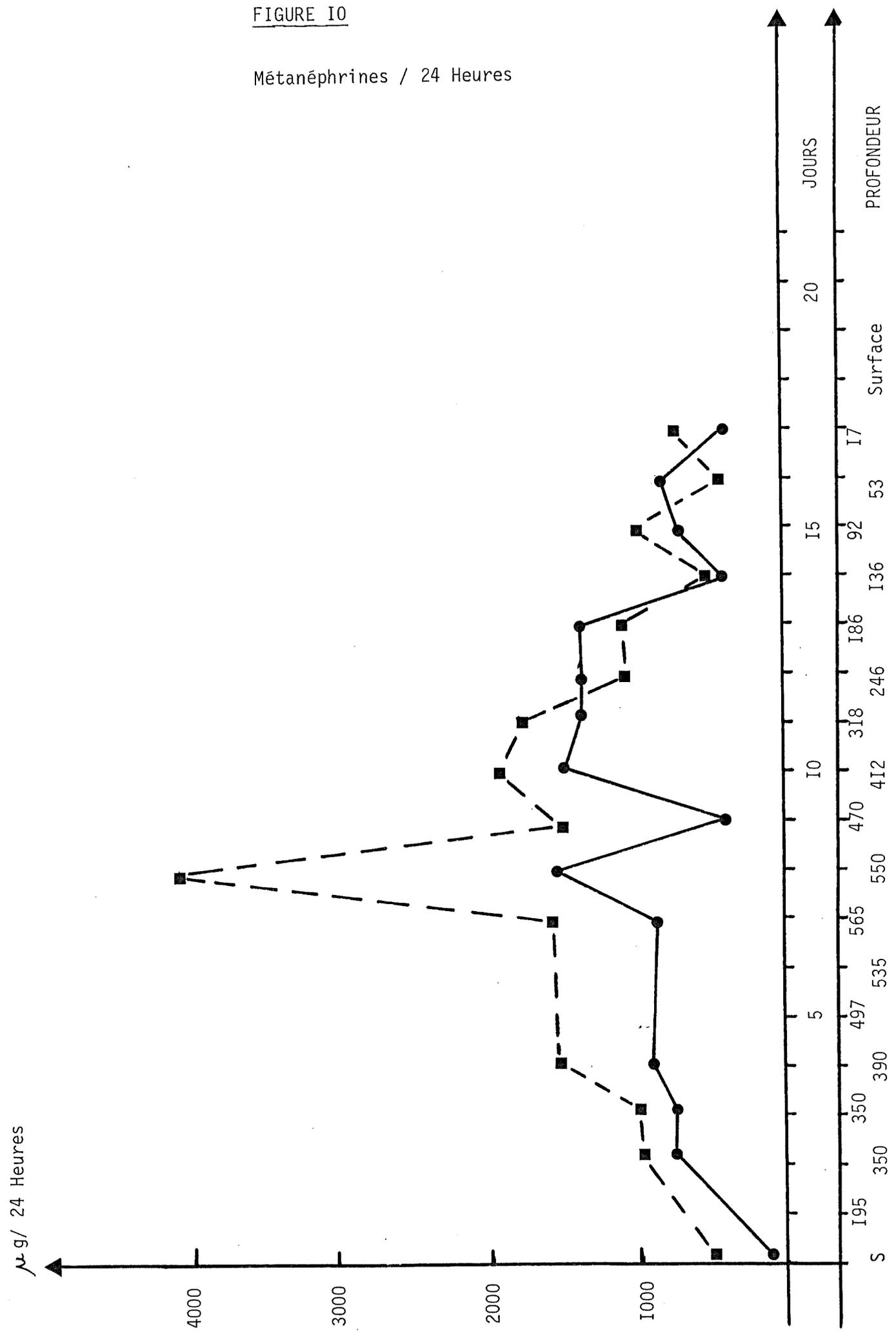


FIGURE II

Acide vanilmandélique /24 Heures.

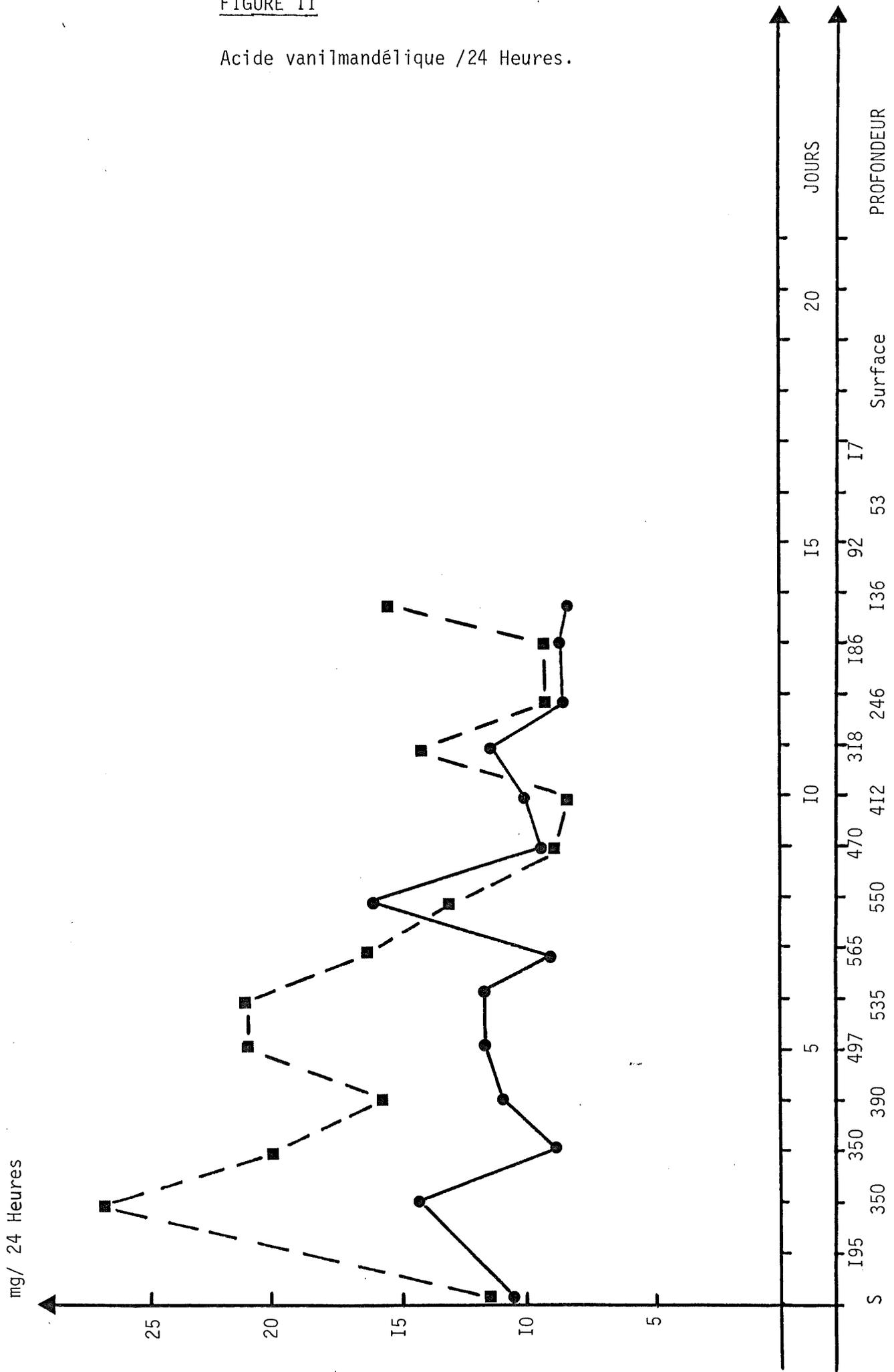


FIGURE 12  
A. T. P.

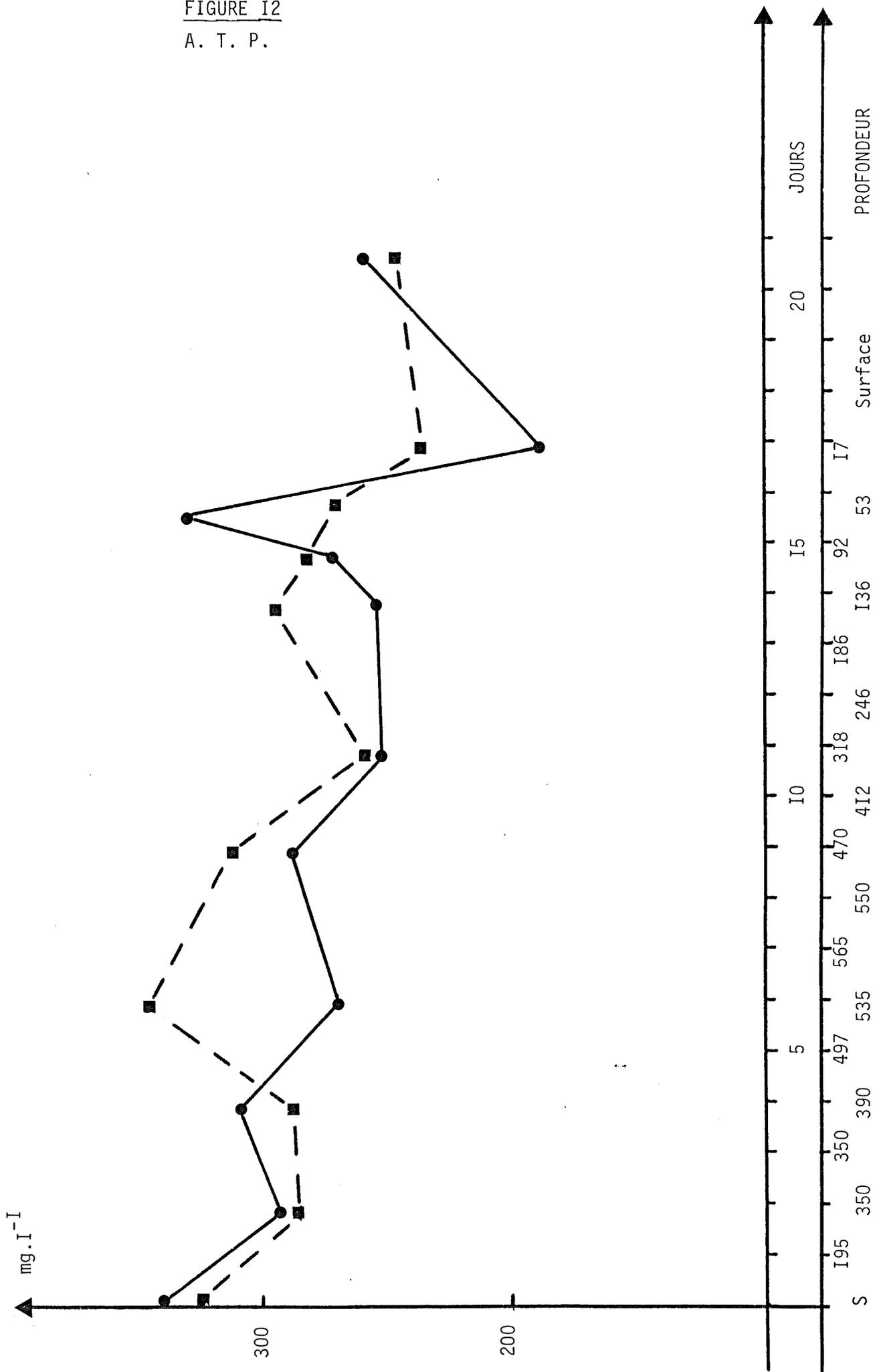


FIGURE 13

2,3-D.P.G.

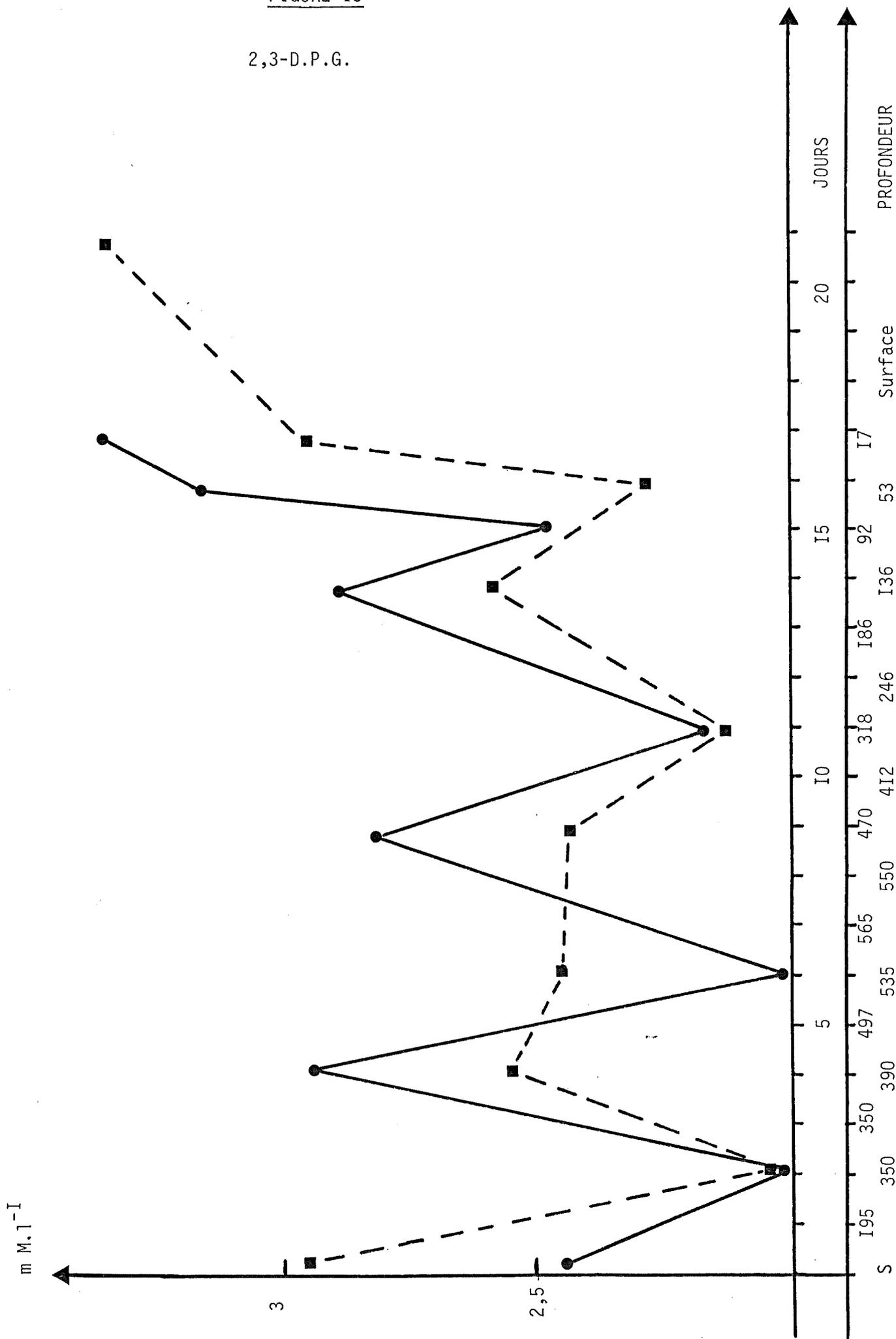


FIGURE I4

CORTISOL PLASMATIQUE.

