



**HAL**  
open science

## Sagitaire II

Sa Comex

► **To cite this version:**

| Sa Comex. Sagitaire II. COMEX. 1972. hal-04463605

**HAL Id: hal-04463605**

**<https://hal.univ-brest.fr/hal-04463605>**

Submitted on 17 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 CNEXO/COMEX

N° 71/296

CENTRE EXPERIMENTAL HYPERBARE

COMEX

---

## SAGITTAIRE II

FEVRIER 1972

---

**CNEXO**

39, avenue d'Iéna

75783 - PARIS CEDEX 16

**COMEX**

Traverse de la Jarre

13275 - MARSEILLE

CEDEX 2

TABLE DES MATIERES

---

A. - INTRODUCTION

Préambule et courbe de la plongée ..... A. 1

B. - RESULTATS PHYSIOLOGIQUES

- Neurologie .....	B. 1
- Ergonomie : . Psychométrie .....	B.15
. Travail dynamique (ergocycle).....	B.34
. Travail statique et électromyographie ...	B.38
. Mécanique ventilatoire (avec C.V.) .....	B.41
. Fréquence cardiaque .....	B.45
. Pression artérielle-Résistance capillaire	
. Enquête de symptômes subjectifs de fatigue	B.46
- Bilan diététique .....	B.60
- Appareil ostéo-articulaire .....	B.64
- Neurophysiologie .....	B.66
- Etude de divers rythmes circadiens .....	B.91
- Biologie .....	B.98

## 100 HEURES A 500 METRES

---

### Plongée expérimentale à saturation en caisson à 1640 feet (soit 50,68 ata d'héliox)

Dans le cadre du programme de recherches du Centre National pour l'Exploitation des Océans (C. N. E. X. O. - Thème III), une plongée expérimentale a été réalisée au Centre Expérimental Hyperbare de la COMEX, à MARSEILLE, à partir du 21 février 1972, avec, 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.)

Cette expérience s'inscrit dans le contexte historique suivant :

1968 : Plusieurs plongées expérimentales entre 300 et 335 m (équipe suisse de ZURICH - U.S. NAVY-COMEX).

1968 encore : 360 et 365 m par COMEX (PHYSALIES II et III), ce qui permet de décrire pour la première fois le syndrome nerveux des hautes pressions.

1969 : En Angleterre, travail -quelques heures- à 350 m - (ROYAL NAVY).

Mars 1970 : Nouveau record établi par la ROYAL NAVY : 457 m.

Novembre 1970 : les plongeurs de la COMEX descendent "plus profond" : 1 heure et demie à 520 m (expérience PHYSALIE V - collaboration C. N. E. X. O -COMEX).

Ces deux expériences capitales confirment l'existence du syndrome nerveux des hautes pressions mais permettent déjà d'en atténuer les effets.

1971 : 18 h à 500 m, réalisées par le CEMA à MARSEILLE (collaboration C. N. E. X. O. - CEMA).

Février-mars 1972 : Expérience SAGITTAIRE II, à la COMEX (SAGITTAIRE I était une longue saturation à 300 m, en novembre 1971).

Sur le plan physiologique :

Nous avons aussi bénéficié de l'aide particulièrement soutenue et efficace de la Direction des Recherches et Moyens d'Essais (D. R. M. E.), du Secrétariat général de la Défense nationale et du Centre National de la Recherche Scientifique (C. N. R. S.).

A. - PROGRAMME SAGITTAIRE II

Une plongée expérimentale à saturation sous héliox, à la profondeur fictive de 500 m (1640 feet - 50,68 ATA) s'est déroulée à partir du lundi 21 février au C. E. H. de la COMEX. Elle se nomme "SAGITTAIRE II".

Les deux plongeurs sélectionnés sont : F. HUTEAU (22 ans) et J. THOLLAS (22 ans).

Ils ont séjourné 100 heures à 50,68 ATA.

1. - Déroulement des opérations

1.1. - Confinement sous héliox, à la profondeur moyenne de 10 m, (PiO<sub>2</sub> : 400 mb), du lundi 7 février au samedi 12 février, au soir, dans le caisson "1200".

1.2. - Plongée expérimentale (dans l'ensemble caissons "A" et "1200", en-deçà de 350 m ("1200" au-delà de 350 m), sous héliox à PiO<sub>2</sub> constante : 400 mb).

. du lundi 21 février à 16 h au mercredi 23 février à 17 h :  
compression de 0 à 500 m, avec les passages suivants :

- Mardi 22 février à	00:00	.....	190 m
	15:54	.....	350 m
- Mercredi 23 février à	07:58	.....	457 m
	12:31	.....	480 m
	17:00	.....	500 m

.../...

du mercredi 23 février à 17 h au dimanche 27 février à 21 h :

Séjour en saturation à 500 m.

du dimanche 27 février à 21 h au lundi 6 mars à 18 h 30 :

Décompression.

## 2. - Paramètres d'environnement

- 2.1. - L'incidence de l'élément confinement restrictif dans le "1200" est évaluée lors de l'épreuve dite de confinement.
- 2.2. - La température est maintenue dans les limites de confort : environ  $32 \pm 1^\circ \text{C}$ , au fond.
- 2.3. - Contrôle de l'hygrométrie : à  $55 \% \pm 10$ .
- 2.4. - La  $PiO_2$  a été maintenue à 400 mb pendant la descente et le séjour au fond ; à 500 mb pendant la décompression.

## 3. - Exploitation physiologique

Elle comporte :

- a) Une surveillance clinique, E.E. Graphique et E.C. Graphique quasi constante, pendant le séjour au fond.
- b) Une surveillance neurologique avec examens plus complets à la demande.
- c) Des épreuves E.E.G. réitérées avec potentiels évoqués et enregistrement magnétique permettant le traitement sur ordinateur en vue d'obtenir des spectres de puissance - E.E.G. de sommeil toutes les nuits.
- d) Des mesures réitérées du tremblement (sous E.M.G. localisé), par géophone et traitement sur ordinateur.

.../...

- e) Une étude psychométrique, avec épreuves sensori-motrices, verbales et cognitives, surtout à partir de 350 m, à la descente, se renouvelant à la remontée dans les zones de 420, 350 et 300 m.
- f) Une étude ergonomique comportant des tests d'effort statique et d'effort dynamique, localisés.
- g) Une surveillance respiratoire avec épreuves spirométriques de repos, renouvelées tous les jours au fond.
- h) Des tests d'effort (pédalage), sous contrôle cardio-respiratoire et électromyographique.
- i) Un test quotidien de fatigue (résistance capillaire).
- j) Un contrôle diététique pour bilans.
- k) Une étude des cycles circadiens avec le relevé de la fréquence cardiaque et de la température et le recueil des urines à 7 h, 11 h, 15 h, 19 h et 23 h.
- l) Des examens biologiques urinaires entrant dans l'étude des cycles circadiens et comportant l'ionogramme et les dosages suivants :
  - corps azotés (pour bilan azoté);
  - Ca et P ;
  - catécholamines ;
  - 17-hydroxy-20-cétostéroïdes ;
  - créatinine.
- m) Quelques examens sanguins (surtout en ce qui concerne les plaquettes en cours de décompression).

Tout cela pouvant être confronté à des valeurs basales solidement établies au cours des semaines préparatoires et pendant l'épreuve du confinement.

#### 4. - Organisation

Sont responsables de l'opération :

- Pour la direction générale scientifique, physiologique, technique et médicale : X. FRUCTUS, C. AGARATE.
- Pour la direction des caissons : J. COUSTAL, P. MARTIN, A. JULLIEN.
- Pour la direction du laboratoire : D. PROSPERI.
- Pour la surveillance photo, magnétoscope : A. TOCCO.

L'exploitation physiologique est assurée par 10 équipes :

- Pour la neurologie : A. GOSSET, P. BORDENAVE.
- Pour la neurophysiologie : R. NAQUET, JC. ROSTAIN.
- Pour la psychométrie : JP. CHARPY, JP. DEYTS.
- Pour l'ergonomie : C. LEMAIRE.
- Pour la cardiologie : M. BERGONZI.
- Pour le métabolisme phospho-calcique et l'appareil orthéo-articulaire : V. CONTI.
- Pour la biologie : F. SICARDI, L. BONDIL.
- Pour l'étude des cycles circadiens : A. REINBERG.
- Pour la diététique : Geneviève SEGUI.
- Pour la surveillance clinique : X. FRUCTUS\*, R. SCIARLI\*, R. RISPE\*, JC. GUILLEN.

\* Membres de la Commission Médicale de la F. F. E. S. S. M.

Avec la collaboration ou les conseils des organismes scientifiques suivants :

- Le Centre National pour l'Exploitation des Océans (C. N. E. X. O.) ;
- La Direction des Recherches et Moyens d'essais (D. R. M. E.) ;
- Le Département de Neurophysiologie appliquée de l'Institut de Neurophysiologie et de psychophysiologie du C. N. R. S. (Docteur NAQUET) - MARSEILLE -
- Le Laboratoire de Physiologie du Travail C. N. R. S. - Pitié-Salpêtrière- PARIS VI (Professeur SCHERRER - Professeur MONOD) - PARIS -
- Le Centre régional de Transfusion sanguine (Professeur RANQUE) - MARSEILLE -
- Le Laboratoire de Neurophysiologie Comparée (Professeur HUGON) - MARSEILLE -
- Le Laboratoire de Médecine Aéronautique - C. E. V. - (Professeur VARENE) - BRETIGNY -
- La Chaire de Clinique Endocrinologique (Professeur VAGUE - Pr. Agr. Ph. VAGUE, Docteur BOURGOIN) - MARSEILLE -

#### B. - PREMIERES OBSERVATIONS ET REFLEXIONS

Au cours de la compression continue, réalisée en 49 heures, suivant une courbe calculée d'après les données de "PHYSALIE V" (plongée à 1700 ft de novembre 1970), les premiers signes du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions sont apparus dans la zone des 300-350 m (mardi 22 février - milieu de la journée).

Pendant la deuxième partie de la compression, jusqu'à 500 m, ils se sont accentués. A 500 m, le syndrome s'est plutôt stabilisé au cours des 40 premières heures.

.../...

Ne constatant donc pas d'évolution inquiétante des troubles, nous avons pu, sous une surveillance polygraphique rigoureuse et quasi constante, prolonger le séjour jusqu'à 100 heures, réalisant ainsi à la minute le programme prévu.

Nous avons d'ailleurs retrouvé point par point la description du S. N. H. P. telle que nous l'avions faite à la suite de nos expériences de 1968.

Les deux plongeurs ont présenté, en effet, un tableau neurologique, caractérisé par :

- du tremblement statique d'attitude (parfaitement mesurable et enregistré) ;
- des secousses musculaires ;
- l'incoordination de certains gestes ;
- des modifications plus ou moins importantes de l'électroencéphalogramme certaines d'entre elles traduisant notamment une instabilité de la vigilance.

Mais, comme nous l'avions déjà remarqué, lors des PHYSALIES III et V, ce tableau contrastait avec une assez bonne conservation des facultés motrices psychomotrices et intellectuelles.

Ainsi, par rapport aux épreuves réalisées lors du confinement, les tests psychométriques témoignaient d'un faible déficit tandis que les résultats des tests d'effort statique et dynamique local demeuraient constants.

En revanche, les épreuves d'effort musculaire plus général (pédalage) révélaient une fatigabilité nettement accrue et mettaient en évidence une gêne respiratoire sérieuse.

Les symptômes articulaires, réduits du fait de la compression lente, avaient pratiquement disparu au cours de la saturation.

Bref, la première impression fournie par le faisceau d'investigation systématisées auxquelles ont été soumis les deux sujets tend à confirmer ce contraste d'un syndrome neurologique indiscutable, avec les apparences d'un comportement sensiblement normal.

Toutefois, nous ne saurions trop insister sur l'inquiétante permanence des désordres nerveux qui, à ces profondeurs, ne doivent pas être sous-estimés. Surtout, à cause de leur persistance au cours du séjour et pendant une longue partie de la remontée.

Si, lors de SAGITTAIRE II, ces désordres ont pu être bien contrôlés, par la courbe de compression, n'oublions pas que celle-ci s'opérait à une allure de plus en plus lente (4 m/h à l'arrivée au fond).

A 500 m, au palier, la stabilisation (et non la disparition) du syndrome ne s'est manifestée qu'au bout de 40 heures.

Celui-ci s'est ensuite maintenu 60 heures au fond et ne s'est nettement amélioré qu'après 40 heures encore, dans la zone des 300 mètres à la remontée.

Si nous devons envisager les conséquences pratiques de ces plongées expérimentales aux très grandes profondeurs, nous pourrions conclure ainsi :

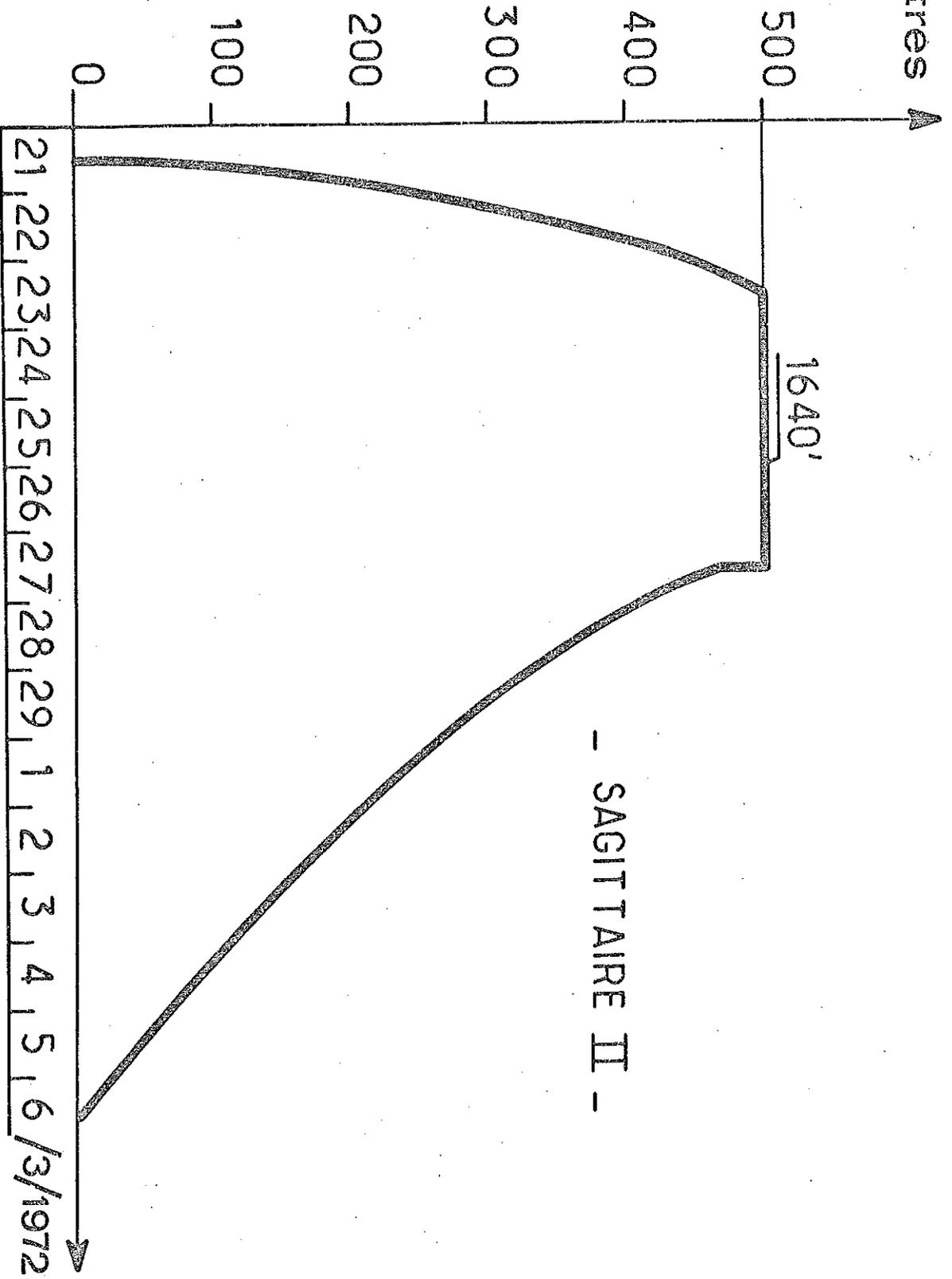
- 1° - Grâce à l'expérience acquise dans ce domaine par la COMEX, à 300 mètres, la plongée à saturation avec activité normale au fond ne pose plus de problèmes physiologiques.
- 2° - Dans la zone des 400 m, nos nouvelles techniques de compression et de contrôle des paramètres d'environnement doivent permettre à des plongeurs sélectionnés et entraînés, de séjourner et de fournir un travail efficace.
- 3° - En revanche, à 500 m, nous avons l'impression d'être assez proches des limites de la zone dans laquelle il sera possible de faire vivre et travailler des hommes en sécurité.

Si nous n'avons pas évoqué la décompression, c'est que celle-ci se déroule normalement suivant le schéma prévu. Il s'agit là encore d'un problème résolu : la méthode adoptée s'avérant économique en temps, en gaz et assurant aux plongeurs le confort et la sécurité.

Marseille, le 2 mars 1972

COMEX

Mètres



- SAGITTAIRE II -

. une surveillance neurologique tri-quotidienne a apprécié:

a/ Le tremblement :

L'examen neurologique se réduisait du fait de l'exiguïté 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 effectués par les plongeurs eux-mêmes) ont permis d'apprécier le retentissement du tremblement 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 . F.H.

22 ans - 1,60 m 57 kg.- profondeur maximum atteinte en plongée : 180 mètres.

tabac : 0 - alcool: 0 ; Café: 2 Tasses/J

Sténose du pylore à deux mois.

Pas d'antécédents neurologiques familiaux

l'examen neurologique en surface (28-1-72)

révèle un léger tremblement d'attitude aux épreuves du serment et des betteraves. Lors du confinement le même tremblement est retrouvé (10-2-1972).

. 2 . J.T.

22 ans - 1,70 m - 67,5 Kg . - profondeur  
maximum atteinte en plongée: 80 mètres.

tabac : 6 à 8 cigarettes/J

Section des tendons extenseurs des IIIe et IVe doigts  
de la main gauche en 1967, (sans séquelles).

Pas d'antécédents neurologiques familiaux.

L'examen neurologique de surface (26-1-72)  
est normal en dehors d'un discret signe de CHVOSTEK bilatéral et d'un signe de  
HOFFMANN bilatéral. Pendant le confinement: examen normal (10-2-1972).

- Les résultats -

A - Etude Clinique -

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

E X A M E N

F. H.

J. T.

O B S E R V A T I O N S

J <sub>1</sub>	20:00	142 m:	Tremblement comparable à celui observé en surface.	Examen normal.	Vitesse de compression : 12 m/heure.
J <sub>2</sub>	08:00	278 m:	Pas de changement.	Examen normal.	Vitesse de C° : 10m/heure.
	13:00	325 m:	Accentuation du tremblement (épreuve du serment et position gynécologique).	Apparition d'un discret tremblement d'attitude, distal.	Vitesse de C° : 8,57 m/heure.
	20:00	382 m:	Pas de changement par rapport à l'examen précédent.	Pas de changement par rapport à l'examen précédent.	
J <sub>3</sub>	08:00	457 m:	Apparition de myoclonies bilatérales distales, de faible amplitude, déclenchées par le maintien volontaire d'une attitude (position du serment, position gynécologique) et disparaissent au repos.	Mêmes remarques que pour F.H. mais le tremblement et les myoclonies d'attitude associées sont moins amples. Il n'y a pas de tremblement en fin d'acte.	Vitesse de C° : 5,45 m/heure/ Bafllements chez F.H. durant l'examen. Insomnie relative la nuit précédente.
	13:00	482	Etat stationnaire	Tremble autant que F.H. et présente autant de myoclonies.	Vitesse de C° : 4,61 m/heure. Vigilance bonne.
	20:00	500 m:	Le tremblement s'est accru par rapport à l'examen précédent. Les myoclonies apparaissent toujours dans le maintien des attitudes (serment-épreuve des bretteurs - position gynécologique). Mais en plus des extrémités elles intéressent maintenant les racines des membres supérieurs et inférieurs, et provoquent des déplacements brusques des membres et des segments de membre. Elles sont bilatérales, asymétriques et asynchrones.	Examen comparable aux précédents au point de vue tremblement d'attitude et myoclonies. Apparition à l'épreuve de l'index sur le nez d'un léger tremblement en fin d'acte à gauche.	En palier depuis 3 heures à 500 m Les deux plongeurs remarquent trembler davantage qu'à l'examen du matin.

J <sub>4</sub>	08:00	500 m	<p>Les myoclonies sont plus amples, plus fréquentes, plus généralisées. Elles intéressent maintenant les racines, les pectoraux, les muscles du cou et de la face et, sont au premier plan du tableau clinique.</p> <p>A l'épreuve du doigt au nez : léger tremblement bilatéral en fin d'acte.</p>	<p>Les myoclonies atteignent également les racines ainsi que les muscles du cou et de la face.</p> <p>A l'épreuve du doigt au nez : léger tremblement en fin d'acte à gauche.</p>	<p>En palier depuis 15 heures Vigilance bonne. Ponctions veineuses impossibles pour un plongeur (2 tentatives nécessaires pour l'autre). Sommeil de mauvaise qualité la nuit précédente. La coopération des deux sujets est moins bonne que les jours précédents</p>
	13:00	500 m	Examen comparable au précédent.	Examen comparable au précédent.	En palier depuis 20 heures
	20:00	500 m	Idem.	Idem.	En palier depuis 28 heures
J <sub>5</sub>	08:00	500 m	Idem	Idem	En palier depuis 39 heures Ponctions veineuses pratiquées mais assez difficilement
	13:00	500 m	Atténuation de l'amplitude des myoclonies par rapport aux examens précédents.	Atténuation comparable à celle observée chez F.H.	En palier depuis 44 heures. Baïllements chez J.T. durant l'examen (auquel il se prête d'assez mauvaise grâce)
	20:00	500 m	Examen comparable au précédent.	Examen comparable au précédent.	51ème heure de palier.
J <sub>6</sub>	08:00	500 m	Idem.	Idem	63ème heure de palier. Ponctions veineuses facilement réalisées.
	13:00	500 m	Idem.	Idem.	68 ème heure de palier
	20:00	500 m	Idem.	Idem.	75ème heure de palier A noter que les deux plongeurs ont refusé de subir un examen psychométrique dans la journée.

J7	08:00 500 m	Idem	Idem.	87ème heure de palier.
	13:00 500 m	Idem	Idem	92ème heure de palier
	20:00 500 m	Idem	Idem	99ème heure de palier La coopération devient meilleure.
J8	08:00 (Zone des 400m)	Idem	Idem	Décompression depuis 11 heures Ponctions veineuses facilement réalisées. Les 2 sujets se trouvent moins somnolents que les jours précédents.
	13:00 (Zone des 380m)	Idem	Disparition du trem- blement en fin d'acte	
	20:00 (Zone des 350m)	Idem.	Examen comparable au pré- cédent.	
J9	08:00 (Zone des 300m)	Atténuation des myoclonies en amplitude et fréquence. Le tremblement d'attitude pré- domine. Disparition du tremble- ment en fin d'acte.	Atténuation des myoclonies qui n'intéressent plus les muscles de la face.	A 350 m, remise en communication avec les caissons "A" et "D" L'atténuation des troubles est ressentie par les plongeurs.
	13:00 (Zone des 250m)	Examen comparable au précédent		Réapparition de plaisanteries chez les plongeurs, dont la coopération sera très bonne jusqu'à la fin de l'expérience
J10	08:00 (Zone des 220)	Amélioration par rapport à l'examen précédent.	Amélioration. Les myoclonies s'espacent et le tremble- ment prédomine. Les racines ne sont plus intéressées.	
	20:00	L'amélioration se poursuit progressivement	Examen comparable au pré- cédent.	

J <sub>11</sub>	08:00	Il n'y a plus de myoclonies. Le tremblement reste discrètement plus important que celui observé en surface.	Persistance d'un discret tremblement
	20:00		Disparition du tremblement Examen comparable à celui fait en surface
J <sub>12</sub>	08:00		
	20:00 (Zone des 100m)	Retour à l'état initial	Examen comparable au précédent
J <sub>15</sub>	18:30 Surface	Sortie du caisson	Sortie du caisson

. 2 . Commentaires -

. Le tremblement est apparu entre 290 et 325 mètres. il s'agit d'un tremblement rapide, dont la fréquence a été précisée par l'enregistrement graphique (8 à 12 cycles/s, avec moyenne de 10). C'est un tremblement d'attitude pouvant persister dans l'acte (apparaissant alors en fin d'acte), disparaissant totalement au repos, prédominant aux membres supérieurs et aux extrémités. Son amplitude s'accroît avec la pression en restant modérée.

Ce tremblement est entrecoupé ou mêlé de myoclonies bilatérales asynchrones et asymétriques, dont l'amplitude croît avec la pression. Elles viennent parfois parasiter le mouvement et disparaissent au repos. Ces myoclonies brisent la régularité des oscillations du tremblement et sont parfois au premier plan du tableau clinique. Elles prédominent aux membres supérieurs et aux extrémités, mais aux fortes pressions elles tendent à gagner les racines ainsi que les muscles du cou et de la face.

Durant le séjour à 500 mètres se sont succédées deux phases: la première (d'une quarantaine d'heures environ) avec tremblement à son maximum d'intensité, la deuxième caractérisée par l'atténuation du tremblement et sa stabilisation.

Durant la décompression le tremblement est demeuré au niveau précédemment atteint jusqu'à 350 mètres environ. Ce n'est qu'alors qu'on a pu noter sa régression, parallèlement à la diminution de pression, aboutissant à sa disparition dans la zone des 150 à 200 m.

. L'écriture et le dessin sont restés comparables à ce qu'ils étaient en surface. Mais les deux plongeurs reconnaissent avoir été gênés par le tremblement, et plus particulièrement les trois premiers jours à 500 mètres.

. Les ponctions veineuses ont été assez facilement réalisées, sauf les deux premiers jours à 500 mètres.

. Les troubles du sommeil :

- somnolence diurne : à partir de 350 mètres environ chez F.H., de 450 mètres chez J.T., mais variable selon les moments (maximum le matin - minimum en milieu de journée)

et les conditions (facilité lors des tests EEG yeux fermés - au contraire niveau de vigilance toujours bon pendant les examens neurologiques).

- sommeil nocturne de mauvaise qualité à partir de 41 ATA, avec réveils fréquents et réendormissement difficile.

- rêves : . chez F.H., augmentés en nombre et modifiés en contenu (rêves érotiques surtout - quelques rêves de lévitation et projection - rêves désagréables la première nuit à 500 mètres.)

. chez J.T., pas de modifications par rapport à la surface.

. Des troubles du caractère sont apparus chez les deux plongeurs ( ils n'avaient pas existé durant le confinement), avec irritabilité (reconnue par les deux sujets après l'expérience): dès J3 450 mètres pour J.T., J4 500 mètres pour F.H. Elle a été maximale J6 (avec notamment refus d'un test psychométrique). La coopération, bonne les trois premiers jours, a été relativement mauvaise J5 et J6 puis s'est améliorée pour redevenir très bonne jusqu'à la fin de l'expérience.

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

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

a/ Le tremblement observé lors de SAGITTAIRE II 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.

Le tremblement est retrouvé par tous les auteurs au-delà de 350 mètres fictifs et souvent à des profondeurs moindres:

- au cours des premières plongées PLC de la COMEX, J.D. "ressent" à partir de 21 ATA un tremblement généralisé, peu objectivable, et H.R. un tremblement intentionnel (PLC 1). Chez P.F. et A.J. apparaît un tremblement intentionnel et d'attitude (PLC 3).

- L'aspect clinique du tremblement est précisé par GOSSET lors de PHYSALIE III : "tremblement d'attitude des extrémités apparu vers 200 mètres et resté discret jusqu'à 320 mètres pour y augmenter progressivement jusqu'à 365 mètres". Il s'y associe dès 320 mètres un tremblement cinétique.

- au cours de PHYSALIE V, le tremblement est retrouvé dès 350 mètres avec les mêmes caractères (GOSSET A.) et sa fréquence précisée par l'enregistrement graphique : 8 à 12 cycles/seconde avec moyenne 10.

- au cours de la "1.500 feet" du RNLP (BENNETT) le tremblement n'est pas décrit mais son apparition est signalée à 183 mètres et son

évolution est enregistrée graphiquement.

- Enfin au cours des plongées du CEMA le tremblement n'est pas décrit ni enregistré mais sa présence est notée à différentes profondeurs.

Les myoclonies que nous avons observées chez les deux plongeurs participant à SAGITTAIRE II ne sont pas décrites en tant que telles par les auteurs lors des autres expériences. Cependant nous pouvons noter :

- lors de PHYSALIE I, l'apparition chez R.W.B. de "fasciculations musculaires rendant les gestes saccadés".

- lors de SATURATION II, l'impression de "trémulations sur diverses parties du corps" ressentie par B.

- lors de la "1.500 feet" du RNPL la survenue chez les deux plongeurs de contractions musculaires involontaires, produisant de légères secousses ("unvoluntary muscle twitching..., producing a slight jerk") et rendant les mouvements volontaires saccadés.

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 SAGITTAIRE II 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.

- 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 SAGITTAIRE II 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'ils ne sont apparus qu'aux profondeurs extrêmes, et qu'ils n'avaient pas existé durant les épreuves de confinement précédant les expériences.

- B - Apparition et évolution -

Elles varient en fonction de différents facteurs:

. 1 . Influence de la vitesse de compression -

Elle est mise en évidence par un examen comparatif des différentes expériences:

- au cours des plongées PLC 1 et PLC 3, PHYSALIE II et PHYSALIE III (COMEX), effectuées avec une vitesse de compression élevée (12 à 2 m/mn et 6 à 2 m/mn) les altérations EEG apparaissent entre 220 et 250 mètres.

- au cours de la "1.500 feet" du RNPL, l'intensité du tremblement s'accroît notablement durant les phases de compression, pour s'atténuer pendant les paliers.

- au cours des plongées du CEMA, les perturbations sont plus précoces et plus marquées lors de SATURATION I et II (effectuées à vitesse de compression croissante) que lors de SATURATION III (où la vitesse de compression était progressivement ralentie).

- au cours de PHYSALIE V (vitesse de compression de 60 à 3,75 m/heure avec paliers isobares, le S.N.H.P. apparaît entre 300 et 350 mètres et les perturbations les plus importantes s'observent durant les deux phases de compression rapide à 1 m/mn)

- Enfin, lors de SAGITTAIRE II (vitesse de compression de 60 à 3,75 m/heure) le S.N.H.P. apparaît entre 300 et 350 mètres, et son évolution est moins sévère que lors des premières expériences PHYSALIE.

Il semble donc que l'apparition du S.N.H.P. soit d'autant plus précoce que la vitesse de compression est élevée, et son intensité d'autant plus marquée.

## . 2 . Influence de la pression-

La pression absolue semble jouer un rôle important dans l'apparition du S.N.H.P. (qui n'a jamais été observée à moins de 21 ATA, quelle que soit la vitesse de compression) comme dans son évolution, ainsi que nous l'avons constaté d'après l'influence des paliers isobares :

- au cours de SAGITTAIRE II, les troubles se sont atténués dès le troisième jour à 500 mètres pour se stabiliser à un niveau inférieur à celui atteint en fin de compression, mais encore important.

Il semblerait qu'au delà de 400 mètres les premières heures de palier isobare influencent le S.N.H.P. dans le sens d'une aggravation et que ce n'est qu'après 40 heures que l'on obtient une certaine amélioration.

## . 3 . Variations selon les sujets -

Elles avaient déjà été remarquées lors des plongées PLC (absence de troubles chez certains sujets ) et PHYSALIE III (prédominance du tremblement chez R.W.B., des troubles de la vigilance chez R.V.)

Dans les plongées à pression plus élevée, si le S.N.H.P. est retrouvé de façon constante, son apparition et son évolution diffèrent selon les sujets, avec parfois discordance entre le tremblement et la baisse de la vigilance. C'est le cas de la "1.500 feet" du RNPL où P.S. présenta les altérations EEG les plus importantes mais n'eut qu'un tremblement minime (au contraire de J.B.) et de SAGITTAIRE II ou F.H. qui tremblait plus que J.T. eut des perturbations EEG moins sévères.

-C- Régression et disparition du S.N.H.P.

Deux points sont à souligner:

l'amélioration apportée par la décompression n'est pas immédiate (persistance de troubles marqués de 500 à 350 mètres environ pour SAGITTAIRE II) - Puis l'atténuation du S.N.H.P. se fait de façon progressive, parallèlement à la diminution de pression, avec disparition dans la zone des 15 à 20 ATA.

- III - 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'intérêts:

- 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.

## S A G I T T A I R E   I I

---

### PLONGEUR F.H.

Ce plongeur présentait un tremblement initial qui a été coté 1.

- l'apparition du S.N.H.P., caractérisé par l'accentuation du tremblement initial, s'est faite dans la zone des 300 mètres (intensité 2)
- durant la compression, il y a eu aggravation progressive jusqu'à la cote 4.
- le séjour à 500 mètres a été caractérisé par la succession de deux phases :
  - . la première cotée 5, d'une quarantaine d'heures environ
  - . la deuxième, cotée 4, avec stabilisation du tremblement pendant la fin du séjours et le début de la décompression.
- durant la décompression, amélioration débutant aux environs de 350 mètres et se poursuivant régulièrement avec retour à l'état initial vers 150 mètres.

### PLONGEUR J.T.

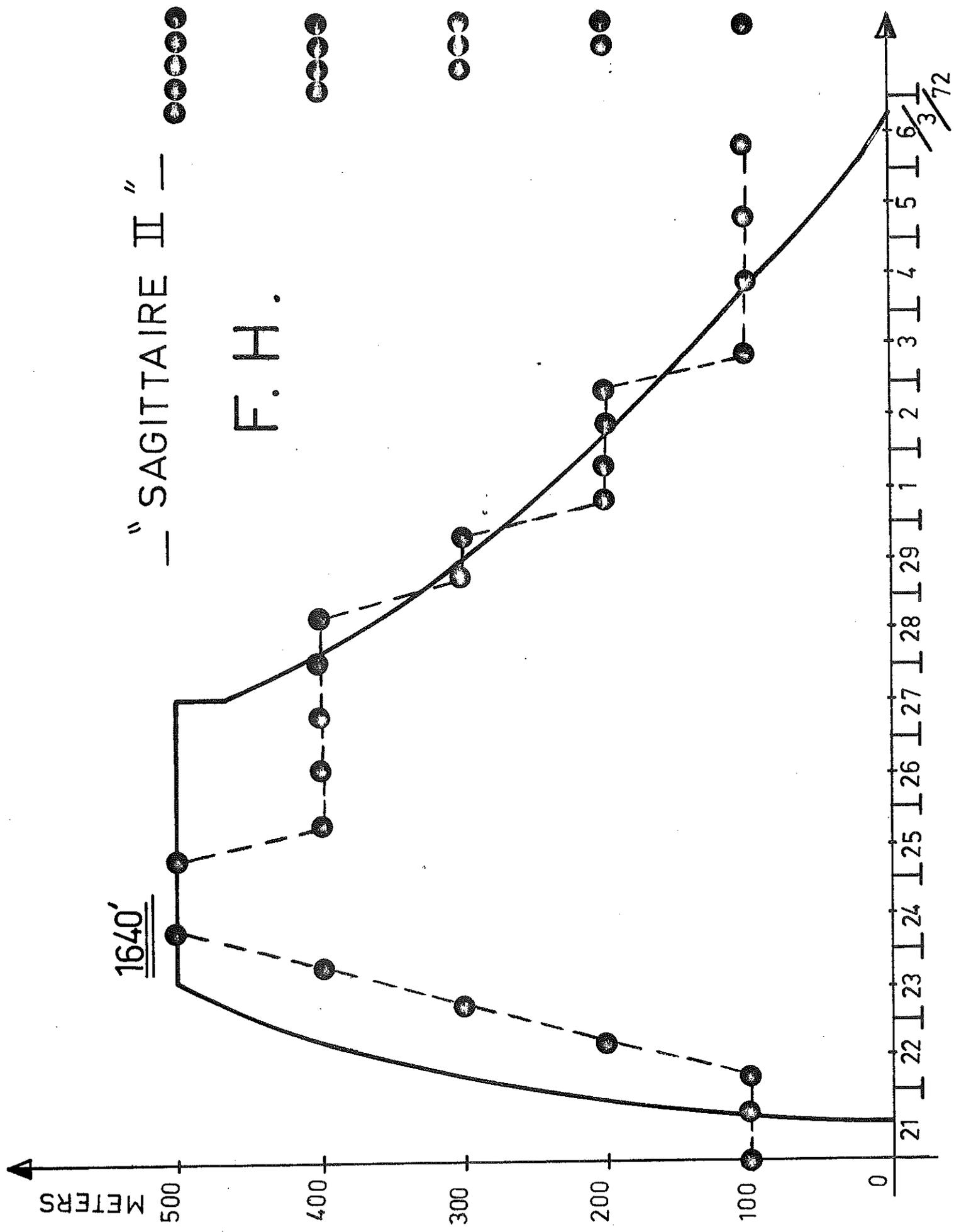
Apparu vers 300 mètres, le tremblement est resté inférieur à celui de F.H. et a suivi une évolution analogue avec:

- accentuation tout au long de la compression
- existence de deux paliers durant le séjour à 500 mètres
- disparition vers 150 mètres durant la décompression.

