



HAL
open science

JANUS II Rapport de Synthèse et Conclusions

Sa Comex

► **To cite this version:**

| Sa Comex. JANUS II Rapport de Synthèse et Conclusions. COMEX. 1970. hal-04355093

HAL Id: hal-04355093

<https://hal.univ-brest.fr/hal-04355093>

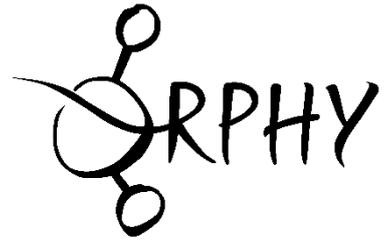
Submitted on 20 Dec 2023

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

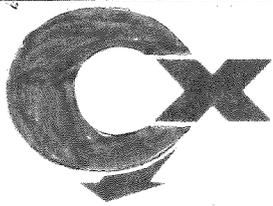


The present document is the property of COMEX SAS. It has been entrusted to the ORPHY laboratory, which scanned and uploaded it.

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.



comex

Traverse de la Jarre 13 MARSEILLE (9) FRANCE
B P 143 — Tel 91 40 11 70 — Telex 41 985

JANUS II

RAPPORT DE SYNTHÈSE

ET

CONCLUSIONS

J A N U S I I

S Y N T H E S E

	<u>Page</u>
I - P H Y S I O L O G I E	
a) Etat de santé et comportement	2
b) Capacité d'effort et fonction respiratoire	6
c) Tests mentaux et psychomoteurs	7
d) Neurophysiologie	8
e) Réactions biologiques	9
f) Ergonomie et hygiène du milieu	11
g) Compression et décompression	
I - La compression	13
II - La décompression finale	17
III - Les décompressions intermédiaires	29
II - L O G I S T I Q U E	30
III - T E C H N O L O G I E	
1°/ - Les vêtements	31
2°/ - Le matériel respiratoire	31
3°/ - L'équipement de tête	32
4°/ - Le matériel divers	33
C O N C L U S I O N S	34
A N N E X E	35

La synthèse des résultats de l'opération JANUS II et de l'enseignement qui se dégage de ses trois phases peut se diviser en trois chapitres -

I - P H Y S I O L O G I E -

II - L O G I S T I Q U E -

III - T E C H N O L O G I E -

Dans chaque chapitre, l'on pourra trouver des considérations nouvelles vraiment fondées sur l'ensemble des expériences, mais aussi le rappel d'observations ou de résultats propres à l'une des trois phases, et déjà concluants par eux-mêmes. Dans ce cas, et pour la commodité de la lecture, nous permettrons de les reproduire, soit résumés, soit tels qu'ils ont été déjà publiés dans les rapports précédents ou dans les annexes : l'important ne souffrant jamais de la répétition, ni de la nuance.

Enfin, les volets de ce tryptique ne pourront se refermer que sur des conclusions générales, lesquelles, en revanche, se voudront extrêmement schématiques et dépouillées de toutes considérations contingentes.

I - P H Y S I O L O G I E -

L'étude concerne deux équipes de trois hommes puisque l'équipe I (CADIOU - CORNILLAUD - LIOGIER) a exécuté la phase I, la phase II A et la phase III (en mer) tandis que l'équipe II (CHEMIN - MIREY - REUILLIER) exécutait la phase II B.

Nous envisagerons les points suivants :

- a) Etat de santé et comportement -
- b) Capacité d'effort et fonction respiratoire -
- c) Tests mentaux et psychomoteurs -
- d) Neurophysiologie -
- e) Réactions biologiques -
- f) Ergonomie et hygiène du milieu -
- g) Compression et décompression.

Ce travail qui a nécessité environ :

- 12 semaines de préparation des expériences ;
- 8 semaines d'observations et d'explorations diverses ;
- 20 semaines d'exploitation des résultats ;

a été réalisé avec la collaboration de :

Mesdemoiselles : le Dr J. BONNOT - G. SEGUI (diététicienne) - F. HERTEMAN (psychologue)

Messieurs : J. C. ROSTAIN (physiologiste)

Les docteurs : R. NAQUET - J. M. FELICIANO - V. CONTI - F. SICARDI - R. SCIARLI - R. RISPE -
P. FRUCTUS - S. GELLER - M. NOEL - J. C. JARDEL - M. PONTUS -

a) ETAT DE SANTE ET COMPORTEMENT -

a.1. - Les six sujets sélectionnés et bien préparés par plusieurs semaines d'entraînement athlétique, sur stade, en piscine et en mer jouissaient non seulement d'une santé satisfaisante, mais aussi d'une bonne "forme" avant leur entrée en hyperbarie pour les phases I et II.