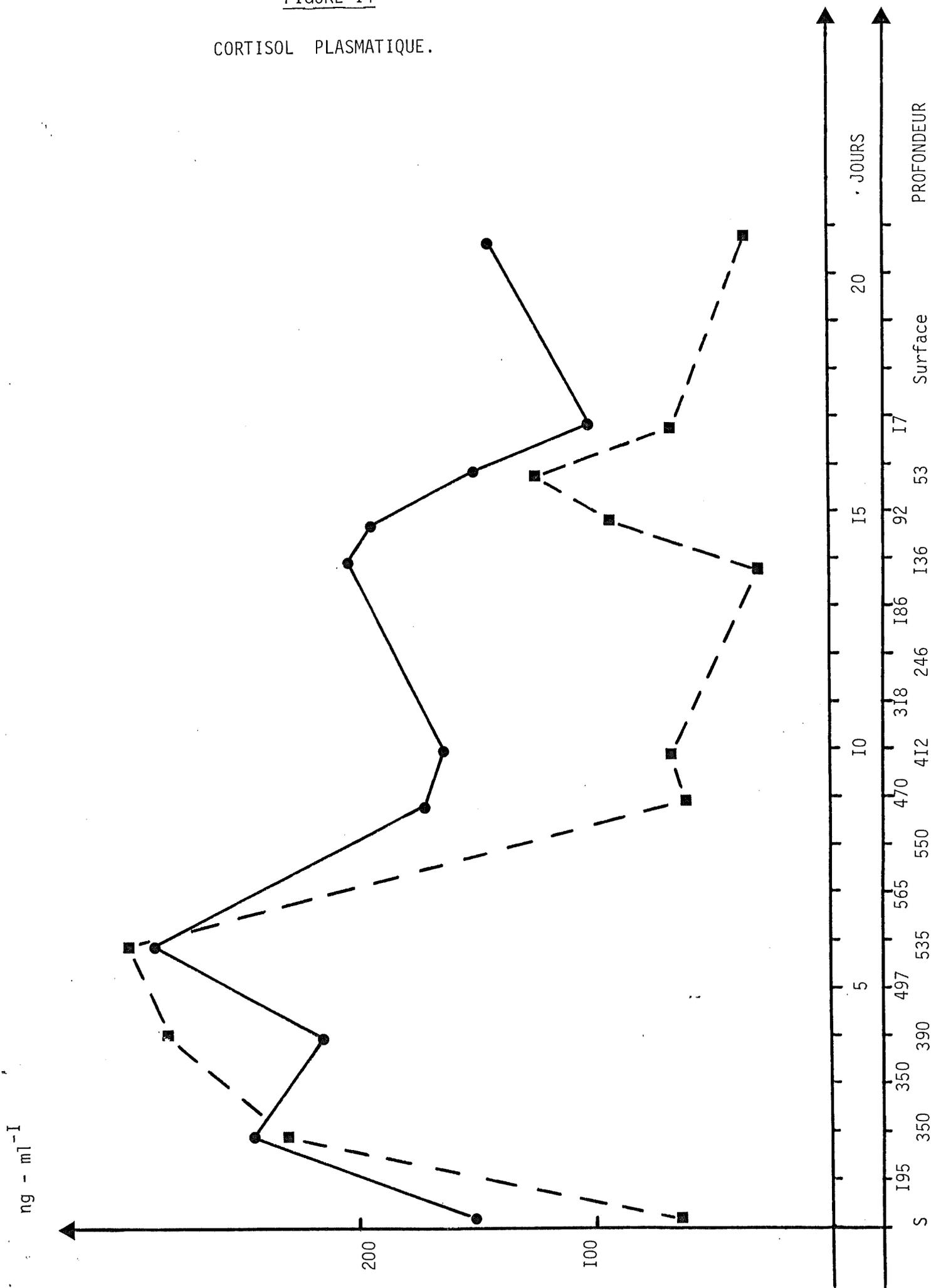


FIGURE I5

LACTICODESHYDROGENASE PLASMATIQUE

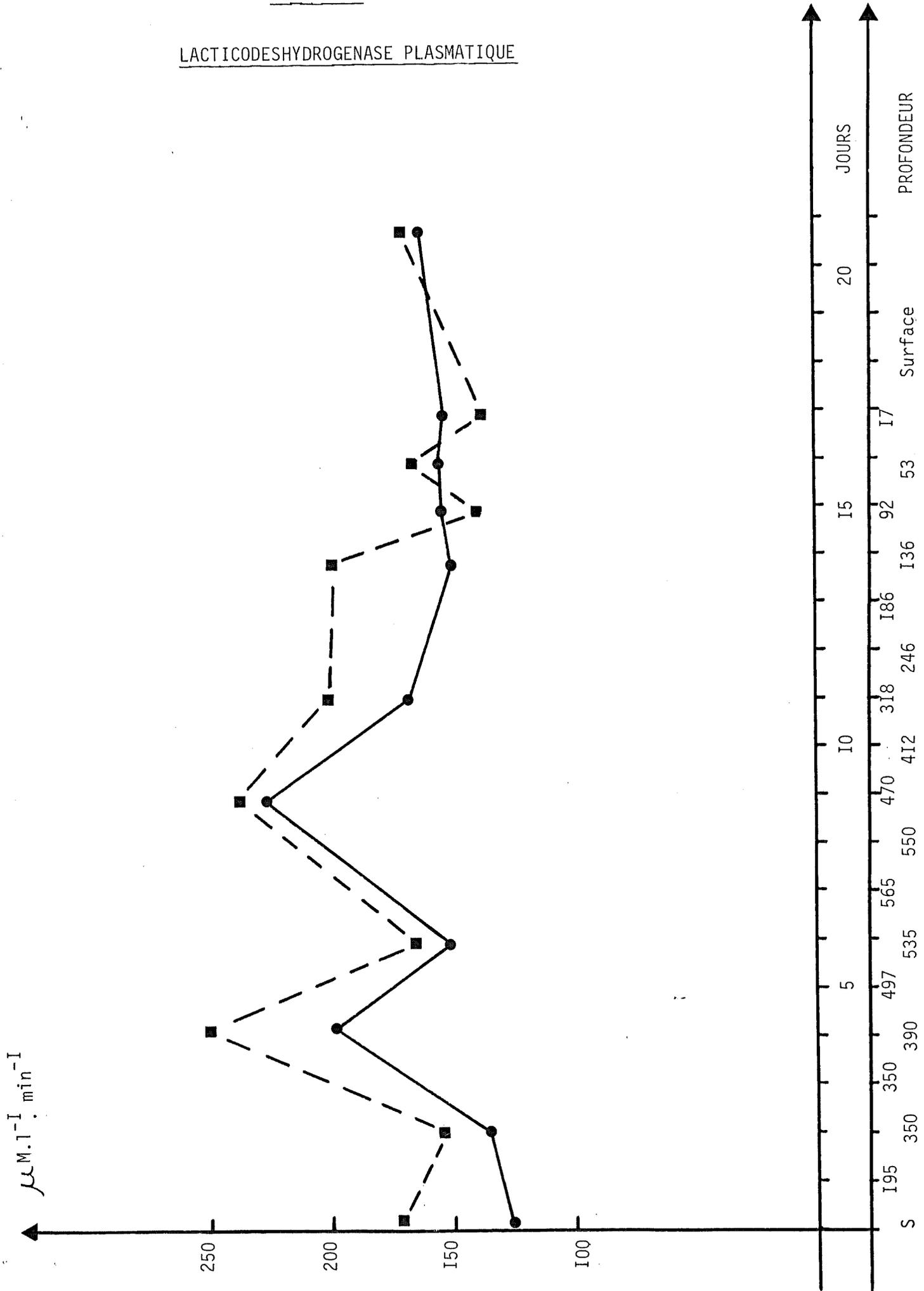


FIGURE 16

PHOSPHATASES ALCALINES TOTALES PLASMATIQUES

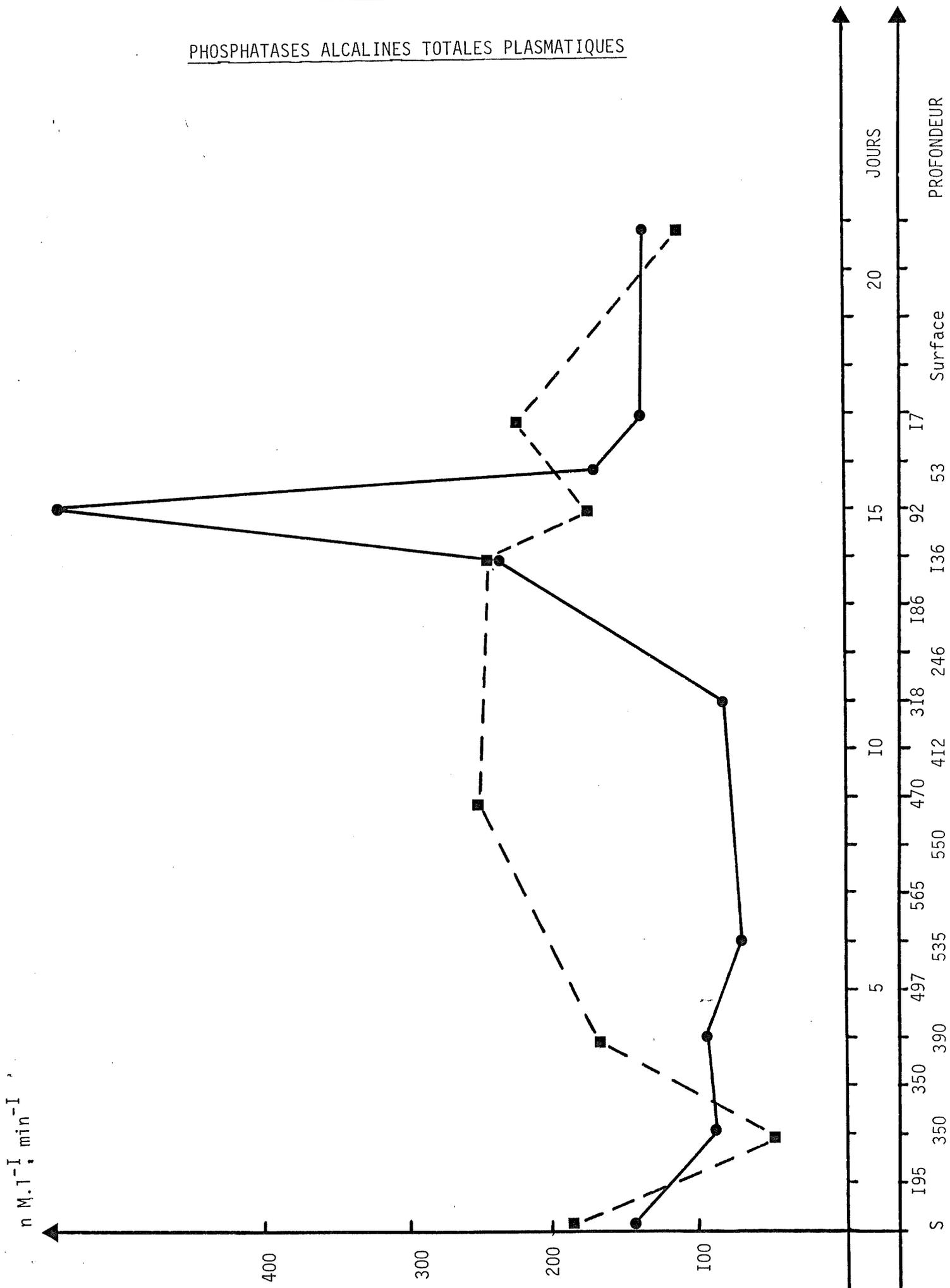


FIGURE 17

PHOSPHATASES ALCALINES PLASMATIQUES  
INHIBÉES PAR LA PHENYLALANINE

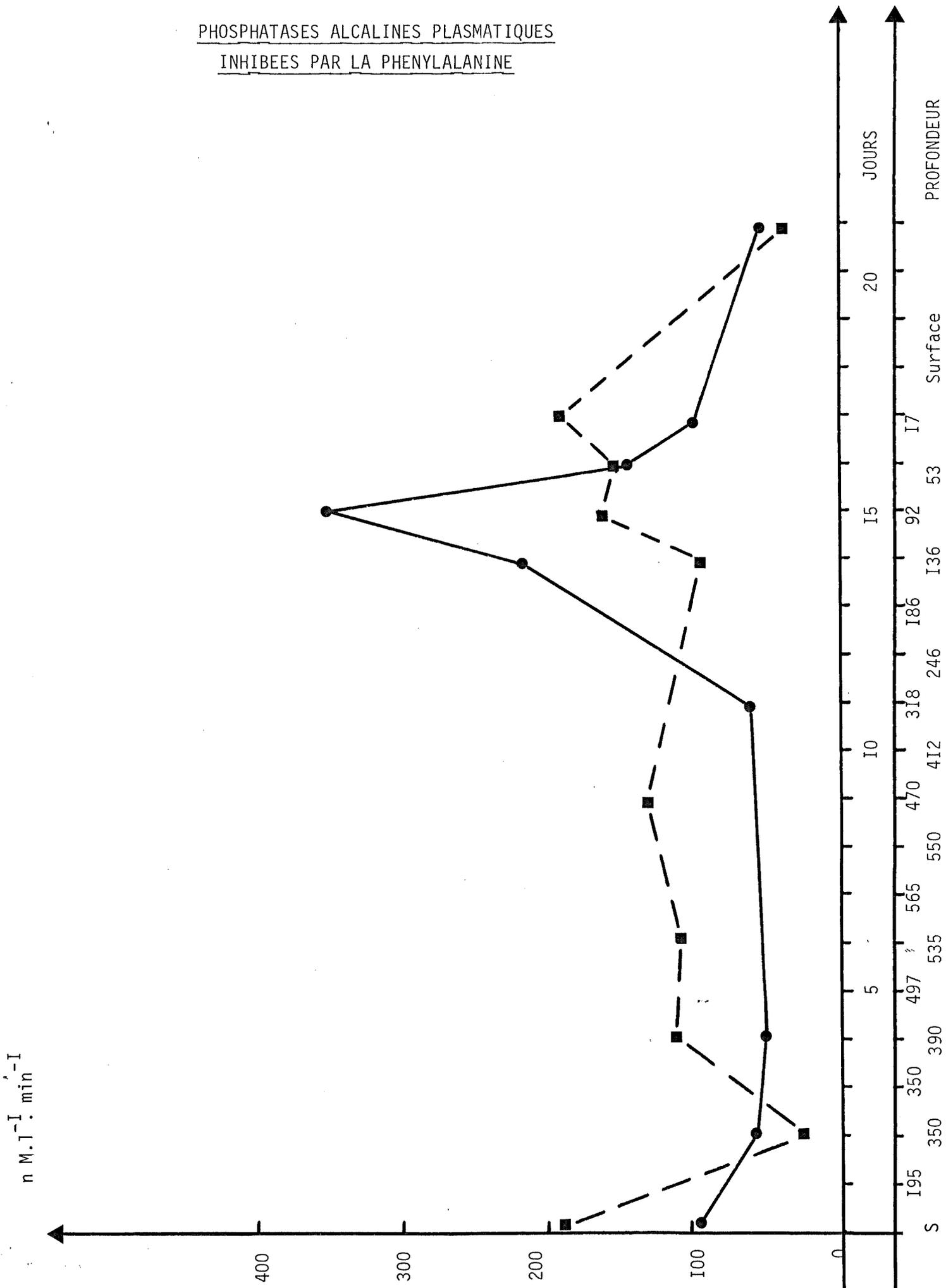
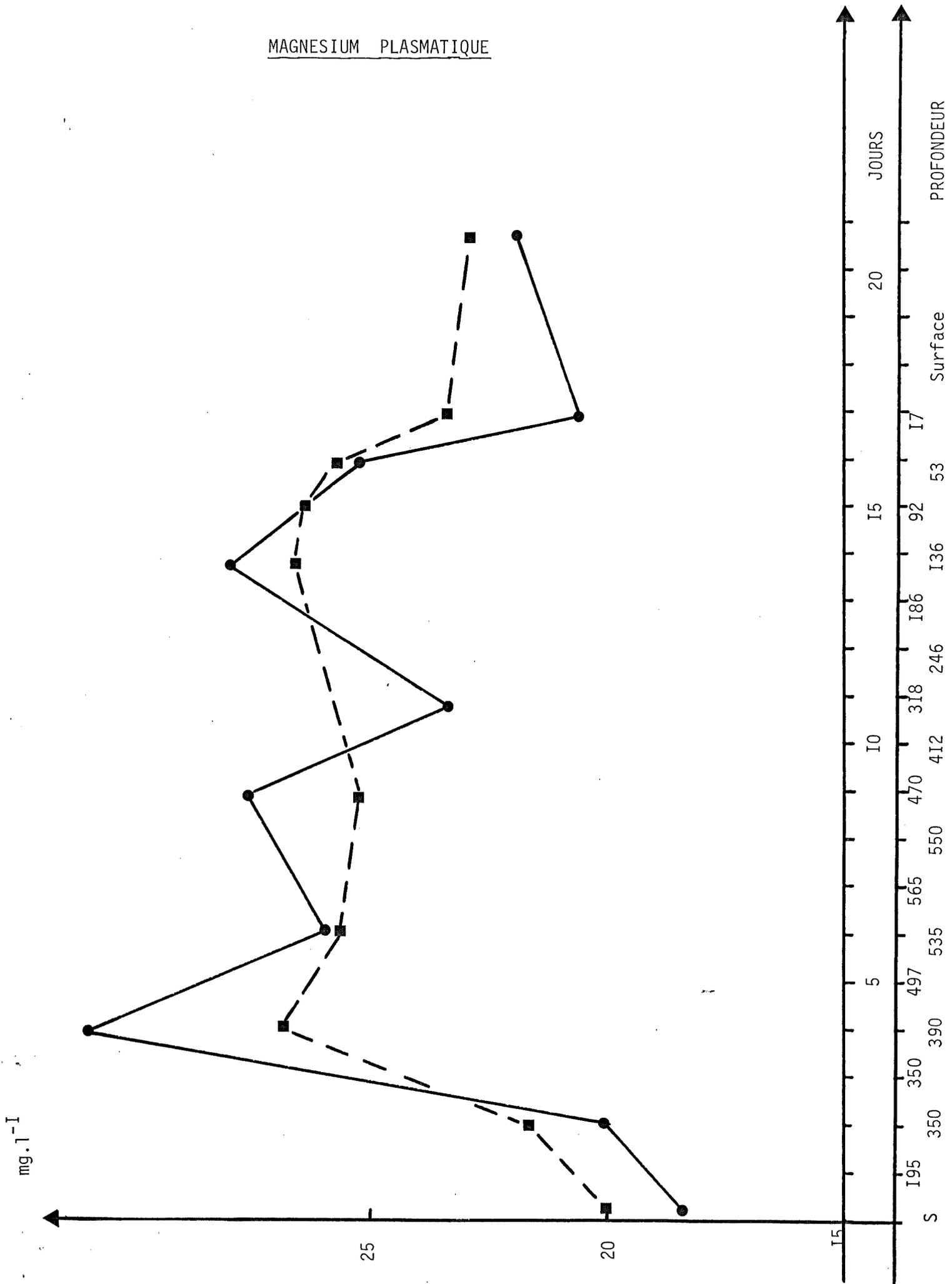


FIGURE I8

MAGNESIUM PLASMATIQUE





COMPTE RENDU DIETETIQUE

Au cours de l'expérience, pour les deux plongeurs :

Ration Moyenne Consommée

<u>CHEMIN</u>	Prot.	Lip.	Glu.	Calories	eau
Confinement	85	125	190	2 400	2 200
Mise en pression jus- qu'à - 610 m.	75	100	215	2 100	2 100
Décompression	80	110	180	2 000	1 950
<u>GAURET</u>					
Confinement	85	135	190	2 300	3 550
Mise en pression jus- qu'à - 610 m.	80	110	235	2 250	2 950
Décompression	65	100	180	1 850	2 400

A partir de 350 m :

- au point de vue goût : aucune modification très sensible ;

\* au point de vue texture non plus. (les quelques aliments habituels susceptibles de subir des modifications plus importantes étant éliminés dès le départ).

Les plongeurs n'ont pas d'appétit et se forcent pour manger. Tout en ayant

un dégoût pour tous les aliments, ils acceptent mieux :

Viandes, fromages, légumes verts, fruits, jus de fruits, biscuits, sucre.

Nous en concluons qu'en présence d'une nourriture correcte, même à 600 mètres :

- il n'y a pas de modifications de goût des aliments. L'idée que les aliments n'avaient plus de goût ni de saveur au cours de plongées à saturation semble un préjugé entretenu par les plongeurs eux-mêmes et venant du fait que sur les barges l'alimentation donnée est plus ou moins insipide.
- il est à noter aussi que la texture des aliments est liée à leur vitesse de mise en pression. Une pressurisation rapide altérera davantage les aliments.
- l'anorexie semble due aux conditions de vie (confinement, manque d'activité) et liée aussi à la fatigue des plongeurs ; elle est donc particulière à chacun d'eux.

## CHEMIN

" PHYSALIE VI "

MAI		Protides	Lipides	Glucides	Calories	E A U	
JUIN	72					Aliments	V° Total
M	9	85	110	180	2 050	700	1 850
Me	10	105	130	250	2 650	1 050	2 650
J	11	70	140	145	2 150	900	2 050
-----							
Me	17	100	130	290	2 750	950	2 500
J	18	80	95	175	1 900	850	2 100
V	19	95	115	200	2 200	900	1 950
S	20	75	120	230	2 300	900	2 150
D	21	30	65	210	1 550	750	2 000
L	22	75	110	255	2 300	700	1 900
M	23	65	75	220	1 850	750	2 200
Me	24	65	105	170	1 850	850	1 800
-----							
J	25	80	95	180	1 900	1 700	3 050
V	26	55	80	200	1 750	850	1 750
S	27	65	95	175	1 800	650	
D	28	40	80	245	1 900	1 000	1 950
L	29	95	155	135	2 350	700	1 750
M	30	90	110	220	2 250	600	1 450
Me	31	85	90	145	1 700	800	1 850
J	1er	110	160	130	2 400	750	
-----							

## GAURET

" PHYSALIE VI "

MAI  JUIN 72	Protides	Lipides	Glucides	Calories	E A U	
					Aliments	V° Total
M 9	85	115	180	2 100	850	3 850
Me 10	95	140	220	2 500	600	3 100
J 11	80	150	170	2 350	700	3 700
Me 17	100	150	275	2 850	1 000	3 500
J 18	115	110	185	2 200	1 150	3 050
V 19	115	135	280	2 800	1 600	3 600
S 20	65	115	215	2 150	1 100	2 600
D 21	45	80	215	1 750	1 150	2 650
L 22	80	130	310	2 700	1 200	3 300
M 23	90	75	235	2 000	1 150	2 350
Me 24	45	75	180	1 550	1 050	2 550
J 25	25	55	230	1 500	1 600	2 950
V 26	30	70	180	1 450	1 000	2 500
S 27	55	80	225	1 850	1 200	3 450
D 28	35	90	225	1 750	850	2 150
L 29	85	145	80	1 950	650	1 750
M 30	95	115	220	2 300	800	1 900
Me 31	90	100	130	1 750	700	1 900
J 1er	95	155	160	2 400	850	

## NEUROPHYSIOLOGIE

---

Au cours de l'opération "PHYSALIE VI", l'étude neurophysiologique a porté sur :

- la mesure du tremblement au repos et pendant le travail musculaire,
- les activités EEG de veille au repos et pendant le travail intellectuel avec analyse spectrale (spectres de puissance),
- les activités EEG de sommeil et les perturbations de l'organisation du sommeil,
- les modifications des potentiels évoqués visuels moyens,
- les modifications des cycles d'excitabilité visuelle,
- la mesure toutes les 4 heures de la température et de la fréquence cardiaque (études des rythmes circadiens).

.../...

## A - L'ETUDE DU TREMBLEMENT -

### 1. Techniques

Le tremblement est mesuré au moyen d'un géophone (géo-space H S - J) placé sur le majeur de la main droite. Les signaux sont reproduits sur papier (Elema - Schönander) et enregistrés sur bandes magnétiques et traités ultérieurement sur ordinateur (PDP 12 digital equipment corporation) pour obtenir d'une part l'amplitude moyenne (programme STREMOR conçu au Laboratoire) et d'autre part le spectre de puissance (programme SANTREM), afin d'étudier la répartition de la puissance du signal en fonction des fréquences. Les résultats portent sur le moyennage de 3 séquences successives et sur une durée de 17 secondes ; ils sont exprimés en pourcentage de différence par rapport à la valeur moyenne des contrôles effectués en surface.

L'activité électrique du biceps brachial et du long supinateur est recueillie par des électrodes de surface ; elle est amplifiée (BP 700 c/s), intégrée (circuit de Miller) et reproduite sur papier (Elema Schönander).

La mesure est réalisée au cours de l' "épreuve du serment", d'une durée de 20 secondes et répétée trois fois de suite à 1 minute d'intervalle environ, plusieurs fois par jour à heures fixes, au cours du confinement et pendant la plongée.

Le tremblement est également mesuré pendant le maintien d'une charge (épreuve du serment avec une charge de 1 et 2 kg au niveau du poignet).

### 2. Résultats

Les mesures effectuées au cours du confinement ne montrent aucune modification significative. (fig. 1).

.../...

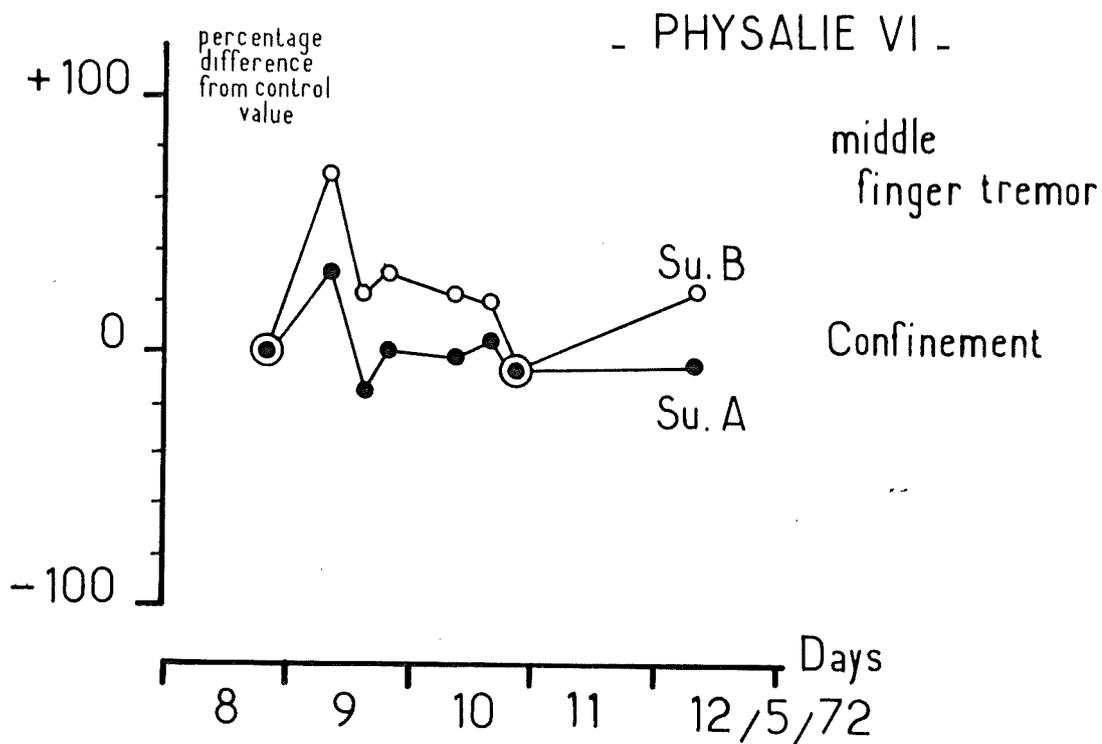
FIGURE 1 :

Evolution du tremblement des deux sujets au cours du confinement en atmosphère hélium - oxygène précédant la plongée.

En ordonnées : Les variations d'amplitude du tremblement exprimées en pourcentage de différence par rapport à la valeur de contrôle (tests précédant le confinement).

En abscisses : les jours.

(Explication dans le texte).



Au cours de la plongée, le tremblement est renforcé chez les 2 plongeurs, dès le 2ème jour vers 300 mètres (fig. 2). Au palier à 350 mètres, il atteint une augmentation d'amplitude de 150 % le matin du 1er jour, puis il régresse et disparaît le soir de ce même jour, pour réapparaître au réveil le second jour du palier à 350 mètres ; il disparaît de nouveau en fin de journée.

Au cours de la compression de 350 à 610 mètres, le tremblement réapparaît. Il présente une amplitude toujours plus importante le matin surtout aux paliers à 535 mètres et 565 mètres. A l'arrivée à 610 mètres, il est légèrement plus important qu'à 350 mètres puisqu'il atteint 250 % environ. Le tremblement disparaît très rapidement pendant la décompression (fig. 2). La fréquence de ce tremblement est comprise entre 8 et 12 c/s. Cette fréquence est d'autant plus stable que l'amplitude est importante (fig. 3).

La mesure du tremblement pendant le maintien d'une charge montre que l'augmentation d'amplitude du tremblement est d'autant plus grande que la charge est élevée et cette augmentation est fonction de l'intensité du tremblement sans charge (fig. 4 et 5).

Au cours de ces épreuves de maintien de charge, la fréquence est en général plus rapide que lors des épreuves sans charge, mais ses variations relatives ne sont pas constantes (fig. 6).

Au point de vue des activités EMG, avec les conditions d'enregistrement utilisées, il n'a pas été possible de mettre en évidence des activités particulières pouvant être corréliées avec le tremblement détecté par accélérométrie.

