



HAL
open science

PHYSALIE V

Sa Comex, O Cnexo

► **To cite this version:**

| Sa Comex, O Cnexo. PHYSALIE V. COMEX. 1970. hal-04358054

HAL Id: hal-04358054

<https://hal.univ-brest.fr/hal-04358054v1>

Submitted on 21 Dec 2023

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

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



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



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

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

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

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

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

N° 71 / 296

" P H Y S A L I E V "

=====

CENTRE EXPERIMENTAL HYPERBARE de la COMEX

Novembre 1970

C. N. E. X. O

39, avenue d'Iéna

75 - PARIS 16e

C O M E X

Traverse de la Jarre

B. P. 143

13 - MARSEILLE 9e

Novembre 1970

TABLE des MATIERES

- Avant-propos.....	page	3
- Préambule.....		7
- Matériels mis en oeuvre.....		13
- Mesure des paramètres d'environnement.....		19
- La Compression.....		24
- Compte Rendu quotidien (Extraits du chrono).....		34
- Bilan quotidien.....		49
- Neurophysiologie.....		59
- Psychométrie.....		71
- Correlations électroencéphalographiques et psychologiques		84
- Mécanique ventilatoire.....		87
- Biologie.....		93
- Commentaires et conclusions.....		95

En annexe :

- La Décompression.....	I	à	IX.
-------------------------	---	---	-----

AVANT - PROPOS

Dans le cadre du programme de Pénétration profonde de l'Homme sous la Mer, du Centre National pour l'Exploitation des Océans (C.N.E.X.O.), qui est co-financé en partie par cet organisme et par la COMEX, a été réalisée, fin 1970, l'opération "PHYSALIE V". (-)

Le lundi 16 Novembre à 15 heures, deux plongeurs de la COMEX - Patrice CHEMIN, 22 ans, et Bernard REUILLIER, 25 ans - pénétraient dans les caissons du Centre Expérimental Hyperbare à MARSEILLE, pour une plongée fictive à grande profondeur.

Le mardi 17 à 15 heures, ils étaient à 350 mètres. Ils y passaient l'après-midi et la nuit.

Le mercredi 18 entre 7 heures et 7 h 50, ils "descendaient" à 400 mètres. La descente était ensuite ralentie et ils atteignaient 460 mètres à 17 h 45 - ils y passaient la soirée et la nuit.

Le jeudi 19 à 10 heures, après un "saut" de 30 mètres, ils descendaient lentement jusqu'à 518 mètres qu'ils atteignaient à 17 h 23.

Ils y demeuraient, comme prévu, 77 minutes avec une brève pointe à 520 mètres.

La première partie de la remontée s'effectuait en 22 minutes jusqu'à 496 mètres et la décompression se poursuivait jusqu'au samedi 28. Les deux plongeurs retrouvaient l'air libre à 12 h 11 - leur état de santé était très satisfaisant.

(-) avec une aide financière de la D. R. M. E., pour la partie neurophysiologique.

Ils avaient passé :

- 6 h 08 min. au dessous de..... 500 mètres
- 37 h 28 min. au dessous de..... 457 mètres
- 64 h 38 min. au dessous de..... 400 mètres
- 5 jours 1 h 48 min. au dessous de... 300 mètres.

Les directeurs scientifiques de l'opération avaient mis au point la courbe de compression qui leur paraissait la plus susceptible de reculer la frontière du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions - tout en leur fournissant encore des renseignements pour l'élaboration de courbes futures, grâce à 3 descentes rapides (à 1m/min) sous forme de "sauts" entre 0 et 108 mètres, 350 et 400 mètres, 460 et 490 mètres.

Les éléments de cette étude leur avaient été fournis par les PHYSALIES de 1968 (360 et 365 mètres avec R. W. BRAUER et R. VEYRUNES), les diverses phases de l'expérience JANUS II à 200/250 mètres et la plongée fictive du 6.3.70 au R. N. P. L. d'ALVERSTOCKE où deux plongeurs anglais Mrs John BEVAN et Peter SHARPHOUSE, avaient séjourné 10 heures à 457 mètres, sous la direction scientifique du Dr V. HEMPLEMAN et du physiologiste P. B. BENNETT.

La courbe de décompression représentait aussi une innovation. Elle avait été mise au point au cours des trois phases de JANUS II.

Pour l'équipe de la COMEX, les principales causes de satisfaction sont les suivantes :

1° - le schéma de la plongée a été régulièrement respecté en ce qui concerne la "descente", les paliers aux profondeurs intermédiaires et le séjour au fond (sous 0,42 b d'O₂). Les prévisions concernant la possibilité d'atteindre la profondeur de 518 mètres sans risque se sont avérées exactes.

Le schéma de décompression a été respecté (sous 0,5 atm d'O₂) à 11 minutes près sur 210 heures. (Sortie à 12 h 11 au lieu de 12 heures).

2° - Les signes du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions (S. N. H. P.) se sont manifestés sous une forme atténuée, mais incontestable. Ont été retrouvés à partir de 460 mètres : la nette augmentation des ondes thêta à l'E. E. G., la nette augmentation du tremblement d'attitude et surtout du tremblement cinétique et de la dysmétrie ; ainsi que la baisse du niveau de vigilance au repos et lorsque le sujet n'était pas stimulé par une tâche qui l'intéressait.

Toutefois, rien de tout cela ne s'est avéré assez grave pour imposer la remontée.

Donc, malgré la compression particulièrement étudiée, le S. N. H. P. se confirme. Il s'accroît aux alentours de 500 mètres, mais ne paraît pas devoir constituer une barrière infranchissable dans la zone des 5 à 600 mètres.

3° - Les troubles observés, s'ils révèlent l'évolution d'un processus physiopathologique altérant les fonctions nerveuses et qui ne peut que s'aggraver avec la profondeur, paraissent, jusque dans la zone explorée (518 mètres) n'influer que modérément sur le comportement et les possibilités de travail des plongeurs.

Les tests mentaux et psychomoteurs qui ont été pratiqués, nous le confirment. Mais cela était déjà évident pour ceux qui ont pu voir Bernard REUILLIER, à 518 mètres, insérer un fil électrique dans un petit jack et visser celui-ci au moyen d'un petit tournevis presque aussi bien qu'il l'aurait fait en surface, malgré le tremblement et une impression d'effort excessif.

Etaient responsables de l'opération "PHYSALIE V" :

- pour l'organisation et la direction scientifique,
médicale et technique : X. FRUCTUS
Ch. AGARATE
- pour la direction des caissons : J. COUSTAL
- pour la direction du laboratoire : D. PROSPERI
- pour la surveillance photo, cinéma, magnétoscope : A. TOCCO

L'exploitation physiologique des résultats était assurée par plusieurs équipes de chercheurs :

- V. CONTI et R. SCIARLI, pour les aspects médicaux,
- R. NAQUET, J.C. ROSTAIN, A. GOSSET, J.P. CHARPY, pour la neurophysiologie, la neurologie et la psychométrie,
- P. VARENE, G. SAUMON, pour la physiologie respiratoire,
- F. SICARDI et Monique VOLAIRE, pour la biologie.

Avec la participation des organismes suivants :

- le Laboratoire de Neurophysiologie appliquée du C.N.R.S. Marseille
-subventionné par la D. R. M. E.-
- le Laboratoire de Médecine Aérospaciale du C.E.V.-Brétigny.
- le Centre Régional de Transfusion Sanguine - Marseille

L'ensemble de leurs travaux fait l'objet de ce rapport.

PREAMBULE

En 1968, au cours de six expériences de plongée fictive à l'Hélium/Oxygène, qui se sont déroulées à la COMEX, sept plongeurs ont été soumis à des pressions allant de 31 à 37,5 ATA -correspondant à des profondeurs de 300 à 365 mètres d'eau de mer.

Nous n'étions pas les premiers à entrer dans la zone des 300 mètres. Depuis la plongée "protohistorique" de HANNES KELLER, à 1000 ft, en 1962, presque six ans s'étaient écoulés lorsque BUHLMANN, en décembre 1967, à ZURICH, put étudier les réactions de deux plongeurs soumis à 31 ATA et noter des troubles qu'il attribuait moins aux grandes profondeurs qu'aux variations rapides de pression.

Les mois suivants, ce furent, aux U. S. A., deux plongeurs de l'E.D.U. qui atteignirent 1025 ft, et, le 12 mars 1968, les plongeurs de l'International Underwater Contractors qui passèrent 5 minutes à 1100 ft et 30 minutes à 1050 ft.

Notre première 1100 ft fut réalisée 12 jours plus tard, tandis que nous ignorions encore le record de l'I. U. C.. Deux plongeurs COMEX passèrent 17 minutes à 335 mètres fictifs. Ils présentaient beaucoup moins de troubles que les plongeurs de la 300 mètres de Décembre 67 à ZURICH, mais il est vrai qu'ils étaient "descendus" en près de deux heures au lieu d'une demi-heure.

Cette série exceptionnelle de plongées très profondes (voir tableau)

.../...

PLONGEES FICTIVES EXPERIMENTALES TRES PROFONDES

REALISEES AU C.E.H. DE LA COMEX EN 1968

PLONGEE FICTIVE	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PHYS 1	PHYS 2	PHYS 3	PHYS 4
DATE	24.03.68	02.05.68	14.05.68	21.06.68	11.06.68	27.06.68	24.09.68
PLONGEURS	R.V/A.J	J.D/H.R	P.F/A.J	H.D/R.W.B	R.V/R.W.B	R.V/R.W.B	J.D/F.F
PROFONDEUR (mètres)	335	270	300	335	360	365	300
DESCENTE (min)	114	80	65	113	115	123	180
SEJOUR (min)	17	30	20	10	5	4	10
TEMPS PASSE AU-DELA DE 300 m (min)	41	0	20	24	77	111	10
TAUX D'O ₂ (%)	3,7	5	2,7	2,6	1,8	1,9	2,12
PiO ₂ au fond (mb)	1275	1400	837	897	666	713	658
TAUX DE N ₂ (%)	3	4	4,5	4	4	5	5,7
MASSE SPECIFIQUE DES GAZ RESPIRES AU FOND en g/ML	8,9	7,9	8,1	8,8	9,1	9,6	8,3
DUREE DE LA REMONTEE (heures)	94.37	97.45	90.50	97.33	114.31	138.34	106.50

réparties sur six mois, et réalisées dans des conditions souvent difficiles, à l'ancien C. E. H. de la COMEX (en collaboration avec R. W. BRAUER, qui tint à se soumettre en personne à 3 expériences) fut très enrichissante pour la physiologie subaquatique. Elle nous permit de préciser les caractères d'ordre neurologique des troubles observés chez l'homme soumis à des pressions dépassant 30 ATA dans l'Héliox et, dans une tentative de synthèse dont la suite des évènements n'a pas démenti l'opportunité, de décrire le Syndrome Nerveux des Hautes Pressions.

Il existe, aussi, chez l'animal (le primate, en particulier), des troubles décrits par R. W. BRAUER sous le nom de Syndrome d'Hyperexcitabilité du C. N. S. et qu'il n'est pas absurde de rapprocher du S. N. H. P. de l'homme.

En février 1969, une expérience réalisée au R. N. P. L., à ALVERSTOCKE, en collaboration avec BUHLMANN, permit à trois plongeurs suisses de passer trois jours à 31 ATA, avec trois excursions de 1 h, 2 h et 2 h à 36 ATA, sans présenter beaucoup de troubles, malgré la vitesse de compression initiale (70 minutes pour "descendre" à 300 m.).

Ce résultat permit à BUHLMANN de nier l'existence du S. N. H. P., rattachant les quelques signes cliniques observés à un syndrome de compression, dans un papier publié en collaboration avec BENNETT.

Il faudrait être de parti-pris pour reprocher à BENNETT d'avoir changé d'avis par la suite, alors que, justement, l'expérience qu'il a menée à bien avec HEMPLEMAN, un an plus tard, témoigne de la perspicacité d'un esprit scientifique et parfaitement objectif.

Cette plongée fictive à 1500 ft (457 mètres) sous hélium, réalisée à ALVERSTOCKE, en mars 1970, avec deux plongeurs anglais, comportait une compression par paliers (à 600, 1000 et 1300 ft) ; la vitesse de descente entre chaque palier étant d'environ 5 m/min et la durée des paliers de 24 h.

Or, chaque dénivellation provoquait l'apparition des troubles nerveux et psycho-moteurs, ces symptômes ayant tendance à s'atténuer considérablement au cours des paliers. Toutefois, les signaux d'alarme furent fournis par l'E. E. G.. C'est ainsi que, chez l'un des deux sujets, l'on put observer :

- une nette augmentation des "thêta", yeux ouverts, au cours du séjour à 1300 ft,
- une atténuation de ce phénomène, au cours du passage à 1400 ft,
- une nouvelle accentuation avec augmentation de 110 %, au bout de 10 h à 1500 ft.

De plus, chez les deux sujets, les réponses aux potentiels évoqués auditifs déclinerent plus en fonction des pressions qu'au cours des compressions. Au bout de 10 h au fond, le déficit était de 50 à 55 %, chez le sujet le plus sensible.

Ainsi, tout n'est pas provoqué par la compression et réduit par le séjour en pression, comme certains le prétendent.

Le phénomène est beaucoup plus complexe et, à la suite de la 1500 ft, BENNETT s'est contenté de déclarer que, si le S. N. H. P. constituait une "barrière", cette "barrière" pouvait être contournée par une compression adéquate. Il n'en reste pas moins qu'arrivés à une certaine profondeur, il ne sera plus question de contourner quoi que ce soit : le seuil critique étant trop dangereux ou la pente pour l'atteindre étant devenue quasi nulle !...

Le rôle nocif de la vitesse de compression est certain. Nous nous en sommes doutés en 1968, ce qui nous a fait ralentir la descente de PHYSALIE IV (300 mètres) et, si HEMPLEMAN et BENNETT l'ont remarquablement démontré par le profil de la 1500 ft, nous avons, parallèlement, su profiter de l'expérience des diverses phases de JANUS II ; la première phase ayant mis en évidence l'effet d'une "descente" rapide qui, même pour atteindre seulement 250 mètres était déjà traumatisante pour les plongeurs.

Qu'il existe des malaises de compression (surtout constitués par du "trémor", des vertiges et des troubles de l'équilibre), cela est indéniable ; qu'il s'agisse du grand Syndrome de compression remplaçant le S. N. H. P. à l'Héliox, cela est difficilement admissible. Il est, en effet, facile de rappeler que :

- de 1 à 10 ATA (0 à 90 mètres), l'on peut comprimer un sujet en 3 minutes, soit à 30 m/min, sans qu'il éprouve le moindre malaise ;
- de 19 à 31 ATA (180 à 300 mètres), la compression du même sujet en 4 minutes, soit encore à 30 m/min, provoquera certainement des troubles objectivables ;
- de 31 à 46 ATA (300 à 450 mètres), la compression à la même vitesse (en 5 minutes) est difficilement pensable ; l'importance des désordres nerveux (sans compter le syndrome articulaire aigu) pouvant être dangereuse pour le sujet. (Une expérience de descente accélérée, quoique moins rapide, à ces profondeurs, l'a montré).

Nous avons choisi trois exemples comportant la même vitesse et à peu près la même durée. Seule changeait la pression d'arrivée. C'est donc bien elle qui paraît être le facteur déterminant des troubles constituant le S. N. H. P..

.../...

A des profondeurs intermédiaires (180 mètres), le S. N. H. P. peut être révélé par une compression rapide, en 6 minutes, chez le sujet prédisposé. Il sera, d'ailleurs, rapidement réversible à ce niveau.

Nous l'avons expérimenté et considérons depuis que la plongée fictive à 180 mètres, en 6 minutes, peut servir de test de sensibilité au S. N. H. P..

Car, cette sensibilité est essentiellement variable suivant les individus. Nous l'avons remarqué dès nos premières Physalies.

Ainsi, devons-nous nous réjouir du fait que deux plongeurs sur sept aient présenté une susceptibilité révélatrice du syndrome, tandis que BUHLMANN niait l'existence de ce dernier parce que ses trois plongeurs suisses de la 350 mètres de février 1969 avaient paru normaux sous 36 ATA, malgré une compression rapide.

Car, on aurait peut-être trop tendance à perdre de vue l'aspect médical du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions, lequel, comme tout évènement pathologique ne frappe pas tous les individus dans les mêmes conditions.

Tendance, aussi, dans cet état d'esprit plus "sportif" que médical à pousser la "performance" avec des individus résistants jusqu'à la limite, peut-être irréversible, de leur résistance. Ou bien, se fondant sur celle-ci, à étendre à tous les plongeurs dits profonds le préjugé favorable quant à leur aptitude à supporter une expérience ayant fait la preuve de son innocuité.

Puisque le S. N. H. P. n'existe pas (seule la compression produisant des troubles) et que des sujets -se comptant à vrai dire sur les doigts d'une main- ont supporté le séjour à 500 mètres, pourquoi pas, très vite, 600 mètres et au-delà ? !

A raisonner ainsi, alors que les expériences déjà réalisées ne sont que des faits isolés, sans aucune signification statistique, l'on irait au devant d'accidents graves pour peu que, parmi les prochains candidats aux "plus de 500 mètres", se trouvent des sujets prédisposés au S. N. H. P..

De tout ce qui précède se dégagent, d'une part, la notion de risque, qui ne pourra que s'accroître avec la profondeur et qu'il faut soigneusement calculer, d'autre part, la nécessité d'une sélection rigoureuse des plongeurs très profonds.

Le projet PHYSALIE V est parti de l'idée que, étant donné la façon dont l'équipe anglaise d'ALVERSTOCKE avait pu contrôler le S. N. H. P. chez deux plongeurs à 1500 ft (457 mètres), il serait possible de descendre 200 ft plus bas, c'est-à-dire à 518 mètres, à condition que la courbe de compression soit encore perfectionnée.

C'est ainsi que, dès septembre 1970, deux mois avant l'expérience, nous dessinons le profil de la plongée fictive 518 mètres, profil que nous avons rigoureusement respecté, sauf 11 minutes de retard à l'issue de neuf jours de décompression (voir courbe).

Nous avons choisi deux sujets jeunes, bons plongeurs, motivés et ayant déjà fait leurs preuves, lors d'une des phases d'entraînement de JANUS II.

Nous espérons que l'épreuve leur serait relativement facile (malgré l'exiguïté du caisson le plus profond), tout en souhaitant qu'elle ne le soit pas trop, pour ne pas nous endormir dans une trompeuse sécurité.

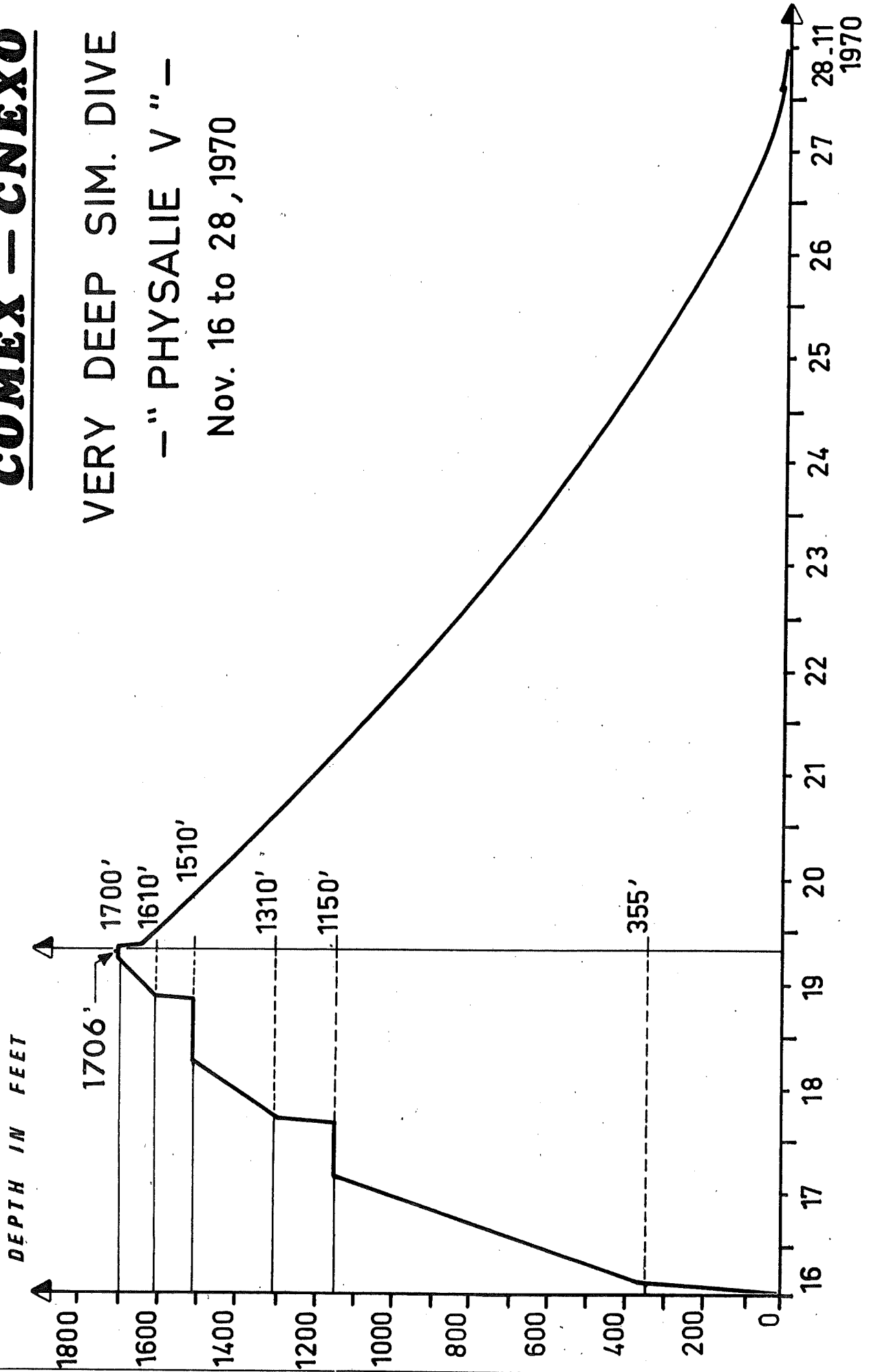
Tout s'est passé selon nos prévisions et nos désirs, comme on va le voir dans les chapitres suivants où l'on retrouvera l'ensemble des informations fournies par l'expérience.

COMEX - CNEOX

VERY DEEP SIM. DIVE

- "PHYSALIE V" -

Nov. 16 to 28, 1970



MATERIELS MIS EN OEUVRE

A - ENSEMBLE HYPERBARE

1- Description des chambres

Les chambres utilisées durant cette expérience sont les suivantes :

"1200" pendant l'ensemble de l'opération

"A" et "D" entre 0 et 350 mètres, lors de la compression et de la décompression.

a) Caisson "1200"

Chambre cylindrique horizontale

Volume : 3,8 m³

Pression de service : 120 bars

C'est la chambre "grandes profondeurs" par excellence. Elle a été utilisée en "chambre à coucher" et "chambre de tests" entre 0 et 350 mètres, et, après isolement à 350 mètres, a été la seule utilisée durant les quelques 3 jours et demi qu'a duré la compression de 350 à 520 mètres et retour.

b) Caisson "A"

Chambre hydro-pneumatique, cylindrique, verticale

Volume : 10,9 m³

Pression de service : 35 bars

Seule la moitié supérieure, "sèche", a été utilisée comme "living-room" par les plongeurs dans la tranche 0-350 mètres.

Elle communique avec le caisson "1200" par un système de deux portes autoclaves inversées.

c) Caisson "D"

Chambre sas-sanitaire, cylindrique, horizontale

Volume : 4 m³

Pression de service : 35 bars

Utilisée comme sas d'entrée dans l'éventualité d'une intervention de l'extérieur, cette chambre comporte l'équipement sanitaire nécessaire à une expérimentation de longue durée (lavabo, douche, W.C.). Elle est habituellement utilisée en conjonction avec l'hydrosphère, et a été, pour la durée de l'expérience PHYSALIE V, déplacée et couplée à l'ensemble du C.E.H. afin de fournir, aux plongeurs, un complément d'espace vital, ainsi qu'un ensemble sanitaire complet dans la tranche 0-350 mètres. Elle communiquait avec le caisson "A" par un système de deux portes autoclaves inversées.

2- Pupitres de commande

Chaque chambre est équipée d'un pupitre de commande individuel, à partir duquel s'effectuent les opérations suivantes :

- manipulation des gaz : pressurisation, décompression, alimentation en mélanges respiratoires, rajouts manuels d'O₂.
- commandes électriques : éclairage, régénération de secours, alimentation électrique des différentes prises intérieures.

Ces pupitres sont alimentés en gaz, depuis la station de transfert, par l'intermédiaire de tableaux de commande, permettant une sélection rapide des mélanges utilisés.

Ils sont équipés :

- d'un jeu de manomètres pour le contrôle des pressions atmosphère-caisson et mélanges respiratoires.
- de prises pour l'analyse des gaz permettant le contrôle continu des taux d'oxygène et de gaz carbonique.
- de sorties permettant l'aiguillage des gaz de décompression vers les réservoirs de stockage.

Indépendamment des pupitres, chaque chambre est, individuellement, équipée de :

- . une vanne d'admission de mélange-vie
- . une vanne d'admission auxiliaire
- . une vanne d'échappement
- . une vanne d'échappement régulé

- . deux clarinettes de distribution de mélanges respiratoires équipées de détendeurs.

3 - Contrôle de la pression dans les chambres

Chaque chambre, ainsi que son pupitre de commande, est équipée (intérieurement et extérieurement) d'un jeu de manomètres permettant le contrôle de la pression intérieure.

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

De plus, un jeu mobile de manomètre "BOURDON" du type "LABORATOIRE" permet, à tout instant, la vérification précise de la pression dans l'une quelconque des chambres, par branchement sur le pupitre correspondant. La pression des mélanges respiratoires est contrôlée par un jeu de deux manomètres (indiquant les pressions en amont et en aval du premier étage de détente), incorporé à chaque pupitre.

4 - Liaisons avec les plongeurs

a) Un réseau général d'interphones comprenant :

- un poste central, placé près des pupitres, faisant office de standard et permettant à l'opérateur de rester en écoute permanente sur toutes les chambres,
- un poste situé dans chaque caisson,
- un poste situé dans le bureau du médecin,

permet d'établir toutes les communications nécessaires.

b) Un circuit indépendant composé de :

- un micro spécial à hautes performances,
- un vocodeur "IBM",
- un casque d'écouteurs,

permet des liaisons décodées entre les plongeurs et l'opérateur de service ou les personnes procédant au déroulement et à l'enregistrement des tests et mesures physiologiques.

c) Un circuit fermé de télévision dont la caméra est fixée à l'extérieur d'un des hublots du "1200" permet à l'opérateur de surveiller les plongeurs et d'effectuer, à la demande, des enregistrements sur magnétoscope.

5- Alimentation en eau

Celle-ci est assurée par des réservoirs d'eau chaude et froide, sous pression permettant l'alimentation du lavabo, de la douche et du W.C. du caisson "D".

6- Nourriture et petits matériels

Chaque chambre est équipée d'un "sas à médicaments" permettant l'échange, avec l'intérieur, des repas et boissons ainsi que des petits matériels divers nécessaires aux plongeurs.

B - ENSEMBLE DE MANIPULATION ET DE REGENERATION DES GAZ

1- Approvisionnement et stockage des gaz

L'hélium et l'oxygène nécessaires au déroulement de l'expérience sont approvisionnés dans le commerce. Les mélanges sont effectués sur place, avant (et éventuellement pendant) l'opération, et stockés dans les cadres de réservoirs haute pression de la station de transfert du C.E.H.

2- Régénération des gaz pendant l'expérience

L'atmosphère des chambres est aspirée à travers un jeu de filtres, par un groupe de surpresseurs qui la refoule dans les caissons au travers d'un échangeur-climatiseur.

Cette installation comprend :

- a) un jeu de filtres de chaux sodée pour l'élimination du gaz carbonique,
- b) un groupe de trois surpresseurs normalement utilisés individuellement et alternativement, mais pouvant être branchés en série ou en parallèle suivant l'importance des pertes de charge du circuit et du volume horaire à régénérer,
- c) un jeu de filtres de silicagel pour l'élimination de l'humidité en excès,

- d) un jeu de filtres de charbon actif pour l'élimination du CO, des hydrocarbures et des gaz lourds,
- e) un filtre à cartouches-tamis à 3 microns pour le dépoussiérage,
- f) un échangeur-climatiseur permettant, par circulation d'eau à la température voulue (régulée, suivant les cas, par un chauffe-eau électrique ou un groupe frigorifique "CARRIER"), de maintenir dans les chambres la température optimale.

Chaque caisson est équipé d'une aspiration et d'un refoulement par l'intermédiaire de silencieux, et de vannes permettant de l'isoler éventuellement du circuit.

3 - Récupération des gaz

Les échappements des caissons sont reliés à des réservoirs rigides de grande capacité, permettant le stockage des gaz en moyenne pression (jusqu'à 20 bars). Ces mélanges sont ensuite détendus à la pression atmosphérique au moyen de réservoirs souples (gazomètres MARSTON) d'où ils sont aspirés par les compresseurs du centre et recomprimés dans les cadres de stockage haute pression, en vue d'une réutilisation ou d'un reconditionnement ultérieur.

C - MESURES PARTICULIERES DE SECURITE

1 - Tuyauteries et vannes

Tous les passages de coque sont munis de vannes de sectionnement à l'intérieur et à l'extérieur de la chambre. En cas de défec-tuosité d'une vanne ou d'une tuyauterie, l'isolement du défaut par rapport à la chambre est assuré par la fermeture de l'une des vannes de sectionnement correspondantes.

2 - Alimentation en énergie

Un groupe électrogène de secours pallie une éventuelle panne du réseau et assure la fourniture de toute l'énergie nécessaire à la poursuite normale de l'expérience, y compris la fabrication des mélanges

3 - Régénération de l'atmosphère des chambres

En cas de panne du groupe de régénération principal, la purification de l'atmosphère des chambres est assurée par un dispositif intérieur de secours, commandé à partir du pupitre extérieur correspondant.

Il est constitué d'un ventilateur centrifuge refoulant l'atmosphère du caisson au travers d'une cartouche de chaux sodée et d'une cartouche de silicagel. Les produits chimiques garnissant les cartouches sont, alors, changés périodiquement par les plongeurs auxquels ils sont approvisionnés par les "sas à médicaments".

4 - Risques d'incendie

Ceux-ci sont réduits à la quasi-nullité par l'utilisation d'une pression partielle d'oxygène n'excédant pas 500 millibars, et d'un pourcentage de ce gaz dans l'atmosphère à base d'hélium ne dépassant en aucun cas 25 %.

Dans le cas de l'inhalation de mélanges suroxygénés ou d'oxygène pur, les gaz expirés sont évacués à l'extérieur des chambres au moyen d'appareils déverseurs du type "CYCLO-FLOW".

MESURE DES PARAMETRES D'ENVIRONNEMENT

I - CONTROLE DES GAZ

Nous avons, au cours de PHYSALIE V, contrôlé l'atmosphère respirée par les plongeurs, d'une façon particulièrement méticuleuse. En effet, nous avons fixé la PiO_2 à 420 mb pendant la compression et le séjour à 518 mètres, et nous souhaitons avoir le moins d'azote possible, l'enrichissement progressif en azote s'effectuant par les nombreux passages de matériaux non dégazés.

Le gaz carbonique a constamment été maintenu à un taux proche ou inférieur à ce qui existe dans l'air atmosphérique.

De plus, l'hygrométrie a été réglée avec une fourchette d'environ 15 % d'humidité relative.

La régénération utilisée pour ces deux derniers paramètres a permis en outre d'éliminer les polluants habituels.

MATERIEL MIS EN OEUVRE :

1°/ - Analyseurs d'oxygène

- SERVOMEX OA 137
- SERVOMEX OA 250
- BIO MARINE

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

Ils possèdent plusieurs échelles :

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

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

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

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

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

Ces appareils nous ont donné entière satisfaction.

2°/ - Analyseur d'anhydride carbonique

L'appareil utilisé est un analyseur de gaz, à absorption de rayonnement infra-rouge de type UNOR S 2.

Il présente les caractéristiques suivantes :

2 étendues de mesure :	0 - 50 Vpm
	0 - 500 Vpm

La précision est de 2 %. Les analyses sont effectuées sur le gaz détendu. Du fait des faibles teneurs en CO₂, nous n'avons pratiquement utilisé que l'échelle 0 - 50 Vpm.

3°/ - Hygrométrie

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

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

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

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

4°/ -Analyses G. L. C.

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

L'appareil utilisé était un Microtek MT150, à cellule ultrasonique.

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

Sa cellule ultra-sensible (on peut mesurer 1/20 de Vpm d'O₂ ou de N₂) a de plus l'avantage d'être linéaire, de 1/20 Vpm à 100 %.

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

II -CONTROLE DES TEMPERATURES

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

4 sondes étaient disposées en différents points des caissons :

- 2 dans le caisson 1200
- 1 dans le caisson A
- 1 dans le caisson D

Chaque sonde est incluse dans un pont de Wheastone, alimenté

en courant continu. Les variations de tension, produites par toute variation de température sont mesurées et enregistrées potentiométriquement.

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

III -CONTROLE DES PRESSIONS

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

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

Cette appréciation est impossible sur un manomètre mesurant 53 bars.

IV -PROTECTION CONTRE LES BACTERIES

Utilisation du procédé AEROVAP.

3 appareils à 1 cupule étaient disposés dans chaque enceinte.

Les résultats obtenus lors de JANUS II ont pu être pleinement reproduits.

C O N C L U S I O N S

Si nous reprenons dans l'ordre cité précédemment les divers paramètres contrôlés, nous pouvons dire :

- que l'oxygène a toujours été maintenu à la pression partielle désirée avec une fourchette moyenne de ± 10 mb, les rares pointes notables n'excédant pas 20 mb.
- que l'azote a atteint au maximum 130 mb, ce qui a peu influencé le comportement des plongeurs, et peu modifié la densité du mélange gazeux.
- que le CO_2 a été maintenu à des valeurs très faibles, notamment au-delà de 400 mètres où nous avons maintenu sa valeur entre 0 et 1 mb.
- l'humidité a été maintenue à un niveau relativement élevé, avoisinant souvent les 80 % H.R.
- la température a été maintenue avec une fourchette de $\pm 1^\circ C$. Elle a évolué suivant la profondeur; en tenant compte du confort des plongeurs, on peut cependant noter qu'à 500 m. et plus, elle se situe entre 31 et $33^\circ C$.
- les bactéries ; bien que nous n'ayons pas, dans ce cas, effectué de mesures, notre expérience ancienne et renouvelée depuis, indique que des boîtes de petri disposées une heure en différents points d'une Chambre Hyperbare, traitée au moyen d'un AEROVAP par l'Hexyl resornicol, indiquent la présence de 2 à 3 colonies par champ, de staphylocoques non pathogènes.

1°/ - FORMULE GENERALE DE LA LOI DE COMPRESSION

L'hypothèse de base présidant à l'établissement de courbes de compression, a été exposée en détails dans le rapport de synthèse de l'opération JANUS II. Lors de celle-ci, étant donné la tranche de profondeur, relativement modeste (0-250 mètres), mise en jeu, nous avons effectué une première approche consistant à maintenir, durant l'ensemble de la phase de compression, un gradient constant entre les tensions de gaz inerte dissous dans le tissu le plus lent et le plus rapide.

Les résultats probants, indéniables, obtenus lors des phases II et III de JANUS II, ont montré que la méthode ainsi ébauchée était valable mais demandait, certainement, à être perfectionnée pour pouvoir être étendue à des profondeurs plus importantes. Le point principal, dans l'amélioration de cette méthode, consiste à admettre, tout au long de la compression, un gradient décroissant avec la profondeur, plus en conformité avec les différents résultats expérimentaux, bien que rien, dans l'hypothèse de base, ne permette, actuellement, d'évaluer l'influence de la valeur absolue de la pression ambiante.

Le calcul, en fonction de la profondeur, de la vitesse de compression, permettant de maintenir un gradient qui soit lui-même une fonction quelconque de la profondeur est aisé :

Si P est la profondeur,
 $G = G(P)$ la fonction gradient choisie pour le tissu de période T ,
 Q = la tension de gaz dissous dans le tissu de période T ,

Ces trois grandeurs étant exprimées en mètres d'eau de mer

Par définition :

$$G = P + 10 - Q \quad \text{ou} \quad G = P - G + 10 \quad \text{soit} \quad dQ = dP - dG$$

$$\text{or} \quad dQ = \frac{\text{Log } 2}{T} G dt \quad \text{d'où l'on tire :}$$

$$dP - dG = \frac{\text{Log } 2}{T} G dt \quad \text{soit, comme } dG = G' dP$$

$$dP (1 - G') = \frac{\text{Log } 2}{T} G dt \quad \text{et}$$

$$\frac{dt}{dP} = \frac{T (1 - G')}{\text{Log}2 \times G}$$

G étant une fonction quelconque G (P) de la profondeur et
 $G' = \frac{dG}{dP}$ sa dérivée par rapport à celle-ci.