— " SAGITTAIRE II " —

F. H.

1640'



"SAGITTAIRE II"

J.T.

1640'

METERS

500

400

300

200

100

0

21

22

23

24

25

26

27

28

29

1

2

3

4

5

6

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

3/72

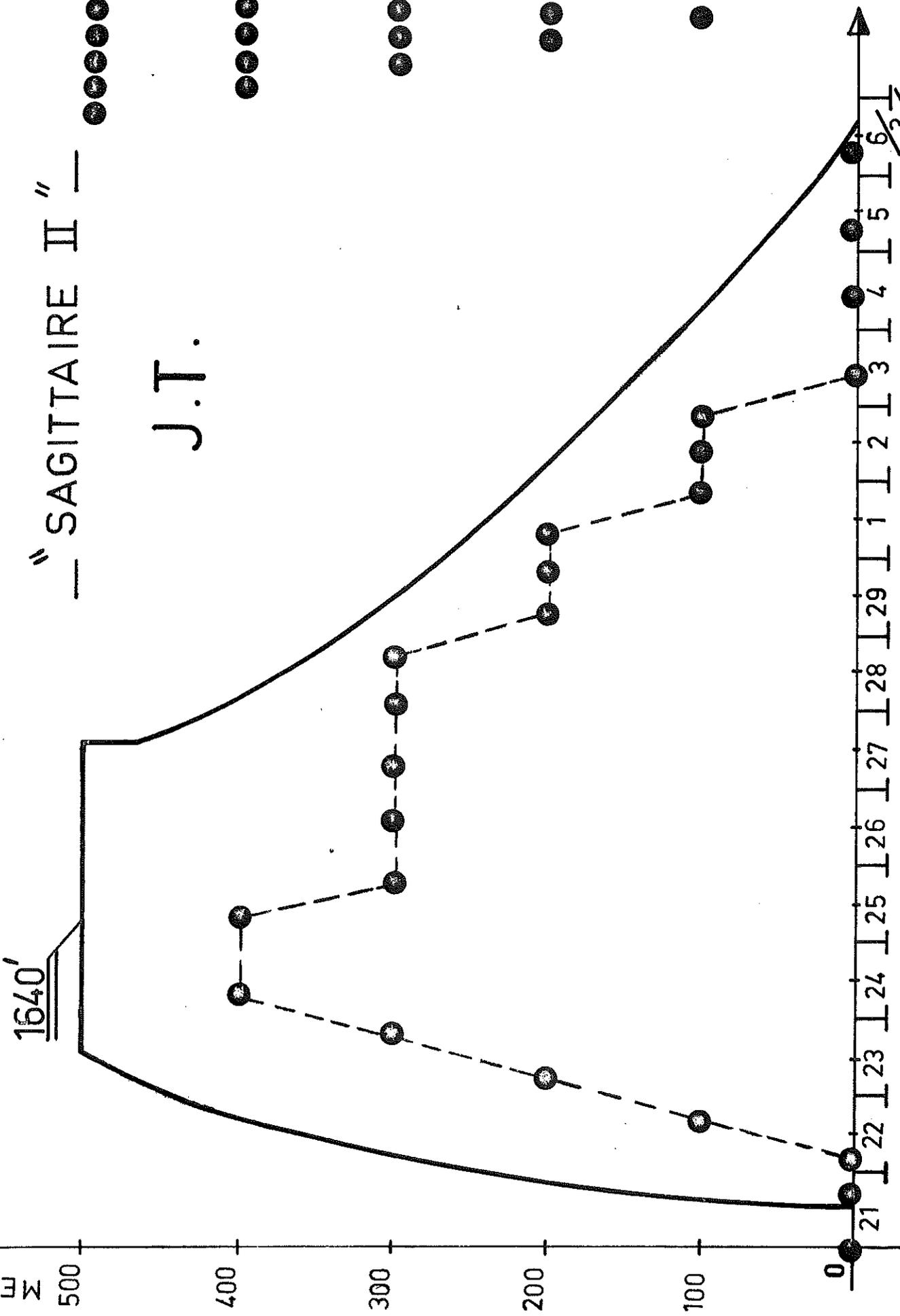
3/72

3/72

3/72

3/72

3/72



## PSYCHOMETRIE

L'étude Psychométrique a pour but de contrôler l'efficiace sensori motrice et intellectuelle des deux plongeurs pendant l'expérience, compte tenu des résultats de l'étude réalisée pendant l'expérience PHYSALIE V (- 518 mètres - Novembre 1970) et qui sont principalement :

- a) - Une détérioration des performances sensori-motrices chez les deux sujets, l'un des deux ayant également une diminution des performances intellectuelles.
- b) - Le renforcement pendant certains tests psychologiques, chez les deux plongeurs, des activités Electro-encéphalographiques lentes apparues au repos entre 350 et 420 mètres de profondeur.

Par la profondeur atteinte - 500 mètres, l'expérience SAGITTAIRE II est comparable à PHYSALIE V. Elle en diffère cependant par deux variables :

- La courbe de compression permettant d'atteindre la profondeur fictive de 500 mètres.
- La durée du séjour (4 jours à 500 mètres pour la présente expérience).

Tels sont les principaux éléments qui ont déterminé notre procédure expérimentale.

### I. DESCRIPTION DES EPREUVES

#### A. Efficiace sensori - motrice

##### 1. Temps de réaction visuel de choix (T.R.)

Nous utilisons un matériel classique avec 2 signaux rouges et verts. Le sujet a l'index posé entre 2 boutons distants de 6 centimètres.

Il doit appuyer le plus rapidement possible sur le bouton placé du côté de la lampe qui s'allume. Une série de 33 essais est délivrée selon un programme établi dans un ordre aléatoire. Nous retenons les 30 dernières mesures.

2. Dextérité manuelle (D.M.) Le sujet est placé devant une planche en matière plastique percée de 4 rangées de trous de 1 centimètre de diamètre et distants de 0,9 centimètre. A chaque extrémité est fixée 1 caissette contenant 50 cylindres métalliques ( $h = 4,4$  cm,  $d = 0,9$  cm) pouvant rentrer dans les trous de la planche. Le sujet doit placer les cylindres de sorte que l'extrémité circulaire peinte en rouge sur chaque cylindre soit visible.

Au signal, le sujet prend de la main droite (M.D.) les cylindres placés à sa gauche et les place en commençant par l'extrémité droite de la planche.

Il procède symétriquement avec la main gauche (M.G.). Nous relevons le temps mis pour placer 50 pièces et calculons le nombre de pièces placées par minute.

3. Dextérité digitale.

Le matériel est une feuille portant un quadrillage formant des carrés de 1 centimètre de côté, ce qui représente 25 lignes de 19 carrés. Le sujet doit tracer au crayon une croix en X dans chaque carré sans déborder les limites de la case. Il doit travailler le plus vite possible pendant 3 minutes. Nous calculons le nombre de cases remplies par minute et apprécions qualitativement la précision du tracé.

#### 4. Tapping

Nous utilisons une cible et un batonnet métalliques dont le contact réalise le passage d'un courant électrique qui sert à dévier le tracé d'un scripteur à plumes. Le sujet est assis et tient le batonnet dans sa main dominante il doit, sans appui de l'avant-bras, frapper le plus vite possible pendant une minute sur la cible placée horizontalement devant lui au niveau de la ceinture. Nous retenons le nombre de coups enregistrés par minute.

L'épreuve est réalisée avec deux consignes - La première insiste sur la vitesse, la seconde réclame au sujet d'être rapide et précis.

#### B. Efficiencce intellectuelle

5. Ordination de chiffres (O.C.) Le sujet doit ordonner du plus petit au plus grand des séries de 7 chiffres répartis au hasard de 0 à 9. Il travaille dix minutes et indique le niveau d'avancement de sa tâche chaque minute au signal de l'expérimentateur.

6. Code (Co) . Il s'agit du sub. test de l'Echelle de Wechsler pour adultes - (WAIS) - (I)

7. Arithmétique (Ar). Nous utilisons le Sub. test "arithmétique" de l'échelle de Wechsler pour adultes (WAIS). 2 formes parallèles ont été établies pour les besoins de répétition de l'épreuve.

Nous avons également utilisé les épreuves Mémoire logique (8, ML) et Mots couplés (9, M.C.) de l'échelle mnésique de Wechsler.

10. LE DOUBLE BARRAGE DE SIGNES (D.B.) de Zazzo est une épreuve permettant d'apprécier la discrimination perceptive en fonction de 2 critères antagonistes :

Vitesse et précision, au moyen de 2 tâches :

1. Discrimination d'un signe parmi huit
2. Discrimination de deux signes parmi 8.

L'efficacité résulte donc d'un compromis adaptatif entre deux exigences contradictoires ; Elle est appréciée à deux niveaux de complexité.

Cette épreuve est étalonnée par classe d'âge et en deux catégories Adultes (2).

Le choix des épreuves est justifié comme suit :

Les épreuves sensori motrices utilisées précédemment T.R. et D.M. sont conservées et complétées par deux nouvelles épreuves Dextérité Digitale et Tapping, afin de préciser des détériorations que nous attendons. (cf. Hypothèse 1, § 2).

A l'épreuve d'ordination de chiffres qui s'avère très adaptée pour ce type d'expérience, et qui produit un renforcement des activités Electro-encéphalographiques lentes, nous avons adjoint une tâche de discrimination perceptive et quatre épreuves d'efficacité intellectuelle verbale.

- (1) - David Wechsler - La mesure de l'intelligence de l'Adulte - PARIS - 1967 - PUF.
- (2) - René Zazzo - Manuel pour l'Examen Psychologique de l'Enfant - NEUCHÂTEL 1960 - Delachaux et Niestlé.

.../...

Notre but est d'analyser la structure de la tâche qui provoque le renforcement des activités E.E.G. lentes, phénomène que nous attendons (Hypothèse 2), qu'il y ait ou non diminution des performances. Les résultats de PHYSALIE V ont montré une détérioration de l'efficacité intellectuelle seulement chez l'un des deux sujets, alors que le renforcement des activités E.E.G. lentes et systématiques chez les deux sujets pendant l'épreuve d'ordination de chiffres.

2. LA PROCEDURE EXPERIMENTALE - est établie à partir de deux hypothèses relatives aux manifestations du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions (S.N.H.P.), et compte tenu de la possibilité de reculer la limite d'apparition de ces manifestations par la vitesse et le type de compression adopté.

HYPOTHESE 1. Nous supposons qu'entre 350 et 500 mètres, les performances sensori-motrices des deux sujets doivent diminuer, cette diminution pouvant être moins importante qu'au cours de l'expérience PHYSALIE V.

HYPOTHESE 2. Nous supposons qu'indépendamment des variations de performance, les épreuves d'efficacité intellectuelle peuvent faire apparaître un renforcement des activités électro-encéphalographiques lentes qui apparaissent chez les sujets entre 350 et 400 mètres, et se renforcent en fréquence et en intensité à 500 mètres. Nous voulons comparer l'effet des différentes tâches psychologiques sur ce paramètre neuro-physiologique.

Deux séries de contrôle et huit séries expérimentales ont été réalisées conformément aux indications présentées au tableau 1. La composition de chaque série tient compte de la possibilité de répétition d'une même épreuve qui est souhaitable (ordination des chiffres) possible (dextérité manuelle) ou limitée (épreuves d'efficacité intellectuelle, ordination de chiffres exclues).

Un intervalle de II jours sépare la 2ème série de contrôle de la 1ère série expérimentale, .../...

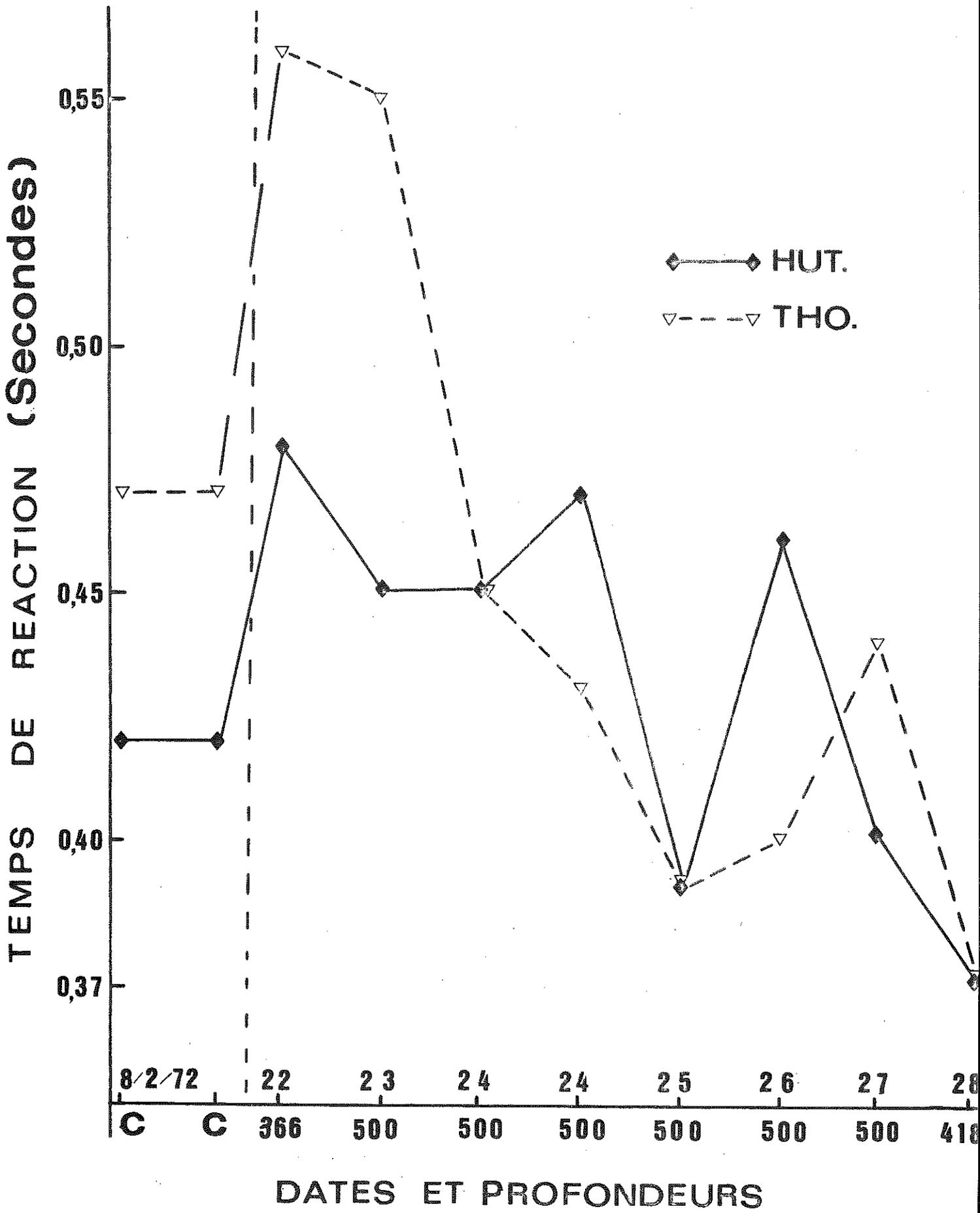


3. PRINCIPAUX RESULTATSTemps de réaction visuel de choix

Nous utilisons la Médiane (Med) comme indice de tendance centrale et l'Ecart Quartile (E.Q.) comme indice de dispersion. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous et représentés sur graphique.

	H UT	T H O
C <sub>I</sub> 8.2.	38 - 42. 47 (9)	40 - 47 - 59 - (19)
C <sub>2</sub> II.2.	37 - 42 47 (10)	41 47 61 (20)
22.2. - 366	42. 48. 57 (15)	48 56 68 (20)
23.2. 500M.	41 45 50 (9)	48 55 65 (17)
24.2. (IIH.) -500	42 45 48 (6)	41 45 65 (24)
24.2. (I7H.) -500	40 47 60 (20)	37 43 58 (21)
25.2. - 500	36 39 43 (7)	36 39 43 (7)
26.2. - 500	40 46 52 (12)	37 40 43 (6)
27.2. - 500	35 40 45 (10)	39 44 65 (27)
28.2. - 418	36 39 45 (9)	33 37 40 (7)

T. R. Quartiles et Médiane des distributions de 30 mesures. La valeur médiane est soulignée. L'écart quartile (Qs-Qi) est indiqué entre parenthèses.



DATES ET PROFONDEURS

- a. Les valeurs enregistrées pour chaque sujet sont stables aux deux tests de contrôle.
- b. Chez les deux sujets, une diminution de la performance apparaît à la descente à 366 mètres, et se maintient à 500 mètres. Cette diminution de performance apparaît par un accroissement de la valeur médiane du T.R. avec augmentation de la dispersion chez un des deux sujets. Calculée sur les valeurs médianes, cette augmentation du T.R. est de 19 % chez l'un et de 14 % chez l'autre. Cette diminution de performance est donc sensible mais légère.
- c. L'évolution des performances pendant le séjour à 500 mètres est différente chez les deux sujets.

Chez Huteau, les performances des 2 premières journées et de la 4ème journée à 500 mètres (23, 24 et 26-2) restent supérieures aux performances contrôle réalisées en surface. Il faut noter la très grande dispersion des performances (qui est un indice d'irrégularité) de la série réalisée le 24, 2 à 17 heures.

Les performances des 3ème, 5ème jours (- 500 mètres) et du 6ème jour (- 418 mètres) sont dans l'ensemble supérieures aux performances de contrôle.

Chez Thollas, dès le 1er jour à 500 mètres, la performance estimée par la médiane est redevenue comparable aux valeurs de contrôle. Il faut noter toutefois que la dispersion reste supérieure, la valeur du quartile supérieur (65) étant comparable aux valeurs obtenues pendant la compression.

..../...

A partir du 2ème jour à 500 mètres, les performances sont tout à fait comparables aux valeurs de contrôle, et dès le 3ème jour, elles font même apparaître une amélioration incontestable, exception faite du dernier jour à 500 mètres où les performances redeviennent très irrégulières.

Malgré ces différences, l'amélioration des performances durant le séjour à 500 mètres relativement aux valeurs de contrôle, pose le problème d'un effet d'apprentissage et montre la nécessité de plus grandes précautions méthodiques pour pouvoir répéter un grand nombre de fois l'épreuve à des intervalles courts. Remarquons toutefois que cet apprentissage qui concerne l'ordre d'apparition des signaux n'a pu se réaliser que du fait de la bonne condition des sujets.

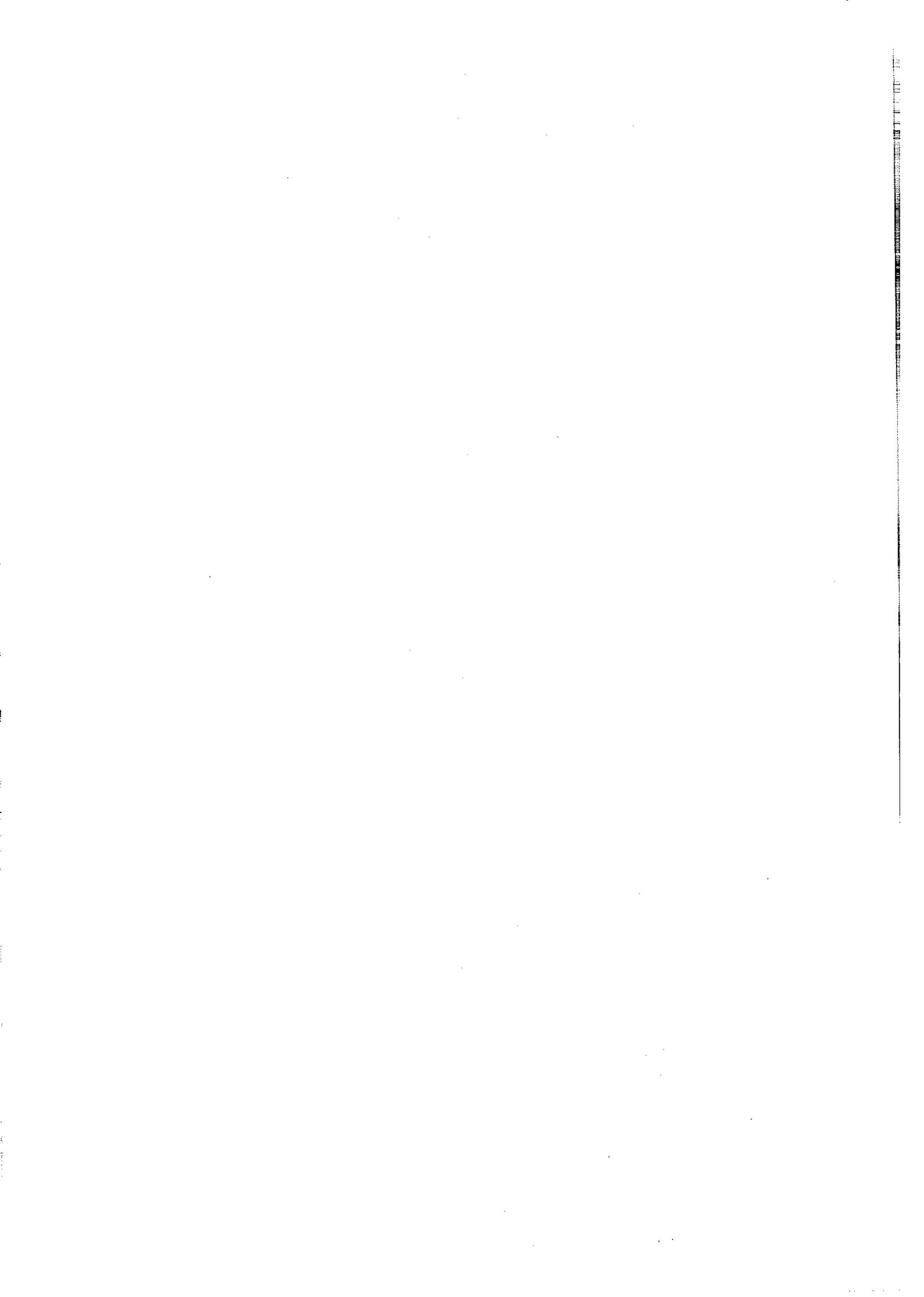
Dextérité manuelle - Nous retenons le nombre de pièces correctement placées par minute, de la main droite, de la main gauche et le total des pièces ainsi placées des 2 mains.

Les résultats globaux (total des deux mains) sont visualisés au graphique 2.

- a - Les performances initiales des deux sujets aux épreuves de contrôle sont sensiblement comparables. La performance moyenne contrôle est de 61 pour les deux sujets. Entre les deux contrôles les variations sont faibles chez HUT (+1) et plus importantes chez THO (-4).
- b - La performance moyenne calculée sur les 7 séries expérimentales montre une diminution de la performance chez les 2 sujets, soit :

$$\frac{(61 - 56) 100}{61} = - 8,20 \% \text{ chez Huteau}$$

$$\frac{(61 - 52) 100}{61} = - 14,75 \% \text{ chez Thollas}$$



Date	Profondeur	HUT			THO		
		M.D.	M.G.	Total	M.D.	M.G.	Total
8.2.	0	33.	30	(63)	27	34	(61)
11.2.	0	29.	30	(59)	31	31	(62)
22.2.	- 366	27.	29	(56)	25	26	(51)
23.2.	- 496	28.	27	(55)	24	27	(51)
24.2.	11 H. - 500	28.	27	(55)	24	26	(50)
25.2.	17 H. - 500	30.	28	(58)	26	28	(54)
27.2.	- 500	27.	27	(54)	25	27	(52)
28.2.	- 418	27.	30	(57)	27	29	(56)
29.2.	- 320	27.	30	(57)	28	27	(55)

Graphique 2 -

- c - Le graphique 2 montre que la performance la plus faible est observée chez les 2 plongeurs, à la profondeur de 500 mètres : Thollas le premier jour où cette profondeur est atteinte et le 5ème et dernier jour, à cette profondeur, chez Huteau.
- d - A partir du cinquième et dernier jour à 500 mètres et pour les 2 tests effectués à la remontée, les performances des 2 sujets redeviennent sensiblement équivalentes et toujours inférieures aux performances de contrôle.
- e - En conclusion, la diminution de performance est manifeste chez les deux plongeurs. Elle est plus importante et plus précoce chez Thollas

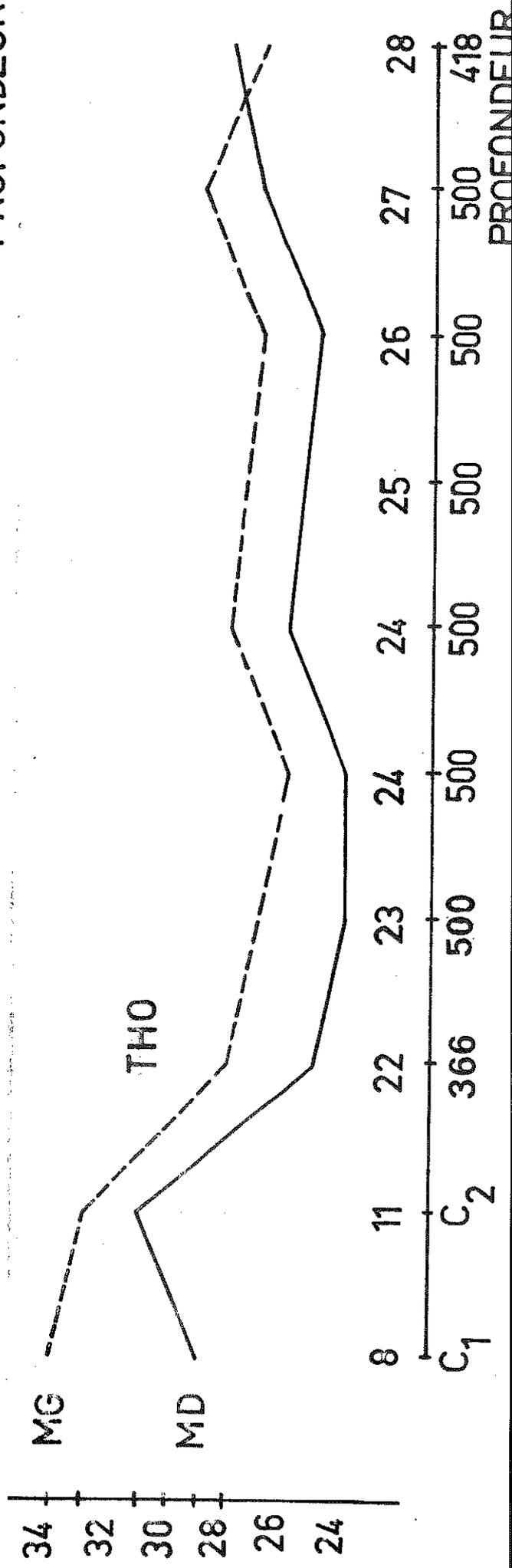
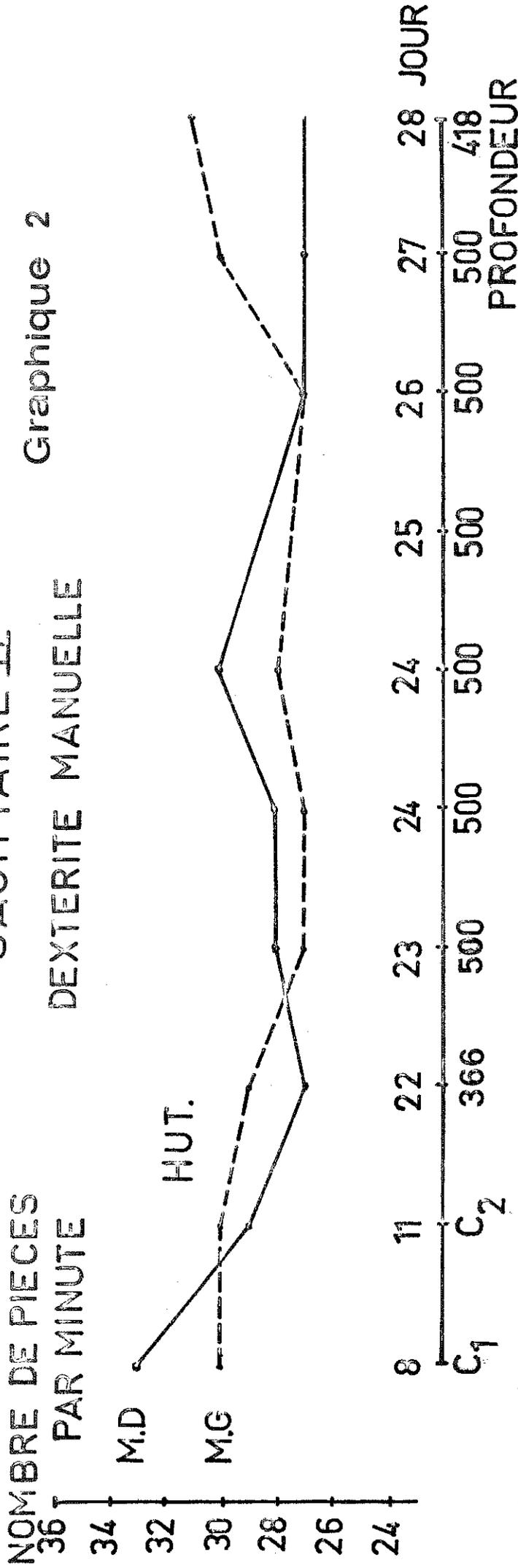
Dextérité Digitale - Nous comptons le nombre de cases remplies par minute.

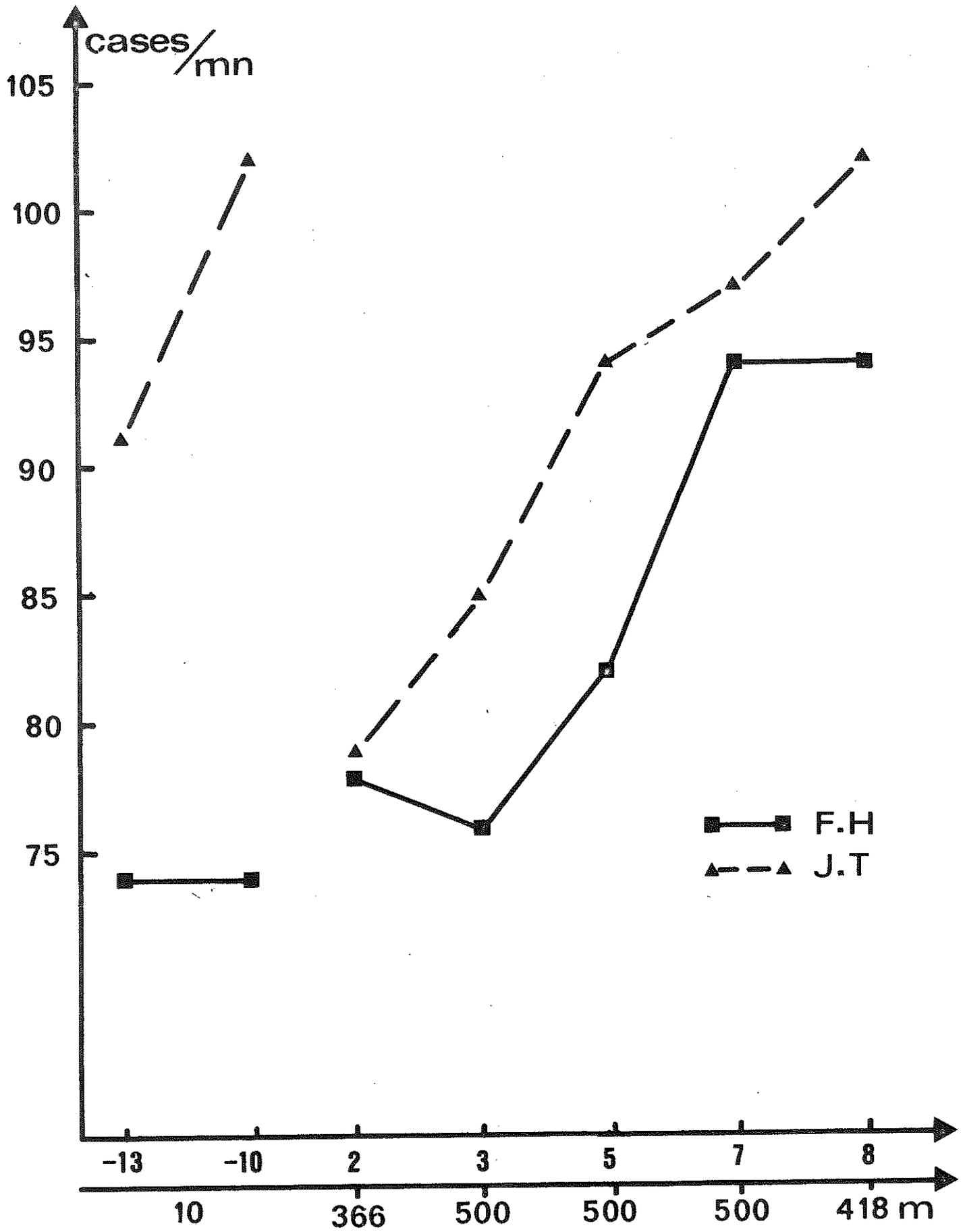
Date	Profondeur	Huteau	Thollas
8. 2.	0	74	91
11.2.	0	74	102
22.2.	366	78	79
23.2.	500	76	85
25.2.	500	83	94
27.2.	500	94	97
28.2.	418	94	102

# SAGITTAIRE II

## DEXTERITE MANUELLE

Graphique 2





Graphique 3 Dexterité digitale

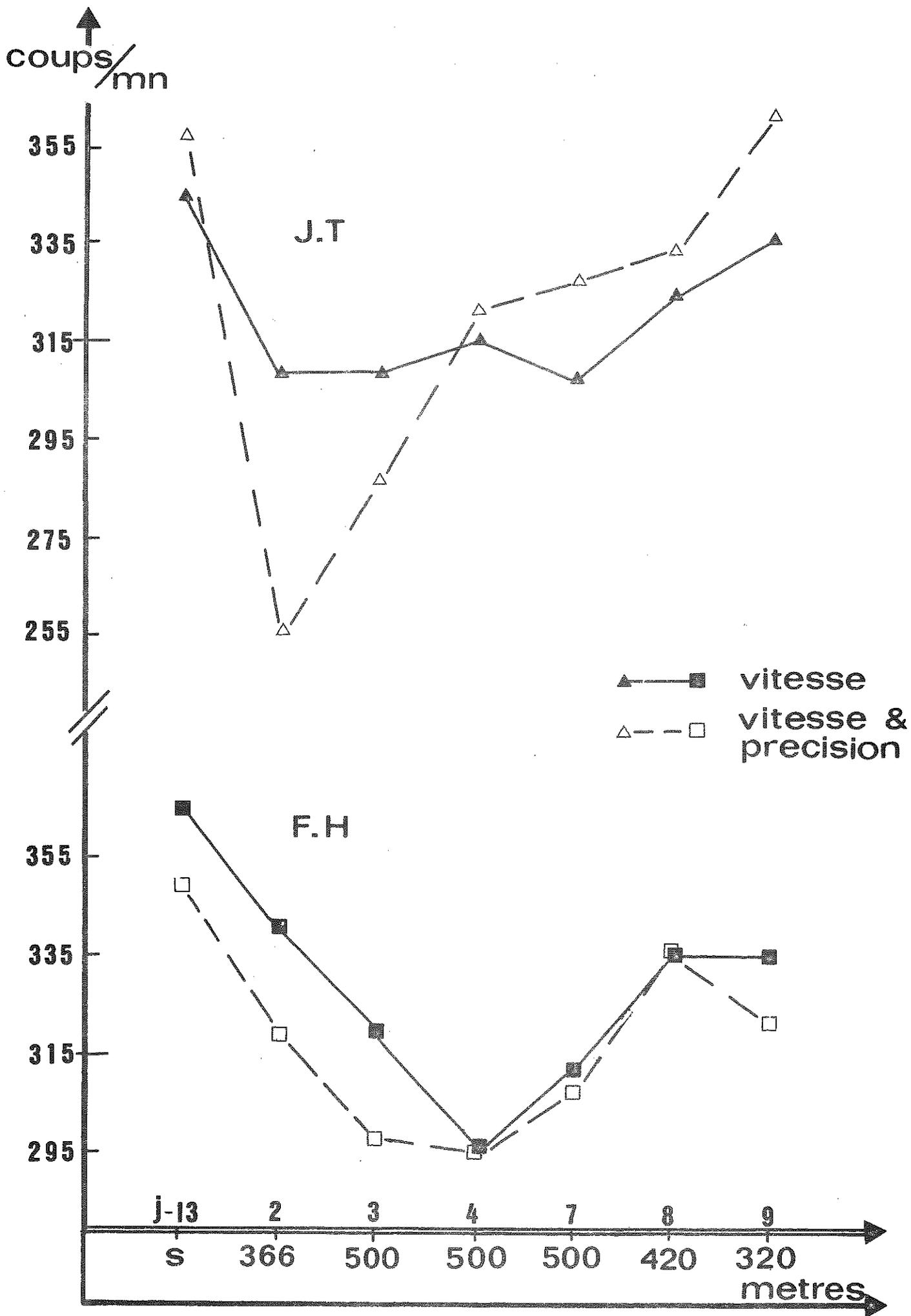
Chez Huteau : Relativement aux contrôles la performance se maintient en début d'expérience pendant la compression et s'améliore dès la moitié du séjour à 500 mètres, réalisant finalement un accroissement de 27 %.