# PHYSALIE VI

## Middle Finger Tremor

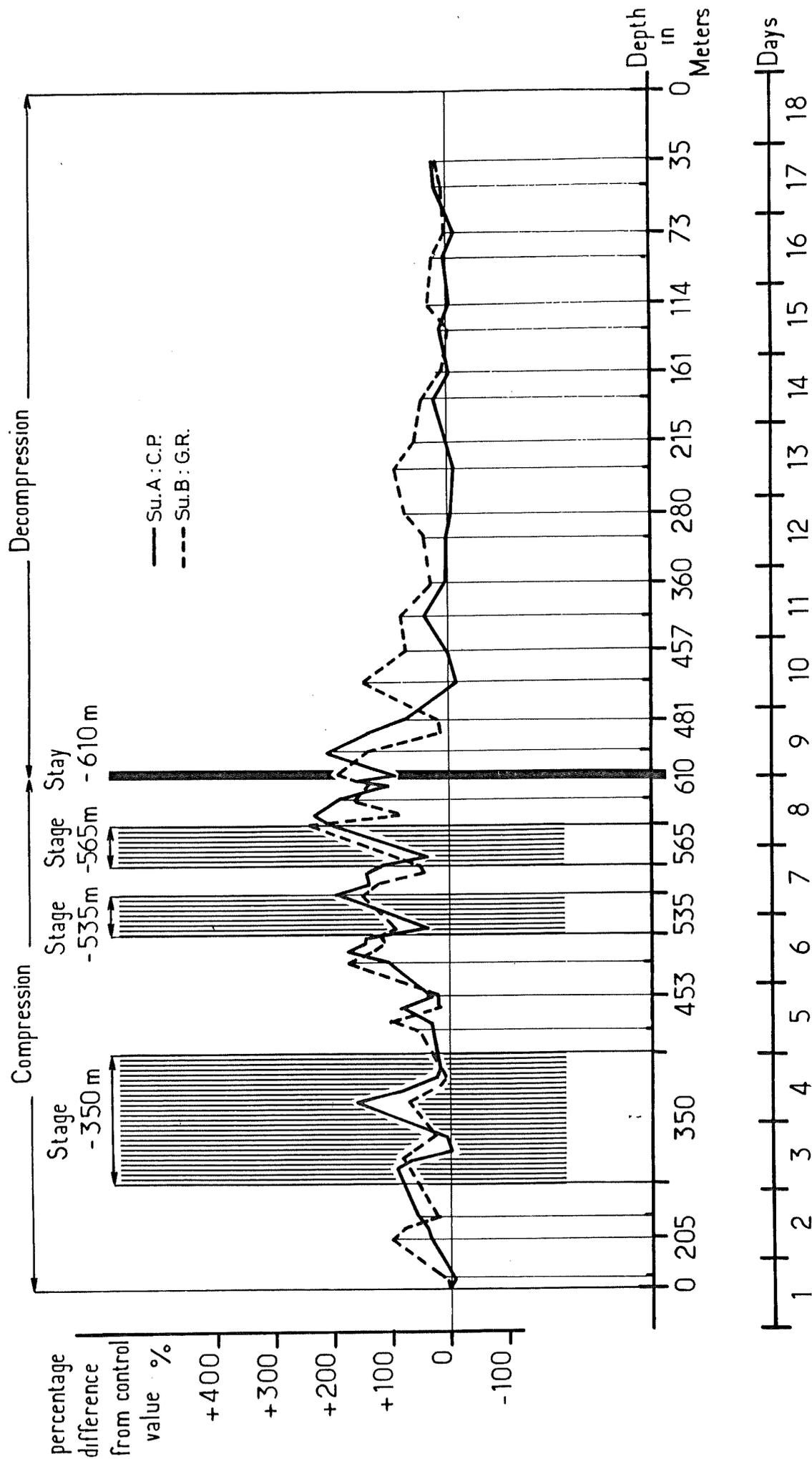


FIGURE 2 :

Evolution du tremblement (middle finger tremor) des deux sujets en fonction de la profondeur au cours de la plongée PHYSALIE VI.

En abscisses : Les profondeurs en mètres et les jours  
(depth in meters days).

En ordonnées : L'augmentation d'amplitude du tremblement exprimée en pourcentage de différence par rapport à la valeur de contrôle.  
(percentage difference from control value).

Les zones hachurées verticales figurent les paliers.

(Explication dans le texte).

FIGURE 3 :

Evolution de la fréquence du tremblement au cours de la plongée  
PHYSALIE VI.

En ordonnées : La fréquence en cycles/seconde.

En abscisses : Les profondeurs en mètres et les jours.

Les zones hachurées figurent les paliers.

On peut remarquer que la fréquence est d'autant plus stable que le  
tremblement est important (fréquence comprise entre 8 et 10 c/s  
pendant la compression et le début de la décompression).

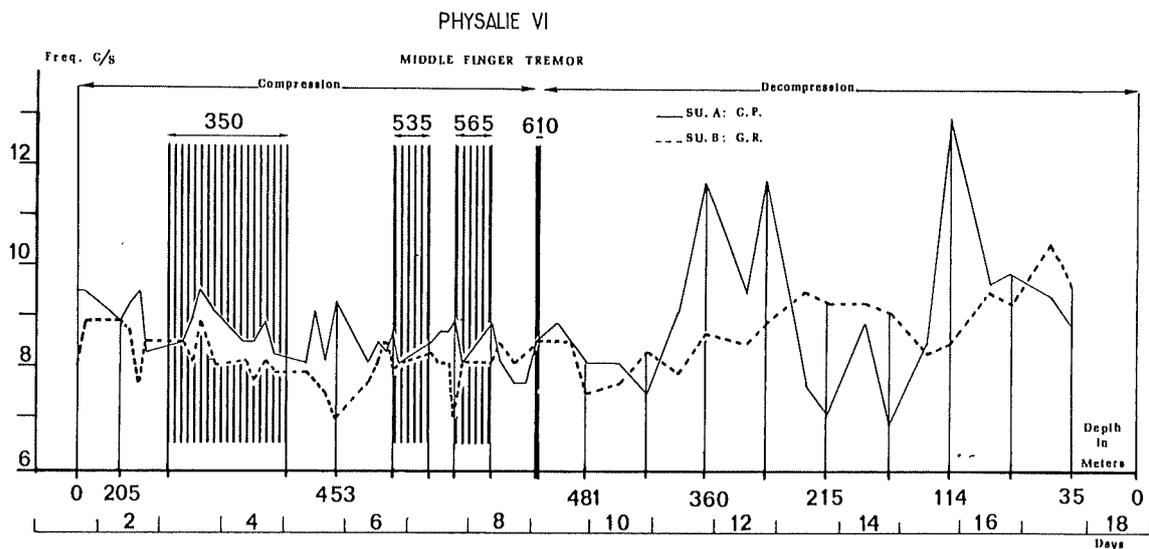


FIGURE 4 : LOAD TREMOR

Evolution du tremblement pendant le maintien des charges de 1 et 2 kg en surface et à diverses profondeurs au cours de la plongée PHYSALIE VI.

En ordonnées : L'amplitude du tremblement exprimée en pourcentage de différence par rapport à la valeur de contrôle.

En abscisses : Les profondeurs en mètre et les jours.

A gauche : Le sujet A.

A droite : Le sujet B.

R : Tremblement pendant le repos précédant le maintien des charges.

1 kg et 2 kg : Tremblement pendant le maintien des charges de 1 et 2 kg.

(Explication dans le texte).

- PHYSALIE VI -

Load Tremor

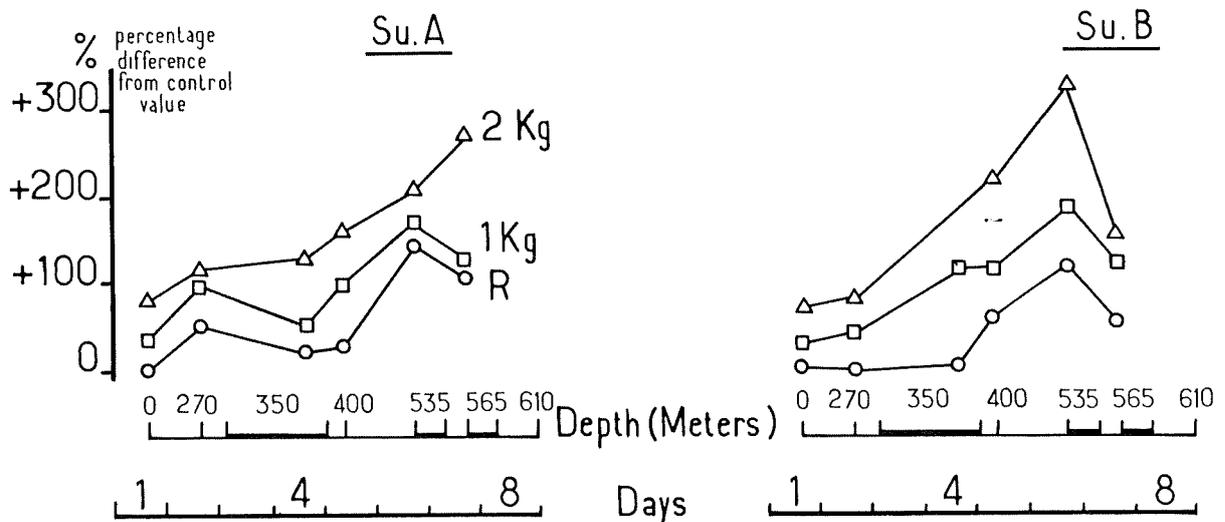


FIGURE 5 :

Spectre de puissance du tremblement au repos ( R ) et pendant le maintien d'une charge de 1 kg et de 2 kg, en surface (en haut de la figure), à 350 mètres (centre) et à 565 mètres (partie inférieure de l'image).

En ordonnées : La densité spectrale en unité arbitraire.

En abscisses : Les fréquences en hertz.

(Explication dans le texte).

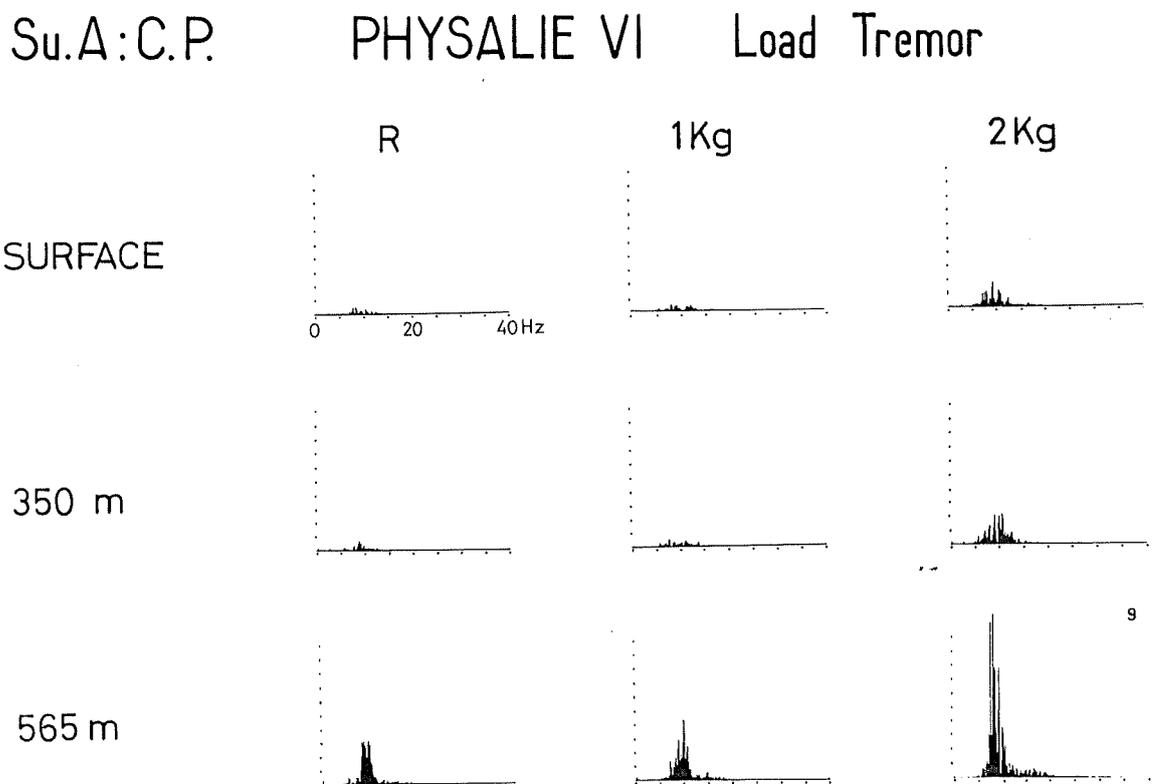


FIGURE 6 :

Evolution de la fréquence du tremblement au cours des tests de maintien de charge effectués en surface et pendant la plongée.

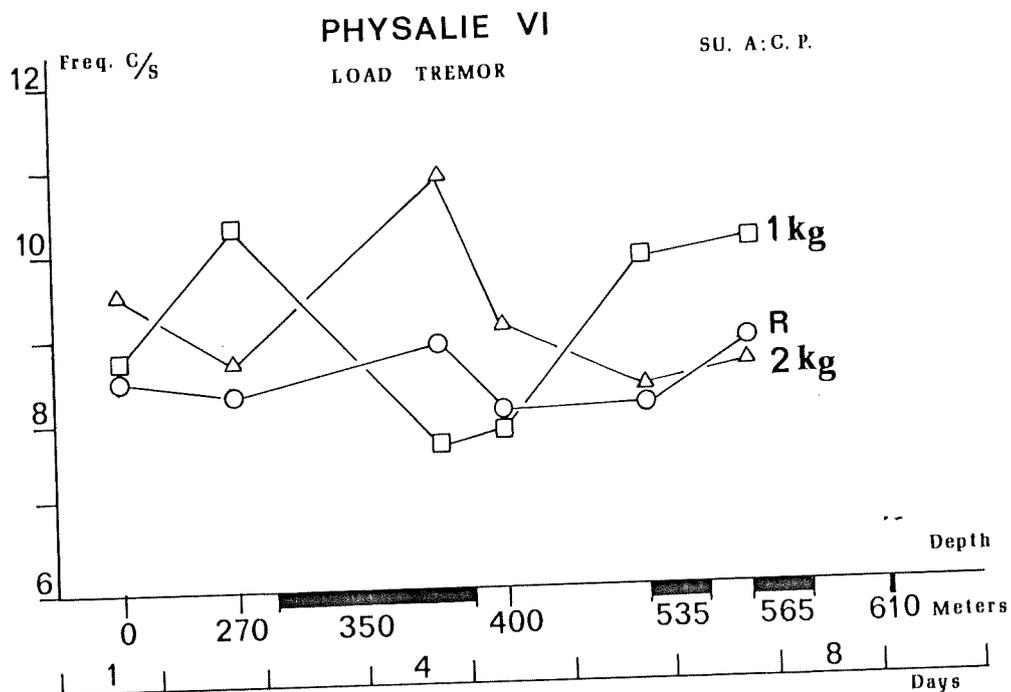
En ordonnées : La fréquence en cycles/seconde.

En abscisses : La profondeur en mètre et les jours.

R : Fréquence du tremblement au repos.

1 et 2 kg : Fréquence du tremblement pendant le maintien d'une charge.

(Explication dans le texte).



### 3. Discussion

Le tremblement enregistré au cours de la plongée PHYSALIE VI est le moins important de toutes les plongées très profondes réalisées à la COMEX.

Si l'on compare les résultats obtenus au cours de PHYSALIE V, SAGITTAIRE II et PHYSALIE VI on peut remarquer que dans la première partie de la compression de 0 à 350 mètres :

- a) le tremblement présente toujours une augmentation sensible entre 250 et 300 mètres.
- b) à 350 mètres, les valeurs atteintes par le tremblement au cours de cette plongée sont légèrement inférieures à celles notées pour la même profondeur lors de PHYSALIE V et SAGITTAIRE II.

Le ralentissement de la compression entre 0 et 350 mètres est certainement à l'origine de cette amélioration. Ces faits semblent démontrer tout au moins pour le tremblement, que la première partie de la compression doit être encore revue. Une réserve est à faire cependant car il n'est pas certain qu'un ralentissement de la compression entraîne une amélioration très importante au niveau du tremblement pour ces profondeurs.

- c) Dans la seconde partie de la compression, de 350 mètres au fond, les résultats sont très différents selon les plongées. L'importance du tremblement dépend plus du mode de compression que de la profondeur atteinte. Ainsi à l'arrivée à 610 mètres, grâce à la compression lente interrompue par des paliers à des profondeurs intermédiaires, le tremblement est moins important (250 %) que pour SAGITTAIRE II à 500 m (400 %) et PHYSALIE V à 520 m (700 %).

.../...

- d) Si le tremblement s'atténue au cours des 46 heures de palier à 350 mètres, il est plus intense le matin au réveil, en fin de palier à 535 et 565 mètres que la veille au soir en début de palier. Ce phénomène rejoint les observations effectuées lors de SAGITTAIRE II (FRUCTUS et al. 1972 ; ROSTAIN et NAQUET 1971) et pose le problème de l'intervention des paramètres autres que la vitesse ou le mode de compression.

L'hélium en tant que tel ne semble pas intervenir. Le remplacement de l'hélium par de l'hydrogène chez le singe (BRAUER et al. 1970 ; ROSTAIN et NAQUET 1972 ; ROSTAIN 1973) ou par du néon chez la souris (MILLER et al. 1972) n'empêche pas l'apparition du tremblement.

Il faut donc invoquer soit l'intervention de la pression par elle même soit l'effet de la combinaison pression - mélange respiratoire.

- e) Ce tremblement, tout au moins pour le niveau enregistré dans cette plongée, n'influence pas le travail musculaire local, ni l'activité électromyographique. Son évolution au cours de cette plongée est très voisine d'un sujet à l'autre, comme cela avait été déjà observé pour les précédentes plongées (ROSTAIN et LEMAIRE 1973 ; ROSTAIN et NAQUET 1974 a).

L'origine de ce tremblement n'est pas encore connue. Sa fréquence est plus rapide que le tremblement parkinsonien ; elle est aussi comprise entre 8 et 12 c/s. Cette fréquence est retrouvée chez le singe Papio-Papio chez qui le tremblement est objectivé à partir d'une certaine intensité par l'électromyographie (ROSTAIN 1973).

.../...

Bien que pour BACHRACH et BENNETT (1973) le tremblement observé en plongée soit difficilement rattachable à un type particulier de tremblement, il nous apparaît, par ses caractéristiques, comme une exagération du tremblement physiologique (ROSTAIN et LEMAIRE 1973) décrit par de nombreux auteurs chez l'Homme et l'Animal (BINET 1920 ; BRUMLIK 1962 ; FRIEDLANDER 1956).

Selon ces auteurs, le tremblement physiologique peut devenir perceptible à l'oeil nu et atteindre une grande amplitude dans certains cas : effort mental, exercice physique, douleur, hyperthyroïdisme, etc.....

Les conditions hyperbares renforceraient donc le tremblement physiologique en agissant sur certaines structures du système nerveux central. Les mécanismes de cette action ne sont pas encore connus.

## B - LES ACTIVITES ELECTROENCEPHALOGRAPHIQUES -

### 1. Techniques

Les 2 sujets étaient porteurs d'électrodes "hameçon ECEM" enfoncées dans le scalp et maintenues en place pour toute la durée de la plongée par de la gaze et du collodion, en des points déterminés (fronto-polaire, vertex-médian, central, temporal moyen, occipital) de l'hémisphère droit.

Une autre électrode est placée sur l'hémisphère gauche pour servir de "terre". Une sixième électrode (capsulex Alvar) a permis de recueillir les mouvements oculaires.

Les enregistrements EEG de veille ont été effectués plusieurs fois par jour à heures fixes, pendant le confinement et la plongée. Au cours de ces enregistrements les sujets étaient allongés, au repos. Les activités EEG ont été recueillies sur un électroencé-

phalographe "Alvar minihuit" en dérivation bipolaire jumelée : fronto-polaire/central, central/temporal moyen, temporal moyen/occipital. Des séquences ont été enregistrées sur bandes magnétiques analogiques (EP12C - CDC - SCHLUMBERGER). Les séquences enregistrées, repérées à l'aide d'un numéroteur de bandes magnétiques analogiques (SEVME informatique) ont été traitées en temps différé sur ordinateur PDP 12.

Les spectres de puissance des activités EEG correspondant à des tranches d'analyse de 7,5 secondes ont été obtenus à partir des programmes FFSAMPLE et FFOURIER (DECUS - 12 - 2B) modifiés pour notre usage. Ce programme (MSAMBR) permet notamment l'analyse de 3 dérivations d'EEG. Les spectres obtenus ont été moyennés pour chaque séquence à l'aide d'un second programme réalisé au LABORATOIRE (SP MOYE). La densité spectrale répartie dans chaque bande de fréquence analysée (1 - 4 c/s, 4 - 7 c/s, 8 - 13 c/s, 14 - 22 c/s) la fréquence des raies les plus importantes dans chacune de ces bandes et leurs valeurs respectives sont éditées sur imprimante au moyen d'un autre programme (SPEDIT) également élaboré au LABORATOIRE (J.F. DE CHALAIN).

Les activités EEG de sommeil ont été recueillies toutes les nuits du confinement et de la plongée, ce qui donne 40 enregistrements de sommeil d'une durée moyenne de 8 heures. Après lecture des tracés, les données sont traitées sur ordinateur (CII 10070 - Centre de calcul du Pharo) afin d'effectuer différents calculs statistiques à partir d'un programme établi par CARTWRIGHT et al. (1968) et remanié au LABORATOIRE pour nos besoins (C. GRAS). Il permet d'obtenir :

- Le nombre de changements d'état et la durée de chaque état répartie selon l'ordre chronologique (histogramme),

.../...

- la durée totale de l'enregistrement, la durée effective du sommeil,
- la répartition horaire de chaque stade,
- la fréquence d'apparition et la durée de chaque stade au cours de la nuit,
- pour chaque stade de sommeil, la moyenne, la médiane, les différents quartiles.

Ces calculs sont effectués globalement pour chaque nuit ou par tranches de 3 heures. Un second programme permet de réaliser les moyennages pour un ensemble de nuits chez un sujet ou un moyennage de plusieurs sommeils d'une même nuit.

## 2. Résultats

### a) Les activités EEG de veille : analyse des tracés :

#### + En surface :

Les tracés EEG des 2 plongeurs sont caractérisés, à la fermeture des yeux, par la survenue d'une activité alpha continue et ample (sujet A : 10 c/s 50  $\mu$ V : fig. 7 ; sujet B : 10 à 11 c/s, 50 à 75  $\mu$ V : fig. 8) associée dans les régions antérieures à une activité rythmique à 10 c/s dont la réactivité permet de la considérer comme une activité en arceaux. Chez le sujet A (fig. 7), des activités de fréquence thêta surviennent en brèves bouffées de faible amplitude dans la région antérieure. Ces tracés ne présentent pas de modification significative pendant le confinement.

.../...

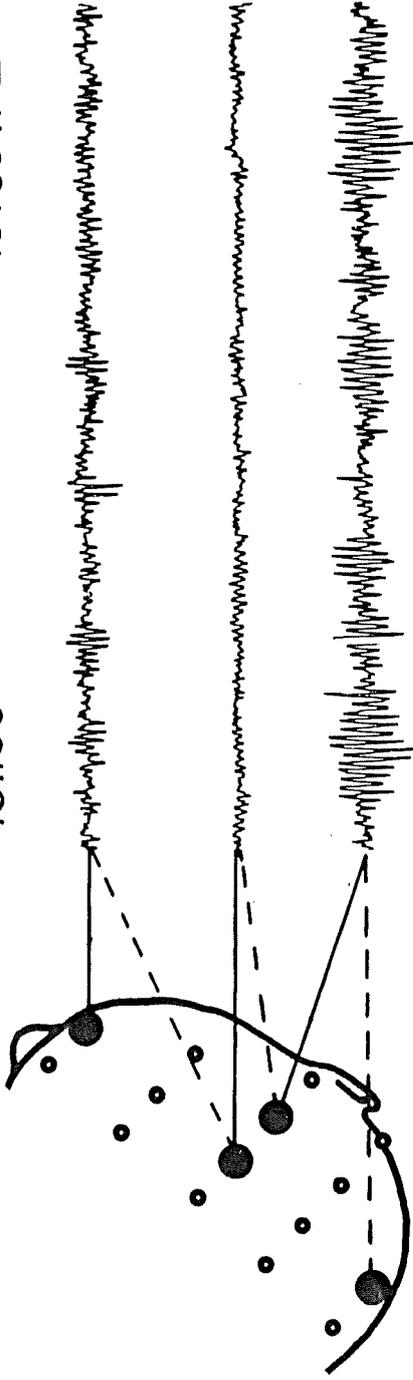
# - PHYSALIE VI -

PI. B. GAU.