Les équipes avaient été constituées en tenant compte des affinités de chacun.

Pour la phase III, la première équipe ayant déjà subi deux saturations (la fin de la dernière remontant à peine à trois semaines) se trouvait en moins bonne forme physique, mais elle était moralement très homogène et soutenue par la fierté d'avoir été choisie pour une entreprise exceptionnelle qu'elle souhaitait et espérait mener à bien.

a.2. - 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	N.J.J.S.	Fatigue	Vertiges	N.J.J.S.	
CADIOU	++	++	+	0	+	+ (lombalgies)	CADIOU
CORNILLAUX	+	++	++	0	+	+ (lombalgies)	CORNILLAUX
LIOGIER	+	++	+++	0	+	+	LIOGIER
CHEMIN	0	0	+	0	0	0	CADIOU
MIREY	0	0	+	0	0	0	CORNILLAUX
REUILLIER	0	0	+	0	0	+	LIOGIER
	↑ Compression améliorée (hydrosphère)			↑ Compression améliorée (caissons ASTRAGALE)			

N. J. J. S. - "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 11 ata. Il affecte surtout les poignets, les épaules, les hanches, les chevilles, et peut persister durant le séjour. (symptômes articulaires des hautes pressions - V. CONTI -)

a.3. - La fatigue a revêtu plusieurs aspects :

- Dans la phase I, pour la première équipe, ce fut surtout une crise d'adaptation (avec diverses manifestations pathologiques) qui avait disparu le 3e jour pour deux P.J. , le 6e jour, pour le troisième.
- Dans la phase II A , l'adaptation fut plus facile pour la 1ère équipe, certainement à cause du volume habitable de l'hydrosphère.
- Ce volume habitable, une pressurisation améliorée, des équipements plus au point furent certainement à l'origine de l'excellent état général des trois P.J de la deuxième équipe lors de la phase 2 B.
- Lors de la phase III, les hommes de la première équipe ressentirent une fatigue croissante jusqu'à la demi-journée de repos du 6e jour.

Cette fatigue, lorsqu'elle se manifeste, ne paraît pas liée au fait de se trouver sous 21 ou 26 ata de pression (à condition que l'atmosphère respirable soit conditionnée selon les normes prévues) mais bien plutôt à quatre facteurs :

- : - le confinement restrictif (peu ou pas de fatigue dans l'hydrosphère)
- les efforts fournis pour s'équiper et se déséquiper
- le manque de sommeil
- l'inconfort thermique sous hélium.

a.4. - De petits faits pathologiques sont à signaler, surtout chez la première équipe. Ils se caractérisent en général par :

- de l'inflammation nasale, pharyngée ou trachéo-bronchique, provoquée par le moindre refroidissement, mais très transitoire,
- de petites infections cutanées (pyodermite) qui vont en s'aggravant au cours du séjour, malgré la désinfection de l'atmosphère (Aérovap) et de la peau (PHISOHEX) et peuvent nécessiter une antibiothérapie,
- des otites externes (sans doute mycotiques) apparaissant vers le troisième jour et ayant aussi tendance à s'aggraver,
- enfin, des phénomènes musculaires, parfois brutaux, mais transitoires : contractures, "claquages", lombalgies.

Rien de tout cela n'est grave, mais montre qu'il existe certainement une pathologie de l'environnement "Hélium - Hyperbare" dont il faudra tenir compte à l'avenir, soit pour la réduire, soit pour savoir composer avec elle.

Sans parler des symptômes articulaires qui ne paraissent pas constituer d'obstacles majeurs à l'activité des plongeurs et sont d'ailleurs très atténués par les compressions lentes.

a.5. - Les incidents (plutôt qu'accidents) de décompression qui se produisirent étaient la sanction des essais de mise au point de procédures de décompression plus réalistes.