Chez Thollas : Nous enregistrons en début d'expérience (le 22 à - 366 mètres) une diminution de la performance, de 13 % par rapport au 1er contrôle et 23 % par rapport au second, suivie d'une lente remontée jusqu'à récupération de la performance initiale.

Le comportement des sujets est donc sensiblement différent dans cette tâche mettant en jeu la motricité fine. Il faut toutefois insister sur la différence des performances initiales des deux sujets.

Tapping - Nous retenons le nombre de coups enregistrés par minute avec les 2 consignes - Le 1er chiffre est le résultat avec la consigne vitesse, le second avec la consigne vitesse et précision, le troisième étant la moyenne des deux premières.

Date	Profondeur	Huteau			Thollas		
		V	V+P	mo	V	V+P	mo
11.2.	0	366	- 349	- 356	345	357	- 351
22.2.	366	341	- 319	330	309	257	283
23.2.	500	320	298	309	309	287	298
24.2.	500	295	295	295	316	322	319
27.2.	500	312	309	310	308	328	318
28.2.	418	336	336	336	325	334	329
29.2.	320	336	322	329	336	361	348



Graphique .4 Tapping

../...

a. Globalement (valeurs moyennes) nous enregistrons chez les deux sujets une baisse de performance pendant l'expérience.

Chez Huteau, la baisse de performance est continue sur les 3 premiers jours, elle est maximale en fin de compression c'est-à-dire à l'arrivée à 500 mètres où elle atteint  $\frac{(356 - 295) \times 100}{356} = 17,10 \%$

Le niveau de performance reste sensiblement identique à la fin du séjour à 500 mètres (27.2.)

Il s'améliore à la remontée 418 et 320 mètres tout en restant inférieur aux valeurs de contrôle.

Chez Thollas, la baisse de performance est plus rapide puisqu'elle atteint 19 % à 366 mètres, et moins persistante puisqu'elle est inférieure à 10 % à 500 mètres.

A la remontée, la performance à 320 mètres est comparable à la performance de contrôle.

b. Les résultats représentés au graphique 4 montrent les différences de performance aux deux types de tâches. Celles-ci étant réalisées successivement, il faut considérer l'effet de la première (vitesse) sur la seconde (vitesse + précision) c'est-à-dire le phénomène du transfert d'apprentissage en interaction avec la fatigue et l'effet relativement inhibiteur de la consigne précision.

La performance V+P est inférieure aux performances V aux deux premiers tests de la série expérimentale, et devient égale ou supérieure aux tests suivants.

Par ailleurs, les écarts (en plus ou en moins) entre performance V et performance V+P sont nettement plus importants chez Thollas que chez Huteau. Il semble que les effets de fatigue en situation expérimentale se combinent avec les comportements différents des sujets pour réaliser la tâche.

../..

Les tests de contrôle montrent que la performance de Thollas en consigne vitesse est paradoxalement inférieure à celle réalisée avec la consigne vitesse + précision. Nous supposons que le sujet n'est pas influencé par l'effet normalement inhibiteur de la consigne précision cette stratégie se retrouve aux quatre derniers tests de la série expérimentale. Il semble que la fatigue due à la compression est responsable de l'inversion des scores ( $V > V+P$ ) aux tests réalisés à 366 et 500 mètres.

Par contre, la stratégie initiale de Huteau rend la performance globale moins sensible aux effets de fatigue dus à la compression.

Ordination de chiffres. Nous retenons pour chaque série de 10 minutes, le nombre moyen de chiffres correctement ordonné par minute. Les résultats sont présentés au tableau ci-dessous et représentés au graphique 5.

Test (	Profondeur: 0	0	366	500	500	500	500	418
Date	8.2	11.2	22.2	23.2	24.2	25.2	27.2	28.2
Huteau	: (21)	: (28)	: (24)	: (16)	: (21)	: (14)	:	: (14)
	: 36,5	: 38,5	: 34,3	: 34,6	: 32,2	: 33,6	: 32	: 35,7
Thollas	: 47,4	: 60,1	: 61,6	: 47,6	: 55,1	: 51,1	: 47	: 56
	: (28)	: (49)	: (60)	: (35)	: (21)	: (32)	:	: (28)

O.C. Moyenne sur 10 minutes

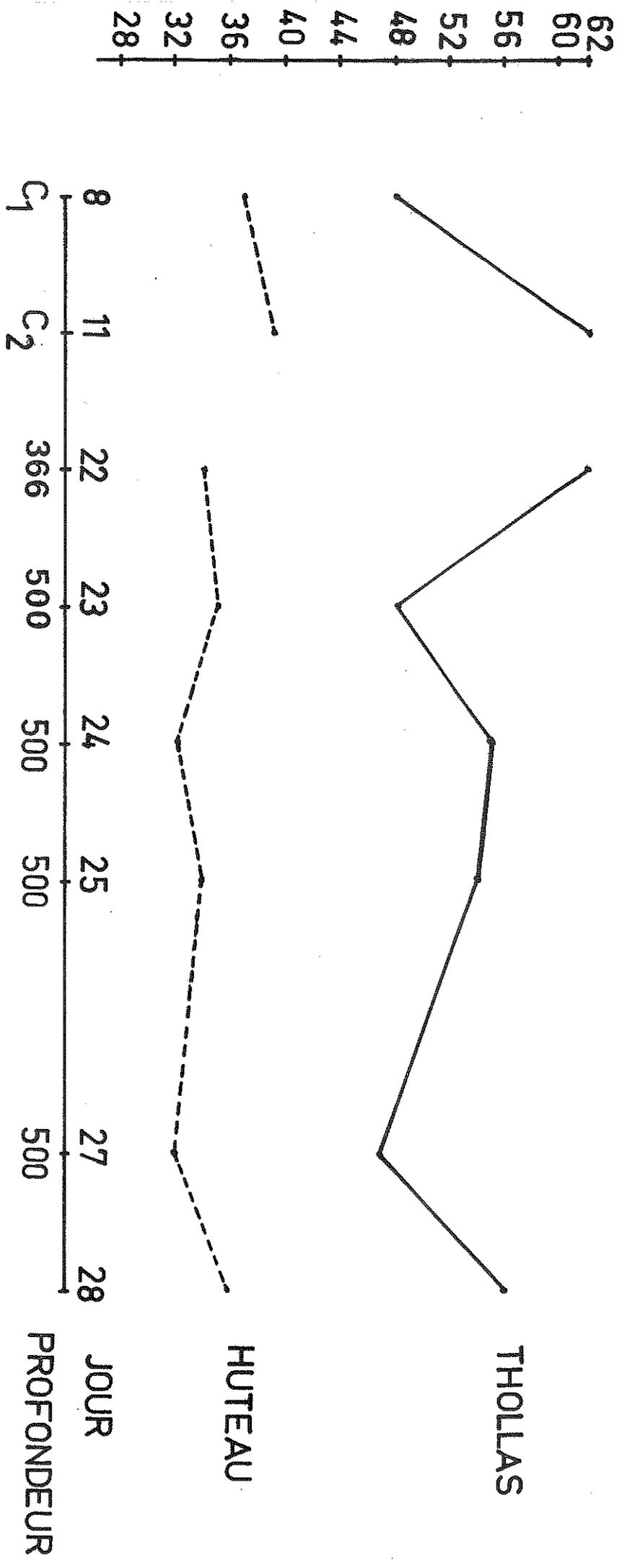
(écart maximum entre les performances obtenues à chacune des 10 minutes).

Il s'agit d'une épreuve dont la répétition doit entraîner un effet d'apprentissage.

Chez Huteau : Les deux tests de contrôle représentent le plateau initial de la courbe classique (enS) d'apprentissage, celui-ci n'apparaît pas dans les conditions expérimentales, où nous enregistrons des performances assez constantes (courbe plate) qui sont à 500 mètres inférieures de 13 % aux valeurs de contrôle.

Tout se passe donc comme si les conditions expérimentales empêchaient l'apprentissage.

NOMBRE DE CHIFFRES  
ORDONNES PAR MINUTE



SAGITTAIRE II ORDINATION DE CHIFFRES

Graphique 5

../..

Chez Thollas un apprentissage très net de 21 % est réalisé entre le premier et le second test de contrôle. Ces valeurs contrôle sont donc à repérer comme la partie ascendante de la courbe en S.

Le premier test de la série expérimentale à - 366 mètres montre une performance (61,6) légèrement supérieure à celle du deuxième test de contrôle (60), mais le test suivant à 500 mètres montre une performance inférieure de 21 % environ qui ramène le sujet au niveau de la performance du premier test de contrôle.

Les tests suivants oscillent entre les valeurs de 47 et 56 restant toujours inférieures au moins de 7 % aux valeurs obtenues au deuxième contrôle et au premier test à 366 mètres (60).

Donc l'apprentissage pourtant commencé ne se poursuit pas, les oscillations de performance de la série expérimentale ( dents de scie) reflétant que les possibilités d'apprentissage du sujet sont contrariées par les conditions expérimentales.

En conclusion, nous constatons donc chez les deux plongeurs, l'absence de l'apprentissage normalement attendu.

6. Code. Les performances de Huteau sont stables, Thollas réalisant le 4<sup>e</sup> Jour à 500 mètres I performance inférieure à celle du 1<sup>er</sup> jour à 500 mètres.

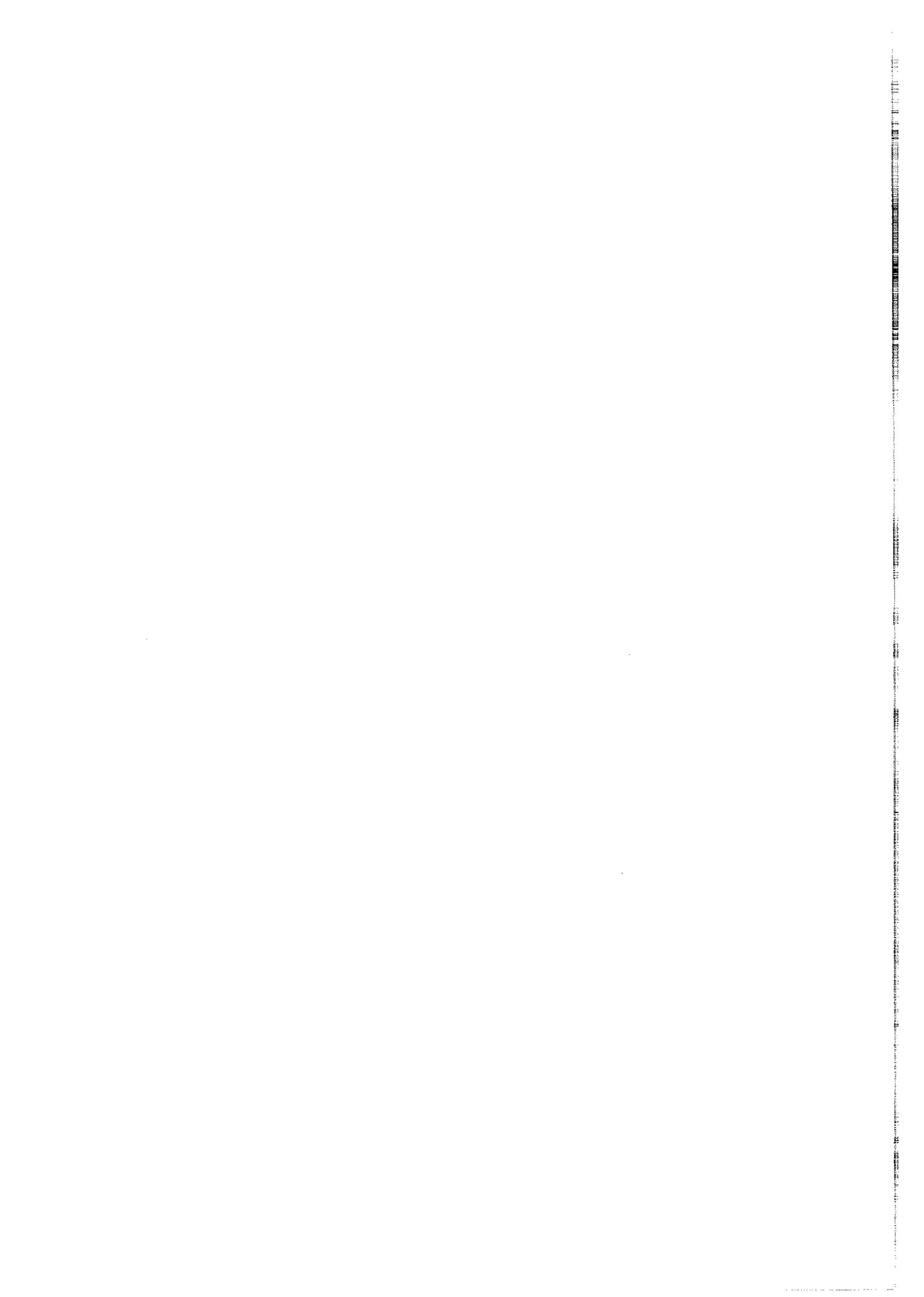
7. 8. 9. - Calcul, mémoire logique et mots couplés.

Les performances des 2 sujets aux 2 tests de la série expérimentale (cf Tableau I) sont stables et comparables aux valeurs des tests de contrôle.

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

$V_1$	vitesse au barrage d'un signe	)	Nombre de signes examinés par minute.
$V_2$	vitesse au barrage de 2 signes	)	

../..



In<sub>1</sub> indice d'inexactitude au barrage d'un signe.  
 In<sub>2</sub> indice d'inexactitude au barrage de deux signes

R<sub>1</sub> Rendement au barrage d'un signe  
 R<sub>2</sub> Rendement au barrage de deux signes

QV quotient des vitesses  
 QR quotient des rendements

		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	In <sub>1</sub>	In <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Q <sub>v</sub>	Q <sub>r</sub>
Huteau	8.2 0 m	200	85	4,7%	6,4%	242	189	85	78
	24.2 500m	205	108	2,4%	14 %	250	215	105	84
Hollas	8.2 0 m	250	106	2,4%	8,4%	305	229	84	75
	24.2 500m	226	107	3,2%	8 %	271	230	94	84

L'intervalle temporel entre test et retest est de 16 jours. Zazzo pour un intervalle de un mois trouve une fidélité des mesures allant de r = .42 à r = .75 selon les indices.

Nous tiendrons compte des remarques de l'Auteur pour apprécier les variations que nous enregistrons.

Huteau . Sur la tâche simple le rendement reste bon en étant légèrement inférieur au rendement du test. En effet, il y a plus d'inexactitude à vitesse égale.

Sur la tâche complexe, le rendement est amélioré au retest où le sujet est nettement plus rapide mais sacrifie la précision.

La vitesse de base reste constante.

Le quotient de vitesse est amélioré du fait de l'accroissement de la vitesse  $V_2$ .

La précision de bonne (++) devient moyenne (+-).

Le rendement à chaque test et le quotient des rendements est amélioré car les erreurs du sujet sont plus le fait de mauvaises réponses additionnelles que d'omission.

La performance du sujet en retest s'avère donc améliorée du fait d'une nouvelle stratégie et d'un meilleur rendement obtenu sur la tâche complexe.

Thollas . Sur la tâche simple, le rendement diminue au retest : de bon, il devient moyen. En effet, on observe une diminution de la vitesse et un plus grand nombre d'erreurs.

Sur la tâche complexe, les performances sont inchangées.

Il peut paraître étonnant qu'au total, le retest montre une amélioration du quotient des vitesses et des rendements, ceci traduit une plus grande homogénéité des performances relativement à l'hétérogénéité qui caractérise les performances initiales du sujet.

Nous retenons qu'en situation expérimentale, le sujet est moins rapide qu'en situation de contrôle.

#### IV - Conclusions -

I. Nous résumons nos résultats dans le tableau ci-dessous, où figurent, les diminutions de performances estimées en pourcentage observées en situation expérimentale.

	HUTEAU	THOLLAS
T. R.	14 %	19 %
D. M.	8,20 %	14,75 %
D. D.		6 %
TAPPING	17,10 %	19 %
O. C.	12,20 %	Absence d'appren- tissage
CODE		19 %
D. B.		Vitesse

I. Nous observons une diminution des performances sensori motrices chez les deux plongeurs. Cette altération des performances est moins importante chez Huteau que chez Thollas chez lequel elle reste toutefois inférieure à la détérioration observée au cours de Physalie V (120 % au T. R. et 20 % en D.M.)

Ce résultat peut être mis en relation avec la courbe de compression utilisée pour Sagittaire II.

Les très faibles variations de la Dextérité digitale lorsqu'elles apparaissent, ne peuvent être responsables des diminutions de performances observées avec les tests papier crayon (O.C., Code D.B.)

## 2. Efficience intellectuelle.

Chez les deux plongeurs les conditions expérimentales empêchent la réalisation d'un apprentissage à l'Epreuve d'ordination de chiffres.

Chez Thollas, on observe en outre, une baisse de performance au code et une diminution de la vitesse de discrimination perceptive.

Les résultats à ces tests papier crayon prennent toute leur signification si l'on tient compte que la dextérité digitale n'est pas du tout altérée chez Huteau et l'est très faiblement chez Thollas.

L'efficienc

e intellectuelle est également mieux conservée chez Huteau que chez Thollas.

3. Nos résultats montrent donc une différence certaine des effets de la situation expérimentale sur les deux sujets (différence inter individuelle). Du point de vue psychométrique, ces effets restent sensiblement moins importants que pendant Physalie V. Nous pensons que cette différence correspond à la différence entre les deux situations expérimentales et met en évidence l'influence de la courbe de compression pour reculer la limite d'apparition du SNHP.

4. Les relations entre épreuves psychométriques et les données électro-encéphalographiques seront traitées ultérieurement.

COMPORTEMENT CARDIO-VASCULAIRE  
REACTIONS AU TRAVAIL MUSCULAIRE GENERAL

---

Notre but était de faire réaliser un travail nettement plus éprouvant que lors de SAGITTAIRE I, malgré la profondeur supérieure et l'espace vital beaucoup plus réduit (3,8 m<sup>3</sup>).

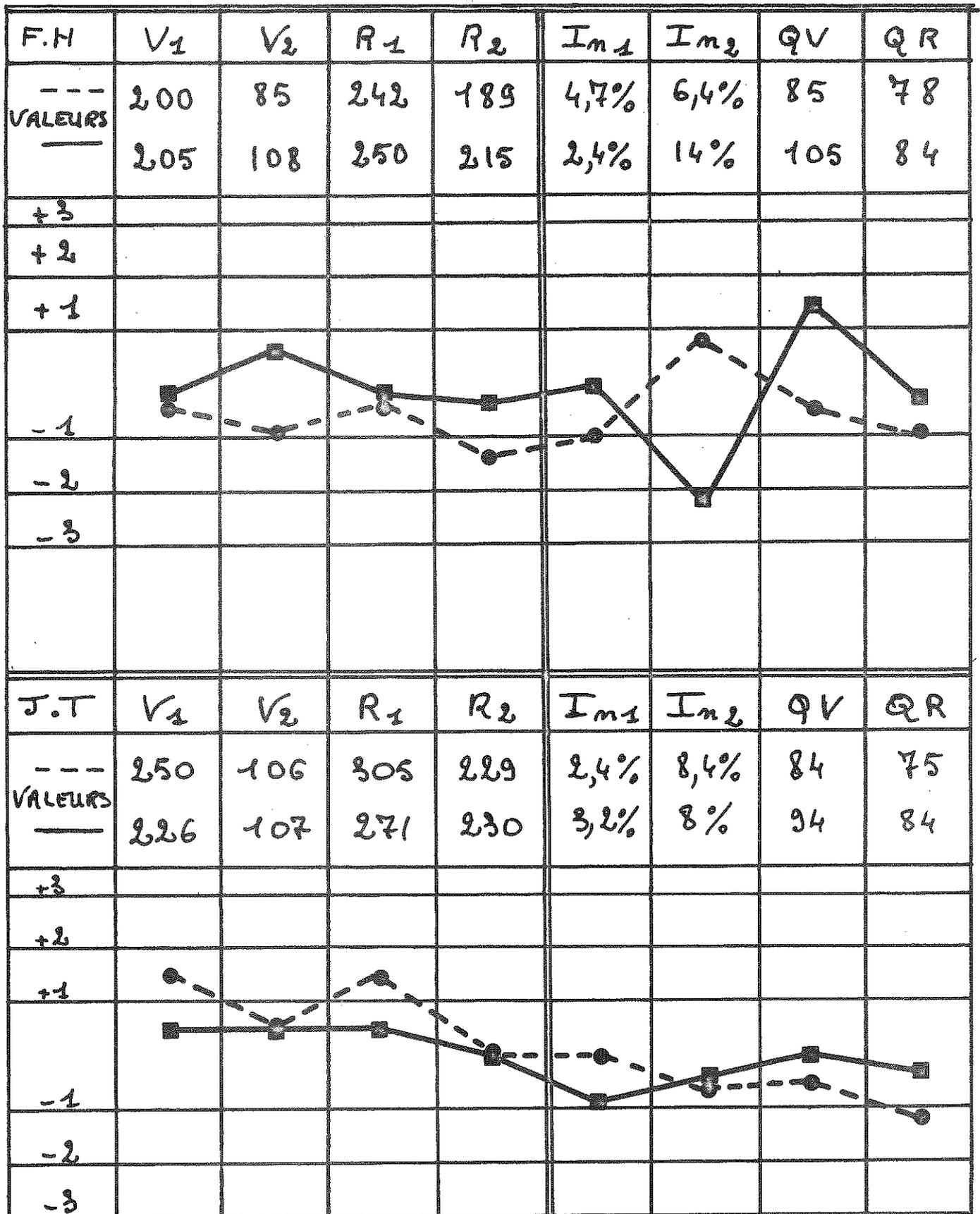
C'est ainsi que nous avons envisagé le pédalage couché sur le dos. Le dispositif choisi est un pédalier entraînant un frein multidisques réglable dont le serrage est maintenu par des ressorts.

Un blocage définitif des réglages est verrouillé au début de l'expérience, devant nous garantir la constance du travail demandé et donc une valeur comparative entre les épreuves à défaut d'une évaluation exacte en valeur absolue du nombre de watts développés.

La position couchée peut être considérée comme favorable aux mesures, car le volume d'éjection systolique cardiaque est alors déjà très voisin du volume systolique à l'effort (sauf pour des efforts très importants où il s'élève encore notablement).

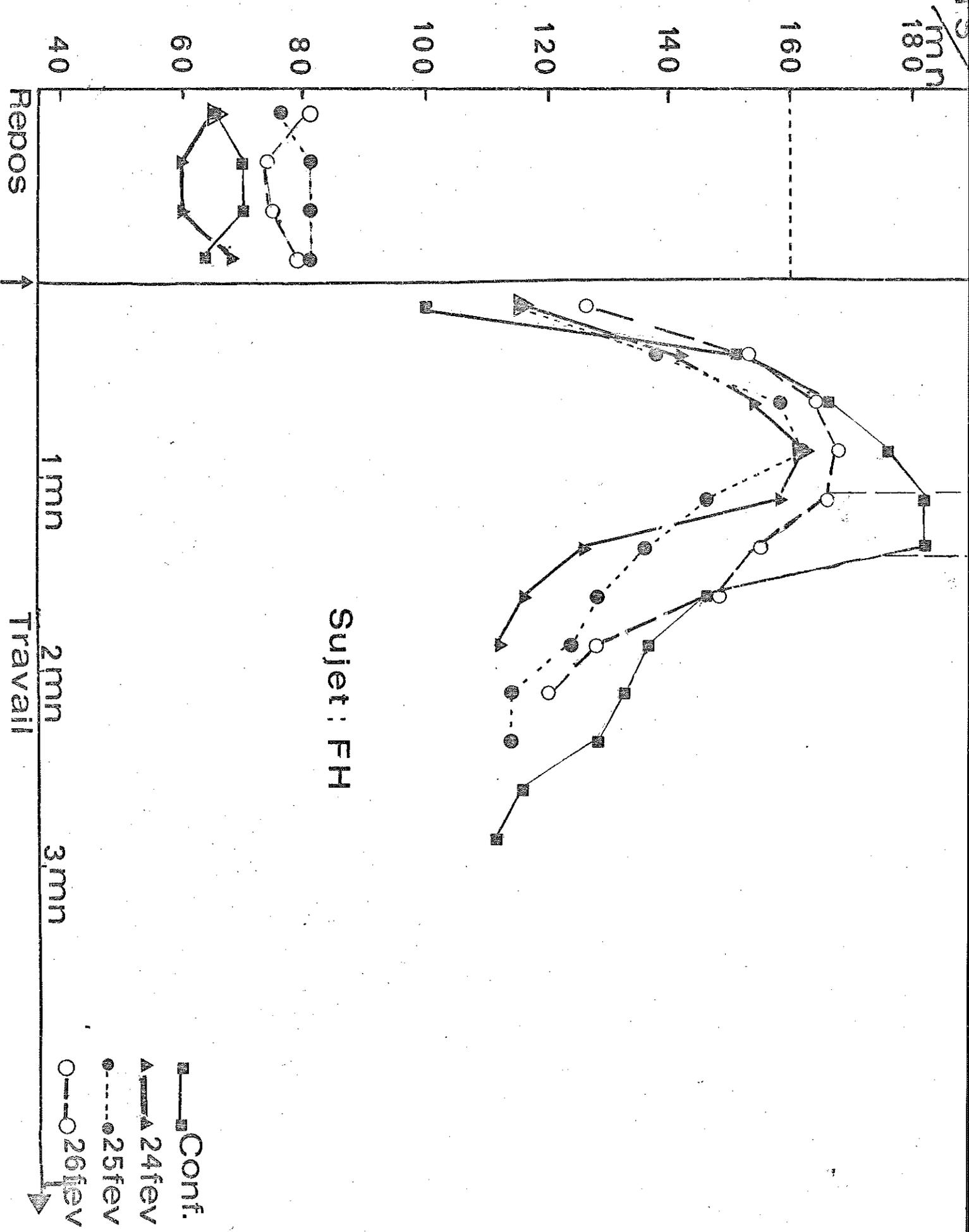
Plutôt que de calibrer l'épreuve en durée imposée, nous avons choisi de la limiter par une fréquence cardiaque maximale qui nous montrerait le temps nécessaire pour chaque sujet, en fonction des conditions ambiantes, pour arriver à un certain degré d'adaptation cardiaque.

La puissance du travail, par comparaison des fréquences cardiaques et des impressions subjectives lors d'épreuves sur ergomètre en laboratoire, a été estimée à 140 watts.



Graphique 10 Double barrage de signes

- SAGITTAIRE II -



L'incertitude des conditions d'inocuité de l'épreuve d'effort à 500 mètres, nous empêchait d'adopter la fréquence cardiaque limite à l'air libre donnée par la formule classique :

$$f_c \text{ limite} = 220 - (\text{âge})$$

qui nous aurait conduit à une valeur proche de 200/ minute jugée bien trop dangereuse.

Nous avons donc choisi de stopper l'épreuve à 160 cycles par minute .

#### RESULTATS

Le comportement à l'effort des deux plongeurs s'est révélé très différent, malgré l'identité du recrutement et de l'âge.

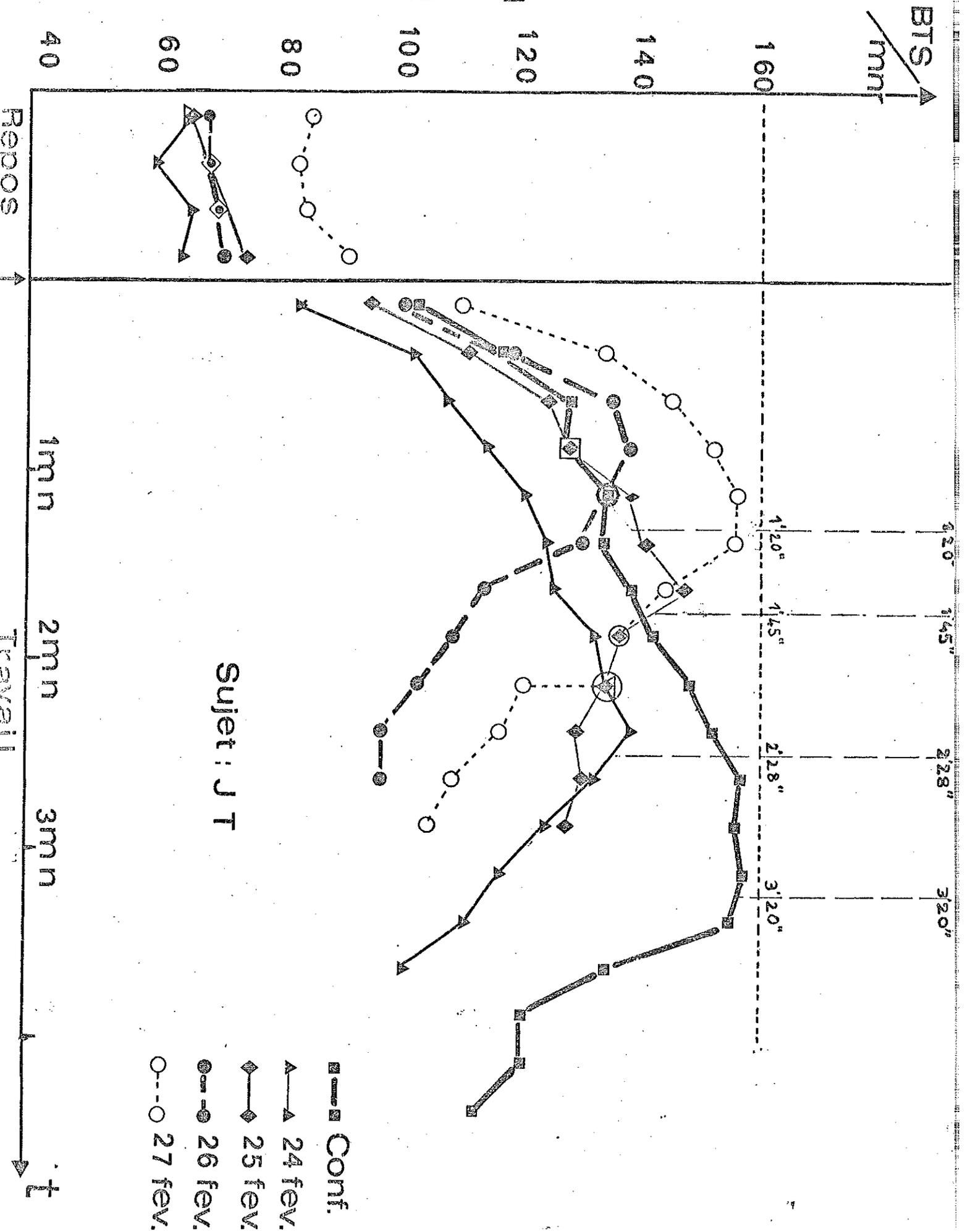
F.H. : en parfaite santé, présente une adaptation à l'effort très moyenne.

Devant la difficulté de l'effort demandé, la fréquence cardiaque s'élève très rapidement, et on doit faire stopper le travail après environ une minute. Tout essai de prolongation se solde par un dépassement de la fréquence limite imposée, alors que le plongeur ne demande qu'à poursuivre l'épreuve.

J.T. : présente, au contraire, une très bonne adaptation à l'effort. C'est ainsi que sa fréquence cardiaque est toujours restée au-dessous de 160 / minute lors des efforts les plus prolongés.

En conséquence, ce n'est pas nous qui l'avons stoppé, mais son épuisement. Chez ce sujet, il s'agissait d'une épreuve maximale dont l'observation était pour nous, de ce fait, bien plus intéressante.

SAGITTAIRE II



Pour F.H : lors d'un effort important, mais bref, diverses épreuves réalisées à 500 mètres s'inscrivent de manière identique à celles du confinement préalable. La profondeur n'a pas modifié la réponse cardiaque de façon significative. Il en est de même pour la rapidité de récupération.

Chez J.T. : les résultats apparaissent plus différenciés : la courbe obtenue lors du confinement s'inscrit bien, dans son ascension, dans la dispersion des diverses valeurs à 500 mètres;

Par contre, c'est la durée de travail possible qui est réduite par la profondeur. Le J.4., le sujet parvient, avec une motivation maximale à poursuivre le travail pendant 2 mn 28 s, alors que lors des épreuves préalables, effectuées avec bien moins d'enthousiasme, il avait tenu 3 minutes 20 s. Il faut ajouter qu'à la fin de cette épreuve du J.4. à 500 mètres, le plongeur est apparu extrêmement essoufflé, avec un tremblement important.

Par la suite, les durées maximales de travail sont encore très réduites, en partie par diminution de la motivation - sans doute en raison de la monotonie de l'épreuve - en partie aussi certainement par fatigue.

Le J. 7, sa performance est tout à fait modeste, et les fréquences cardiaques apparaissent majorées, en rapport peut-être explicable par l'hyperthermie consécutive à une otite externe.

Quels enseignements devons-nous tirer de ces résultats ?

- 1°) - Le comportement de J.T. lors du travail maximal nous apparaît extrêmement rassurant ; son comportement devant l'épuisement se traduit surtout par une réaction d'essoufflement, non par un malaise, une lipothymie ou un trouble métabolique sérieux comme nous pouvions légitimement le craindre.
- 2°) - Le comportement cardio-vasculaire semble fort peu affecté par une profondeur de 500 mètres, il ne semble pas qu'il faille rechercher une cause circulatoire à la baisse de performance observée (pour la durée du travail effectué).

3°) - Cette diminution des possibilités de maintien du travail pendant plusieurs minutes associée à une dyspnée notable cliniquement et relatée par les deux sujets incite à préciser le degré de limitation ventilatoire due à la forte densité des mélanges respirés (8,78 g/l à 500 mètres).

## TRAVAIL STATIQUE

Les courbes de capacité de travail statique obtenues à 300 mètres et sous différentes  $PIO_2$  n'ont pas montré de modifications des durées maximales de contraction isométrique.

Nous intéressant plus particulièrement à la fatigabilité des sujets au cours de cette saturation, nous avons choisi de comparer les temps de maintien d'une seule charge, et de suivre l'évolution de la durée de contraction isométrique en fonction d'une part de la profondeur, et d'autre part du séjour.