Si T est exprimée en minutes et G en mètres, c'est cette fonction $\frac{dt}{dP}$, inverse de la vitesse de compression, exprimée en minutes par mètre et calculée point par point de mètre en mètre, qui permettra le mieux, dans la pratique, d'effectuer la compression.

29- CHOIX DES PARAMETRES DE BASE.

Afin d'utiliser cette formule, dans un cas pratique, il nous faut choisir deux paramètres :

- la période T du tissu choisi pour "guider" cette compression,
- la fonction G (P), gradient de "sous-saturation" admissible, dans le tissu choisi, en fonction de la profondeur.

a) - la période.

Etant donné l'hypothèse de base qui préside à l'établissement de cette méthode, le tissu à choisir pour "guider" la compression est, évidemment, le tissu le plus lent de l'organisme.

La période, généralement adoptée pour celui-ci, est 240 minutes. Nous avons conservé cette valeur, l'incidence d'une variation de cette période (en fonction du taux de perfusion des plongeurs, par exemple) sur la courbe de compression obtenue étant négligeable par rapport à l'incertitude qui subsiste dans le choix de la fonction G (P).

b) - La fonction gradient.

Les résultats de l'expérimentation menée, en ce domaine, lors de l'opération JANUS II montrent que :

- près de la surface, un gradient de l'ordre de 110 mètres n'induit, pratiquement, aucun trouble décelable chez les plongeurs.

- à 250 mètres, le gradient admissible est de l'ordre de 80 mètres.

Par ailleurs, si nous nous référons aux résultats obtenus lors de la compression de la plongée fictive à 1500 pieds (457 mètres) réalisée en mars 1970 par la Royal Navy au R.N.P.L. d'ALVERSTOKE, et si nous calculons les gradients de "sous-saturation" d'un tissu de période 240 minutes à l'arrivée aux différents paliers, nous obtenons les résultats suivants :

Profondeur	Gradient
600' = 183 mètres	180 mètres
1000' = 305 mètres	125,5 mètres
1300' = 396 mètres	78,5 mètres
1500' = 457 mètres	57,5 mètres

Les constatations cliniques, effectuées lors de cette expérience (manifestations prononcées du S.N.H.P. à l'arrivée à chacun des niveaux) montrent que ces valeurs de gradient sont trop importantes et doivent être réduites.

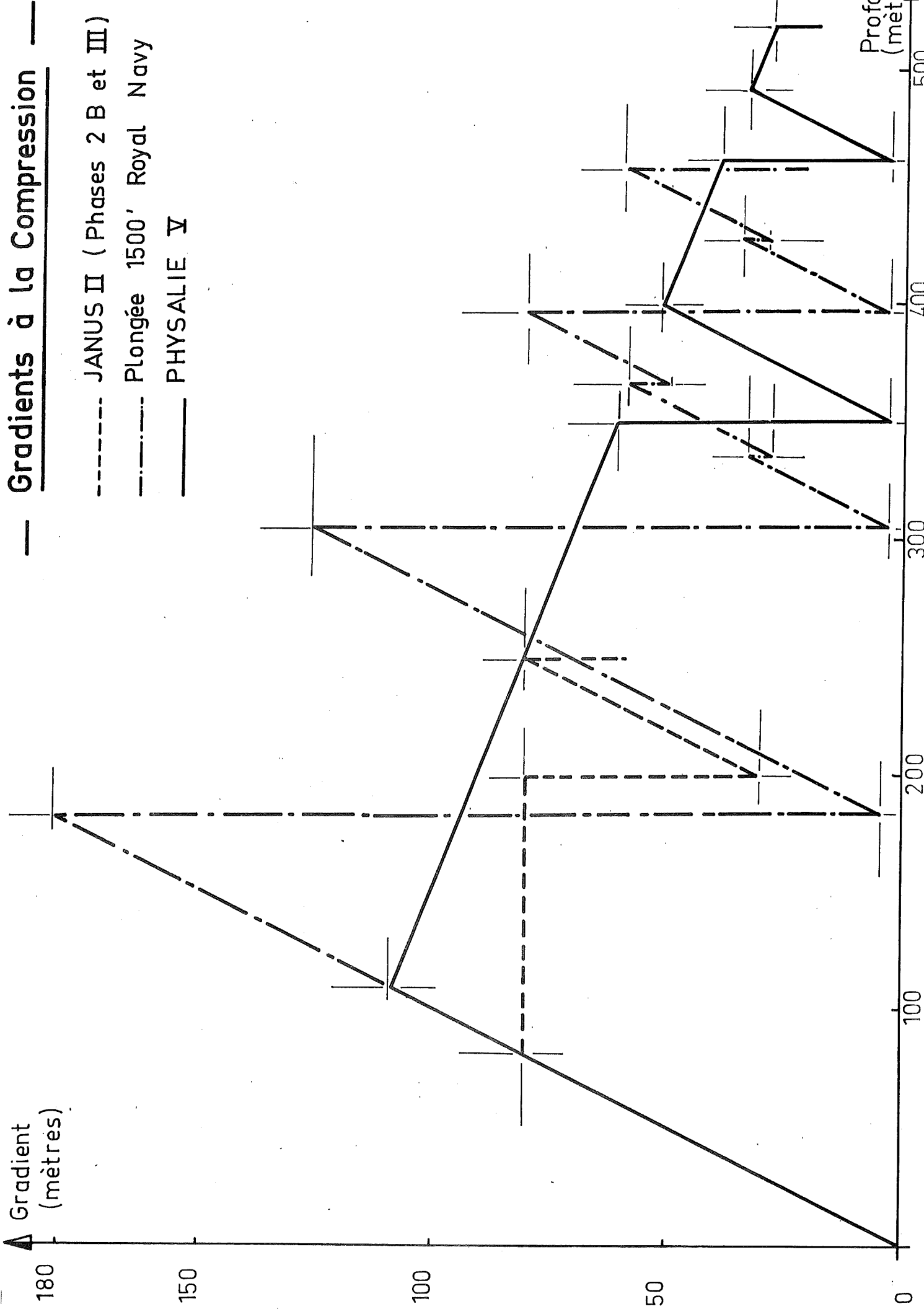
Il en résulte qu'un gradient de 80 mètres, admissible à la profondeur de 250 mètres, est trop important à 400 mètres et doit même être inférieur à 57,5 mètres à une profondeur de l'ordre de 450 mètres.

Nous déduisons de ces différentes données expérimentales que la méthode à "gradient constant" utilisée lors de l'opération "JANUS II", dans une tranche de profondeur limitée, n'est plus valable lorsque la profondeur augmente et que la fonction G (P) est une fonction décroissante de la profondeur.

La première étape dans sa détermination, consiste à ajouter au terme constant un terme du premier degré en P, second terme du développement en série qui nous permettra, dans l'avenir, de cerner la définition de

Gradients à la Compression

- JANUS II (Phases 2 B et III)
- - - - - Plongée 1500' Royal Navy
- · - · - · - PHYSALIE V



la fonction recherchée.

- 27 -

Nous obtenons ainsi une fonction $G(P)$ linéaire décroissante $G = aP + b$ devant satisfaire les conditions suivantes :

$$\begin{aligned} G(110) & \neq 110 \\ G(250) & \neq 80 \\ G(450) & < 57,5 \end{aligned}$$

Les deux premières conditions nous permettent de déterminer une valeur approchée des coefficients a et b :

$$\begin{aligned} 110 & a + b \neq 110 \\ 250 & a + b \neq 80 \end{aligned}$$

soit

$$\begin{aligned} 140 & a \neq -30 \\ & a \neq 0,214 \\ \text{et} & b \neq 133,5 \end{aligned}$$

Etant donné l'incertitude qui, malgré tout, subsiste dans leur détermination, nous avons arrondi ces valeurs à :

$$\begin{aligned} a & = -0,2 \\ b & = 130 \end{aligned}$$

dans un souci de simplification des calculs pratiques.

Par ailleurs ces valeurs nous donnent :

$$G(450) = -0,2 \times 450 + 130 = 40 \text{ mètres}$$

valeur nettement inférieure à celle 57,5 mètres du gradient à 1500' de l'expérience du R.N.P.L., génératrice, comme nous l'avons vu plus haut, de symptômes marqués du S.N.H.P.

La fonction $G(P)$ choisie est, par conséquent :

$$G(P) = 130 - 0,2 P$$

La combinaison des résultats établis lors des deux paragraphes précédents nous donne :

$$\frac{dt}{dP} = \frac{T (1 - G')}{\text{Log } 2 \times G} \quad \text{avec } G (P) = 130 - 0,2 P$$

$$T = 240$$

soit

$$\frac{dt}{dP} = \frac{1,2 \times 240}{0,7 (130 - 0,2 P)}$$

et

$$\frac{dt}{dP} = \frac{14\ 400}{4550 - 7 P}$$

en minutes par mètre. Cette valeur sera arrondie à l'unité supérieure dans un souci de réalisation pratique de la compression correspondante.

Par ailleurs, la droite $G = 130 - 0,2 P$ coupe la droite $G = P$ (compression initiale rapide) pour :

$$130 - 0,2 P = P \quad \text{soit } P = \frac{130}{1,2} \neq 108 \text{ mètres.}$$

Il en résulte la table de compression suivante :

de 0 à 108 mètres	1 minute /mètre
de 108 à 135 mètres	4 minutes/mètre
de 135 à 238 mètres	5 minutes/mètre
de 238 à 307 mètres	6 minutes/mètre
de 307 à 356 mètres	7 minutes/mètre
de 356 à 392 mètres	8 minutes/mètre
de 392 à 421 mètres	9 minutes/mètre
de 421 à 444 mètres	10 minutes/mètre
de 444 à 462 mètres	11 minutes/mètre
de 462 à 478 mètres	12 minutes/mètre

de 478 à 491 mètres	13 minutes/mètre
de 491 à 503 mètres	14 minutes/mètre
de 503 à 512 mètres	15 minutes/mètre
de 512 à 521 mètres	16 minutes/mètre

La courbe de compression, théorique, en résultant, est représentée sur le graphique ci-joint.

A noter que la fonction $G(P)$ choisie ne permet pas d'effectuer de plongées au delà de 650 mètres, en effet si $P \rightarrow 650$, $G(P) \rightarrow 0$,

$$\frac{dt}{dP} = \rightarrow 0 \quad \text{et la fonction } P(t) \text{ est}$$

asymptote à la droite $P = 650$.

Ceci ne doit pas être considéré comme une indication probable de la profondeur maximale qu'il est possible d'atteindre, sans dangers, sous respiration d'hélium, mais résulte, uniquement, de l'imperfection de la définition de la fonction $G(P)$ par un développement en série composé seulement de deux termes. La perfection ultérieure, lors d'expériences futures, de la détermination de cette fonction $G(P)$, par adjonctions successives de nouveaux termes à son développement en série, permettra sans doute de cerner, avec une plus grande précision, la valeur exacte de cette profondeur maximale.

4°/- PROGRAMME DE COMPRESSION DE L'EXPERIENCE "PHYSALIE V"

Pour des raisons d'ordre pratique et expérimental, la courbe de compression, déterminée au paragraphe précédent, a été interrompue deux fois par des paliers de longue durée (16 heures environ) aux profondeurs de 350 et 460 mètres.

Ceci pour plusieurs raisons :

- mesurer l'influence d'un tel palier sur l'atténuation de symptômes éventuels du S.N.H.P. qui seraient apparus lors de la phase de compression qui le précédait.

- effectuer, à profondeur constante, les différents tests et mesures physiologiques destinés à étudier, en détail, le comportement des plongeurs à ces niveaux intermédiaires.
- éviter de comprimer les plongeurs durant leur sommeil, phase pendant laquelle le seul contrôle praticable est l'E.E.G., insuffisamment significatif, à très grandes profondeurs des réactions neurophysiologiques des plongeurs lorsque ceux-ci dorment.
- faire suivre chacun de ces paliers par une phase de compression "rapide" (1 mètre par minute) permettant ainsi, de tester, en deux points, la validité de la fonction G (P) choisie tout en s'affranchissant de l'incertitude subsistant dans le choix de la période du tissu "guide".

Au départ d'un palier de saturation à la profondeur P_1 , la profondeur P_2 que l'on peut atteindre en compression rapide est déterminée par :

$$P_2 - P_1 = G (P_2) = 130 - 0,2 P_2 \quad \text{d'où l'on tire :}$$

$$P_2 = \frac{5}{6} (P_1 + 130)$$

soit pour $P_1 = 350$ $P_2 = 400$ mètres

et $P_1 = 460$ $P_2 = 491,66$ mètres.

valeur que nous avons arrondie à 490 mètres par mesure de sécurité (prenant en compte le fait qu'à l'issue des 16 heures de palier à 460 mètres, le gradient résiduel de "sous-saturation" d'un tissu 240 minutes s'établissait à environ 2,4 mètres).

Le programme réel de compression de "PHYSALIE V" s'est donc établi comme suit :

de 0 à 108 mètres	1 minute /mètre
de 108 à 135 mètres	4 minutes/mètre
de 135 à 238 mètres	5 minutes/mètre
de 238 à 307 mètres	6 minutes/mètre
de 307 à 350 mètres	7 minutes/mètre

palier de 16 heures à 350 mètres

de 350 à 400 mètres	1 minute /mètre
de 400 à 421 mètres	9 minutes/mètre
de 421 à 444 mètres	10 minutes/mètre
de 444 à 460 mètres	11 minutes/mètre

palier de 16 heures 15 à 460 mètres.

de 460 à 490 mètres	1 minute /mètre
de 490 à 491 mètres	13 minutes/mètre
de 491 à 503 mètres	14 minutes/mètre
de 503 à 512 mètres	15 minutes/mètre
de 512 à 518 mètres	16 minutes/mètre

et est représenté sur le graphique ci-joint.

La fonction G (P) théorique résultant de ce programme de compression pour un tissu de période 240 minutes est représenté sur le graphique suivant où l'on peut la comparer aux fonctions G (P) expérimentées lors des phases finales de JANUS II et lors de la plongée à 1500' du R.N.P.L.

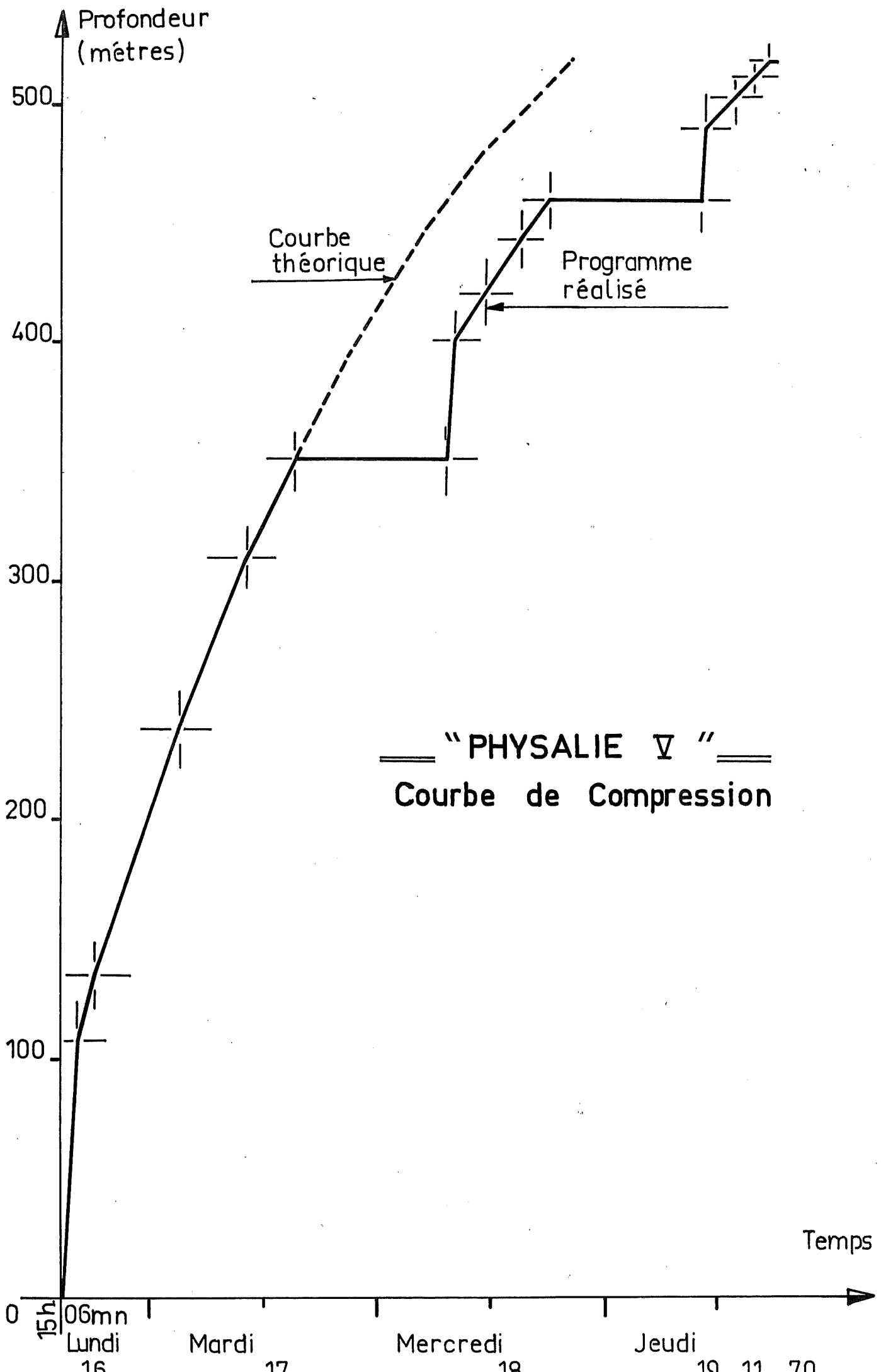
5°/ - OBSERVATIONS CLINIQUES

Se rapporter au tableau extrait du rapport JANUS II.

6°/ - CONCLUSIONS

La méthode de compression que nous venons de décrire, constitue une approche expérimentale extrêmement fructueuse de la solution du problème posé par la compression de plongeurs à grandes profondeurs, sans modifications dangereuses de leur neurophysiologie, et sans altérations sensibles de leurs possibilités d'intervention à ces profondeurs.

En effet, elle a permis d'amener, dans d'excellentes conditions, deux sujets à la profondeur record prévue de 518 mètres, tandis qu'auparavant toutes les tentatives de ce type, à profondeurs moindres, s'étaient, le plus souvent, soldées par l'arrêt de l'expérience après un



D'APRES RAPPORT JANUS II

Les effets de la compression, ralentie et améliorée à chacune des phases II et III peuvent être résumés dans le tableau suivant :

	PHASES I et II B			PHASES II A et III			
	compression rapide ↓			compression lente (hydrosphère) ↓			
	Fatigue	Vertiges	NJJS	Fatigue	Vertiges	NJJS	
P.J. 1	++	++	+	0	+	+ lombalgies	P.J. 1
P.J. 2	+	++	++	0	+	+ lombalgies	P.J. 2
P.J. 3	+	++	+++	0	+	+	P.J. 3

P.J. 4	0	0	+	0	0	0	P.J. 1
P.J. 5	0	0	+	0	0	0	P.J. 2
P.J. 6	0	0	+	0	0	+	P.J. 3
	↑ compression améliorée (hydrosphère)			↑ compression améliorée (caissons ASTRAGALE)			

NJJS : "No joint juice syndrom" : syndrome articulaire caractérisé par la sensation d'articulations sèches et craquantes, plus que douloureuses, à l'arrivée, sous des pressions dépassant II ATA. Il affecte surtout les poignées, les épaules, les hanches, les chevilles, et peut persister durant le séjour. (symptômes articulaires des hautes pressions -V. CONTI).

temps de séjour inférieur à celui prévu, étant donné les manifestations marquées du S.N.H.P. observées chez les sujets, et l'ignorance dans laquelle se trouvaient les expérimentateurs quant aux conséquences éventuelles et au caractère de réversibilité des divers symptômes nerveux.

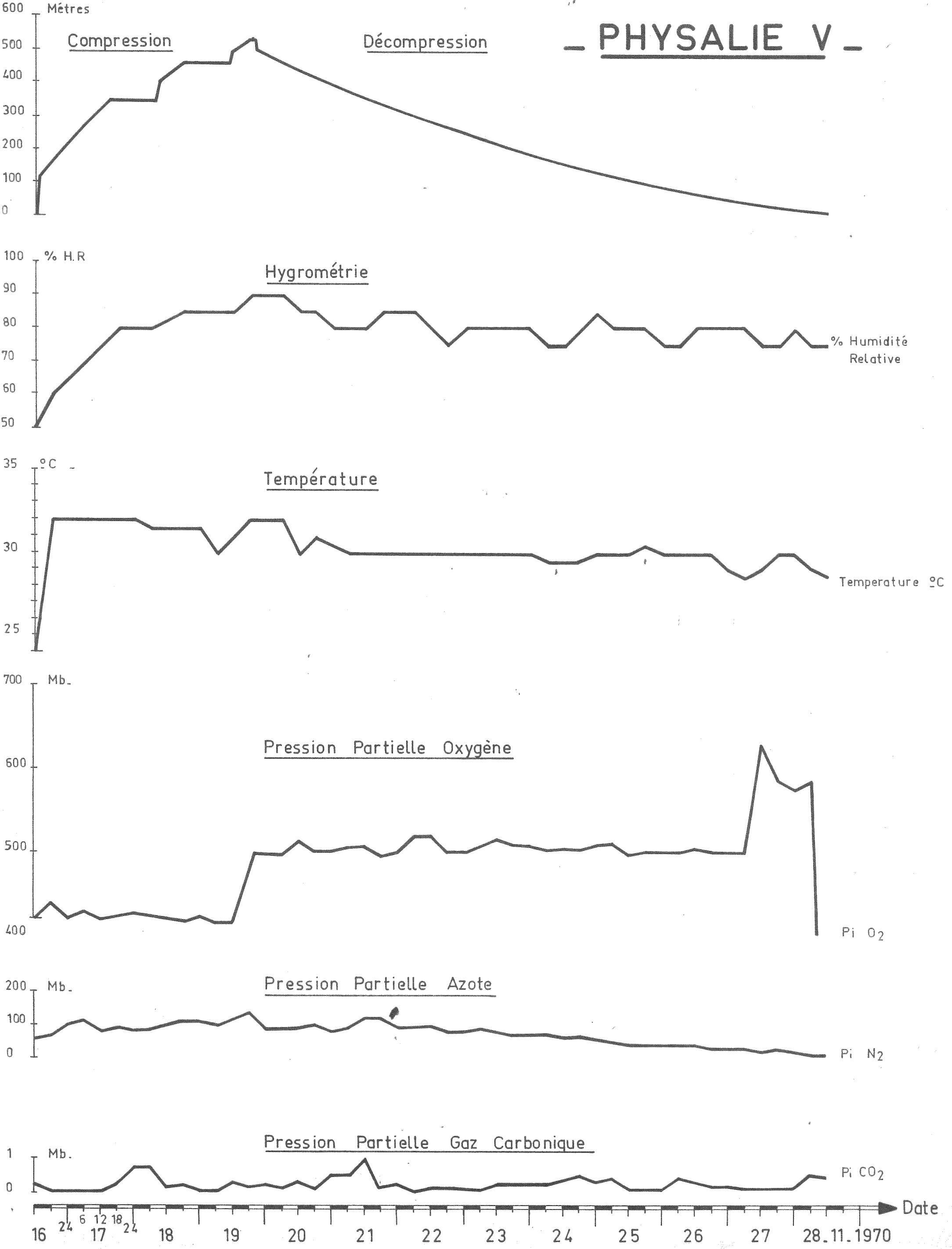
Néanmoins, lors de "PHYSALIE V", ces symptômes se sont manifestés de façon discrète, et non inquiétante, mais indéniable, principalement au delà de 460 mètres. Il est à noter que leur apparition, ou leur renforcement, a, essentiellement, eu lieu à la suite des deux phases rapides de compression qui suivaient l'exécution des paliers.

L'ensemble de ces constatations peut s'interpréter de diverses manières :

- la fonction $G(P)$ choisie présente une valeur trop importante à grandes profondeurs,
- les symptômes observés sont dus à une action directe de la valeur absolue de la pression ambiante (qui serait amplifiée par une compression trop rapide) et leur intensité ne peut descendre quelle que soit la méthode de compression employée, en deçà d'une certaine valeur minimale.
- la fonction G ne dépend pas uniquement de la profondeur P , mais également de sa dérivée $\frac{dP}{dt}$ (vitesse de compression) ce qui expliquerait la corrélation existant entre l'apparition ou l'intensification des symptômes et les phases de compression rapide.
- ce dernier point peut également s'interpréter d'une autre manière :

La méthode que nous avons utilisée ne considère que le gradient de "sous-saturation" admissible dans le tissu le plus lent de l'organisme. Il est logique de penser que les autres tissus, de périodes plus courtes, présentent également des fonctions G caractéristiques du tissu considéré (comme c'est le cas pour les fonctions M utilisées dans le calcul des tables de décompression). La fonction G dépend donc ainsi des deux variables : la profondeur P et la période T du tissu considéré. Supposons qu'à une profondeur donnée P_0 , la fonction $G(P_0, T)$ soit une fonction croissante de la période T . En d'autres termes, supposons que, plus un tissu est rapide, plus le gradient de "sous saturation" qu'il peut admettre est faible (à l'inverse du gradient de sursaturation admissible, lors de la décompression). Plus généralement, supposons que la fonction G

PHYSALIE V



(P_0 , T) de la variable T ne soit pas monotone, certains tissus rapides pourraient alors admettre un gradient de "sous-saturation" inférieur à celui admis par le tissu le plus lent. Il en résulterait que, lors d'une compression rapide de la profondeur de saturation P_1 à la profondeur P_2 définie dans le paragraphe 4, soumettant par conséquent tous les tissus à un gradient égal à $P_2 - P_1$, très bien toléré par le tissu le plus lent, la valeur de ce gradient excéderait la valeur de la fonction G d'un tissu plus rapide, induisant ainsi, chez les sujets, des désordres physiologiques.

Au contraire, lors d'une phase de compression lente, les tissus de périodes plus courtes se chargeant plus rapidement en gaz dissous, se trouveraient soumis à un gradient inférieur à celui du tissu le plus lent et pouvant, par conséquent, rester inférieur au maximum admissible. Si cette hypothèse devait s'avérer exacte, il en résulterait des tables de compression analogues, dans leur structure et leurs principes de calcul, à des tables de décompression de plongées unitaires, et permettant, à partir d'une profondeur de saturation P_1 de comprimer des plongeurs à une profondeur P_2 plus importante.

Il est vraisemblable que les divers facteurs évoqués dans ce paragraphe ont joué tous un certain rôle dans les phénomènes observés lors de la compression de l'expérience "PHYSALIE V", et que seules les expériences ultérieures en ce domaine permettront de rassembler les données nécessaires à la détermination du rôle exact joué par chacun d'entre eux et à la mise au point des tables de compression qui permettront, dans un avenir proche, les interventions industrielles de plongeurs à des profondeurs considérées actuellement comme réservées aux exploits expérimentaux.

COMPTE RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ % (1)	PiO ₂ mb (2)	PiCO ₂ mb (3)	H ₂ O % (4)	TEMPS °C	OBSERVATIONS
14 : 35								Entrée des plongeurs dans le sas D.
14 : 45								Ringage des caissons et du circuit de régénération avec Hélix 20/80.
15 : 06								Installation des plongeurs.
15 : 15	15	1	20			50		Aérovap marche.
15 : 19								
15 : 34	40	1	8,20	380				
15 : 44	50	1	7	400			26	
15 : 54	60	1	5,80		0,7			
16 : 04	70	1	5,10		0,72			PN ₂ = 70 mb (5)
16 : 14	80	1	4,30		0,72		26	
16 : 24	90	1	4,20		0,6			
16 : 34	100	1	4		0,28	57		
16 : 50	110	4	3,50		t			Mesures ventilatoires.
17 : 30	120	4	3,20	420	t	60	27	Passage sas (goûter)
18 : 08	130	4	3,20	440	t			
18 : 30	135	5						Enregistrement trémor.
18 : 56	140	5	3	460	t			Deux passages sas.
19 : 45	150	5	2,60	450	t		28	Tests : E.E.G., E.K.G., E.M.G., F.R., Trémor, Cibles.
20 : 40	161	5	2,45	430	t			Passage repas - Aérovap stoppé.
21 : 00	165	5	2,38	430	t	60		
22 : 00	177	5	2,30	420	t		28	Coucher.
22 : 15	180	5	2,30	420	t	65	28	E.E.G. de sommeil.
23 : 00	189	5	2,10	410	t		28	
23 : 55	200	5	2	430	t	65	28	PN ₂ = 107 mb

J2. Le 17.11.70

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMPS °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
01 : 00	213	5	1,90	430	t	70	28,5	PN ₂ = 102 mb (5)
02 : 00	225	5	1,80	430	t		29	
03 : 00	237	5	1,72	430	t		29,2	PN ₂ = 112 mb.
04 : 00	247	6	1,62	430	t	80	29,2	
05 : 00	257	6	1,60	430	t	85	29	PN ₂ = 113 mb.
06 : 00	267	6	1,52	425	t	85	29	
07 : 00	277	6	1,50	425	t		29	Réveil.
07 : 29	282	6	1,50	425	t		29	Passage petit-déjeuner.
08 : 00	287	6	1,45	420	t		29,5	Aérovap marche.
08 : 29	292	6	1,40	420	t		29	
09 : 29	302	6	1,30	420	t		29	
09 : 59	307	7	1,30	410	t		29,5	Tests : E.E.G., E.K.G., E.M.G., F.R., Trémor, Cibles.
10 : 34	312	7	1,20	410	0,13	85	30	Passage sas.
11 : 09	317	7	1,20	410	0,13		30	Tests : E.E.G., E.K.G., E.M.G., F.R., Trémor, Cibles.
11 : 30	320	7	1,18	410	0,16		32	PN ₂ = 98 mb.
12 : 05	325	7	1,10	400	0,17		32	
12 : 40	330	7	1,20	415	0,24		30,5	Enregistrement Trémor.
13 : 15	335	7	1,20	415	0,21		31	Passage sas (déjeuner).
13 : 50	340	7	1,20	420	0,21		31	Tests : E.E.G.
14 : 25	345	7	1,20	420	0,21		31	Passage sas.
15 : 00	350		1,20	430			31	Mesures ventilatoires = Tests.
16 : 30	350		1,20	440	0,54		31,5	Passage sas.
18 : 00	350		1,20	430	0,43			PN ₂ = 90 mb.
19 : 00	350		1,18	430	2,15	85	30	Tests psychométriques. Passage sas.
20 : 00	350		1,20	430	0,72		29	Aérovap stoppé.
21 : 00	380		1,18	430	0,90		28	Fin des tests. Passage repas.
22 : 00	350		1,18	430	0,90		30	Passage sas. Coucher.
23 : 00	350		1,18	425	0,90		30	E.E.G. de sommeil. PN ₂ = 162 mb.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 00	350		1,20	425	0,54	85	29,5	
01 : 00	350		1,18	420	0,54		29,5	PN ₂ = 162 mb (5).
03 : 00	350		1,16	425	0,72		29,8	
05 : 00	350		1,18	430	0,72		30	PN ₂ = 169 mb.
07 : 00	350	1						Réveil.
07 : 10	360	1	1,05	420	1,67			
07 : 15	365	1	1,05	420	1,69		30	Tests : E.E.G., E.K.G., E.M.G., CIBLES., TREMOR.
07 : 20	370	1	1,03	400	1,71		30	
07 : 25	375	1	1,01	400	1,35		30	
07 : 35	385	1	1	400	1,38		30	
07 : 45	395	1	1,02	415	1,21		30	
07 : 50	400	9	1,01	420	1,00		30	PN ₂ = 99 mb.
08 : 00	401	9	1	420	1,23		30	Réveil.
08 : 53	407	9	1	410	0,87	85	30	Passage sas (petit-déjeuner).
09 : 11	409	9	1	410	0,79		30,5	
09 : 29	411	9	0,96	410	0,92		32	Passage sas.
09 : 47	413	9	0,98	420	0,88		32,5	
10 : 05	415	9	1	430	0,98		31,5	Aérovap marche.
10 : 23	417	9	0,97	420	0,2		31,5	Passage sas.
10 : 41	419	9	0,96	410	1,42		31,5	Tests psychométriques.
11 : 19	423	10	0,94	410	1,3		31,5	PN ₂ = 121 mb.
11 : 59	427	10	0,94	410	1,22		31,5	
12 : 19	429	10	0,95	410	1,18		32	Passage sas (déjeuner).
12 : 59	433	10	0,95	410	1,37		31,5	Passage sas.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
13 : 19	435	10	0,95	410	1,20	85	32	PN ₂ = 126 mb.
14 : 19	441	10	0,91	410	t		30,5	PN ₂ = 118 mb.
14 : 39	443	10	0,92	415	t		31	
15 : 00	445	11	0,91	415	t		31	
15 : 22	447	11	0,91	410	t	90	31	Tests : E.E.G., E.K.G., E.M.G., Trémor., Cibles., F.R.
15 : 34	449	11	0,88	405	t		31,5	
16 : 06	451	11	0,90	415	t		31	Tests psychométriques.
16 : 28	453	11	0,90	410	t		31	
16 : 50	455	11	0,91	410	t	90	31	
17 : 12	455	11	0,89	415	t		30,5	
17 : 34	459	11	0,89	415	t		30,5	
17 : 45	460		0,89	415	t		30	PN ₂ = 113 mb (5).
18 : 00	460		0,88	410	t		30,5	
18 : 30	460		0,89	415	t		31,5	
19 : 00	460		0,89	410	t		31,5	
19 : 15	460		0,89	415	t		31,5	Passage sas (repas).
19 : 30	460		0,88	410	t		31,5	
20 : 00	460		0,89	420	t	90	31,5	Aérovap stoppé.
21 : 00	460		0,89	420	t		31,5	PN ₂ = 118 mb.
22 : 00	460		0,89	415	t		31	Coucher.
23 : 00	460		0,92	420	t		31	E.E.G. de sommeil.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ % (1)	PiO ₂ mb (2)	PiCO ₂ mb (3)	H ₂ O % (4)	TEMP °C	OBSERVATIONS
1 : 00	460		0,89	410	t	90	30,5	
3 : 00	460		0,90	420	t		30,5	PN ₂ = 150 mb (5).
5 : 00	460		0,92	430	t		30,5	
7 : 00	460		0,90	420	t		30,2	Réveil.
8 : 00	460		0,88	415	t		30,5	Aérovap marche. Passage sas (petit-déjeuner).
9 : 00	460		0,89	420	t		31	E.E.G. Passage sas. PN ₂ = 103 mb.
10 : 00	460	1	0,89	420	t		31,5	E.E.G.
10 : 05	465	1	0,89	410	t		32	
10 : 10	470	1	0,87	420	t		32	
10 : 20	480	1	0,85	410	t		32	
10 : 30	490	14	0,84	420	t		31,8	Tests : Cibles., E.M.G., E.K.G., Trémor.
10 : 58	492	14	0,83	415	t		31,5	
11 : 26	494	14	0,82	410	t		31,5	
11 : 54	496	14	0,83	415	t	85	31	PN ₂ = 127 mb.
12 : 22	498	14	0,82	415	t		31	Passage sas (déjeuner).
12 : 50	500	14	0,82	420	0,10		31,5	PN ₂ = 127 mb.
13 : 04	501	14	0,81	415	0,12		31	
13 : 18	502	14	0,81	410	0,07		31	
13 : 32	503	15	0,80	410	0,10		31	
13 : 47	504	15	0,80	410	0,15		31	
14 : 02	505	15	0,81	415	0,15		31	
14 : 17	506	15	0,80	410	0,26		31	
14 : 32	507	15	0,81	415	0,31		31	Passage sas. PN ₂ = 124 mb.
14 : 47	508	15	0,80	410	0,20		31	
15 : 02	509	15	0,80	410	0,26		31	
15 : 17	510	15	0,80	415	0,26		30,5	
15 : 32	511	15	0,79	415	0,26		30,5	
15 : 47	512	16	0,79	415	0,37		30,5	