SURFACE

15h00

16.05.72



50  $\mu$ v  
1 sec.

- 350 M

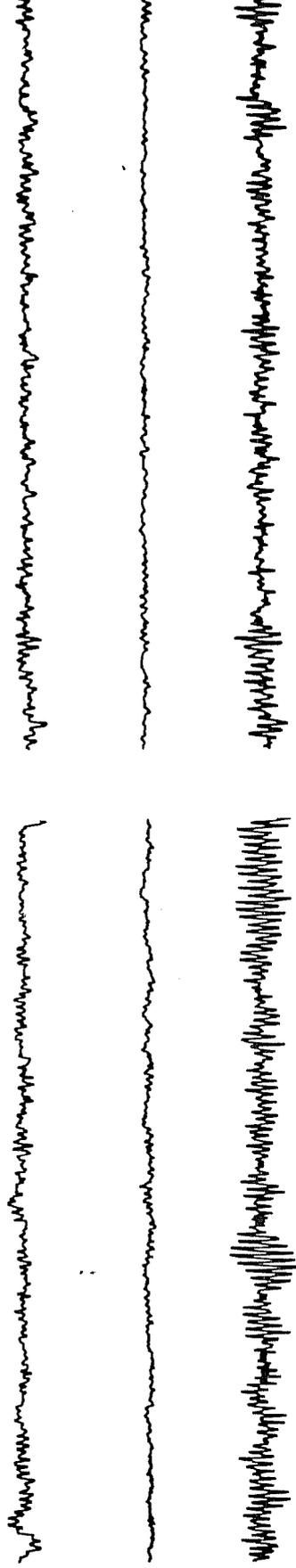
08h30

18.05.72

01h30

- 610 M

24.05.72



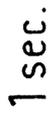
# - PHYSALIE VI -

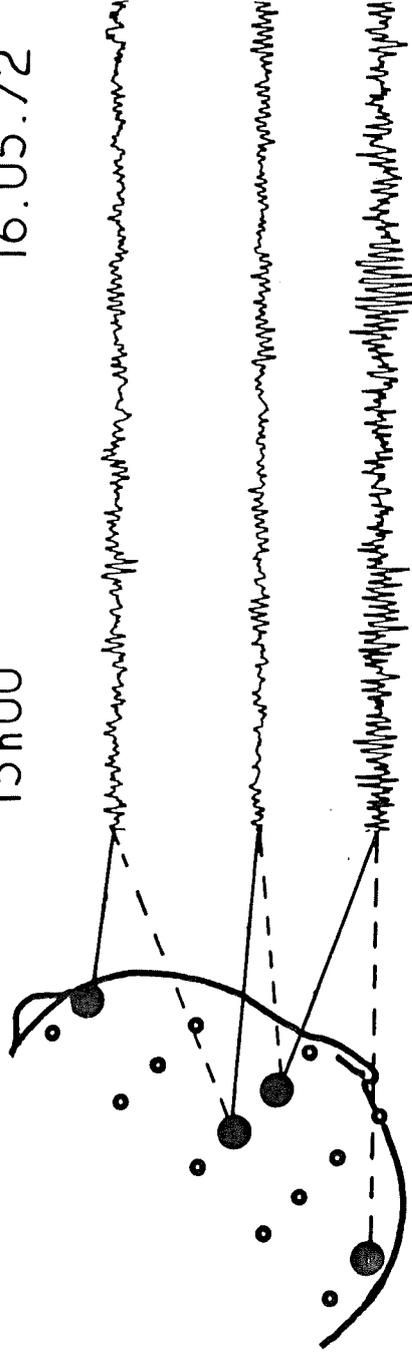
PI.A - CHEM.

SURFACE

15 h 00

16.05.72

50  $\mu\text{V}$    
1 sec. 



- 350 M

08 h 30

18.05.72

- 610 M

01 h 30

24.05.72

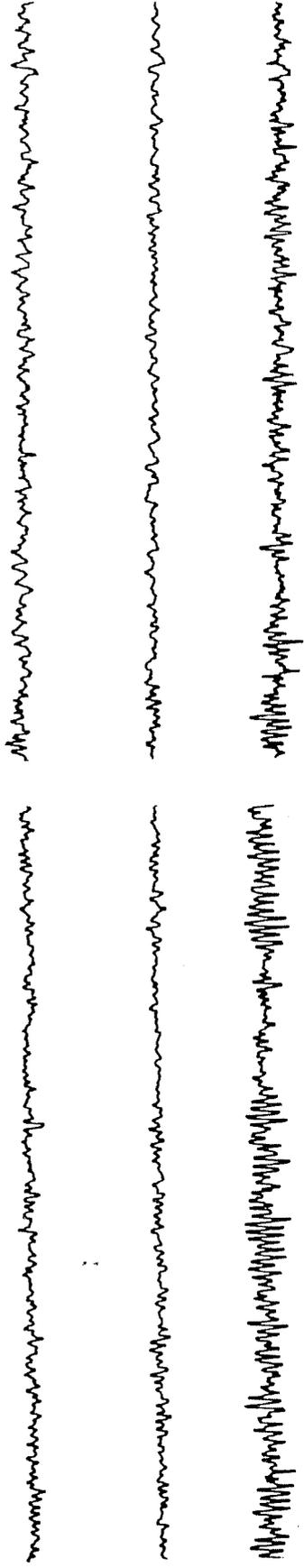


FIGURE 7 :

Enregistrement EEG du plongeur A (C.P.) au cours de la plongée  
PHYSALIE VI.

- En surface : A la fermeture des yeux, l'activité alpha postérieure est ample ( $50 \mu V$ ), pratiquement continue à 10 c/s.
- A 350 m : Les activités thêta antérieures sont renforcées.
- A 610 m : Les modifications sont bien plus nettes.  
L'alpha est moins ample. Les ondes thêta antérieures et moyennes sont augmentées, pratiquement continues, alors qu'apparaît une légère baisse du niveau de la vigilance se traduisant, à la fermeture des yeux, par un morcellement de l'alpha.

+ Au cours de la plongée :

Chez le sujet A, les premières modifications EEGraphiques apparaissent dès 270 mètres. Elles sont caractérisées par un renforcement des activités thêta fronto-centrales à 6 c/s et par une diminution de l'amplitude de l'alpha.

Pendant le palier à 350 mètres, ces modifications persistent le 1<sup>o</sup> jour du séjour (fig. 7) ; elles sont moins nettes le second jour.

Pendant la compression de 350 à 610 mètres, les activités thêta, la baisse d'amplitude de l'alpha réapparaissent entre 400 et 450 mètres et s'accroissent légèrement avec la profondeur. En même temps la fréquence de l'alpha se ralentit de 1 à 2 c/s.

Il n'y a pas d'évolution significative pendant le palier à 535 mètres. En revanche, en fin de palier à 565 mètres, les modifications EEG sont plus importantes le matin que la veille au soir.

A partir de 565 mètres, les ondes thêta antérieure et moyenne deviennent plus importantes et on observe également une très légère instabilité des tracés EEG de veille : des tracés évoquant un stade 1 de sommeil remplacent de temps en temps les tracés de veille, quelques secondes après que le sujet ait fermé les yeux (fig. 7).

A 610 mètres pendant le séjour, les activités thêta antérieure et moyenne sont nettes ; l'alpha postérieur est toujours présent à la fermeture des yeux et bien réagissant, mais il est beaucoup moins ample, plus lent (8,5 à 9 c/s) et moins stable qu'en surface (fig. 7). La tendance à la somnolence apparue vers 565 mètres ne s'est pas aggravée pendant le séjour à 610 mètres.

Pendant la décompression, les activités de fréquence thêta régressent à partir de 400 mètres et tendent à disparaître au-delà de 200 mètres. Les tracés évoquant une baisse du niveau de vigilance disparaissent rapidement (vers 450 m). L'alpha récupère sa fréquence initiale et son amplitude entre 300 et 200 mètres.

Chez le sujet B, les premières modifications EEGraphiques qui apparaissent vers 300 mètres, consistent en une diminution de l'amplitude de l'alpha postérieur.

Pendant le palier à 350 mètres, l'alpha tend à récupérer son amplitude initiale, le 2<sup>o</sup> jour du séjour.

Pendant la compression de 350 à 610 mètres, les activités thêta apparaissent entre 400 et 450 mètres dans la région fronto-centrale. Parallèlement l'amplitude de l'alpha rediminue et sa fréquence se ralentit de 1 à 2 c/s.

Des modifications plus importantes sont notées en fin de palier à 565 mètres. Quelques tracés évoquant une baisse du niveau de vigilance peuvent apparaître mais ils sont nettement moins nombreux et moins visibles que chez le sujet A.

Les activités thêta antérieures s'accroissent pendant la compression de 565 à 610 mètres.

Pendant le séjour à 610 mètres (fig. 8) l'activité thêta antérieure et moyenne est moins importante que celle rencontrée chez le sujet A. L'activité alpha toujours présente à la fermeture des yeux est un peu moins ample et plus lente qu'en surface (8,5 à 9 c/s). La tendance à la transformation du tracé de veille en tracé de sommeil reste peu importante et peu visible chez ce sujet.

.../...

FIGURE 8 :

Enregistrement EEG du plongeur B (G.R.) au cours de la plongée  
PHYSALIE VI.

- En surface : A la fermeture des yeux, l'activité alpha postérieure est ample ( $50\mu V$ ), pratiquement continue à 10 c/s.  
Il existe une activité rythmique antérieure relativement ample.
- A 350 m : Les activités rythmiques antérieures sont moins amples, entrecoupées par quelques bouffées d'activité thêta de très faible amplitude.
- A 610 m : L'alpha postérieur est beaucoup moins ample et moins stable.  
Les bouffées d'activité thêta sont plus nombreuses dans la région antérieure.

Pendant la décompression, les activités thêta régressent à partir de 400 mètres, et disparaissent vers 200 mètres. La baisse du niveau de vigilance disparaît très rapidement (entre 500 et 450 mètres). L'alpha récupère sa fréquence vers 300 mètres et son amplitude vers 200 mètres.

b) Les activités EEG de veille : analyse des spectres de puissance

Chez le sujet A, les spectres de puissance des activités EEG montrent un léger renforcement de la puissance des activités de fréquence thêta dès 270 mètres, sur la dérivation fronto-centrale et centro-temporale (fig. 9). A l'arrivée à 350 mètres, une augmentation de la puissance des activités de fréquence delta se surajoute dans la région antérieure. Les 2 modifications sont accompagnées par une dépression des activités de la bande de fréquence alpha et bêta sur l'ensemble des dérivations (fig. 9).

Pendant le palier à 350 mètres, ces modifications se stabilisent et tendent même à régresser.

Au cours de la compression de 350 à 610 mètres, ces modifications, à l'exception de celles concernant les activités delta, s'accroissent de nouveau. Les activités thêta se renforcent surtout sur la dérivation centro-temporale ; elles ne régressent pas pendant les paliers de 14 heures à 535 et 565 mètres. Entre 535 et 610 mètres, l'augmentation des activités de fréquence thêta est de l'ordre de 500 % dans la région moyenne ; le renforcement des activités delta ne dépasse pas 200 % dans la région antérieure.

.../...

# - PHYSALIE VI -

Su.A: C.P.

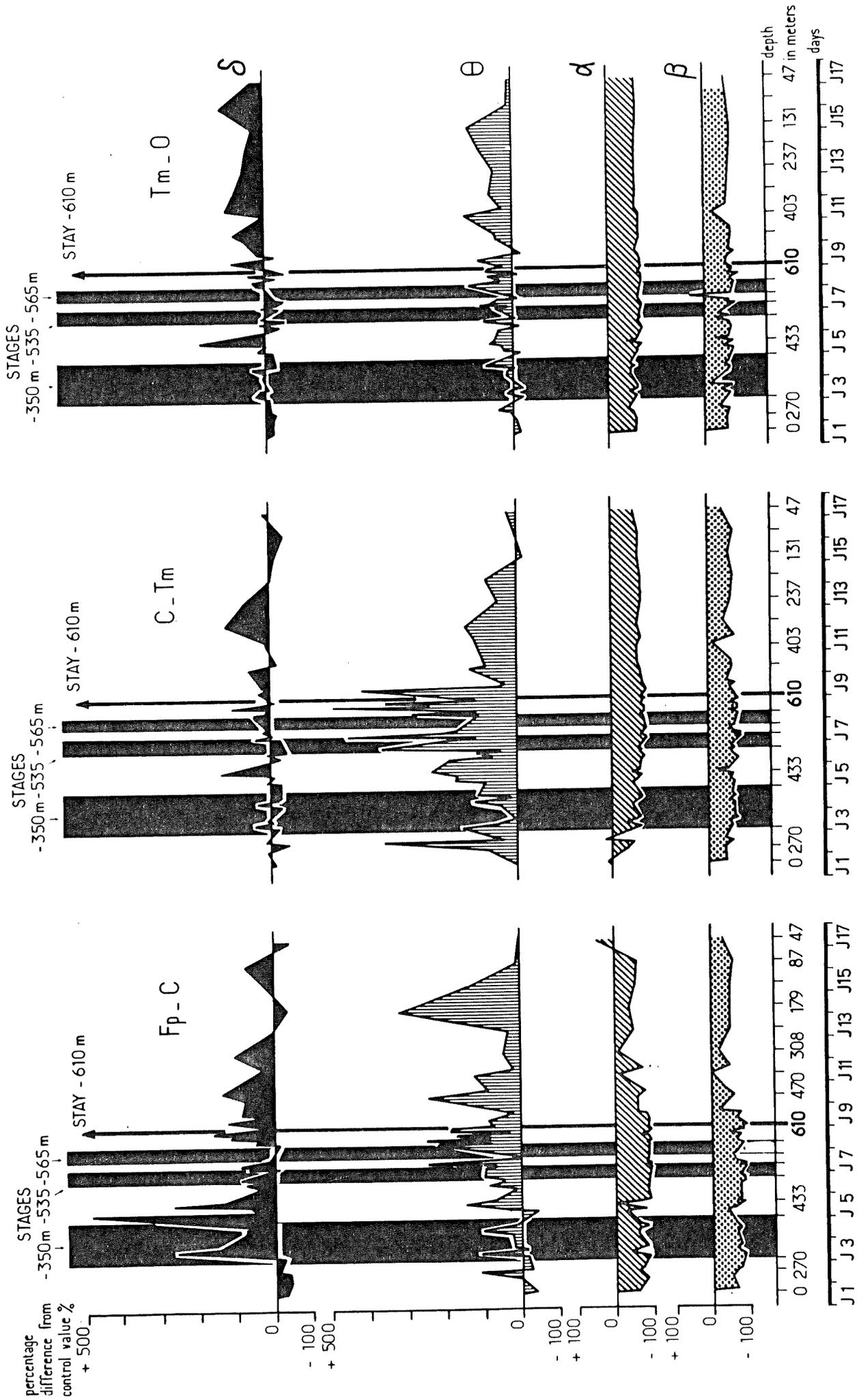


FIGURE 9 :

Evolution des spectres de puissance des activités EEG en fonction de la profondeur chez le sujet A (C.P.).

En ordonnées : L'augmentation de la puissance exprimée en différence de pourcentage par rapport à la valeur moyenne des contrôles effectués en surface (percentage difference from control value).

En abscisses : La profondeur en mètre et les jours.

Les activités EEG sont étudiées sur 3 dérivations :

- à gauche : Fp C (fronto-polaire/centrale)
- au centre : C. Tm (centro/temporale-moyenne)
- à droite : Tm O (temporale-moyenne/occipitale).

Pour chaque dérivation, on considère quatre bandes de fréquence : de haut en bas : delta (1-4 c/s) ; thêta (4-7 c/s), alpha (8-13 c/s), bêta (14-22 c/s). Dans chacune des bandes de fréquence est représentée l'évolution de la valeur de la raie la plus importante exprimée en pourcentage de différence.

Les zones noires verticales figurent les paliers ou le séjour (stages ou stay).

- Les activités de fréquences alpha et bêta sont déprimées sur l'ensemble des dérivations dès 270 m.

- Les activités de fréquence thêta s'accroissent surtout dans la région moyenne entre 270 et 300 m. L'augmentation atteint des valeurs maximales entre 535 et 610 m (500 %) dans la région moyenne (C. Tm). Cette augmentation est moindre dans la région antérieure (300 %) (Fp C). Elle est très peu importante dans la région postérieure ( $\approx$  100 %).

Les activités de fréquence delta augmentent à partir de 350 m dans la région antérieure.

L'ensemble de ces modifications régresse pendant la décompression et on observe un retour à un état proche de la normale entre 200 et 100 mètres.

Pendant la décompression, la puissance élevée des ondes delta et thêta, la diminution de la puissance des activités alpha et bêta persistent jusqu'aux alentours de 400 m, profondeur à partir de laquelle s'amorce un retour à la normale. Celui-ci est beaucoup plus rapide sur la dérivation centro-temporale que sur la dérivation fronto-centrale ; il est effectif après 150 m, excepté pour les bandes de fréquences rapides qui restent légèrement déprimées jusqu'à la sortie du caisson.

Chez le sujet B, les spectres de puissance des activités EEG montrent un léger renforcement de la puissance des activités thêta vers 300 m dans la région antérieure (fig. 10). A l'arrivée à 350 mètres, les activités de fréquence delta présentent une augmentation dans la région moyenne. Ces deux modifications sont accompagnées par une dépression des activités de fréquences rapides alpha et bêta sur l'ensemble des 3 dérivations (fig. 10).

Pendant le palier à 350 m, certaines de ces modifications régressent, mais toutes s'accroissent de nouveau pendant la compression de 350 à 610 mètres. Elles ne régressent pas pendant les deux paliers de 14 heures à 535 et 565 mètres.

Entre 535 et 610 mètres, l'accentuation des activités thêta qui prédomine dans la région antérieure, atteint 500 % ; le renforcement des activités delta est de l'ordre de 300 % dans la région moyenne (fig. 10). Les activités de fréquences rapides sont déprimées sur l'ensemble des dérivations. Il n'y a pas d'accentuation des activités de fréquences lentes dans la région postérieure (fig. 10).

Pendant la décompression, ces modifications restent importantes jusqu'aux alentours de 400 m, profondeur à partir de laquelle elles commencent à régresser. Un retour à un état proche de la normale est constaté vers 200 m (fig. 10).

### c) Les activités EEG de sommeil

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

# PHYSALIE VI -

Su.B:G.R.

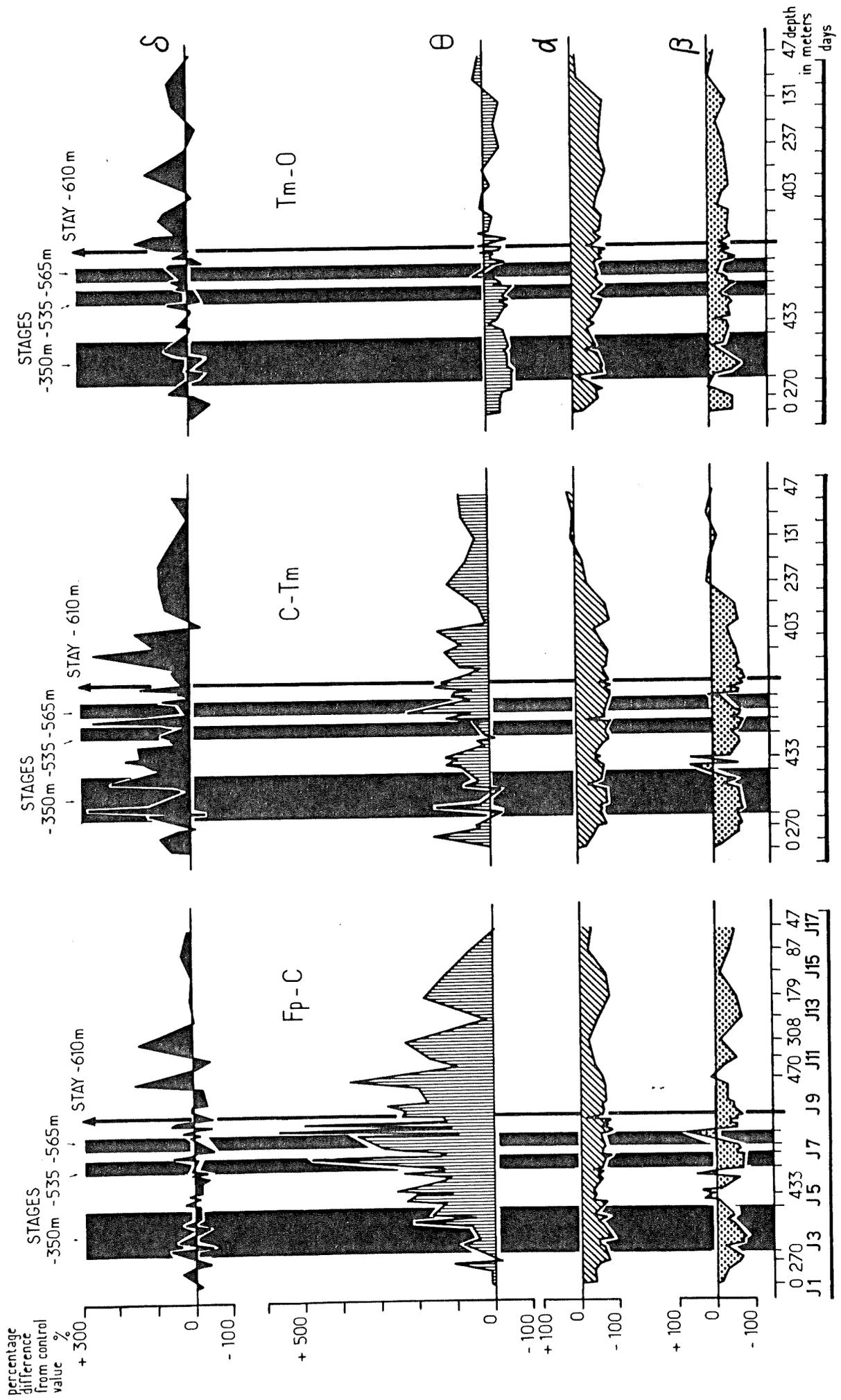


FIGURE 10 :

Evolution des spectres de puissance des activités EEG en fonction de la profondeur chez le sujet B (G.R.) (même représentation graphique que pour la figure 9).

Les activités dans la bande de fréquence alpha et bêta sont en régression dès 270 mètres sur l'ensemble des dérivations.

Les activités de fréquence thêta s'accroissent à partir de 350 m, surtout dans la région antérieure où l'augmentation est de 400 % à 500 % entre 535 et 565 mètres ; cette augmentation est moindre dans la région moyenne ; elle est inexistante dans la région postérieure où l'on observe même une diminution de la puissance de cette activité.

Les activités delta augmentent à partir de 350 mètres dans la région moyenne mais elles ne dépassent pas 300 %.

Ces modifications régressent pendant la décompression et on observe un retour à un état proche de la normale entre 200 et 100 mètres.

### 3. Discussion

Au cours de "PHYSALIE VI", les modifications de l'activité EEG de veille ont consisté :

- en l'accentuation des activités de fréquence thêta dans la région antérieure ou moyenne du sclap, accompagnée d'une augmentation plus ou moins importante des activités de fréquence delta dans les mêmes territoires.
- en une dépression des fréquences rapides des bandes alpha et bêta.
- en l'apparition de tracés évoquant un stade 1 de sommeil, plusieurs secondes après la fermeture des yeux. (Cette dernière modification est cependant peu importante et n'apparaît qu'à très grande profondeur).