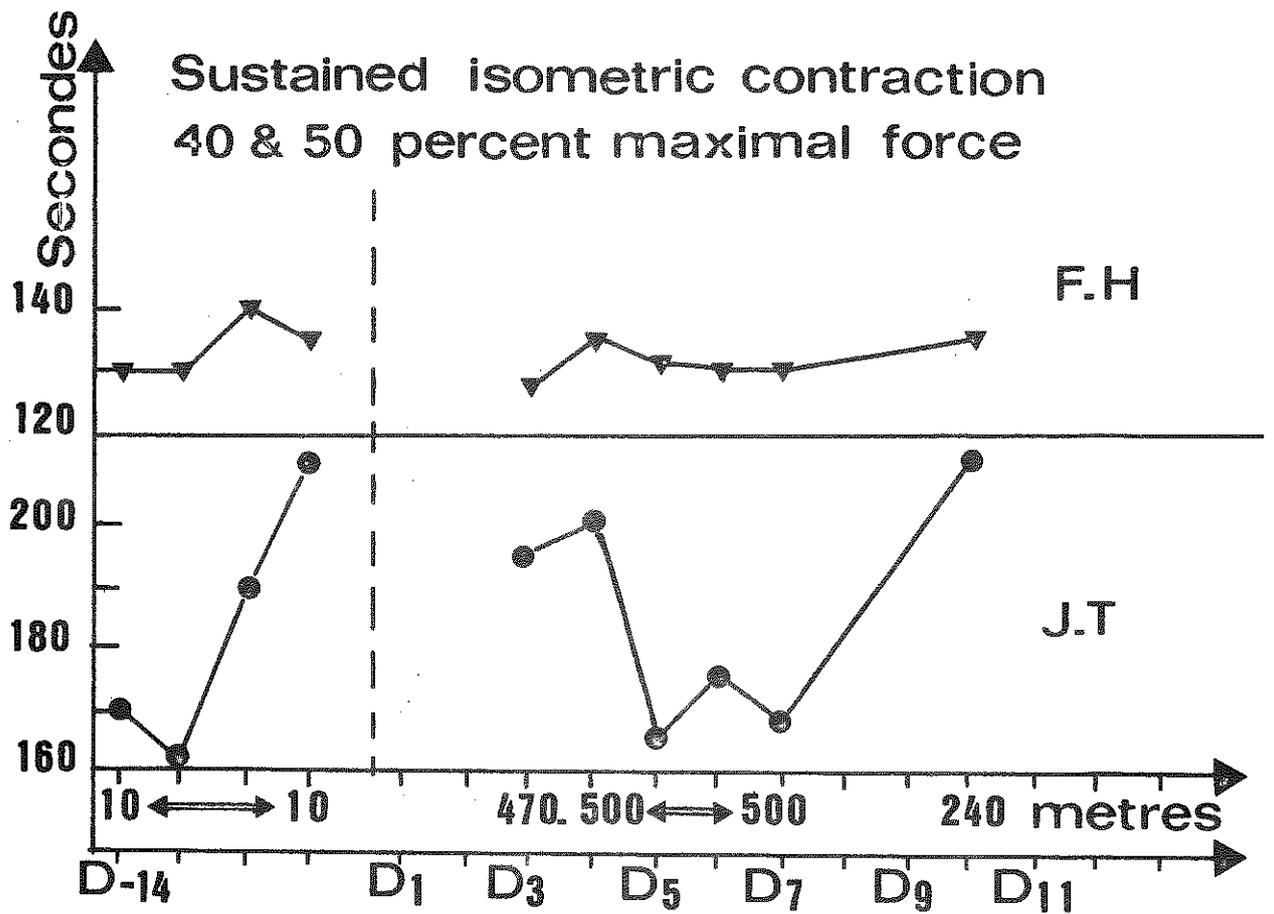
Au cours des mesures, le sujet est allongé, le bras posé sur le lit, avec l'avant-bras perpendiculaire au bras. Le sujet est relié à une charge constante par l'intermédiaire d'un câble fixé à un bracelet entourant le poignet. Le câble passe sur une poulie dont la hauteur par rapport au lit est telle que la direction de la force transmise soit parallèle à la direction de la force exercée par le biceps.

Pour le sujet F.H. la charge de 15 Kg correspond à 60% de la force maximale des fléchisseurs de l'avant - bras — dans cette même position articulaire — et pour le sujet JT elle correspond à 40% de la force maximale.

La consigne donnée au sujet est de maintenir le plus longtemps possible la charge, sans faire varier la position de l'avant-bras. Dans le cas d'épreuves itératives, la durée du repos imposé a varié de 10 à 20 minutes.

Le temps de maintien est mesuré au chronomètre, et vérifié sur l'enregistrement de l'électromyogramme du principal muscle intéressé, le biceps brachial. L'EMG est recueilli par électrodes de surface, amplifié (BP:700 Hz) puis intégré.

La fréquence cardiaque est enregistrée en continu avant, pendant et après l'épreuve. L'activité électrique du coeur est recueillie par électrodes-fils sous-cutanées (subtrodes Siemens) en position précordiale.



**TRAVAIL STATIQUE : Temps de maintien**

Les temps de maintien de charges équivalentes à 40 % de la force maximale volontaire pour F.H. et à 50 % pour J.T., sont indiqués en fonction du séjour et de la profondeur.

Les 4 premières valeurs représentent les contrôles effectués pendant le confinement.

La fréquence est obtenue par comptage des complexes QRS et par intégration. (Rate-meter DEVICES)

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

### Résultats

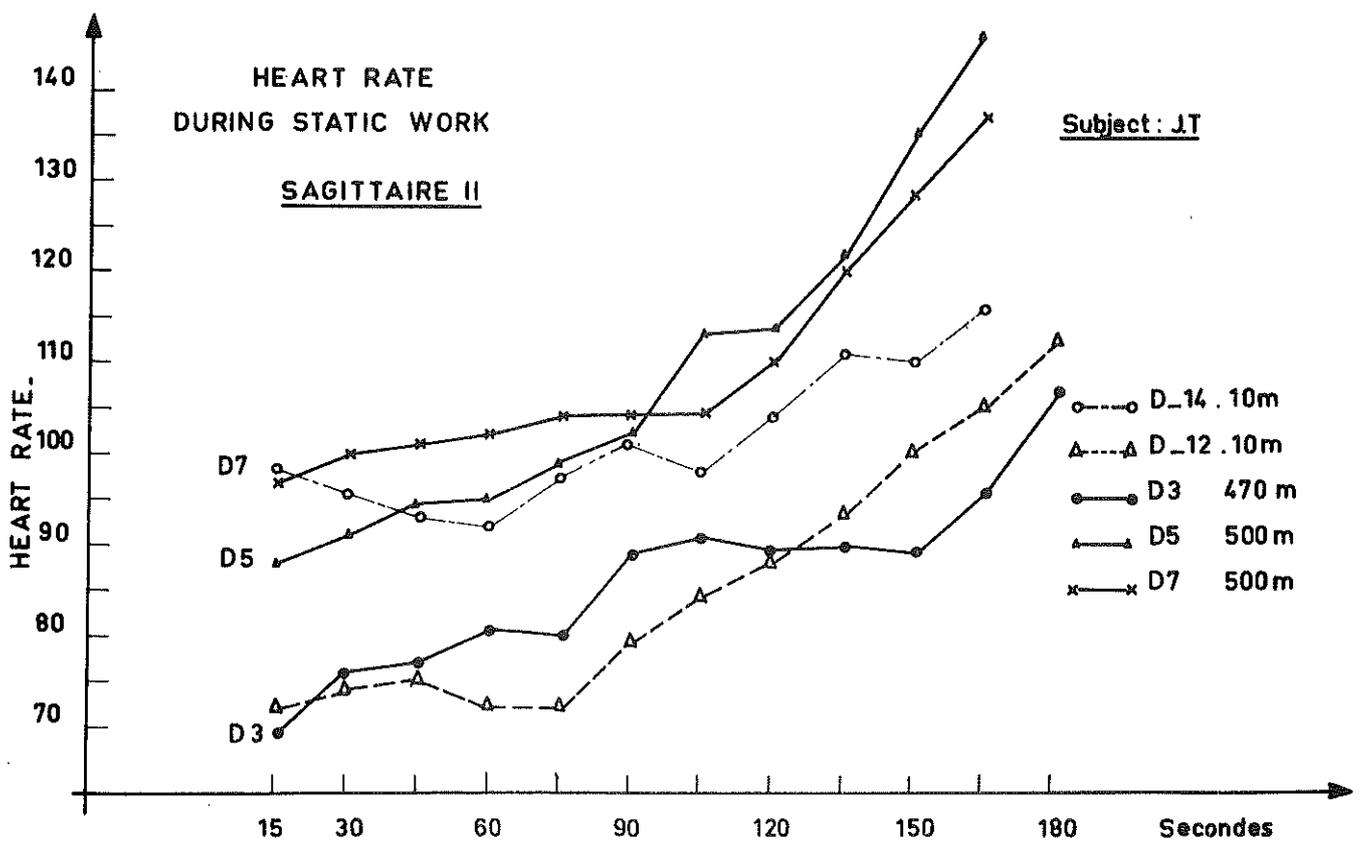
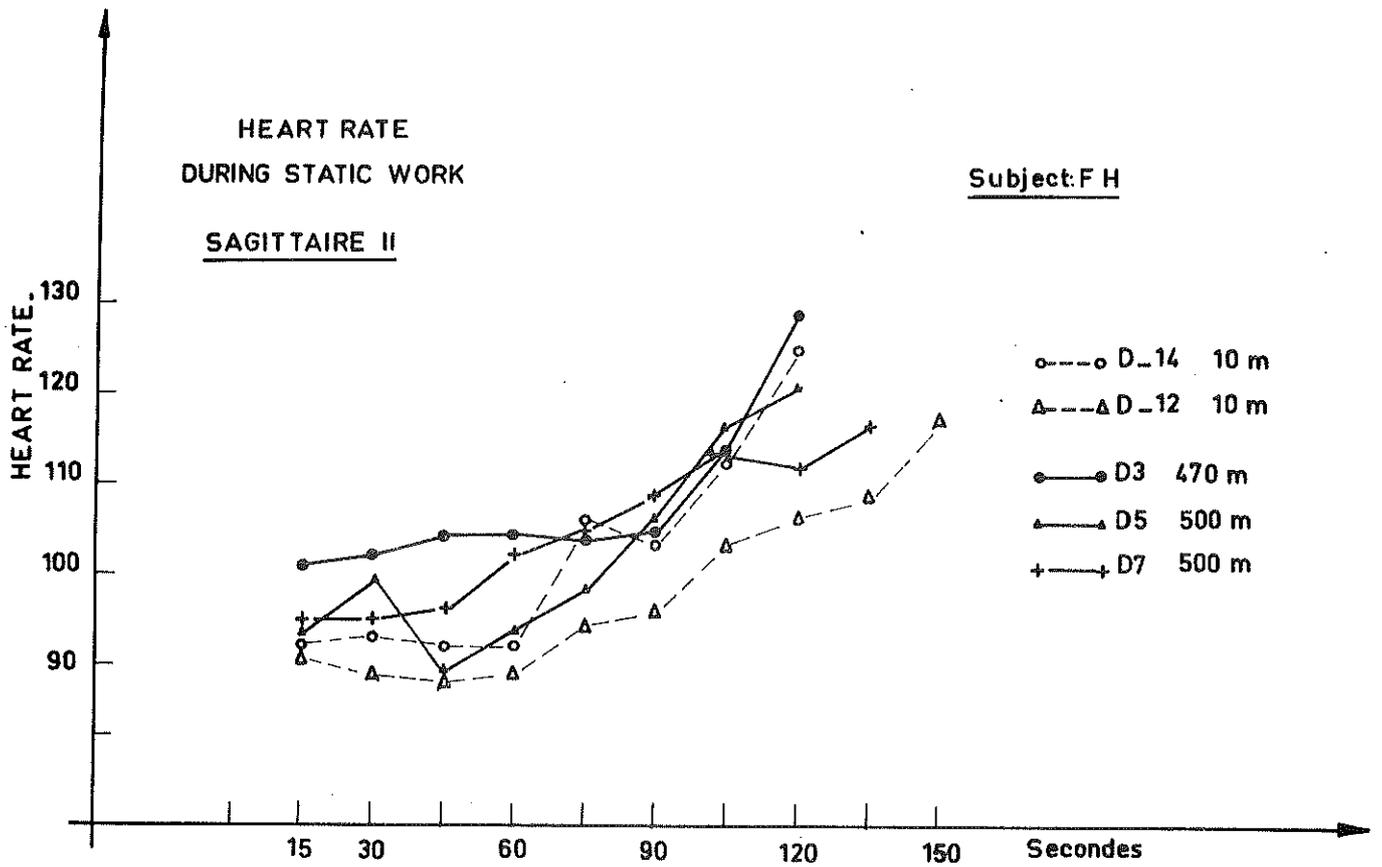
a) EMG et EMG intégré: Quelle que soit la profondeur, l'activité électrique globale du biceps ne présente aucune modification, et il n'est pas possible de différencier les épreuves -

b) Temps de maintien: Le sujet F.H. est très stable au cours du confinement, ainsi qu'au cours de la plongée quelle que soit la profondeur. Les temps de maintien varient très peu.

Le sujet J.T. montre un entraînement et une habitude au cours du confinement. Les deux premières valeurs de la plongée (à 470 et à 500 mètres) sont élevées; mais pour les trois journées suivantes, les temps de maintien sont diminués d'environ 20%. Ensuite, à 240 mètres, la durée de contraction retrouve une valeur élevée.

c) Fréquence cardiaque: On retrouve les élévations de rythme classiques pour le travail statique. Le plus instable et le plus perturbé des deux sujets (J.T.) en ce qui concerne les durées de contraction apparaît comme ayant les modifications les plus importantes du point de vue réaction cardio-circulatoire. Les différences d'élévation des fréquences cardiaques sont très grandes entre J3 (470 mètres) et J7 (500 mètres) dès le début de l'épreuve (+28 battements par minute) et s'accroissent (+38 battements/minute) alors que les valeurs de repos du rythme cardiaque sont moins différentes (57 et 71 battements/minute: moyenne de 6 valeurs de la journée)

Pour le sujet F.H., les différentes épreuves n'ont pas de retentissement particulier sur la fréquence cardiaque et l'on ne retrouve pas de caractéristique "fatigue". Les fréquences sont même légèrement moins élevées pour les épreuves de J5 et J7 que pour J3 et J4.



DISCUSSION

Si pour les deux sujets, l'activité électrique du muscle ne montre aucune perturbation, ce qui laisse supposer un fonctionnement normal des unités motrices, par contre, les critères de fatigue (fréquence cardiaque) et de fatigabilité (durée de contraction) révèlent une différence de comportement entre les deux plongeurs.

Le sujet F.H. se montre très stable, ni fatigué, ni particulièrement fatigable. On a affaire à un sujet adapté chez qui l'effort réalisé en profondeur n'entraîne pas de réactions inhabituelles.

Chez le sujet J.T. les différences dans le temps de maintien, et les repercussions importantes du travail sur la fréquence cardiaque nous font penser que ce plongeur a été sensible aux difficultés de l'expérience, et que la fatigue - latente - se retrouve exprimée au cours des épreuves de travail musculaire.

Les différences entre les 2 sujets sont encore plus évidentes pour les deuxièmes épreuves réalisées après 10 ou 20 minutes de repos. Chez le sujet J.T., les temps de maintien sont toujours très inférieurs, sauf pour le J3 (470 mètres), ce qui confirme la fatigabilité du sujet, et la mauvaise récupération. Pour le sujet F.H., les temps de maintien sont très proches les uns des autres et témoignent donc d'une bonne récupération.

Les fréquences cardiaques s'élèvent plus rapidement au cours des 2° épreuves et atteignent des valeurs plus grandes, ceci pour les 2 sujets, et sans différence entre le confinement et la plongée.

## MECANIQUE VENTILATOIRE

Il a été émis une hypothèse selon laquelle l'augmentation de la densité des gaz ventilés pourrait être un facteur limitant de la pénétration sous-marine.

- En respiration spontanée, la résistance ventilatoire augmente comme une fonction puissance de la masse volumique.

$$R = r \cdot e^n$$

- En expiration forcée, le débit maximal instantané qu'un sujet est capable de développer, par un volume pulmonaire donné, diminue comme une fonction puissance de la masse volumique.

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

Ceci rend compte de la diminution de la capacité ventilatoire maximale en fonction de la pression.

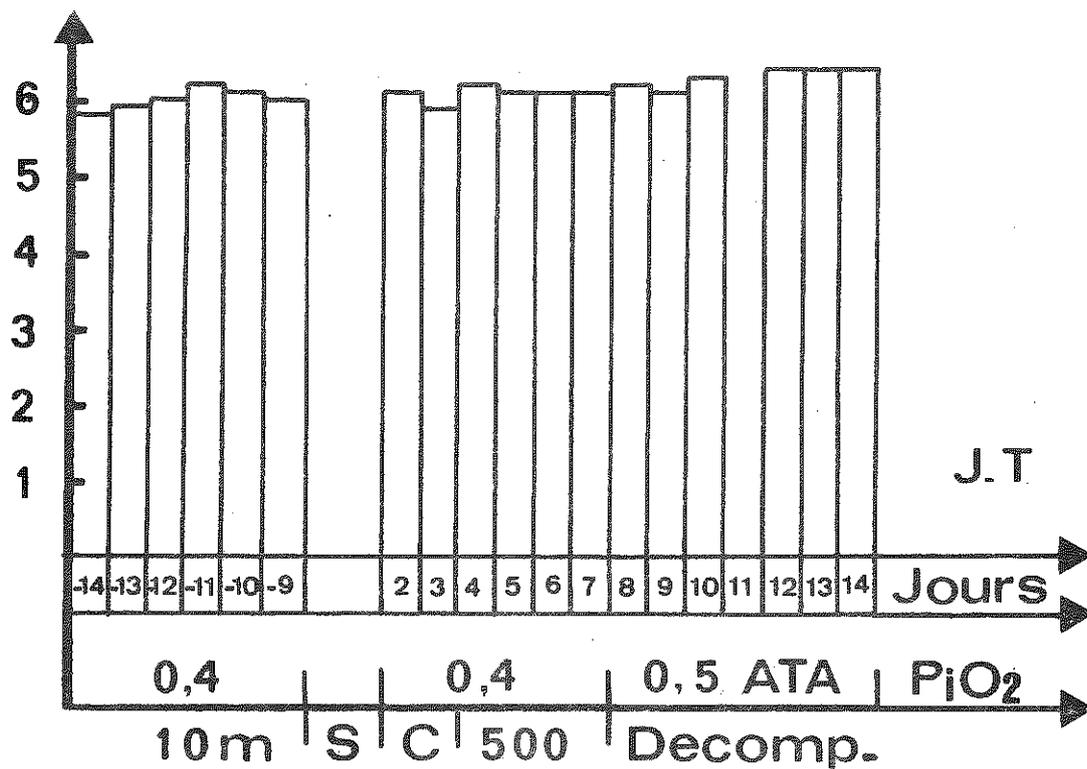
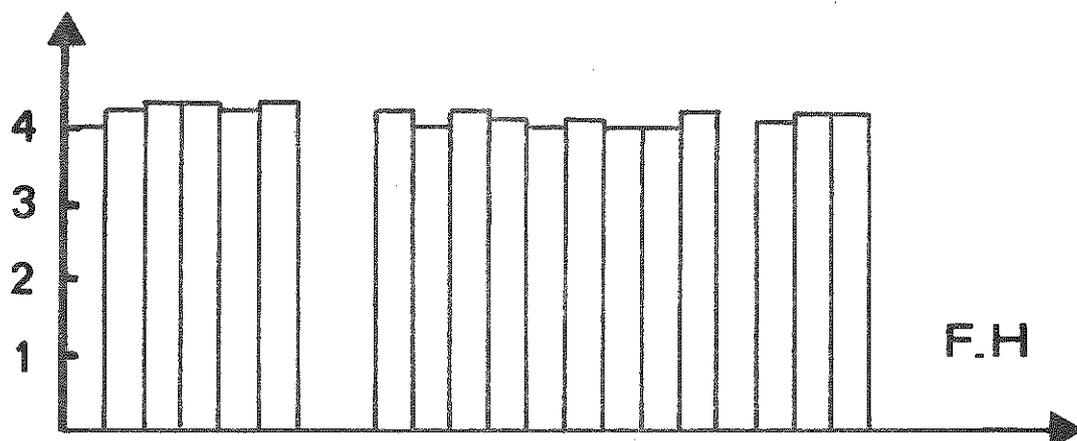
Nous avons étudié la mécanique ventilatoire au cours de cette plongée essentiellement pour essayer de définir les bases physiologiques de la théorie selon laquelle la limitation de l'exercice musculaire serait d'origine ventilatoire.

Technique: Des valeurs ont été obtenues à différents niveaux de profondeur, en compression, pendant le séjour et en décompression.

Les deux sujets devaient effectuer une expiration et 1 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 4 ou 5 séquences, chacune séparée par quelques minutes de repos.

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



L'étalonnage du débitmètre a été réalisé selon la technique de FRY et al. (1957), adaptée par VARENE et al. (1971)

La capacité vitale des sujets a été mesurée plusieurs 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, même lorsque la  $PIO_2$  est relevée à 0,50 ATA pour la décompression (0,40 ATA pendant le séjour)

A partir des enregistrements de 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 ( $\dot{V}_{max} = a + bV$ ).

Les regressions linéaires de ce type ont été calculées pour chaque sujet à chaque niveau de pression.

Les résultats du tableau I montrent 1 diminution de la pente de la relation débit-volume, en fonction de la pression ou de la masse volumique. Le coefficient a, différent de zero, 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.

TABLEAU I

SUJET	P <sub>B</sub> (ATA)	a	b	r	n
F.H.	5,37	1,110	9,68	0,99	14
	30	0,148	5,97	0,98	22
	50,66	0,278	5,28	0,96	47
J.T.	5,37	- 0,308	13,26	0,99	18
	30	- 0,336	7,41	0,98	28
	50,66	-0,024	5,02	0,96	44

Tableau I: coefficients des équations

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

a et b sont donnés en  $\text{dm}^3 \text{S}^{-1}$

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 1 volume donné.

Les coefficients des équations classiquement représentées par une fonction puissance, sont donnés dans le tableau II pour 50% de la CV. (ci-dessous.)

SUJET	v	m
F.H.	7,48	-0,48
J.T.	9,06	-0,58

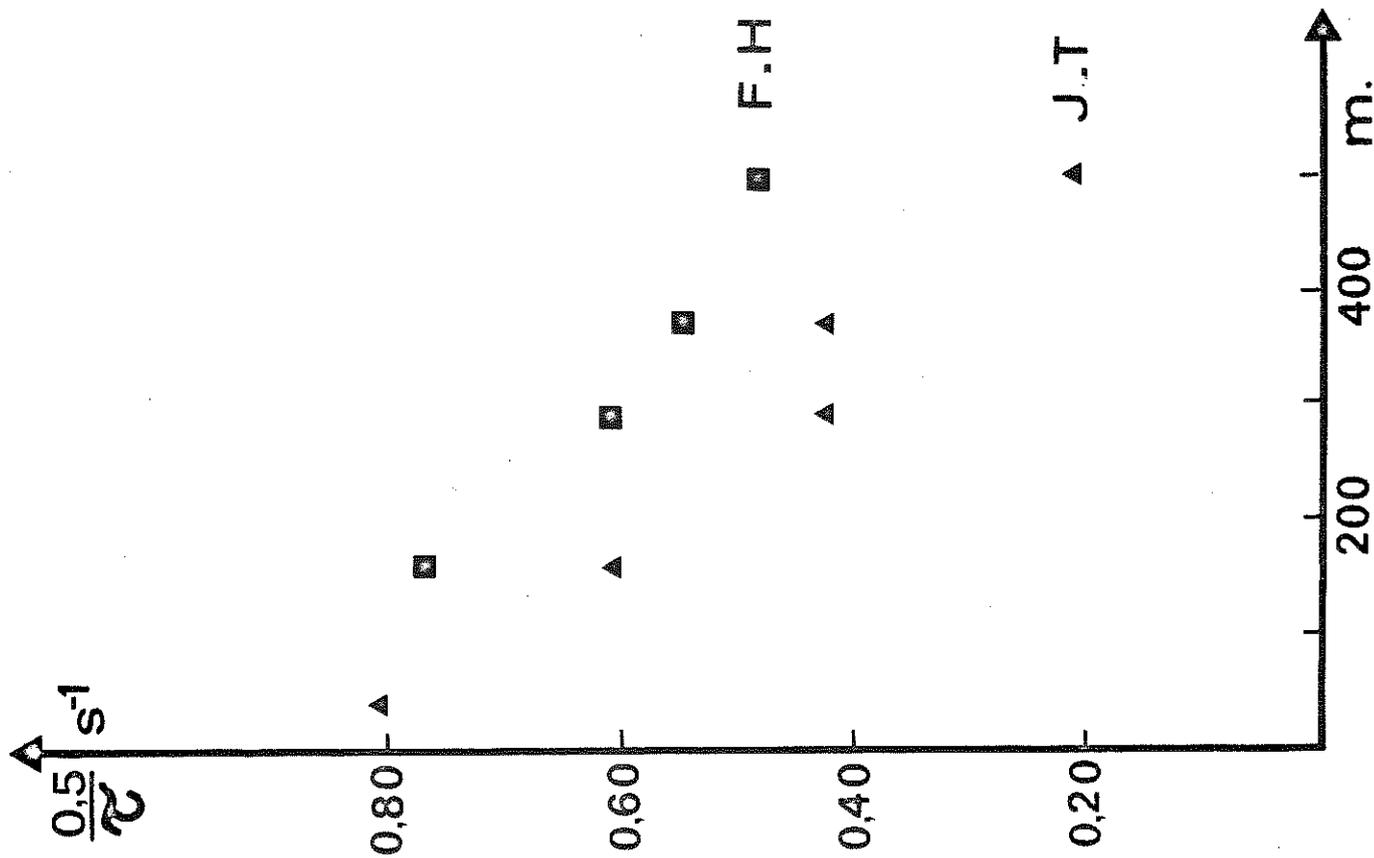
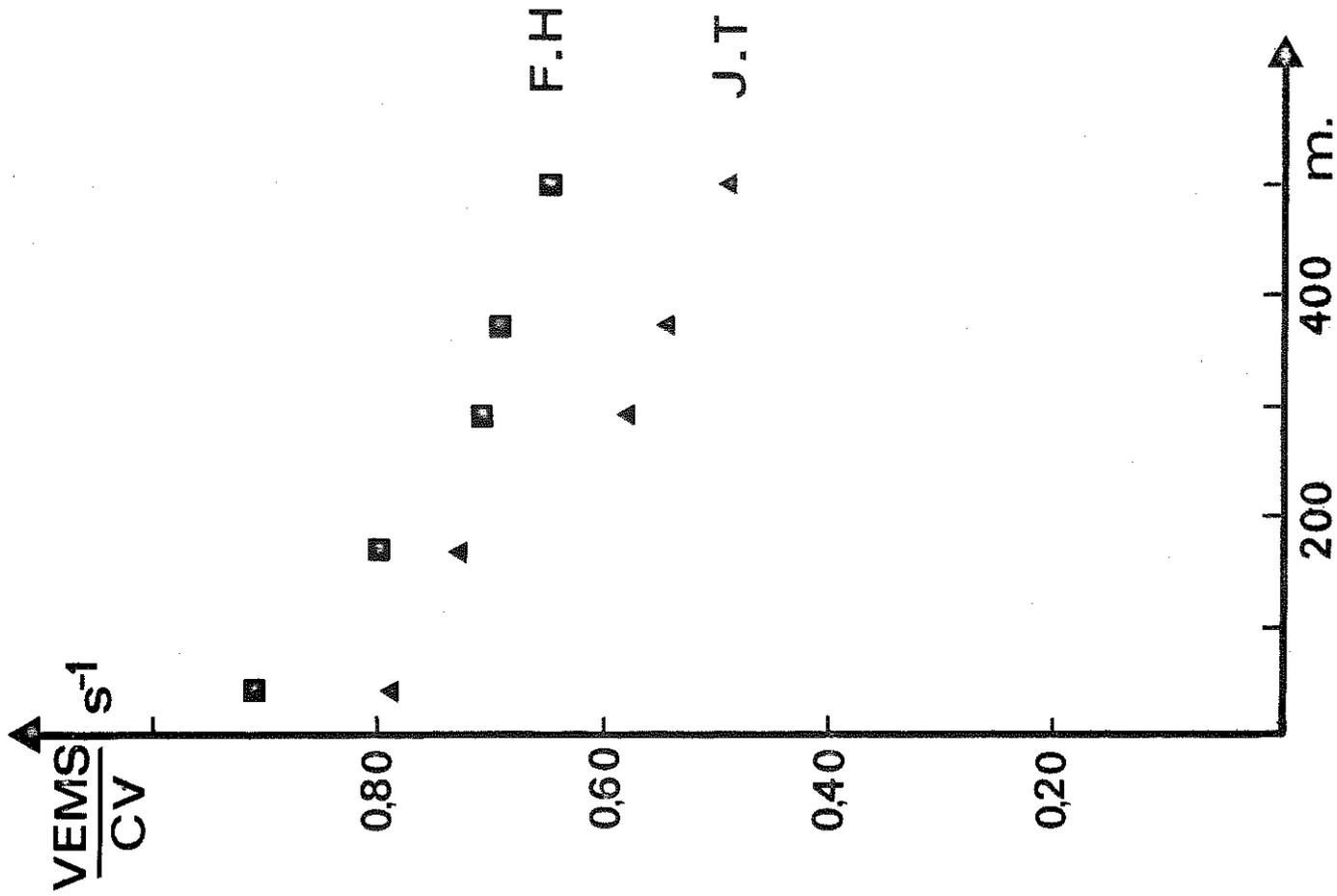


TABLEAU II: coefficients de l'équation

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

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

D'autres indices de la diminution du débit maximal avec la pression sont exprimés par le rapport  $\frac{V_{\text{EMS}}}{V_{\text{CV}}}$ , ou le temps  $\tau$  nécessaire pour expirer la moitié de la CV (CV) comprise entre 75 et 25% de la CV, ou le débit moyen correspondant  $\frac{0,5}{\tau}$ . (voir figures)

## F R E Q U E N C E   C A R D I A Q U E

### Conditions d'enregistrement :

Au repos, la fréquence cardiaque a été recueillie toutes les 4 Heures, le sujet étant au repos en position allongée. La durée moyenne de l'enregistrement était de 5 minutes ; au cours du sommeil de 23 à 7 Heures, les enregistrements ont été pratiqués toutes les heures.

### Résultats :

#### 1°/ Les enregistrements de référence (confinement)

La fréquence cardiaque chez le sujet FH varie entre 50 et 75 bts/mn ; celle du sujet JT varie entre 50 et 70 bts/mn.

#### 2°/ Pendant la plongée (au repos)

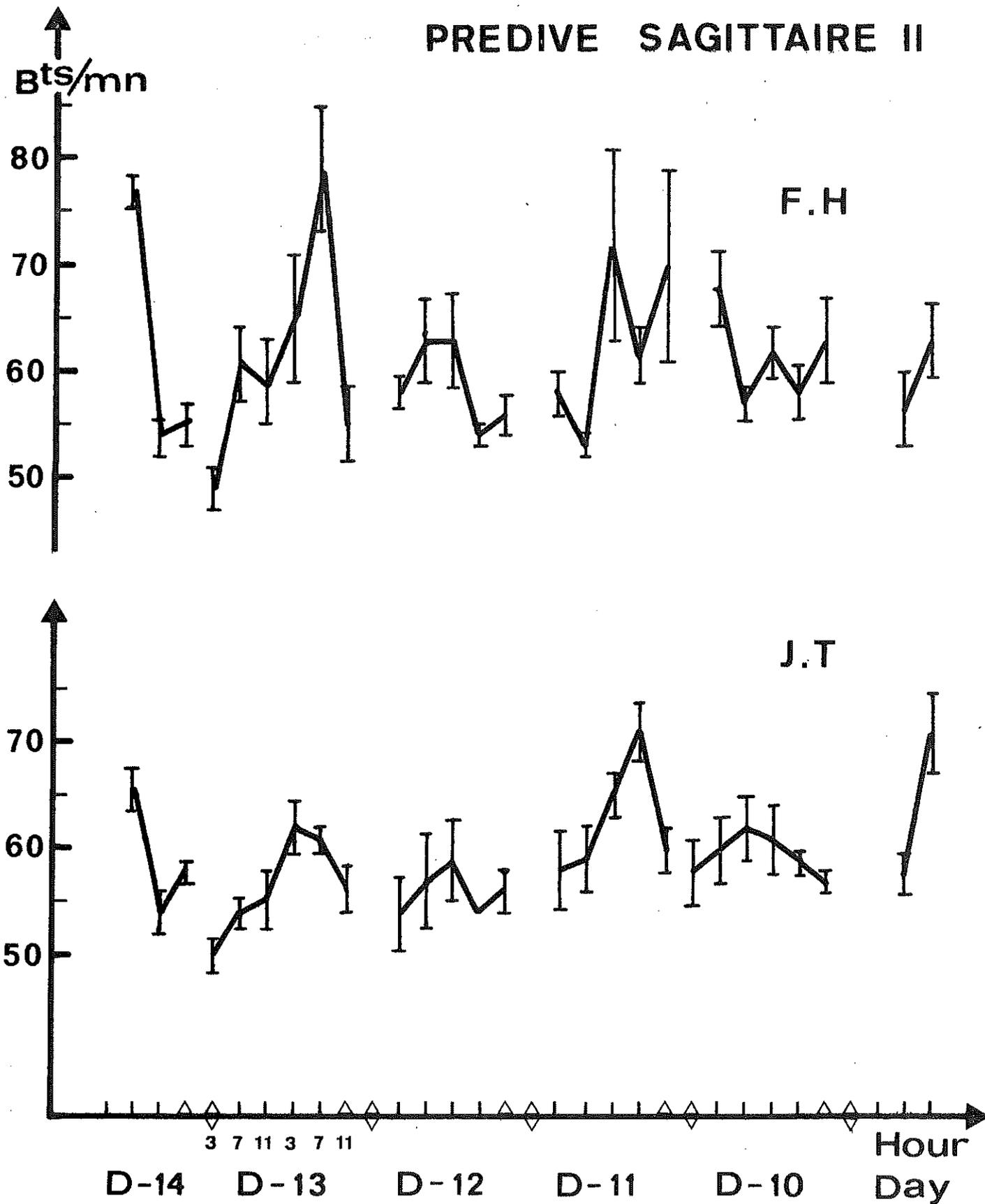
Pendant le jour, malgré le nombre important de mesures effectuées chaque jour, il n'apparaît pas de modifications notables de la fréquence cardiaque au repos. Chez le sujet F.H., la fréquence varie entre 60 et 80 bts/mn en moyenne. Chez le sujet J.T., elle est un peu plus irrégulière et varie de 50 à 80 bts/mn.

Chez ce dernier, la légère augmentation constatée les 8ème et 9ème jours correspond à une poussée thermique consécutive à une otite.

Au cours des nuits, la fréquence cardiaque moyenne augmente pendant la compression et le séjour. Elle passe de 50-60 bts/mn la première nuit à 60-75 bts/mn la sixième nuit chez FH et de 50-60 bts/mn à 60-70 bts/mn chez J.T.. Elle diminue pendant la décompression (50 à 60 bts/mn en fin de décompression).