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ % (1)	PiO ₂ mb (2)	PiCO ₂ mb (3)	H ₂ O % (4)	TEMP °C	OBSERVATIONS
16 : 03	513	16	0,81	420	0,29		31,5	
16 : 19	514	16	0,80	420	0,40		30,5	Tests : Trémor., Cibles., E.E.G., E.K.G., E.M.G.
16 : 35	515	16	0,80	415	0,34		30,5	
16 : 51	516	16	0,80	415	0,32		30,5	
17 : 07	517	16	0,80	410	0,32		30	Mesures ventilatoires.
17 : 23	518	16	0,80	420	0,48		31	
17 : 43	518		0,80	420	0,53		30,5	PN ₂ = 127 mb (5).
18 : 03	518		0,79	415	0,48		31	Passage sas.
18 : 18	520					80		E.E.G. Tests psychométriques.
18 : 30	518		0,82	440	0,26		30	Enregistrement Trémor.
18 : 40	518	1	0,87	460	0,42		30	
18 : 41	517	1	DECOMPRESSION					
18 : 52	506	1	0,98	495	0,57		32	
19 : 00	497	1	0,98	500	0,48		32	
19 : 02	496	1	0,98	500	0,40		32,5	
19 : 19	495	17	0,99	500	0,25		32,5	
19 : 36	494	17	1	490	0,23		32,5	
19 : 53	493	17	1	490	0,23		32	
20 : 10	492	18	1	490	0,25		31	PN ₂ = 146 mb.
20 : 28	491	18	1	495	0,25		31	Passage sas (repas).
20 : 46	490	18	1	500	0,25		30,5	
21 : 04	489	18	1,08	500	0,25	80	30,5	Aérovap stoppé.
21 : 40	487	18	1,12	510	0,42		30	
22 : 16	485	18	1,10	510	0,32		30	
22 : 52	483	18	1,10	510	0,40		30	Coucher.
23 : 28	481	18	1,10	520	0,25	80	30	E.E.G. de sommeil.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	ρ_{O_2} %	PiO_2 mb	$PiCO_2$ mb	H_2O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 58	476	18	1,10	540	t	85	30	
02 : 10	472	18	1,10	530	t		30,5	
03 : 04	469	18	1,10	530	0,10		30,5	
04 : 52	463	18	1,10	520	0,10		30	
06 : 40	457	18	1,08	520	t		30,5	
08 : 28	451	18	1,09	510	t		30	$PN_2 = 92$ mb (5).
08 : 46	450	18	1,10	510	t	85	30	Aérovap marche.
09 : 04	449	18	1,10	510	t	85	30	Réveil.
09 : 22	448	18	1,10	510	t		30	Passage sas (déjeuner).
10 : 16	445	18	1,10	510	0,23		30	$PN_2 = 91$ mb.
11 : 10	442	19	1,17	530	0,16		30	
12 : 07	439	19	1,15	530	0,36		30,5	Passage sas.
12 : 26	438	19	1,16	530	0,14		30,2	Passage sas (déjeuner).
13 : 04	436	19	1,16	520	0,13		30	
13 : 23	435	19	1,16	510	0,13		30	$PN_2 = 93$ mb.
14 : 20	432	19	1,15	510	0,48	90	30	Passage sas.
15 : 36	428	19	1,16	510	0,26		30	
16 : 33	425	19	1,16	510	0,26		29,5	Passage sas.
17 : 11	423	19	1,16	505	0,42		29,5	
17 : 30	422	19	1,16	510	0,54		29,5	Passage sas.
18 : 27	419	19	1,16	500	0,51		29,5	
19 : 24	416	19	1,16	500	0,34		30	Passage sas (dîner).
20 : 02	414	19	1,17	500	0,42	85	30,5	$PN_2 = 96$ mb.
21 : 18	410	19	1,18	500	0,44		30,5	
22 : 15	407	19	1,20	500	0,58		30	Coucher.
22 : 34	406	19	1,20	500	0,54		30	Aérovap stoppé.
22 : 53	405	19	1,20	500	0,58		30,5	E.E.G. de sommeil.
23 : 12	404	19	1,21	505	0,50	80	30	$PN_2 = 157$ mb.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ % (1)	PiO ₂ mb (2)	PiCO ₂ mb (3)	H ₂ O % (4)	TEMP °C	OBSERVATIONS
01 : 06	398	20	1,25	520	0,12		30,3	
02 : 06	395	20	1,25	515	0,08	80	30	PN ₂ = 150 mb (5).
03 : 06	392	20	1,26	510	0,06		30,2	
04 : 06	389	20	1,35	530	0,06		30,5	
05 : 06	386	20	1,35	530	t		30,5	PN ₂ = 146 mb.
06 : 06	383	20	1,30	520	t		30,5	
07 : 06	380	20	1,30	510	t		30,2	PN ₂ = 93 mb.
08 : 06	377	20	1,30	510	0,12		30,5	Aérovap marche. Réveil.
08 : 46	375	20	1,30	510	0,10		30,5	Passage sas (petit-déjeuner).
09 : 26	373	20	1,30	510	0,11	80	30,5	Passage sas.
10 : 26	370	20	1,30	510	0,19	80	30,5	PN ₂ = 92 mb.
11 : 06	368	20	1,30	510	0,38		31	
12 : 06	365	20	1,30	510	0,60		31,5	Passage sas (déjeuner).
13 : 06	362	20	1,31	505	0,60		31	
14 : 06	359	20	1,36	500	0,59	85	30,5	
15 : 29	355	21	1,36	500	1,17		30	Passage dans caisson A.
15 : 50	354	21	1,35	500	2,18		29	Installation dans caisson A.
16 : 53	351	21	1,38	510	1,01		29	
17 : 14	350	21	1,38	505	1,01	85	29	PN ₂ = 90 mb.
18 : 17	347	21	1,39	505	1,25		30	PN ₂ = 90 mb.
18 : 38	346	21	1,39	510	1,07		30	
19 : 41	343	21	1,41	505	0,14		30,5	
20 : 02	342	21	1,41	510	0,10		31	Aérovap stoppé.
20 : 23	341	21	1,45	520	0,16		30,5	Passage sas (dîner).
20 : 44	340	21	1,43	520	0,10		30,5	
21 : 26	338	21	1,46	520	0,10	85	30	Coucher.
21 : 47	337	21	1,46	520	0,12		30	PN ₂ = 128 mb.
22 : 08	336	21	1,48	520	0,20		30	E.E.G. de sommeil.
22 : 29	335	21	1,48	520	0,10		30	
23 : 11	333	21	1,48	520	0,20		30	

COMpte RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 35	329	21	1,48	520	0,05	85	30	PN ₂ = 118 mb (5).
01 : 38	326	21	1,50	510	t		30	
02 : 20	324	21	1,50	510	t		29,5	
03 : 45	320	22	1,55	520	t		30	
04 : 51	317	22	1,60	530	t		29	
05 : 57	314	22	1,60	520	0,18		30,5	PN ₂ = 114 mb.
07 : 03	311	22	1,60	520	t		30,5	
08 : 31	307	22	1,61	520	0,14		29	Réveil. Aérovap marche.
08 : 53	306	22	1,62	520	0,16		29	Passage sas. PN ₂ = 91 mb.
09 : 59	303	22	1,65	520	0,19		29	Passage sas (petit-déjeuner).
11 : 05	300	22	1,66	520	0,25	75	29	PN ₂ = 90 mb.
11 : 49	298	22	1,70	530	0,28		30	Passage sas (déjeuner).
12 : 55	295	22	1,68	530	0,17	75	30	
14 : 01	292	22	1,68	520	0,21		30	
14 : 23	291	22	1,68	520	0,12		30	PN ₂ = 91 mb.
15 : 07	289	23	1,67	520	0,12		30	
15 : 53	287	23	1,67	510	0,12		29,5	
16 : 39	285	23	1,70	515	0,09		29,5	PN ₂ = 92 mb.
17 : 48	282	23	1,71	520	0,09		30	
18 : 34	280	23	1,72	510	0,15		30	
19 : 20	278	23	1,72	520	0,14		30	Passage sas.
19 : 48	277	23	1,73	520	0,11		30,5	Passage sas (dîner).
20 : 06	276	23	1,75	520	0,11		30	PN ₂ = 86 mb.
20 : 29	275	23	1,75	520	0,11		30	Aérovap stoppé.
21 : 38	272	23	1,79	520	0,11		29,8	
22 : 24	270	23	1,80	520	0,11	85	29,8	PN ₂ = 112 mb.
23 : 10	268	23	1,81	520	0,08		29,8	
23 : 33	267	23	1,83	520	0,08		29,5	

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ % (1)	PiO ₂ mb (2)	PiCO ₂ mb (3)	H ₂ O % (4)	TEMP °C	OBSERVATIONS
00 : 42	264	23	1,89	525	0,20	80	29,5	
01 : 51	261	23	1,91	520	0,14		29,5	
02 : 14	260	23	1,91	520	0,05		29,5	
03 : 48	256	24	1,94	520	0,05		29,5	
04 : 12	255	24	1,94	520	0,05		29,5	PN ₂ = 100 mb (5).
05 : 48	251	24	1,98	520	0,23		29,5	
06 : 36	249	24	1,98	520	0,17		29,5	
07 : 00	248	24	1,99	520	0,10		29,5	
08 : 12	245	24	2	520	0,16		29	Réveil.
09 : 00	243	24	2,01	520	0,35		29	Passage sas (petit-déjeuner).
09 : 24	242	24	2,01	520	0,30		29	PN ₂ = 76 mb.
09 : 48	242	24	2,01	500	0,28		29	
10 : 12	241	24	2,04	500	0,30		29	Passage sas.
10 : 36	240	24	2,03	500	0,28		29	
11 : 00	238	24	2,03	500	0,27		30	Tests : E.E.G., E.K.G., Trémor.
11 : 24	237	24	2,04	500	0,25		30,5	
11 : 48	236	24	2,03	500	0,28		30,5	Aérovap marche.
12 : 36	234	24	2,07	500	0,17		31	Passage sas (déjeuner).
13 : 48	231	25	2,09	500	0,24		30,5	
16 : 43	224	25	2,13	500	0,19		30,5	
17 : 08	223	25	2,14	500	0,23		29,5	Passage sas.
17 : 58	221	25	2,15	500	0,30	78	29,5	PN ₂ = 80 mb.
19 : 38	217	25	2,19	500	0,12		29,2	Passage sas.
20 : 03	216	25	2,20	500	0,14		29,5	PN ₂ = 86 mb.
21 : 43	212	25	2,30	525	0,26		29,5	Aérovap stoppé.
22 : 08	211	25	2,35	525	0,66		29,5	Coucher.
22 : 33	210	25	2,35	520	0,29		30	E.E.G. de sommeil.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 13	206	25	2,40	520	0,25		30	
01 : 56	202	26	2,45	520	0,30	75	29	PN ₂ = 81 mb (5).
05 : 06	197	26	2,50	520	0,10		29,5	
06 : 16	192	26	2,50	530	0,22		29,5	
08 : 00	188	26	2,58	520	t		29,5	Aérovap marche. Réveil.
08 : 26	187	26	2,58	520	0,20		21,5	Passage sas (petit-déjeuner).
09 : 18	185	26	2,58	520	0,04		29,5	
09 : 44	184	26	2,59	520	0,12		28	
10 : 10	183	26	2,59	520	0,12		29	
10 : 36	182	27	2,59	520	0,10		29	
11 : 03	181	27	2,60	520	0,19		29	PN ₂ = 67 mb.
11 : 30	180	27	2,60	510	0,17		29,5	Passage sas.
11 : 57	179	27	2,62	510	0,15		29,5	
12 : 24	178	27	2,64	510	0,11		29,5	
14 : 39	173	27	2,72	510	0,12		28,2	
16 : 00	170	27	2,72	500	0,05		29,5	
16 : 27	169	27	2,74	500	0,09		29	
17 : 48	166	27	2,81	510	0,14	80	29	PN ₂ = 72 mb.
19 : 09	163	27	2,91	500	t		29	
19 : 36	162	27	2,93	500	t		29	Passage sas (repas).
20 : 03	161	27	2,94	500	0,10		29	
20 : 30	160	28	3,0	500	0,06		29,5	Aérovap stoppé.
21 : 54	157	28	3,0	516	0,46		29,3	
22 : 22	156	28	3,10	515	0,18		29	PN ₂ = 67 mb.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 14	152	28	3,12	510	0,21	85	29,5	
02 : 06	148	28	3,2	510	0,14		29,5	
03 : 58	144	28	3,30	510	0,05		30,5	PN ₂ = 63 mb (5).
08 : 15	135	29	3,52	510	0,22		29	
08 : 44	134	29	3,55	510	0,23		29	Aérovap marche. Réveil.
09 : 13	133	29	3,58	510	0,14		29	Passage sas (petit-déjeuner).
09 : 42	132	29	3,58	510	0,07		28	PN ₂ = 53 mb.
10 : 11	131	29	3,6	510	0,17		28,5	
10 : 40	130	29	3,81	510	0,08		29	
11 : 09	129	29	3,61	510	0,10		29	PN ₂ = 50 mb.
12 : 07	127	29	3,66	515	0,10		29,5	
12 : 36	126	29	3,68	520	t		28,5	Passage sas (déjeuner).
14 : 03	123	29	3,69	505	0,14		28,5	
15 : 32	120	30	3,82	510	t		29	
16 : 02	119	30	3,87	510	0,06		28,5	PN ₂ = 48 mb.
16 : 32	118	30	3,91	510	t		29,5	
17 : 32	116	30	3,92	510	0,05	80	28	Passage sas.
18 : 02	115	30	3,98	500	0,13		29	
18 : 32	114	30	4	500	0,06		29	
19 : 02	113	30	3,98	500	0,05		28,5	
19 : 32	112	30	4,07	510	0,06		29	Passage sas (repas).
20 : 02	111	30	4,10	515	0,08		29	
22 : 02	107	30	4,40	520	0,13		28,5	PN ₂ = 43 mb.
22 : 32	106	30	4,40	520	0,13		28,5	Aérovap stoppé.
23 : 02	105	30	4,40	520	0,17		28,5	Coucher.
23 : 32	104	31	4,40	510	0,17		28,5	

COMPTE RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 03	103	31	4,50	510	0,17	75	28,5	
02 : 07	99	31	4,55	505	0,92		28,5	
03 : 40	96	31	4,80	510	0,10		28,5	
04 : 11	95	31	4,80	505	0,58		28,5	PN ₂ = 42 mb (5).
05 : 44	92	31	5	515	0,36		28	
06 : 15	91	31	5	515	0,12		28,3	
06 : 46	90	31	5	505	0,10		28	
07 : 17	89	31	5,10	0,12			28	PN ₂ = 42 mb.
07 : 48	88	32	5,20	510	0,15		21	
08 : 20	87	32	5,20	510	0,78		27	
08 : 52	86	32	5,30	510	0,14		28	
09 : 24	85	32	5,30	510	0,13		29	Aérovap marche.
09 : 56	84	32	5,40	510	0,20		29	Passage sas (petit-déjeuner).
10 : 28	83	32	5,40	510	0,22		28,5	Passage sas.
12 : 04	80	32	5,60	510	0,19	80	29,5	PN ₂ = 34 mb.
12 : 36	79	32	5,60	500	0,21		29,5	Passage sas (déjeuner).
14 : 44	75	32	5,90	500	0,18		29,5	
15 : 16	74	32	6	500	0,20		29,5	
15 : 48	73	32	6	500	0,21		29,5	Passage sas.
16 : 53	71	33	6,20	500	0,26		29	
17 : 26	70	33	6,30	510	0,24		28	
17 : 59	69	33	6,40	510	0,18		28,5	
19 : 05	67	33	6,50	510	0,18		28,5	
19 : 38	66	33	6,60	510	0,22		27,5	PN ₂ = 31 mb.
20 : 44	64	33	6,80	510	0,37		27,5	Passage sas (repas).
21 : 17	63	33	6,90	510	0,37		27,5	Aérovap stoppé. Couchier.
23 : 29	59	33	7,30	500	0,21		28	PN ₂ = 30 mb.

COMPTÉ RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
01 : 44	55	34	7,75	515	0,18	80	28	
02 : 18	54	34	7,90	520	0,18		28	
05 : 08	49	34	8,50	510	0,24		28	PN ₂ = 26 mb (5).
06 : 50	46	34	9	510	0,14		28	
07 : 58	44	35	9,30	510	0,15		28	
08 : 33	43	35	9,50	510	0,15		26,5	
09 : 08	42	35	9,70	510	0,16		27	Réveil. Aérovap marche.
09 : 43	41	35	9,90	510	0,15		28,5	Passage sas (petit-déjeuner).
10 : 18	40	35	10	510	0,16		27,5	PN ₂ = 35 mb.
10 : 53	39	35	11,50	510	0,14		28,5	Niggles chez B.R. (genoux)
11 : 28	38	35	13,50	625	0,19		27	On augmente la PiO ₂ .
12 : 03	37	35	13,70	635	0,19		28	
12 : 38	36	35	13,90	630	0,16		28,5	Passage sas (déjeuner).
14 : 23	33	35	14,70	620	0,15	80	29	
14 : 58	32	36	14,80	620	0,11		28,5	Passage sas.
15 : 34	31	36	14,90	610	0,12		29	PN ₂ = 29 mb.
16 : 10	30	36	15	610	0,14		29	
16 : 46	29	36	15,40	600	0,12		29	Passage sas.
17 : 22	28	36	15,60	600	0,11		28	B.R. sous 50/50.
17 : 58	27	36	16	590	0,06		28	Stop 50/50 - B.R. -
18 : 34	26	36	16,40	590	0,11		28	B.R. sous 50/50. Passage sas (repas).
19 : 10	25	36	16,80	595	0,07		27	Stop 50/50 - B.R. -
19 : 46	24	36	17,20	599	0,13	75	28	PN ₂ = 23 mb.
21 : 34	21	36	19,20	590	0,10		27,5	
22 : 10	20	36	19,80	600	0,10		27,5	Coucher.
22 : 46	19	37	20,60	605	0,11		28	Aérovap stoppé.

COMpte RENDU QUOTIDIEN

(extraits du chrono)

HEURE	PROF. mètres	PENTE : min/m	O ₂ %	PiO ₂ mb	PiCO ₂ mb	H ₂ O %	TEMP °C	OBSERVATIONS
			(1)	(2)	(3)	(4)		
00 : 10	17	37	22	606	0,08		27	
00 : 37	16	37	23	605	t	80	27	PN ₂ = 21 mb (5). B.R. "PAINS" épaulés et surtout genoux.
01 : 14	15	37	24	600	0,06		26,5	B.R. sous 50/50 pour une heure.
01 : 51	14	37	25	600	t		25,4	
02 : 28	13	38	25	580	0,07		26	B.R. sous 50/50 pour une heure.
03 : 06	12	39	25	550	0,05		26	
03 : 45	11	40	25	520	t		26	B.R. sous O ₂ pour ½ heure.
04 : 25	10	41	25	500	t		26	B.R. sous O ₂ pour ½ heure.
05 : 06	9	42	25	495	t		26	
05 : 25	8,60	43						Décompression stoppée.
05 : 26	Recompression.							P.C. sous O ₂ ½ H. par H. - <u>B.R. soulagé.</u>
05 : 29	12							à 10 m.
		Palier : 1 heure - B.R. sous 50/50.						
		DECOMPRESSION.						
06 : 00	12							
06 : 30	12	30	26	570	t		26	
07 : 00	11	30	24	408	t		25	
07 : 30	10	30	23	463	0,05		25	
08 : 00	9							Stop 50/50 - B.R.
08 : 30	9							Palier : 1 heure - B.R. sous 50/50.
09 : 00	9	20	23	432	t		25	P.C. sous O ₂ - B.R. sous O ₂ .
09 : 20	8	20	23	400	t		25	Stop O ₂ , B.R. et P.C.
09 : 40	7	20						B.R. et P.C. sous O ₂ .
10 : 00	6	20						Ringage caissons à l'air.
10 : 20	5	20	27	425			25	Stop O ₂ , B.R. et P.C.
10 : 40	4	20						B.R. et P.C. sous O ₂ .
11 : 00	3	20	29	380				
11 : 20	2	20	33	390		75		Stop O ₂ , B.R. et P.C.
11 : 30	1,5	28	31	350				Ventilation à l'air.
12 : 11	SURFACE							<u>Sortie des plongeurs.</u>

PHYSALIE V

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : de la surface à 200 m. (à 23 : 55)

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général.		normal
Etat psychosomatique subjectif.	En forme - Satisfaits - Détendus -	
Sommeil - Rêves.		R.A.S.
Etat neurologique subjectif.		R.A.S.
Irritations - Infections.		R.A.S.
Articulations.	Lors des mouvements : craquement des épaules et des poignets à partir de 130 m.	Lors des mouvements : gêne et craquements des poignets à partir de 150 m.
<u>OBSERVATIONS</u> Juste avant la mise en pression. Poids : Coeur : Pouls : T.A. : Etat digestif : Examen neurologique :	61 R.A.S. 72 11,5 - 7,5 normal R.A.S.	72 R.A.S. 52 13,5 - 8 normal R.A.S. sauf très légère dysmétrie gauche révélée par l'épreuve du doigt au nez.
Forme générale :		excellente

BILAN QUOTIDIENProfondeurs : 201 à 350 m. de 00 : 00 à 15 : 00

Palier à 350 m. à partir de 15 : 00

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général	normal	
Etat psychosomatique subjectif.	En forme, gai, mais impression de lourdeur corporelle.	En forme, heureux, avec une impression de légèreté corporelle.
Sommeil - Rêves.	Sommeil régulier, sans rêve.	Sommeil normal - Rêves.
Etat neurologique subjectif.	Troubles de l'équilibre, modérés, transitoires, au réveil, vers 280 m.	
Irritations - Infections.	Sensation d'obstruction nasale apparue vers 300 m. (Rhume ?)	
Articulations.	La gêne articulaire a disparu au réveil.	
<u>OBSERVATIONS</u>		
1ère nuit : Pouls :	61	45
Le matin - T.A. :	11 - 6	12 - 8
Examen neurologique, le soir à 350 m :		
. Tremblement de repos	+ + +	+ +
. Tremblement dans l'acte	+ +	+ + +
. Dismétrie	+ +	+ +
. E.E.G. : Théta (central)	+	+

BILAN QUOTIDIEN

J3. Le 18.11.70

Profondeurs : de 350 m. quittés à 07 : 00
à 400 à 07 : 50
à 460 à 17 : 45
Palier à 460

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général	normal	
Etat psychosomatique subjectif	En forme - satisfait - détendu. Trouve l'effort musculaire facile.	En forme - heureux - détendu. Trouve l'effort musculaire facile.
Sommeil - Rêves -	Sommeil normal sans rêve.	
Etat neurologique subjectif.	R.A.S.	
Irritations - Infections.	R.A.S. oreilles L'obstruction nasale ne paraît pas dûe à un rhume.	Prurit oreilles.
Articulations.	R. A. S.	Légère gêne aux mouvements du poignet D.
<u>OBSERVATIONS</u>		
2ème nuit : Pouls :	59	45
Le matin - T.A. :	11 - 6	12 - 8
Examen neurologique :	350 400 Le soir	350 400 Le soir
	à à à	à à à
	400 460 460	400 460 460
Tremblement de repos	+	++
Tremblement dans l'acte	o	o
Dysmétrie	++	+
E.E.G. Théta (central)	o	++

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : de 460 m. quittés à 10 : 00
 à 490 m. à 10 : 30
 à 518 m. à 17 : 23
 Départ de 518 à 18 : 40 pour arriver à 480 à 23 : 46

PLONGEURS	P. C.	B. R.
Comportement général :	Sensiblement normal (moins exubérants, moins prompts à l'action).	
Etat psychosomatique subjectif :	Se sent bien - loin d'avoir atteint ses limites. Mais trouve l'effort difficile à soutenir. Impression de "viscosité musculaire". L'en-chifrenement gêne la respiration mais il n'y a pas d'essoufflement.	Se sent bien, content, souhaiterait continuer. Mais-fatigabilité musculaire inhabituelle. Respire difficilement par le nez.
Sommeil - Rêves :	Sommeil irrégulier. Rêves de lévitation.	Sommeil normal. Rêves de lévitation.
Etat neurologique subjectif :	secousses musculaires cuisse droite - à 500	mètres - épaule droite.
Irritations - Infections		R. A. S.
Articulations :	R. A. S.	Légère gêne aux mouvements du poignet D.
<u>OBSERVATIONS :</u>		
3ème nuit : Pouls :	62	49
Le matin - T. A. :	11,5 - 7	12,5 - 8
Examen neurologique :	460 à 490 m	460 à 490 m
Tremblement de repos	++++	+++++
Tremblement dans l'acte		0
Dysmétrie	+	++
E.E.G. Thêta (central)	++	++++

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : de 479 m. à 00 : 04
à 439 m. à 12 : 07
à 402 m. à 23 : 50

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général.	sensiblement normal (moins expansifs)	
Etat psychosomatique subjectif.	Sommeil moyen - Rêves. Moins enchifrené.	Sommeil irrégulier - Rêves. Moins enchifrené.
Sommeil - Rêves.	R.A.S.	
Etat neurologique subjectif.	R.A.S.	
Irritations - Infections.	Début d'otite externe bilatérale	R.A.S.
Articulations.	R.A.S.	
<u>OBSERVATIONS</u>		
4ème nuit : Pouls :	56	45
Neurologie - le matin:		
Tremblement statique	+++	++
Dysmétrie	++	++
E.E.G. Théta (central)	+++	++

J6. Le 21.11.70

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : de 401 m. à 00 : 09
 à 365 m. à 12 : 06
 à 331 m. à 23 : 53

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général.	Léger abattement dû à des troubles digestifs.	
Etat psychosomatique subjectif.	Impression de fatigue générale modérée.	
Sommeil - Rêves.	Irrégulier.	Bon.
Etat neurologique subjectif.	R.A.S.	
Irritations - Infections.	Otite externe bilatérale	R.A.S.
Articulations.	R.A.S.	
<u>OBSERVATIONS</u>		
5ème nuit : Pouls :	57	45
Le matin - T.A. /	11 - 6	12,5 - 7,5
Neurologie :	Persistance d'un léger tremblement au repos et dans l'acte.	
E.E.G. Théta (central)	+	++

BILAN QUOTIDIENProfondeurs : de 330 m. à 00 : 14

à 297 m. à 12 : 11

à 207 m. à 23 : 48

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général.	sensiblement normal Beaucoup plus d'entrain (les malaises de la veille sont oubliés)	
Etat psychosomatique subjectif.	Les deux sujets ne ressentent aucune fatigue anormale. Ils sont plutôt en forme et apparemment gais et détendus.	
Sommeil - Rêves.	Sommeil excellent. Pas de rêve.	
Etat neurologique subjectif.	R;A.S.	
Irritations - Infections.	L'otite externe bilatérale est devenue gênante.	Légère irritation des conduits auditifs externes.
Articulations.	R.A.S.	
<u>OBSERVATIONS</u>		
6ème nuit : Pouls :	60	43
7ème nuit : Pouls :	59	41
Neurologie :	Le tremblement a disparu.	
E.E.G. Théta (central)	Disparu vers 300 mètres.	

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : de 206 m. à 00 : 13
à 179 m. à 11 : 57
à 59 m. à 23 : 29

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général.		normal
Etude psychosomatique subjectif.		normal
Sommeil - Rêves.		Sommeil normal - Peu de rêves.
Etat neurologique subjectif.		R.A.S.
Irritations - Infections.	Otite externe bilatérale de plus en plus douloureuse.	R.A.S.
Articulations		R.A.S.
<u>OBSERVATIONS</u>		
8ème nuit : Pouls :	59	41
Le matin de J9. T.A.	11 - 6	12 - 7
9° et 10° nuit - Pouls	57	39

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : 58 m. à 00 : 02
 à 37 m. à 12 : 03
 à 17 m. à 00 : 00

PLONGEURS	P.C.	B.R.
Comportement général.	Léger abattement.	Alternances d'abattement et d'agitation.
Etude psychosomatique subjectif.	Asthénie (modérée), aboulie.	
Sommeil - Rêves.	R.A.S.	
Etat neurologique subjectif.	R.A.S.	
Irritations - Infections.	Otite externe bilatérale douloureuse.	R.A.S.
Articulations	R.A.S.	"Pains" des genoux, au réveil, vers 45 mètres.
<u>OBSERVATIONS</u>		
11ème nuit : Pouls :	58	38
Le matin : T.A. :	11 - 6	13 - 8

BILAN QUOTIDIEN

Profondeurs : de 17 m. à 00 : 00
à 0 m. à 12 : 11

PLONGEURS	P. C.	B. R.
Comportement général :	Agité - Euphorique par intermittence.	Agité - Anxieux.
Etat psychosomatique :	Fatigué par le confinement et les otites.	Fatigué par les "bends".
Sommeil - Rêves :	Troublé par les excitants et la douleur otitique. ☉	Troublé par les "bends" et les excitants. ☉
Etat neurologique subjectif :		R. A. S.
Irritations - Infections :	Otite externe bilatérale plus exaspérante que douloureuse.	R. A. S.
Articulations :	A 4 m, "pains" transitoires genou D et cheville G. A la sortie : hydarthrose modérée du genou D, avec légère gêne des mouvements.	"Bends" des deux genoux ayant nécessité une petite recompression.
<u>OBSERVATIONS</u> :	<p>☉ Pour activer la désaturation, surtout chez B.R. (qui a ressenti, dès 45 mètres, des bulles articulaires), on a fait prendre aux deux plongeurs beaucoup de café et du Guronsan dans la soirée du 27.11.70.</p> <p style="text-align: center;"><u>Aussitôt après la sortie.</u></p>	
POIDS :	58 (perte : 3 kg)	71 (perte : 1 kg)
COEUR :	R. A. S.	R. A. S.
POULS :	84 - 60	60
T. A. ::	12 - 7	13,5 - 8
Neurologie :	Apparemment normal.	Petite dysmétrie persistante.
Forme Générale :	Arthralgies genou droit avec légère hydarthrose.	Arthralgies des deux genoux sans hydarthrose.

L'étude neurophysiologique a consisté d'une part en la détection du tremblement et d'autre part en la recherche des modifications des activités EEG de veille et de sommeil.

A - MESURE DU TREMBLEMENT.

I) Technique.

Le tremblement a été détecté à l'aide d'un "géophone" placé sur le majeur de la main droite. Le test était celui de "l'épreuve du serment". Les signaux ont été transcrits sur papier à l'aide d'un scripteur à jet d'encre "Elena Schonander".

II) Traitement des résultats.

L'analyse des résultats a porté sur deux points : la fréquence et l'amplitude.

Pour l'amplitude un calcul statistique a été effectué. Il a consisté à déterminer par tranche de 16 secondes :

- l'amplitude moyenne du tremblement par rapport à un zéro arbitraire,
- l'écart positif moyen par rapport à cette valeur moyenne,
- l'écart négatif moyen par rapport à cette valeur moyenne,
- l'écart moyen (somme en valeur absolue des écarts positifs et négatifs moyen).

III) Résultats.

Les résultats sont exprimés en différence pour cent par rapport à la valeur de contrôle calculée sur l'écart moyen.
(Fig 1).

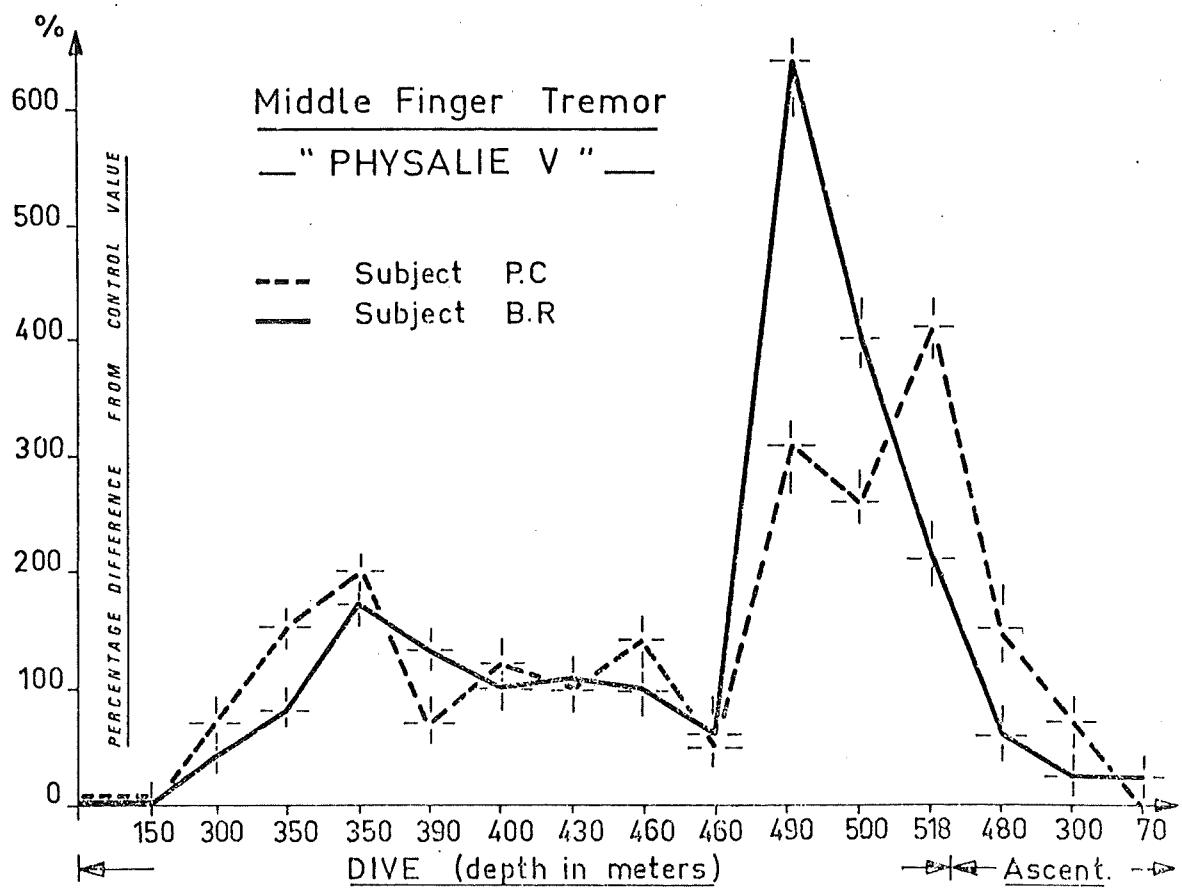


Fig. 1

Evolution du tremblement en fonction de la profondeur (voir texte)

- En ordonnées : augmentation du tremblement exprimé en différence pour cent, par rapport à la valeur de contrôle.
- En abscisses : les profondeurs en mètre.

Le tremblement apparaît de manière significative chez les deux plongeurs entre 300 et 350 m. (100 à 200 %). Il augmente pendant le palier à 350 m. puis se stabilise pendant la compression entre 400 et 460 m. autour de 100 %. En fin de palier à 460 m. le tremblement diminue chez les deux plongeurs ; il revient vers une valeur voisine de 50 %. Pendant la compression rapide (1m/mn) de 460 à 490 m. le tremblement subit une brutale recrudescence. Il atteint son amplitude maximum à 490 m. chez le plongeur B (BR) (supérieur à 600 %) et à 518 m. chez le plongeur A (CP) (400 %).

C'est entre 490 m. et 518 m. que le tremblement est le plus important.

Pendant la décompression le tremblement régresse progressivement pour disparaître vers 300 m.

La fréquence de ce tremblement est de l'ordre de 8 à 12c/s. La plus fréquente étant celle de 10c/s.

B - ETUDE DES ACTIVITES ELECTROENCEPHALOGRAPHIQUES.

I) Techniques.

Pour la plongée très profonde PHYSALIE V deux problèmes se sont posés. Il s'agissait d'une part de mettre au point et d'utiliser des techniques permettant d'effectuer des enregistrements pendant toute la durée de l'expérience, et d'autre part, de mettre en place un appareillage devant rendre possible une étude des spectres de puissance des activités EEG.

Le choix des électrodes s'est porté sur les "Capsulex Alvar," bien que les fils d'argent cousus dans le scalp posent moins de problèmes au point de vue enregistrement. (ROSTAIN 1971).

Ces électrodes au nombre de 4 plus une terre, sont collées sur le scalp à l'aide de gaze et de collodion. Elles sont placées dans les régions frontale, centrale, temporale-moyenne, et occipitale de l'hémisphère droit.

Un orifice percé au centre des capsules permet d'introduire la pâte conductrice avec une seringue.

L'emploi de telles électrodes présente un certain nombre d'inconvénients : les cheveux coupés sous les électrodes repoussent et les soulèvent, ce qui entraîne des variations d'impédance ; de son côté, la pâte conductrice sèche et il faut en rajouter fréquemment ou la ramollir avec du chlorure de Sodium.

La durée de vie de ces électrodes est ainsi limitée à une dizaine de jours ce qui a été jugé suffisant puisque cette période recouvrait toute la phase importante de la plongée. A partir de 250 m. pendant la décompression un casque EEG a été utilisé et a permis des contrôles seulement pendant la veille, l'utilisation d'un tel casque étant exclue pendant le sommeil. L'étude du sommeil n'a donc pu être effectuée que pendant les huit premières nuits.

Pour chaque sujet, un montage standard d'exploration a été réalisé (type Grey Walter), c'est-à-dire que les dérivations suivantes ont été utilisées :

- Fronto-centrale
 - Centrale-temporale moyenne
 - Temporale moyenne - occipitale
- soit 3 voies par sujet.

L'étude des spectres de puissance a nécessité l'utilisation d'un appareillage important. Les activités EEG ont été recueillies sur un électroencéphalographe Alvar à huit plumes possédant des sorties pour l'enregistrement magnétique. Un enregistreur magnétique AMPEX SP 300 relié à l'appareil EEG a permis l'enregistrement de séquences EEG sur bandes magnétiques. Un contrôle visuel de cet enregistrement a été réalisé à l'aide d'un oscilloscope TEKTRONIX. Par la suite, ces enregistrements ont été marqués à l'aide d'un numérateur de bandes magnétiques analogiques afin de pouvoir repérer après relecture, les séquences convenables pour le traitement ultérieur sur ordinateur PDP 12 (DIGITAL - CORPORATION). Les spectres de puissance (transformée de FOURRIER) ont été établis à partir d'analyses portant sur des séquences de huit secondes.