Nous en fournissons le tableau sous les symboles suivants :

Bu - Passages de bulles, sans plus

Pa - "Pains" nécessitant une augmentation de la $Pi O_2$

Be - "Bends" nécessitant un palier ou une recompression sous $Pi O_2$ élevée.

	PHASE I			PHASE II A			
	1ère courbe de décompression ↓			2e courbe de décompression ↓			
	Bu	Pa	Be	Bu	Pa	Be	
CADIOU						++	CADIOU
CORNILLAUX	+		++				CORNILLAUX
LIOGIER	+		++		+		LIOGIER
CHEMIN	+			+			CADIOU
MIREY	+			+			CORNILLAUX
REUILIER	+			+			LIOGIER
	Bu	Pa	Be	Bu	Pa	Be	
	PHASE II B ↑			PHASE III ↑			
	3e courbe de décompression			4e courbe de décompression			

b) CAPACITE D'EFFORT ET FONCTION RESPIRATOIRE -

Une importante étude a été réalisée au cours des deux premières phases. Elle fera l'objet de la thèse de doctorat en médecine du Dr. Marc PONTUS, thèse qui figure en annexe de ce rapport.

Très brièvement, les résultats obtenus ont été les suivants :

- Au cours de la première phase, les plongeurs, dont les performances ont été réduites au début du séjour du fait de l'environnement inhabituel, se sont, en général, adaptés, et au bout de quelques jours, s'est établi un nouvel équilibre ; avec récupération d'une partie des possibilités physiologiques et fonctionnelles.
- Au cours de la phase 2 A, les résultats obtenus par la première équipe peuvent se résumer de la façon suivante :
(compte-rendu phase 2, A et B, page 22)

La fonction respiratoire est étudiée sur 18 enregistrements à 26 ata, les sujets étant immergés. Nous nous sommes efforcés de suivre l'évolution de certains paramètres au cours de la saturation et de les comparer aux valeurs obtenues à 1 ata air - de plus, nous avons recherché les modifications respiratoires éventuelles provoquées par la saturation, en réalisant des bilans pré et post-opérationnels.

L'étude de la capacité vitale et de ses subdivisions, celle de la VEMS et de la VIMS montre, qu'après une dégradation initiale de ces valeurs, il s'établit en trois ou quatre jours, un nouvel équilibre assez proche de la normale.

Pour ce qui est de la ventilation et des gaz expirés au repos, nous ne notons pas de modifications significatives, rejoignant ainsi les conclusions d'OVERFIELD sur la plongée à 1000 pieds, menée à bien en 1969 par l' U.S. NAVY.

L'étude des ventilations et des gaz expirés au cours de l'exercice dans l'eau, montre qu'un effort de 100 - 120 W doit être considéré comme un exercice de puissance très importante, puisqu'il induit une ventilation atteignant 100 et même 120 l/min, et une rétention de CO₂ notable, de telle sorte que certains sujets se sont trouvés à la limite de l'essoufflement.

Cependant, là aussi nous avons constaté une amélioration des performances tout au long de la saturation.

Les résultats obtenus par la deuxième équipe au cours de la phase 2 B sont en tous points comparables aux précédents.

Bref, la fonction respiratoire au repos et à l'effort, paraît s'adapter facilement au séjour sous pression, que ce soit à 200 ou à 250 mètres fictifs, en atmosphère d'hélium bien conditionnée sous une $P_i O_2$ de 0,42 à 0,52 ata.

Reste la question de l'effort dans l'eau qui n'a rien à voir avec les conditions hyperbares, et dont les divers aspects sont encore bien mal connus.

c) TESTS MENTAUX ET PSYCHOMOTEURS -

Leurs résultats apparaissent dans le tableau suivant :
(à 250 mètres par rapport à la surface)

Tests mentaux et psychomoteurs	<u>PHASE I</u> 3 plongeurs	<u>PHASE II</u> Les 3 mêmes + 3 autres
Dextérité manuelle	=	- 10 %
Paper form board	- 20 à + 10 %	dispersion (1)
Odd-Even test	mieux	mieux (2)
Calcul mental	=	=
Phrases en désordre	mieux	mieux (3)

(1) Capacité de percevoir les relations spatiales.

Test sans doute mal adapté : résultats trop dispersés pour être valables.

(2) Temps de réaction complexe mesurant la capacité d'attention, la vigilance. Sans doute amélioré au fond par la motivation.