Ces diverses modifications confirment et précisent les résultats précédemment obtenus (BRAUER et al., 1969 ; FRUCTUS et al., 1969, 1971 ; BENNETT et TOWSE, 1971). Ces perturbations électroencéphalographiques apparaissent en général à partir de 300 mètres, mais leur évolution n'est pas superposable à celle du tremblement. Ces modifications sont la conséquence de plusieurs facteurs.

Tout d'abord, l'influence de la vitesse de compression est certaine. Si on compare les résultats obtenus au cours des plongées très profondes réalisées à la COMEX, les modifications EEG les moins intenses sont celles rencontrées au cours de la plongée PHYSALIE VI où la compression a été la plus lente. En effet, à 610 mètres, les modifications EEG sont inférieures à celles observées à 500 mètres (SAGITTAIRE II) et 520 mètres (PHYSALIE V) et nettement inférieures à celles des plongeurs de l'opération PHYSALIE III à 365 mètres, où la compression avait été très rapide (2 heures de compression) (FRUCTUS et al., 1969 ; 1971).

.../...

Par ailleurs, au cours de cette plongée, la somnolence a été peu visible ; elle avait été également peu importante lors de PHYSALIE V (FRUCTUS et al., 1972 ; ROSTAIN et NAQUET, 1974 a) alors qu'elle était très importante au cours de PHYSALIE III et de SAGITTAIRE II. En conséquence, le niveau de vigilance est resté beaucoup plus stable dans les plongées où des paliers à des profondeurs intermédiaires ont interrompu la compression. Cette somnolence n'est certainement pas la conséquence des troubles du sommeil qui existent dans ces plongées, car sa survenue est bien souvent antérieure aux perturbations du sommeil et elle peut apparaître quelques heures seulement après le début de la compression (BRAUER et al., 1969 ; FRUCTUS et al., 1969). Elle serait donc favorisée par des compressions rapides et/ou continues.

Ce rôle de la vitesse et du mode de compression dans l'apparition des troubles a été également envisagé ou constaté par divers auteurs (BENNETT et TOWSE, 1971 ; CHOUTEAU et al., 1971 ; CORRIOL et al., 1973

Le second point important est l'absence d'amélioration de certains symptômes au cours des paliers profonds (535 m et 565 m) ou leur accentuation à partir de 565 mètres, malgré une compression relativement lente. Ces faits démontreraient, s'ils étaient confirmés, qu'à côté du rôle du mode de compression, à partir d'une certaine profondeur, d'autres paramètres peuvent intervenir (pression par elle-même, mélange sous pression, par exemple), ces derniers empêchant le rétablissement d'un équilibre physiologique ou neurophysiologique proche de la normale ou normal. Les résultats obtenus au cours de séjours prolongés à profondeur constante (SAGITTAIRE I, COMEX 1973, SAGITTAIRE II, COMEX 1975, ROSTAIN et NAQUET, 1974) d'une part, l'étude des modifications des potentiels évoqués visuels (cf. Chapitre "Potentiels évoqués visuels" ; ROSTAIN 1973) ; celles du sommeil (ROSTAIN et LYAGERBI, 1971 ; ROSTAIN et REGISTA, 1973 ; ROSTAIN et al., 1973) d'autre part, appuieraient ces constatations.

.../...

Par ailleurs, les travaux de MILLER et al. (1972) ou de BARTHELEMY et al. (1973) démontreraient le rôle de la pression per se.

Le troisième point concerne les variations des modifications EEGraphiques selon les sujets déjà notés lors de PHYSALIE III (BRAUER et al., 1969 ; FRUCTUS et al., 1969 ; 1971), puis par BENNETT et TOWSE (1971) et CORRIOL et al. (1973) et retrouvées lors de SAGITTAIRE I et de SAGITTAIRE II. Les raisons des différences de susceptibilité selon les sujets ne sont pas encore connues ; il serait cependant très important de trouver un moyen de déterminer les sujets les plus résistants au SNHP, ce qui permettrait de plonger très profond avec des symptômes peu importants.

Les mécanismes à l'origine du SNHP ne sont pas encore connus. Des hypothèses ont été émises pour tenter d'expliquer en dehors du rôle de la compression, l'apparition de certains troubles en plongée ; elles font intervenir, pour la plupart, le rôle de l'oxygène : apparition d'un bloc alvéolo-capillaire (CHOUTEAU et al., 1967, 1969 ; CHOUTEAU et IMBERT, 1971) ou encore d'une hypoxie histotoxique (BENNETT, 1966). Les observations faites au niveau des activités EEGraphiques au cours de la réalisation de certains travaux intellectuels en plongée profonde (ROSTAIN et CHARPY, 1971, 1973, cf. Chapitre "Interaction EEG psychométrie) tendraient à conformer des hypothèses de ce genre, ou laisseraient supposer un déficit métabolique et énergétique à un niveau du système nerveux central qu'il est difficile de déterminer pour le moment.

En résumé, au cours de PHYSALIE VI, bien que les divers symptômes du SNHP aient été présents à partir de 300 mètres, leurs niveaux d'intensité ont été nettement inférieur à ceux enregistrés lors des précédentes plongées effectuées à la COMEX. L'utilisation de vitesses de compression relativement lentes et la présence de plusieurs paliers à des profondeurs intermédiaires semblent donc avoir eu un effet bénéfique sur les signes électroencéphalographiques du SNHP.

.../...

C - LES ACTIVITES EEG DE VEILLE PENDANT  
LE TRAVAIL INTELLECTUEL -

1. Introduction

Au cours de la plongée "PHYSALIE V" à 520 mètres, un renforcement des activités thêta pré-existantes au repos a été mis en évidence dans les régions antérieures, pendant la réalisation d'un test d'efficience intellectuelle (ROSTAIN et CHARPY, 1971).

Un phénomène analogue a été retrouvé au cours de la plongée "SAGITTAIRE II" à 500 m. Au cours de la plongée "PHYSALIE VI", nous avons voulu essayer de préciser la signification de ces modifications.

2. Méthodes

2.1. Plan d'expérience :

a) Description des facteurs indépendants :

- . Facteurs physico-chimiques. La vitesse, le mode de compression et la pression partielle d'oxygène sont arbitrairement regroupés en un facteur unique de profondeur qui est manipulé. Le degré hygrométrique et la température sont maintenus constants.
- . Facteurs psychologiques. La présentation de l'expérience et les consignes ont pour but de rendre aussi constante que possible la motivation des sujets à réaliser les tests. Le facteur répétition est soit neutralisé (temps de réaction, dextérité manuelle), soit contrôlé (ordination de chiffres) en fonction de la nature de la tâche et des effets d'apprentissage que peut entraîner sa répétition.

b) Les facteurs dépendants sont les critères EEGraphiques et

.../...

et les estimations de la performance aux tests. Ces facteurs seront précisés avec la description des techniques (cf. 2.2. Techniques).

c) Hypothèses :

- Hypothèse 1. Il est supposé qu'entre 350 et 500 m, les performances sensori-motrices des sujets doivent diminuer.
- Hypothèse 2. Il est supposé qu'indépendamment des variations de performance, les épreuves d'efficacité intellectuelle peuvent provoquer un renforcement des activités électroencéphalographiques lentes qui apparaissent chez les sujets entre 350 et 400 m et se renforcent en fréquence et en intensité à 500 m. Le but de l'expérience est de comparer l'effet des différentes tâches psychologiques sur ce paramètre neurophysiologique.

2.2. Techniques :

- a) Epreuves psychométriques. (cf. Chapitre Psychométrie).
- b) Techniques électroencéphalographiques. (cf. Chapitre Activités EEG de veille).

2.3. Procédure expérimentale :

Les contrôles EEG sont pratiqués tous les jours à heures fixes pendant le confinement (mélange hélium-oxygène à la pression atmosphérique) et pendant la plongée.

Les tests sont réalisés à différentes profondeurs. Chaque fois que cela est techniquement compatible, des enregistrements EEG sont réalisés avant, pendant et après le test. (cf. Dextérité manuelle, dextérité digitale, ordination de chiffres, barrage de signes simple et double). La composition de chaque série de tests et le nombre de séries tiennent compte des possibilités de répétition d'une même épreuve.

.../...

Pour PHYSALIE VI cinq séries ont été réalisées pendant la compression (2 à 350 m pendant le palier de 46 heures et les 3 autres vers 450, 540 et 570 mètres). Une série expérimentale a été réalisée pendant la décompression à 525 mètres.

Les tests sont présentés en ordre constant et à heure fixe.

- Les résultats psychométriques sont appréciés par rapport aux valeurs d'une série de contrôle qui est réalisée pendant le confinement. La répétition des tests entraîne dans des conditions normales un accroissement des performances à l'ordination de chiffres et la stabilité des performances aux autres épreuves.

- L'influence de l'activité du sujet sur les paramètres EEG est appréciée relativement aux caractéristiques de l'électrogénèse de repos aux yeux ouverts avant et après le test selon les critères retenus (cf. Techniques).

### 3. Résultats

#### - ACTIVITES EEG AU REPOS -

##### 1. En surface :

1.1. A la fermeture des yeux. (cf. Chapitre activités EEG de veille)

1.2. A l'ouverture des yeux, un tracé désynchronisé, peu ample remplace les activités précédemment décrites. Chez le sujet A, quelques bouffées d'activité thêta de très faible amplitude peuvent apparaître dans la région fronto-centrale (fig. 11).

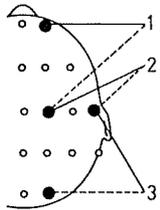
##### 2. Au cours de la plongée :

2.1. Diverses modifications apparaissent à l'examen visuel des

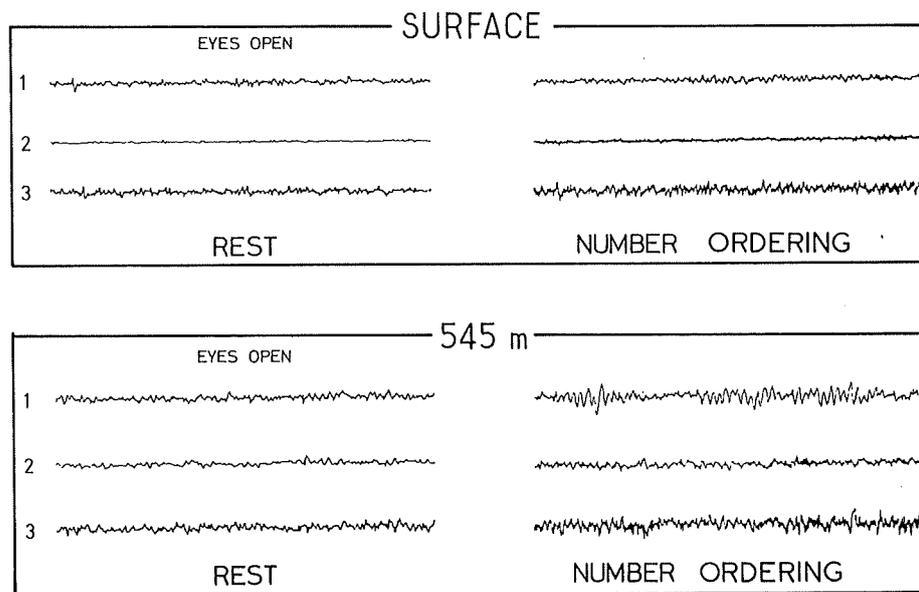
.../...

FIGURE 11 : Tracés EEG de l'un des 2 sujets (sujet A de PHYSALIE VI) au repos, les yeux étant ouverts, et pendant le test d'ordination de chiffres en surface et à 545 mètres de profondeur (explication dans le texte).

PHYSALIE VI  
Su. A : C.P.



50  $\mu$ v |  
1sec



tracés EEG de repos lorsque les sujets ont les yeux fermés et à l'analyse des spectres de puissance correspondants. Elles sont de trois sortes :

- accentuation des activités de fréquence thêta et parfois delta dans les régions antérieures et/ou moyennes.
- diminution des activités de fréquence rapide (alpha et bêta).
- transformation du tracé de veille en tracé évoquant un stade I de sommeil, après la fermeture des yeux (cf. Chapitre Activités EEG de veille).

2.2. Lorsque les yeux sont ouverts, les modifications précédentes apparaissent également dans les mêmes gammes de profondeurs, mais elles sont moins constantes et très variables d'un moment à l'autre.

a) Les activités de fréquences lentes

Les activités de fréquence thêta apparaissent sur les dérivations fronto-centrale et/ou centro-temporale, mais les bouffées sont moins nombreuses et moins amples que celles observées lorsque les sujets ont les yeux fermés. L'augmentation des activités thêta est de l'ordre de 200 % chez le sujet A, de 100 % chez le sujet B, rien de significatif pour les fréquences delta.

b) Les activités de fréquences rapides

L'analyse des spectres de puissance donne une dépression de la puissance des activités rapides dans des proportions analogues à celles rencontrées lorsque les yeux sont fermés.

c) L'instabilité des tracés EEG de veille

L'instabilité des tracés EEG de veille lorsque les yeux sont ouverts, n'apparaît pas chez les 2 sujets lorsque ces derniers restent au repos sans être sollicités pendant de nombreuses minutes.

.../...

- RESULTATS PSYCHOMETRIQUES -

Ils sont résumés au tableau I où sont indiquées les variations maximum des performances relativement aux valeurs de contrôle. (cf. Chapitre Psychométrie).

- INFLUENCE DE L'ACTIVITE DU SUJET SUR L'EEG -

1. En surface :

Les enregistrements EEG effectués pendant la réalisation de certains tests psychométriques (cf. Techniques) montrent que les activités EEG du plongeur B restent analogues à celles observées lorsque le sujet est au repos les yeux ouverts. Les spectres de puissance des activités EEG de ce sujet montrent par rapport à ceux de repos une diminution de la puissance de l'ensemble des activités ; diminution significative pour les activités alpha et bêta ( $P < 0,02$ ).

Chez le sujet A, on observe pendant le test d'ordination de chiffres un renforcement des activités thêta antérieures (fig. 11). Les spectres de puissance confirment ce résultat, mais ils montrent également un renforcement de la puissance des activités thêta antérieures pour le test de dextérité digitale ; il n'y a pas de modification significative pour les autres tests et pour les autres bandes de fréquence.

2. Pendant la plongée :

On observe un certain nombre de modifications en fonction des tests des sujets et des conditions expérimentales.

.../...

SUJETS	EFFICIENCE SENSORI-MOTRICE				EFFICIENCE INTELLECTUELLE		
	D.M	T.R	D.P	O.C	I	II	B.S
Sujet A ( C.P. )	- 10 % 572 m	- 16 % 350 m	- 4 % 545 m	- 3,4 % 545 m	0 %		0 %
Sujet B ( G.R. )	- 14,9 % 445 m	- 16,6 % 545 m	- 33 % 545 m	- 14,6 % 445 m	0 %		0 %

TABLEAU 1 : VARIATIONS MAXIMALES DES PERFORMANCES PAR RAPPORT AUX VALEURS DE CONTROLE ET PROFONDEURS CORRESPONDANTES

## 2.1. Variation en fonction des tests :

. Ordination de chiffres. Si l'on considère les modifications EEG au cours du test d'ordination de chiffres et si on les compare à ce qu'elles étaient avant le test lorsque le sujet était au repos les yeux ouverts, on observe une accentuation des activités de fréquence thêta, sur la dérivation antérieure (Fp - C) dès la profondeur de 350 m (fig. 12). Ces activités thêta apparaissent sous la forme de bouffées à 4-5 c/sec de grande amplitude (fig. 11).

Si l'on considère les résultats de l'analyse spectrale pour l'ensemble des bandes de fréquences analysées pour la dérivation antérieure (fig. 13), on remarque au cours du test d'ordination de chiffres et par rapport au repos précédant ou suivant le test :

- un renforcement significatif de la densité spectrale des activités thêta pendant la plongée ( $P < 0,05$  ;  $P < 0,01$ ) ; l'augmentation peut atteindre 700 % par rapport à la valeur de repos ;
- des modifications aléatoires des activités de fréquence delta ;
- une dépression des activités de fréquence alpha et bêta chez le sujet B (fig. 13).

. Les autres tests psychométriques. Si l'on considère les résultats obtenus avec l'ensemble des tests effectués sous contrôle EEG (tableau 2), les modifications EEG présentent une évolution analogue à celle rencontrée avec l'ordination de chiffres mais dans des proportions moindres pour les tests de dextérité digitale (maximum 230 %) (fig. 13), le test de barrage de signes simples (maximum 249 %) et doubles (maximum 570 %). On peut faire un classement des tests par ordre décroissant en fonction de l'importance des modifications EEG qu'ils entraînent chez l'ensemble des sujets.

$$OC > BSII > DD \gg BSI$$

.../...

SUJETS	D.D (3')	N.O (10')	S.C	
			I	II
Sujet A m ( C.P. ) M	80 %	378 %	249 %	570 %
	192 %	798 %		
Sujet B m ( G.R. ) M	74 %	113 %	183 %	152 %
	230 %	243 %		

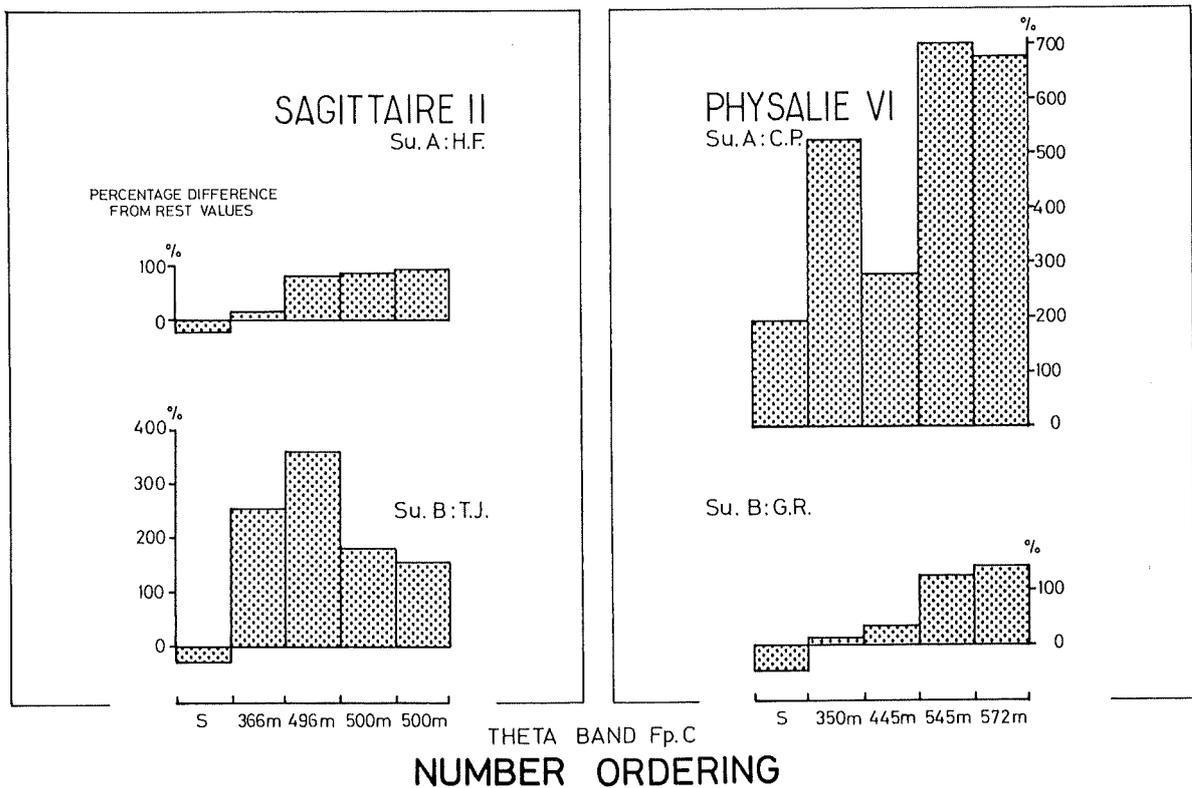
TABLEAU 2 : VARIATION DES ACTIVITES THETA ANTERIEURES PENDANT DES TESTS PSYCHOMETRIQUES EFFECTUEES ENTRE 300 ET 600 METRES PAR RAPPORT AUX VALEURS DE SURFACE (RAPPORT EXPRIME EN POURCENTAGE) .

m : valeur minimale

M : valeur maximale

**FIGURE 12 :** Evolution de la densité spectrale de la bande de fréquence thêta pour la dérivation fronto-polaire-centrale, pendant l'ordination de chiffres au cours des deux plongées SAGITTAIRE II et PHYSALIE VI.

Les variations pendant le test sont exprimées en pourcentage de différence par rapport à la valeur de repos mesurée avant le test. Elles sont représentées pour chaque profondeur où les tests ont été pratiqués (détails dans le texte).



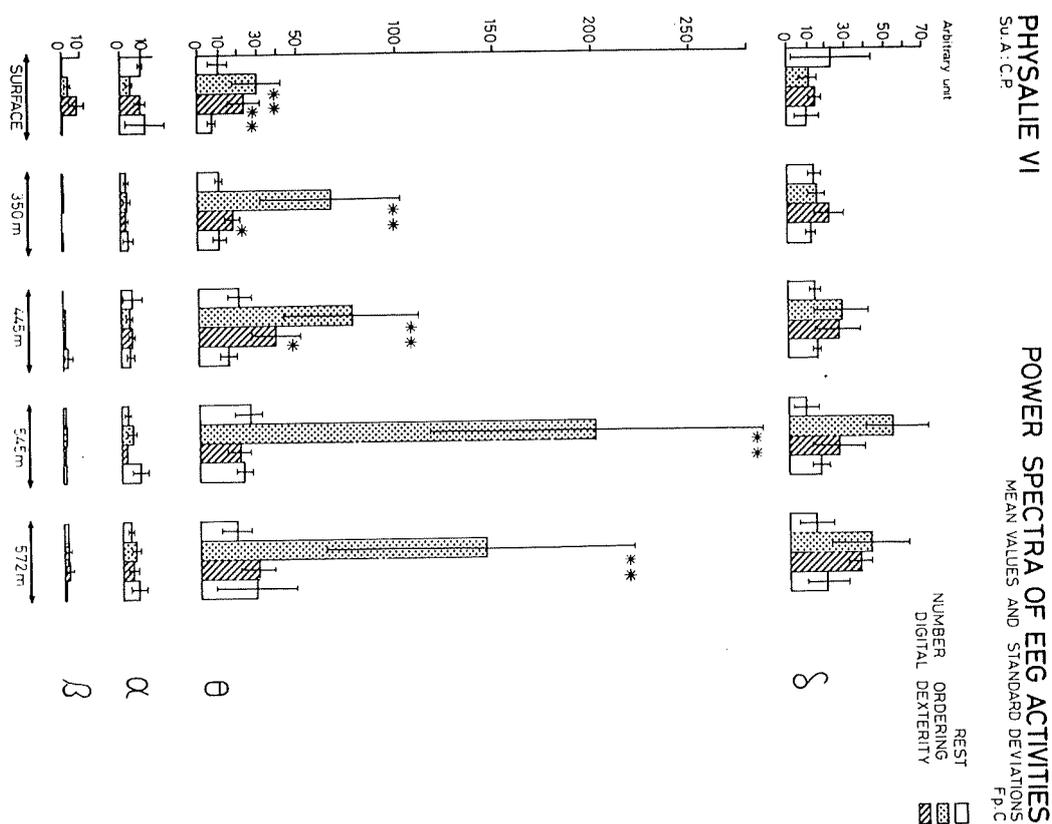
**FIGURE 13 :** Evolution des densités spectrales des 4 bandes de fréquence EEG du sujet A (C.P.) au repos et pendant certains tests psychométriques à diverses profondeurs.