Chacune des six dérivations EEG enregistrées a été soumise à cette étude et pour chaque dérivation 130 séquences ont été sélectionnées ce qui donne pour les six dérivations près de 800 spectres de puissance. Chaque spectre a été photographié grâce à une caméra GRASS. L'amplitude des pics significatifs dans les bandes de fréquences classiques, c'est-à-dire :

delta	:	moins de 4c/s
theta	:	de 4 à 7c/s
alpha	:	de 8 à 12 c/s
beta	:	de 13 à 22c/s

a été mesurée. Les résultats ont été exprimés en différence pour cent par rapport à la valeur de contrôle.

Les enregistrements EEG de sommeil ont été analysés selon la technique utilisée pour l'étude de l'organisation du sommeil lors de l'opération JANUS II (ROSTAIN 1971 ; ROSTAIN et LYAGOUBI 1971). Après lecture des tracés, un traitement sur ordinateur (IBM 1130 du Centre de calcul de la Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, Université de Provence) permet d'obtenir :

- 1 - Le nombre de changements d'état et la durée de chaque état répartis selon l'ordre chronologique.
- 2 - La durée totale de l'enregistrement, la durée effective du sommeil, la durée du sommeil diminuée éventuellement de stades indéterminés.
- 3 - La répartition horaire pour chaque stade.
- 4 - La fréquence d'apparition et la durée de chaque stade.
- 5 - Pour chaque stade, la moyenne, la médiane, l'interquartile, le quartile inférieur et supérieur calculés sur les durées de chaque apparition.
- 6 - Les pourcentages de la durée de chaque stade par rapport à la durée totale de l'enregistrement, par rapport à la durée du sommeil diminuée de celle des stades indéterminés.
- 7 - Le programme permet d'établir un tableau de succession, il donne le nombre de fois qu'un stade a succédé à un autre, il peut également l'établir en pourcentage par rapport à la fréquence d'apparition du stade considéré.

1°/ - Les EEG de veille.

L'examen des tracés EEG montre que des modifications surviennent de manière significative à partir de profondeurs se situant vers 400 mètres.

Elles consistent en l'apparition chez les deux plongeurs, d'activités de fréquence theta occupant les régions antérieures ou moyennes.

Chez le plongeur A (Fig 2), en surface, les tracés EEG sont caractérisés à la fermeture des yeux par la survenue dans les régions postérieures d'une activité alpha à 10c/s réagissant bien à l'ouverture des yeux. Jusqu'à 350 m. les activités ne se modifient pas de façon notable. Pendant le palier à 350 au cours de la réalisation de certains tests psychométriques, une activité de fréquence theta, d'amplitude très faible, apparaît dans les régions antérieures ; elle survient en bouffées à 6-7 c/s.

C'est après la compression rapide de 350 à 400 m. (1m/mn) que cette activité theta devient pratiquement continue dans les régions fronto-centrale. Cette activité de faible amplitude survient en bouffées à 5-7 c/s, et ne paraît pas évoluer pendant la compression de 400 à 460 m. et pendant le palier à 460 m. Elle augmente en quantité après la compression rapide de 460 à 490 m. et devient quasiment permanente en fronto-central et en centro-temporal moyen tout en conservant une faible amplitude. A 520 m. les activités theta ne paraissent pas être plus importantes.

Pendant la décompression, ces ondes theta diminuent progressivement pour disparaître vers 300 mètres.

Il faut noter que lors de la réalisation de certains tests psychométriques à 460 et 518 m. cette activité theta a augmenté en importance.

PLONGEUR A - PHYSALIE V - C... P.

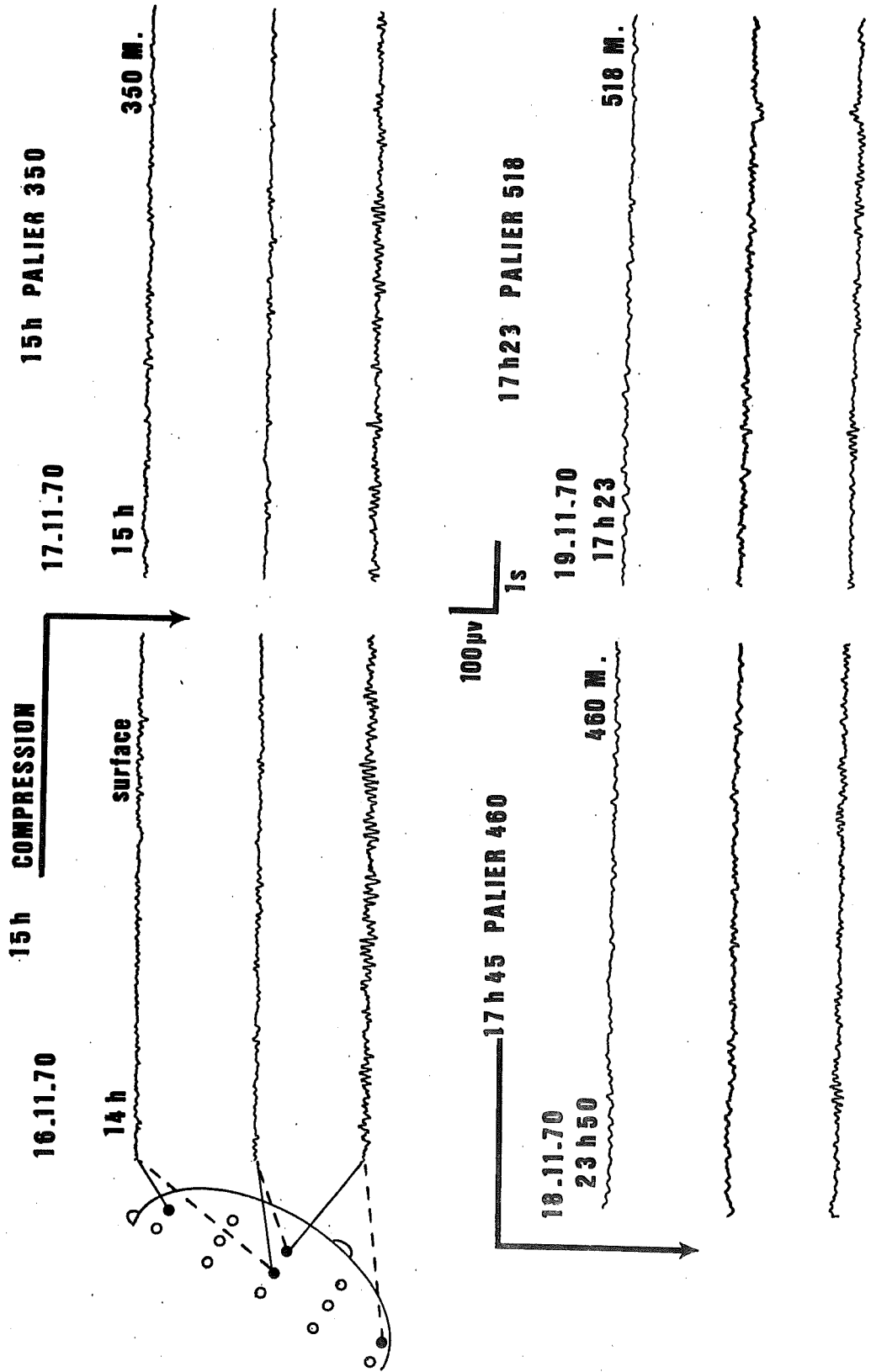


Fig. 2

Fig. 2

Enregistrement EEG du plongeur A.

- En surface, lorsque le sujet a les yeux fermés, les tracés sont caractérisés par une activité alpha postérieure à 10 c/s.
- Pendant la plongée, apparait dans la région antérieure une activité de fréquence thêta (5-7 c/s) visible ici dès 460 mètres.
- A 518 mètres, l'activité thêta est un peu plus importante mais son amplitude reste faible. L'activité alpha persiste aux grandes profondeurs mais elle est un peu moins ample et un peu moins continue.

Chez le plongeur B (Fig 3), l'examen des tracés de surface montre à côté d'une activité alpha à 10,5 c/s, apparaissant à la fermeture des yeux dans la région postérieure, l'existence d'une activité de fréquence theta survenant par moment en bouffées à 5-6 c/s sur la dérivation fronto-centrale. Au cours de la plongée, entre 300 et 350 m. l'activité theta apparaît également de façon intermittente sur la dérivation centro-temporale moyenne. Comme pour le plongeur A, cette activité est un peu plus importante lors de la réalisation de certains tests psychométriques à 350 m.

Après la compression rapide de 350 m. à 400 m. ces ondes theta sont beaucoup plus nombreuses dans la région centro-temporale moyenne mais elles ne paraissent pas évoluer avant la fin de la nouvelle compression rapide entre 460 m. et 490 m.

De 490 à 520 l'activité devient permanente mais son amplitude reste faible.

Comme pour le plongeur A, l'activité theta est renforcée lors de la réalisation de certains tests psychométrique à 460 et 518 m.

L'activité de fréquence theta régresse pendant la décompression mais il faut signaler entre 350 et 300 m. une nette recrudescence de ce type d'activité. Cette augmentation semble être en relation avec des troubles d'origine digestive qui ont incommodé ce plongeur.

Chez les deux plongeurs le rythme alpha est conservé et réagit bien à l'ouverture des yeux. Il est cependant moins ample au fond qu'en surface. (Fig 2 et 3).

Sa fréquence ne varie pas pendant la compression ; elle décroît pendant la décompression à partir du 6ème jour (8-9 c/s au lieu de 10 c/s) (Fig 4). On observe un retour à la normale quelques jours après la sortie du caisson.

PLONGEUR B

- PHYSALIE V -

R... B.

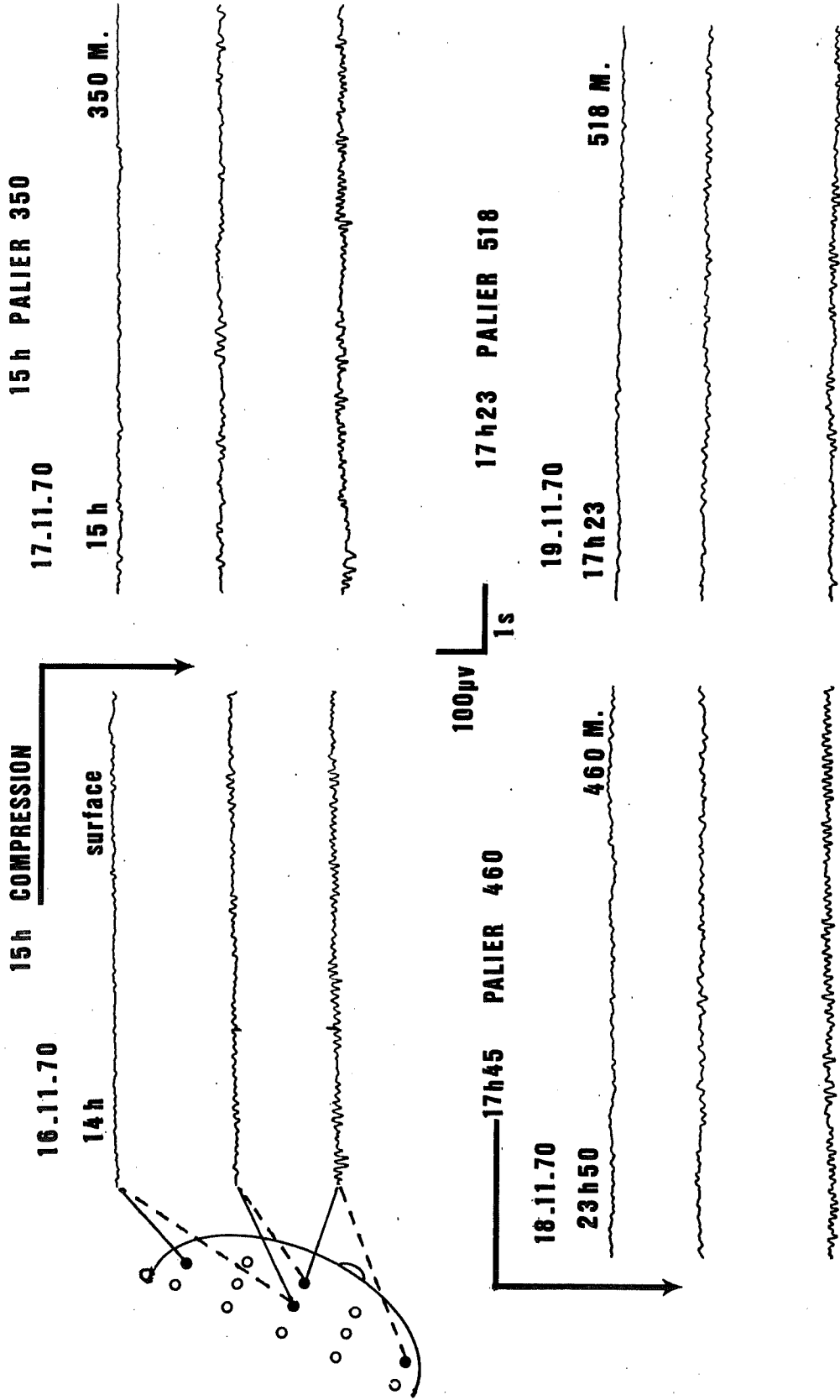


Fig. 3

Fig. 3

Enregistrement EEG du plongeur B.

- En surface, lorsque le sujet a les yeux fermés, il existe une activité alpha postérieure à 10,5 c/s. De plus, une activité de fréquence thêta (5-6 c/s) survient en brèves bouffées dans la région frontale.
 - A 350 mètres, l'activité thêta apparait également sur la dérivation centrale.
 - A 460 mètres, l'activité thêta centrale est plus importante qu'à 350 mètres (elle est pratiquement continue), mais son amplitude reste faible. L'alpha est peu modifié.
 - A 518 mètres, l'activité thêta n'est pas très renforcée par rapport à 460 mètres. Cependant, l'activité alpha est un peu moins ample et moins régulière qu'en surface.
-

_ PHYSALIE V _

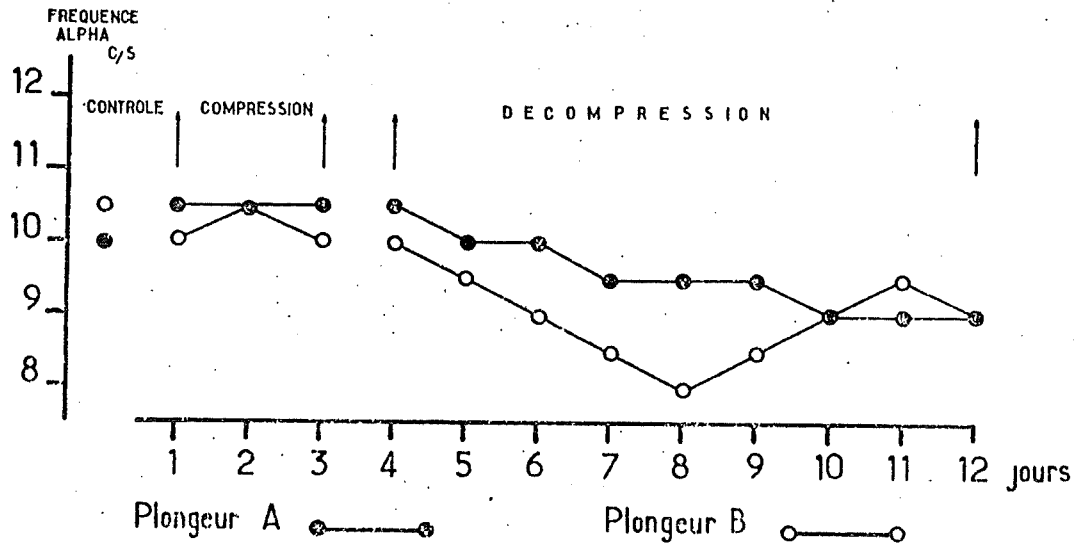


Fig. 4

Evolution de la fréquence de l'alpha au cours de la plongée PHYSALIE V.
(compression et décompression).

- En ordonnées : la bande de fréquence de l'alpha en cycles/seconde.
- En abscisses : les jours.

La fréquence de l'alpha est figurée par des ronds noirs pour le plongeur A,
par des ronds blancs pour le plongeur B.

On observe un ralentissement significatif de la fréquence de l'alpha
à partir du 6ème et 7ème jour de la plongée.

Les spectres de puissance ont confirmé, précisé et quantifié ces résultats. Ainsi, il apparaît que les activités de fréquence theta sont présentes chez les deux plongeurs dès 300 - 350 m. Elles siègent en frontal et en central. Les spectres mettent en évidence chez le plongeur A (Fig 5) des activités de fréquence delta qui n'apparaissent pas de façon évidente sur les tracés EEG. Cette activité qui siège en fronto-central et centro-temporal moyen apparaît à partir de 300 m. et atteint, comme les fréquences theta, des valeurs importantes entre 460 et 520 m. Pour les fréquences theta on compte une augmentation pouvant atteindre 900 et 1 000 % (respectivement Plongeur A et B) et pour les fréquences delta une augmentation de 500 % par rapport à la valeur de contrôle.

La puissance des autres fréquences (alpha et beta) n'est pas ou est peu modifiée. Il faut noter cependant une tendance à la diminution du pourcentage de la puissance de ces fréquences.

L'ensemble des phénomènes régresse pendant la décompression. Il faut noter chez le plongeur B une recrudescence des activités theta (Fig 6) sur l'ensemble des dérivations entre 350 et 300 m. probablement en relation avec les troubles cités plus haut. Un retour à des valeurs proches de la normale est observé à partir de 300 m.

2°/ - Les EEG de sommeil.

La durée totale du sommeil augmente à partir de la 3ème nuit de la plongée chez le plongeur A, et de la 4ème nuit chez le plongeur B. Elle passe ainsi d'une durée de 7H30 mn. en moyenne à des durées dépassant les 9,10 Heures. (Fig 7 et 8).

a) - Etude des histogrammes (Fig 7 et 8) et des pourcentages (Fig 9 et 10).

Les modifications observées sont peu importantes. Elles se traduisent par une augmentation du pourcentage du stade II par rapport au contrôle à partir de la 4ème nuit chez le plongeur A (Fig 9), de la 3ème nuit chez le plongeur B (Fig 10), au dépens des pourcentages des stades de sommeil à ondes lentes c'est-à-dire III et surtout IV. Parallèlement le pourcentage de la PMO augmente mais dans de moindres proportions et de façon irrégulière surtout chez le plongeur B (Fig 9 et 10).

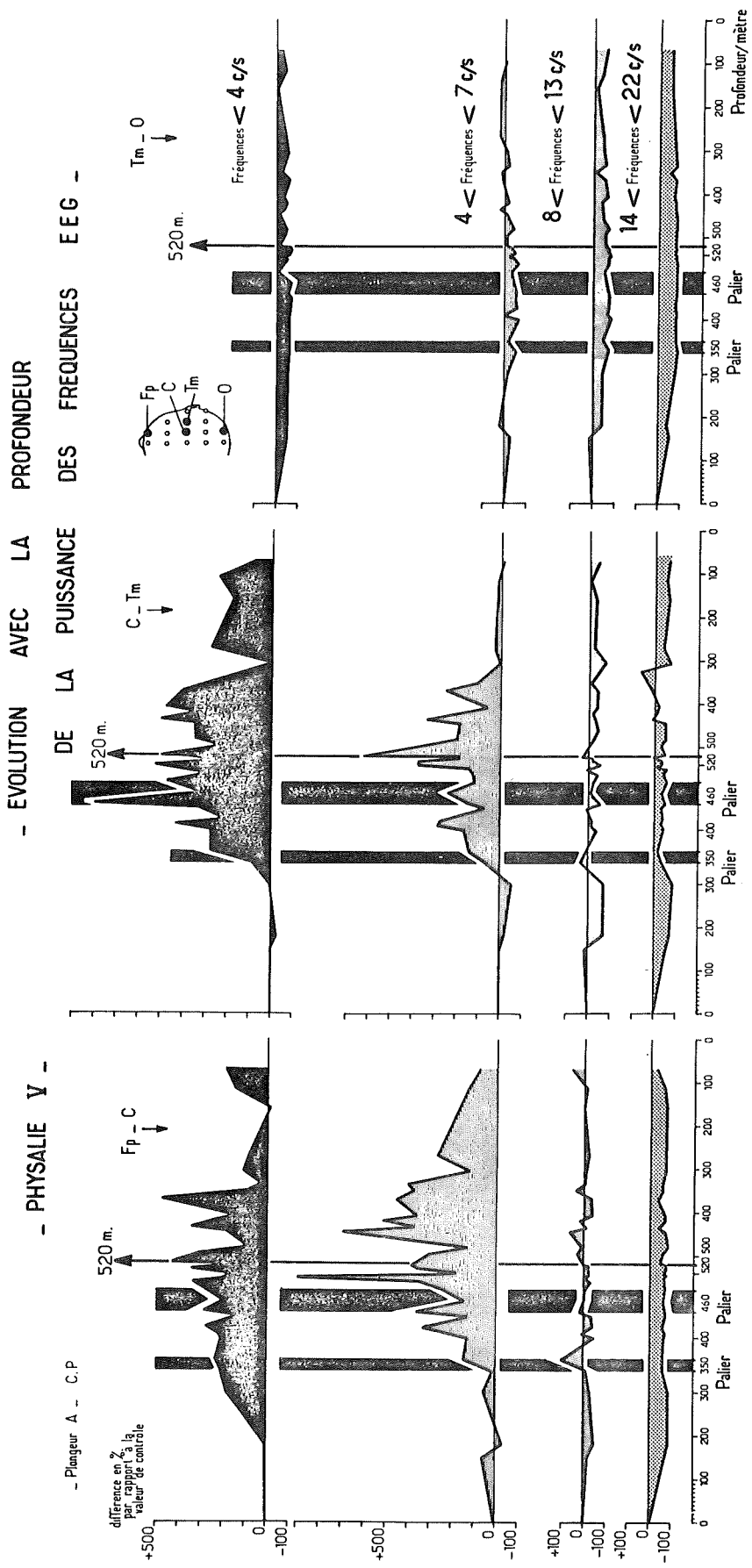


Fig. 5

Fig. 5

Evolution avec la profondeur de la puissance des fréquences EEG du plongeur A.

- En ordonnées : l'écart en pourcentage par rapport à la valeur de contrôle.
- En abscisses : la profondeur en mètres.

L'EEG. de trois régions cérébrales est analysé dans trois dérivations :

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

Les bandes de fréquences sont analysées séparément de haut en bas, en allant de 0 à 4 (delta) de 4 à 7 (thêta) de 8 à 13 (alpha) et de 14 à 22 (bêta).

L'évolution de la puissance est représentée de gauche à droite pour chaque bande de fréquence et pour chaque dérivation.

On observe avec la profondeur, une augmentation de la puissance des fréquences delta dès 300 mètres, des fréquences thêta à partir de 350 mètres. Cette augmentation est visible sur les dérivations antérieures et moyennes pour les deux fréquences. Elle atteint des valeurs maximums entre 460 et 520 mètres. La puissance des autres fréquences (alpha et bêta) n'est pas modifiée ou est légèrement diminuée selon les dérivations.

Pendant la décompression, les valeurs de la puissance des fréquences delta et thêta restent importantes jusqu'à 400 mètres, puis elles régressent.

La puissance des autres fréquences reste déprimée jusqu'à la fin de la décompression où commence à s'amorcer un retour à la normale.

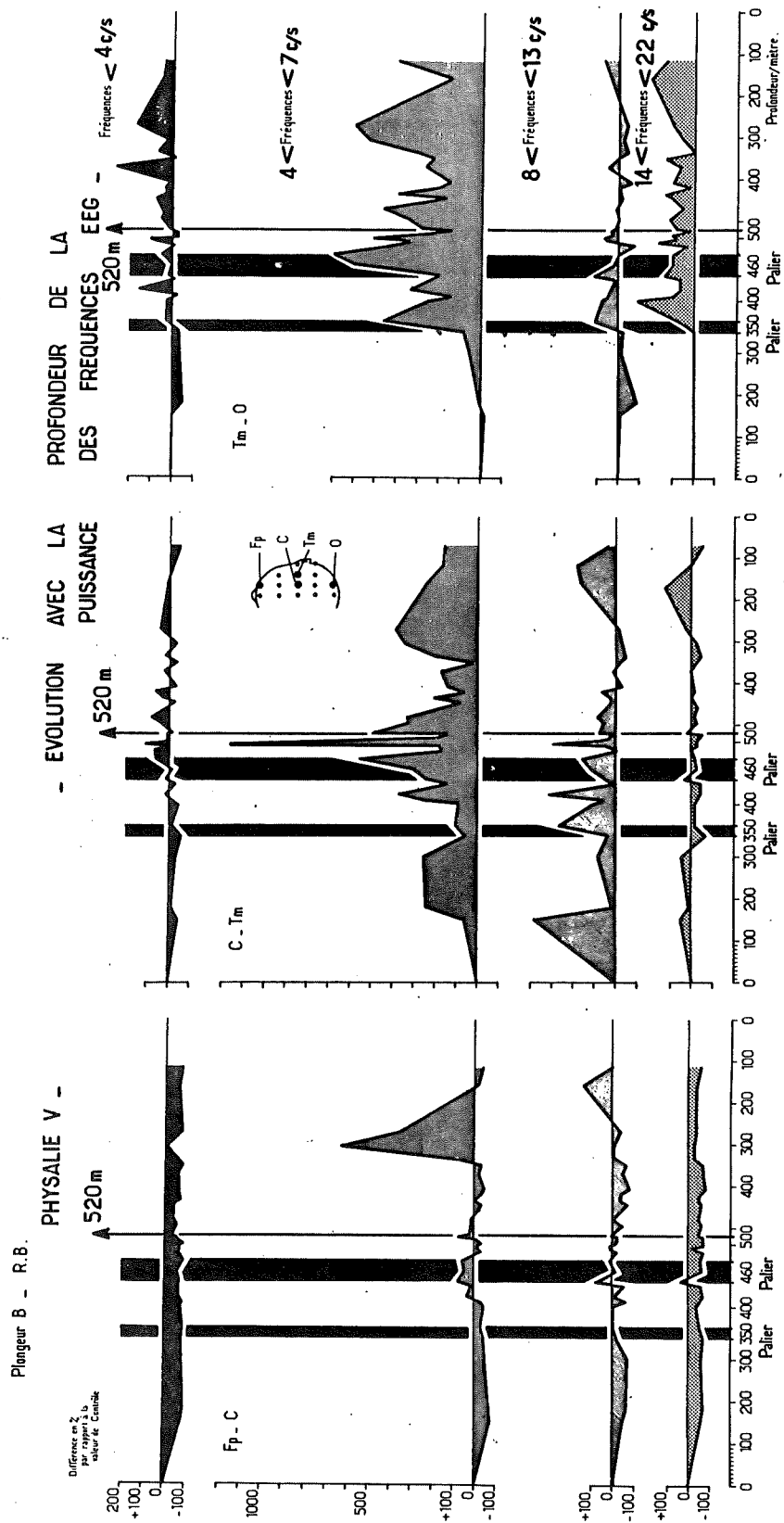


Fig. 6

Fig. 6

Evolution avec la profondeur de la puissance des fréquences EEG du plongeur B.

(voir légende Fig. 5)

Avec la profondeur, on observe une augmentation de la puissance des fréquences thêta à partir de profondeurs comprises entre 200 et 300 mètres sur la dérivation centro-temporale moyenne, à partir de 300 mètres sur la dérivation temporo-occipitale. Ces phénomènes ne régressent pas pendant les paliers à 350 et à 460 mètres, tout au contraire, ils continuent à augmenter, et le maximum de 800 % à 1000 % est atteint entre 460 et 520 mètres. Cette augmentation est très faible sur la dérivation frontopolaire-centrale (100 %). Les modifications de la puissance des autres fréquences (alpha, bêta, delta) sont très variables et dans l'ensemble paraissent peu significatives. Ces puissances sont soit déprimées (dérivation antérieure) soit légèrement augmentées (dérivation postérieure).

Pendant la décompression, les activités thêta régressent à partir de 450 mètres. Cependant, entre 360 et 300 mètres, on observe une recrudescence de l'activité thêta sur l'ensemble des dérivations (voir texte), accompagnée d'une légère augmentation de la puissance des fréquences delta. Rien de très significatif pour la puissance des autres fréquences (alpha et bêta).

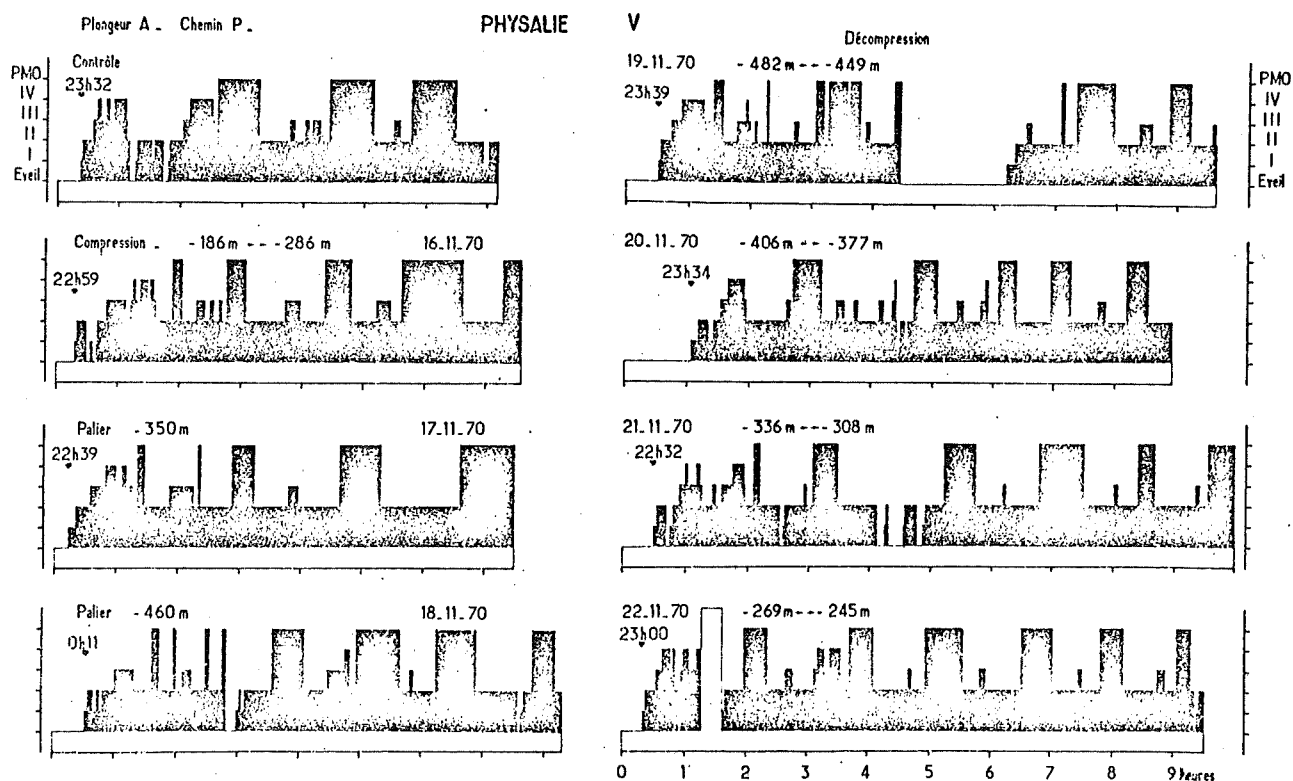


Fig. 7

Histogrammes de sommeil du plongeur A.

- En ordonnées : les stades de veille et de sommeil.
- En abscisses : les heures.

Sur la partie gauche de la figure sont représentés de haut en bas, les histogrammes du sommeil de contrôle et des sommeils des nuits de compression.

Sur la partie droite sont figurés les histogrammes de sommeil des quatre premières nuits de la décompression.

L'heure du premier endormissement est indiquée sur chaque histogramme.

Cette représentation permet de montrer que globalement, par rapport au contrôle, il existe une augmentation de la fréquence d'apparition et de la durée du stade II et de la PMO dès le début de la plongée.

De plus, de longues périodes d'éveil surviennent au milieu de la nuit, les 3ème, 4ème et 6ème nuits de la plongée.

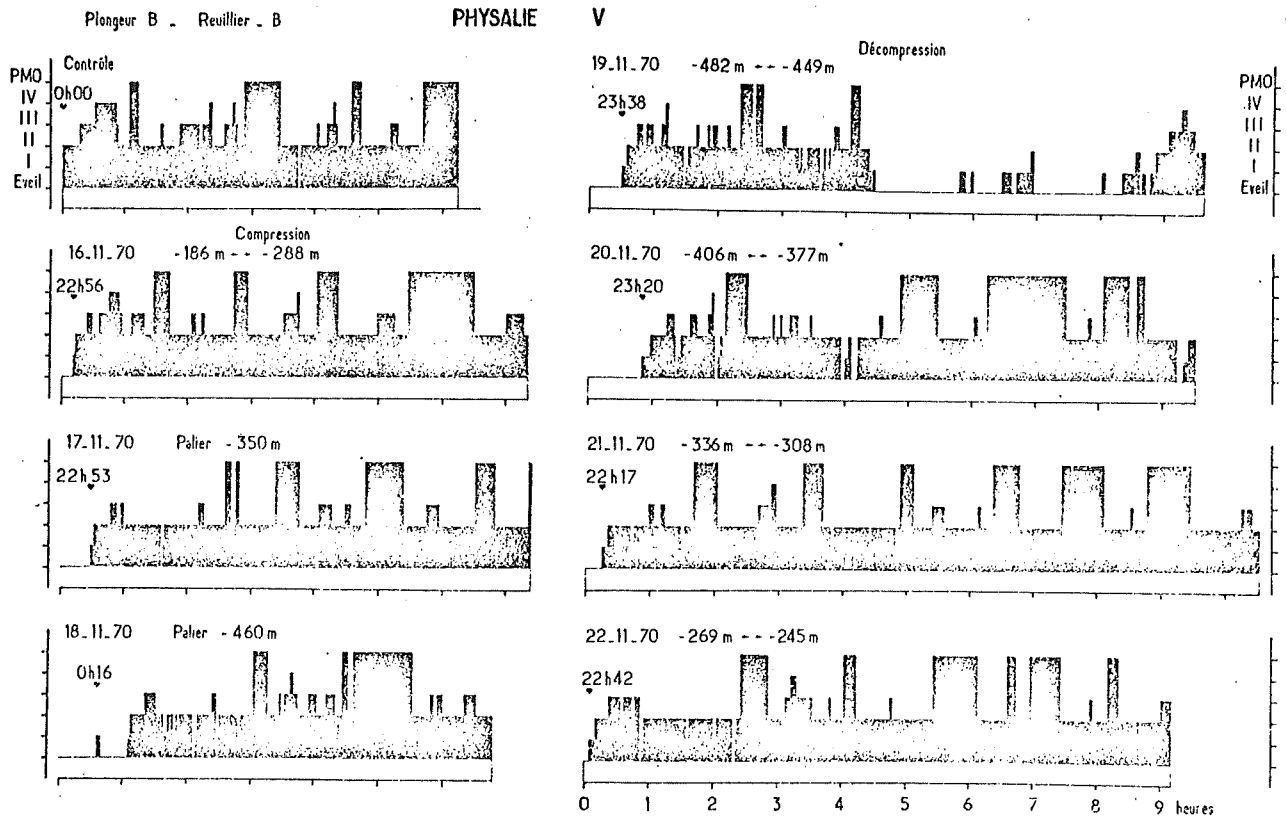


Fig. 8

Histogrammes de sommeil du plongeur B.
(légende voir figure 7).

La durée du stade II est plus importante lors de la plongée que par rapport au contrôle. La fréquence d'apparition du stade II et de la PMO augmente surtout pendant la décompression. Les histogrammes de sommeil des 3ème et 4ème nuits de la plongée sont les plus modifiés par rapport à l'histogramme de sommeil du contrôle.