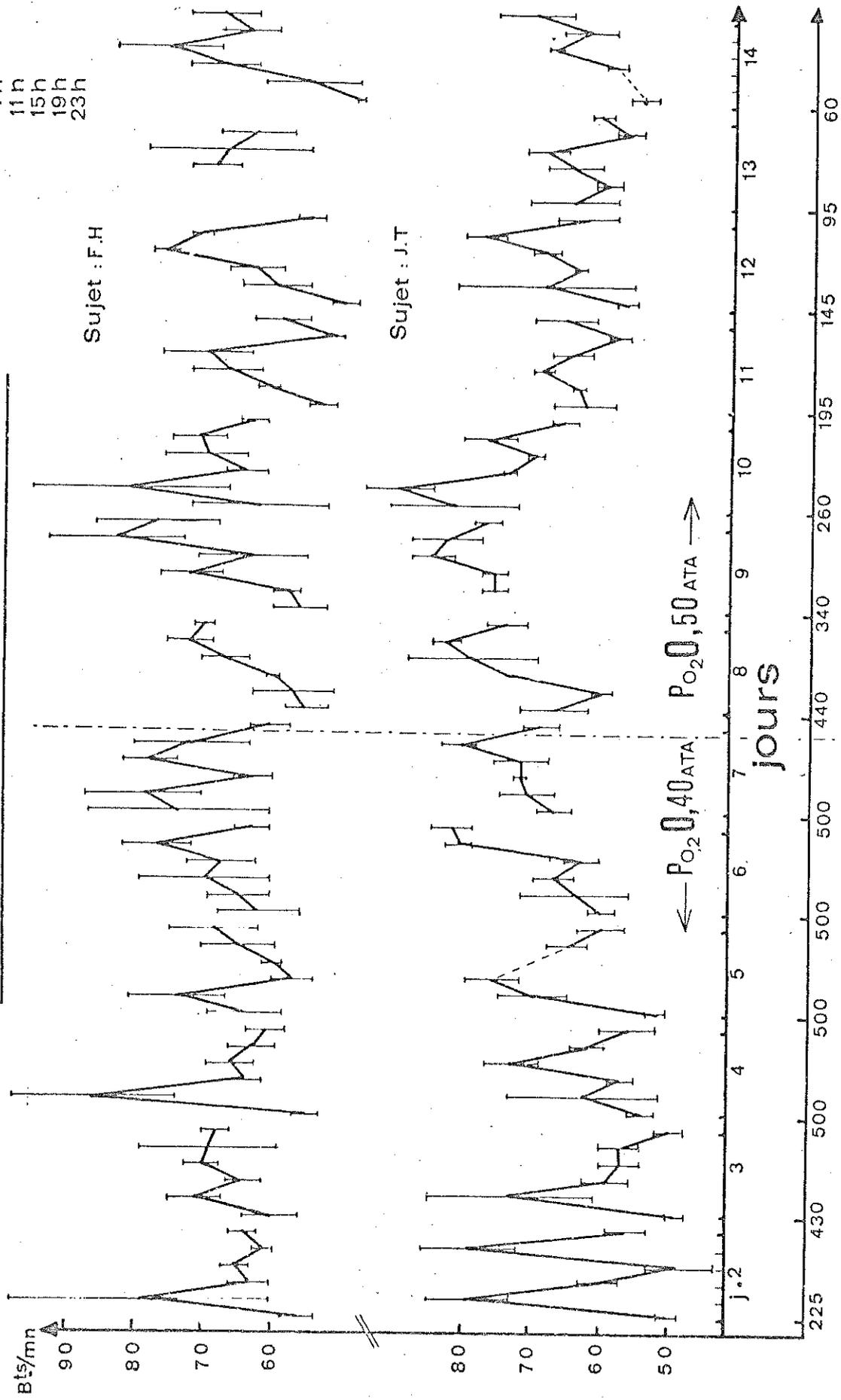
# HEART RATE AT REST

## PREDIVE SAGITTAIRE II



# FREQUENCE CARDIAQUE AU REPOS

Enregistré à: 3h  
11h  
15h  
19h  
23h

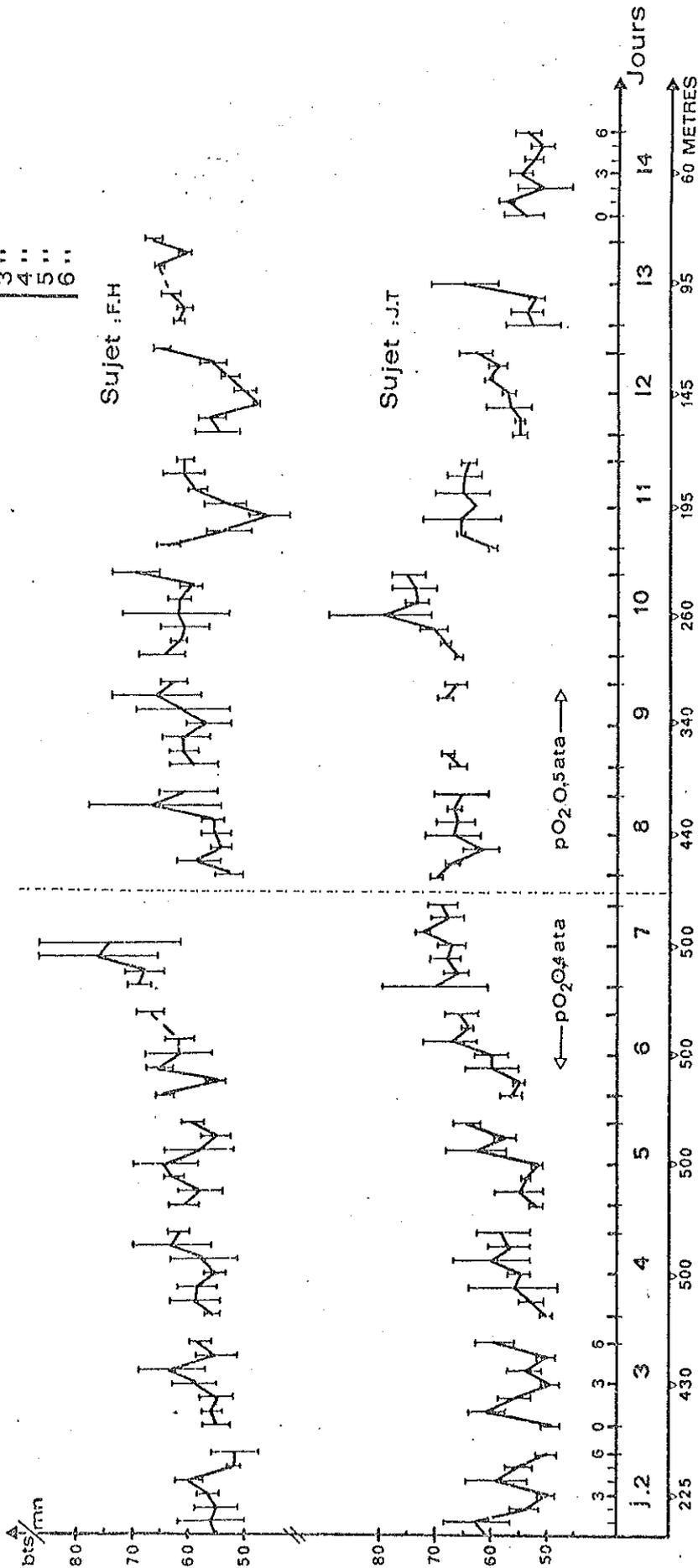


profondeur en mètres

# FREQUENCE CARDIAQUE PENDANT LE SOMMEIL

Enregistré à

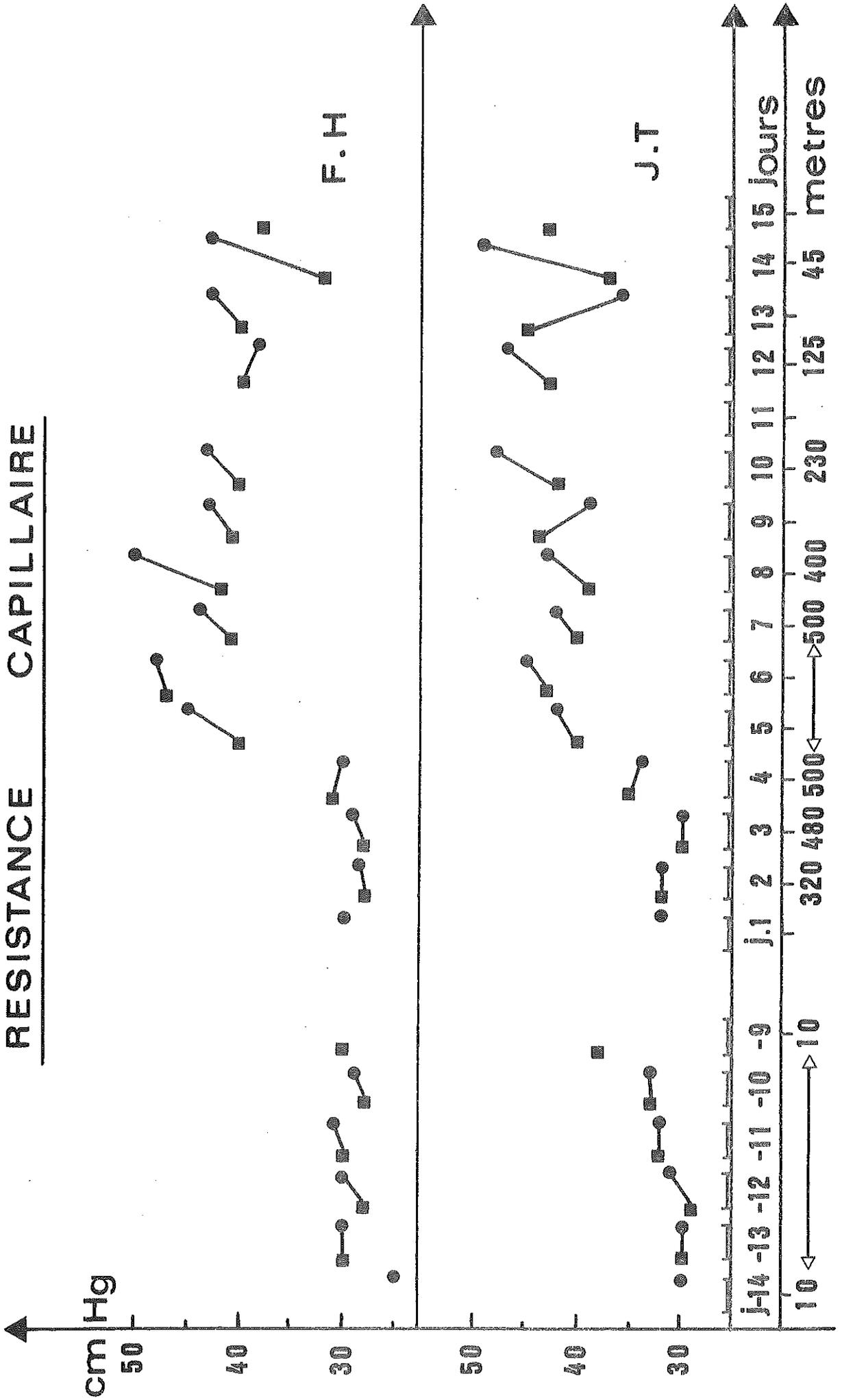
0h.00
1 ..
2 ..
3 ..
4 ..
5 ..
6 ..



## PRESSION ARTERIELLE

JOURS	PROF.	F.H		J.T	
		08.00	19.00	08.00	19.00
J-14	9	ext. 11/7	10.5	ext. 12/5	11.
J-13	9	10	11,5	10,5	11,5
J-12	10	10,5	10,5	11	11
J-11	10	10	11,5	10,5	11,5
J-10	10	10	10	10,5	11
J-9	11	9,5	11(ext)/6	10,5	13(ext)/8
J-1	150	-	11	-	11,5
J-2	280-400	11,5	11,5	11	10,5
J-3	450-500	11	11,5	12	11
J-4	500	10,5	11	11	12
J-5	500	11	11	10,5	11,5
J-6	500	11,5	11	11	11,5
J-7	500	10,5	11,5	10,5	11
J-8	420-360	10,5	11,5	11	11,5
J-9	320-275	11.	11.	10,5	11,5
J-10	245-205	11	11,5	10,5	10,5
J-11	185-160				
J-12	130-110	10,5	11,5	11	11,5
J-13	90-70	11	12	10,5	11,5
J-14	50-30	10,5	11,5	10	11

# RESISTANCE      CAPILLAIRE



## ENQUETE DE SYMPTOMES SUBJECTIFS DE FATIGUE

Classiquement la fatigue est un chapitre de tout Traité d'Education Physique, d'Ergonomie ou de Physiologie Appliquée. L'accent est mis sur l'activité musculaire comme facteur principal de fatigue : c'est la fatigue que de tout temps les hommes ont connu avec le travail physique. Mais on a été amené de plus en plus à considérer cette fatigue musculaire sous son aspect psychologique, il ne s'agit plus alors de fatigue du muscle, mais de la répercussion de cette fatigue sur le plan du psychisme.

Dans l'état actuel de la recherche, à la suite des analyses de GRANDJEAN (1964), de KOGI (1970) notamment, il est clair qu'il existe une baisse objective de performance corrélable avec une sensation de lassitude plus ou moins désagréable ou douloureuse. Cette fatigue, objective et subjective, est aussi corrélable avec divers indices physiologiques ou biochimiques, si bien que la fatigue se manifeste sur le plan ergonomique, sur le plan métabolique, sur le plan physiologique et sur le plan psychologique cognitif et affectif.

Une définition commode de la fatigue subjective et une évaluation aisée de cette fatigue pourraient constituer un outil ergonomique de valeur générale, utilisable pour apprécier les propriétés "fatigantes" des tâches les plus diverses.

KIRIHARA (1949), Mc NELLEY (1954), WOLF (1967) et KOGI (1970), ont proposé des méthodes d'analyses de la fatigue subjective dans l'industrie. Nous avons utilisé ce type d'analyse en raison de ses larges possibilités d'application à l'étude de la fatigue chez les océanographes, pour le traitement des résultats dans cette expérience.

### I. La Fatigue Subjective Pendant La Saturation

- METHODE -

#### (1) Conditions Générales :

Nous rapportons simplement ici les précisions utiles pour notre étude. La plongée a utilisé deux sujets océanographes :

Océanographe : J. THOLLAS (sujet a)

Océanographe F. HUTEAU (sujet b)

Les océanographes ont répondu à un questionnaire de fatigue psychique de confinement avant la compression (sur face) et pendant la saturation, ainsi que pendant la décompression.

Les tests de contrôle en surface au retour n'ont pu être accomplis pour des raisons extérieures à notre plan.

## (2) Technique Psychologique

Nos procédures ont été les suivantes :

### i) Questionnaire :

Lorsqu'ils travaillent en profondeur sous de hautes pressions, les "océanographes" subissent diverses contraintes psychologiques et physiologiques qui induisent une fatigue objective et des sensations de fatigue subjective.

L'étude de la fatigue subjective de ces facteurs en est à ses débuts. Nous avons travaillé pour améliorer la connaissance en utilisant dans cette expérience, une des trois méthodes d'analyse que nous employons pour la mise en évidence de la fatigue.

Description analytique verbale des symptômes de fatigue psychique (KIRIHARA en 1949, WOLF en (1967), KOGI en 1970-)

KOGI et coll. (1966-1969) ont étudié la question de la structuration possible de groupes d'items selon des facteurs déterminants simples. A la suite d'une étude portant sur les réponses obtenues avec un questionnaire de 30 items originaux, adressé à près de 18.000 personnes appartenant à 250 professions, KOGI a établi par analyse factorielle (1970) que les réponses pouvaient être rassemblées en trois groupes: de haute corrélation interne, A, B et C. Cette étude considérable a été patronnée par l'Industrial Fatigue Research Committee of Japanese Association of Industrial Health en 1970, avec la collaboration de KASHIWAGI, KOGI, SAITO, YOSHITAKE etc...

Il en est résulté un questionnaire standard (tableau 1)

La classification comporte 30 items répartis de la façon suivante:

- Les symptômes du groupe A (items de 1 à 10) paraissent correspondre à un facteur "d'engourdissement" ou à un facteur de "somnolence" ou encore de "vigilance".

- Les symptômes du groupe B (items de 11 à 20) paraissent correspondre à un facteur de "motivation".

- Les symptômes du groupe C (items de 21 à 30) expriment la projection de la fatigue sur certaines parties du corps, et paraissent pouvoir être regroupés sous le vocable "facteur physique de la fatigue".

Lors de cette plongée, nous avons dans une première approche demandé aux océanographes de répondre à un questionnaire établissant le profil de la fatigue psychique (tableau 1)

#### ii) Passation

-----

Les sujets ont été appelés à répondre au questionnaire en surface, durant ; sujet (a) 5 jours et sujet (b) 2 jours précédant la plongée, matin et soir (8h et 17h). Ils étaient familiarisés avec le questionnaire au moment de la plongée et avaient d'autre part révélé à travers ce questionnaire leur motivation à répondre et amené l'observateur à réfléchir sur la fiabilité des réponses.

Les profondeurs de passation et les horaires de passation ont été exposés par les tableaux (2) et (3). Ce sont donc les relevés journaliers des réponses aux questions qui leur ont été posées durant les 15 jours de l'expérience.

Les groupes de questions ont été posés à la compression, durant le séjour fixe à 500 m, et à la décompression aux heures suivantes: 8:00, 12:00 et 23:00.

Les consignes ont été faiblement directives. Le tableau (1) les a exprimées, après que des explications orales générales aient été données.

ENQUETE DES SYMPTOMES SUBJECTIFS (1970)

N°.....

NOM .....Date / / 1972 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.....

SUITE

- 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.....

TABLEAU 1

iii) QUANTIFICATION

Les sujets devaient répondre par une estimation alternative à deux degrés: OUI (Côté 1) et NON (Côté 0) selon la méthodologie de KOGI et Col. en 1970. Il a été demandé aux sujets de ne pas omettre les réponses "NON" éventuelles.

Pour établir les évaluations nous avons regroupé les observations faites pendant la compression, la saturation à 500 m, la décompression, en considérant par nécessité pratique et non par principe que pour chaque étape de plongée il suffira d'avoir une estimation du taux de l'état de fatigue subjective. Ces calculs ont donc été effectués pour rassembler les passations de 8h00, 12h00, et 23h00

Par exemple pendant la compression, nous avons calculé les sommes suivantes :

- fatigue des symptômes du groupe (A) du sujet à 8 h 00:

$$F_A = \frac{1}{10n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \begin{array}{l} x = \text{nombre de réponses} \\ i = \text{nombre d'ordre} \end{array}$$

Item pour les fatigues de type (B) et (C) et pour la saturation et la décompression et pour un sujet.

- Fatigue générale A,B et C confondus :

$$F_{A+B+C} = \frac{1}{30n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \begin{array}{l} x = \text{nombre de} \\ \text{réponses} \\ i = \text{nombre d'ordre} \end{array}$$

Nous n'avons pas réalisé dans cette série d'observation d'étude de corrélation entre les fatigues supposées différentes (A), (B) et (C).

-RESULTATS : -

Les sujets (a) et (b) ne sont pas apparus suffisamment semblables pour que soient confondus en une expression "moyenne" les résultats homologues fournis par chacun d'eux.

Les tableaux et figures présentent donc séparément les résultats des deux sujets (a et b)

Tableaux (2) et (3) : c'est une vue synoptique des réponses positives données par chacun des deux sujets au cours des différentes journées de la plongée.

On note d'emblée une différence entre les deux sujets :

(a) exprime plus de symptômes que (b) : pour les deux sujets les symptômes de facteurs B (motivation) sont peu signalés.

Ces mêmes données sont reprises dans les figures (1) et (2) qui montrent l'évolution des 3 types de fatigue au cours de l'expérience.

Pour chacun des facteurs, on indique le pourcentage des symptômes notés positivement, à chacun des 3 moments de la journée étudiés (08 h 00, 12 h 00 et 23h00 :

C'est surtout au cours de la saturation (23-27 Février) que les sujets accusent des symptômes de fatigue; le facteur (A) prédomine chez le sujet (b), le facteur (c) est plus important chez le sujet (a)

La figure (3) expose les résultats globaux sans tenir compte des 3 types de symptômes : la fatigue se révèle plus importante en soirée au cours des journées de compression et de saturation.



SAGITTAIRE II ENQUETE SUR LES SYMPTOMES SUBJECTIFS DE FATIGUE sujet b

DATE	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	1	2	3	4	5	6/3/72
HEURE	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00
PROFONDEUR	surfaces 500m																
1 AVOIR LA TETE LOUEDE																	
2 ETRE FATIGUE																	
3 AVOIR LES JAMBES LOURDES																	
4 BAILLER																	
5 AVOIR LES IDEES EMBROUILLEES																	
6 AVOIR ENVIE DE DORMIR																	
7 AVOIR LES PAUPIERES LOURDES																	
8 ETRE ANKYOSE																	
9 TITUBER																	
10 VOULOIR S'ALLONGER																	
11 AVOIR DE LA DIFFICULTE A PENSER																	
12 DEVEIR FATIGUE 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 TOURMENTE PAR QUELQUE CHOSE																	
19 INCAPABLE DE SE TENIR DROIT DEBOUT																	
20 MANQUE DE PATIENCE																	
21 AVOIR MAL A LA TETE																	
22 SE SENTIR LES EPAULES LOURDES																	
23 AVOIR MAL AUX REINS																	
24 AVOIR DES DIFFICULTES POUR RESPIRER																	
25 AVOIR SOIF																	
26 ETRE ENROUE																	
27 AVOIR LA TETE QUI TOURNE																	
28 AVOIR LES YEUX QUI PAPILLOTTENT																	
29 AVOIR LES BRAS, LES JAMBES QUI TREMBLENT																	
30 S'ENNUIVER A NE RIEN FAIRE																	

+ PRESENCE DU SYMPTOME CORRESPONDANT

TABLEAU 3

# SAGITTAIRE II

sujet a

EVOLUTION DE LA FATIGUE ESTIMEE  
 PAR LA SOMME DES REPONSES POSITIVES  
 DANS LES GROUPEES A, B ET C, DONNEES  
 A 8h00, 12h00 et 23h00.  
 (Surface, Compression, Saturation,  
 et Décompression)

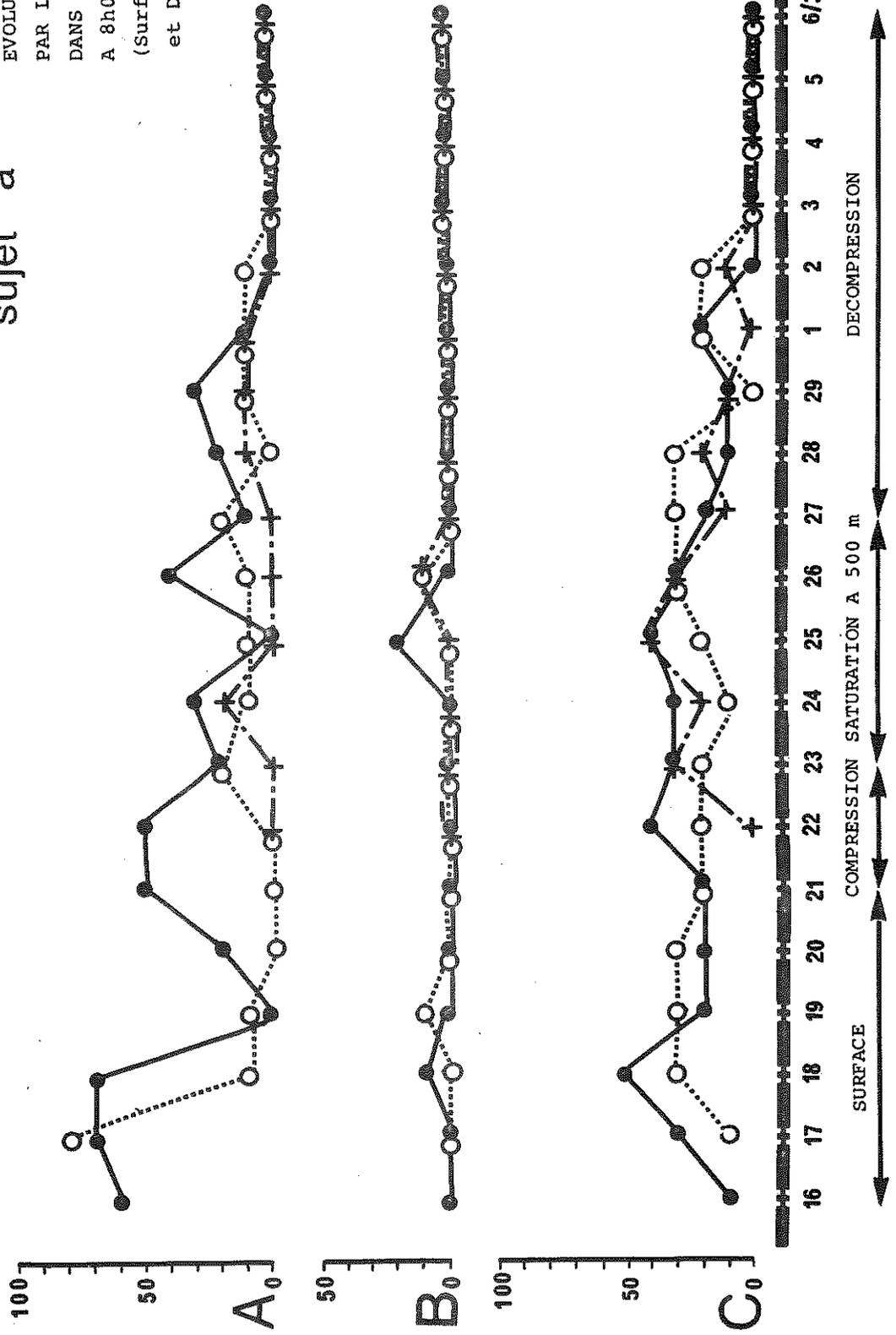


FIG. 1

# SAGITTAIRE II

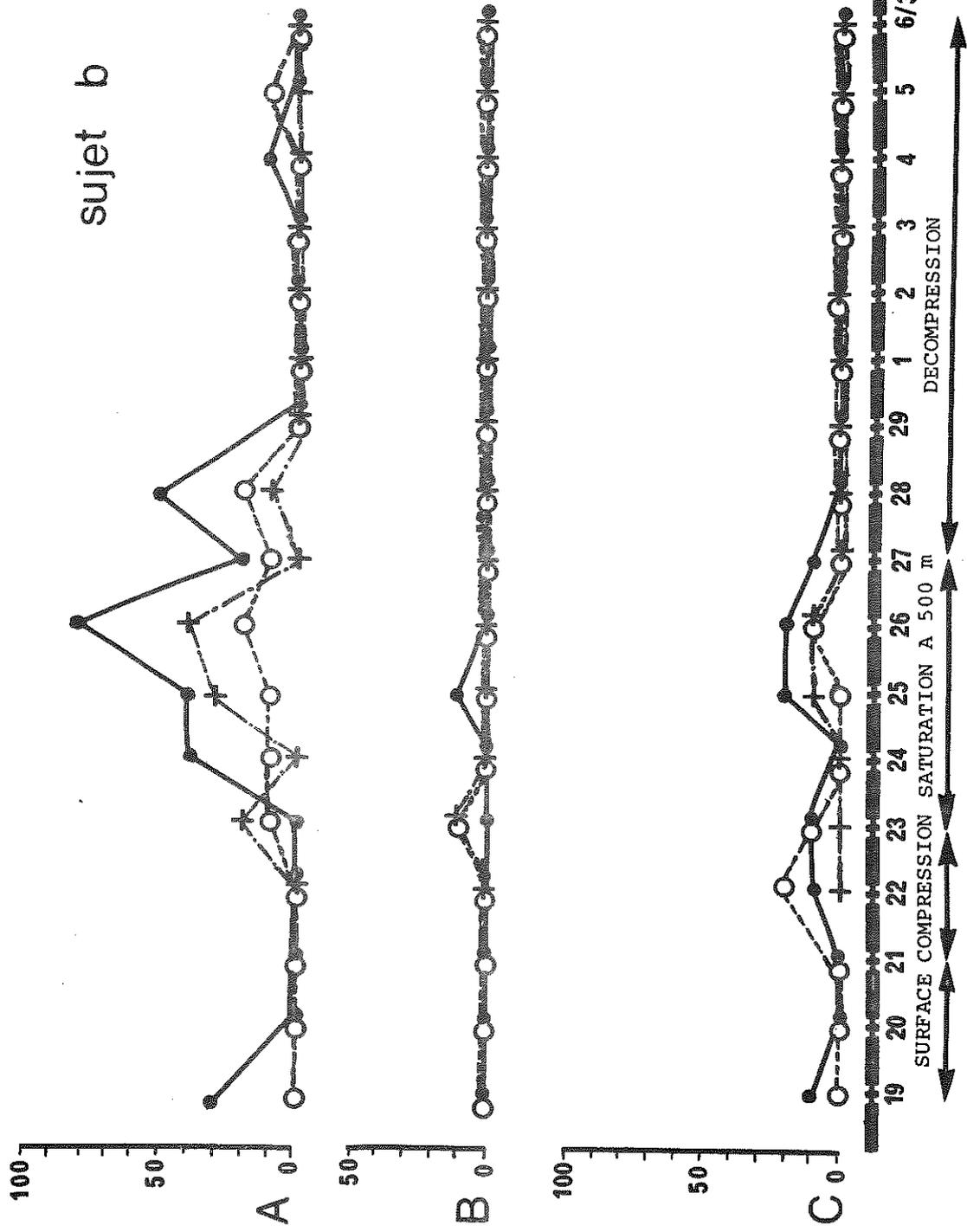


FIG. 2

## SAGITTAIRE II

EVOLUTION DE LA FATIGUE GENERALE  
 (A + B + C) en fonction de l'heure  
 et de la date.  
 (Surface, Compression, Saturation,  
 et Décompression)

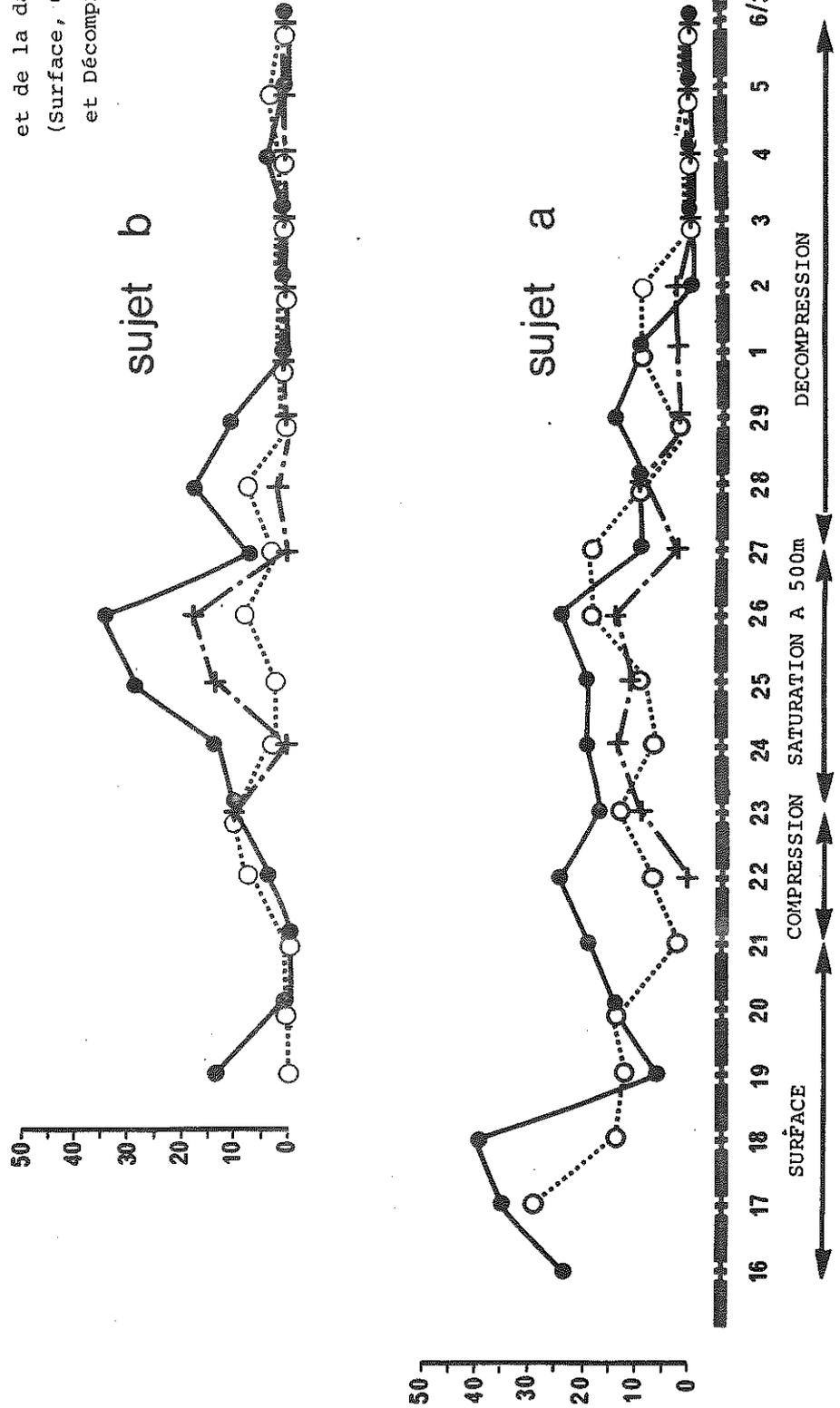


FIG. 3

## II DISCUSSION

L'enquête menée au cours de cette plongée par le moyen du questionnaire de KOGI (en 1970) a conduit aux constatations générales suivantes :

1) - En plongée pendant la saturation, la sensation de fatigue s'accroît :

2) - La sensation de fatigue est normalement plus grande en fin de journée. L'alternance circadienne observée à la surface entre sensation de "fraîcheur" et sensation de "fatigue" s'observe aussi en profondeur.

3) - La sensation générale de fatigue se laisse décomposer en sensations qui correspondent à trois grandes classes d'activités psychophysologiques :

Activités de vigilance, activités de caractère affectif et motivationnel, activités proprement physiques. Chacune de ces activités est susceptible de dégradation ou de modifications qui ont un retentissement interne, dont le sujet peut témoigner - L'analyste croit pouvoir définir, correspondant aux classes définies ci-dessus et à partir du témoignage des sujets, trois "facteurs de fatigue" respectivement (A), (B) et (C).

Les observations faites sur les deux sujets de cette plongée suggèrent que la fatigue générale perçue par les sujets reste en profondeur très modérée. Au vu des réponses faites, la fatigue générale consiste essentiellement en fatigue physique et en fatigue de vigilance. Les problèmes de motivation, ne se posent apparemment que de façon exceptionnelle.

4) - Les réponses données par les sujets (a) et (b) sont sensiblement différentes, qu'il s'agisse du décours d'intensité de la fatigue ou de la composition de cette sensation.

Nous envisagerons successivement la validité générale de la méthode, la validité des procédures, et la signification des réponses retenues comme valides. Un examen général préalable des réponses nous aidera à poser les questions pertinentes.

### 1. Les réponses des sujets : cohérence

Le jugement qu'un sujet porte sur ses états internes peut être, consciemment ou non, biaisé par l'ensemble des circonstances sociales de l'épreuve et la représentation que le sujet se fait de son rôle dans le système en observation. Le sujet peut estimer que la situation "doit" impliquer une fatigue, ou bien préférer le cas où sa personne ne serait plus sujette à la fatigue, même dans des conditions exceptionnelles, compte-tenu de sa propre image actuelle, ou de sa projection dans l'avenir, etc... La coopération des sujets étant acquise, on doit néanmoins s'interroger sur la complexité (ou la simplicité) des facteurs de leur jugement.

L'examen de la cohérence du système des réponses peut être utile s'il s'agit de tester la rectitude des jugements.

Paraissent en faveur de la validité des analyses subjectives du jugement, les faits suivants :

1°) La sensation de fatigue est plus élevée en fin de journée, ce qui paraît normal.

2°) Les fluctuations exprimées de la vigilance, et de la fatigue générale sont assez parallèles d'un sujet à l'autre, notamment pendant la décompression.

3°) Les réponses de la série (B) (motivations) sont étroitement comparables d'un sujet à l'autre. La motivation pour les tâches de la plongée reste excellente. Ces convergences paraissent favorables, néanmoins, il faut souligner que, compte tenu de l'exiguïté de la capsule de plongée et de la densité de programmation générale des travaux des sujets, il n'a pas été possible d'assurer en fait l'indépendance de jugement des sujets au moment des passations ni d'ailleurs l'indépendance d'attitude des sujets devant les tâches générales de la plongée. Par conséquent, le jugement optimiste que l'on peut porter sur l'ensemble des réponses au questionnaire devra être confirmé par d'autres moyens sur lesquels nous reviendrons.

## 2. Validité de nos procédures.

Nos procédures ont été adaptées de KOGI, mais en raison des circonstances leur validité peut rester faible. Les points évidemment critiquables sont les suivants :

- Le nombre des sujets sous observation est faible (deux sujets). Ce paramètre échappe de toute évidence à l'analyste. Les observations PHYSALIE VI et SAGITTAIRE III devraient permettre d'élever le nombre de sujets, et permettre des conclusions générales qui font actuellement défaut, la signification de nos dénombrements et calculs n'est pas actuellement définissable.

- Les sujets n'ont pas été suffisamment étudiés avant et après la plongée. Les raisons de ces lacunes tiennent à la structure des relations entre les sujets, leur environnement social général et la place de notre expérimentation dans ce système de relations. Il serait nécessaire que davantage de temps puisse être consacré à une investigation touchant la fatigue subjective, les examens font actuellement défaut auraient permis de confirmer la cohérence des jugements subjectifs des sujets.

- L'activité des sujets a été hétérogène durant la plongée. Les tests du programme général de la plongée ont été effectués à haute densité pendant la compression et la saturation, à faible densité pendant la décompression. Dans ces conditions l'absence de signe de fatigue, à partir du 3 Mars chez les deux sujets à 08 H 00, 12 H 00 et 23 H 00 pose un problème de signification.

Les sujets ne paraissant plus fatigués ni fatigables, s'agit-il d'un effet normal de leur mise au repos, ou s'agit-il d'une non-motivation à répondre, lié à la situation générale de fin de plongée ?

-L'expérimentation générale (FRUCTUS) proposant aux sujets un questionnaire d'estimation subjective globale de la sensation de fatigue, (échelles d'appréciation en quatre points classique dans les expériences de plongée), nous ne pouvons pas étudier les corrélations entre jugement global et jugement analytique de fatigue.

-En fin la passation renouvelée de questionnaires toujours présentés avec la même ordonnance de questions pose à la fois le problème de l'apprentissage et le problème de l'intérêt dans l'accomplissement de la tâche. Dans l'état actuel de la situation expérimentale, il faut espérer dégager les indications de tendances, sans pouvoir atteindre des conclusions fortes.

### 3. Signification des faits observés.

Nous avons admis la signification générale de la forme (A + B + C) en fait d'index subjectif de la fatigue. La figure 3 montre que le sujet (a) manifeste toujours des signes de fatigue à 08H00, 12H00 ou 23H00 en profondeur, mais aussi en surface. L'absence de symptômes de fatigue pendant la décompression met en cause la concentration du sujet (a) sur la tâche du questionnaire.

Il ne manque pas d'indices objectifs qui néanmoins témoignent de l'adaptation des sujets à la profondeur. Le temps de réaction de choix multiple (trois possibilités) après s'être détérioré s'améliore en début de palier à 500 m et serait même plus court pendant ce palier et pendant la décompression. Il est donc tout à fait possible que les sujets se trouvent en excellente forme pendant la décompression et ne témoignent pas, subjectivement, de signes de fatigue.