De haut en bas : les bandes de fréquence delta (1-4c/s), thêta (4-7 c/s), alpha (8-13 c/s), bêta (14-22 c/s).

De gauche à droite : la densité et la déviation standard correspondante pour chaque bande considérée pendant le repos précédant le test (R), pendant la dextérité digitale (DD), pendant l'ordination de chiffres (NO) et pendant le repos suivant les tests, en surface et à différentes profondeurs au cours de la plongée. (détails dans le texte).

\*  $P < 0,05$

\*\*  $P < 0,01$



### 2.2. Variation en fonction des sujets :

Le renforcement des activités thêta antérieures est plus intense chez le sujet qui présente les modifications EEG les plus nombreuses au repos, les yeux étant fermés, c'est-à-dire le sujet A (fig. 12).

### 2.3. Variation en fonction des conditions expérimentales :

Pendant la compression, le renforcement des activités thêta au cours des tests psychométriques précédemment énumérés, apparaît dès 350 m ; il augmente chez tous les sujets avec la profondeur (fig. 12 et 13).

Pendant la compression, lors des tests effectués entre 500 et 400 m, on note une disparition du renforcement des activités thêta pendant le travail intellectuel chez le sujet B, un renforcement moins important que pendant la compression chez l'autre sujet.

Au cours de la décompression, le test d'ordination de chiffres a été réalisé en deux séquences de 5 minutes ; la première séquence était effectuée en respiration normale, la seconde en respiration forcée. Dans ce dernier cas, le renforcement des activités thêta était moins important que lors de la première séquence (sujet A : première séquence : renforcement des activités thêta de 713 % ; deuxième séquence : renforcement des activités thêta de 92 %).

### 3. Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude confirment les phénomènes observés lors de l'opération "PHYSALIE V" (ROSTAIN et CHARPY, 1971) et "SAGITTAIRE II" (ROSTAIN et CHARPY, 1973).

.../...

- Les modifications électroencéphalographiques qui surviennent pendant la compression entrent dans le cadre du SNHP et on connaît le rôle prédominant que peut jouer le mode de compression dans l'apparition de ces signes (BENNETT et TOWSE, 1971 ; CORRIOL et al., 1973 ; FRUCTUS et al., 1972 ; ROSTAIN et NAQUET 1974 a). Cependant la persistance de ces signes et symptômes pendant des séjours prolongés laisse suspecter le rôle de la pression par elle-même ou du mélange sous pression (ROSTAIN, 1973 ; ROSTAIN et NAQUET, 1974 b). Les mécanismes qui soutiennent ces troubles sont encore inconnus.
  
- En ce qui concerne les résultats des tests psychométriques, la diminution des performances sensori-motrices est bien établie. Elle apparaît dès 350 m et dans nos conditions d'expérience, elle ne s'accroît pas systématiquement avec la profondeur : les maximum de variation se répartissent en effet de façon aléatoire entre 350 et 572 mètres. La diminution de l'efficacité intellectuelle n'est pas systématique mais varie principalement selon les sujets et secondairement selon la nature de la tâche.
  
- Une relation globale peut être établie entre l'accroissement des activités EEG de fréquence thêta et la diminution de l'efficacité sensori-motrice. Mais l'activité thêta fronto-centrale au repos s'accroît de 350 à 610 mètres, ce qui n'est pas le cas pour les diminutions de performance sensori-motrices. Il ne semble donc pas qu'une corrélation puisse être définie entre les deux phénomènes.

L'effort intellectuel en plongée profonde entraîne un renforcement des activités thêta pré-existantes. L'intensité de cet accroissement dépend de plusieurs facteurs dont le rôle avait été déjà montré lors de SAGITTAIRE II.

.../...

3.1. Les sujets : il existe des différences selon les sujets et les modifications sont plus importantes chez les sujets qui présentent les perturbations EEG les plus notables au repos les yeux fermés. On retrouve donc dans ce cas les différences de susceptibilité individuelle rencontrées pour le SNHP (FRUCTUS et al., 1969, 1971, 1972 ; CORRIOL et al., 1973 ; ROSTAIN et NAQUET, 1974 a, b).

3.2. La profondeur : le renforcement des activités thêta pendant le travail intellectuel s'accroît avec la profondeur. Il tend à se stabiliser à pression constante (SAGITTAIRE II ; ROSTAIN et CHARPY, 1975), il régresse pendant la décompression.

3.3. Les tests : chez les 2 sujets, le renforcement est plus important au cours des tests d'ordination de chiffres et de double barrage de signes. L'ampleur de cet accroissement semble donc dépendre de la nature de la tâche et peut être de la longueur de celle-ci et il existerait une interaction entre l'importance des activités thêta au repos et la nature de la tâche.

L'influence de la performance et des variations de performance ne peut être envisagée que sur un plus grand nombre de cas ; on peut dire cependant, si l'on rassemble les résultats de SAGITTAIRE II et de PHYSALIE VI que chez nos sujets, l'accroissement des activités thêta fronto-centrales ne correspond pas avec la diminution des performances au test ; il est plus important chez les sujets ayant le meilleur rendement.

L'apparition d'une activité EEG de fréquence thêta au repos peut résulter d'une altération des processus métaboliques au niveau du système nerveux central, altération d'autant plus importante que la profondeur augmente ; ce phénomène s'accroît au cours de certains travaux intellectuels qui demandent un besoin énergétique supplémentaire.

.../...

Relativement aux conditions hyperbares, plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour rendre compte d'un déficit énergétique du système nerveux central. Il peut s'agir d'une oxygénation insuffisante et on rejoindrait ainsi certaines hypothèses émises pour expliquer les perturbations observées en atmosphère hélium-oxygène hyperbare et faisant intervenir, soit une hypoxie par bloc alvéolo-capillaire (CHOUTEAU et al., 1967, 1969 ; CHOUTEAU et IMBERT, 1971), soit une hypoxie histotoxique (BENNETT et al., 1966, 1969), soit une affinité accrue de l'hémoglobine pour l'oxygène (HYACINTHE et al., 1973). On peut invoquer également des perturbations au sein des processus énergétiques (insuffisance en glucose, altération du cycle de l'ATP, modification des concentrations en sels minéraux), on peut également envisager des perturbations du débit sanguin cérébral ; l'intensification de la circulation sanguine cérébrale pendant l'effort intellectuel, mise en évidence par les travaux d'INGVAR (1958, 1967), d'INGVAR et RISBERG (1967), de RISBERG et INGVAR (1968) sur les variations du débit sanguin cérébral et l'état d'activation du sujet, peut être déficiente dans nos conditions hyperbares.

Dans les conditions normobares, plusieurs auteurs ont observé des modifications EEG s'apparentant aux nôtres et qu'ils attribuent soit à l'émotion (GREY WALTER, 1949, 1950), soit à l'effort intellectuel (BEKKERING et al., 1957 ; TANI, 1968 ; ISHIHARA et YOSHII, 1972).

Dans nos conditions d'expérience, les résultats semblent plutôt mettre en évidence le rôle de l'effort réclamé par des tâches répétitives nécessitant une attention soutenue (O.C.). La complexité de la tâche n'interviendrait que relativement à la mobilisation de la vigilance. Ceci peut être rapproché des observations de ISHIHARA et YOSHII (1972), qui déterminent deux facteurs de tâches susceptibles d'induire du thêta frontal : vitesse et raisonnement.

.../...

La moindre augmentation des activités thêta fronto-centrales lorsque le test est réalisé en respiration forcée pourrait être, soit la conséquence d'une simple baisse de rendement dont nous avons souligné le rôle, soit la conséquence d'une meilleure oxygénation du sujet ?

Les conditions hyperbares auraient donc pour effet d'amplifier des mécanismes qui existent dans les conditions normales en créant un déficit à un niveau qu'il est difficile de déterminer pour le moment.

Des vérifications ultérieures sont nécessaires pour préciser les facteurs pouvant intervenir dans le renforcement des activités thêta pendant le travail intellectuel et pour indiquer qu'il s'agit d'une oxygénation insuffisante du SNC ou d'une modification spécifique des processus métaboliques au niveau du SNC.

D - P O T E N T I E L S E V O Q U E S V I S U E L S E T C Y C L E S  
D' E X C I T A B I L I T E -

1. Introduction

La nécessité de cerner les mécanismes des désordres nerveux du S.N.H.P. a amené de nombreuses techniques d'étude. Parmi elles, le potentiel évoqué par stimulation auditive qui avait déjà servi en hyperbarie pour l'étude de la narcose à l'azote (BENNETT et al., 1969) fut de nouveau utilisé pour l'étude du S.N.H.P. (BENNETT et TOWSE, 1971).

Il nous est apparu intéressant d'employer pour l'étude des modifications du S.N.H.P., les potentiels évoqués par d'autres modalités sensorielles et notamment par la stimulation lumineuse associée à l'étude de l'évolution des cycles d'excitabilité corticaux par double stimulation.

2. Techniques d'études

Deux sujets (sujet A : P.C. 23 ans, et sujet B : G.R. 31 ans) ont été équipés d'électrodes EEG. Ces électrodes, au nombre de six, constituées par des hameçons (ECEM), sont enfoncées dans le scalp et sont maintenues en place par de la gaze et du collodion en des points déterminés (fronto-polaire, vertex-médian, central, temporal-moyen, occipital). Les enregistrements ont été effectués en dérivation bipolaire jumelée et les PEV ont été recueillis sur la dérivation vertex médian-occipitale (une électrode est placée à 2 cm de l'inion, une seconde est fixée à 8 cm de la première sur le vertex).

Les stimulations lumineuses sont distribuées par une lampe de stroboscope "Alvar Vareclat TR" placée à l'intérieur du caisson à une distance maximum de 20 cm des yeux du sujet. Elle est modifiée pour résister à la pression et insonorisée.

.../...

Les éclairs sont délivrés toutes les 1,2 secondes, le stoboscope étant commandé par un stimulateur GRASS. Les éclairs sont soit isolés, soit couplés à intervalles déterminés, toujours identiques : 20, 40, 60, 80, 100, 200, 500 ms. Chaque série comporte 50 stimulations.

Les activités EEGraphiques sont recueillies sur un électroencéphalographe (Alvar, Minihuit TR) et enregistrées sur bandes magnétiques analogiques (EPI2C CDC - SCHLUMBERGER). Les numéros des séquences et les tops de synchronisation sont donnés par un numéroteur de bandes magnétiques analogiques (S.E.V.M.E. informatique). Un oscilloscope à 4 voies (Tektronix) permet la visualisation et le contrôle de l'enregistrement.

L'analyse effectuée sur ordinateur PDP12 (Digital equipment corporation) consiste à moyenner 50 réponses évoquées sur une durée de 1000 ms. Des opérations de soustraction entre la réponse moyenne obtenue par stimulation isolée ( $R_1$ ) et les réponses moyennes obtenues par stimulations couplées ( $R_1$  et  $R_2$ ) permettent d'obtenir la réponse évoquée par le stimulus test  $R_2$  supposé isolé ; on peut établir ainsi la valeur de l'indice d'excitabilité  $R_2/R_1$ .

Cet indice calculé pour chaque composante du PEV et pour chaque intervalle de stimulation permet d'évaluer la récupération du PEV (GASTAUT et al., 1951).

Les séries de stimulations ont été effectuées toujours aux mêmes heures sur chaque plongeur, les yeux étant fermés.

Plusieurs séries ont été réalisées au cours du confinement en caisson à la pression atmosphérique (réponses de référence). Au cours de la plongée, nous avons été limités par la durée des tests et la nécessité de ne pas avoir une trop grande différence de pression entre le début et la fin de la série de stimulations ; les tests ont été pratiqués pendant la compression à 278, 350, 435, 532, 593 mètres, et pendant la décompression vers 375, 166 et 120 mètres.

.../...

### 3. Résultats

#### 3.1. La morphologie des PEV en réponse à des stimulations isolées.

##### 3.1.1. A la pression atmosphérique (fig. 14)

Les PEV enregistrés en surface au cours des contrôles sont composés de deux parties : une réponse précoce qui comporte les ondes I, II, III et IV selon la nomenclature de GASTAUT et al. (1964), et une partie tardive comprenant les ondes V et VI. Pour ce travail, seules les ondes II, III, IV et VI ont été étudiées, l'onde I n'étant pas toujours visible.

Chez les deux plongeurs, les latences et les amplitudes des différentes ondes se répartissent comme suit :

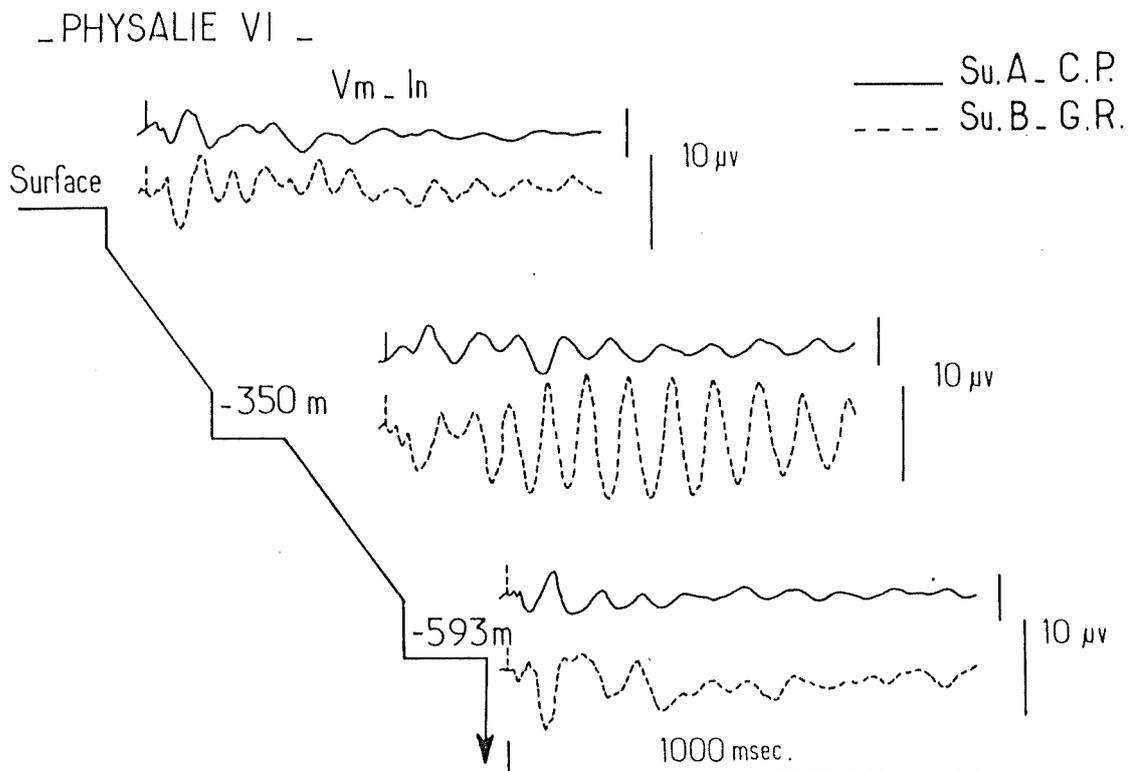
ONDES	SUJET A (C.P.)		SUJET B (G.R.)	
	Latences (ms)	Amplitude ( $\mu$ V)	Latences (ms)	Amplitudes ( $\mu$ V)
II	34 $\pm$ 7,12	5,52 $\pm$ 3,64	52,8 $\pm$ 6,48	4,03 $\pm$ 1,83
III	67,20 $\pm$ 2,52	13,88 $\pm$ 4,38	78,8 $\pm$ 3,80	10,27 $\pm$ 3,78
IV	112,40 $\pm$ 7,64	25,20 $\pm$ 6,07	115,20 $\pm$ 8,16	16,07 $\pm$ 4,24
V	156,40 $\pm$ 12,28	23,60 $\pm$ 2,54	158,40 $\pm$ 15,12	10,71 $\pm$ 4,79
VI	214,40 $\pm$ 15,44	14,36 $\pm$ 2,41	250,40 $\pm$ 8,28	12,60 $\pm$ 4,13

Chez le plongeur B, une post-décharge rythmique qui inclut l'onde VI, constitue la deuxième partie du potentiel évoqué par les stimulations isolées. Elle se présente sous la forme d'une oscillation rythmique à 10 - 11 c/s égale à la fréquence du rythme alpha du

.../...

FIGURE 14

Evolution des potentiels évoqués visuels moyens des deux plongeurs. En surface, les différentes composantes des PEVM sont parfaitement visibles, la latence étant légèrement plus longue chez le sujet B. Chez ce dernier, la post-décharge rythmique est bien organisée. A 350 mètres, les différentes composantes du PEVM apparaissent moins amples chez les deux plongeurs. Par contre, la post-décharge rythmique est amplifiée surtout chez le sujet B. A 593 mètres, les composantes du PEVM sont plus amples qu'en surface surtout chez le sujet B. Mais la post-décharge rythmique est totalement désorganisée.



sujet. Cette post décharge existe également chez le sujet A mais elle est moins régulière oscillant entre 9 et 10 c/s ; elle est moins ample, la fin de la réponse évoquée proprement dite (onde VI) se détachant toujours bien.

### 3.1.2. Au cours de la plongée

La morphologie des PEV enregistrés chez les deux sujets au cours de la plongée à différentes profondeurs est à peu près conservée (fig.15) ; on retrouve les composantes précoces et tardives de façon constante. Cependant on note certaines modifications concernant les latences et les amplitudes des différentes ondes.

#### 3.1.2.1. Les variations de latences (tableau n° 3) :

D'une façon générale, on note une tendance au rallongement des latences. Ce rallongement de latence qui apparaît pendant la compression au-delà de 350 mètres est de l'ordre de 10 à 35 % par rapport aux valeurs de surface.

Il est significatif à 530 et 595 mètres pour les ondes II ( $P < 0,05$ ), III, V, VI ( $P < 0,01$ ) du sujet A ou pour les ondes III, IV ( $P < 0,01$ ), V ( $P < 0,05$ ) et VI ( $P < 0,01$ ) du sujet B.

Pendant la décompression, on observe en général un retour à des valeurs proches de celles enregistrées en surface.

#### 3.1.2.2. Les variations d'amplitude (tableau n° 4)

Les variations d'amplitude de la réponse  $R_1$  pour les deux sujets sont représentées sur la figure 16.

On distingue 2 phases pendant la compression.

La première est constituée par une diminution d'amplitude de la plupart des ondes, phénomène net à 350 et 435 mètres. Ainsi chez

.../...

FIGURE 15

Variation de l'amplitude des différentes composantes des PEVM des deux plongeurs au cours de la plongée.

En ordonnée, sont portées les amplitudes exprimées en pourcentage de différence par rapport à la valeur de contrôle.

En abscisse, les profondeurs en mètres.

Graphique supérieur : sujet A.

Graphique inférieur : sujet B.

(Cf. explications dans le texte).

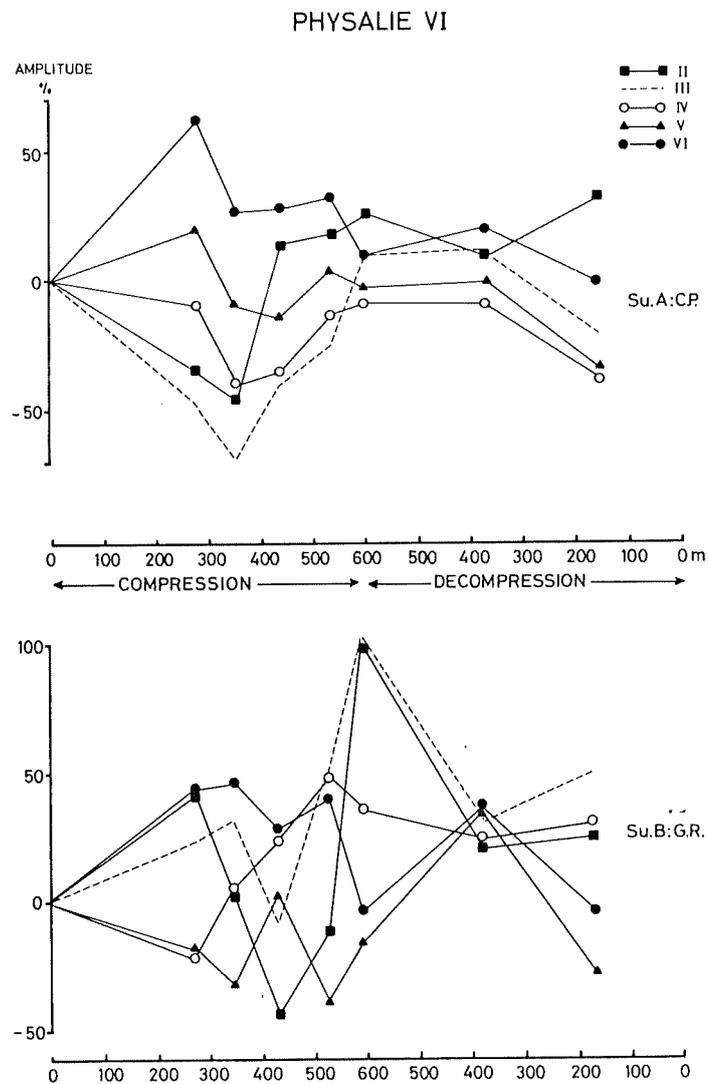


TABLEAU 3

PROFONDEURS	SUJETS	LATENCES (msec)				
		II	III	IV	V	VI
SURFACE	A	34,00 ± 7,12	67,20 ± 2,52	112,40 ± 7,64	156,40 ± 12,28	214,40 ± 15,44
	B	52,80 ± 6,48	78,80 ± 3,80	115,20 ± 8,16	158,40 ± 15,12	250,40 ± 8,28
275 m	A	52,00 ± 2,84	66,40 ± 2,20	100,00 ± 4,80 <u>T = 3,27<sup>+++</sup> D13</u>	152,00 ± 2,80	213,60 ± 6,08
	B	54,40 ± 2,20	99,20 ± 15,84 <u>T = 3,99<sup>+++</sup> D13</u>	135,20 ± 15,52 <u>T = 2,33<sup>+</sup> D13</u>	161,60 ± 31,32	254,40 ± 2,20
350 m	A	43,20 ± 12,76	66,40 ± 14,60	108,00 ± 4,00	156,00 ± 2,84	207,20 ± 5,20
	B	49,60 ± 9,48	80,40 ± 7,80	120,80 ± 5,20	148,00 ± 12,24	262,40 ± 6,32 <u>T = 3,65<sup>+++</sup> D18</u>
435 m	A	36,80 ± 9,96	66,40 ± 8,28	105,60 ± 7,28	172,80 ± 10,36 <u>T = 2,55<sup>+</sup> D13</u>	224,00 ± 12,00
	B	48,00 ± 11,32	75,20 ± 9,12	116,80 ± 5,20	164,68 ± 15,68	266,40 ± 7,32 <u>T = 3,67<sup>+++</sup> D13</u>
530 m	A	45,25 ± 10,00 <u>T = 2,11<sup>+</sup> D16</u>	74,00 ± 5,64 <u>T = 3,42<sup>+++</sup> D16</u>	107,52 ± 3,32	177,52 ± 12,28 <u>T = 4,72<sup>++++</sup> D16</u>	225,52 ± 10,00
	B	54,00 ± 2,32	90,00 ± 6,92	140,00 ± 13,08	165,00 ± 15,08	270,00 ± 50,16 <u>T = 4,36<sup>++++</sup> D12</u>
593 m	A	41,32 ± 3,28 <u>T = 2,35<sup>+</sup> D14</u>	73,72 ± 1,64 <u>T = 7<sup>++++</sup> D14</u>	110,28 ± 6,04	156,68 ± 4,68	242,00 ± 16,92 <u>T = 3,34<sup>+++</sup> D14</u>
	B	63,32 ± 9,52	100,00 ± 4,40 <u>T = 10,23<sup>++++</sup> D14</u>	156,00 ± 21,32 <u>T = 5,51<sup>++++</sup> D14</u>	186,68 ± 29,56 <u>T = 2,55<sup>+</sup> D14</u>	272,68 ± 15,04 <u>T = 3,86<sup>+++</sup> D14</u>
375 m	A	37,32 ± 8,28	57,32 ± 10,00 <u>T = 3,02<sup>+++</sup> D14</u>	90,68 ± 6,00 <u>T = 5,92<sup>++++</sup> D14</u>	161,32 ± 7,00	234,00 ± 30,24
	B	58,67 ± 4,12	81,32 ± 6,52	122,00 ± 3,36	178,00 ± 5,52 <u>T = 3,02<sup>+++</sup> D14</u>	317,28 ± 28,00 <u>T = 7,17<sup>++++</sup> D14</u>
166 m	A	35,20 ± 1,80	58,00 ± 6,92 <u>T = 3,79<sup>+++</sup> D12</u>	104,00 ± 5,64	152,80 ± 17,76	213,60 ± 26,48
	B	60,00 ± 11,32	91,12 ± 4,40 <u>T = 5,88<sup>++++</sup> D14</u>	140,40 ± 19,84 <u>T = 3,64<sup>+++</sup> D14</u>	149,00 ± 10,52	254,40 ± 20,88

EVOLUTION DES LATENCES DES DIVERSES ONDES DU PEV DES DEUX SUJETS AU COURS DE LA PLONGEE PHYSALIE VI. Pour chaque onde et chaque profondeur on donne : latence moyenne et écart type; valeurs du T et degré de liberté (D) pour les probabilités : + 0,05; ++ 0,02; +++ 0,01; ++++ 0,001.