_ PHYSALIE V _ Plongeur A - C... p

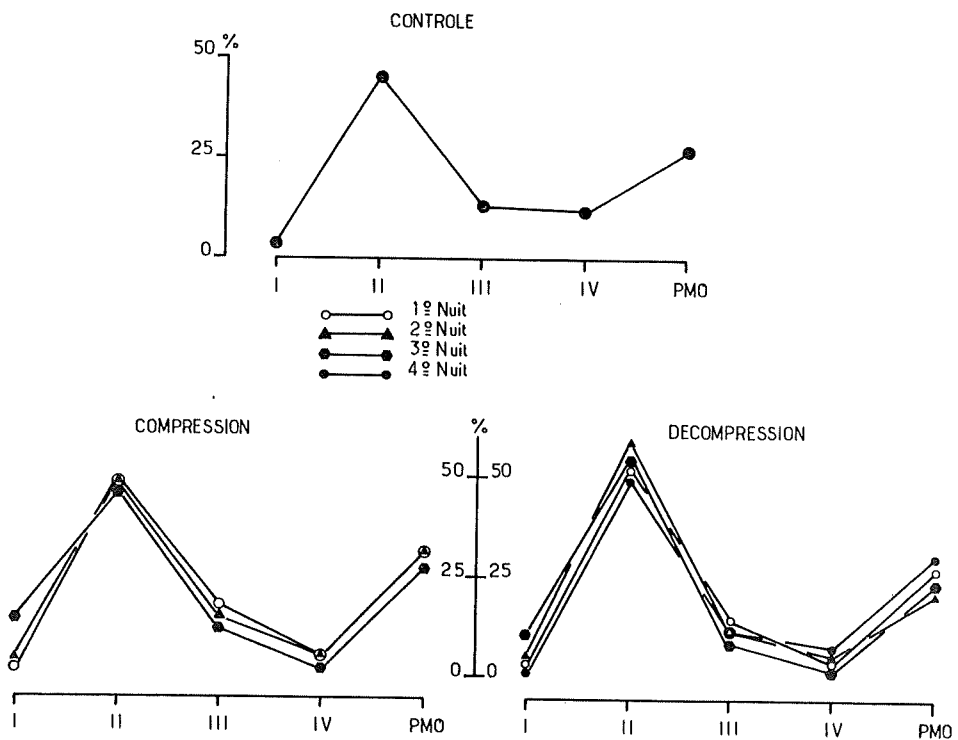


Fig. 9

Représentation graphique des pourcentages des durées de chaque stade par rapport à la durée totale du sommeil au cours des différentes nuits d'enregistrement. Cas du plongeur A (P.C)

- En ordonnées : les pourcentages.
- En abscisses : les stades de sommeil.
- Graphiques supérieurs : nuit de contrôle
- Graphiques inférieurs :
 - . à droite : les 4 premières nuits de la remontée
 - . à gauche : les 3 premières nuits de la descente.

(explication dans le texte)

_ PHYSALIE V _ Plongeur B - R... b

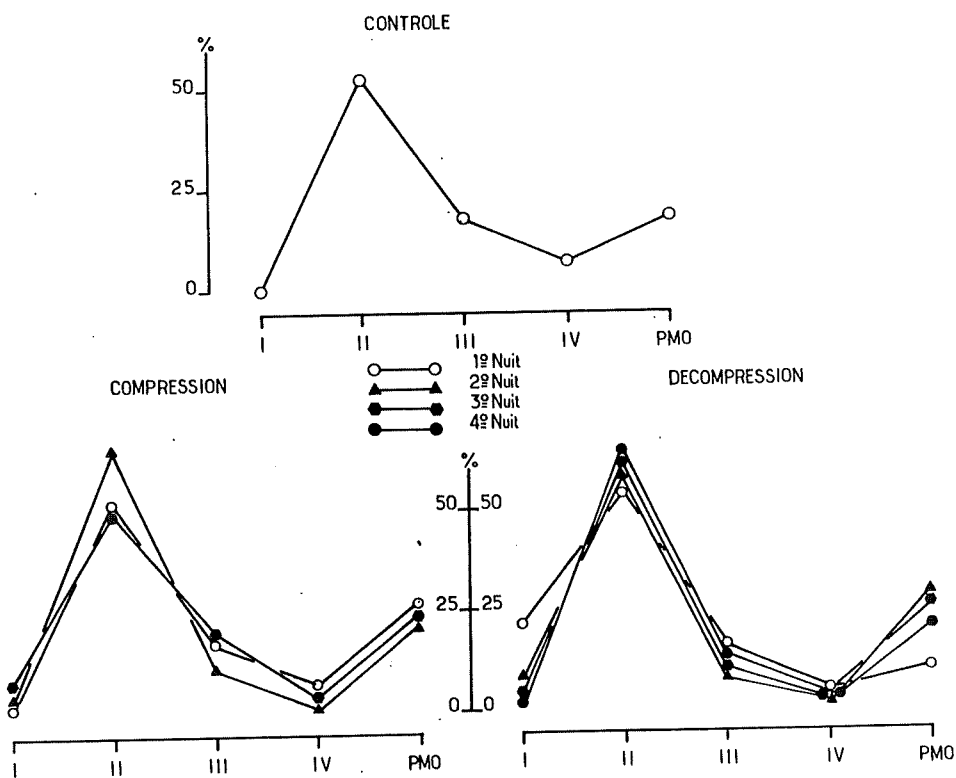


Fig. 10

Représentation graphique des pourcentages des durées de chaque stade par rapport à la durée totale du sommeil au cours des différentes nuits d'enregistrement. Cas du plongeur B (B.R)

(légende voir Fig. 9)

Explication dans le texte.

b) - Analyse au niveau des stades de sommeil.

. Stade I

La fréquence d'apparition de ce stade est en augmentation pendant la plongée chez le plongeur B. Cette augmentation est accompagnée d'un accroissement de la durée totale de ce stade et de ce fait, il en résulte une durée moyenne et une valeur médiane des durées plus élevées. La dispersion est plus importante les 4ème et 5ème nuits de la plongée.

Rien de très significatif chez le plongeur A.

. Stade II

La fréquence d'apparition du stade II est en augmentation au cours de la plongée chez les deux plongeurs à partir de la 3ème nuit. Cet accroissement s'accompagne d'une augmentation de la durée de ce stade (excepté les 3ème et 4ème nuits chez le plongeur B). De ce fait la durée moyenne et la médiane sont légèrement supérieures (excepté les 3ème, 4ème et 5ème nuits chez le plongeur B).

La dispersion des durées est plus importante (sauf les 3ème et 4ème nuits chez le plongeur B).

. Stade III

La fréquence est peu modifiée chez les deux plongeurs à l'exclusion des 3ème et 4ème nuits où elle est inférieure par rapport au contrôle chez le plongeur A.

La durée est plus importante chez le plongeur A ; il s'en suit une augmentation de la durée moyenne. La médiane n'est pas sensiblement modifiée excepté les 2ème et 3ème nuits où elle est supérieure à la valeur de contrôle. Le quartile inférieur ne varie pas, par contre, le quartile supérieur est plus élevé les quatre premières nuits de la plongée.

Chez le plongeur B, la durée totale de ce stade est inférieure à la durée de contrôle pour la plupart des nuits ; il en est de même pour la durée moyenne et la médiane. Les quartiles sont peu modifiés.

• Stade IV

La fréquence d'apparition de ce stade diminue dès la 1ère nuit de la plongée chez les deux plongeurs. Pendant la décompression, elle n'augmente que chez le plongeur A. Cette diminution s'accompagne également de celle de la durée, de la durée moyenne et de la médiane.

• Stade des mouvements oculaires (PMO).

La fréquence d'apparition de la PMO augmente par rapport au contrôle dès la 1ère nuit de la plongée chez les deux plongeurs à l'exclusion des 3ème et 4ème nuits chez le plongeur B.

La durée de ce stade est très variable au cours des différentes nuits chez le plongeur A.

La durée est plus importante chez le plongeur B excepté pour les 3ème et 4ème nuits où elle est inférieure à la valeur de contrôle.

La durée moyenne et la médiane sont inférieures chez le plongeur A par rapport aux valeurs de contrôle. Chez le plongeur B la durée moyenne est dans son ensemble peu modifiée. Par contre la médiane est inférieure à la valeur de contrôle pendant les quatre premières nuits.

Chez les deux plongeurs, la dispersion des durées de la PMO est très variable ; d'une façon générale elle est plus importante pendant les trois premières nuits de la plongée.

• Ordre de succession des divers stades.

Un sommeil normal se compose de plusieurs cycles de sommeil chaque cycle comprenant une PMO. Ainsi, par exemple on peut avoir :

Eveil I II III II III IV III II PMO et le cycle reprend à partir d'un stade II qui succède à la PMO.

Dans certains cas l'ordre de succession peut-être perturbé. Ainsi à un stade IV peut succéder un stade II ou un stade I, la PMO peut-être suivi d'un éveil.

Au cours de la plongée "PHYSALIE V" quelques modifications sont observées dans l'ordre de succession pour certains stades.

Ainsi pour le plongeur A, les passages du stade IV au stade II sont plus nombreux que lors du contrôle une nuit sur deux à partir de la 3ème nuit de la plongée.

Les PMO sont suivies d'éveil pendant les quatre premières nuits.

Chez le plongeur B, le stade I est suivi par des stades d'éveil lors des 3ème et 4ème nuits de la plongée, tandis que pour le stade III, des stades de veille et des stades I du sommeil lui succèdent les 2ème et 3ème nuits.

A partir de la 3ème nuit, les passages du stade II à des stades d'éveil et à des stades I sont plus nombreux que lors du contrôle.

La répartition horaire des divers stades.

Il n'y a pas de modifications importantes de la répartition horaire des divers stades par rapport au contrôle. Toutefois, de la 3ème à la 5ème nuit de la plongée les stades de veille et les stades I du sommeil surviennent entre la 3ème et la 6ème heure du sommeil.

C - DISCUSSION

L'ensemble de ces résultats montre que la profondeur d'apparition des troubles n'est pas reculée de façon évidente par rapport à la plongée PHYSALIE III (FRUCTUS et coll. 1969).

En effet, les différents troubles sont apparus entre 250 mètres et 300 mètres lors de la plongée PHYSALIE III, entre 300 et 350 mètres pour PHYSALIE V (tableau 1).

Les manifestations du S.N.H.P. sont par contre très atténuées par rapport à celles observées lors de la plongée PHYSALIE III à 360 mètres.

Ces troubles ont été également mis en évidence par BENNETT (1971) lors d'une plongée à 457 mètres. Ils sont survenus dans ce cas dès 180 mètres, mais la vitesse de compression était encore plus rapide que lors de PHYSALIE III puisqu'entre chaque palier, les sujets étaient comprimés à 300 m/heure.

En comparant les observations de BENNETT et celles effectuées lors de PHYSALIE V, on peut faire deux constatations. La première, qui confirme les résultats de BENNETT, concerne l'accentuation des troubles après chaque compression rapide (1 m/min. dans le cas de PHYSALIE V) de 350 à 400 mètres, et de 460 à 490 mètres. La seconde constatation ne va pas dans le même sens que BENNETT. En effet, contrairement à ce qu'il a pu observer, les phénomènes n'ont pas régressé de façon égale et constante pendant les paliers de 15 heures à 350 mètres et à 460 mètres.

La survenue, à côté des ondes thêta, d'une activité de fréquence delta chez l'un des plongeurs, et la dépression des fréquences rapides alpha et bêta chez les deux plongeurs, sont des faits également rapportés par BENNETT (1971).

D'autre part, il est intéressant de constater que la plupart des troubles EEGraphiques et cliniques (tremblement) ont disparu ou sont revenus à des niveaux proches de la normale pendant la décompression, à partir de 300 mètres, profondeur où ces troubles étaient apparus.

Le ralentissement de la fréquence de l'alpha à partir du 6ème jour de la plongée, déjà observé lors des différentes phases de l'opération JANUS II (ROSTAIN et LYAGOUBI 1971) semble lié, pour une certaine part, au facteur temps (durée du séjour en caisson).

- PHYSALIE V - SYNDROME NERVEUX des HAUTES PRESSIONS										
PROFONDEUR	Surface	0 ↓ -107m	-107 ↓ -200m	-200 ↓ -350m	Palier -350m	-350 ↓ -400m	-400 ↓ -460m	Palier -460m	-460 ↓ -490m	-490 ↓ -520m
VITESSE de COMPRESSION		60 m/h	15 m/h 12 m/h	12 m/h 10 m/h 8,5 m/h		60 m/h	6,6 m/h 6 m/h 5,5 m/h		60 m/h	4,5 m/h 4 m/h 3,7 m/h
TREMBLEMENTS d'ATTITUDE	Pl. A	0	0	0	▼	▼▼▼	▼▼	▼▼	▼▼▼▼	▼▼▼▼
	Pl. B	0	0	0	▲	▲▲▲	▲▲	▲▲	▲▲▲▲	▲▲▲
TREMBLEMENTS CINETIQUES	A	0	0	0	0	▼▼		0	0	0
	B	0	0	0	0	▲▲▲		▲▲▲	▲▲▲	▲▲▲
DYSMETRIE	A	0	0	0	0	▼▼		▼▼	▼	▼
	B	0	0	0	0	▲▲		▲▲▲	▲▲▲	▲▲
"Theta" Central	A	0	0	0	0	▼	0	▼▼	▼▼	▼▼▼▼
	B	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲▲	▲▲	▲▲▲▲

TABLEAU n° 1

Tableau résumant les principales manifestations du S. N. H. P., lors de l'expérience PHYSALIE V, leurs profondeurs d'apparition et leurs intensités (nombre de triangles).

0..... pas d'effet

triangle vers le bas..... manifestations cliniques et E.E.Graphiques apparaissant chez le plongeur A.

triangle vers le haut..... manifestations cliniques et E.E.Graphiques apparaissant chez le plongeur B.

En ce qui concerne les résultats de l'étude de l'organisation du sommeil, les modifications sont peu importantes. Si l'on exclut les quelques dissemblances, il y a essentiellement, chez les deux plongeurs, une augmentation du stade II et de la PMO au dépens du stade III et surtout du stade IV, stades de sommeil profond (tableau n° 2). C'est ce que traduit entre autres, l'évolution des pourcentages des différents stades de sommeil.

Le sommeil de ces deux mêmes plongeurs, avait été déjà enregistré lors de l'opération JANUS II, et l'évolution du sommeil était différente d'un plongeur à l'autre et, dans l'ensemble, différente de ce qui a été observé lors de PHYSALIE V. En effet, chez le plongeur P.C. il y avait eu une légère augmentation du pourcentage de la PMO en fin de séjour, tandis que chez le plongeur B.R. il y avait une augmentation du pourcentage du stade II au dépens de celui de la PMO et surtout du stade III (ROSTAIN et LYAGOUBI 1971).

Au cours d'une autre phase de l'opération JANUS II, l'enregistrement du sommeil de deux autres plongeurs a montré des modifications qui là encore, sont différentes de celles observées dans la présente plongée.

Si l'on compare ces résultats avec les travaux de SERBANESCU et coll. (1968) et NAITOH et coll. (1971), on peut se demander si la diversification des résultats obtenus n'est pas en relation avec des perturbations autres que celles liées à l'hyperbarie.

Cependant pour PHYSALIE V, il est intéressant de noter que l'évolution de l'organisation du sommeil qui n'avait pas été la même chez les deux plongeurs lors de JANUS II est à peu de choses près identique chez les deux mêmes sujets. De plus, les calculs statistiques montrent que les variations sont plus nombreuses de la 3ème à la 5ème nuit de la plongée, c'est à dire au cours des nuits passées aux plus grandes profondeurs. Ces faits pourraient donc laisser entrevoir le rôle joué par la profondeur. En effet, la présence de troubles neurologiques et EEGraphiques au delà de 350 mètres, ne nous permet pas de retenir les seuls facteurs psychologiques, (confinement dans un espace réduit, profondeurs jamais atteintes), pour expliquer les modifications de l'organisation du sommeil, comme lors des plongées à saturation JANUS II. Il se peut donc qu'il y ait, à partir de certaines profondeurs, à côté des facteurs d'ordre psychologique, d'autres phénomènes qui interviennent et perturbent le sommeil des sujets.

STADE	I	II	III	IV	PMO
Pl. A.	=	+	<u>+</u>	-	+
Pl. B.	+	+	-	-	⊕ -

Tableau 2

Résultats globaux de l'étude statistique des modifications de l'organisation du sommeil au niveau de chaque stade pour chacun des plongeurs.

= pas ou peu de variations significatives

+ augmentation

- diminution

+ évolution irrégulière soit augmentation, soit diminution ; dans ce cas, le cercle entourant un des deux signes indique la tendance prédominante.

L'étude psychométrique avait pour but de contrôler l'efficiencesensorimotrice et intellectuelle des deux plongeurs pendant l'expérience.

I) TECHNIQUES

Nous avons utilisé une série de huit épreuves :

- Efficience sensori motrice.
 - 1 - Test de dextérité manuelle.
 - 2 - Temps de réaction visuel de choix.
- Efficience intellectuelle.
 - 1 - Odd Even Test.
 - 2 - Paper Form Board (Formes AA et BB).
 - 3 - Ordination continue de chiffres pendant dix minutes.
 - 4 - Phrase en désordre.
 - 5 - Additions.
 - 6 - Mémoire immédiate. (Sub test de l'échelle de Wechsler).

II) METHODE

Selon le cas la répétition de ces épreuves est souhaitable (ordination de chiffres), possible (T.R.) ou limitée (Paper Form Board).

En fonction de ces impératifs nous avons constitué quatre séries de tests présentées au tableau I et que nous avons appliqué à 350, 420, 450 et 520 mètres.

Le contrôle du T.R. et de l'Odd Even Test consiste en un pré test réalisé 24 heures avant le début de l'expérience.

Le contrôle des autres tests a consisté en une suite de quatre séries qui respecte les intervalles des quatre séries expérimentales et qui a été réalisée deux mois après la plongée.

		- 350 m	- 420 m	- 450 m	- 497 m	- 518 m
		17/11/70	18/11/70	18/11/70	19/11/70	19/11/70
		de 18H à 19H.30	11H. à 12H.	16H. à 17H.30	11H. à 12H.	15H.30 à 16H.50
		T.1.	T.2.1.	T.2.2.	T.3.1.	T.3.2.
1 - DEXTERITE MANUELLE	4'	+	+	+	+	+
2 - TEMPS REACTION VISUEL DE CHOIX	10'	+	+	+	-	+
3 - PAPER FORM BOARD	20'	A.A.	-	B.B.	-	-
4 - ODD EVEN	4'	+	+	+	-	+
5 - ORDINATION DE CHIFFRES	10'	+	+	+	-	+
6 - PHRASES EN DESORDRE	5'	+	-	-	-	+
7 - ADDITIONS	2'	liste 1	-	liste 2	-	liste 3
8 - MEMOIRE IMMEDIATE	5'	+	-	+	-	+

TABLEAU I - Les séries de tests utilisés se lisent verticalement -

III) RESULTATS

1) DEXTERITE MANUELLE

Le sujet est placé devant une planche 54 x 12 cm. de matière plastique percée de quatre rangées de 50 trous tous de 1 cm. de diamètre, distants de 0,9 cm.

A chaque extrémité est fixée une 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 soit visible.

Au signal le sujet prend de la main droite 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. Nous relevons le temps mis pour placer 50 pièces et calculons le nombre de pièces placées par minute.

Les résultats sont présentés au tableau 2.

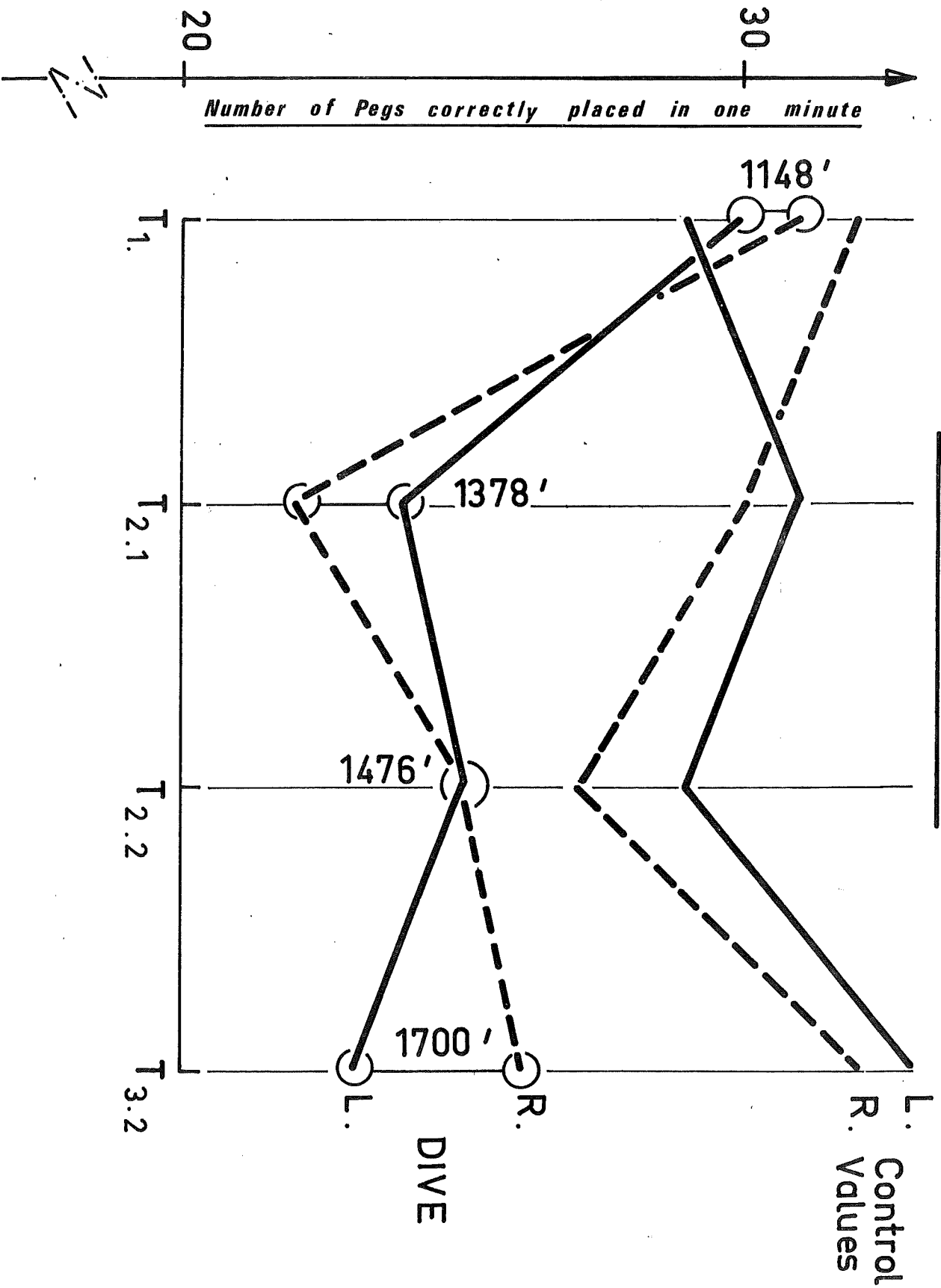
		PLONGEE			CONTROLE		
		M.D.	M.G.	mo.	M.D.	M.G.	mo.
P.C.	T1.	31	30	30	32	29	30
	T2.1.	22	24	23	30	31	30
	T2.2.	25	25	25	27	29	28
	T3.2.	26	23	25	32	33	32
B.R.	T1.	28	24	26	33	30	31
	T2.1.	27	24	26	32	30	31
	T2.2.	28	25	26	32	31	31
	T3.2.	25	25	25	32	28	30

Tableau 2 - Dextérité manuelle.

Nombre de pièces placées par minute.

— "PHYSALIE V" —

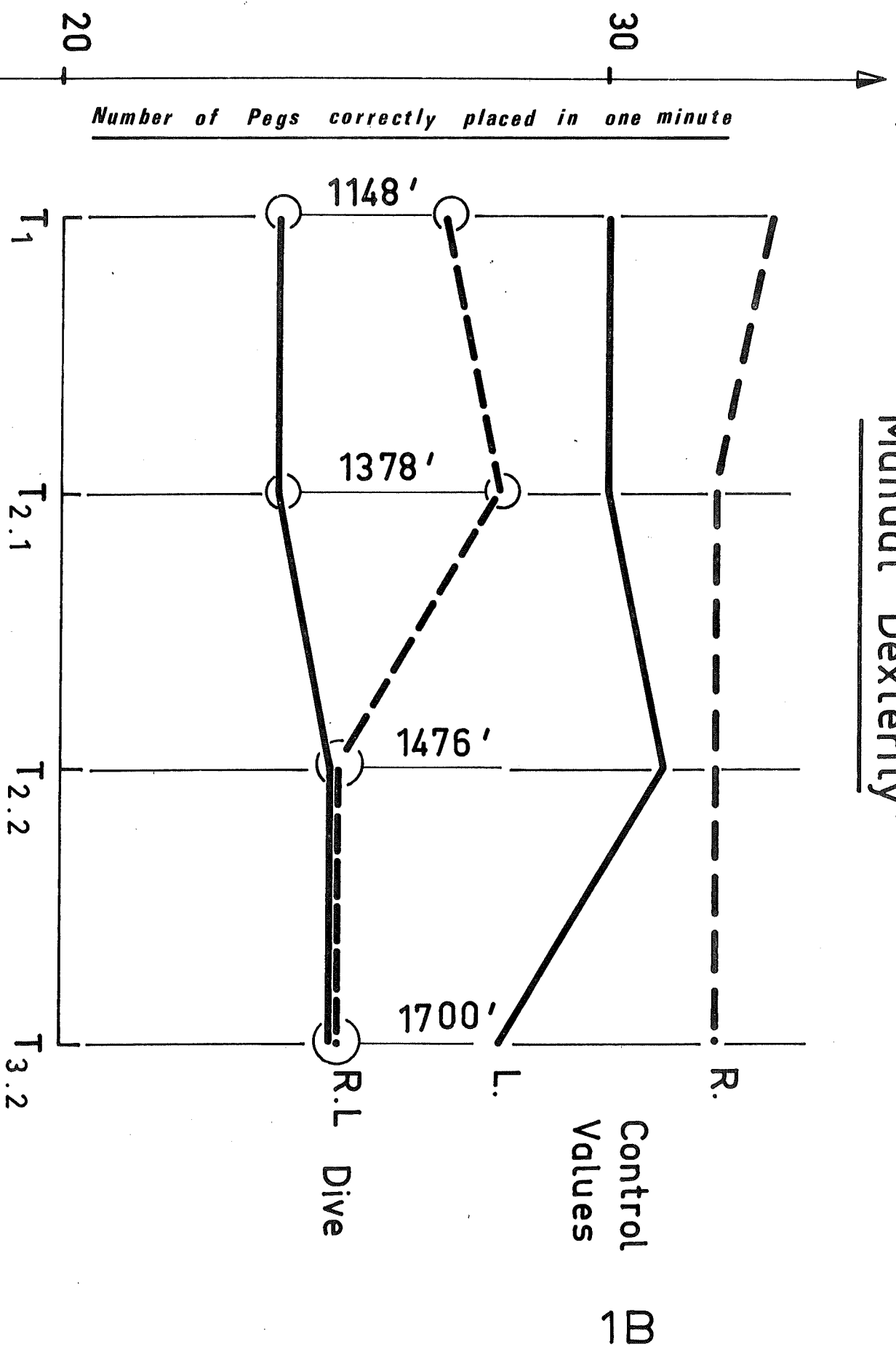
Manual Dexterity



1A

— "PHYSALIE V" —

Manual Dexterity



1.1. Comparaison globale des séries expérimentales et des séries contrôle.

En considérant la médiane de chaque série nous trouvons une baisse de performance sur chaque main pour les deux plongeurs.

Nous estimons cette diminution de performance en pourcentage.

	P.C.	B.R.
MD	- 16 %	- 19 %
MG	- 16 %	- 20 %

Pour trois des quatre distributions la dispersion est plus importante dans la série réalisée en plongée que dans la série contrôle.

1.2. Comparaison détaillée des séries expérimentales et contrôle.

(Graphique 1.1. et 1.2.)

La baisse des performances existe chez B.R. à 350 mètres alors qu'elle apparaît chez P.C. seulement à 420 mètres.

Les séries de contrôle montrent que les performances MD et MG de P.C. sont peu différenciées alors que B.R. a une plus grande efficacité de la main droite. Par comparaison avec ces contrôles la diminution de performance de P.C. est homogène sur les deux mains aux différentes profondeurs où elle est observée, alors que B.R. accuse une baisse de performance plus importante sur la main droite que sur la main gauche à 450 et 520 mètres.

Nous estimons les performances moyennes des plongeurs à 420, 450 et 520 mètres que nous comparons aux moyennes des performances en surface.

		PLONGEE	CONTROLE	VARIATION EN %
P.C.	MD	24	30	- 20 %
	MG	24	30	- 20 %
B.R.	MD	26	32	- 19 %
	MG	25	30	- 15 %

Nous voyons qu'à partir du moment où la détérioration apparaît elle est plus importante chez P.C.

1.3. Nous trouvons une détérioration des performances de dextérité manuelle des deux mains chez les deux plongeurs.

Cette détérioration apparaît à 350 mètres chez l'un et seulement à 420 mètres chez l'autre. Ceci explique la différence des estimations 20 % et 16 % établies sur l'ensemble de la série expérimentale.

En fait quand elle apparaît la détérioration est en moyenne de 20 % chez les deux plongeurs.

La détérioration de performance des deux mains est homogène chez le plongeur n'ayant pas de dominance latérale.

Chez le sujet ayant une dominance latérale la détérioration de performance des deux mains est homogène à 350 et 420 mètres. La détérioration de performance de la main dominante devient relativement plus importante à 450 et 520 mètres.

2) TEMPS DE REACTION VISUEL DE CHOIX.

Nous utilisons un matériel classique avec deux signaux : rouge et vert. Le sujet a l'index posé entre deux boutons distants de 6 cm. 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.

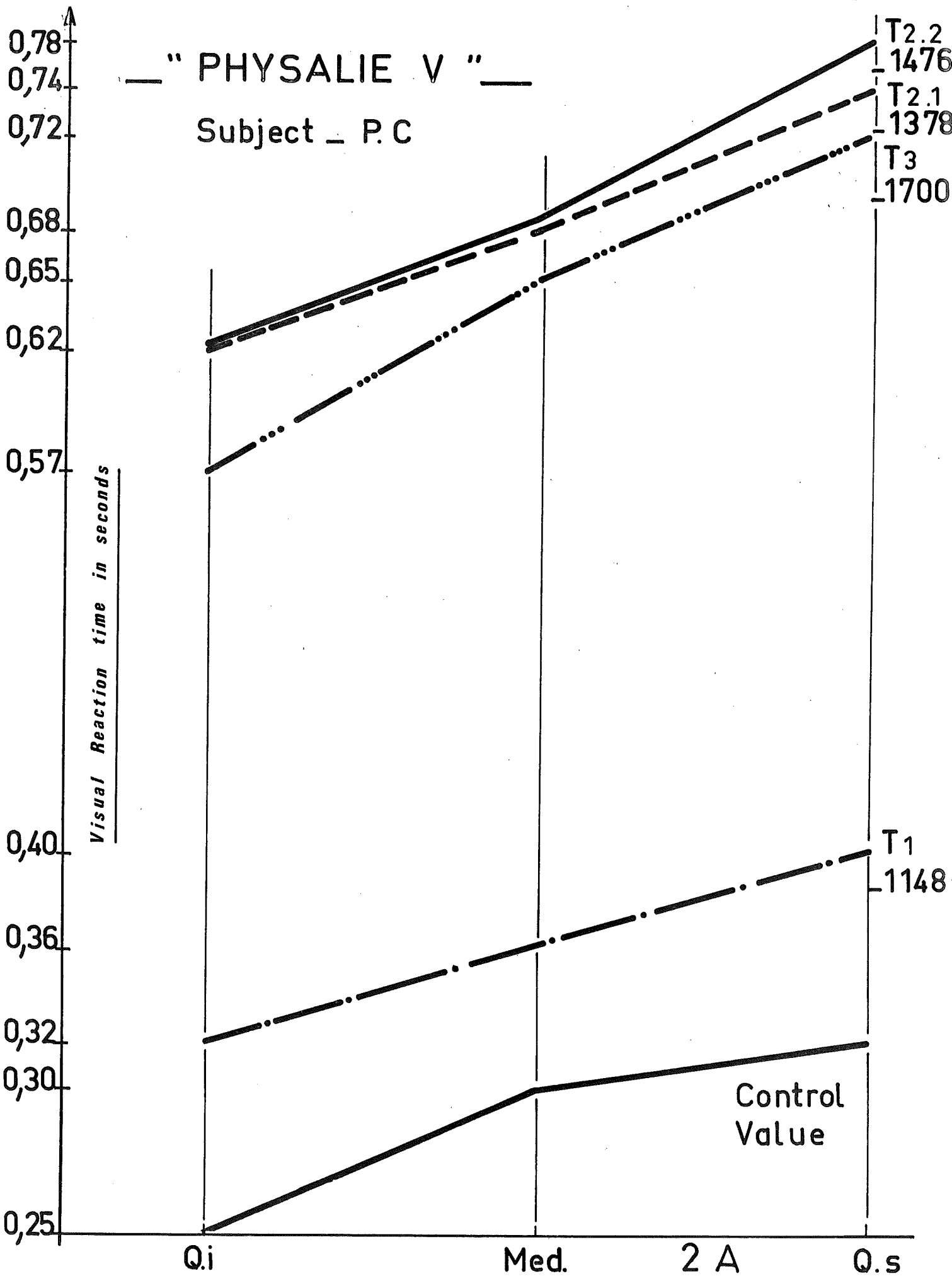
Nous retenons les 30 dernières mesures. Nous utilisons la médiane et les quartiles (Q.i et Q.s) comme paramètres de tendance centrale et de dispersion de chaque distribution de 30 notes.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous et représentés graphiquement sur les graphiques 2A et 2B.

	Q.i.	Med.	Q.s.	Qs - Qi
Pj. A. Pré Test	25	30	32	7
T1.	32	36	40	8
T2.1.	62	68	74	12
T2.2.	62	68	78	16
T3.2.	57	65	72	15
Pj. B. Pré Test	30	32	38	8
T1.	33	36	44	11
T2.1.	63	73	80	17
T2.2.	70	75	83	13
T3.2.	27	49	76	49

A 350 mètres les performances des deux plongeurs ne diffèrent pas de leurs performances de surface sinon par l'augmentation de la dispersion des notes de B.R. due à l'augmentation du quartile supérieur.

A 420 et 450 mètres la dégradation du T.R. est nette chez les deux plongeurs. Cette dégradation à deux aspects :



" PHYSALIE V "

Subject - B.R

Visual Reaction time in seconds

0,83
0,80
0,76
0,75
0,73
0,70
0,63
0,49
0,38
0,36
0,33
0,32
0,30
0,27

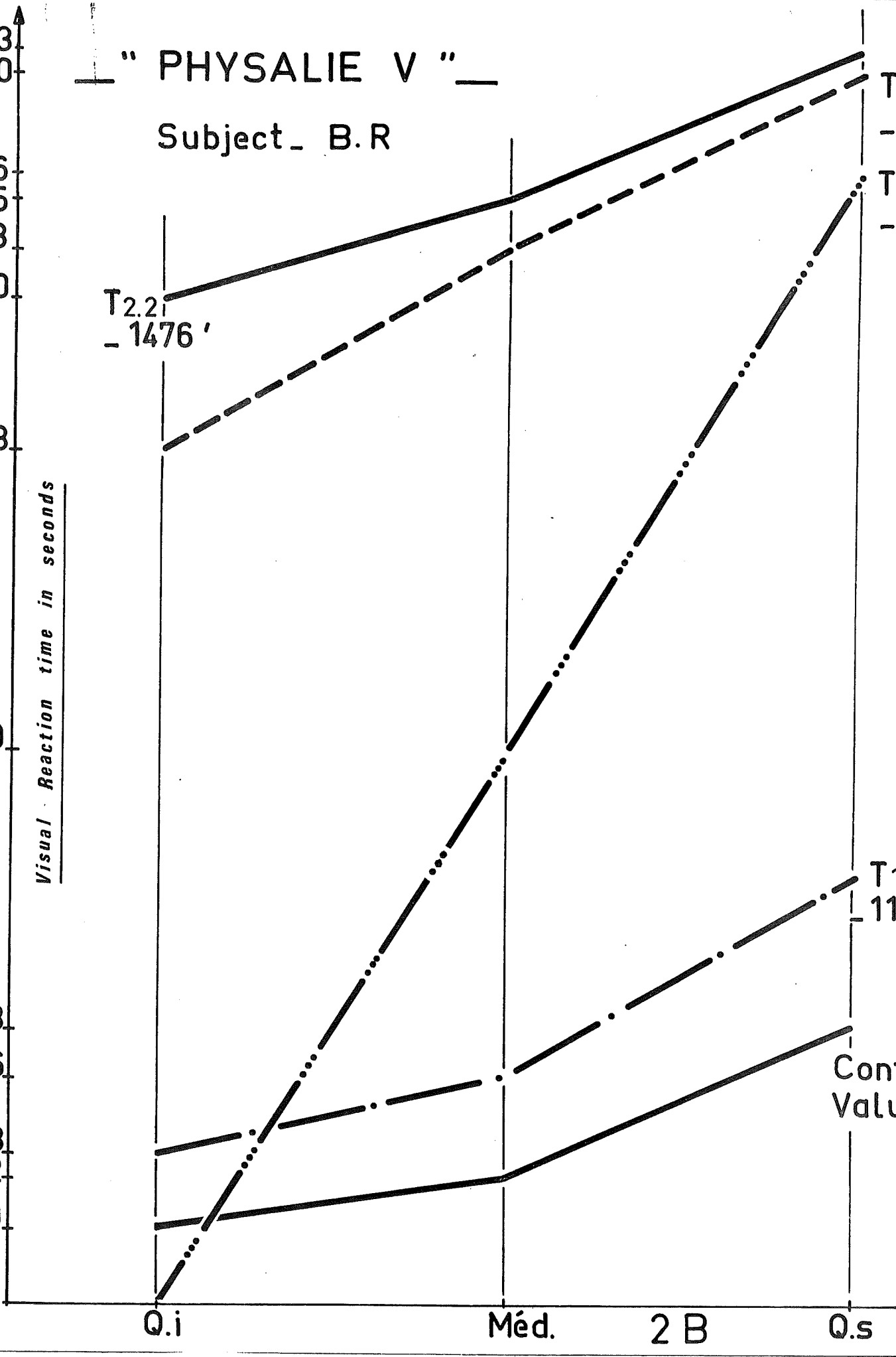
T2,1
- 1378
T3
- 1700

T2,2
- 1476'

T1
- 1148'

Control
Value

Q.i Méd. 2 B Q.s



- le T.R. moyen a plus que doublé. Son accroissement est de 126 % chez P.C. et 128 % chez B.R.
 - les écarts quartiles sont deux fois plus grands, ce qui traduit une plus grande instabilité des réponses.
 - le quartile inférieur de ces distributions est pratiquement le double de la médiane de la distribution du T.R. de contrôle.
- Les meilleurs T.R. de ces distributions sont supérieurs au plus mauvais T.R. de contrôle.