Ceci étant, ou bien le sujet (a) répond au questionnaire KOGI de façon hypersensible, ou bien ses réponses, normales, correspondent à un état réel de fatigue et à une fatigabilité réelle (comparer réponses de 08H00 et réponses de 23H00). Les tests de force musculaire de résistance à la fatigue, d'activité et de réactivité cardiaque (LEMAIRE, 1972), conduits, en situation, sur ce sujet, ont révélé une fatigue et une fatigabilité objective à 500 M. Fatigue et fatigabilité ont été appréciées par une comparaison interne (sujet (a) en profondeur et en surface) et une comparaison externe (sujet (a) et sujet (b)). De ces données, nous concluons provisoirement que la somme (A + B + C) est significative en tant qu'indice de fatigue.

Néanmoins le sujet (b) présente une fatigue (A + B + C) et une fatigabilité évidente à 500 m, selon nos tests, alors même qu'il ne présente après test objectif, aucune fatigue décelable (LEMAIRE). L'indice (A + B + C) ne paraît donc pas être dépourvu d'ambiguïté. Ces disparités ne sont pas aisément réduites sur la base de nos informations. On notera cependant que les épreuves de LEMAIRE sont des épreuves de force du domaine physique et que la composante essentielle de la fatigue subjective du sujet (Fig. 2) est essentiellement de type (A) c'est à dire liée à la vigilance du sujet. Il est tout à fait possible que pendant les épreuves de travail statique et dynamique cette vigilance étant provisoirement relevée, la performance reste à son meilleur niveau, alors même qu'en situation de repos relatif, pendant la passation de notre questionnaire, le sujet perçoit des difficultés de vigilance.

Du point de vue purement descriptif, les réponses des

sujets (a) et (b) montrent que la fatigue, faible au total, possède une structure où le facteur (B) n'a pas de part significative.

Le sujet (a), objectivement fatigable selon LEMAIRE, montre une "saturation" relativement haute en indice (C), avec baisse de vigilance (A) corrélative. Le sujet (b), objectivement non fatigable, perçoit une fatigue physique réduite, mais une baisse de vigilance importante (A)

Les différences ne sont peut-être pas significatives entre les profils (a) (C) et (b) (C) ou même (a)(A) et (b)(A). Nous admettons que les sujets ont ressenti une fatigue modérée avec tendance à la somnolence. La corrélation entre fatigue physique (C) et fatigue de vigilance (A) nous paraît relever d'un couplage normal.

La faiblesse de la fatigue motivationnelle est difficile interpréter sans savoir à quelle importance réelle le sujet attachait à l'expérimentation. Elle devait être très élevée, étant donné le caractère exceptionnel à tous les égards de la plongée.

Si on descend dans l'analyse fine des items, on est amené à considérer les plus claires questions et les réponses les plus communes. Ce sont toutes des réponses à des questions (A) ou (C) du domaine de vigilance et physique. Elles intéressent le besoin de dormir, l'état physique régional du sujet (notamment les jambes) et la respiration. Cette analyse confirme la précédente quant à la structure de la fatigue.

## CONCLUSION

Elle intéresse la valeur et l'intérêt de la méthode KOGI, les effets de la plongée sur l'organisme humain, et les perspectives de recherche.

De ce point de vue, elle pourrait fournir un moyen de surveillance économique de l'état des océanauts.

La valeur de la méthode de KOGI en tant qu'analyse structurale de la fatigue est moins claire. Les facteurs isolés (A), (B) et (C) demandent à être confirmés dans leur pureté, leur indépendance et leur signification.

Les conclusions de KOGI ne nous paraissent constituer qu'une première approximation. Néanmoins, ces études confirment bien le caractère de la fatigue; du point de vue pratique, la performance devrait se trouver limitée par le facteur de fatigue (A), (B) ou (C) le plus développé (facteur limitant).

Il est difficile, à travers l'étude de deux sujets d'apprécier l'effet stressant de la plongée. Néanmoins, il semble qu'on puisse noter :

- que la situation de plongée n'entraîne pas un relèvement de la vigilance (facteur A), qui témoignerait d'un haut niveau d'inquiétude. La haute qualité du matériel et des procédures actuelles de la plongée profonde en caisson sont responsables de cette tranquillité,

- que l'ensemble de l'épreuve constitue une charge très modérée qui ne présente, ni du point de vue subjectif, ni du point de vue objectif (LEMAIRE) une situation exceptionnelle. Ni la pression, ni la composition de l'atmosphère (helium légèrement hyperoxique) ne paraissent avoir de retentissement majeur sur l'appareil métabolique ou sur l'appareil informatif des sujets. Les seuls symptômes qui sont décelés - à travers notre enquête et les tests ergonomiques - consistent en tremblement des membres. Ce sont des éléments du Syndrome nerveux des hautes pressions de Fructus, Naquet et Brauer, dont les manifestations au cours de cette plongée ont été réduites. Les troubles discrets qui ont été observés se sont atténués avec le séjour en profondeur, puis la décompression. Les repos intercurrents, pendant la décompression ont empêché de conclure de façon ferme sur la question suivante : la disparition des signes de fatigue en fin de plongée est-elle bien un signe d'adaptation aux circonstances de l'Heliox hyperbare?

Ce travail ouvre sur une analyse approfondie de la fatigue en plongée hyperbare examinée à travers diverses épreuves de performance et des passations renouvelées de questionnaires sur les symptômes subjectifs.

- De confirmer et préciser la validité de l'analyse subjective selon KOGI, en déterminant au mieux les relations entre analyse subjective et signes objectifs de la fatigue.

- D'approfondir la connaissance des facteurs (A),(B) et (C) de fatigue, à la fois en termes psychologiques et en termes psychophysologiques.

- De définir, par nos moyens introspectifs, une dimension du travail humain en plongée qui est de grande importance et de proposer pour une investigation de cette dimension un outil, d'emploi commode, mais dont il aura fallu vérifier la fiabilité.

D I E T E T I Q U E

---

Au cours de l'expérience pour les deux plongeurs :

Ration moyenne consommée:

	<u>Prot.</u>	<u>lip.</u>	<u>glu.</u>	<u>calor.</u>	<u>eau</u>
HUTEAU confin.	115	140	235	2650	2800
-500m.	85	95	240	2150	2450
décompr.	95	135	270	2850	?
<hr/>					
TOLLAS confin.	120	160	280	3050	2700
-500m.	55	65	240	1700	2450
décompr.	90	135	260	2600	?

jusqu'à 350 mètres, nous n'avons rien observé de particulier, mais à partir de 350m.:

- Au point de vue goût: les aliments n'ont ni saveur, ni odeur  
( à part quelques exceptions comme le roquefort)

L'eau aussi a mauvais goût.

- Au point de vue texture:

Le pain est très élastique; viandes et poissons secs et fibreux. On avait éliminé d'emblée: poire, pomme, banane; P. de terre, pate, riz qui auraient mal supporté les changements brusques de pression, étaient préparés de façon à ne pas faire colle.

- A partir de 350 m. aussi, les plongeurs n'ont pas d'appétit, ils se forcent pour manger et si nous sommes arrivés (pendant la période à 500 m.) à maintenir le taux calorique à 1750 en moyenne pour THOLLAS avec une pointe à 1350

et à 2150 en moyenne pour HUTEAU qui fut, plus régulier malgré tout, dans son comportement alimentaire,

C'est parce que nous avons modifié la qualité de nos apports; certains aliments quoiqu'aussi insipides que les autres étant mieux acceptés (lég., verts, fruits par exemple)

et les aliments semi-liquides demandant moins d'effort pour être absorbés

Cette expérience nous a permis de conclure qu'à 500 m ce qui est le mieux accepté est;

Jus de fruits

fruits (orange, mandarine, ananas?)

compote

légumes verts crus (salade, champignon, carotte, betterave, celeri-rave, madédoine.....)

chocolat au lait

lait concentré sucré

biscuit (pt. beurre)

sucres

Notre ration devra donc se baser dans le futur sur ces aliments, complétés par un peu de viande ou poisson et fromage (pour satisfaire un côté psychologique) Le tout en essayant de conserver un équilibre protides, lipides, glucides.

## HUTEAU

	PROT.	LIPIDES	GLUCIDES	CALORIES	EAU V° TOTAL
M 8 Février	115	130	260	2650	2850
Me 9	115	140	210	2550	2700
J10	120	175	250	3100	3300
V11	110	120	220	2400	2500
M 22	85	90	130	1700	2600
ME 23	70	90	180	1800	2100
J24	105	120	250	2500	2450
V25	110	90	300	2450	2350
J26	70	80	230	1900	2150
D27	70	105	250	2250	2700
L28	70	125	310	2650	2450
M29	100	140	370	3150	?
Me 1er Mars	100	120	230	2400	2450
J2	100	110	200	2200	2100
V3	80	110	260	2400	1900
S4	115	125	220	3550	2500
D5	120	220	290	3600	?

	PROT.	LIPIDES	GLUCIDES	CALORIES	EAU V° TOTAL
m 8 Févr	130	140	310	3000	3100
me 9	120	170	320	3300	2550
J 10	130	180	230	3050	2600
V 11	115	150	290	2950	2500
m 22	100	130	280	2700	2900
me 23	55	70	220	1550	1750
J 24	65	100	250	2200	2850
V 25	50	50	280	1800	2200
S 26	40	35	220	1350	1900
D 27	60	80	220	1800	2600
L 28	40	90	205	1800	1950
M 29	85	125	290	2600	?
Me 1er Mars	95	125	220	2400	2550
J 2	65	90	250	2100	2250
V3	100	135	280	2750	2500
S4	110	135	240	2650	2400
D5	135	240	360	4100	?

## L'APPAREIL OSTEOARTICULAIRE

---

Les deux plongeurs ont présenté un syndrome articulaire aux hautes pressions.

Les douleurs articulaires ont été précisées vers 350 mètres.

Pour HUTEAU l'atteinte intéressait : les deux coudes, les genoux, la hanche droite ;

THOLLAS souffrait des coudes, du poignet droit, des chevilles.

Les mouvements de flexion étaient douloureux, la mise en extension des articulations amenait une sédation, il n'y avait pas de limitation des mouvements, la douleur ressentie n'était pas gênante : les deux plongeurs avaient l'impression d'avoir les articulations sèches et certaines craquaient.

Mais au cours d'un exercice musculaire dynamique, THOLLAS a eu un blocage du coude droit : c'est à dire qu'il n'a pas pu poursuivre la flexion, non pas par la douleur, mais par une sensation d'arrêt mécanique : en étendant l'avant-bras, il a eu l'impression de lever l'obstacle.

On peut envisager qu'une frange synoviale est à l'origine du blocage et / ou que les conditions de fonctionnement cartilage - liquide synovial ont été fortement perturbées.

Le syndrome articulaire des hautes pressions, le blocage articulaire impliquent une modification des phénomènes apparentés à la lubrification hydrodynamique ou élasto-hydrodynamique qui permettent la lubrification articulaire.

Les faits que nous venons de rapporter donnent à penser que les fortes pressions peuvent altérer les surfaces articulaires.

.../...

## LE METABOLISME PHOSPHOCALCIQUE

---

Les conditions de vie en hyperbarie rendent encore plus délicate l'exploration biologique du métabolisme phosphocalcique . De plus, les techniques de radiodensitométrie que nous utilisons étant approximatives, nous avons essayé d'étayer cette étude par une biopsie osseuse sur les crêtes iliaques des deux plongeurs.

L'examen du tissu osseux n'a pas révélé d'image anatomopathologique anormale mais la lecture n'a pu être faite quantitativement.

## NEUROPHYSIOLOGIE

-----

L'étude neurophysiologique a porté sur :

- La mesure du tremblement
- Les activités EEG de veille au repos ou 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.

-----

## A - MESURE DU TREMBLEMENT -

### 1. Technique

Le tremblement est mesuré au moyen d'un géophone (géo-space HS-J) placé sur le majeur de la main droite. La mesure est réalisée au cours de l'"épreuve du serment". Les signaux sont enregistrés sur bandes magnétiques et traités ultérieurement sur ordinateur (PDP 12 digital equipment corporation) pour obtenir l'amplitude moyenne et le spectre de puissance. Pour chaque séquence, ces analyses portent sur 3 tranches successives de 17 secondes de durée chacune.

Les résultats obtenus à partir du moyennage de ces 3 tranches sont exprimés en pourcentage de différence par rapport à la valeur moyenne des contrôles effectués en surface.

### 2. Résultats

L'augmentation du tremblement est visible dès 280 mètres chez les 2 sujets (fig. 1). Ce tremblement s'accroît au cours de la compression pour atteindre à l'arrivée au fond, une augmentation de 300 % chez les 2 plongeurs. L'amplitude de ce tremblement reste élevée le 1er jour à 500 mètres (Suj. A : H. F : 200 % environ ; Suj. B : T. J : 400 %). Il régresse entre le 2ème et le 3ème jour du séjour (Suj. A : H. F : 50 % ; Suj. B : T. J : 200 %). Le 4ème jour, le tremblement est de nouveau en augmentation (Suj. A : H. F : 300 % à 400 % ; Suj. B : T. J : 400 %) (fig. 1).

Pendant la décompression ce tremblement régresse plus ou moins régulièrement chez les 2 plongeurs. Ainsi chez le sujet A, cette diminution est relativement rapide et en dent de scie : un retour à des valeurs proches de la normale est noté vers 200 mètres. Chez le sujet B, cette régression est plus lente et plus régulière ; mais le tremblement persistera jusqu'à la fin de la décompression où on notera encore une différence de 80 % à 100 % par rapport à la valeur de contrôle.

Il faut remarquer que l'évolution du tremblement au cours de la plongée est assez parallèle chez les 2 sujets.

La fréquence de ce tremblement, donnée par les spectres de puissance oscille entre 8 et 12 c/s.

FIGURE I

Evolution du tremblement (middle finger tremor) des 2 sujets en fonction de la profondeur au cours de la plongée.

En abscisses :

Les profondeurs exprimées en mètres (depth in meters) et les jours (days).

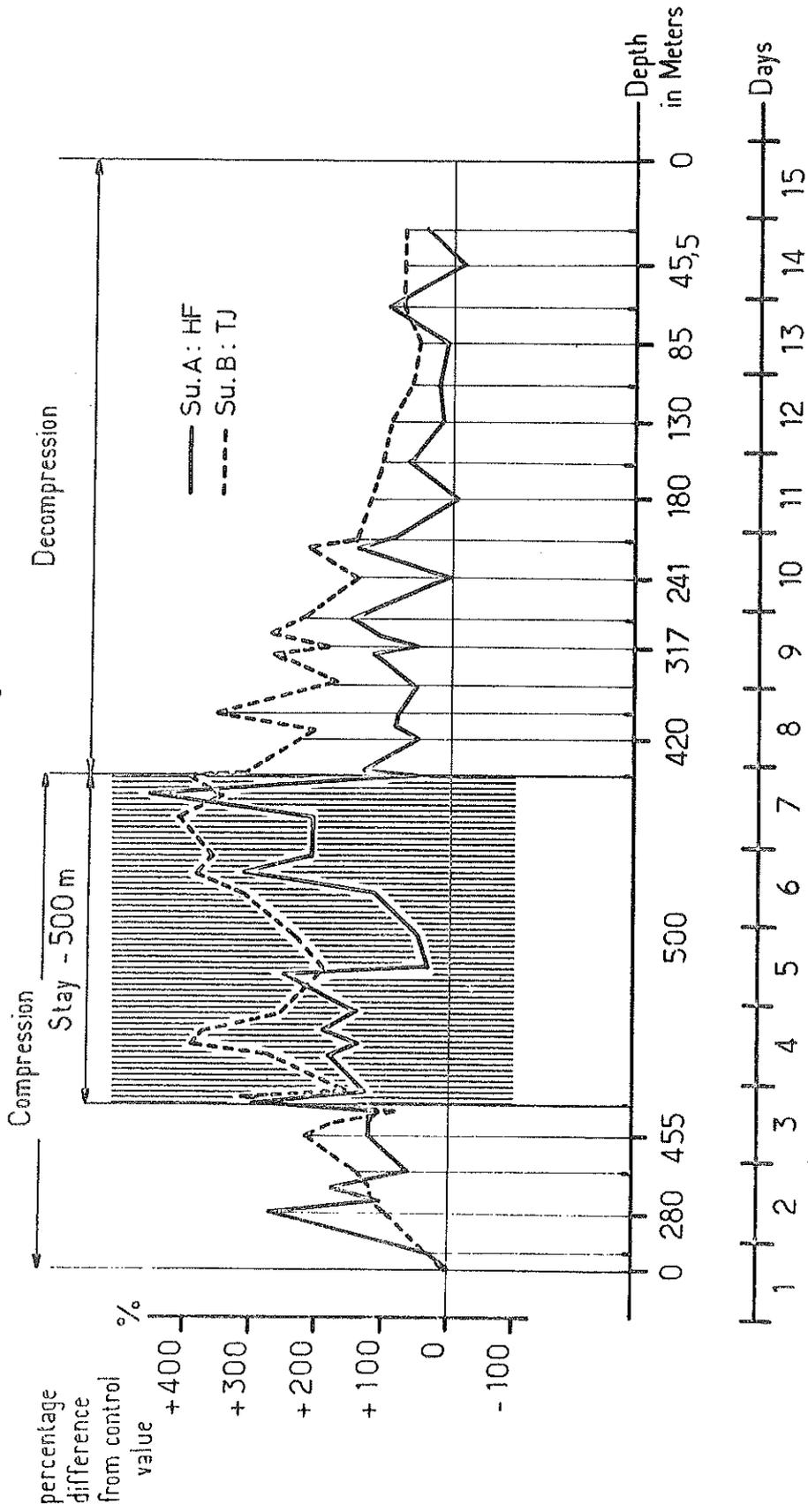
En ordonnées :

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

La zone hachurée figure le séjour à 500 m (explication dans le texte).

# - SAGITTAIRE II -

## Middle Finger Tremor



## B - LES ACTIVITES EEG -

### 1. Techniques

Les 2 sujets étaient porteurs d'électrodes hameçon "E.C.E.M." enfoncées dans le scalp et maintenues en place par de la gaze et du collodion en des points déterminés (fronto-polaire, vertex-médian, central, temporal moyen, occipital) de l'hémisphère droit, avec une électrode servant de "masse" sur l'hémisphère gauche ; une sixième électrode (capsulex Alvar) a permis de recueillir les mouvements oculaires.

Les enregistrements EEG de veille ont été effectués et répétés à heure fixe tous les jours. Au cours de ces tests, les sujets étaient allongés, au repos. Les activités EEG ont été recueillies sur un électroencéphalogramme "Alvar minihuit" en dérivation bipolaire jumelée : fronto-polaire-central, central-temporal-moyen, temporal-moyen-occipital.

Des séquences ont été enregistrées sur bandes magnétiques (EPI 2 C CDC Schlumberger), afin d'effectuer un traitement sur ordinateur (PDP 12), en vue d'obtenir des spectres de puissance des activités EEG. Cette analyse spectrale est faite en temps différé, à partir des séquences enregistrées repérées à l'aide d'un numéroteur de bandes magnétiques analogiques (SEVME informatique). 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 dériviatives d'EEG. Les spectres ont été moyennés pour chaque séquence à l'aide d'un second programme (SPMOYE) élaboré au Laboratoire. 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.

.../...

## FIGURE 2

Modifications EEG enregistrées chez le sujet A (H.F.) au cours de la plongée :

- en surface, à la fermeture des yeux (eyes closed), l'activité alpha postérieure à une fréquence de 10 c/s ; elle est continue et ample (50 microvolts).
  
- à 343 m, l'activité alpha qui apparaît à la fermeture des yeux est remplacée rapidement après, par un tracé évoquant un stade I de sommeil.
  
- à 500 m, la transformation du tracé de veille en tracé de stade de sommeil après la fermeture des yeux, et les activités thêta qui apparaissent surtout sur la dérivation centro-temporale persistent pendant toute la durée du séjour (500 m : 1st day - 4th day).

# - SAGITTAIRE II -

EYES CLOSED

Su.A : H.F.

SURFACE

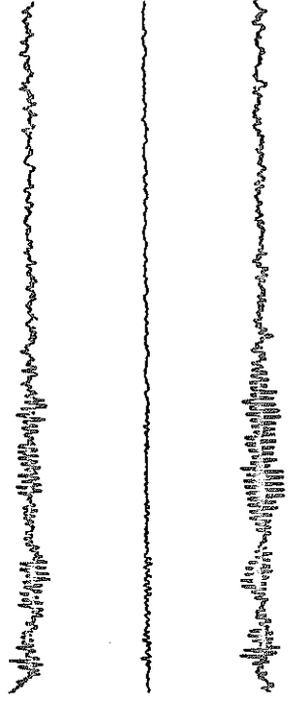
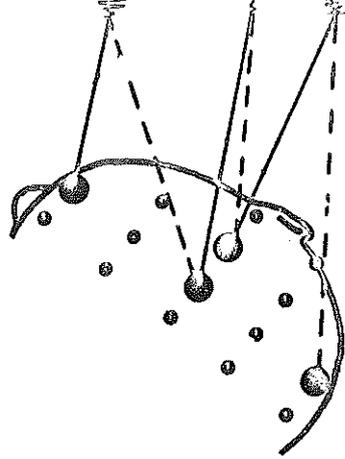
- 343 M

15 h 00

21.02.72

15 h 08

22.02.72



- 500 M

11 h 00 - 1st day

24.02.72

18 h 00 - 4 th day

27.02.72



50  $\mu$ v  $\perp$   
1 sec

Les activités EEG de sommeil ont été recueillies toutes les nuits, ce qui donne avec les enregistrements de contrôle effectués en surface dans un centre spécialisé, et au cours du confinement, 40 enregistrements de sommeil d'une durée moyenne de 8 heures. Après lecture des tracés, les données sont traitées sur ordinateur (CII I0070 - Centre de Calcul du Pharo) afin d'effectuer différents calculs statistiques à partir d'un programme établi par Cartwright et coll. (1968) et remanié au Laboratoire pour nos besoins. Il permet d'obtenir :

- le nombre de changements d'état et la durée de chaque état répartis selon l'ordre chronologique,
- 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, l'interquartile, les quartiles des durées.

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

## 2. Résultats

1°) Les activités EEG de veille : analyse des tracés.

Les premières modifications EEGraphiques sont survenues entre 300 et 315 m. Elles ont consisté en l'apparition d'un tracé évoquant une somnolence survenant très rapidement après que les sujets aient fermé les yeux.

Ainsi en surface chez les 2 plongeurs (fig. 2 et 3) (Pl. A : H. F. et Pl. B : T. J.) les tracés EEG sont caractérisés à la fermeture des yeux

FIG. 3

Enregistrement EEG du plongeur B (T.J.) au cours de la plongée SAGITTAIRE

- en surface, à la fermeture des yeux (eyes closed), l'activité alpha postérieure a une fréquence de 10 à 12 c/s ; elle est très ample (entre 50 et 75  $\mu$ V).
- à 343 m, l'activité alpha est très rapidement remplacée, quelques secondes après la fermeture des yeux, par des ondes de fréquence  $\theta$  évoquant un stade I de sommeil.
- à 500 m, cette transformation du tracé de veille en tracé de sommeil quelques instants après la fermeture des yeux persiste pendant toute la durée du séjour (500 m : 1st day - 4th day). Parallèlement, les activités  $\theta$  se sont renforcées et elles ne disparaissent pas pendant le séjour à cette profondeur.

# - SAGITTAIRE II -

EYES CLOSED

Su. B : T.J.

SURFACE

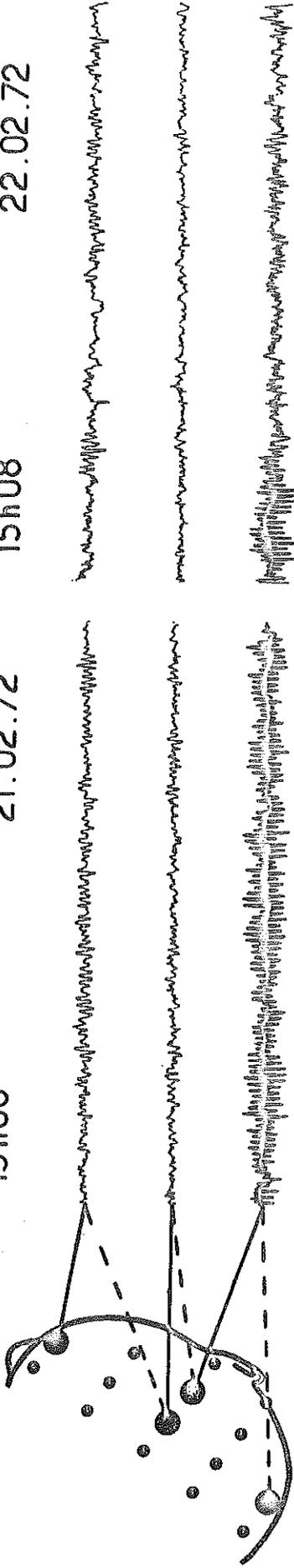
- 343 M

15h00

21.02.72

15h08

22.02.72



- 500 M

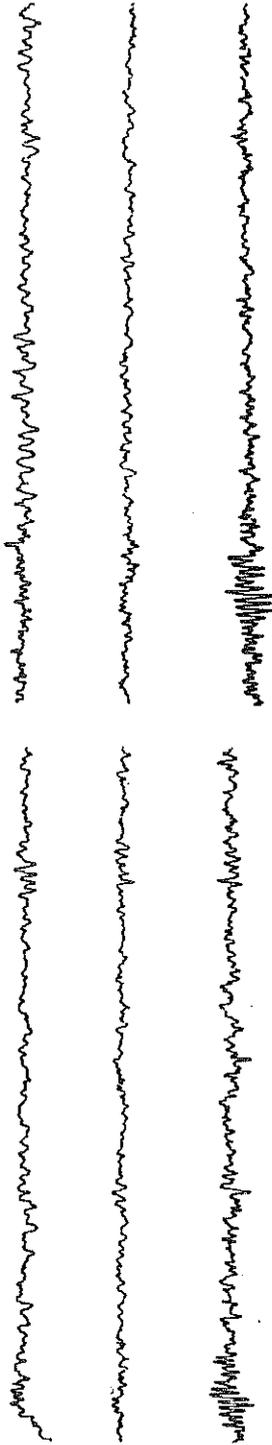
11h00 - 1st day

24.02.72

18h00 - 4th day

27.02.72

50  $\mu$ v L  
1 sec



par la survenue d'une activité alpha à 10 c/s continue et ample (50 $\mu$ V). Dans la région antérieure peut apparaître parfois une activité rythmique à 9-10 c/s qui peut être identifiée à un rythme en arceau.

A partir de 300 m (Pl. B) et de 315 m (Pl. A), l'activité alpha qui apparaît à la fermeture des yeux est remplacée au bout de quelques secondes par un tracé évoquant un stade I de sommeil et donc une baisse du niveau de vigilance. Cette "instabilité" du tracé de veille persiste inchangée pendant toute la durée de la compression chez le Pl. A ; elle s'accroît chez le plongeur B. Parallèlement, chez ce dernier plongeur, les activités thêta se renforcent à partir de 400 m dans les régions antérieure et moyenne, que les yeux soient ouverts ou fermés, où elles apparaissent sous forme de bouffées à 4-5 c/s. Chez le sujet A, ce renforcement des activités thêta ne sera que légèrement perceptible à l'arrivée à 500 m dans les mêmes régions corticales que précédemment.

Pendant le séjour à 500 m, les activités thêta persistent chez les 2 plongeurs. Chez le sujet A, elles apparaissent sous forme de bouffées de faible amplitude sur les dérivations fronto-centrale et centro-temporale. Chez le sujet B, elles sont pratiquement continues que les yeux soient ouverts ou fermés et beaucoup plus amples que chez le sujet précédent. L'instabilité des tracés EEG de veille à la fermeture des yeux reste très importante et s'accroît même chez le sujet B entre le 1er et le 4e jour à 500 m (fig. 2 et 3). L'alpha se ralentit légèrement (1 c/s environ) en fin de séjour.

Pendant la décompression, à partir de 400 m, les activités de fréquence thêta présentent chez les 2 sujets un début de régression. Cependant, alors qu'elles deviennent très rares vers 200 m, chez le sujet A, elles sont présentes jusqu'à l'arrivée en surface chez le sujet B. La tendance à la somnolence dont témoigne la survenue d'un tracé de stade I de sommeil dès la fermeture des yeux persiste jusqu'à l'arrivée en surface chez les 2 sujets avec une prédominance chez le sujet B ; un retour à des tracés proches de la normale est observé 12 heures environ après la sortie du caisson.

2°) Les activités EEG de veille : analyse des spectres de puissance.

L'analyse de l'évolution des spectres de puissance au cours de cette plongée a permis de confirmer, de préciser et de quantifier l'ensemble des modifications EEG rencontrées pendant la veille. Une difficulté est survenue du fait de la tendance à l'endormissement des sujets, notée lors de chaque enregistrement.

Pour cette analyse spectrale n'ont été retenues que les séquences où persistaient une activité alpha postérieure pendant 7 à 8 secondes à la fermeture des yeux.

La puissance des activités de fréquence thêta est en augmentation dès 300 m chez le sujet B (T.J.) alors que l'on observe un renforcement significatif de ces activités qu'à partir de 500 m chez le sujet A (H.F.). Cette accentuation se rencontre au niveau des régions antérieure et moyenne chez le sujet A (fig. 4), sur l'ensemble des dérivations chez le sujet B (fig. 5) mais avec une prédominance antérieure et moyenne. Ces modifications sont accompagnées par une dépression des activités de fréquence rapide (alpha et beta) qui survient dès 300 m (fig. 4 et 5).

Pendant le séjour à 500 m, la puissance des activités theta devient plus importante encore. On note entre l'arrivée à 500 m et la fin du séjour, une augmentation de 50 % à 500 % et 800 % selon les dérivations chez le sujet A (fig. 4) et de 500 % à 1500 % et 1800 % dans les régions moyenne et antérieure chez le sujet B (fig. 5). Parallèlement pendant le séjour, les activités delta se renforcent dans la région antérieure chez le sujet A où l'augmentation est de 600 % en fin de séjour, et dans les régions antérieure et moyenne chez le sujet B où on note respectivement une différence de 400 % et 800 % par rapport à la surface. La dépression des activités de fréquence rapide (alpha et beta) persiste pendant toute la durée du séjour à 500 m (fig. 4 et 5).

Pendant la décompression, les puissances des activités delta et theta diminuent lentement. Entre 500 et 350 m, les valeurs sont aussi importantes que celles rencontrées à 500 m. Ce n'est qu'à partir de 300 m que l'on observe une régression de la puissance de ces 2 bandes de fréquence qui conservent cependant des valeurs élevées surtout chez le sujet B, jusqu'à

la sortie du caisson. Les activités des bandes alpha et beta récupèrent en puissance entre 300 et 200 m (fig. 4 et 5).

### 3°) Les activités EEG de sommeil

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

FIGURE 4

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

En ordonnées :

L'augmentation de la puissance exprimée en différence de pourcentage par rapport à la valeur moyenne des contrôles effectués en surface,

En abscisses :

La profondeur en mètres et les jours.

Les activités EEG sont étudiées sur 3 dérivations :

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

Pour chaque dérivation, on considère quatre bandes de fréquences;

de haut en bas : delta (1-4c/s)  
théta (4-7 c/s)  
alpha (8-13c/s)  
bêta (14-22c/s).

Dans chacune de ces bandes de fréquence est représentée l'évolution de la valeur de la raie la plus importante exprimée en pourcentage de différence.

FIG. 4 Suite

Les activités dans les bandes de fréquences rapides (alpha et bêta) sont déprimées sur l'ensemble des dérivation à partir de 300 m.

Une accentuation significative des activités de fréquence thêta et delta est observée à l'arrivée à 500 m, et pendant le séjour à cette profondeur.

Le maximum atteint par les activités thêta entre le 3ème et le 4ème jour du séjour est de 900 % dans la région antérieure et de 400 % à 800 % sur la dérivation moyenne.

Pendant la décompression, alors que les activités alpha et bêta récupèrent leur puissance initiale assez rapidement, l'augmentation des activités delta et thêta reste élevée (on note respectivement 700 % et 1100 % dans la région moyenne) jusqu'à 300 m de profondeur à partir de laquelle elle diminue.

SAGITTAIRE II  
Su. A : HF

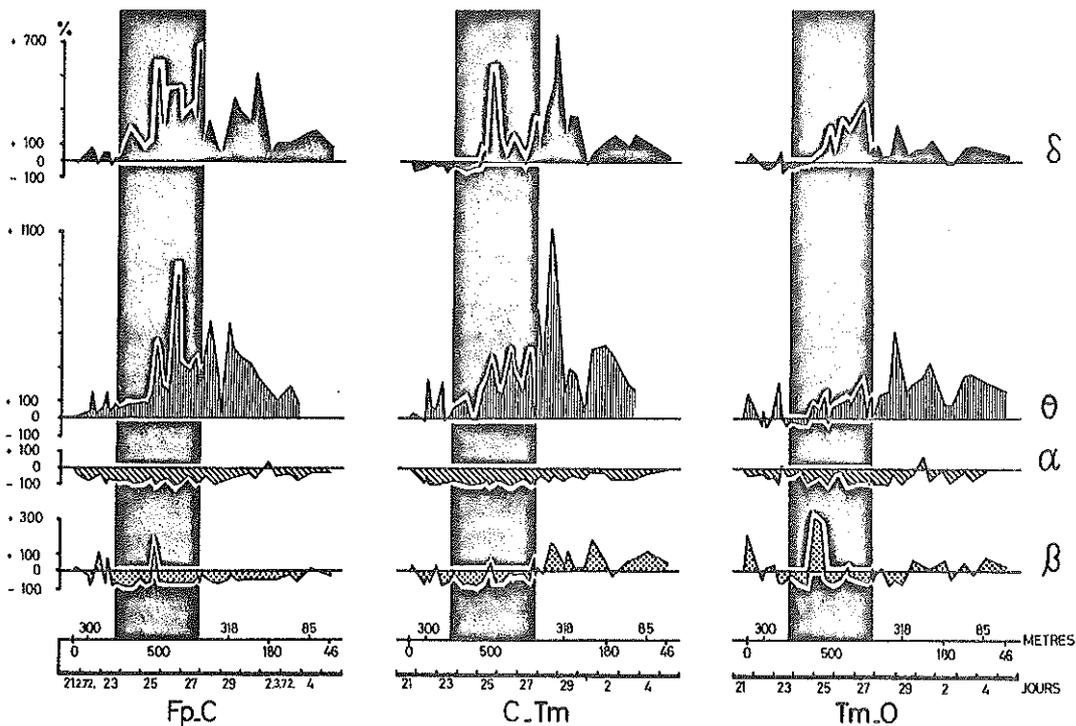


FIGURE 5

Evolution des spectres de puissance des activités EEG en fonction de la profondeur chez le sujet B (T.J.) au cours de la plongée. (même représentation graphique que pour la figure 4).

Les activités dans les bandes de fréquences rapides (alpha et bêta) sont déprimées sur l'ensemble des dériviations à partir de 300.

L'accentuation des activités de fréquence thêta et delta est visible entre 300 et 400 m, surtout sur les dériviations antérieure et moyenne.

A l'arrivée à 500, on note une augmentation de 500 % pour les activités thêta, de 100 % pour les activités delta.

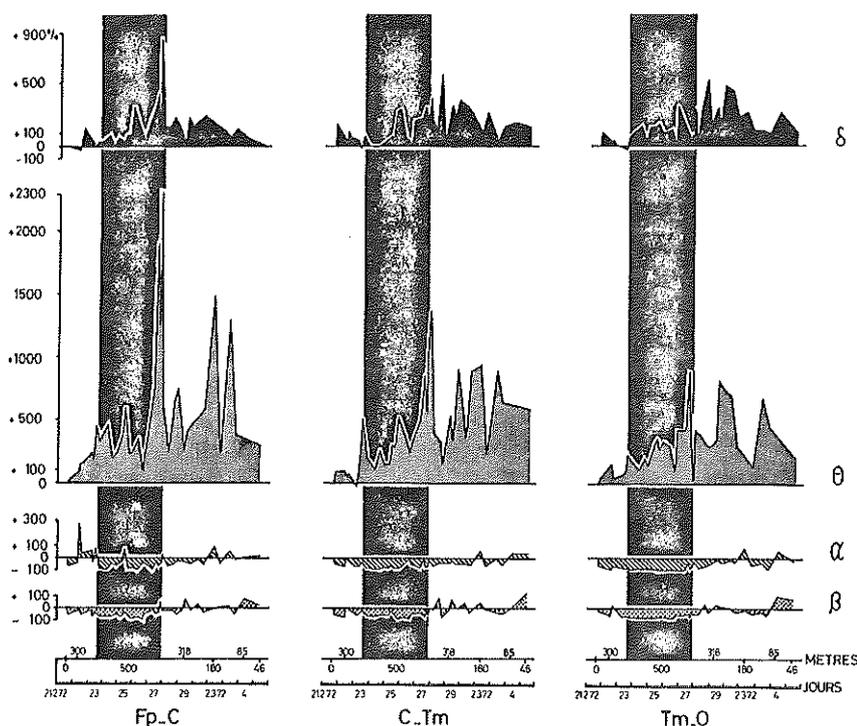
Le maximum est atteint le 4ème jour du séjour.