TABLEAU 4

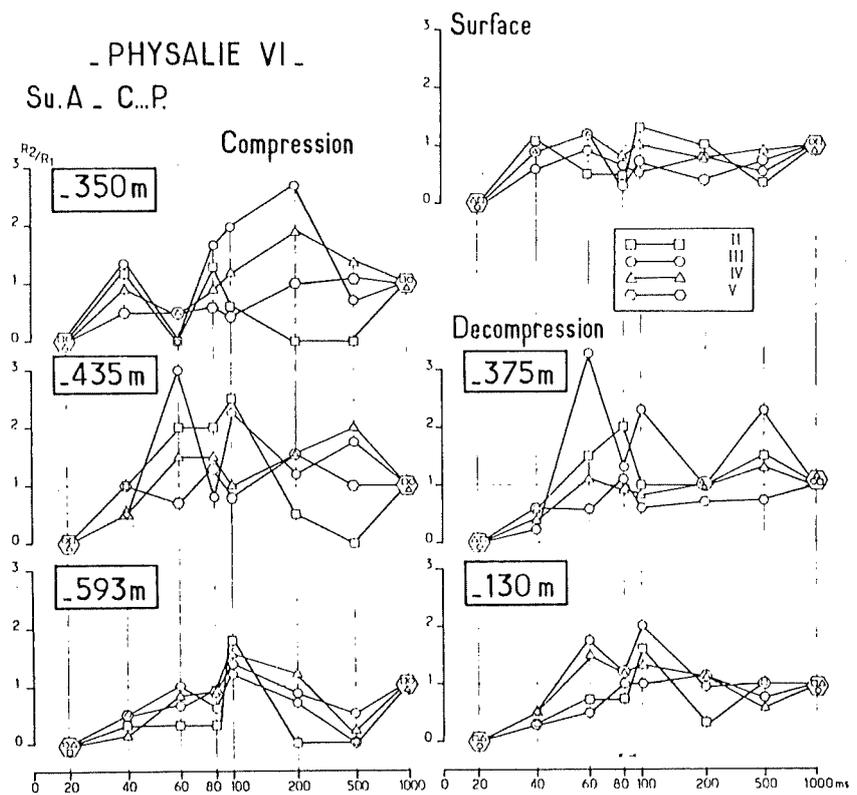
PROFONDEURS	SUJETS	AMPLITUDES ( $\mu\text{V}$ )				
		I/II	II/III	III/IV	IV/V	V/VI
SURFACE	A	5,52 $\pm$ 3,64	13,88 $\pm$ 4,38	25,20 $\pm$ 6,07	23,60 $\pm$ 2,54	14,36 $\pm$ 2,41
	B	4,03 $\pm$ 1,83	10,27 $\pm$ 3,78	16,07 $\pm$ 4,24	10,71 $\pm$ 4,79	12,60 $\pm$ 4,13
75 m	A	3,65 $\pm$ 2,78	7,35 $\pm$ 2,86 <u>T = 3<sup>++</sup> D13</u>	22,92 $\pm$ 5,69	28,47 $\pm$ 4,17 <u>T = 2,83<sup>++</sup> D13</u>	23,40 $\pm$ 2,83 <u>T = 6,47<sup>++++</sup> D13</u>
	B	5,75 $\pm$ 1,74	12,67 $\pm$ 4,12	12,80 $\pm$ 3,80	8,80 $\pm$ 7,07	17,92 $\pm$ 3,03 <u>T = 2,54<sup>+</sup> D13</u>
50 m	A	3,00 $\pm$ 2,12	4,32 $\pm$ 2,20 <u>T = 4,54<sup>++++</sup> D13</u>	15,15 $\pm$ 7,79 <u>T = 2,76<sup>++</sup> D13</u>	21,72 $\pm$ 4,22	18,22 $\pm$ 1,91 <u>T = 3,11<sup>++++</sup> D13</u>
	B	4,12 $\pm$ 2,92	13,57 $\pm$ 4,52	16,88 $\pm$ 5,20	7,32 $\pm$ 3,43	18,32 $\pm$ 5,22 <u>T = 2,72<sup>++</sup> D13</u>
35 m	A	6,32 $\pm$ 5,10	8,37 $\pm$ 5,62 <u>T = 2,10<sup>+</sup> D13</u>	16,42 $\pm$ 2,99 <u>T = 3,01<sup>+++</sup> D13</u>	20,52 $\pm$ 2,63 <u>T = 2,18<sup>+</sup> D13</u>	18,47 $\pm$ 4,93 <u>T = 2,21<sup>+</sup> D13</u>
	B	2,30 $\pm$ 1,24	9,50 $\pm$ 4,32	19,92 $\pm$ 3,47	10,97 $\pm$ 4,50	16,07 $\pm$ 3,37 <u>T = 2,20<sup>+</sup> D12</u>
30 m	A	6,54 $\pm$ 3,17	10,50 $\pm$ 3,76	22,17 $\pm$ 4,43	24,53 $\pm$ 5,27	19,01 $\pm$ 3,26 <u>T = 3,48<sup>+++</sup> D16</u>
	B	3,56 $\pm$ 0,80	15,59 $\pm$ 4,95 <u>T = 2,19<sup>+</sup> D12</u>	23,90 $\pm$ 2,72 <u>T = 3,38<sup>+++</sup> D12</u>	6,99 $\pm$ 3,30	17,59 $\pm$ 2,34 <u>T = 2,24<sup>+</sup> D12</u>
93 m	A	6,95 $\pm$ 4,96	15,35 $\pm$ 3,86	23,00 $\pm$ 5,43	23,18 $\pm$ 6,09	15,70 $\pm$ 6,42
	B	8,18 $\pm$ 3,18 <u>T = 3,60<sup>++++</sup> D14</u>	21,00 $\pm$ 4,79 <u>T = 4,98<sup>++++</sup> D14</u>	22,00 $\pm$ 4,78 <u>T = 2,58<sup>+</sup> D14</u>	9,04 $\pm$ 4,95	12,06 $\pm$ 4,42
78 m	A	6,12 $\pm$ 2,74	15,41 $\pm$ 3,90	23,00 $\pm$ 5,48	23,47 $\pm$ 4,71	17,37 $\pm$ 3,87
	B	4,89 $\pm$ 2,43	13,54 $\pm$ 6,35	20,00 $\pm$ 3,96	14,66 $\pm$ 2,36	16,64 $\pm$ 5,64
66 m	A	7,34 $\pm$ 2,99	11,02 $\pm$ 7,29	15,50 $\pm$ 4,17 <u>T = 3,19<sup>++</sup> D13</u>	20,35 $\pm$ 2,45 <u>T = 2,36<sup>+</sup> D13</u>	14,22 $\pm$ 2,81
	B	5,20 $\pm$ 4,44	15,72 $\pm$ 4,74 <u>T = 2,43<sup>+</sup> D13</u>	21,14 $\pm$ 4,22 <u>T = 2,32<sup>+</sup> D14</u>	17,75 $\pm$ 2,40	12,22 $\pm$ 2,16

## EVOLUTION DE L'AMPLITUDE DES DIVERSES COMPOSANTES DES PEV AU COURS DE LA PLONGEE

Pour chaque onde et chaque profondeur, on donne : l'amplitude moyenne et l'écart type, les valeurs de T et le degré de liberté (D) pour les probabilités + 0,05; ++ 0,02; +++ 0,01; ++++ 0,001.

FIGURE 16

Cycles d'excitabilité du sujet A. Evolution au cours de la plongée. Ils sont calculés pour les ondes II (carrés), III (ronds), IV (triangles), V (hexagones). Les intervalles de stimulations sont portés en abscisses sur une échelle logarithmique. Les valeurs du rapport R2/R1 sont portées en ordonnées. (voir explications dans le texte).



Le sujet A, la diminution de l'amplitude moyenne est visible pour les ondes numérotées de II à V (figure 15); elle est significative pour les ondes III ( $P < 0,001$ ), IV ( $P < 0,01$ ), V ( $P < 0,05$ ) (tableau n° 4).

Chez le sujet B, la diminution de l'amplitude moyenne est retrouvée pour les ondes II, III et V mais elle est peu importante et les tests de FISHER-STUDENTS ne donnent pas de signification (figure 16, tableau n° 4).

La seconde phase est constituée à partir de 532 mètres par un retour à des valeurs proches de la normale et même par un dépassement des valeurs de contrôle surtout chez le sujet B : ondes II ( $P < 0,01$ ), III ( $P < 0,001$ ), IV ( $P < 0,05$ ). A 593 mètres, on note une augmentation de plus de 100 % pour les ondes II et III chez le sujet B (figure 15).

Parallèlement, l'onde VI et la post-décharge sont très renforcées entre la surface et 435 mètres. On note selon les sujets et les profondeurs un accroissement variant de 30 à 60 % (figure 15) pour l'onde VI ( $P < 0,5$  à  $0,001$ ). A 535 mètres, la post décharge commence à diminuer et à 593 mètres la post décharge a presque totalement disparu, alors que l'onde VI a retrouvé une amplitude voisine de la normale.

De plus, la fréquence de la post-décharge qui est inchangée jusqu'à 350 mètres (sujet A : 10 c/s ; sujet B : 10-11 c/s) commence à se ralentir à partir de 435 mètres. A 593 mètres, la fréquence de la post-décharge a perdu 1 à 1,5 c/s comme la fréquence de l'alpha.

Pendant la décompression, l'enregistrement du potentiel évoqué à 375 mètres et à 166 mètres, montre un retour à des valeurs proches de la normale et même inférieures à la normale pour la plupart des

.../...

ondes du sujet A. Chez le sujet B, les ondes II, III et IV conservent une amplitude légèrement supérieure à la normale. L'onde VI augmente en amplitude à 375 mètres et retrouve son amplitude initiale à 166 mètres.

C'est aux mêmes niveaux de profondeurs que la post-décharge récupère son amplitude initiale chez le sujet A et une amplitude supérieure à celle du contrôle chez le sujet B. Sa fréquence redevient analogue à celle du départ et suit en cela la fréquence de l'alpha.

### 3.2. Les cycles d'excitabilité

#### 3.2.1. Les latences de la réponse $R_2$ .

##### 3.2.1.1. En surface :

Les latences des différentes ondes de la réponse  $R_2$  supposée isolée (cf. Techniques) sont légèrement supérieures à celles de la réponse  $R_1$ . De plus, si l'on considère les réponses  $R_2$  évoquées par les différents intervalles de stimulations (cf. Techniques), on note une variabilité de 10 à 15 %.

##### 3.2.1.2. Pendant la plongée :

La variabilité des latences des diverses composantes de la réponse  $R_2$  s'accroît pendant la plongée.

#### 3.2.2. L'amplitude de la réponse $R_2$ .

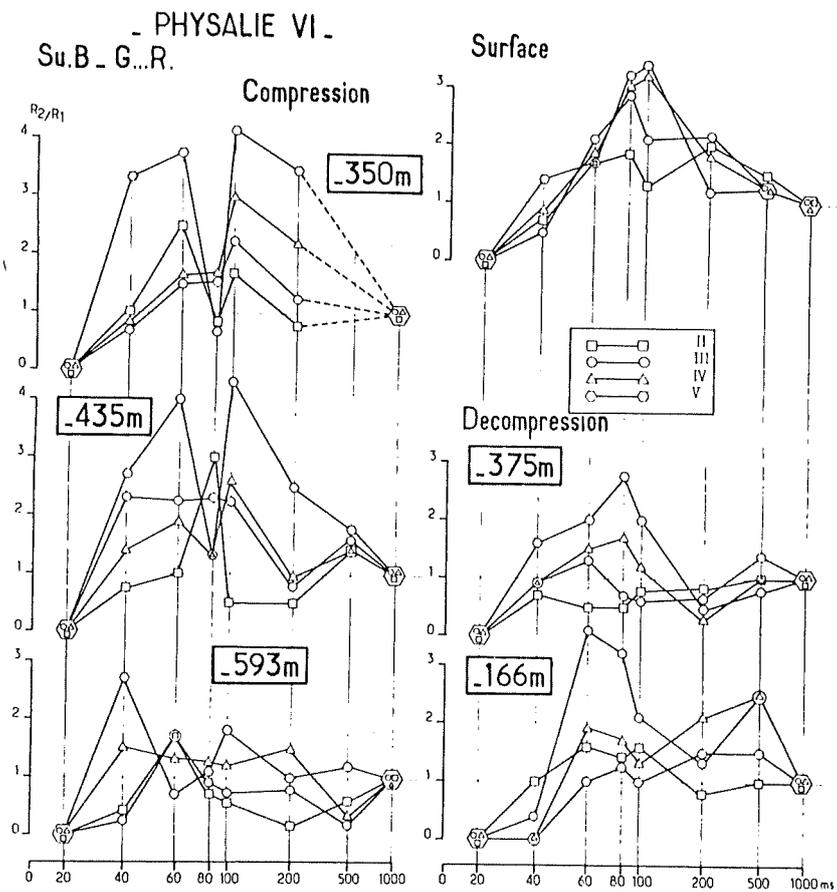
##### 3.2.2.1. En surface :

Les données des cycles d'excitabilité en fonction de l'intervalle entre stimulations recueillies en atmosphère hélium-oxygène, sont assez comparables aux résultats classiques. On retrouve une période de non réponse à 20 msec, une période de subnormalité à 40 ms et une facilitation pour les intervalles 60, 80 et 100 msec ; celle-ci est très légère pour le sujet A et beaucoup plus importante pour le sujet B surtout pour l'onde V (fig. 16 et 17).

La post décharge rythmique est également facilitée pour les inter-

FIGURE 17

Cycles d'excitabilité du sujet B. Evolution au cours de la plongée.  
 (Même légende que pour la figure 16. Voir explications dans le texte).



valles de 40 à 100 msec, l'amplitude maximale se rencontrant entre 60 et 100 msec.

### 3.2.2.2. Pendant la plongée

Des modifications importantes des cycles d'excitabilité se manifestent chez les deux sujets au cours de la plongée, à l'exception de la période de non réponse qui demeure inchangée (fig. 16 et 17).

On peut distinguer trois périodes dans l'évolution des cycles d'excitabilité (rapport  $R_2/R_1$ ) :

- A 278, 350 et 435 mètres, on observe un accroissement du rapport  $R_2/R_1$  pour les ondes II, III et IV du sujet A et pour les ondes III, IV et V du sujet B. Cette "hyperfacilitation" est observée pour les délais interstimulus de 40 ms, 100 et 200 ms. Pour les intervalles de stimulation 60 et 80 ms, on observe au contraire une diminution du rapport  $R_2/R_1$  qui tend vers 0.
- A 532 et 593 mètres, on note une diminution du rapport  $R_2/R_1$  pour la plupart des ondes (surtout II et III chez les deux sujets). Le rapport devient inférieur à 1 et tend vers 0 pour tous les intervalles de stimulation, à l'exception de celui de 60 ms (sujet B) ou celui de 100 ms (sujet A) pour lesquels persiste une légère facilitation ( $R_2/R_1 > 1$ ).
- Pendant la décompression, lors des tests effectués à 375 et 166 mètres, le rapport  $R_2/R_1$  retrouve des valeurs proches de celles rencontrées en surface pour l'ensemble des intervalles de stimulation.

L'amplitude de la post-décharge  $R_2$  présente une évolution analogue à celle de la réponse  $R_1$ .

.../...

A 273 et 350 mètres, elle est beaucoup plus ample qu'en surface pour les intervalles de 40 à 100 ms chez le sujet B.

En revanche à 435 mètres, son amplitude décroît chez les deux sujets, et à 593 mètres elle a presque disparu chez le sujet A pour tous les intervalles de stimulation ; elle persiste pour les délais interstimulus de 40 et 100 ms chez le sujet B mais avec une très faible amplitude.

Pendant la décompression, son amplitude augmente de nouveau pour les intervalles de stimulation de 60 à 100 msec chez le sujet B et de 60 à 200 msec chez le sujet A mais cet accroissement est moins important que lors de la compression entre la surface et 435 mètres.

#### 4. Discussion

Les PEV enregistrés en surface en atmosphère hélium-oxygène présentent les caractéristiques classiques de ceux recueillis chez l'homme et décrites par de nombreux auteurs (BERGAMINI et BERGAMASCO, 1967 ; COBB et DAWSON, 1960 ; CIGANECK, 1961 ; GASTAUT et al., 1964 ; MOROCUTTI et SOMMER-SMITH, 1966). Il en est de même pour les caractéristiques des cycles d'excitabilité visuelle (GASTAUT et al., 1951 ; CIGANECK, 1964).

Les modifications enregistrées au cours de la plongée peuvent être regroupées en trois séries :

4.1. La première série se situe pendant la compression dans la gamme de profondeurs comprises entre la surface et 435 mètres ; elle comprend :

- . une diminution d'amplitude plus ou moins importante des composantes de  $R_1$  (ondes II à V du PEV)

.../...

- . une augmentation d'amplitude de l'onde VI et de la post-décharge de la réponse induite par simple ou double éclair
- . une hyperfacilitation des réponses  $R_2$ .

Ces modifications sont parallèles à l'apparition de certains troubles cliniques et électrophysiologiques entrant dans le cadre du S.N.H.P. tels qu'un léger tremblement (ROSTAIN et LEMAIRE, 1973) et un léger renforcement des fréquences EEG lentes (théta) (FRUCTUS et al., 1972 ; ROSTAIN et NAQUET, 1974).

4.2. La deuxième série se rencontre au-delà de 435 mètres, elle comprend :

- . une augmentation de la latence de la plupart des ondes (II à V) de la réponse  $R_1$
- . une augmentation de l'amplitude des composantes (II à V) de la réponse  $R_1$
- . une diminution de l'amplitude de l'onde VI et de la post-décharge de la réponse  $R_1$  pouvant aller jusqu'à la dégradation de cette dernière
- . une dépression des réponses  $R_2$  par rapport à celles enregistrées en surface.

Pendant cette période, du point de vue clinique, le tremblement n'est pas considérablement augmenté ; pendant la veille, les ondes lentes de l'EEG sont augmentées ; celles-ci sont très fréquemment interrompues par la survenue de "microsleeps" (FRUCTUS et al., 1972 ; ROSTAIN et LEMAIRE, 1973 ; ROSTAIN et NAQUET, 1974).

4.3. La troisième série se situe pendant la décompression. Elle comprend :

.../...

- un raccourcissement des latences qui retrouvent des valeurs proches de la normale,
- une diminution d'amplitude des ondes II à V de la réponse,
- une augmentation de l'amplitude des ondes VI et de la post-décharge,
- une restauration de la facilitation de la réponse  $R_2$ .

Parallèlement, à partir de 400 mètres, les divers symptômes du S.N.H.P. commencent à régresser.

L'étude des potentiels évoqués par différentes modalités sensorielles, a été réalisée en hyperbarie par diverses équipes. En revanche, l'étude des cycles d'excitabilité visuelle n'a pas été effectuée en conditions hyperbares par d'autres auteurs.

KINNEY et al. (1972) ont étudié les PEV jusqu'à 360 mètres en atmosphère hélium-oxygène et ils ne rapportent pas de variation significative. BENNETT et TOWSE (1971) en étudiant les potentiels évoqués auditifs moyens (PEA), lors d'une plongée à 457 mètres en atmosphère hélium-oxygène ont observé une diminution d'amplitude des ondes  $N_1P_2$ .

LANGLEY (1972) confirme cette dépression du PEA mais il constate simultanément une augmentation d'amplitude du potentiel évoqué somesthésique (PES) à 360 mètres en atmosphère hélium-oxygène ou néon-oxygène.

Pour BENNETT et al. (1969) la diminution d'amplitude du PEA serait en relation avec les phénomènes de "narcose" aux gaz inertes ; elle serait plus grande avec l'azote puisque ce gaz est plus narcotique que l'hélium. Elle serait la conséquence d'une atténuation du potentiel par une inhibition exercée au travers du système réticulé activateur ascendant (BENNETT, 1964 ; 1966).

.../...

Pour ACKLES et FOWLER (1971) et LANGLEY (1972), la diminution d'amplitude du PEA rencontrée en atmosphère hélium-oxygène serait la conséquence de perturbations de la transmission et de la perception des sons entraînés par les conditions hyperbares.

En revanche pour LANGLEY, seules les modifications du PES pourraient être retenues comme pures et elles seraient la conséquence des effets hypersynchronisants concomitants de la baisse du niveau de vigilance (LANGLEY, 1972).

Bien que les résultats que nous avons obtenus sur les PEV ne puissent être comparés de façon stricte à ceux des PES ou des PEA, les modalités sensorielles mises en jeu étant différentes, il nous semble permis de tirer certaines déductions des différences ou des similitudes rencontrées entre nos propres résultats et ceux de ces divers auteurs.