A 520 mètres le comportement des deux plongeurs est différent.

La distribution des T.R. de P.C. est sensiblement comparable aux distributions des T.R. de 420 et 450 mètres qui viennent d'être analysées (graphique 2A).

La distribution des T.R. de B.R. est assez particulière et se caractérise par une extrême dispersion de 0,49 secondes (graphique 2B). Le Qi a une valeur inférieure au Qi de la distribution contrôle (0,27 secondes). Le Qs a une valeur comparable au Qs des distributions de 420 et 450 mètres (0,76 secondes).

La médiane (0,49 secondes) a une valeur intermédiaire entre la médiane des T.R. en surface (0,32 S) et celle des T.R. à 450 mètres (0,75 secondes).

Ce résultat traduit incontestablement des variations importantes et rapide du niveau de vigilance. Dans la mesure où cette série intervient juste après un incident de décompression et est réalisée au moment où le record est battu il n'est pas exclu d'envisager le rôle de ce facteur psychologique de situation sur la dimension Emotion-Motivation.

3) PAPER FORM BOARD

Nous avons utilisé les deux formes du tests, à 350 et 450 mètres. La série de contrôle a été réalisée deux mois plus tard avec le même intervalle de 24 heures entre les deux passations. Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous sont estimés par la note obtenue selon la cotation standard. Nous avons noté les temps des sujets terminant l'épreuve avant le délai de vingt minutes qui leur était accordé.

	P.C		B.R	
	PLONGEE	CONTROLE	PLONGEE	CONTROLE
T1. Forme AA.	- 350 51	54 (13'54)	- 350 31	50 (14'29)
T2. Forme BB.	- 450 59	51 (12'25)	- 450 38	46 (13')
MOYENNE	55	52	35	48

Les performances moyennes de P.C. en plongée ne diffèrent pas de ses performances en surface.

Les performances moyennes de B.R. en surface sont de 37 % supérieures à ses performances en plongée.

Un effet d'apprentissage (le contrôle a été réalisé deux mois après le test) ne peut expliquer une telle variation.

Quand les deux formes sont utilisées la fidélité test-retest est de .92. Non seulement la performance en plongée profonde est inférieure mais encore elle est réalisée dans un temps nettement plus long. Il paraît donc incontestable que la plongée ait induit une détérioration des aptitudes de B.R. Il faut rappeler que le Paper Form Board semble mesurer spécialement bien ces aspects de l'aptitude qui font appel à la représentation et à la manipulation des objets dans l'espace. Il existe une corrélation positive entre le test et divers tests d'intelligence.

Pour les deux plongeurs les performances sont meilleures à 450 mètres (forme BB) qu'à 350 mètres (forme AA), or en surface les deux plongeurs réussissent mieux la forme AA. Il semble donc que l'état des plongeurs ait été meilleur à 450 mètres. Ceci peut provenir de la vitesse de descente décroissante qui facilite le processus d'habituation.

Les performances d'un plongeur sont altérées de 37 % par la plongée. Cette altération est sensible aux deux profondeurs où le sujet a été testé. Elle est plus marquée à 350 mètres qu'à 450 mètres.

Bien que les performances du second plongeur ne soient pas altérées par la plongée, sa performance à 450 mètres est supérieure à la performance à 350 mètres.

4) ODD EVEN TEST

Le sujet entend une série de chiffres au hasard pendant 2'. Il répond en appuyant sur un bouton lorsque deux chiffres pairs ou deux chiffres impairs se suivent.

Nous utilisons un magnétophone à deux pistes. Une piste du magnétophone est occupée par la série de chiffres. Le repérage des suites devant provoquer une réponse est enregistrée sur la seconde piste. Ces repères sont enregistrés sur un scripteur à plume qui enregistre également les réponses du sujet. Le dépouillement tient compte des réponses justes (+), des oublis (-) et des mauvaises réponses additionnelles (a).

Une série contrôle a été réalisée en surface la veille du début de l'expérience de plongée simulée.

		PRE-TEST CONTROLE	T1. 350	T2.1. 420	T2.2. 450	T3.2. 520
P.C.	+	11	11	11	10	11
	-	7	7	7	8	7
	a	-	-	-	2	-
B.R.	+	10	11	12	12	9
	-	8	7	8	8	9
	a	-	2	-	4	1

Le maximum de bonnes réponses est 18.

Les performances de P.C. sont très stables. Il y a un léger fléchissement à 450 mètres qui n'est peut-être pas aléatoire dans la mesure où simultanément apparaissent deux fausses réponses additionnelles.

Chez B.R. le phénomène des fausses réponses additionnelles apparaît à 350 mètres et s'accuse à 450 alors qu'il n'existe pas à 420.

A 520 mètres on trouve encore une fausse réponse additionnelle mais surtout oublis et bonnes réponses sont à égalité. Cette baisse de performances paraît significative, compte tenu de la légère amélioration liée à la répétition et du niveau de performance à 450 mètres.

RESUME

Nous enregistrons une très faible baisse de performance à 450 mètres pour un plongeur. A cette profondeur les performances du second plongeur se maintiennent avec toutefois beaucoup de fausses réponses. Elles se dégradent à 520 mètres. Le test montre donc une diminution de la vigilance marquée chez un plongeur et très légère chez l'autre.

5) ORDINATION DE CHIFFRES

Le sujet doit ordonner du plus petit au plus grand des séries de sept chiffres au hasard de 0 à 9. Il travaille dix minutes et indique le niveau d'avancement de sa tâche de minute en minute au signal de l'expérimentateur.

Les performances sont estimées sur le total des chiffres ordonnés pendant dix minutes et aussi en analysant la distribution des dix totaux minute par minute.

La répétition de l'épreuve entraîne normalement un apprentissage qui est en moyenne de 12 % entre deux passations consécutives.

NOMBRE DE CHIFFRES ORDONNES PENDANT 10 min.		P.C.	B.R.
PLONGEE	T1. (350 m)	461	259
	T2.1. (420 m)	508	242
	T2.2. (450 m)	637	255
	T3.2. (520 m)	680	224
CONTROLE	T1.	728	346
	T2.	882	336
	T3.	884	413

Le contrôle a eu lieu deux mois après l'expérience.

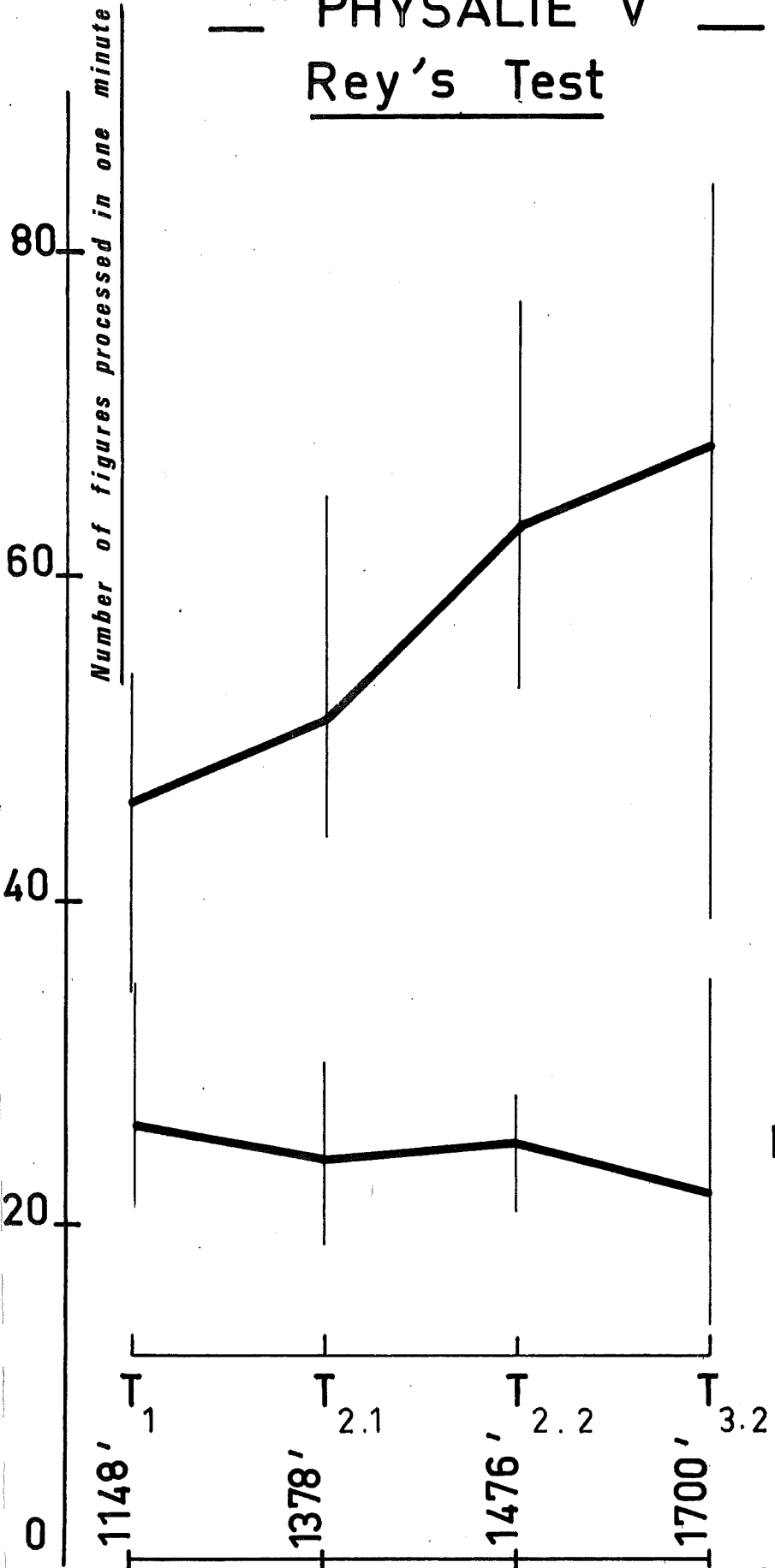
Sur le graphique 3 nous avons représenté les moyennes arithmétiques de chaque test. Les moyennes d'une même série sont reliées par un trait. Les traits verticaux indiquent l'amplitude des écarts extrêmes entre la meilleure et la moins bonne des performances par minute.

La série de P.C. est croissante elle manifeste un bel apprentissage. Cette progression se poursuit deux mois plus tard à la série contrôle et se termine par un plateau correspondant à un niveau d'efficiency élevé.

L'accroissement de la dispersion à 520 mètres (T3.2) paraît normale à un certain moment du processus d'apprentissage. Le phénomène se retrouve au premier test de la série contrôle.

La série expérimentale de B.R. est faiblement décroissante. La série contrôle montre le début d'une amélioration des performances.

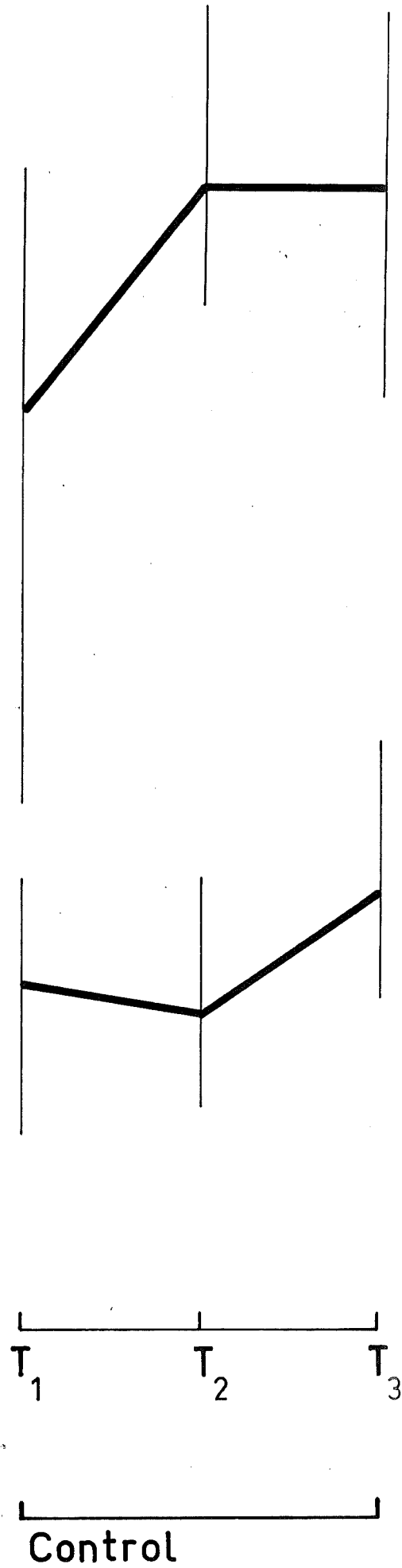
— "PHYSALIE V" —
Rey's Test



P.C

B.R

3



Control

On peut se demander si les quatre premiers tests correspondent au plateau initial de certaines courbes d'apprentissage. Cela revient à supposer que ce sujet moins bien doué aurait réalisé une série analogue en surface.

Plusieurs éléments nous amènent à rejeter cette hypothèse et à penser que les performances de B.R. en plongée traduisent l'absence de l'apprentissage qui se serait produit en surface.

L'accroissement de la dispersion des performances par minute à 520 mètres dans un contexte de baisse de production à la quatrième répétition de l'épreuve plaide en faveur d'une dégradation de l'efficacité du sujet.

A deux reprises le sujet ordonne seulement quatorze chiffres par minute à 520 mètres alors qu'à 350 mètres sa plus mauvaise performance est vingt un chiffres par minute.

Nous savons par ailleurs que ce sujet a des performances dégradées au Paper Form Board ce qui n'est pas le cas de P.C.

RESUME

P.C. réalise un apprentissage identique à ce qu'on observe habituellement en faisant passer plusieurs fois l'épreuve.

Les performances du sujet B.R. se détériorent à la répétition, dans les conditions expérimentales de plongée fictive.

PHRASES EN DESORDRE

	P.C				B.R			
	t	+	-	note	t	+	-	note
T1.	3'06	46	4	42	4'56	42	8	34
T3.	2'35	44	6	38	4'05	39	11	28
CØNTROLE	2'07	45	5	40	2'38	42	8	34

Etant donné les variations du temps mis pour effectuer la tâche nous avons retenu comme indice de rendement le rapport $\frac{\text{Note}}{\text{Temps}}$.

$1 = \frac{\text{Note}}{\text{Temps}}$	P.C.	B.R.
T1.	14	7,4
T3.	15	6,6
CONTROLE	18	12

Pour P.C. nous voyons que le rendement à 350 et 520 mètres sont comparables et à peine inférieur au rendement en surface. Compte tenu de l'effet facilitateur de la répétition nous pensons que l'efficacité du plongeur est intacte aux différentes profondeurs.

Pour B.R. par contre l'effet de répétition ne peut expliquer à lui seul l'amélioration du rendement en surface. Il paraît donc que l'efficacité du plongeur soit diminuée en plongée.

Cette détérioration de l'efficacité est plus accusée à 520 mètres qu'à 350 mètres.

- 7) Nous n'enregistrons pas de variations des performances aux différentes profondeurs ni sur le test d'additions simples ni sur le test de mémoire immédiate.

IV) CONCLUSION

Le tableau ci-dessous résume les épreuves où nous enregistrons une détérioration des performances.

	P.C.	B.R.
1 - Dextérité manuelle	- 16 %	- 20 %
2 - T.R. visuel de choix	+ 126 %	+ 128 %
3 - Paper Form Board		- 37 %
4 - Odd Even		- 18 %
5 - Ordination de chiffres		- 48 %
6 - Phrases en désordre		- 30 %
7 - Additions		
8 - Mémoire immédiate		

Nous distinguons la dextérité manuelle et de T.R. visuel de choix où la détérioration due à la plongée est vérifiée chez les deux plongeurs.

L'augmentation considérable du T.R. visuel de choix est certainement le résultat le plus important de cette expérimentation.

Par ailleurs un des deux plongeurs (B.R) a une baisse de performance sur quatre autres épreuves qui signalent à la fois des difficultés de vigilance et une baisse importante de l'efficacité intellectuelle.

Au cours de la réalisation de certains tests psychométriques à 350, 420, 450 et 518 m, il a été observé une augmentation des activités thêta. Cette observation nous a amenés à effectuer des corrélations électro-encéphalographiques et psychologiques.

TECHNIQUES

L'activité thêta a été analysée sur les enregistrements graphiques sur plusieurs périodes selon les procédés suivants :

- L'enregistrement EEG est divisé en séquences de 20 s.
- Chaque séquence est caractérisée par un indice de présence de l'activité thêta repéré par 1 ou 0 sur chaque seconde :

$$IP = \frac{x}{20} \text{ min.} \quad 0 \leq x \leq 20$$

- L'amplitude de cette activité de fréquence thêta est mesurée là où elle apparaît.
- On peut considérer que pour une séquence donnée le produit de l'indice de présence par l'amplitude est un indice d'intensité de l'activité thêta. (Fif.1).

RESULTATS

a) Si nous comparons le développement des rythmes lents à l'EEG et la perte d'efficacité aux tests, nous constaterons que l'altération de l'efficacité sensori-motrice et l'apparition d'une activité thêta surviennent presque simultanément chez les deux plongeurs entre 350 et 420 m.

Nous observons par ailleurs certaines différences :

- . Chez le plongeur A : présence d'activité thêta et delta sans altération de l'efficacité intellectuelle.
- . Chez le plongeur B : activité thêta seulement et altération de l'efficacité intellectuelle.

	Intensité de Présence i_p	Amplitude moyenne en mm : α	Indice d'Intensité $i_i = \alpha \times i_p$
Repos	13/20	.96	.62
Test	18/20	1.18	1.06
Repos	15.5/20	.78	.60

PI.A - TABLEAU DES MESURES DE L'ACTIVITE THETA

Fig 1.

Exemple de calcul de l'indice d'intensité (voir explication dans le texte).

- b) L'activité thêta étant présente chez les deux plongeurs à partir de 350 m. nous avons cherché, à une profondeur donnée, si elle variait selon l'occupation des sujets.
- Nous avons quantifié selon le principe exposé dans la technique, l'activité thêta pendant 4 min. de repos avant test, 10 min. de test d'ordination de chiffres, 4 min. de repos après test aux profondeurs de 420, 450 et 518 m.
 - Il existe une augmentation de l'activité thêta pendant les tests chez les deux plongeurs. (Fig.2).
 - Cette augmentation est toujours plus importante chez le plongeur A chez qui elle s'accroît avec la profondeur. (Fig.2).
 - Pendant le repos qui suit le test l'intensité de l'activité thêta décroît et retrouve la valeur qu'elle avait initialement.
 - Sur les autres tests, il semble que le renforcement de l'activité thêta est moins important mais non négligeable pendant les tâches sensori-motrices.

INTERPRETATION DES RESULTATS

- . L'apparition concomitante d'une activité thêta et d'une altération de l'efficacité sensori-motrice peut résulter d'une modification des processus métaboliques au niveau du système nerveux central. Le phénomène paraît d'autant plus important que la profondeur fictive s'accroît.
- . L'action de l'effort intellectuel sur le renforcement des activités thêta pourrait s'expliquer également par référence aux variations du métabolisme cérébral. Les travaux sur le débit sanguin cérébral ont en effet indiqué qu'il existe une intensification de la circulation sanguine cérébrale pendant l'effort intellectuel (INGVER, 1958). Il est possible d'admettre que la combinaison des effets des hautes pressions et des variations du métabolisme, normalement liées à l'activité intellectuelle, soient à l'origine des modifications EEG.

Cet accroissement caricatural des activités thêta au cours de l'effort intellectuel semble pouvoir être rattaché d'une part à des observations anciennes faites au cours de l'émotion, et d'autre part à des observations plus récentes sur les modifications de l'onde expectative au cours de tâches intellectuelles (WALTER et Coll., 1964).

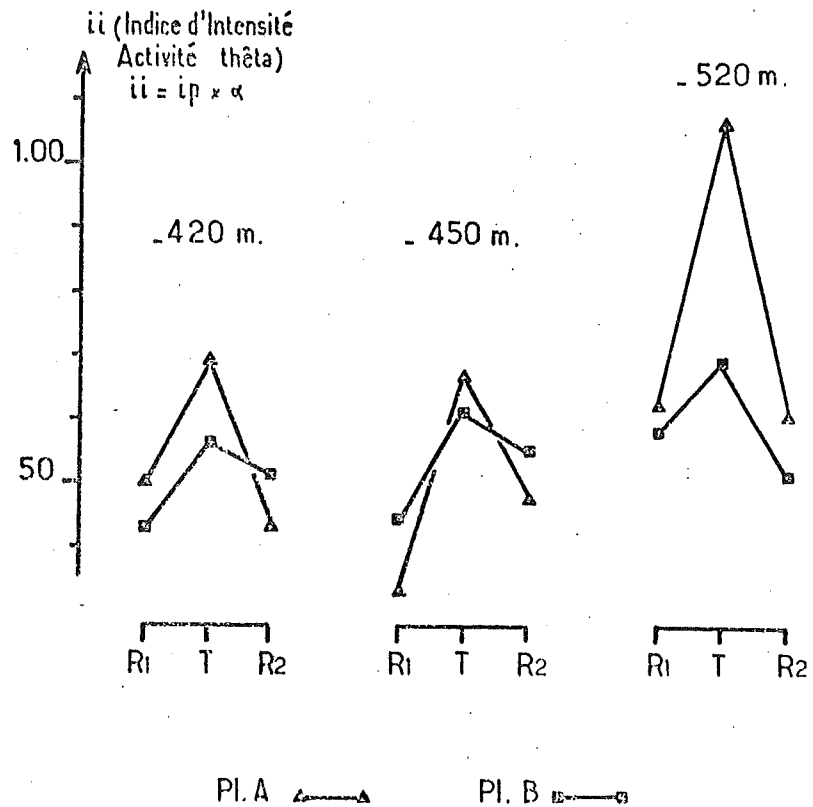


Fig 2.

Variation de l'indice d'intensité de l'activité thêta ($ii = ip \times \alpha$) à 420, 450 et 520 m. pour le plongeur A (triangles) et le plongeur B (carrés).

- en ordonnées: l'indice d'intensité.
 - en abscisses: les périodes correspondante à la mesure de cet indice.
 - . RI : mesures effectuées pendant le repos précédent le test.
 - . T : mesures effectuées pendant le test.
 - . R2 : mesures effectuées après les tests.
- (explication : voir texte)

Il se peut que les modifications électroencéphalographiques que nous avons notées au cours de l'effort intellectuel soient strictement liées aux conditions expérimentales mais il est aussi possible d'envisager une exagération de processus plus fins existant dans les conditions normales.

MECANIQUE VENTILATOIRE

Il est depuis longtemps admis que les modifications mécaniques ventilatoires consécutives à l'accroissement de la masse volumique des gaz ventilés puissent constituer un des facteurs limitant de l'exploration sous marine. Depuis 1955 divers travaux (2, 3, 5, 11) exécutés en atmosphère d'air ou faisant appel à des gaz étrangers de densité variable ont permis de déterminer au cours d'expériences aiguës réalisées à faible profondeur les principaux phénomènes observés : en respiration calme la résistance ventilatoire croît comme la racine carrée de la masse volumique du gaz ventilé, au cours de manoeuvres d'hyperventilation volontaires le débit expiratoire maximum atteint pour un volume pulmonaire donné ainsi que la ventilation maximale (6), sont fonctions décroissantes de la masse volumique (4, 7, 12). Cependant à notre connaissance, ces mesures n'ont que très rarement fait appel aux mélanges He O₂ utilisés à la fois pour diminuer la charge ventilatoire et repousser le seuil de narcose et n'ont jamais été réalisées au cours d'expériences prolongées soumettant les sujets à des pressions élevées pendant plusieurs jours. Dans la mesure où certains effets de la pression en elle-même sur la fonction respiratoire demeurent inexpliqués (1), le contrôle de la mécanique ventilatoire des sujets dans ces conditions se révélait utile. L'intérêt que nous portons depuis dix ans (8) à l'exploration de la mécanique ventilatoire de sujets soumis à différentes conditions écologiques, en particulier l'hyperbarie, explique la participation du LAMAS à l'expérience "Physalie V" conçue par la Compagnie Maritime d'Expertise (COMEX) et le Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO).

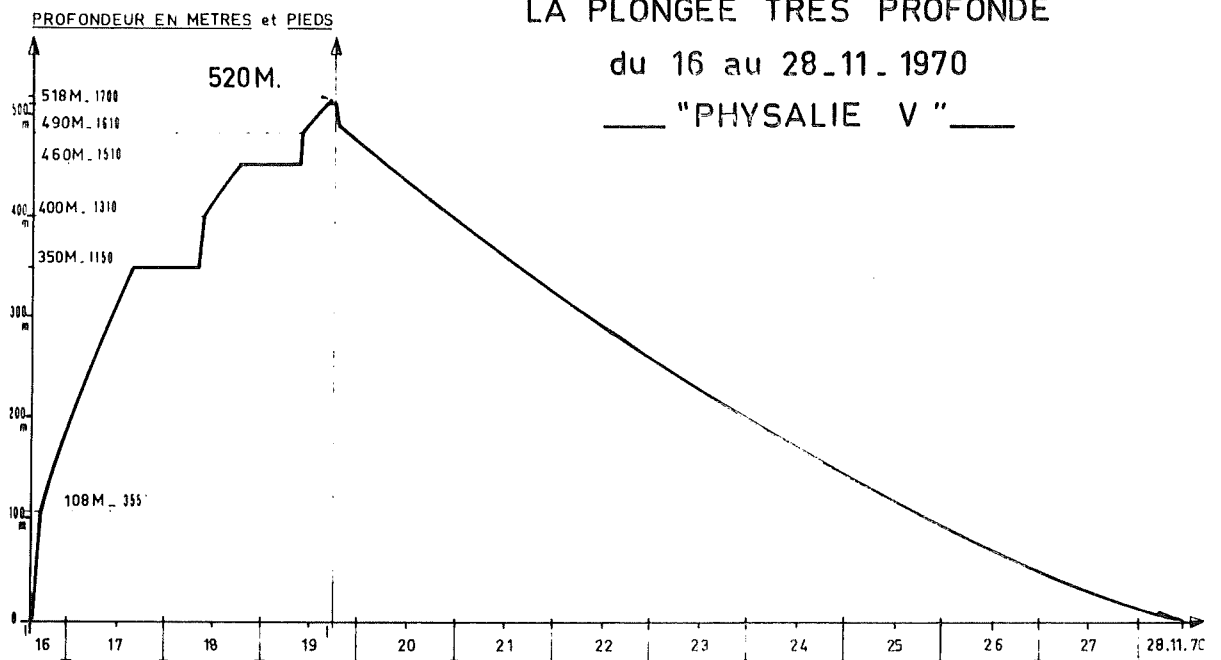
Au cours de "Physalie" les explorations de mécanique ventilatoire ont eu lieu aux niveaux barométriques correspondant aux profondeurs de 120 mètres, 140 mètres, 350 mètres, 460 mètres et 518 mètres de profondeur. La composition et la masse volumique des gaz inspirés à chaque niveau est donnée dans le tableau 1. A noter que, ainsi qu'il est courant dans les atmosphères chargées en Hélium, la température ambiante a toujours été maintenue supérieure à 30° C.

GOMEX - GNEXO

LA PLONGEE TRES PROFONDE

du 16 au 28.11.1970

— "PHYSALIE V" —



Profil de l'expérience PHYSALIE V

FIGURE 1

T A B L E A U I

PROFONDEUR EN M	% O ₂	% N ₂	% He	% CO ₂	Masse Volumique g/l. 31°C
120	3,70	0,55	95,75	0,005	2,69
140	2,92	0,49	96,59	id.	2,96
350	1,12	0,24	98,64	id.	6,32
460	0,88	0,22	98,90	id.	8,08
520	0,78	0,19	99,03	id.	9,04

Composition et masse volumique du mélange gazeux inhalé par les plongeurs aux niveaux où ont été réalisées les explorations de mécanique ventilation. A titre de comparaison on peut noter que la masse volumique de l'air à 31° C et 760 mm Hg est de 1,16 gr./litre et que donc, la profondeur de 520 mètres en atmosphère oxygène hélium était équivalente, en ce qui concerne la masse volumique, à une plongée en Air à 68 mètres.

=====

T A B L E A U II

Profondeurs Sujets	0 mètre Air	130 - 140 m He O ₂	350 m He O ₂	460 m He O ₂	518 m He O ₂
B. R.	0,73	0,70	0,65	0,65	0,48
P. C.	0,88	0,83	0,72	0,68	

Rapports du volume expiré pendant la première seconde d'une expiration forcée, à la capacité vitale (VEMS/CV) relevés sur les deux sujets en fonction de la profondeur.

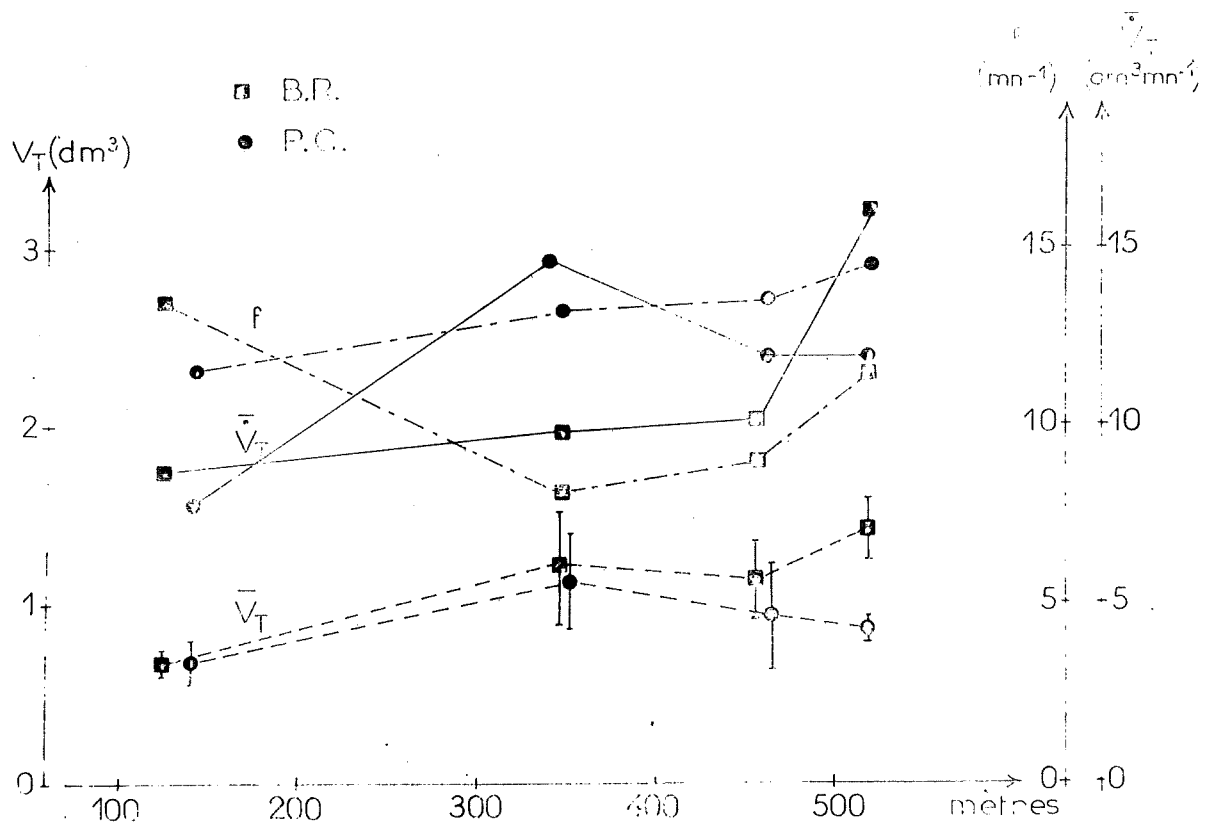
=====

Le protocole expérimental comportait à chaque niveau et pour chacun des deux plongeurs (B.R. et P.C.) deux types d'explorations : ventilation calme et expirations forcées. Dans chaque cas étaient enregistrés : le débit instantané à la bouche V , le volume V et le barogramme oesophagien PLG (pour des raisons d'horaire cette dernière variable, le barogramme oesophagien n'a cependant pas pu être enregistré à 520 mètres). Deux chaînes d'enregistrement complètes correspondant à la ventilation calme et à la ventilation forcée avaient été installées dans le caisson. Pour la ventilation calme : débitmètre de Fleisch n° 1, relié à capteur à mutuelle inductance $ACB \pm 2$ h Pa, la pression oesophagienne étant reçue sur un capteur $ACB \pm 20$ h Pa. Pour la ventilation forcée débitmètre de Fleisch n° 4 relié à un capteur à mutuelle inductance $ACB \pm 2$ h Pa, la pression oesophagienne étant reçue par un capteur $ACB \pm 100$ h Pa. La sonde de pression oesophagienne était constituée d'un ballonnet en latex de 12 cm de long et 4 cm de périmètre relié à un catheter introduit par la narine et positionné dans le 1/3 inférieur de l'oesophage au moment de la mesure. Le volume était obtenu par intégration analogique du débit V . Les grandeurs électriques de sortie de chaînes de mesures étaient reçues sur enregistreur magnétique Ampex SP 300. L'étalonnage des capteurs de pression oesophagienne était effectué avec un manomètre à cadran dûment contrôlé ; l'étalonnage des débitmètres était réalisé grâce à une méthode spécialement mise au point par nous même pour cette expérience et décrite en annexe. Chacun des étalonnage était répété lors de chaque mesure et parfois doublé. Malgré ces précautions tendant à assurer le maximum de sécurité à la mesure tout en réduisant au minimum la tâche des plongeurs sujets et expérimentateurs à la fois, un certain nombre de résultats ont été écartés, car n'offrant pas suffisamment de certitude. Seuls sont rapportés ici ceux que nous avons retenus.

RESULTATS

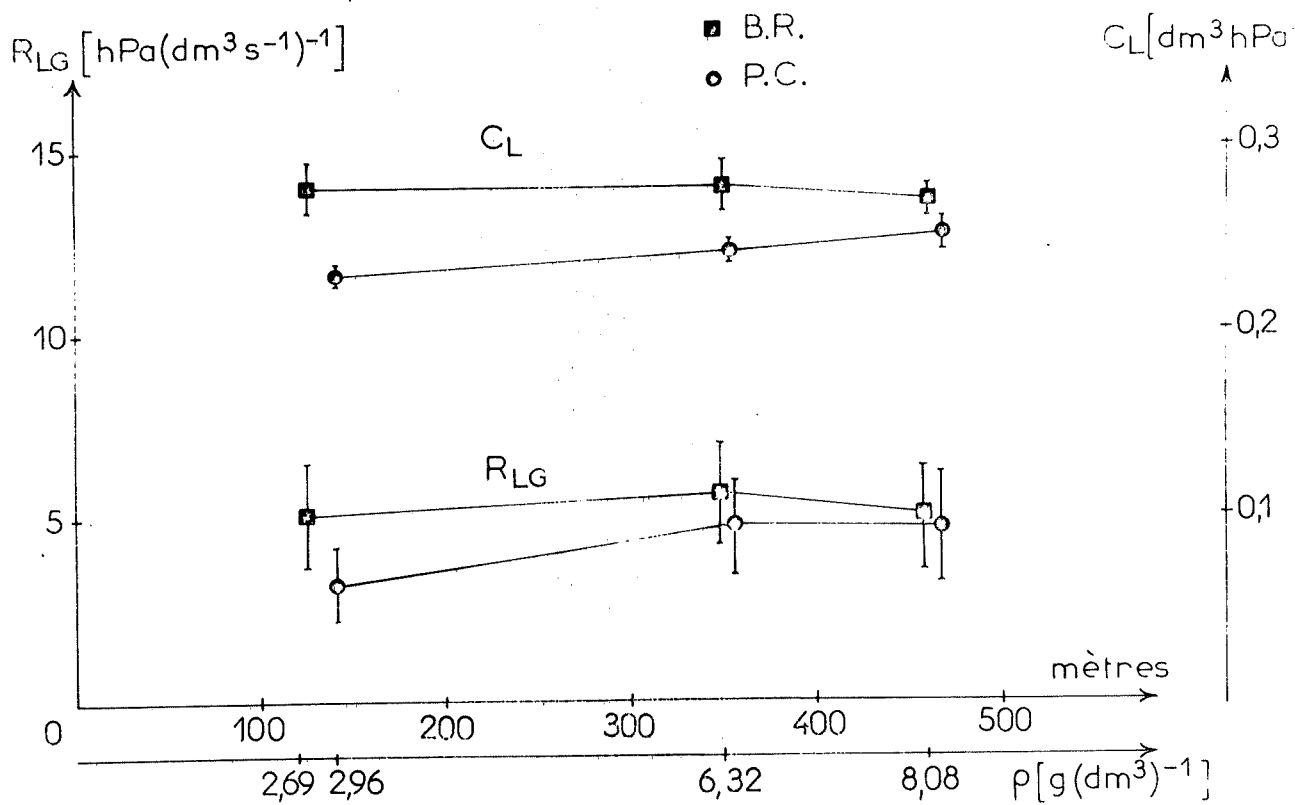
- Respiration calme :

Les données ventilatoires, fréquence, volume courant (moyenne et écart type d'une vingtaine de cycles) et ventilation minute (BTPS) sont rapportés pour les deux sujets dans la figure 2. Deux faits sont à remarquer sur cette figure, c'est d'une part l'aspect général révélant un accroissement relatif de chacun des paramètres en fonction de la profondeur et d'autre part l'irrégularité des données, surtout marquée en ce qui concerne la fréquence respiratoire et la ventilation moyenne.