2300 % dans la région antérieure pour les activités thêta,  
900 % dans la même région pour les activités delta.

Pendant la décompression, les activités alpha et bêta récupèrent leur puissance initiale assez rapidement.

En revanche, les activités delta et thêta conservent une puissance élevée jusqu'à la fin de la décompression où commence à s'amorcer un retour vers la normale.

SAGITTAIRE II  
Su.B:T.J.



## LES POTENTIELS EVOQUES VISUELS MOYENS

---

### I - TECHNIQUES -

Les 2 sujets ont été soumis journellement, aux mêmes heures, à des stimulations visuelles afin de constater les modifications des afférences sensorielles au niveau central.

Pour cette étude les sujets sont allongés au repos, les yeux fermés. Une lampe de stroboscope (Vareclat TR), modifiée pour notre usage et insonorisée, est placée à l'intérieur du caisson à 20 cm de leurs yeux. Les flashes sont délivrés toutes les secondes au cours de séquences de 50 stimulations.

Les activités EEGraphiques et les réponses évoquées sont recueillies à partir de la dérivation vertex-médian-occipital sur un électroencéphalographe (Alvar minihuit TR) et enregistrées sur bandes magnétiques analogiques (EPI 2C CDC Schlumberger). Les numéros des séquences et les tops de synchronisation sont distribués par un numéroteur de bandes magnétiques analogiques (SEVME informatique). Un oscilloscope à 4 voies (Tektronics) permet la visualisation et le contrôle de l'enregistrement.

Le traitement des données consiste à réaliser une sommation de 50 réponses évoquées à l'aide d'un petit calculateur analogique ( Enhancetron 1024) déclenché par les tops de synchronisation enregistrés sur les bandes magnétiques.

L'analyse est faite sur une durée de 500 ms, la stimulation survenant 30 ms après le top de synchronisation. Elle consiste à déterminer l'amplitude des différentes composantes du potentiel évoqué visuel, numérotées de I à VII selon la nomenclature de GASTAUT et coll. (1964) et la latence existant entre la stimulation et l'apparition des diverses composantes.

.../...

II - RESULTATS -a) Morphologie des PEVM en surface

Les PEVM sont constitués de 2 parties : une réponse précoce comprenant les ondes I, II, III et IV et une partie tardive comprenant les ondes V et VI. Pour la présente étude, l'onde I n'étant pas toujours visible, elle n'a pas été prise en considération.

Les latences d'apparition des différentes composantes chez les 2 sujets sont les suivantes :

	II	III	IV	V	VI
Su. A (H.F.)	40 msec $\pm$ 3	76	107 $\pm$ 10	140 $\pm$ 10	210 $\pm$ 3
Su. B (T.J.)	60 msec $\pm$ 8	80 $\pm$ 12	112 $\pm$ 3	180 $\pm$ 3	274 $\pm$ 3

Dans certains cas, l'onde V peut être triphasique (Va, b, c) ; seule l'onde Va a été prise en considération.

L'amplitude moyenne maximale de la réponse, mesurée pic à pic entre les deux points les plus espacés des ondes III et IV est de 16  $\mu$ V pour le sujet A (fig. 6) et de 11  $\mu$ V pour le sujet B (fig. 7).

b) Modifications morphologiques des PEVM au cours de la plongée- Les latences :

On peut distinguer différentes évolutions selon les 3 phases de la plongée.

. Pendant la compression, les variations de latences sont peu significatives. On note cependant une très légère tendance au rallongement de la latence de l'onde II (de l'ordre de 10 %) chez les 2 sujets.

. Pendant le séjour, les latences des ondes II, III et V chez le sujet A, et celles des ondes II et III chez le sujet B, se rallongent de 10 à 25 %. La latence de l'onde IV chez les 2 sujets, ne présente pas d'évolution caractéristique. En revanche, on observe un raccourcis-

.../...

FIGURE 6

Evolution des potentiels évoqués visuels moyens, au cours de la plongée chez le sujet A (H.F.).

A gauche, de haut en bas, les PEVM en surface et à différentes profondeurs pendant la compression.

Au centre, de haut en bas, les PEVM au cours des 4 jours à 500 m.

A droite, de haut en bas, les PEVM à différentes profondeurs pendant la décompression.

(explication dans le texte).

Il faut remarquer :

- les modifications morphologiques importantes du PEVM au cours de la compression par rapport à la réponse de la surface,
- la stabilité relative du potentiel au cours du séjour (à l'exception du 2ème jour),
- l'instabilité morphologique de la réponse pendant la décompression et le retour à une réponse proche de celle du départ vers 74 m.

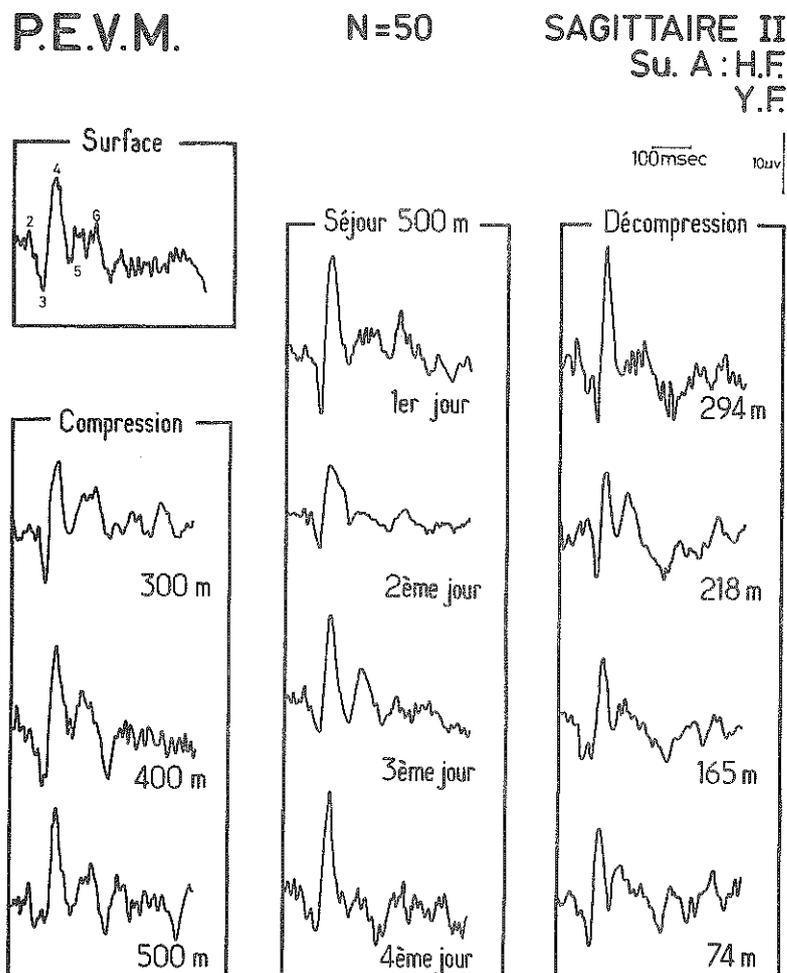


FIGURE 7

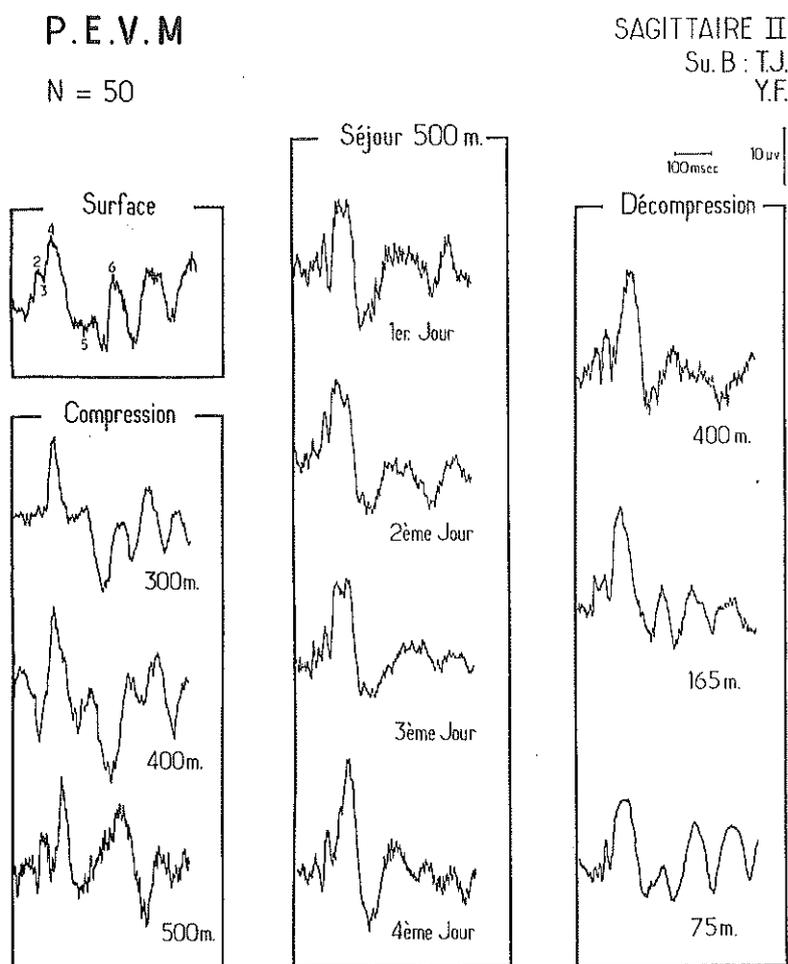
Evolution des potentiels évoqués visuels moyens au cours de la plongée chez le sujet B (T.J.).

(même légende que pour la figure 6).

(explications dans le texte).

Il faut remarquer :

- les importantes variations morphologiques au cours de la compression par rapport à la réponse de surface,
- la stabilité de la réponse pendant le séjour à 500 m, l'augmentation d'amplitude des ondes III, IV, V, la diminution de l'onde VI et la disparition de la post décharge rythmique,
- les modifications de la morphologie du PEVM pendant la décompression et le retour à une réponse proche de celle du départ vers 75 m.



sement de la latence de l'onde V chez le sujet B, mais dans ce cas il est très léger (inférieur à 10 %) et de l'onde VI chez les 2 sujets (10 à 20 %) (fig. 6 et 7).

. Pendant la décompression, le rallongement des ondes II, III et V chez le sujet A, et celui des ondes II et III chez le sujet B, persiste jusqu'aux environs de 150 m chez le premier, de 200 m chez le second.

Le raccourcissement de la latence de l'onde VI disparaît chez les 2 sujets lors de l'examen à 36 m. En revanche, chez le sujet B, le raccourcissement de la latence de l'onde V disparaît dès le début de la décompression, on observe même un léger rallongement de la latence qui ne disparaît que vers 100 m.

#### - Les amplitudes :

On distingue également différentes évolutions selon les 3 phases de la plongée.

. Pendant la compression, il existe des différences dans les modifications selon la profondeur où sont effectués les tests. Ainsi, aux environs de 300 m, on observe chez les 2 sujets une diminution d'amplitude de toutes les composantes du PEVM à l'exclusion de l'onde VI. La diminution la plus importante est notée pour l'onde II chez le sujet A (- 30 %) et chez le sujet B (- 80 %) (fig. 8). Pour les tests réalisés au-delà de 300 m la diminution d'amplitude ne concerne plus que les ondes II et III du sujet A (- 80 % pour l'onde II à 400 m) et l'onde II du sujet B (- 40 % à 400 m), les autres composantes sont en revanche plus amples qu'en surface chez les 2 sujets. On peut noter une augmentation de 80 % (475 m) pour l'onde VI chez le sujet A et de 260 % (400 et 475 m) pour l'onde III chez le sujet B.

A l'arrivée à 500 m, l'onde II est elle aussi plus ample qu'en surface chez les 2 sujets (25 à 30 %) (fig. 6 - 7 - 8).

FIGURE 8

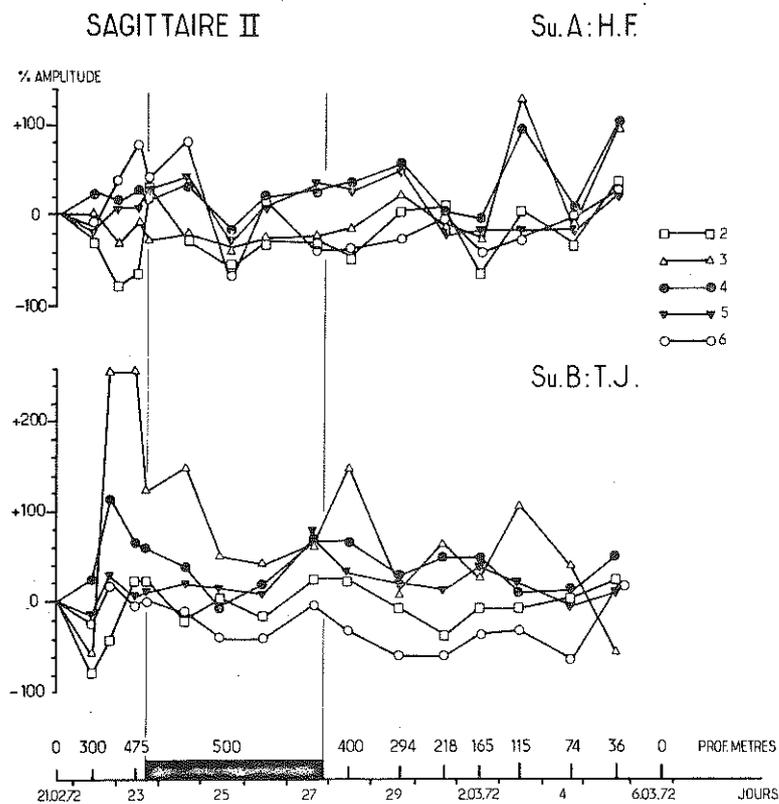
Variation de l'amplitude des différentes composantes des PEVM des deux plongeurs au cours de la plongée à 500 m.

- graphique supérieur : sujet A (H.F.)
- graphique inférieur : sujet B (T.J.)

En ordonnées sont portées les amplitudes exprimées en pourcentage de différence par rapport à la valeur moyenne des amplitudes rencontrées en surface.

En abscisses, les profondeurs en mètres et les jours.

La zone noire figure le séjour à 500 m.  
(explications dans le texte).



. Pendant le séjour à 500 m, chez le sujet A, les ondes II et III restent moins amples qu'en surface (- 30 % en moyenne) ; l'amplitude de l'onde VI diminue à partir du 2ème jour du séjour. Les ondes IV et V restent plus amples qu'en surface (+ 15 à + 40 %) (fig. 6 et 8).

Chez le sujet B, l'amplitude de l'onde II est soit diminuée (1er et 3ème jour : - 17 %), soit augmentée (4ème jour : + 25 %). L'onde VI est moins ample qu'en surface (jusqu'à - 40 %). Les autres composantes (III, IV et V) sont toujours plus amples (jusqu'à + 70 %) (fig. 7 et 8).

. Pendant la décompression, chez le sujet A, les ondes II et III d'une part, l'onde VI d'autre part, regagnent de l'amplitude (respectivement vers 300 m et 115 m). L'amplitude de l'onde IV reste supérieure à celle observée en surface, en revanche celle de l'onde V diminue transitoirement entre 200 et 36 m (- 20 %) (fig. 6 et 8).

Chez le sujet B, l'onde II diminue d'amplitude entre 294 et 74 m (jusqu'à - 40 %) ; l'onde VI ne regagne de l'amplitude qu'en fin de plongée. Les autres composantes restent plus amples qu'en surface (+ 50 %) (fig. 7 et 8).

## C O M M E N T A I R E S

L'absence de symptômes cliniques et EEGraphiques au cours du confinement de 5 jours, et leur présence au cours de la plongée, à partir de certaines profondeurs permettent de confirmer le rôle des conditions hyperbares dans la naissance du S.N.H.P.

I - L'ETUDE DU TREMBLEMENT -

Au point de vue clinique, le tremblement augmente sensiblement vers 300 m, on retrouve des valeurs analogues à celles notées lors de la plongée "PHYSALIE V" pour les mêmes profondeurs (CNEXO - COMEX, 1971, ROSTAIN et LEMAIRE, 1973). Ces faits semblent démontrer que la première partie de la compression, de 0 à 350 m, identique pour PHYSALIE V et SAGITTAIRE II (même gradient de sous-saturation au départ) est encore à améliorer. Il faut remarquer que lors de SAGITTAIRE I, où la vitesse de compression était de 1 m/min, le tremblement est apparu plus tôt, mais à 300 m, son intensité était inférieure à celle notée lors de SAGITTAIRE II ; les paliers à des profondeurs intermédiaires ont probablement limité l'effet de la vitesse de compression.

Dans la seconde partie de la compression, de 300 à 500 m, on peut faire certaines observations:

1. L'accentuation du tremblement est moins importante que lors de la plongée PHYSALIE V ; en effet, à l'arrivée à 500 mètres, l'augmentation du tremblement ne dépasse pas 400 % alors qu'elle atteignait 700 % dans PHYSALIE V. La suppression des phases de compression rapide entre 350 et 400 m, et surtout entre 460 et 490 m est certainement à l'origine de cette amélioration.

2. L'accentuation du tremblement est continue entre 350 et 500 m lors de SAGITTAIRE II, alors que pour PHYSALIE V le niveau du tremblement était resté relativement stable entre 350 et 460 m (CNEXO - COMEX 1971). Ces résultats montrent encore qu'un palier à une profondeur intermédiaire (350 m dans le cas de PHYSALIE V) peut stabiliser et peut même atténuer un symptôme.

L'effet bénéfique du palier n'est cependant pas visible à 500 mètres ; en effet, si le tremblement s'atténue entre le 2ème et le 3ème jour du séjour à 500 mètres, il augmente de nouveau le 4ème jour. On peut envisager que les troubles ou le déséquilibre entraînés dans un premier temps par la compression soient renforcés dans un second temps par le maintien des sujets dans des conditions artificielles. Il peut s'agir également d'un effet de la pression par elle-même ou d'un effet pression-mélange associé qui serait mis en évidence avec le temps et qui se manifesterait à partir d'une certaine profondeur. La disparition du tremblement pendant la décompression pourrait étayer cette dernière hypothèse. Cependant, il est difficile de conclure, car dans le cas présent, les effets de la compression ne sont pas négligeables et ne peuvent être éliminés. Ces observations et ces constatations rejoignent celles effectuées au cours de SAGITTAIRE I (CNEXO - COMEX 1973).

## II - L'ETUDE DES ACTIVITES EEG DE VEILLE -

Sur le plan EEGraphique le fait important est la baisse du niveau de vigilance qui survient dès 300 mètres chez les 2 sujets. Cette diminution de la vigilance qui se traduit à la fermeture des yeux par la transformation du tracé de veille en un tracé de stade 1 de sommeil est très importante chez le sujet B et elle rappelle chez lui celle observée lors de la plongée à 365 mètres (PHYSALIE III). (BRAUER et coll. 1969, FRUCTUS et coll. 1969). Il est intéressant de noter que cette somnolence avait été pratiquement inexistante lors de la plongée à 520 mètres (PHYSALIE V). (CNEXO - COMEX 1971, FRUCTUS et coll. 1972, ROSTAIN et CHARPY 1971). La somnolence aurait donc été plus importante dans les plongées à compression continue et/ou rapide (PHYSALIE III et SAGITTAIRE II) et la présence de paliers dans PHYSALIE V aurait pu atténuer ce type de modification (ROSTAIN et NAQUET 1974).

Il est également important de noter que les autres modifications EEGraphiques survenant lorsque le sujet est éveillé, c'est-à-dire, l'accentuation des activités lentes de fréquence thêta et parfois delta, accompagnée de la diminution plus ou moins marquée de la puissance des activités de fréquences rapides alpha et beta sont postérieures à l'apparition de la baisse du niveau de vigilance. L'augmentation des activités lentes chez le sujet éveillé à l'arrivée à 500 mètres est inférieure à celle observée

lors de PHYSALIE V puisque l'on relève selon les sujets, pour les activités thêta une différence de 200 à 500 % contre 300 à 1000 % lors de PHYSALIE V et pour les activités delta une différence de 100 % dans SAGITTAIRE II contre 500 % pour PHYSALIE V.

La suppression de la phase de compression rapide, surtout à grande profondeur, a donc évité une accentuation trop importante des activités lentes, mais n'a pas empêché le développement de la somnolence. On pourrait donc dissocier l'effet de la vitesse de compression de celui du mode de compression (compression continue ou interrompue par des paliers à des profondeurs intermédiaires).

Un autre point important est l'absence d'amélioration au cours du séjour de 100 heures à 500 mètres et le ralentissement de la fréquence de l'alpha en fin de séjour. Ces faits pourraient démontrer qu'à côté de l'influence du mode ou de la vitesse de compression, à partir d'une certaine profondeur, d'autres phénomènes interviennent, ces derniers empêchant le rétablissement d'un équilibre normal ou proche de la normale. Comme dans SAGITTAIRE I (CNEXO - COMEX 1973), on peut envisager une intervention de la pression par elle-même, et des travaux récents tendent à démontrer son rôle (BARTHELEMY et coll. 1973, MILLER et coll. 1972), ou du mélange sous pression.

La régression des perturbations pendant la décompression pourrait étayer le rôle de ces 2 derniers paramètres. Cependant, il faut remarquer que contrairement aux plongées précédentes (PHYSALIE III et V), les modifications EEG ont persisté longtemps pendant la décompression pour ne disparaître qu'à des profondeurs proches de la surface, et que la somnolence n'a disparue qu'après la sortie du caisson comme celle observée dans SAGITTAIRE I (CNEXO - COMEX 1973). A la baisse du niveau de vigilance, entraînée par les conditions hyperbares, s'est peut-être ajoutée celle entraînée par la fatigue et l'ennui causés par une longue décompression, ce qui expliquerait la disparition tardive de la somnolence.

Enfin il faut remarquer que les modifications EEGraphiques varient selon les sujets comme l'avaient déjà observé BRAUER et coll. (1969) et FRUCTUS et coll. (1969, 1971), et par la suite BENNETT et TOWSE (1971) ou CORRIOL et coll. (1973). Les raisons des différences de susceptibilité selon

les sujets ne sont pas encore connus ; il serait important de trouver un moyen d'apprécier avant la plongée les sujets les plus résistants, ce qui permettrait peut être d'atteindre des profondeurs plus importantes avec peu de troubles.

### III - L'ETUDE DES PEVM -

Dans nos conditions expérimentales, l'étude des PEVM montre essentiellement des modifications d'amplitude.

En effet, les variations de latence ne sont visibles que pendant le séjour à 500 m et la décompression, elles sont dans leur ensemble peu importantes : elles dépassent rarement 10 % et n'atteignent pas 25 %. Ces modifications sont surtout constituées par un rallongement des latences de certaines ondes de la partie initiale du potentiel (ondes II et III) alors que le raccourcissement de la latence ne se rencontre que pour l'onde VI.

En revanche, les modifications d'amplitude sont plus importantes et différentes selon la profondeur. Ainsi, au cours des tests effectués entre la surface et 400 m, toutes les ondes du potentiel évoqué à l'exception de l'onde VI sont moins amples.

Inversement, à partir de 400 m, l'amplitude des diverses ondes augmente et cette augmentation d'amplitude persiste pendant le séjour à 500 m seulement pour les ondes IV et V et parfois III.

Pendant la décompression, l'augmentation d'amplitude peut persister pour certaines ondes, mais d'une façon générale, on observe un retour progressif à la normale.

Divers auteurs ont réalisé en hyperbarie, des études sur les potentiels évoqués par différentes modalités sensorielles.

En ce qui concerne les PEVM, seuls KINNEY et coll. (1972) les ont étudiées jusqu'à 360 m et ces auteurs ne rapportent pas de variation significative

.../...

chez les 2 sujets testés en atmosphère hélium-oxygène.

De leur côté, BENNETT et TOWSE (1971) en étudiant les potentiels évoqués auditifs moyens (PEAM), lors d'une plongée à 457 m en atmosphère hélium-oxygène, ont observé une diminution d'amplitude des ondes NIP2 analogue à celle observée pour des profondeurs moindres, avec le mélange azote-oxygène ou l'air comprimé (BENNETT et coll., 1969).

LANGLEY (1972) retrouve cette dépression du PEAM mais il constate simultanément une augmentation d'amplitude du potentiel évoqué somesthésique moyen (PESM), à 360 m, en atmosphère hélium-oxygène ou néon-oxygène. L'amplitude du PESH diminue seulement si le mélange contient de l'azote.

Pour BENNETT et coll. (1969), la diminution d'amplitude du PEAM serait en relation avec les phénomènes de "narcose aux gaz inertes" ; elle serait la conséquence d'une atténuation du potentiel par une inhibition exercée au travers du système réticulé activateur ascendant (BENNETT 1964, 1966).

Pour LANGLEY (1972) la diminution d'amplitude du PEAM rencontrée en atmosphère hélium-oxygène serait la conséquence de perturbations de la transmission et de la perception des sons entraînés par les conditions hyperbares, hypothèse également émise par ACKLES et FOWLER (1971). Pour LANGLEY (1972), seules les modifications du PESH seraient pures et correspondraient à la baisse du niveau de vigilance observée au cours de la plongée.

Bien que les observations de ces divers auteurs aient été faites sur des réponses évoquées par des modalités sensorielles différentes, il nous semble permis de faire un certain nombre de constatations sur ces résultats.

Ainsi l'absence de diminution d'amplitude du PESH rapportée par LANGLEY (1972) pourrait provenir de ce que la compression de 0 à 360 m a été très lente (8 jours) alors que dans notre expérience, la diminution d'amplitude du PEVM a été observée dans une gamme de profondeurs où la compression a été plus rapide (0 - 350 m en 24 h).

.../...

En revanche, l'augmentation d'amplitude du PEVM est observée dans une gamme de profondeurs où la compression est relativement plus lente (350 - 500 m en 25 h). On retrouverait donc l'effet de la vitesse de compression déjà observée lors de SAGITTAIRE I (CNEXO - COMEX 1973, ROSTAIN 1973) sur la morphologie et l'amplitude des réponses évoquées. Cependant, il faut remarquer que pendant toute la durée du séjour à 500 m, l'augmentation d'amplitude persiste pour certaines ondes. En conséquence, il faudrait soit envisager une persistance des troubles occasionnés par la compression, soit l'effet de la pression par elle-même ou celui du mélange respiratoire sous pression. Ces deux dernières hypothèses pourraient être étayées par l'évolution des modifications du PEVM au cours de la décompression.

La diminution d'amplitude initiale du PEVM observée entre 0 et 400 m ne peut être comme celle décrite par BENNETT et TOWSE (1971) pour les PEAM, la conséquence d'une action du système réticulé activateur ascendant sur la voie spécifique visuelle comme cela pouvait être le cas pour la voie auditive, et ceci d'autant plus qu'une onde tardive (onde VI) est augmentée. Inversement, pour des plus grandes profondeurs l'augmentation d'amplitude des composantes précoces du PEVM, est en désaccord avec l'hypothèse de BENNETT (1964, 1966) et BENNETT et TOWSE (1971). En revanche, cette augmentation d'amplitude de la plupart des composantes du PEVM pourrait rejoindre l'hypothèse de LANGLEY (1972) concernant l'hypersynchronie consécutive à la baisse du niveau de vigilance. Elle pourrait être rapprochée des modifications que CORLETTO et coll. (1967) ont observées lors de l'endormissement et du sommeil à ondes lentes et elle pourrait correspondre à la baisse du niveau de vigilance apparue dès 300 m chez les 2 sujets. Cependant, il semble que la baisse du niveau de vigilance ne soit pas seule à intervenir. En effet, l'augmentation d'amplitude est plus importante à l'arrivée à 500 m qu'en fin de séjour au fond alors que la baisse du niveau de vigilance persiste et tend même à s'accroître entre le 1<sup>o</sup> et le 4<sup>ème</sup> jour du séjour ; par ailleurs, les latences deviennent plus longues alors que CORLETTO et coll. (1967) décrivent un raccourcissement de ces dernières.

Ainsi, à côté du rôle possible de la baisse du niveau de vigilance, il

.../...

faut envisager d'autres perturbations qui seraient en relation avec les divers symptômes cliniques et électrophysiologiques du SNHP, et de ce fait, on ne peut éliminer comme le fait LANGLEY (1972) l'éventualité d'un "état préconvulsif".

En conséquence dans l'état actuel de nos connaissances, il est difficile d'invoquer l'intervention d'un mécanisme déterminé, difficulté liée au fait que les modifications des PEVM parfois opposées sont probablement la conséquence de l'effet compétitif de diverses conditions hyperbares qui sont variables au cours de la plongée, les modifications observées étant la résultante de leurs actions diverses.

#### CONCLUSION GENERALE A L'ETUDE NEUROPHYSIOLOGIQUE

L'étude neurophysiologique effectuée au cours de SAGITTAIRE II permet de dire que pour atteindre 500 m de profondeur et y séjourner pendant 100 heures, il faut :

- 1) - Revoir le mode de compression : ralentir la vitesse de compression et marquer au moins un palier "d'accommodation" à une profondeur intermédiaire judicieusement choisie en fonction des diverses données de l'étude neurophysiologique.
- 2) - Sélectionner les sujets afin de choisir ceux qui sont les plus résistants au SNHP (les critères de sélection sont à déterminer).

Un doute subsiste encore ; l'augmentation de certains symptômes au cours du séjour au fond nous amène à faire des réserves sur le rôle que peut jouer la durée du séjour en pression, la pression par elle-même ou le mélange respiratoire sous pression. Cette incertitude ne pourra être levée qu'avec d'autres expériences de ce genre réalisées chez l'homme, et surtout chez le singe.

INTERACTIONS EEGRAPHIE - PSYCHOMETRIE  
-----INTRODUCTION

Au cours de la plongée PHYSALIE V à 520 m, un renforcement des activités EEG lentes thêta pré-existantes dans la région antérieure était mis en évidence lors d'un test d'efficiency intellectuelle. (CNEXO - COMEX 1971 ; ROSTAIN et CHARPY 1971).

Au cours de la plongée SAGITTAIRE II, il est apparu intéressant de confirmer ces résultats et de préciser leurs significations.

I - METHODES

Les activités EEG ont été recueillies et enregistrées selon la méthode précédemment décrite (chapitre activité EEG de veille), avant, pendant et après les cinq tests suivants :

- 1°) - Test d'efficiency sensori-motrice
  - dextérité digitale (D.D.).
  
- 2°) - Tests d'efficiency intellectuelle
  - ordination de chiffres de Rey (OC)
  - barrages de signes simple ou double de Zazzo (B.S.).
  - Code
  - Questionnaire d'anxiété de Catell.

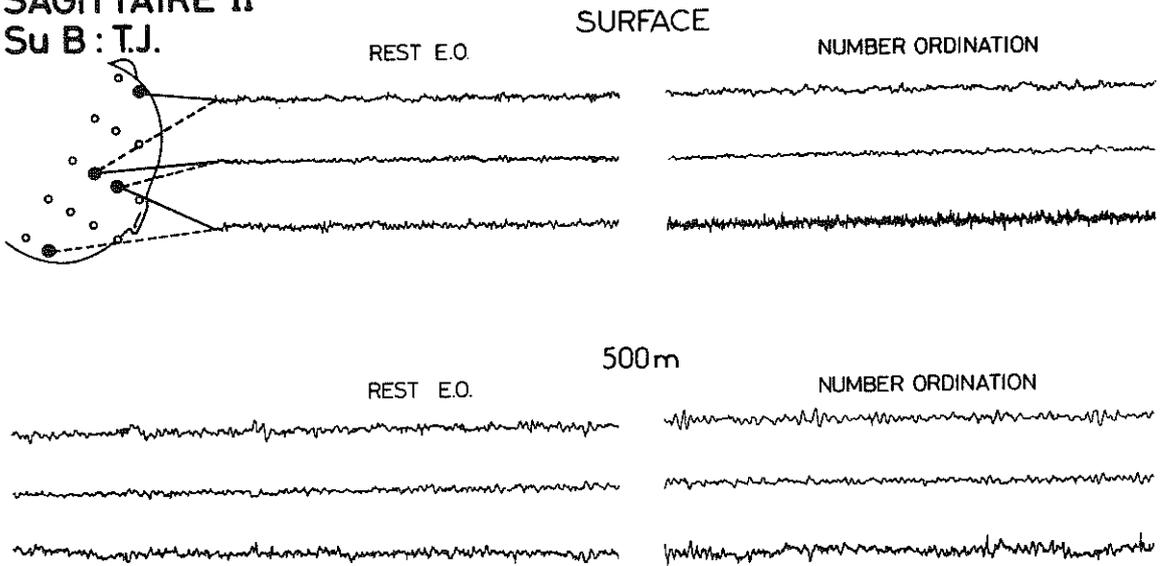
Ces tests ont été effectués en surface, au cours du confinement en caisson en atmosphère hélium - oxygène, qui a précédé la plongée, pendant la compression, à 366 m et 496 m, au cours du séjour à 500 m, et pendant la décompression à 400 m.

.../...

FIG 1

Tracés EEG du sujet B au repos, les yeux étant ouverts et pendant le test d'ordination de chiffres en surface et à 500 mètres de profondeur. (Explication dans le texte).

**SAGITTAIRE II**  
**Su B : T.J.**



L'enregistrement des activités EEG sur bandes magnétiques analogiques a permis un traitement sur ordinateur PDP 12, afin d'obtenir des spectres de puissance des activités EEG (méthodes décrites dans le chapitre neurophysiologie : activités EEG de veille).

Pour cette étude, les mesures ont été effectuées à partir des densités spectrales réparties dans les 4 bandes de fréquence considérées (delta, thêta, alpha, beta).

## II- RESULTATS

---

### I°) - En surface

#### a) - Analyse des tracés EEG.

Les tracés EEG de veille au repos les yeux étant ouverts, sont constitués, chez les deux sujets, par des activités désynchronisées de faible amplitude, occupant l'ensemble des dérivation. Sur ce type de tracé, des bouffées d'activités rythmiques apparaissent de temps en temps sur la dérivation antérieure.

Pendant les tests psychométriques, les activités EEG restent désynchronisées (fig. 1).

#### b) - Analyse des spectres de puissance

Pendant les tests psychométriques, les spectres de puissance montrent par rapport à ceux de repos, une diminution significative ( $P < 0,02$ ) des activités de fréquences rapides alpha et beta. Les activités de fréquences lentes des bandes delta et thêta ne présentent pas de variation significative de leur densité spectrale (fig. 2).

FIG 2

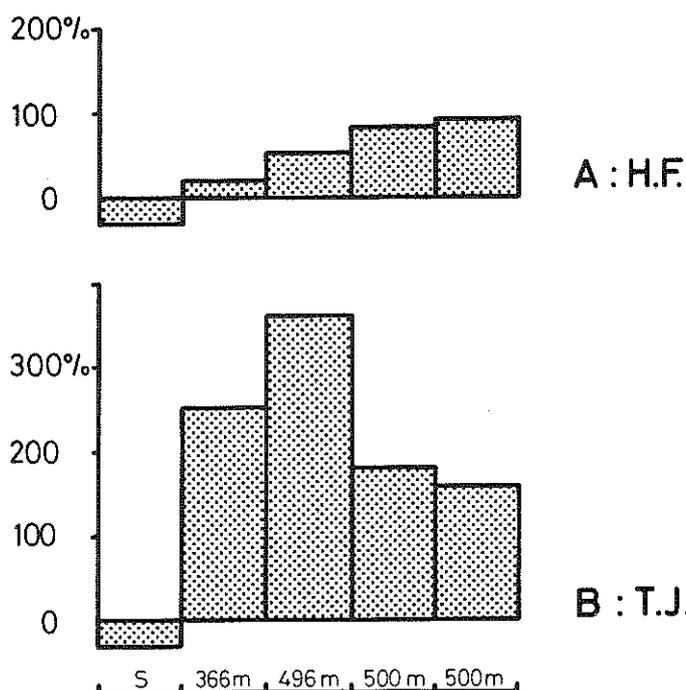
Evolution de la densité spectrale de la bande de fréquence thêta, pour la dérivation Fronto-polaire-centrale, pendant l'ordination de chiffres au cours de la plongée.

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.

L'accentuation qui survient pendant la plongée est faible chez le sujet A (graphique supérieur) ; elle est importante chez le sujet B (graphique inférieur) (détails dans le texte).

Percentage difference  
from rest values

**SAGITTAIRE II**  
**THETA BAND Fp.C**



**NUMBER ORDINATION**

2°) - Au cours de la plongée

## a) - Au repos

Les activités EEG de veille les yeux étant fermés, se modifient à partir de profondeurs comprises entre 300 et 400 m (voir chapitre Neurophysiologie : activités EEG de veille au repos).