Ainsi, l'absence de diminution d'amplitude du PES rapportée par LANGLEY (1972) pourrait prévenir de ce que la compression de 0 à 360 mètres a été très lente (8 jours) ; dans notre expérience, la diminution d'amplitude du PEV a été observée dans une gamme de profondeurs où la compression a été relativement rapide (350 mètres en 58 heures 54 minutes), alors que nous avons noté une augmentation d'amplitude des PEV dans une zone où la compression a été relativement lente (110 mètres en 76 heures). Ainsi, la vitesse de compression dont on connaît le rôle dans la survenue ou l'accentuation du S.N.H.P. (FRUCTUS et al., 1972 ; ROSTAIN et NAQUET, 1974) aurait également une influence sur la morphologie et l'amplitude des PEV (ROSTAIN, 1973 a). Il faudrait y associer le rôle de la pression par elle-même et peut-être le rôle du mélange respiratoire sous pression (ROSTAIN, 1973 a).

La diminution d'amplitude du PEV observée dans nos conditions expérimentales ne peut être la conséquence d'une action du système réticulé activateur ascendant sur la voie spécifique visuelle lors de la traversée du tronc cérébral comme cela pouvait être le cas pour la

.../...

voie auditive (BENNETT et TOWSE, 1971) et ceci d'autant plus que cette diminution d'amplitude du PEV n'est pas totale. Il existe une augmentation d'amplitude de l'onde VI et de la post-décharge.

L'augmentation d'amplitude des composantes précoces du PEV observée au-delà de 435 mètres pourrait rejoindre l'hypothèse de LANGLEY (1972) concernant l'hypersynchronie consécutive à la baisse du niveau de vigilance ; elle pourrait être rapprochée des modifications rencontrées lors de l'endormissement et du sommeil à ondes lentes (CORLETTO et al., 1967) et elle pourrait correspondre à la légère baisse du niveau de vigilance dont témoigne l'apparition de "micro-sleep". Malheureusement, certains faits ne coïncident pas avec ce qui a été décrit au cours de l'endormissement : il s'agit, d'une part des modifications des PEV, qui sont plus importantes chez le sujet B, c'est-à-dire chez celui qui présente la plus faible baisse du niveau de vigilance (ROSTAIN et NAQUET, 1974), et d'autre part l'allongement de la latence des diverses composantes du PEV et surtout les modifications des cycles d'excitabilité.

En ce qui concerne ces derniers, l'hyperfacilitation que l'on observe jusqu'à 435 mètres traduirait un renforcement de l'excitabilité corticale. Cette dernière serait néanmoins différente de celle rencontrée chez certains sujets épileptiques (BERGAMINI et BERGAMESCO, 1967 ; DIMOV et al., 1972) ou lors de l'administration de cardiazol chez l'animal ou l'homme (GASTAUT et HUNTER, 1950 ; BERGAMESCO, 1966) car, à côté de l'accroissement du rapport  $R_2/R_1$ , il existe également dans ces deux derniers cas une augmentation d'amplitude du PEV qui n'est pas visible dans notre expérience dans cette gamme de profondeurs.

De même, la diminution de l'excitabilité corticale, que l'on observe au-delà de 435 mètres, est en désaccord avec la facilitation qui a été décrite lors de l'endormissement ou du sommeil à ondes lentes

.../...

chez le chat par EVARTS et al. (1960) ou PALESTINI et al. (1965).

Les résultats opposés obtenus au cours de la compression montrent que les modifications des PEV et des cycles d'excitabilité, ne sont pas la conséquence d'un mécanisme physiologique pur, tel l'action hypersynchronisante accompagnant la baisse du niveau de vigilance ; en effet, si elle est en cause, elle n'est pas isolée, donc pas physiologique. Par ailleurs, on ne peut éliminer sans discussion, comme le fait LANGLEY (1972), l'hypothèse d'un état préconvulsif, d'autant plus que des manifestations épileptiques ont été décrites chez divers mammifères avec le mélange hélium-oxygène (BRAUER et al., 1971 ; CHOUREAU et IMBERT, 1971 ; MILLER et al., 1972 ; ROSTAIN et al., 1970 ; ROSTAIN, 1973 b) pour des profondeurs de 700 mètres et plus.

Certains auteurs ont émis des hypothèses faisant intervenir une hypoxie dans l'apparition de certains syndromes observés en hyperbarie (BENNETT, 1966 ; CHOUREAU et al., 1967, 1969 ; HYACINTHE et al., 1973). Certaines anoxies anoxiques provoquent chez l'animal au cours de leur évolution, une succession de modifications du PEV (NAQUET et FERNANDEZ-GUARDIOLA, 1960), qui n'est pas sans rappeler celle, plus échelonnée dans le temps, qui a été observée pour les PEV au cours de cette expérience.

De plus, on sait que l'anoxie peut entraîner chez certains sujets prédisposés, un certain renforcement des activités paroxystiques préexistantes (BOSTEM et LESEVRE, 1968 ; VUILLON-CACCIUTTULO, 1970) et peut déclencher des manifestations épileptiques d'un certain type (absence Petit Mal) (GASTAUT et al., 1961), différentes, il est vrai, de celles rencontrées chez le *Papio papio* en hyperbarie (ROSTAIN et al., 1970 ; ROSTAIN, 1973 b).

.../...

En conséquence, dans l'état actuel de nos connaissances, l'étude des PEV et des cycles d'excitabilité visuelle réalisée en hyperbarie, ne nous permet pas de pouvoir rattacher préférentiellement les modifications rencontrées, à l'action narcotique des gaz, à la baisse du niveau de vigilance, à l'apparition d'un état préconvulsif ou à l'installation d'une anoxie progressive. Il est fort probable que plusieurs de ces facteurs entrent en compétition à différentes profondeurs et que les modifications constatées résultent de l'interaction de plusieurs d'entre eux. Des expériences complémentaires poursuivies surtout chez l'animal et faisant appel à des espèces différentes et à des conditions physiologiques précises, pourront peut-être nous renseigner.

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

- ACKLES K.N. and FOWLER B. Cortical evoked response and inert gas narcosis in man.  
Aerospace Med., 1971, 43 : 1181-1184.
- AGARATE C. et FRUCTUS X. La compression. In PHYSALIE V. Rapport CNEXO-COMEX, 1971, 105 p.
- BACHRACH A.J. and BENNETT P.B. Tremor in diving.  
Aerospace Med., 1973, 44 : 613-623.
- BEHNKE A.R., THOMSON R.M. and MOTLEY E.P. The psychologic effects from breathing air at 4 atm. pressure.  
Am. J. Physiol., 1935, 112 : 554-558.
- BENNETT P.B. The effects of High Pressures on Inert Gases on auditory Evoked Potential in Cat Cortex and Reticular Formation.  
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1964, 17 : 388-397.
- BENNETT P.B. Simulated oxygen-helium saturation diving to 1500 feet and the helium barrier.  
J. roy. Nav. Sc., Ser., 1971, 26 : 91-106.
- BENNETT P.B. The aetiology of compressed air intoxication and inert gas narcosis.  
Pergamon Press, Oxford, 1966, 116 p.
- BENNETT P.B. and TOWSE E.J. The high pressure nervous syndrome during a simulated oxygen-helium dive to 1500 Ft.  
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1971, 32 : 383-393.

- BENNETT P.B., ACKLES K.N. and CRIPPS V.J. Effects of hyperbaric nitrogen and oxygen on auditory evoked responses in man. Aerospace Med., 1969, 40 : 521-525.
- BEKKERING J.D., KAMP A, DE LANGE J., STORM VAN LEEUWEN W. et WERRE P.F. Corrélations entre l'analyse des fréquences et quelques phénomènes psychologiques. In : Conditionnement et réactivité en électroencéphalographie. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1957, Suppl. 6 : 201-210.
- BERT P. La pression barométrique. Masson, éditeur, Paris 1878.
- BINET L. The laws of tremor. Lancet, 1920, 1, 265.
- BERGAMESCO B. Excitability cycle of the visual cortex in normal subjects during psychosensory rest and cardiazolic activation. Brain Research, 1966, 2 : 51-60.
- BERGAMINI L. and BERGAMESCO B. Cortical evoked potentials in man. Ed. by C.C. Thomas, Springfield, Illinois, 1967, 116 p.
- BORDENAVE P. Le syndrome nerveux des hautes pressions. Thèse de médecine, Marseille, 1972, 67 p.
- BOSTEM F. et LESEVRE N. Variation sous l'effet de l'anoxie des potentiels évoqués visuels et somesthésiques chez le *Papio papio*. J. Physiol. (Paris), 1968, 60 : 408.
- BRAUER R.W., WAY R.O., JORDAN M.R. and PARRISH D.E. Experimental studies on the high pressure hyperexcitability syndrome in various mammalian species. In the Proceedings of the Fourth Symposium on Underwater Physiol., Phila. Penn., ed. by C.J. LAMBERTSEN, 1971, 487-500.

- BRAUER R.W. and WAY R.O. Relative narcotic potencies of hydrogen, helium, nitrogen, and their mixtures.  
J. Appl. Physiol., 1970, 29, 1, 23-31.
- BRAUER R.W., JORDAN M.R. and WAY R.O. The high pressure neurological syndrome in the squirrel monkey, *Saimiri Sciureus*.  
In : Proc. of the third international conference on hyperbaric and underwater physiology, Marseille, 1970. Doin éditeur 1972, 23-30.
- BRAUER R.W., DIMOV S., FRUCTUS X. et P., GOSSET A et NAQUET R.  
Syndrome neurologique et électrographique des hautes pressions.  
Rev. Neurol., 1969, 121 :264-265.
- BRUMLIK J. On the nature of normal tremor.  
Neurology, 1962, 12,159-179.
- CHARPY J.P., DEYTS J.P. et WIDE P. Etude psychologique sur les travailleurs à moyenne et grande profondeur. In : Proc. of the 1st annual scientific meeting of the European Undersea Biomedical Society. Forsvarsmedicin, 1973, 9 :452-458.
- CHOUTEAU J., COUSTEAU J.Y., ALINAT J. et AQUADRO C.F. Sur les limites physiologiques d'utilisation du mélange respiratoire oxygène-hélium pour la plongée profonde et les séjours prolongés sous pression.  
C.R. Acad. Sc. Paris, 1967, 264, 1731-1734.
- CHOUTEAU J., OCANA DE SENTUARY J.M. et PIRONTI L. Etude théorique, expérimentale et comparée de la compression appliquée aux plongées d'intervention et à saturation à grandes profondeurs. Procès-verbal "Etudes physiologie", n° 1/71 CEMA du 25 mars 1971.
- CHOUTEAU J. et IMBERT G. La limitation hypoxique de la plongée profonde de longue durée.  
Maroc Médical, 1971, 52 : 229-236.

- CHOUTEAU J., COUSTEAU J.Y. et ALINAT J. Manifestations hypoxiques lors de la respiration sous pression de mélanges respiratoires ( $O_2$ -He,  $O_2$ - $N_2$ ) normoxiques. Influence de la masse spécifique du mélange. J. Physiol. (Paris), 1967, 59 : 376.
- CHOUTEAU J., IMBERT G. et ALINAT J. Sur une meilleure définition des phénomènes hypoxiques accompagnant la respiration du mélange oxygène-hélium au cours de plongées profondes à saturation. C.R. Acad. Sc. (Paris), 1969, 268 : 2918-2921.
- CIGANEK L. The EEG responses (evoked potentials) to light stimulus in man. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1961, 13 : 165-172.
- CIGANEK L. Excitability cycle of the visual cortex in man. Ann. N.Y. Acad. Sci., 1964, 112 : 241-253
- C.N.E.X.O. - COMEX. Physalie V. Rapport COMEX/CNEXO, 1971, 105 p.
- COBB W.A. and DAWSON G.D. The form and latency in man of the occipital potentials evoked by bright flashes. J. Physiol. (London), 1960, 152 : 108-121.
- CORLETTO F., GENTILOMO A., ROSADINI A., ROSSI G.F. and ZATTONI J. Visual evoked responses during sleep in man. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1967, suppl. 26 : 61-69.
- CORRIOL J., CHOUTEAU J. and CATIER J. Human simulated diving experiments at saturation under helium-oxygen exposures up to 500 metres : electroencephalographic data. Aerospace Med., 1973, 44 : 1270-1276.
- DIMOV S., BREFFEILH J.L., MENINI C. et NAQUET R. Etude des potentiels évoqués visuels chez des jumelles présentant une photosensibilité excessive. Rev. EEG Neurophysiol., 1972, 2 : 308-311.

EVARTS E.V., FLEMING T.C. and HUTTENLOCHER P.R. Recovery cycle of the visual cortex of the awake and sleeping cat.

Amer. J. Physiol., 1960, 199 : 373-376.

FRIEDLANDER W.J. Characteristics of postural tremor in normal and in various abnormal states.

Neurology, 1956, 6, 716-724.

FRUCTUS X. et AGARATE C. La compression. In : "PHYSALIE V".

Rapport CNEXO-COMEX, 1971, 105 p.

FRUCTUS X. et CHARPY J.P. Etude psychométrique de deux sujets lors d'une plongée fictive jusqu'à 52,42 ATA. Bulletin Med. Sub. Hyp.

1972, 7 : 3-12.

FRUCTUS R.X., BRAUER R.W. and NAQUET R. Physiological effects observed in the course of simulated deep chamber dives to a maximum of 36.5

ATM in He/O<sub>2</sub> ATM. In : Proc. of the 4th symposium on underwater physiology, C.J. LAMBERTSEN (Ed.). Academic press, New-York and London, 1971 : 545-550.

FRUCTUS X., AGARATE C. et ROSTAIN J.C. Réflexions sur la courbe de dé-compression des plongées très profondes. Bull. Méd. Sub. Hyp.,

1973, 9 : 2-6.

FRUCTUS X., AGARATE C., NAQUET R. et ROSTAIN J.C. Postponing the "High Pressure Nervous Syndrome" (HPNS) to 1640 feet and beyond. In :

Underwater physiology. Proceedings of the 5th symposium on underwater physiology, C.J. LAMBERTSEN (Ed.), New-York, Academic Press, 1972 (in press).

FRUCTUS X., NAQUET R., GOSSET A., FRUCTUS P. et BRAUER R.W. Le syndrome nerveux des hautes pressions. Marseille Méd., 1969, 6 : 509-512.

- FRUCTUS X., AGARATE C., CHARPY J.P., GOSSET A., NAQUET R. et ROSTAIN J.C.  
 Postponing the high pressure nervous syndrome. Communication au  
 XXVth congress of physiological sciences ; Satellite Symposium :  
 recent progress on fundamental physiology of diving, Marseille,  
 1971 (proceedings in press).
- GASTAUT H. and HUNTER J. An experimental study of the mechanism of photic  
 activation in idiopathic epilepsy. Electroenceph. clin. Neurophysiol.,  
 1950, 2 : 263-287.
- GASTAUT H., GASTAUT Y., ROGER A., CORRIOL J. et NAQUET R.  
 Etude électroencéphalographique du cycle d'excitabilité cortical.  
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1951, 3 : 401-428.
- GASTAUT H., BOSTEM F., FERNANDEZ-GUARDIOLA A., NAQUET R. and GIBSON W.  
 Hypoxic activation of the EEG by nitrogen inhalation. 1°) Preliminary  
 observations in generalized epilepsy. 2°) Preliminary results in  
 Partial epilepsy. 3°) Preliminary results in Patients suffering  
 from cerebro-vascular disease. In Cerebral Anoxia and the electro-  
 encephalogram. J.S. Meyer and H. Gastaut (Eds.) C.C. Thomas, Spring-  
 field, 1961, 343-382.
- GASTAUT H., BOSTEM F., WALTREGNY A., POIRE R. et REGIS H.  
 Les activités cérébrales spontanées et évoquées chez l'homme.  
 Monographies de Physiologie causale. Colloque de Marseille, Gauthier-  
 Villard, Paris, 1964, 8, 236 p.
- HYACINTHE R., BROUSSOLLE B. et DESBRUYERES D. Affinité de l'hémoglobine  
 pour l'oxygène chez l'homme en milieu hyperbare (31 ATA). Bulletin  
Méd. Sub. Hyp., 1973, 10 : 44-46.
- INGVAR D.H. Cortical state of excitability and cortical circulation. In :  
Reticular formation of the brain. Henry Ford Hospital Symposium,  
 Detroit, Boston, Little Brown, 1958 : 381-408.

- INGVAR D.H. Cerebral Metabolism, cerebral blood flow and EEG.  
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1967, Suppl. 25 : 102-106.
- INGVAR D.H. and RISBERG J. Increase of regional cerebral blood flow during mental effort in normals and in patients with focal brain disorders. Exp. Brain Res., 1967, 3 : 195-211.
- ISHIHARA T. and YOSHII N. Multivariate analytic study of EEG and mental activity in juvenile delinquents. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1972, 33 : 71-80.
- KINNEY J.A., MCKAY C.L. and LURIA S.M. Visual evoked responses for divers breathing various gases at depths to 1200 feet. Naval Submarine Medical Center, Groton, Conn. NSMRL Report n° 705, 1972, 12 p.
- KYLSTRA J.A., LONGMUIR I.S. and GRACE M. Dysbarism : Osmosis caused by dissolved gas ? Science, 1968, 161, 289.
- LANGLEY T.D. Somatic and auditory evoked brain responses in man breathing mixtures of normoxic helium, nitrogen and neon at pressures to 37 atmospheres.  
In : Proc. of 5th symposium on underwater physiology, ed. by C.J. Lambertsen, 1972 (in press).
- LORRAIN SMITH J. The pathological effect of increase of oxygen tension in the air breathing. J.° Physiol., 1889, 29 : 19-35.
- MAC INNIS J., DICKSON J.G. and LAMBERTSEN C.J. Exposure of mice to a helium-oxygen atmosphere at pressure of 122 Atm. J. Appl. Physiol., 1967, 22 : 694-698.
- MILLER K.W., PATON W.D.M., STREET W.B. and SMITH E.B. Animals at very high pressures. Science, 1967, 157 : 97-99.

MILLER K.W., PATON W.D.M. and SMITH E.B.

Experiments on animals at ultra high pressures. In Proc. of the third international conference on hyperbaric and underwater physiology. Marseilles, 1970, DOIN éditeurs, 1972, 31-34.

MOROCUTTI C. et SOMMER-SMITH J. Etude des potentiels évoqués visuels dans les épilepsies. Rev. neurol., 1966, 115 : 93-98.

NAQUET R. et FERNANDEZ-GUARDIOLA A. Effets de différents types d'anoxie sur l'activité électrographique cérébrale spontanée et évoquée chez le chat. J. Physiol. (Paris), 1960, 52 : 885-902.

NAQUET R., ROSTAIN J.C. and FRUCTUS X. High pressure nervous syndrome : clinical and electrophysiological studies in man. In : strategy for future diving to depths greater than 1000 feet. U.M.S. report number WS, 6.15.75, 1975 : 62-65.

PALESTINI M., PISANO M., ROSADINI G. and ROSSI G.F. Excitability cycle of the visual cortex during sleep and wakefulness. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1965, 19 : 276-283.

RISBERG J. and INGVAR D.H. Regional changes in cerebral blood volume during mental activity. Exp. Brain Res., 1968, 5 : 72-78.

ROSTAIN J.C. et LYAGOUBI S. Etude électroencéphalographique de la veille et du sommeil sous hyperbarie prolongée en atmosphère hélium-oxygène (opération JANUS II). Rev. E.E.G. Neurophysiol., 1971, 1, 239-241.

ROSTAIN J.C., REGESTA G. and NAQUET R. Study of the organisation of sleep of divers staying at 300 meter depths in an oxy-helium atmosphere. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1973, 34, 788.

- ROSTAIN J.C. Etude neurophysiologique de l'effet de divers mélanges gazeux et des hautes pressions chez le singe *Papio papio* et l'homme. Rapport C.N.E.X.O., 1971, 60 p.
- ROSTAIN J.C. et NAQUET R. Résultats préliminaires d'une étude comparative de l'effet des mélanges oxygène-hélium et oxygène-hydrogène et des hautes pressions sur le babouin *Papio papio*. Proceedings des 3es journées internationales d'hyperbarie et de physiologie subaquatique, Marseille, 1970, Doin édit., 1972, 44-49.
- ROSTAIN J.C. Evolution des potentiels évoqués visuels moyens chez l'homme au cours de séjours prolongés en atmosphère hélium-oxygène à 300 et 500 m. In Proc. of the First Annual Scientific Meeting of the European Undersea Biomedical Society. C.M. Hesser and D. Linnarson (Eds.). Forvarsmedicin, 1973 a, 9 : 459-465.
- ROSTAIN J.C. L'effet des hautes pressions avec divers mélanges gazeux chez le *Papio papio*. Thèse de 3ème cycle, Neurophysiologie, Marseille, 1973 b : 131 p.
- ROSTAIN J.C. and CHARPY J.P. Evolution of anterior slow EEG activities during psychometric tests in deep dives in an oxy-helium atmosphere. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1973, 34 : 788.
- ROSTAIN J.C. et LEMAIRE C. Evolution du tremblement au repos et pendant l'effort au cours de plongées profondes en atmosphère hélium-oxygène. Rev. EEG Neurophysiol., 1973, 3 : 203-206.
- ROSTAIN J.C. and CHARPY J.P. Effects upon the EEG of psychometric performance during deep dives in helium-oxygene atmosphere. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1976, (à paraître).
- ROSTAIN J.C., FRUCTUS X. et NAQUET R. Etude préliminaire de l'effet des hautes pressions en atmosphère oxygène-hélium sur le *Papio papio*. Rev. neurol. 1970, 122 : 482-483.

- ROSTAIN J.C. et CHARPY J.P. Corrélations électroencéphalographiques et psychométriques à propos d'une plongée fictive à - 500 mètres. Rev. EEG Neurophysiol., 1971, 1 : 413-416.
- ROSTAIN J.C. et NAQUET R. Le syndrome nerveux des hautes pressions : caractéristiques et évolution en fonction de divers modes de compression. Rev. EEG. Neurophysiol., 1974 a, 4 : 107-124.
- ROSTAIN J.C. et NAQUET R. Résultats préliminaires d'une étude de certains tests électrophysiologiques réalisés au cours d'une plongée à saturation à 610 mètres. IVth International Symposium on Underwater Medicine. Ancona, 1974 b, Proceedings (in press).
- TANI K., ATSUSHI C. and NAKAI M. Mental activities and electroencephalograms. Reports Sci. Living, Osaka City Univ., 1968, 16 : 183-189.
- VUILLON-CACCIUTTOLO G. Etude de la photosensibilité et des réponses évoquées le long de la voie visuelle chez le singe *Papio papio*. Thèse de Doctorat en Neurophysiologie (3<sup>o</sup> cycle), Marseille, 1970, 82 p.
- WALTER V.J. and WALTER W.G. The central effects of rhythmic sensory stimulation. Electroenceph. clin. Neurophysiol., 1949, 1 : 57-86.
- WALTER W.G., COOPER R., ALRIDGE V, McCALLUM W.C and WINTER A.L. Contingent negative variation : an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. Nature (London), 1964, 203 : 380-384.
- WECHSLER D. La mesure de l'intelligence chez l'adulte. Presses Universitaires de France, Paris, 1967, 292 p.
- ZAZZO R. Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant. Neuchatel, Delachaux et Niestlé, 1960, 435 p.