Données ventilatoires relevées sur les deux sujets B.R. et P.C. en respiration calme. V_T volume courant avec son écart type, \dot{V}_T ventilation, f fréquence. Ces deux dernières données sont rapportées à la minute. Ici comme dans la figure suivante les lignes ne sont tracées entre les points que pour guider les yeux et non pour exprimer une relation en fonction de la profondeur.

FIGURE 2



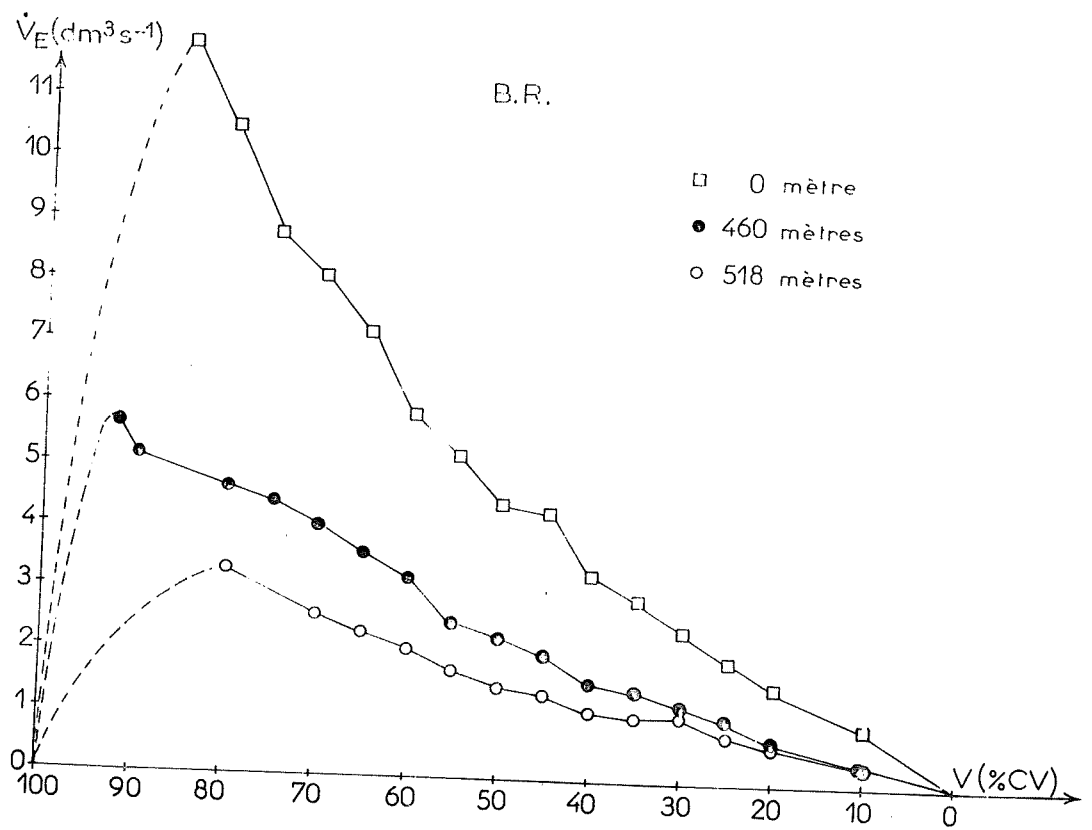
Valeurs des compliances effectives pulmonaires C_L et des résistances pulmonaires totales R_{LG} relevées chez les deux sujets entre 100 et 460 mètres de profondeur fictive. (A pression barométrique normale en Air, $R_{LG} = 3,12 \pm 1$ pour R.B. et $3,87 \pm 1,7$ pour P.C.)

FIGURE 3

La figure 3 rapporte les moyennes et écart types, les paramètres de la mécanique ventilatoire : compliance effective et résistance pulmonaire totale. La compliance effective a été mesurée selon la méthode classique en rapportant le volume courant à la différence de pression oesophagienne mesurée entre les instants de débit nul du cycle, la résistance en rapportant au volume courant l'intégrale en fonction du temps de la différence entre la variation de pression oesophagienne totale et la variation de pression élastique. Ces deux paramètres ont été là aussi mesurés sur une vingtaine de cycles ventilatoires. La compliance effective de valeur assez élevée dans les deux cas, apparaît stable en fonction de la profondeur pour BR très légèrement croissante pour P.C. La valeur moyenne des résistances pulmonaires totales croît sensiblement dans les deux cas. Cette croissance est faible, inférieure à celle que prévoit la loi citée plus haut de proportionnalité à la racine carrée de la masse volumique. Cependant la dispersion des résultats dont témoignent la valeur des écarts types ne permet pas de les distinguer statistiquement de cette loi pour P.C. Bien que n'apparaissant pas sur la figure nous avons toujours relevé des valeurs expiratoires supérieures aux valeurs inspiratoires.

- Expiration forcées :

Nous nous sommes efforcés de mettre en évidence dans cette exploration l'évolution comparée de la dynamique expiratoire en fonction de la pression ambiante. On sait que au cours d'une expiration à vitesse maximum le débit est à chaque instant une fonction du volume, les capacités vitales des deux sujets n'ayant apparemment pas sensiblement variées entre le niveau de la mer et 518 mètres ($5,750 \pm 0,05$ pour B.R. et $5,150 \pm 0,100$ pour P.C.) les débits instantanés ont été rapportés en fonction du pourcentage de la capacité vitale (Fig. 4 et Fig. 5). Les courbes de la figure 4 ont été tracées en reliant les points de débit maximum relevés au cours des quatre ou cinq expirations forcées réalisées à chaque niveau, il s'agit de courbes enveloppe. La figure 5 donne une idée de la dispersion des valeurs relevées. Nous n'y avons fait apparaître pour la netteté du dessin que trois niveaux et avons limité le tracé à la moitié inférieure de la capacité vitale, zone dans laquelle on peut être assuré de l'indépendance du débit relativement à l'effort expiratoire. (L'enregistrement simultané de la pression oesophagienne montrait par ailleurs que ces points se situent sur le plateau de la courbe débit pression à isovolume). Ces courbes débit volume témoignent de la façon la plus nette de la limitation ventilatoire croissante observée en fonction de la profondeur, montrant clairement qu'à volume identique, le débit expiratoire relevé est d'autant plus faible que la pression est plus forte.



Débits expiratoires maximum mesurés en fonction du volume pulmonaire (exprimé en pour cent de la capacité vitale) pour trois niveaux de pression : niveau de la mer : 460 et 518 mètres.

FIGURE 4

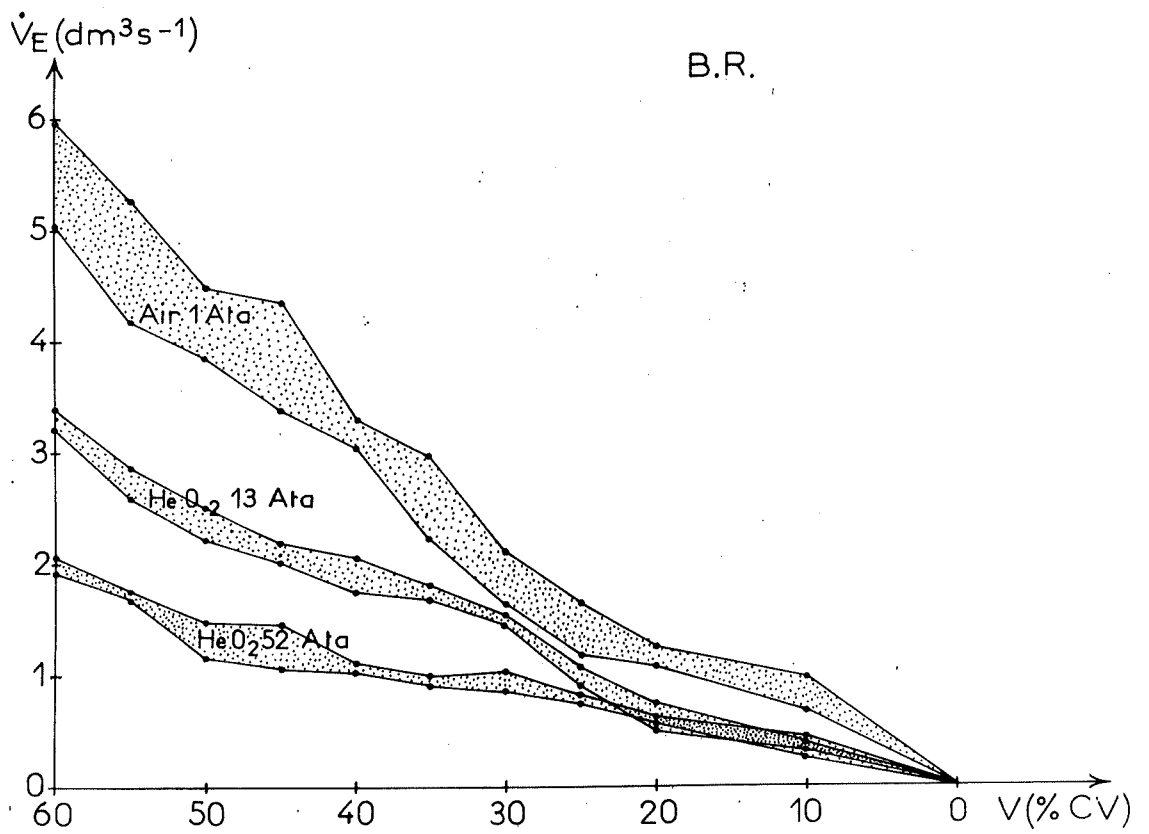


FIGURE 5 : Débits expiratoires maximum mesurés entre 0 et 60 % de la capacité vitale à trois niveaux de pression 1 Ata en Air, 13 Ata He O₂ et 52,8 Ata He O₂. Les zones grises: représentent la dispersion des valeurs.

DISCUSSION

Ces résultats doivent être discutés sous deux aspects : ventilation calme, ventilation forcée.

Les résultats obtenus en ventilation calme pour ce qui concerne les paramètres de la mécanique ventilatoire ne montrent pas de sensible variation, autre que l'accroissement prévisible des résistances. En particulier la classique méthode de mesure de la compliance effective, n'a pas mis en évidence de modification des propriétés élastiques pulmonaires 48 heures après le début de l'expérience dont deux passées à 47 Ata. On pourrait craindre que les résultats de cette méthode dynamique puissent être faussés en excès par l'accroissement de l'inertance des gaz ventilés consécutif à l'augmentation de la masse volumique : masquant une éventuelle diminution de la compliance (9). Le calcul montre aisément qu'il n'en est rien, cet effet compte tenu de la fréquence ventilatoire, de l'amplitude du cycle et de la masse volumique de 8,08 g. par dm³ se traduisant au maximum par une variation de pression à débit nul de 0,2 mb.

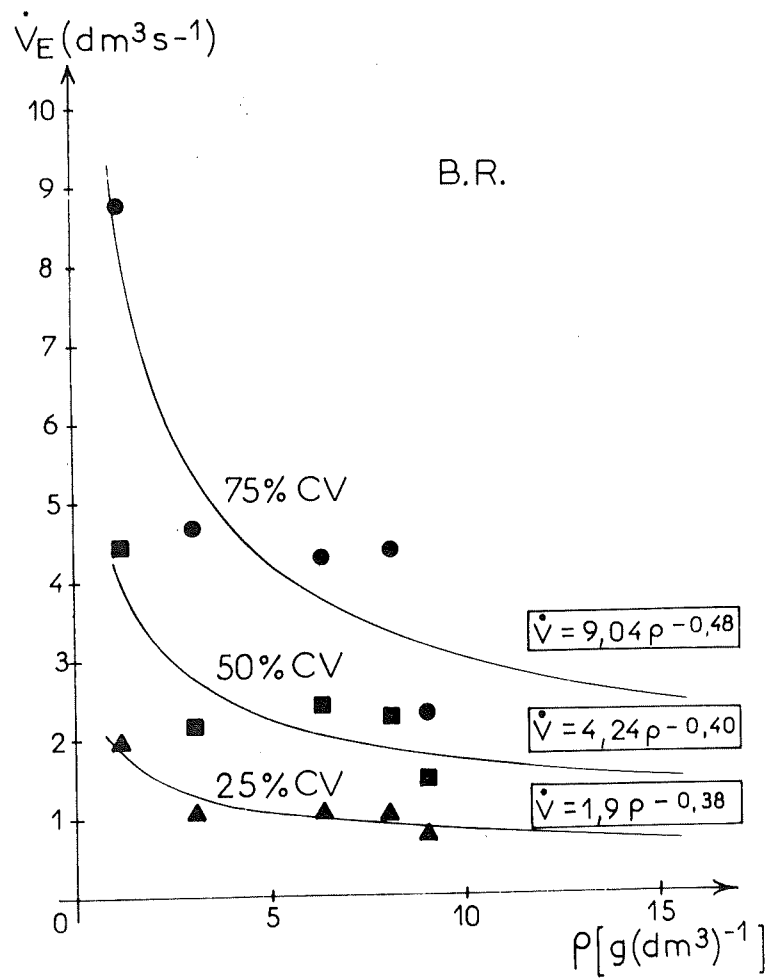
Plus difficile à interpréter sont les variations passagères de ventilation telles que les montre la figure 2. On peut invoquer bien sûr les conditions psychologiques dans lesquelles se trouvaient les sujets au cours de cette plongée record, l'inconfort relatif de leur séjour, les modalités particulières de respiration qu'ont souvent les plongeurs, ces différentes raisons n'apparaissent pas très convaincantes. Nous avons en effet retrouvé un tel phénomène au cours d'une autre expérience (Beluga 1 - COMEX Déc. 1970) se déroulant à 20 Ata dans une sphère de grand volume, conditions éliminant apparemment au moins les deux premières raisons invoquées ci-dessus. En supposant que cette observations ne soit pas fortuite, nous nous contenterons de remarquer que dans cette atmosphère He O₂, maintenue à 31 ou 32° C la ventilation intervient pour une part importante dans l'équilibre thermique des sujets. La convection cutanée est vraisemblablement réduite du fait de la faible différence de température entre la peau et l'atmosphère alors qu'à l'inverse la convection thermique respiratoire proportionnelle à la ventilation S.T.P.D. des sujets est considérablement accrue : une ventilation de 10 litres par minute B.T.P.S. à 50 Ata est en gros égale, ramenée en conditions standards, à 500 litres par minute ce qui pour une différence de température de 1 degré entre gaz inspirés et expirés correspond à la dissipation de 8 watts, soit pratiquement 10 % du Métabolisme de base.

Si l'on ne voit pas très bien comment chez le plongeur la ventilation pulmonaire peut être un élément régulateur de la thermolyse on peut par contre en concevoir les effets.

Par opposition à la faible perturbation apportée par la pression à la ventilation de repos, les manoeuvres d'expiration forcée montrent l'effet majeur de l'accroissement de la masse volumique sur la dynamique ventilatoire : la limitation du débit expiratoire ainsi qu'en témoignent le tableau 2 et les figures 4 et 5. Si on se réfère aux figures 4 et 5 on s'aperçoit que par exemple pour un volume pulmonaire correspondant à 50 % de la capacité vitale, le débit maximum expiratoire est de l'ordre de 4 litres/seconde, en air, au sol, 2,3 litres/seconde à la profondeur de 120 mètres et 1,3 de litre seconde à 518 mètres, les deux dernières valeurs étant cependant obtenues en He O₂. Quel que soit l'effort expiratoire développé par le sujet le débit expiratoire instantané ne pourra pas dépasser ces chiffres, pour ce niveau de volume, raisonnement qui est applicable pour chaque niveau de volume entre 0 et 60 % de la capacité vitale. Or au cours de l'exercice musculaire, tel que sont amené à l'effectuer les plongeurs au travail, la ventilation croît en fonction des besoins métaboliques et corrélativement le débit instantané expiratoire. Cette croissance étant limitée au niveau décrit par les relations débit volume des courbes 4 et 5, l'exercice musculaire sera limité par insuffisance ventilatoire à des niveaux d'autant plus faibles que la pression, donc la masse volumique, sera plus élevée.

Les figures 6 et 7 donnent pour différents volumes pulmonaires les débits maximum expiratoires que nous avons mesurés sur B.R. et P.C. en fonction de la masse volumique du mélange He O₂ inspiré. Ces résultats peuvent être comparés à ceux que nous avons obtenus par ailleurs (10) au cours de l'exercice musculaire : le débit maximum expiratoire est de l'ordre de 1,5 litre par seconde pour une puissance de 100 watt. En supposant que ce débit intervienne à un niveau de volume correspondant à 50 % de la capacité vitale, ce qui coïncide en gros avec l'observation courante on voit selon les chiffres cités plus haut, que 100 watt serait pratiquement l'exercice musculaire maximum tolérable en régime stable à 500 mètres de profondeur en He O₂.

Le plongeur pourra pallier cette difficulté en ventilant plus haut dans sa capacité vitale, situation qu'adopte l'emphysémateux, mais il est difficile de prévoir si cette modalité respiratoire qui modifie la statique pulmonaire et les échéances est longtemps tolérable. Compte-tenu des variations individuelles, autour des chiffres que nous rapportons, et des adaptations dont nous venons de parler, on peut admettre que 500 mètres est la profondeur à partir de laquelle sera rencontré en atmosphère He O₂ la limitation ventilatoire à l'exercice musculaire.



Relation entre le débit maximum expiratoire relevé à différents niveaux de la capacité vitale et la masse volumique du mélange inspiré (Air ou He O₂) pour le sujet B. R. Les lignes sont représentatives de la fonction puissance $\dot{V} = f(\rho^x)$ dont l'expression analytique est donnée en cartouche.

FIGURE 6

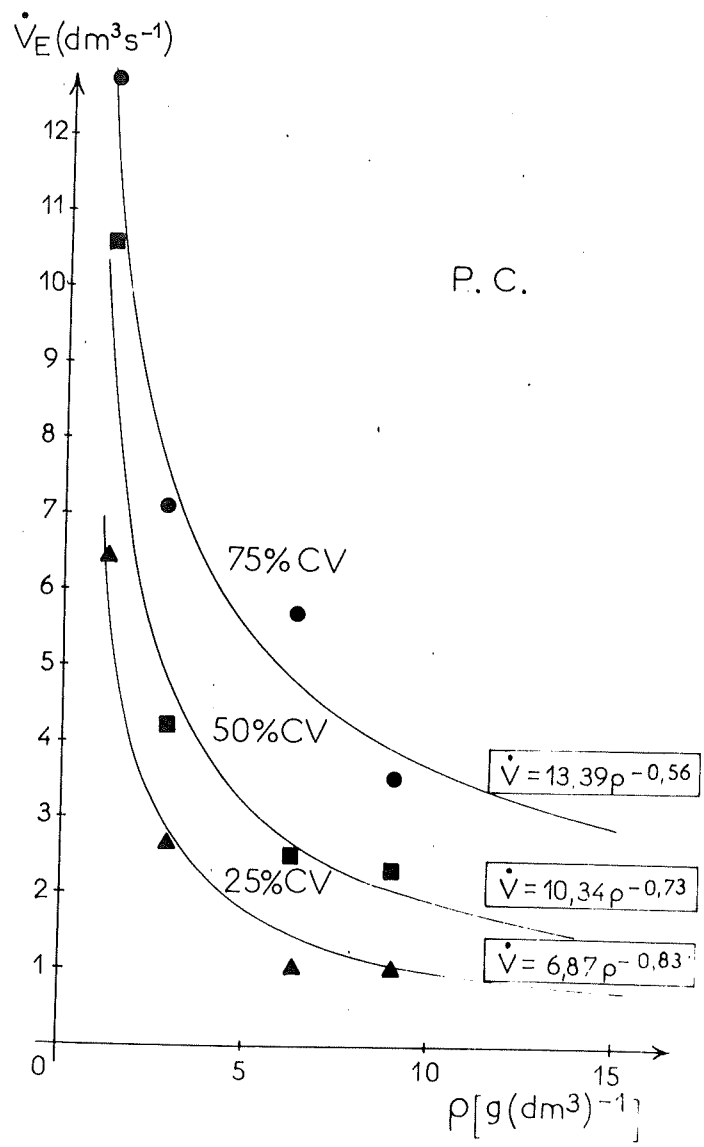


FIGURE 7 : Meme graphique que celui de la figure 6 pour le sujet P.C.

Ces données se trouvent en bonne concordance avec celles que nous avons prévu par extrapolation à partir de mesures réalisées au cours d'exercice musculaire effectué en air entre 1 et 3 Ata (10). Ils sont en faveur d'une limitation purement ventilatoire de l'exercice musculaire en plongée, indépendante de toute considération énergétique ventilatoire.

CONCLUSIONS

Dans les limites des méthodes d'étude mises en oeuvre, l'exploration de la mécanique ventilatoire des sujets participant à l'exercice Physalie V a montré :

- Qu'en respiration calme entre le sol et 47 Ata aucune perturbation sensible ne pouvait être mise en évidence autre qu'un accroissement relativement faible des résistances pulmonaires totales. En particulier les propriétés élastiques pulmonaires ne se sont pas modifiées.
- Qu'en expirations forcées l'augmentation de la pression entraînait, à volume égal, une limitation croissante du débit maximum. L'évolution de ce phénomène permet de penser que l'exercice musculaire peut connaître à partir de 500 mètres de profondeur en atmosphère He O₂, une limitation d'origine ventilatoire.

BIOLOGIE

PHYSALIE V a comporté peu d'investigations biologiques. Nous nous sommes attachés à un seul contrôle urinaire, celui de l'élimination de l'acide vanillylmandélique, métabolite des catécholamines (voir tableau, page suivante).

L'élimination des catécholamines (adrénaline et noradrénaline) avait été mesurée par BUHLMANN et coll., chez les trois plongeurs suisses de la 300/350 mètres 1969, à ALVERSTOCKE. Les auteurs avaient noté une nette augmentation du taux de ces hormones, juste avant la compression et le premier jour à 31 ATA, suivie d'une diminution les jours suivants et au cours de la décompression. Il s'agissait, sans doute, de la traduction hormonale, bien connue, d'un phénomène de stress, stress vraisemblablement émotif chez trois plongeurs pourtant fort aguerris et remarquablement résistants au S. N. H. P..

Chez nos deux plongeurs, au cours de PHYSALIE V, les variations du taux de V. M. A. éliminé, dans les limites de la normale, furent modérées et non significatives, malgré l'existence d'un S. N. H. P. -à vrai dire lui-même modéré. Ces constatations pourraient suggérer l'absence de corrélations entre le S. N. H. P. et le stress.

Dans le sang, les possibilités de prélèvement étant limitées,

.../...

(Les jours (J - 4), (J - 3), J2, J3, J4, J5, J9 et J13)

Chrono (h) et Profondeurs (m)	Volume urines (ml)		V. M. A. mg/L		V. M.A. mg/ 8 h			V. M. A. mg/ 24 h		
	P. C.	B. R.	P. C.	B. R.	P. C.	B. R.	Moy.	P.C.	B.R.	Moy.
(J - 4) 14 - 22 Confinement	630	560	2	4	1,3	2,4	1,85	3,3	5,4	4,35
22 - 6	270	380	3	4	0,8	1,5	1,15			
(J - 3) 6 - 14	400	300	4	5	1,2	1,5	1,35			
(J2) 14 - 22 340 - 350 22 - 6 Palier 350	300	540	4,7	4,6	1,4	2,5	1,95	6,4	5,2	5,8
(J3) 6 - 14 350 - 440	710	310	3,6	3,3	2,5	1	1,75			
(J3) 14 - 22 440 - 460 22 - 6 Palier à 460	700	250	3,6	6,7	2,5	1,7	2,1			
(J4) 6 - 14 460 - 505	500	400	4	5,4	2	2,2	2,1	4,2	5,4	4,8
(J4) 14 - 22 505 - 486 22 - 6 486 - 460	300	250	4	4	1,2	1	1,1			
(J4) 6 - 14 460 - 505	250	280	4	8	1	2,2	1,6			
(J4) 14 - 22 505 - 486 22 - 6 486 - 460	260	325	3,9	5,2	1	1,7	1,35	4,4	5	4,7
(J5) 6 - 14 460 - 433	450	275	4,8	6	2,2	1,6	1,9			
(J5) 6 - 14 460 - 433	600	400	2	4,4	1,2	1,7	1,45			
(J9) 200 - 150	1500	950	1,2	2,4				1,8	2,3	2,05
(J13) Surface à midi	1000	1700	2,4	2				2,4	3,4	2,9

nous pûmes, seulement, dénombrer les hématies et les plaquettes (planches suivantes).

La diminution du nombre des hématies au mm^3 fut assez marquée, chez les deux sujets, en cours de décompression, environ 15 % en moyenne, et cela sous une PiO_2 de 0,5 bar.

D'après ce que nous avons observé dans d'autres expériences de plongée à saturation, cette hypoglobulie modérée paraît davantage liée au confinement et à l'activité réduite des plongeurs qu'à la PiO_2 relativement élevée. Le retour à la normale fut, d'ailleurs, rapide.

La chute du nombre des plaquettes, régulière et marquée tout au long de la décompression, pour atteindre environ 50 % en moyenne à la sortie, est d'une interprétation délicate. Toutefois, il est actuellement permis de penser que cette hypoplaquettose de décompression est liée à la formation de bulles infracliniques les premiers jours et qui se révèleront, ensuite, par des symptômes ostéo-articulaires ou musculaires, plus ou moins marqués, dans les derniers mètres.

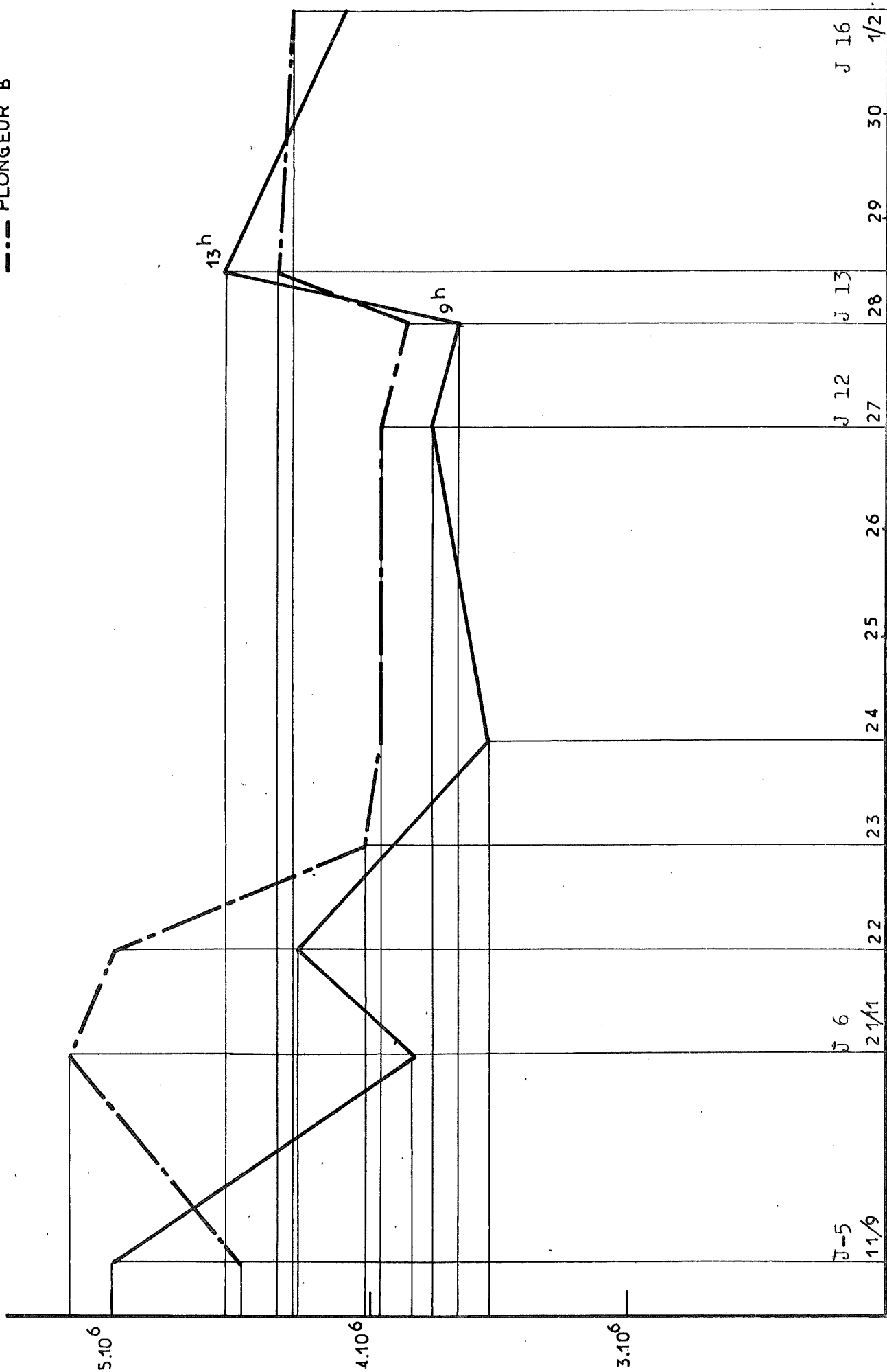
On retrouve, d'ailleurs, cette hypoplaquettose associée à diverses altérations de la crase sanguine dans les cas graves de Maladie de la Décompression.

PHYSALIE V

HEMATIES

— PLONGEUR A

- - - PLONGEUR B

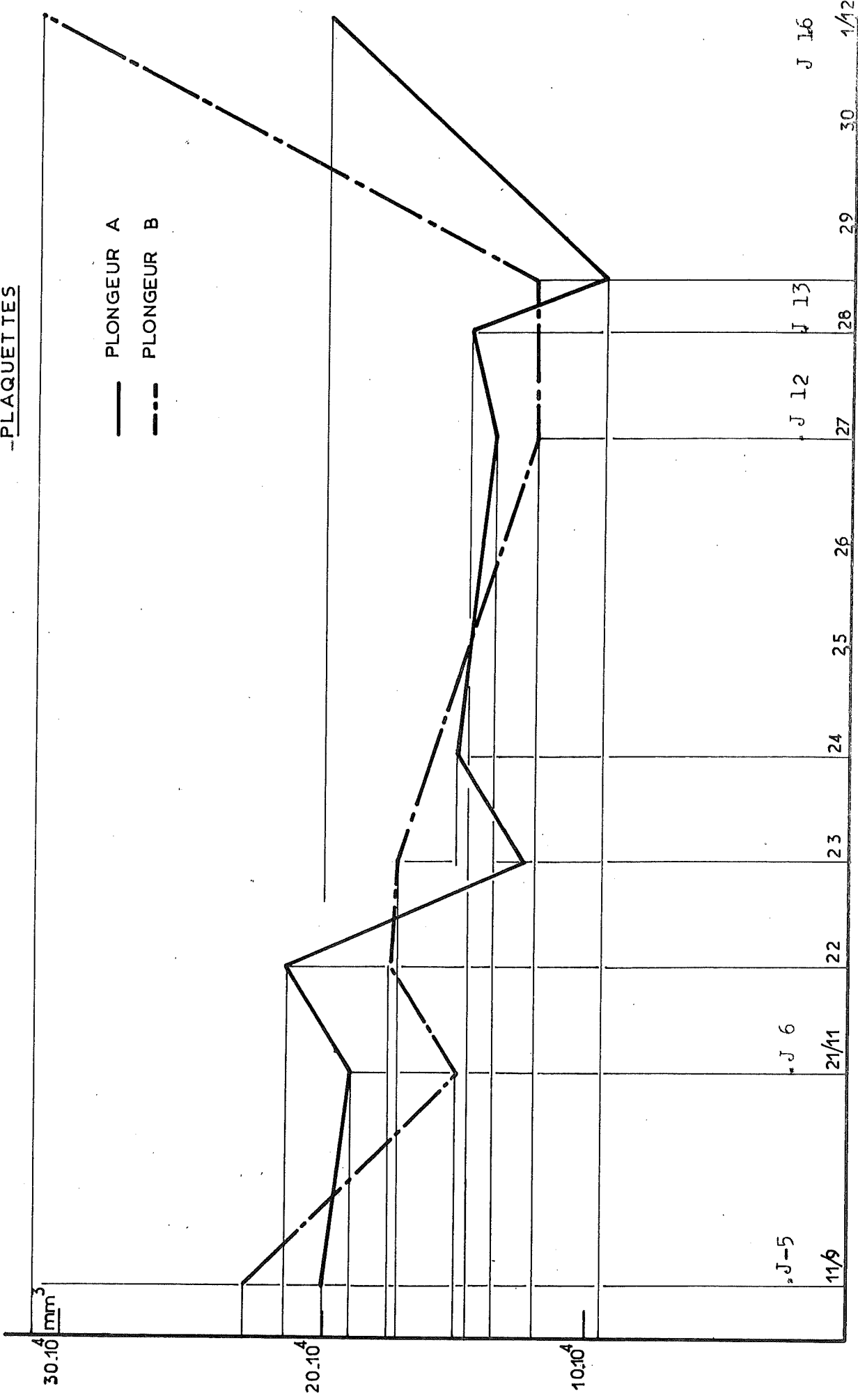


PHYSALIE V

PLAQUETTES

— PLONGEUR A

- - - PLONGEUR B



leurs réactions émotives furent faibles, ainsi qu'en témoignent leurs taux -normaux- d'acide vanillylmandélique urinaire.

Ils présentèrent un "No joint juice syndrome" précoce dans son apparition et sa disparition, modéré dans l'ensemble et cela grâce, sans doute, à la compression relativement lente.

A partir de 300 mètres, ils commencèrent à ressentir une légère gêne respiratoire par obstruction nasale. Attribué au début à un coryza qui ne fit pas sa preuve, cet enchifrènement, égal chez les deux sujets, est semblable à celui dont s'étaient plaints les deux plongeurs anglais de la 1500 ft. Nous ne pensons pas qu'il soit dû à la densité du mélange respiré car nous ne l'avons jamais observé sous 10 ATA d'azote, au cours des expériences de narcose. Il disparut à 400 mètres à la remontée.

Au fond, P. C. et B. R. se sentaient bien, loin d'avoir atteint leurs limites, mais ils soutenaient mal le test d'effort, ni modéré soit-il (40 à 60 watts). Ils avaient l'impression d'une fatigabilité inhabituelle par "viscosité musculaire", sans essoufflement. Il est difficile d'affirmer que le confinement par trop restrictif n'est pas à l'origine de cette déficience. Par ailleurs, ils présentèrent, comme les plongeurs anglais, des secousses musculaires soudaines, isolées, rares, mais assez inhabituelles pour qu'ils en aient conservé le souvenir.

Du point de vue neurologique, le fait clinique visible fut le tremblement d'une fréquence moyenne de 10 cycles/seconde. Tremblement identique à celui que BENNETT a décrit dès 1965, que l'on qualifia ensuite d'"Hélium Tremor" et que nous avons retrouvé, en 1968, lors de PHYSALIE III. L'important était de l'objectiver en le mesurant et en l'enregistrant; nous l'avons fait et cela nous a permis de constater qu'il s'était accentué au cours de la compression de 460 à 490 mètres et qu'il atteignait son maximum à 490 mètres chez B. R. (+ 600 %), à 518 mètres chez P. C. (+ 400 %).

leurs réactions émotives furent faibles, ainsi qu'en témoignent leurs taux -normaux- d'acide vanillylmandélique urinaire.

Ils présentèrent un "No joint juice syndrome" précoce dans son apparition et sa disparition, modéré dans l'ensemble et cela grâce, sans doute, à la compression relativement lente.

A partir de 300 mètres, ils commencèrent à ressentir une légère gêne respiratoire par obstruction nasale. Attribué au début à un coryza qui ne fit pas sa preuve, cet enchifrènement, égal chez les deux sujets, est semblable à celui dont s'étaient plaints les deux plongeurs anglais de la 1500 ft. Nous ne pensons pas qu'il soit dû à la densité du mélange respiré car nous ne l'avons jamais observé sous 10 ATA d'azote, au cours des expériences de narcose. Il disparut à 400 mètres à la remontée.