Les activités thêta qui surviennent dans la région antérieure et / ou moyenne lorsque les sujets ont les yeux fermés, persistent à l'ouverture des yeux, mais sont bien moins importantes, moins constantes et plus variables dans ces conditions.

Ainsi, sur les tracés EEG du sujet A, lorsque les yeux sont ouverts, les activités thêta sont peu visibles, l'augmentation de la densité spectrale de ces activités étant peu importante et très variable jusqu'à 500 m.

En revanche, les activités thêta antérieure et moyenne sont plus nettes sur les tracés de veille, du sujet B, où elles apparaissent sporadiquement, sous forme de bouffées à 4 - 5 c/s.

Chez ce dernier sujet, dès 366 m la densité spectrale de la bande de fréquence thêta lorsque les yeux sont ouverts au repos, est trois fois plus grande que celle enregistrée en surface (fig. 2).

## b) - Pendant les tests psychométriques

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 sur la dérivation antérieure (Fp - C) une accentuation des activités de fréquence thêta dès la profondeur de 366 m.

Ces activités thêta apparaissent sous forme de bouffées à 4 - 5 c/s (fig. 1) qui deviennent de plus en plus longues, et de plus en plus amples avec la profondeur.

L'analyse spectrale permet de quantifier ces modifications. Ainsi, le renforcement des activités thêta antérieures est plus important chez le sujet B ; il s'accroît chez les deux sujets avec la profondeur (fig. 2), mais il semble se stabiliser au cours du séjour à 500 m, et il est même moins important que lors de la compression chez le sujet B (fig. 2).

Si l'on considère les résultats de l'analyse spectrale, pour l'ensemble des bandes de fréquences considérées (delta, thêta, alpha, bêta), pour la dérivation fronto-centrale (fig. 3), on remarque au cours du test d'ordination de chiffres, et par rapport au repos précédant et suivant le test :

- un renforcement significatif de la densité spectrale des activités de fréquence thêta pendant la plongée (Sujet A :  $P < 0,05$  et  $0,02$  ; sujet B :  $P < 0,05$  à  $0,01$ ).
- que les modifications des activités delta sont aléatoires chez les deux sujets.
- que la puissance des activités rapides des bandes de fréquences alpha et bêta est moins grande, surtout chez le sujet B.

Si l'on considère les résultats obtenus avec l'ensemble des tests effectués sous contrôle EEG (tableaux n° 1, 2 ), une évolution des modifications EEG analogue à celle rencontrée avec l'ordination de chiffres est notée pour la dextérité digitale, mais dans des proportions moindres (fig.3).

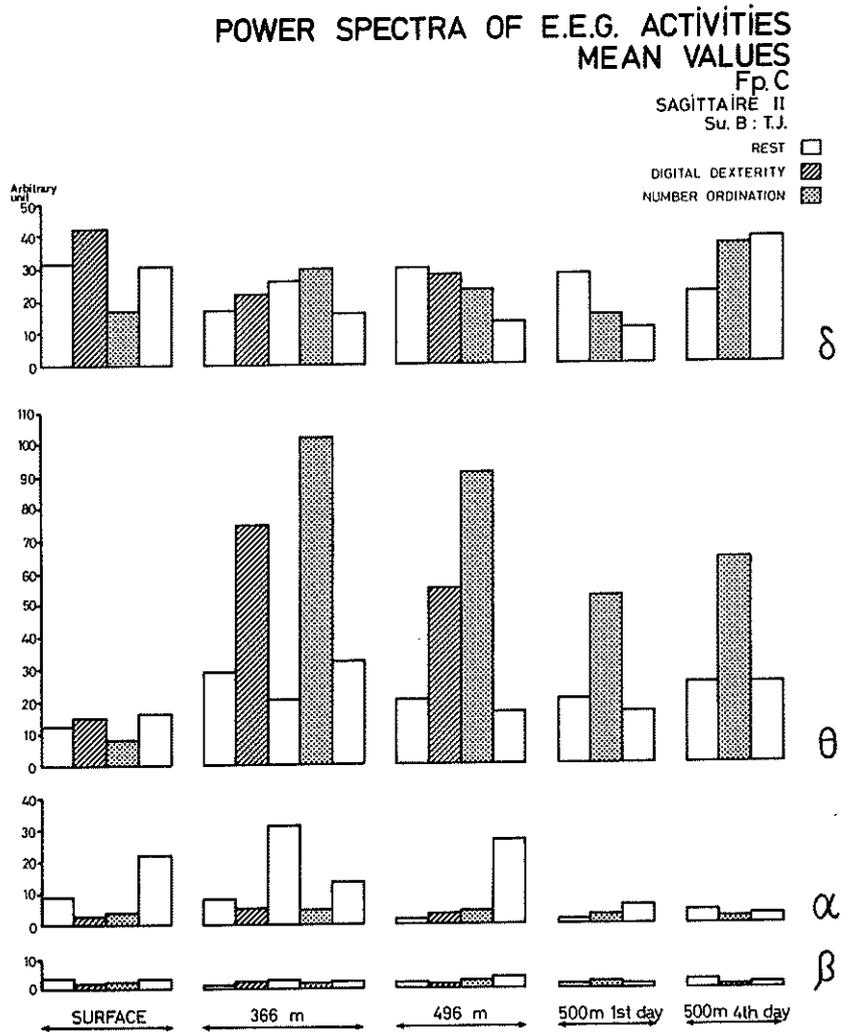
.../...

**FIG 3**

Evolution des densités spectrales des 4 bandes de fréquence EEG du sujet B (T.J.) au repos et pendant les tests psychométriques, à diverses profondeurs.

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

De gauche à droite : la densité spectrale pour chaque bande considérée pendant le repos précédant le test (R), pendant la dextérité digitale (D.D.), pendant l'ordination de chiffres (N.O.), et pendant le repos suivant les tests, en surface et à différentes profondeurs au cours de la plongée.



Un renforcement des activités thêta est également observé avec les tests dont les passations ont été peu nombreuses, et l'on peut faire un classement des tests par ordre décroissant en fonction de l'importance des modifications EEG qu'ils entraînent.

$$OC > BS \quad II > DD \quad \cong BSI \quad \cong CODE$$

Le questionnaire d'anxiété de Catell ne provoque pas de modifications EEG chez le sujet A, mais il entraîne une très légère accentuation des activités thêta chez le second (sujet B).

Il faut ajouter que, dans tous les cas, le renforcement des activités thêta est toujours plus important chez le sujet B.

Pendant la décompression, lors des tests effectués à 400 m, on note une diminution et même une disparition du renforcement des activités thêta chez le sujet A, une persistance de cette accentuation chez le sujet B.

### III - DISCUSSION

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

L'effort intellectuel en plongée entraîne un renforcement des activités thêta pré-existantes.

L'intensité de cette modification dépend de plusieurs facteurs :

.../...

- 1°) - Les sujets : il existe des différences selon les sujets et les modifications sont plus importantes chez le sujet qui présente les perturbations EEG les plus notables au repos les yeux fermés.
- 2°) - La profondeur : Le renforcement des activités thêta pendant le travail intellectuel s'accroît avec la profondeur. Il tend cependant à se stabiliser au cours du séjour à 500 m. Il régresse pendant la décompression.
- 3°) - Les tests : chez les deux 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 du niveau de performance et des variations de performance ne peut être envisagée que sur un plus grand nombre de résultats.

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

Relativement aux conditions expérimentales 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 coll ; 1967 ; 1969 ; CHOUTEAU et IMBERT 1971), soit une hypoxie histotoxique (BENNETT et coll ; 1966 ; 1969).

Il peut s'agir aussi de perturbations des processus énergétiques (insuffisance en glucose, altération du cycle de l'ATP, modifications des concentrations en sels minéraux ...).

On peut également envisager des perturbations du débit sanguin cérébral. Les travaux d'INGVAR (1958 ; 1967) d'INGVAR et R ISBERG (1967), de R ISBERG et INGVAR (1968) ont montré que le débit sanguin variait avec le niveau d'activation du sujet et qu'il existait une intensification de la circulation sanguine cérébrale pendant l'effort intellectuel. Les conditions hyperbares pourraient donc amplifier des processus qui existent dans les conditions normales, en créant un déficit à un niveau qu'il est difficile de déterminer pour le moment.

L'étude des interactions entre les variables psychologiques et les variables électroencéphalographiques semblent donc constituer une méthode d'un grand intérêt pour le repérage du ou des processus sous-jacents aux modifications cliniques et électrophysiologiques décrites dans le cadre du S.N.H.P.

Il apparaît donc nécessaire de poursuivre et de compléter cette étude lors des prochaines plongées.

.../...

SUJET B (T. J.)	O C	D D	B S I	B S II	Code	Catell Questionnaire
SURFACE	73 %	120 %	83 %	106 %		
366 m	351 %	255 %				
496 m	455 %	275 %				
500 m	278 %		325 %	500 %	168 %	
500 m	256 %					124 %
400 m	258 %	194 %				

TABLEAU N° 2 (légende voir tableau n° I).

SUJET A (H. F.)	O. C.	D. D.	B.S. I	B.S. II	CODE	CATELL QUESTIONNAIRE
SURFACE	73 %	46 %	85 %	137 %		
366	115 %	84 %				
496	150 %	180 %				
500	175 %		133 %	135 %	175 %	
500	187 %					100 %
DECOMPRESSION 400 m	110 %	90 %				

LEGENDE . ORDINATION DE CHIFFRES OC ; DEXTERITE DIGITALE D.D. ; BARRAGE DE SIGNES  
SIMPLES (BS I) BARRAGE DE SIGNES DOUBLES (B.S. II).

TABLEAU N° I - Modifications des densités spectrales de la bande de fréquence  $\theta$  au cours des divers tests psychométriques (XT), exprimées en pourcentage de différence par rapport à la valeur de repos (XR) précédant le test  $(\frac{XT}{XR} \times 100)$ .

ETUDE DE DIVERS RYTHMES CIRCADIENS  
-----

Une activité rythmique peut être mise en évidence chez tous les êtres vivants depuis les unicellulaires Eucaryotes, jusqu'à l'Homme. Ces phénomènes biopériodiques se manifestent à tous les niveaux : au niveau moléculaire, subcellulaire et cellulaire, au niveau tissulaire (organes, systèmes d'organes) et au niveau de l'organisme entier.

Ces phénomènes biopériodiques ont un caractère héréditaire; ils peuvent cependant être influencés (mais non créés) par un certain nombre de variations, périodiques elles aussi, de l'environnement.

Les rythmes circadiens (circa = environ, die = jour) dont la période est égale ou voisine de 24 heures, ont été l'objet des investigations les plus poussées.

Compte-tenu des moyens et méthodes utilisés pour mesurer en fonction du temps une variable biologique, il est commode d'assimiler les changements périodiques et prévisibles à une fonction sinusoïdale. En effet, cette fonction est la seule utilisable lorsque l'intervalle de temps séparant les points de mesure est assez grand. On utilise la méthode des moindres carrés et des programmes spéciaux de calcul électronique pour trouver la fonction sinusoïdale qui se rapproche le plus de la série temporelle des mesures obtenues pour chaque variable. Dans ces conditions, un rythme ayant une période  $\tau$  égale ou voisine de 24 heures peut être validé ( $p < 0,05$ ) et ensuite caractérisé par plusieurs paramètres : l'acrophase  $\phi$  (pic circadien de la fonction sinusoïdale qui sert à l'approximation du rythme); l'amplitude  $A$  (égale à la moitié de la variabilité totale); le mésor,  $M$ , (moyenne du rythme ajustée à 24 heures).  $\phi$  et  $A$  sont données comme des valeurs moyennes avec leurs limites de confiance pour une sécurité de 95 %,

../...

et M est donné comme moyenne  $\pm$  1ES.  $\emptyset$  peut être exprimé en heures et minutes avec comme phase de référence, minuit de l'heure locale par exemple.

L'ensemble des acrophases circadiennes d'un organisme ne se répartissent pas au hasard mais au contraire forme un tout harmonieux : la structure temporelle de l'organisme. Compte-tenu du fait que cette structure temporelle peut être influencée par les variations rythmiques d'un certain nombre de facteurs appelés synchroniseurs ou zeitgeber, il est nécessaire de savoir et, éventuellement de contrôler de quelle manière un sujet est synchronisé. Chez l'homme, les facteurs socio-écologiques relevant de l'alternance du repos et de l'activité suivant une période de 24 heures, représentent le synchroniseur le plus puissant.

Deux problèmes se trouvent posés par le séjour prolongé de l'organisme humain dans des conditions d'hyperbaries :

- 1°) - ces conditions peuvent elles modifier la structure temporelle ou plus précisément, observe-t'on dans ces conditions des altérations des paramètres qui servent à caractériser un certain nombre de rythmes biologiques ?
- 2°) - compte-tenu du fait que ces activités physiologiques de l'homme ne sont pas constantes, au cours des 24 heures, il est utile d'avoir recours à une méthodologie chronobiologique pour mieux apprécier les effets de l'hyperbarie sur un certain nombre de variables.

Au cours de l'opération "Sagittaire II", la biopériodicité de plusieurs variables physiologiques a fait l'objet de recherches systématiques.

#### TECHNIQUES

---

Des séries temporelles concernant cinq variables ont été obtenues

et analysées. Il s'agit de : la température orale, la fréquence cardiaque, les excréctions urinaires de l'eau, du potassium et du sodium. Les mesures, ou les dosages, ont été faits cinq fois par 24 heures, à heures fixes : 07, 11, 15 19 et 23 heures. Il n'a pas été fait de mesures ou de prélèvements au milieu de la nuit pour ne pas perturber le sommeil des sujets.

La température est mesurée à l'aide d'une sonde buccale (Yellow Spring Instrument) placée sous la langue pendant plusieurs minutes (jusqu'à stabilisation de la température) la bouche étant maintenue fermée pendant toute la durée de la mesure. La lecture s'effectue sur un appareil de mesure de "Digitec" (United System corporation).

La fréquence cardiaque est mesurée à partir des enregistrements obtenus au moyen d'électrodes intradermiques en position pré-cordiale (Substrodes Siemens).

La totalité des urines a été recueillie dans les tranches indiquées; les dosages de K et de Na ont été faits au photomètre de flammes.

Ces séries temporelles de résultats de mesures et de dosages ont été réalisées pendant le confinement et pendant toute la durée de la plongée. Les collectes d'urine n'ont été faites que pendant le confinement et le séjour à 500 mètres.

La méthode du cosinor a été utilisée pour le traitement statistique de ces données expérimentales.

## RESULTATS

---

### Température orale (tableau I)

Un rythme circadien statistiquement significatif de la température est détecté pendant le confinement chez l'un et l'autre des sujets et, bien entendu, pour les deux sujets ensemble. Pendant la compression

et le séjour à 500 m, ce rythme circadien reste détectable lorsqu'on groupe les valeurs obtenues pour les deux sujets; il n'est plus détectable lors de la décompression. Les acrophases de ce rythme dans les trois conditions expérimentales considérées, ne sont pas déplacées dans l'échelle des 24 heures.

Il existe une diminution statistiquement significative du mésor circadien de la température (moyenne des 24 heures) pendant la compression et le séjour, par rapport au confinement (tableau 1 et tableau 2).

#### Fréquence cardiaque :

Un rythme circadien statistiquement significatif de la fréquence cardiaque est observé pour les valeurs des deux sujets groupés, pendant le confinement. En revanche, il n'y a pas de détection statistiquement significative du rythme pendant la compression et le séjour, et pendant la décompression.

L'étude des mésors circadiens de la fréquence cardiaque (tableaux 1 et 2) révèle une augmentation statistiquement significative pendant la compression et le séjour par rapport au confinement.

#### Variables urinaires (tableau 3)

Les rythmes circadiens statistiquement significatifs ont été mis en évidence pour les excrétions urinaires de l'eau du potassium et du sodium, aussi bien pendant le confinement que pendant le séjour à 500 m.

Les acrophases respectives de ces trois variables urinaires ne sont pas déplacées dans l'échelle des 24 heures entre le confinement et le séjour à 500 m.

Il existe une augmentation statistiquement significative du mésor circadien de l'excrétion urinaire du potassium pendant le séjour à 500 m., par rapport au confinement. (Cette augmentation qui semble liée

à la compression est de l'ordre de 40 %). Le mésor circadien de l'excrétion urinaire du sodium est, lui-aussi, affecté par le séjour à 500 m. d'environ 30 %. Celui de l'excrétion de l'eau n'est pas modifié.

#### DISCUSSION

---

1°) - La structure temporelle des sujets étudiés, pendant le confinement, est similaire à celle qui a été obtenue pour des sujets jeunes, adultes et sains, ayant fait l'objet d'études chronobiologiques antérieures. En particulier, les acrophases des différents rythmes circadiens étudiés se placent à des heures où il est habituel de les rencontrer. On peut donc considérer que du point de vue de la chronophysiologie également, les sujets étudiés étaient en bonne santé.

2°) - La compression apparaît comme un facteur perturbant des rythmes circadiens de la température et de la fréquence cardiaque. En effet, la détection de ces rythmes devient difficile. Il est habituel, dans ces conditions, d'envisager deux possibilités : un changement de la période des rythmes circadiens ou un changement de leur acrophase. Compte-tenu de la taille réduite des échantillons et des conditions expérimentales, il ne nous est pas possible de savoir à quel type de perturbation nous avons à faire.

3°) - Les modifications les plus importantes, observées pendant la compression et le séjour à 500 m concernent une diminution du mésor circadien de la température et une augmentation du mésor circadien de l'excrétion urinaire du potassium.

La première question qui se pose est de savoir si la nutrition des sujets a été changée dans l'une de ces deux situations expérimentales. Si l'on se réfère aux résultats de l'étude diététique, les deux sujets ont reçu une nourriture équilibrée et la perte de l'appétit, ainsi que les quelques modifications de la composition de la ration alimentaire

rencontrées au fond, ne sont pas suffisantes à elles seules pour expliquer des variations aussi importantes de l'excrétion urinaire du potassium et dans une certaine mesure, de celles du sodium.

Une excrétion accrue du potassium (de plus de 40 %) et une diminution de l'excrétion urinaire du sodium (d'environ 34 %) évoquent les modifications de l'activité rénale induites par une stimulation cortico-surrénalienne ou hypothalamo-hypophysaire.

Les recherches effectuées sur le rythme circadien du potassium montrent qu'il est l'un des plus stables. Il peut être cependant perturbé lorsqu'il existe des lésions hypothalamiques ou au cours des comas toxiques. Ces faits laisseraient supposer une modification d'origine centrale (hypothalamique ?) au cours des plongées à grandes profondeurs en atmosphère hélium-oxygène, hypothèse qui n'est pas en désaccord avec les diverses modifications neurologiques et électro-encéphalographiques du SNHP et les perturbations de la température centrale.

En ce qui concerne ces dernières, l'influence d'une déperdition calorifique due à l'environnement très particulier, n'est pas exclue. Il se peut en effet que le milieu héliox puisse favoriser une diminution de la température centrale. Il n'en demeure pas moins que l'hypothèse d'une perturbation centrale de la régulation thermique, induite par l'hyperbarie en milieu héliox, doit être évoquée et discutée.

Rappelons enfin que le confinement à lui seul, même prolongé, ne modifie pas les rythmes circadiens de la température centrale et de l'excrétion urinaire du potassium, y compris la valeur de leurs mésors circadiens respectifs.

EN CONCLUSION,

---

Les résultats de l'étude des rythmes circadiens de cinq variables au cours de l'expérience "Sagittaire II" révèlent un certain nombre

de modifications portant plus particulièrement sur la température et l'excrétion urinaire du potassium. Une série d'arguments indirects donnent à penser que ces modifications pourraient être d'origine centrale (hypothalamique ? ).

Il serait donc très intéressant de voir si ces variations sont confirmées lors d'une autre expérience de ce genre, et de rechercher d'éventuelles modifications concernant d'autres variables, en particulier, celles du métabolisme des stéroïdes surrénaliens et des catécholamines.

Ces investigations devraient permettre de répondre à une question essentielle qui est celle de savoir si les altérations observées en milieu hyperbare, concernant la structure temporelle des organismes, sont indifférentes, négligeables ou au contraire révélatrices d'une perturbation de l'organisme. Elles permettront aussi de savoir si les méthodes chronobiologiques peuvent permettre de détecter des altérations physiologiques et conduire ainsi à une meilleure surveillance des sujets.

EXPERIENCE SAGITTAIRE II (TABLEAU I)

2 sujets (su. A - Hu ...) et su. B - Th ...)

Situations : CONFINEMENT (CONF.) - COMPRESSION ET SEJOUR 500 m (COMPR. + SEJ.) - DECOMPRESSION (DECOMP.)  
 Analyse statistique des rythmes de la température et du pouls par la méthode du cosinor.

VARIABLE PHYSIOLOGIQUE	SITUATION EXPERI- MENTALE	SUJET (NOMBRE DE JOURS)	P DETECTION DU RYTHME	M NIVEAU AJUSTE DU RYTHME ± I ES	A AMPLITUDE (95 % de sécurité)	φ ACROPHASE en H min. Réf. de φ : minuit de sécurité)
T E M (Cell- P sius)	CONF.	TH (6)	< 0.05	36.50 ± 0.036	0.25 (0.01 à 0.49)	I6 <sup>37</sup> (II <sup>29</sup> à 2I <sup>45</sup> )
		HU (6)	< 0.025	36.41 ± 0.044	0.45 (0.07 à 0.82)	I6 <sup>40</sup> (I4 <sup>14</sup> à 19 <sup>07</sup> )
		TH + HU (12)	< 0.005	36.46 ± 0.040	0.35 (0.12 à 0.57)	I6 <sup>39</sup> (I5 <sup>39</sup> à 17 <sup>39</sup> )
E R A	COMP. + SEJ.	TH (7)	> 0.05	36.33 ± 0.14	-	I5 <sup>28</sup>
		HU (7)	< 0.005	36.05 ± 0.071	0.30 (0.20 à 0.40)	I4 <sup>54</sup> (I3 <sup>04</sup> à 16 <sup>45</sup> )
		TH + HU (14)	< 0.005	36.18 ± 0.085	0.20 (0.07 à 0.33)	I5 <sup>02</sup> (II <sup>54</sup> à 18 <sup>11</sup> )
T U R E	DECOMP.	TH (7)	> 0.05	36.55 ± 0.060	-	I4 <sup>04</sup>
		HU (7)	> 0.05	36.43 ± 0.067	-	I3 <sup>44</sup>
		TH + HU (14)	> 0.05	36.49 ± 0.045	-	I3 <sup>48</sup>
FREQ. C A R D I A Q U E	CONF.	TH (6)	< 0.005	60.6 ± 2.04	2.5 (1.9 à 3.1)	I1 <sup>49</sup> (06 <sup>18</sup> à 17 <sup>21</sup> )
		HU (6)	> 0.05	64.8 ± 2.86	-	I0 <sup>00</sup>
		TH + HU (12)	< 0.05	62.7 ± 1.88	2.1 (1.5 à 2.8)	I1 <sup>36</sup> (07 <sup>40</sup> à 13 <sup>40</sup> )
D I A Q U E	COMP. + SEJ.	TH (7)	> 0.05	66.5 ± 1.53	-	I1 <sup>24</sup>
		HU (7)	> 0.05	68.3 ± 0.82	-	06 <sup>16</sup>
		TH + HU (14)	> 0.05	67.4 ± 0.91	-	07 <sup>12</sup>
D I A Q U E	DECOMP.	TH (7)	> 0.05	69.3 ± 2.50	-	I6 <sup>00</sup>
		HU (7)	> 0.05	66.1 ± 1.36	-	I6 <sup>12</sup>
		TH + HU (14)	> 0.05	67.7 ± 1.44	-	I6 <sup>08</sup>

EXPERIENCE SAGITTAIRE II (TABLEAU II)

COMPARAISON DES NIVEAUX AJUSTES DES RYTHMES CIRCADIENS DE LA TEMPERATURE

ET DE LA FREQUENCE CARDIAQUE AU COURS DES 3 SITUATIONS EXPERIMENTALES :

CONFINEMENT, COMPRESSION ET SEJOUR 500 M., DECOMPRESSION

Situation	Niveau moyen de la température ± 1 ES en 0 Celsius	Nbre de jours	t (student Fisher)	P
Confinement Compression	36.46 ± 0.040	12	2.32	0.01
+ Séjour 500 m	36.18 ± 0.085	14		
Compression	35.18 ± 0.085	14	3.22	< 0.01
+ Séjour 500 m Décompression	36.49 ± 0.045	14		
	Niveau moyen de la fréquence cardiaque ± 1 ES en nb / min.			
Confinement Compression	62.7 ± 1.88	12	2.35	< 0.05
+ Séjour 500 m	67.4 ± 0.91	14		
Confinement Décompression	62.7 ± 1.88	12	2.14	< 0.05
	67.7 ± 1.44	14		

EXPERIENCE SAGITTAIRE II (TABLEAU III)

Variable physiologique (Unités pour M et A)	Situation expérimentale (N° du jour)	2 sujets Nb total des cycles de 24 h	P Détection du rythme	M ± I ES Moyenne ajustée / 24 h	A Amplitude (95 % de sécurité)	φ Acrophase en H Min. Réf. de φ : minuit
Volume des urines (ml)	CONFINEMENT (2 à 5)	8	<0,005	324 ± 23	108 (50 - 165)	I <sup>436</sup> (I <sup>144</sup> - I <sup>1728</sup> )
	500 m (4 à 7)	8	<0,010	281 ± 18	85 (31 - 140)	I <sup>350</sup> (I <sup>1030</sup> - I <sup>1711</sup> )
K urinaire (m E q)	CONFINEMENT (2 à 5)	8	<0,005	16,6 ± 0,6	12,8 (9,8-15,8)	I <sup>250</sup> (I <sup>1031</sup> - I <sup>1509</sup> )
	500 m (4 à 6)	6	<0,025	23,6 ± 1,8*	12,1 (1,0-23,2)	I <sup>106</sup> (I <sup>0502</sup> - I <sup>1510</sup> )
Na urinaire (m E q)	CONFINEMENT (2 à 5)	8	<0,005	47,0 ± 4,9	20,7 (10,0-31,3)	I <sup>1522</sup> (I <sup>1230</sup> - I <sup>1813</sup> )
	500 m (4 à 6)	6	<0,05	31,9 ± 3,4**	9,8 (1,0 - 18,6)	I <sup>1425</sup> (I <sup>1033</sup> - I <sup>1818</sup> )

\* Augmentation de 42 % ( t = 4,1 et P < 0,001)    \*\* Diminution de 32 % ( = 2,35, P < 0,02)

## ETUDE BIOLOGIQUE

---

### I - LES GLOBULES ROUGES .

---

Augmentation des globules rouges très importante pendant le palier, puis décroissance jusqu'à la sortie.

L'élévation du taux des globules rouges et de Hb pendant le séjour à 500 mètres, ne semble pas devoir être expliquée par une hypoxie. La rapidité de la réponse et le retour à des valeurs inférieures aux références font plutôt penser à un choc dysbarique, provoqué par le type de compression.

### II - LES GLOBULES BLANCS .

---

Sont aussi l'objet d'une élévation de chiffre dès l'arrivée au palier des 500 mètres, puis la chute intervient avec des pics intermittents.

### III - L' HEMATOCRITE ET L' HEMOGLOBINE .

---

Tout comme les globules blancs suivent en gros les chiffres des globules rouges.

### IV - LA FIBRINE :

---

La quantité d'exams pratiqués ne nous permet pas une étude en détail, mais cependant avec les chiffres obtenus on peut noter une augmentation de la fibrine dès la sortie.

### V - LES PLAQUETTES :

---

Augmentation pendant le palier, puis diminution avec la décompression et enfin augmentation dès la sortie.

Le chiffre est encore très élevé 9 jours après la sortie.

VI - L' I.P.T. =

\_\_\_\_\_

Augmente aussi de façon nette dès la sortie.

VII - a et r + k .

\_\_\_\_\_

Augmentent aussi à la sortie.

Cette augmentation de l'ensemble (fibrine, plaquettes, I.P.T., a et r + k) semble mettre en évidence une phase d'hypercoagulation réactionnelle, sans doute due à la période de décompression pendant laquelle la chute des plaquettes a été signalée.

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

=====

Du point de vue clinique, l'ensemble de la plongée a été très satisfaisant.

Du point de vue biologique, on retrouve au niveau érythrocytaire une augmentation en nombre durant le palier à 500 mètres concomitante d'une augmentation des autres éléments figurés globules blancs et plaquettes qui paraissent dûs à l'hémococentration.

Du point de vue coagulation, et plus particulièrement au niveau plaquettaire on retrouve la diminution du nombre des plaquettes durant la décompression qui est plus marquée chez le plongeur H.

Il faut noter par ailleurs l'augmentation, du simple au double du nombre des plaquettes 8 jours après la fin de la décompression. Augmentation qui paraît s'amorcer le lendemain de la fin de la décompression.

Cette augmentation confirme la consommation des plaquettes durant la décompression et la moelle ayant été excitée continue à produire des thrombocytes comme elle le fait après un épisode d'hypercoagulabilité avec consommation des plaquettes.

Nous nous proposons lors de prochaines expériences de contrôler plus régulièrement le nombre des plaquettes dans la période "post diving", pour connaître le maximum du pic des plaquettes et déterminer en combien de temps se fait le retour à la normale.

Enfin nous avons recherché les produits de dégradation du fibrinogène dans le sérum. Nous les avons toujours trouvés inférieurs à 10 mg/ml, c'est-à-dire normaux.

Mais nous avons également recherché ces P D F dans les urines car

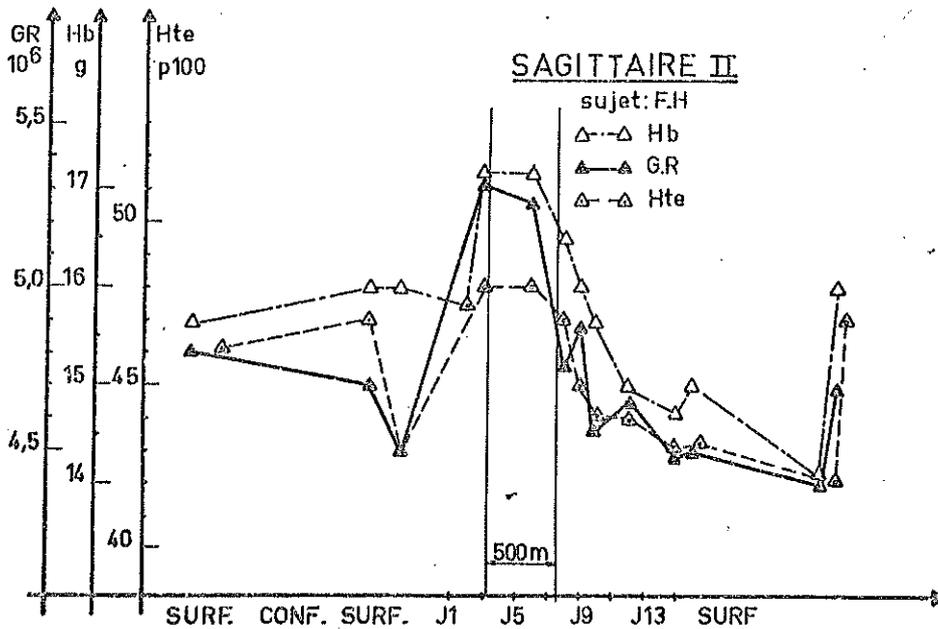
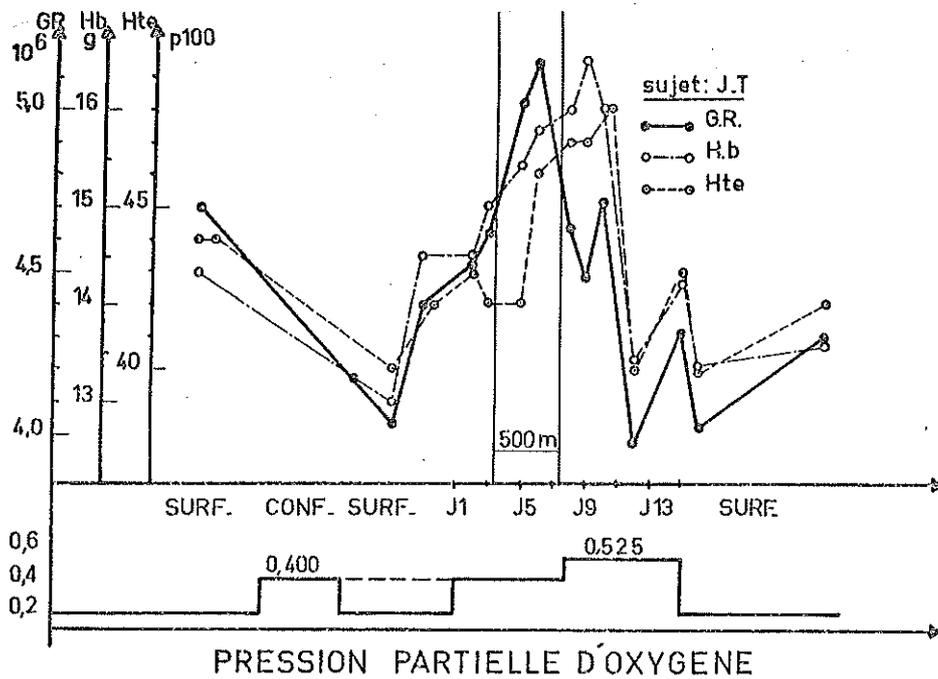
le rein étant un lieu d'élimination important des bulles, il n'était pas impossible que l'on puisse retrouver au niveau des urines des P D F tout comme on peut les retrouver par exemple dans les glomérulonéphrites.

Nous avons trouvé en cours de décompression des chiffres supérieurs aux valeurs normales sans que l'on puisse pour l'instant déterminer la cause exacte du mécanisme déclenchant.

C'est ce que nous nous proposons d'étudier au cours d'expériences ultérieures.

	r + k	a	IPT	Plaquettes	Fib	P D F S	LIP	Phosp	Trigl	LDH	Plasma mg	G R	Hb	Hte	G B	Prot.
3. 2. 72	29	65	6,7	267 000	2,48		8,7					4 800 000	15,6	46	8 300	
4. 2. 72	23	67	10,8	210 000										46	10 000	
16. 2. 72	28	58	6	308 000			7,1					4 700 000	16	47	7 100	
18. 2. 72	23	62	8,7	307 000	2,48		7,5					4 500 000 (hémolyse)	16	43	6 300	
22. 2. 72				152 000								3 720 000	15,8	38	9 000	
23. 2. 72				327 000								5 320 000	17,3	48	8 000	74
26. 2. 72				325 000								5 260 000	17,3	48	9 600	69
28. 2. 72				2810000								4 760 000	16,5	47	8 600	
29. 2. 72				280 000								4 880 000	16	45	10 000	
1. 3. 72				231 000								4 560 000	15,6	44	9 300	
3. 3. 72				215 000								4 650 000	15	44	10 100	
7. 3. 72	25	65		252 000								4 500 000	15	43	7 600	
15. 3. 72	27	64	9	459 000	2,85							4 400 000	14	42	6 300	
é1. 5. 74																
21. 5. 74	21	63	11,5	244 000	2,02	10	7,2	2,35	0,65	156	1383	5 000 000	15	46	6 000	

	r + k.	a	IPT	Plaquettes	Fib.	U.L.P.	G. R.	Hb	Hte	G B	Prot
3. 2. 72	26	65	13	173 000	3,05	12 g	4 700 000	14,3		7 100	
4. 2. 72	24	68	19,6	200 000					44	12 000	
16. 2. 72	24	66	15	223 000	3,26	8 g	4 020 000	13	40	7 100	
18. 2. 72	22	62	10,4	204 000	3,44	9,3g	4 400 000	14,5	42	6 100	
22. 2. 72				216 000			4 520 000	14,5	43	8 600	76 g
23. 2. 72				201 000			4 620 000	15	42	14 000	
25. 2. 72				202 000			5 020 000	15,4	42	13 300	76 g
25. 2. 72				43 000			5 150 000	15,8	46	12 100	
28. 2. 72				226 000			4 640 000	16	47	8 600	
29. 2. 72				225 000			4 480 000	16,5	47	9 600	
1. 3. 72				236 000			4 720 000	16	48	9 000	
3. 3. 72				216 000			3 920 000	13,4	40	8 600	
6. 3. 72				216 000			4 490 000	14,7	43	8 600	
6. 3. 72				232 000			4 320 000	14,2	43	8 100	
7. 3. 72	26	70	24,2	271 000	4,65		4 020 000	13,4	40	9 300	
15. 3. 72	22	66	18	411 000	3,27		4 300 000	13,6	42	9 500	



EVOLUTION DU TAUX D'HEMATIES, de l'HEMOGLOBINE, et de l'HEMATOCRITE au cours de l'EXPERIENCE.