Au fond, P. C. et B. R. se sentaient bien, loin d'avoir atteint leurs limites, mais ils soutenaient mal le test d'effort, si modéré soit-il (40 à 60 watts). Ils avaient l'impression d'une fatigabilité inhabituelle par "viscosité musculaire", sans essoufflement. Il est difficile d'affirmer que le confinement par trop restrictif n'est pas à l'origine de cette déficience. Par ailleurs, ils présentèrent, comme les plongeurs anglais, des secousses musculaires soudaines, isolées, rares, mais assez inhabituelles pour qu'ils en aient conservé le souvenir.

Du point de vue neurologique, le fait clinique visible fut le tremblement d'une fréquence moyenne de 10 cycles/seconde. Tremblement identique à celui que BENNETT a décrit dès 1965, que l'on qualifia ensuite d'"Hélium Tremor" et que nous avons retrouvé, en 1968, lors de PHYSALIE III. L'important était de l'objectiver en le mesurant et en l'enregistrant; nous l'avons fait et cela nous a permis de constater qu'il s'était accentué au cours de la compression de 460 à 490 mètres et qu'il atteignait son maximum à 490 mètres chez B. R. (+ 600 %), à 518 mètres chez P. C. (+ 400 %).

Il était généralement accompagné d'une dysmétrie facile à évaluer -ainsi que le tremblement en fin d'acte- par les épreuves du fleuret et du doigt-au-nez. Plus marquée chez B. R., la dysmétrie était aussi plus nette à 460 mètres qu'au fond.

Tout cela n'a pas beaucoup gêné l'activité manuelle, mais le Test des cibles témoigne, quand même, d'un déficit mesurable de la précision et de la vitesse de l'acte (percussion de deux cibles à la fréquence maximum). Entre 250 mètres à la descente et 350 mètres à la remontée, ce déficit est en moyenne de 20 % ; détérioration identique à celle de la dextérité manuelle mesurée par le test des chevilles.

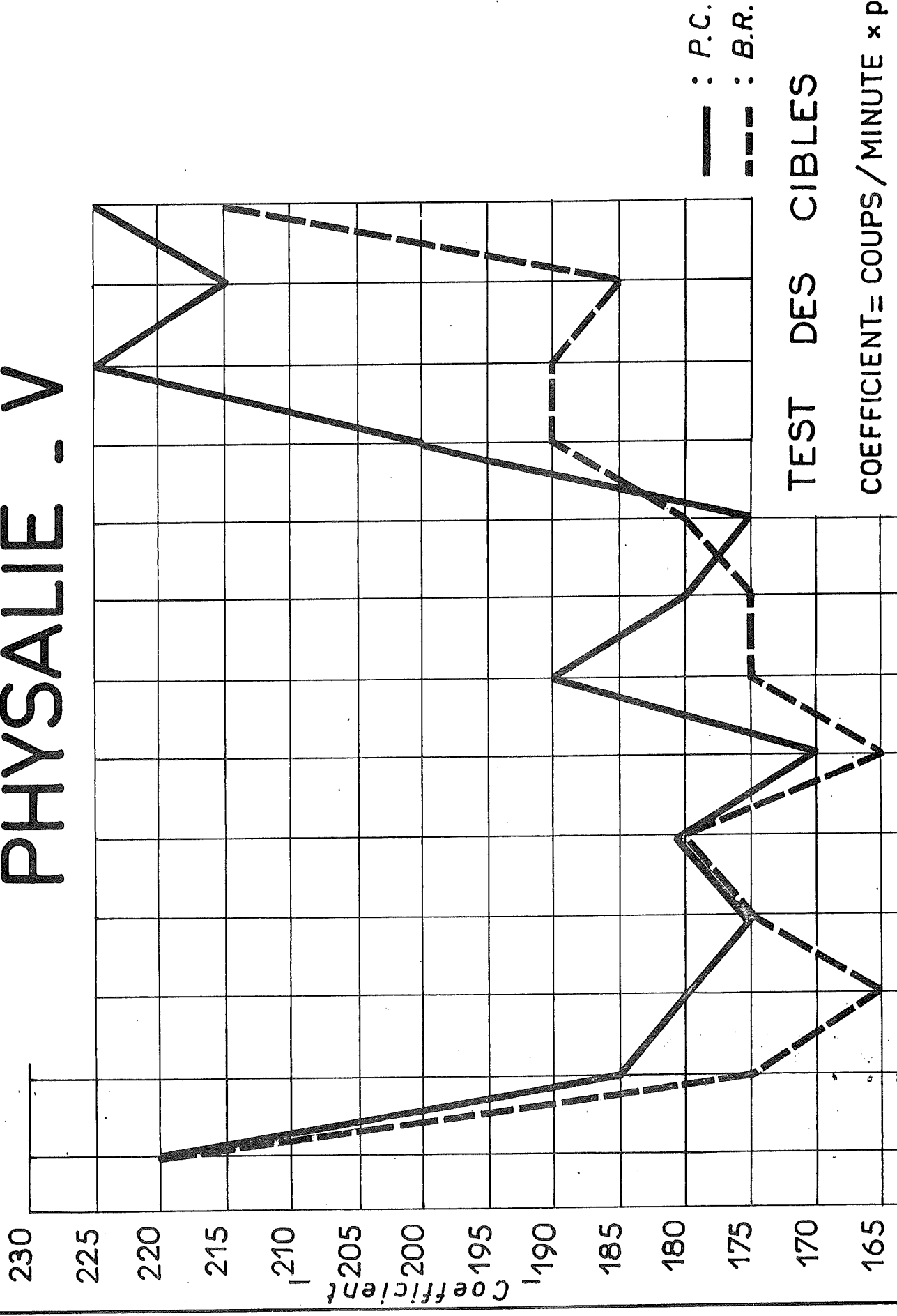
En ce qui concerne les activités électroencéphalographiques, leur modification essentielle consista en l'augmentation, à partir de 300-350 mètres des fréquences thêta, mise en évidence dès 300 mètres, surtout pour les spectres de puissance, et visible sur les tracés E. E. G. à partir de 350-400 mètres. Ces activités thêta ont augmenté en quantité après chaque compression à 1 m/min de 350 à 400 mètres et de 460 à 490 mètres, mais en aucun cas le degré d'intensité rencontré lors de la plongée "PHYSALIE III" n'a été atteint.

La comparaison fine avec les résultats électrographiques de l'expérience anglaise à 457 mètres est un peu délicate, le choix des dérivations E. E. G. étant différent : 3 dérivations explorant l'ensemble de l'hémisphère droit pour "PHYSALIE V", une dérivation vertex-occipitale gauche pour la 1500 ft, ce qui nous prive dans ce dernier cas de renseignements sur l'évolution des activités E. E. G. dans les régions antérieures.

Néanmoins, les deux expériences se recoupent. On y trouve :

- l'apparition d'une activité EEGraphique thêta, renforcée par les compressions rapides, visible chez tous les sujets, parfois accompagnée d'une augmentation des fréquences delta.
- la dépression des autres activités (alpha et bêta).

PHYSALIE - V



— : P.C.
- - - : B.R.

TEST DES CIBLES

COEFFICIENT = COUPS / MINUTE x pr

-Mètres. 0 155 250 300 370 420 480 516 490 400 250 155 0 - Profondeur -

Si ces phénomènes n'ont pas regressé pendant les paliers d'une durée de 16 heures à 350 mètres et 460 mètres, c'est que le temps nécessaire pour obtenir une amélioration est peut-être plus long. (24 heures pour BENNETT).

Ces changements EEGraphiques ont regressé pendant la décompression et sont revenus à des niveaux proches de la normale après 300 mètres, c'est-à-dire à leurs profondeurs d'apparition. Peut-on invoquer, dans ce cas le seul effet de la compression ? ...

L'étude des modifications de l'organisation du sommeil permet d'aborder le problème sous un autre angle. En effet, si les modifications sont peu importantes dans leur ensemble et tendent vers un allègement du sommeil, elles deviennent relativement nombreuses au cours des deux nuits, J 3 et J 4, passées aux plus grandes profondeurs.

C'est également au cours de ces mêmes nuits que les deux plongeurs ont fait des rêves de lévitation d'une similitude assez étonnante exprimant le même trouble psychique. A noter que ces deux nuits étaient la dernière de la descente et la première de la remontée : ici encore, il est difficile d'invoquer le seul effet de la vitesse de compression.

Les épreuves psychométriques ont montré une diminution de l'efficienc sensorimotrice, comparable chez les deux sujets à 518 mètres et perceptible dès 350 mètres.

Les tests d'efficienc intellectuelle ont présenté, également, quelques modifications, mais la diminution des performances était surtout enregistrée chez un plongeur (B. R.) ; il s'agit de celui chez lequel la dextérité manuelle était détériorée le plus precocement (à 350 mètres) mais qui présentait le moins de modifications EEGraphiques (absence de fréquence delta, contrairement au sujet P. C.).

Il n'est pas exagéré de considérer comme un fait important le renforcement des activités de fréquence θ à l'E. E. G., enregistré au cours des tests, lorsque ceux-ci révélaient une baisse de l'efficacité sensorimotrice.

L'interprétation du phénomène est délicate, mais il est révélateur d'un trouble circulatoire ou métabolique cérébral, sans doute lié aux hautes pressions d'hélium dissous mais dont nous ne connaissons pas encore le mécanisme.

Du point de vue cardio-vasculaire, pas d'anomalie objectivable : régularité du rythme et de la tension artérielle. La bradycardie qui va s'accroissant (surtout chez B. R.) au cours d'une "remontée" particulièrement longue en hyperoxie est certainement nuisible à la désaturation.

Nous en avons tenu compte dans le calcul de la décompression ; peut-être pas tout-à-fait assez. Aussi, avons-nous l'intention de serrer de plus près le déficit de perfusion qui l'accompagne et de mieux quantifier le phénomène, pour qu'il intervienne de façon plus précise dans nos calculs de tables, en vue d'une sécurité accrue.

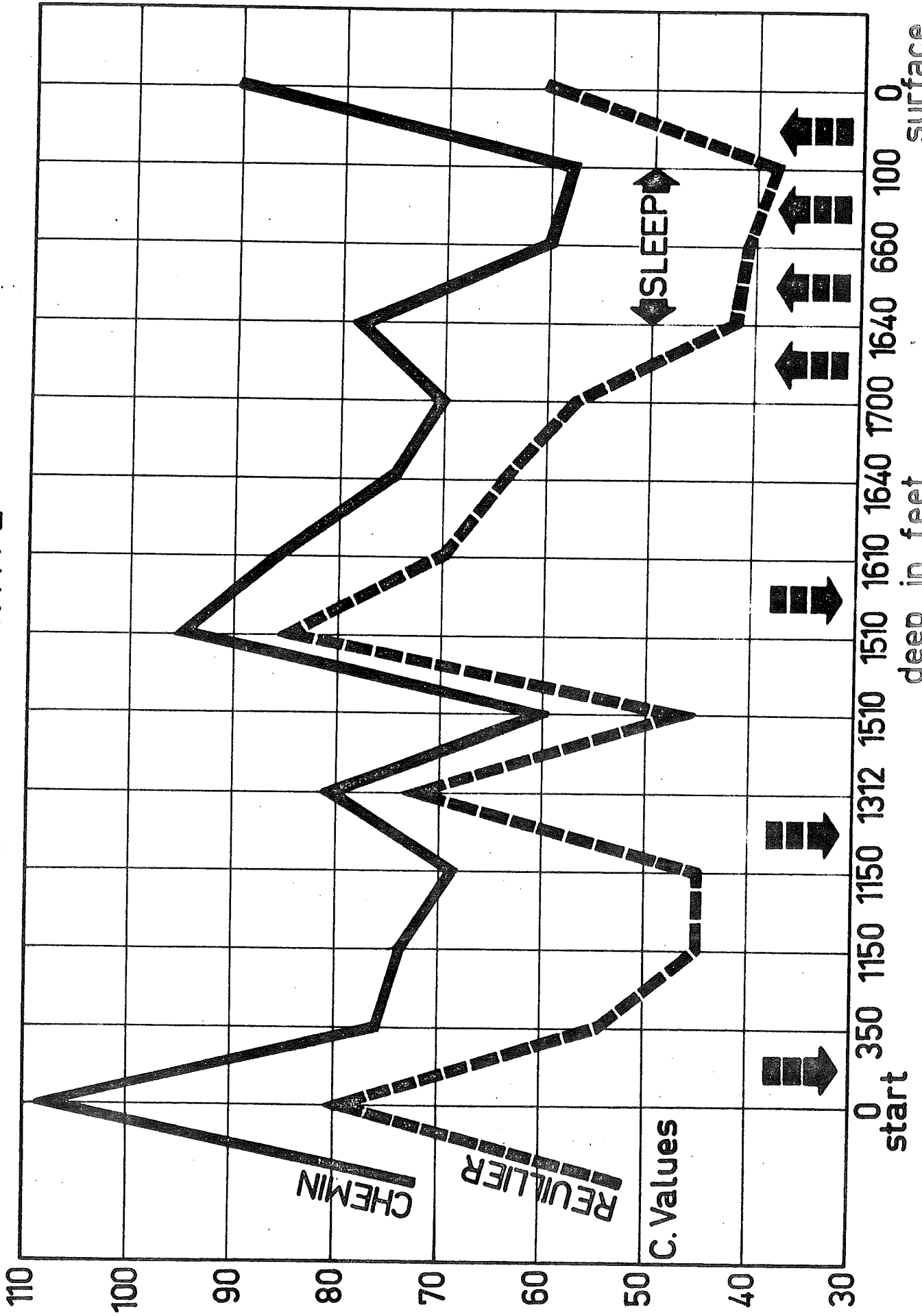
Nous avons, dès 1966, opéré de la sorte pour les plongées profondes d'intervention à l'héliox. Après avoir évalué la bradycardie de la remontée sous mélanges hyperoxiques et O_2 pur, nous avons fait entrer cette donnée dans le calcul des tables. Ce procédé a rendu celles-ci parfaitement opérationnelles. Leur sécurité se s'est pas démentie depuis 5 ans sur les chantiers.

De l'étude de la mécanique ventilatoire, nous ne retiendrons ici que la limitation du débit maximum en respiration forcée : l'évolution de ce phénomène pouvant être un facteur limitant de l'effort musculaire à partir de 500 mètres de profondeur.

P. HYSALIE V

HEART RATE

b./mn



Après "PHYSALIE III" et la "DIVE 1500 ft", "PHYSALIE V" confirme l'existence du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions.

L'apparition, l'évolution, la gravité de ce S. N. H. P. paraissent dépendre, bien évidemment chez un sujet donné, de trois ordres de facteurs que l'on peut essayer d'évaluer de la façon suivante :

A - La profondeur :

- autour de 400 mètres : 1
- autour de 500 mètres : 2
- autour de 600 mètres : 3

B - Le mode de compression :

- courbe lente, du genre Physalie V : 1
- compression à paliers : 2
- compression rapide ou inadéquate : 3

C - La susceptibilité individuelle :

- sujet peu sensible : 1
- sujet sensible : 2
- sujet très sensible : 3

Il sera possible de nuancer jusqu'à la demi-unité. Ainsi, on pourra coter 1,5 pour 450 mètres et aussi 1,5 pour un sujet relativement sensible.

A partir de ces éléments, il sera permis de mesurer le degré S d'intensité du syndrome, selon la formule :

$$S = A + B + C - 3$$

Nous aurons ainsi =

- pour S = 1..... un syndrome atténué mais décelable.
- pour S = 2..... un syndrome net mais supportable
- A S = 3..... il sera sérieux et gênant (probablement et incompatible avec une activité efficace).
- pour S = 4..... le S. N. H. P. sera en train d'acquérir un caractère de gravité dont nous ignorons le pronostic.

Ce procédé d'évaluation a pour seul avantage d'être pratique et de permettre une objectivation du syndrome en quatre degrés (S1-S2-S3-S4), faisant intervenir ses divers facteurs dans des proportions variables. Il ne doit aucunement prétendre à la rigueur mathématique et on ne saurait valablement l'utiliser qu'en admettant la marge d'erreur propre à toute quantification en médecine.

Nous pouvons l'appliquer à quelques-uns des cas observés, trois en particulier :

1er cas : sujet R. V. dans PHYSALIE III

- A (365 m, proche de 400 m)..... 1
- B (compression rapide)..... 3
- C (sujet sensible)..... 2

$$S = (1 + 3 + 2) - 3 = 3$$

Or, S3 = Syndrome sérieux et gênant.

2ème cas : Sujet P. S. dans la "DIVE 1500 ft"

- A (457 mètres)..... 1,5
- B (compression à paliers)..... 2
- C (sujet relativement sensible)..... 1,5

$$S = (1,5 + 2 + 1,5) - 3 = 2$$

Or, S2 = Syndrome net mais supportable.

3ème cas : Sujet P. C. dans PHYSALIE V

- A (518 m, proche de 500 mètres)..... 2
- B (compression étudiée)..... 1
- C (sujet peu sensible)..... 1

$$S = (2 + 1 + 1) - 3 = 1$$

Or, S1 = Syndrome atténué mais décelable.

Il est évidemment difficile d'affirmer que la profondeur de 600 mètres correspond à A3, mais, par ailleurs, il faut prévoir l'utilisation de sujets qui, malgré leur aptitude apparente se révéleront comme affectés d'une sensibilité C3 au S. N. H. P.. C'est pourquoi plus nous descendrons profond, plus la prudence s'imposera et plus la sécurité des plongeurs dépendra de la mise en oeuvre du maximum de moyens propres à détecter non seulement le seuil du S. N. H. P., mais aussi les signes annonciateurs de sa période critique C4 - que nous souhaitons ne jamais avoir à observer chez l'Homme.

BIBLIOGRAPHIE

- BENNETT (P. B.)
Some physiological measurements during human saturation diving to 1500 feet.
Troisièmes journées internationales d'Hyperbarie et de Physiologie Subaquatique - Marseille - juin 1970 - Doin Editeur - Paris (sous presse)
- BENNETT (P. B.)
Performance Impairment in Deep Diving due to Nitrogen, Helium, Neon and Oxygen - In proceeding of the Third Symposium on Underwater Physiology - The William and Wilkins Cy. Baltimore 1967 - p. 327-340.
- BENNETT (P. B.)
Simulated oxygen-helium saturation Diving to 1500 feet and the Helium Barrier - J. of the R.N. Scientific Service - 1971 - 26 - n° 2 - 91 à 106.
- BRAUER (R. W.) - DIMOV (S) - FRUCTUS (X. et P.) - GOSSET (A) - NAQUET (R)
Syndrome neurologique et électrographique des hautes pressions.
Rev. Neurol. Paris 1969 - 121-264-265.
- BUHLMANN (A.A.) - MATHYS (H) - OVERRATH (G) - BENNETT (P. B.) - ELLIOTT (D.H.) - GRAY (S. P.)
Saturation exposures at 31 ATA in an oxygen helium atmosphere with excursion to 36 ATA - Aerospace Medicine 1970-41-394-402.
- CHOUTEAU (J) - BIANCO (V) - ORIOL (P) - COULBOY (R) - AQUADRO (C.F.) - ALINAT (J) - ANDRAC (C)
Expérimentation animale et humaine de vie prolongée en atmosphère oxygène-hélium - Technologie et résultats biologiques 1967 - A.A.F. Tome VIII n° Spécial I.
- COMEX
Janus II (Synthèse et Conclusions) - 1970 - rapport ELF/C.N.E.X.O.
- DEPARTMENT OF NAVAL PHYSICAL RESEARCH MINISTRY OF DEFENSE - GREAT BRITAIN
Interim Report on some Physiological studies during 1500 Ft Simulated Dive - R N P L - Report n° IR 1/70

- DEPARTMENT OF NAVAL PHYSICAL RESEARCH MINISTRY OF DEFENSE - GREAT BRITAIN

Experimental observations on men at pressures between 4 bars (100 ft) and 47 bars (1500 ft) - R N P L - Report n° 1-71

- FRUCTUS (X)

Le Syndrome Nerveux des Hautes Pressions (S.N.H.P.) - Troisièmes journées internationales d'hyperbarie et de Physiologie Subaquatique - Marseille - juin 1970 - Doin Editeur - Paris (sous presse)

- FRUCTUS (X)

Extreme pressure exposures of men to helium pressures equivalent to 1700 feet of sea water - Undersea Aerospace Symposium - Aerospace Medical Association - Houston - avril 1971

- FRUCTUS (X)

Adaptation de l'homme aux hautes pressions - L'Evolution Médicale Paris (sous presse)

- FRUCTUS (X) et FRUCTUS (P)

Programme de recherches sur l'utilisation de divers mélanges gazeux pour les plongées très profondes - C. E. H. Comex - Marseille 1968 -

- FRUCTUS (X) - VIGREUX (J)

Les plongées très profondes : point des résultats acquis - Méd. Sub. Hyp. n° 2 - mars 1970 -

- HAMILTON (R.W.) - FRUCTUS (P) - FRUCTUS (X)

Physiological surveillance and performance tests during a seven day exposure to 9,5 ATA he-O2 with exercise excursions at 13 ATA. XXIVme International Congress of Physiological Sciences - Washington D.C. - august 25, 31, 1968.

- LANPHIER (E.H.)

Pulmonary Function. in the physiology and medicine of diving. P.B. Bennett and D. H. Elliot édit. 1969 p. 58-112 - Baillere Tindall and Cassel - London Publishers.

- MAIO (D.A.) - FAHRI (L.E.)

Effect of gas density on mechanics of breathing. J. Appl. Physiol. 1967 - 23 687-693.

- MILLER (J.N.) - WANGENSTEEN (O.D.) - LANPHIER (E.H.)

Ventilatory limitations of exertion at Depth. Proceed. of 4e Symposium of Underwater Physiology - Philadelphie 1969 -

- OVERFIELD (E.M.) - SALTZMAN (H.A.) - KYLSTRA (J.A.) - SALZANO (J.V.)

Respiratory gas exchange in normal man breathing 0,9 % oxygen in helium at 31,3 ATA - J. Applied Physiol. 1969-27 -4-471-475.

Cardiorespiratory response to exercise at a simulated depth of 1000 feet - J. Applied Physiol. - 1970-28.1, 34-41.

- ROSTAIN (J.C.) - LYAGOUBI (S)

Etude électroencéphalographique de la veille et du sommeil sous hyperbarie prolongée (opérations JANUS II) - communications à la Société Française d'EEG - Paris - mars 1971.

- SALZANO(J) - RAUSCH (D.C.) - SALTZMAN (H.A.)

Cardio-respiratory responses to exercise at a simulated seawater depth of 1000 ft - J. Appl. Physiol. (1970) - 28,34-41.

- SICARDI (F)

La coagulation au cours de la plongée profonde. Medsubhyp n° 4 - Déc. 1970.

- VARENE (P) - JACQUEMIN (C) - L'HUILLIER (J)

Les performances ventilatoires en plongée.
Journées internationales d'hyperbarie et de physiologie subaquatique.
Marseille - juin 1970.

- VARENE (P) - TIMBAL (J) - JACQUEMIN (C)

Effect of different ambient pressures on airway resistance. J. Appl. Physiol. 1967 - 22 (4) 699 - 706.

- VIGREUX (J)

Contribution à l'étude des réactions neurologiques et psychiques de l'organisme du mammifère supérieur aux mélanges gazeux sous pression.
Thèse de doctorat en médecine - Toulouse 1970.

- WOOD (LDH) - BRYAN (A.C.)

Effect of increased ambient pressure on flow-volume curve of the lung. J. Appl. Physiol. 1969 - 27 (1) 4-9.

LA DECOMPRESSION

La formule générale de décompression après saturation a été établie dans le rapport de synthèse de l'opération "JANUS II". Elle s'écrit :

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

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

T la période du tissu considéré exprimée en minutes.

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

P la profondeur exprimée en mètres d'eau de mer.

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

I - CHOIX DES DIFFERENTS PARAMETRES

a) caractéristiques générales

Cette décompression est effectuée à pression partielle d'oxygène, constante et égale à 500 millibars.

La valeur de 600 millibars qui avait été adoptée par "JANUS II" nous paraissant trop élevée pour une exposition de plus de 8 jours, nous l'avons ramenée à 500 millibars dans le but d'éliminer tout risque d'irritation pulmonaire.

Le pourcentage maximal d'oxygène dans le caisson restant fixé à 25 %, afin de supprimer les risques d'incendie, il en résulte qu'entre 10 mètres et la surface, la décompression s'effectue à pourcentage d'oxygène constant et égal à 25 %, soit une pression partielle d'oxygène décroissant de 500 à 250 millibars jusqu'au retour en surface.

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

b) Période

Nous avons vu, lors de l'étude de la décompression de l'opération "JANUS II", qu'une période $T = 240$ mn s'avérait un peu faible pour des décompressions de longues durées, et ce, principalement, sur la fin de cette décompression où le taux de perfusion des sujets diminuait de par leur relative inactivité.

Ceci nous avait amenés à augmenter cette période d'environ 8 %, lors de la phase III, avec d'excellents résultats.

Pour "PHYSALIE V", étant donnée la durée importante de la décompression, nous avons porté cette période à 270 mn pour l'ensemble de la décompression (ne disposant pas encore de données suffisantes pour entamer la mise au point d'une méthode utilisant une période variant dans le temps).

c) Fonction M

Lors de "JANUS II", nous avons, pour la tranche 0-200 mètres, défini la fonction :

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

Celle-ci n'ayant, jamais, été testée à une profondeur supérieure à 200 mètres, et une relative incertitude subsistant quant à la valeur exacte des divers coefficients, il nous a paru trop risqué de l'extrapoler jusqu'à 500 mètres où l'influence du terme du second degré devient prépondérante, et où une erreur sur la valeur exacte de son coefficient risquait de nous faire dépasser la limite de sécurité.

Nous avons donc préféré nous en tenir à une fonction M linéaire de la forme $M = \Delta M \times P + M_0$. M_0 a été choisi égal à 155.

Quant à ΔM , une solution apparemment sûre consistait à le choisir égal à 10,2, cette valeur s'étant avérée bonne dans la tranche 0-200 mètres, et la suppression du terme du second degré nous fournissait une marge de sécurité très importante. Néanmoins, cette méthode nous a paru très en-deça des limites de sécurité, et, afin de ne pas allonger inutilement cette décompression finale, nous avons choisi un ΔM légèrement supérieur en nous basant sur les critères suivants :

M_0 étant égal à 155, et le M de 75 mètres atteignant 925, si nous admettons une variation linéaire de M, il en résulte un ΔM de :

$$\Delta M = \frac{925 - 155}{75} = \frac{770}{75} = 10,266 \text{ que nous avons arrondi à } 10,26.$$

La différence entre le M ainsi défini et celui utilisé par "JANUS II" est égale à $0,06 P - \frac{P^2}{1500}$.

Il en résulte qu'au-delà de 90 mètres, cette fonction M est inférieure à celle définie lors de "JANUS II", ce qui nous assure une marge de sécurité appréciable à grandes profondeurs.

Par contre, entre 0 et 90 mètres, elle lui est supérieure : la différence présente pour P = 45 mètres un maximum égal à $0,06 \times 45 - \frac{45^2}{1500} = 1,35$ décimètre d'eau de mer. Ceci est négligeable et permet, par conséquent, d'utiliser cette fonction M :

$$M = 10,26 P + 155$$

II - CALCUL DE LA TABLE

La formule générale nous donne alors :

pour $P \geq 10$ mètres : (H = 50)

$$- \frac{dt}{dP} = \frac{10,26 \times 270}{0,7 (0,26 P + 105)} = \frac{2.770.200}{182 P + 73.500}$$

et pour $P \leq 10$ mètres : (H = 2,5 P + 25)

$$- \frac{dt}{dP} = \frac{10,26 \times 270}{0,7 (2,76 P + 80)} = \frac{2.770.200}{1932 P + 56.000}$$

Nous supposons que les sujets étaient saturés à 518 mètres, ce qui s'éloigne peu de la vérité, étant donné le faible gradient de "sous-saturation" à l'arrivée au fond, et à l'avantage de permettre l'utilisation d'un programme de décompression unique, quelle que soit la durée du séjour au fond.

Au départ de 518 mètres, une phase de décompression "rapide" (1 mètre par minute) est possible jusqu'à la profondeur P telle que M (P) soit égal à la pression partielle de gaz inerte au fond. Ce qui s'écrit (la pression partielle d'oxygène au fond étant de 420 millibars) :

$$10,26 P + 155 = 5180 + 100 - 42$$

$$P = \frac{5083}{10,26} = 495,42 \text{ mètres arrondis par sécurité à}$$

496 mètres.

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

de 518 à 496 mètres.....	1 minute /mètre	
de 496 à 492 mètres.....	17 minutes/mètre	
de 492 à 442 mètres.....	18 minutes/mètre	
de 442 à 398 mètres.....	19 minutes/mètre	
de 398 à 358 mètres.....	20 minutes/mètre	
de 358 à 321 mètres.....	21 minutes/mètre	
de 321 à 289 mètres.....	22 minutes/mètre	
de 289 à 258 mètres.....	23 minutes/mètre	
de 258 à 231 mètres.....	24 minutes/mètre	
de 231 à 205 mètres.....	25 minutes/mètre	sous
de 205 à 182 mètres.....	26 minutes/mètre	500 mb d'O ₂
de 182 à 160 mètres.....	27 minutes/mètre	
de 160 à 140 mètres.....	28 minutes/mètre	
de 140 à 122 mètres.....	29 minutes/mètre	
de 122 à 104 mètres.....	30 minutes/mètre	
de 104 à 88 mètres.....	31 minutes/mètre	
de 88 à 72 mètres.....	32 minutes/mètre	
de 72 à 58 mètres.....	33 minutes/mètre	
de 58 à 44 mètres.....	34 minutes/mètre	
de 44 à 32 mètres.....	35 minutes/mètre	
de 32 à 19 mètres.....	36 minutes/mètre	
de 19 à 13 mètres.....	37 minutes/mètre	
de 13 à 12 mètres.....	38 minutes/mètre	
de 12 à 11 mètres.....	39 minutes/mètre	
de 11 à 10 mètres.....	40 minutes/mètre	
de 10 à 9 mètres.....	41 minutes/mètre	
de 9 à 8 mètres.....	42 minutes/mètre	
de 8 à 7 mètres.....	43 minutes/mètre	sous 25 % d'O ₂
de 7 à 6 mètres.....	44 minutes/mètre	
de 6 à 5 mètres.....	45 minutes/mètre	
de 5 à 4 mètres.....	46 minutes/mètre	
de 4 à 3 mètres.....	47 minutes/mètre	

de 3 à 2 mètres.....	48 minutes
de 2 à 1 mètres.....	49 minutes
de 1 mètre à la surface.....	50 minutes

III - OBSERVATIONS CLINIQUES ET CONCLUSIONS

Au matin du 27 novembre (jour J 12), un peu après son réveil, l'un des deux plongeurs (B. R.) ressent des passages de bulles ("niggles" selon la terminologie anglo-saxonne) au niveau des deux genoux. La profondeur est de 39 mètres.

On décide d'augmenter la PiO_2 de l'ambiance plutôt que de le faire respirer au masque : 620 mb environ.

B. R. ne ressent plus rien dans les heures qui suivent. Toutefois, vers 17 heures, alors que la profondeur fictive est de 28 mètres, des douleurs apparaissent toujours au niveau des deux genoux. Sans modifier l'allure de la décompression, nous lui faisons respirer du mélange 50/50 hélium-oxygène au masque, durant 1 h 30.

Le soulagement n'est que temporaire et B. R. doit reprendre le 50/50 au masque durant 1h 30 dans la soirée.

La PiO_2 est toujours de 600 mb dans l'ambiance. Elle ne baissera que dans la nuit lorsque nous serons obligés de respecter le taux limite de 25 % d'oxygène dans l'atmosphère du caisson.

Un peu après minuit, B. R. qui s'était endormi se réveille avec des douleurs au niveau des deux épaules et des deux genoux. A la profondeur de 15 mètres, il reprend le 50/50 au masque pendant 1 heure -il sera obligé de le reprendre encore 1 heure entre 13 et 12 mètres. La courbe de décompression n'a pas été modifiée.

Vers 4 heures du matin, B. R., qui n'a pu se rendormir, souffre

beaucoup des deux genoux. Il passe sous oxygène pur au masque, selon le schéma suivant : 1/2 heure d'O₂ pur, 1/4 d'heure d'arrêt, 1/2 heure d'O₂ pur. Mais le soulagement n'intervient pas - B. R. souffre de plus en plus de douleurs lancinantes dans les deux genoux et nous devons stopper la décompression à 8 m 60.

Nous entreprenons une recompression de quelques mètres et il faut dire qu'arrivé à 10 mètres, après une dénivellation d'1 m 40, et pour une augmentation de pression de 7 %, le patient est instantanément et complètement soulagé !...

Palier de 1 heure à 12 mètres - B. R. reste sous 50/50 héliox.

Si nous voulons que les plongeurs retrouvent la surface à midi, nous devons renoncer à appliquer la courbe de décompression prévue.

Nous décidons alors de les soumettre tous les deux à des séances de 50/50 puis d'oxygène pur, au masque, selon le schéma suivant :

HEURE	PROF. mètre	PENTE min/m	O ₂ % (1)	PiO ₂ mb (2)	PiCO ₂ mb (3)	H ₂ O % (4)	TEMP °C	OBSERVATIONS
06:30	12	(Fin du palier thérapeutique - Décompression)						
07:00	11	30	24	408	t		25	
07:30	10	30	23	463	0,05		25	
08:00	9	(Palier d'une heure)						
08:30	9							Stop 50/50 - B.R.
09:00	9	20	23	432	t		25	B.R. sous 50/50
09:20	8	20	23	400	t		25	P.C. sous O ₂ - B.R. sous O ₂
09:40	7	20						Stop O ₂ , B.R. et P.C.
10:00	6	20						B.R. et P.C. sous O ₂
10:20	5	20	27	425			25	Rinçage caissons à l'air
10:40	4	20						Stop O ₂ , B.R. et P.C.
11:00	3	20	29	380				B.R. et P.C. sous O ₂
11:20	2	20	33	390		75		Stop O ₂ , B.R. et P.C.
11:30	1,5	28	31	350				Ventilation à l'air.
12:11	SURFACE							<u>Sortie des plongeurs.</u>

Cette décompression du type thérapeutique est bien supportée par les deux sujets. Ils sortiront à 12 h 11 avec seulement 11 minutes de retard par rapport au schéma prévu, B.R. ne gardant les genoux endoloris que durant quelques heures. Il ne souffrait plus le lendemain et le contrôle radiologique opéré quelques jours plus tard ne révéla rien d'anormal.

Cette dernière séquence ne nous a pas permis de tester la table jusqu'au bout, mais fut éminemment instructive et nous permit de modifier certaines données de nos calculs.

A noter que, chez le plongeur P. C., qui n'a jamais rien ressenti, le rythme cardiaque s'est beaucoup moins ralenti, même pendant le sommeil, que chez B.R. dès le début de la décompression à partir de 500 mètres. Les nuits précédant la sortie, le rythme cardiaque de B.R. ne dépassait pas 40/min.

Or, chez un sujet normal au repos signifie toujours une diminution de la perfusion, et par conséquent, un ralentissement du "dégazage".

Il n'en reste pas moins que les deux plongeurs ont dû subir une décompression qui n'était pas parfaitement adéquate ; nous n'en voulons pour preuve que la baisse du nombre des plaquettes sanguines chez les deux sujets au cours de celle-ci. D'après des travaux récents et prometteurs, auxquels nous participons pour notre part, cette baisse paraît être significative des troubles de décompression, même si leur évolution se fait à minima et sans signes cliniques importants.

Comme l'étude présentée dans le premier paragraphe de ce chapitre nous le laissait supposer, la première partie de la table de décompression (jusqu'aux environs de 80 mètres) s'est avérée très sûre et probablement très en-deça des limites de sécurité dans la zone des grandes profondeurs (jusqu'aux environs de 200 mètres).

Les "passages de bulles" et les "bends" subis par le sujet B. R., dans la dernière phase de la décompression, s'expliquent aisément :

Le plongeur concerné, qui présente habituellement, un rythme cardiaque au-dessous de la moyenne, a passé la majeure partie de la décompression allongé et, le plus souvent, somnolent, voyant ainsi, progressivement, son rythme cardiaque et, par conséquent, son taux de perfusion, s'abaisser encore. Il en résulte que la période $T = 270$ minutes choisie pour le calcul de la table s'est avérée insuffisante sur la fin de la décompression, occasionnant ainsi les incidents constatés. Il apparaît donc nécessaire pour les décompressions de longues durées, de choisir une période T , du tissu le plus lent, qui soit une fonction croissante du temps, l'allure générale de cette fonction pouvant être déterminée par l'étude statistique de l'évolution du rythme cardiaque des plongeurs soumis à des décompressions de longues durées après saturation.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que les premiers "passages de bulles" ressentis par B. R. l'on été dans la zone où la différence des fonctions M , considérée au paragraphe 1c, et égale à $0,06 P - \frac{P^2}{1500}$ passait près de la valeur maximale, confirmant ainsi, dans cette zone, l'exactitude de la fonction M choisie lors des décompressions de l'opération "JANUS II".