(3) Appréciation de l'intelligence et des facultés de raisonnement. Sans doute amélioré par l'apprentissage.

Cela permet de conclure que les séjours en saturation à 200/250 mètres, ne paraissent pas entraîner de détérioration de l'intelligence, ni des fonctions de raisonnement. Les réactions psychomotrices ne semblent pas altérées à ces profondeurs, à condition que n'interviennent pas des éléments perturbateurs tels que le froid, l'inconfort ou une carence de sommeil trop importante.

d) NEUROPHYSIOLOGIE -

Au cours des différentes phases de l'opération JANUS II, l'étude neurophysiologique, principalement axée sur les données de l'électroencéphalogramme, devait déceler, d'une part les éventuelles modifications des activités corticales, et d'autre part les perturbations de l'organisation du sommeil que pouvaient entraîner la vie en confinement et sous pression.

Les résultats sont exposés en annexe. Nous citerons seulement la discussion.:

Ces résultats prouvent qu'il existe une grande variabilité dans les données, surtout pour celles relatives au sommeil, d'une équipe à l'autre, et, pour une même équipe, d'un sujet à l'autre et d'une expérience à l'autre. Cette constatation rejoint celles déjà faites sur d'autres observations physiologiques, lors d'expériences de plongées profondes (BENNETT, 1969 ; FRUCTUS et col. 1969).

Pour une certaine part, le temps interviendrait dans le ralentissement de la fréquence de l'alpha, observé à 200 mètres, chez la plupart des plongeurs. En effet, ce ralentissement n'apparaît qu'après un certain nombre de jours d'exposition sous cette pression en atmosphère hélium - oxygène, légèrement hyperoxique (420 mb d'O₂).

Au cours de ces expériences, l'un des sujets n'a pas présenté de modifications significatives de l'organisation du sommeil.

Par contre, les autres sujets ont présenté des variations, mais elles ont été divergentes, dans deux expériences sur trois. Si l'on met à part les quelques dissemblances, l'on retrouverait essentiellement une augmentation du pourcentage de la PMO, aux dépens de celui du stade II, chez les mêmes plongeurs (A et C) lors des phases I et 3. Ces variations sont inverses chez les plongeurs (B' et C') de la phase 2 B.

Ces modifications des pourcentages sont quelques peu différentes de celles observées par SERBANESCU et col. (1968), lors d'une expérience analogue, mais à 85 mètres de profondeur. Dans ce cas, selon les auteurs, les perturbations de l'organisation du sommeil auraient été d'origine émotionnelle. En effet, il y a eu des modifications morphologiques de la phase II qui seraient liées à l'anxiété des sujets, l'expérience étant alors la première de ce genre.

D'autre part, NAITOH et col. (1971) ont observé, lors de l'opération TEKTITE I (saturation de 60 jours en atmosphère azote - oxygène, à 14 mètres de profondeur) une augmentation des stades de sommeil à ondes lentes (III et IV). Pour ces auteurs, le sommeil des plongeurs, lors de TEKTITE I, n'a pas posé de problèmes ; les perturbations relatées, lors de plongées plus profondes, en atmosphère hélium-oxygène, par HAMILTON et col. (1966) et NAITOH et col. (1969) doivent être attribuées à d'autres facteurs que l'hyperbarie.

La pression aurait donc joué peu de rôle dans ces phénomènes ; c'est ce qui semble ressortir du présent travail. La variabilité des résultats de l'étude de l'organisation du sommeil, lors de l'opération JANUS II, peut s'expliquer par le fait que les conditions expérimentales n'ont pas été identiques d'une phase à l'autre (caisson, par exemple) et que l'équipe de plongeurs a été différente dans la phase 2.

Pour chaque équipe, l'évolution du sommeil étant assez analogue, pendant les confinements en caisson à la pression atmosphérique et à 200 mètres, on peut penser qu'à des profondeurs de cet ordre, le confinement, l'environnement, les conditions de confort, influencent beaucoup plus que la pression, le sommeil de certains sujets.

Il est donc permis de dire que, sur le plan neurophysiologique, la vie en saturation à 200 mètres n'a pas posé de problèmes, les modifications observées étant, dans leur ensemble, peu importantes.

e) REACTIONS BIOLOGIQUES -

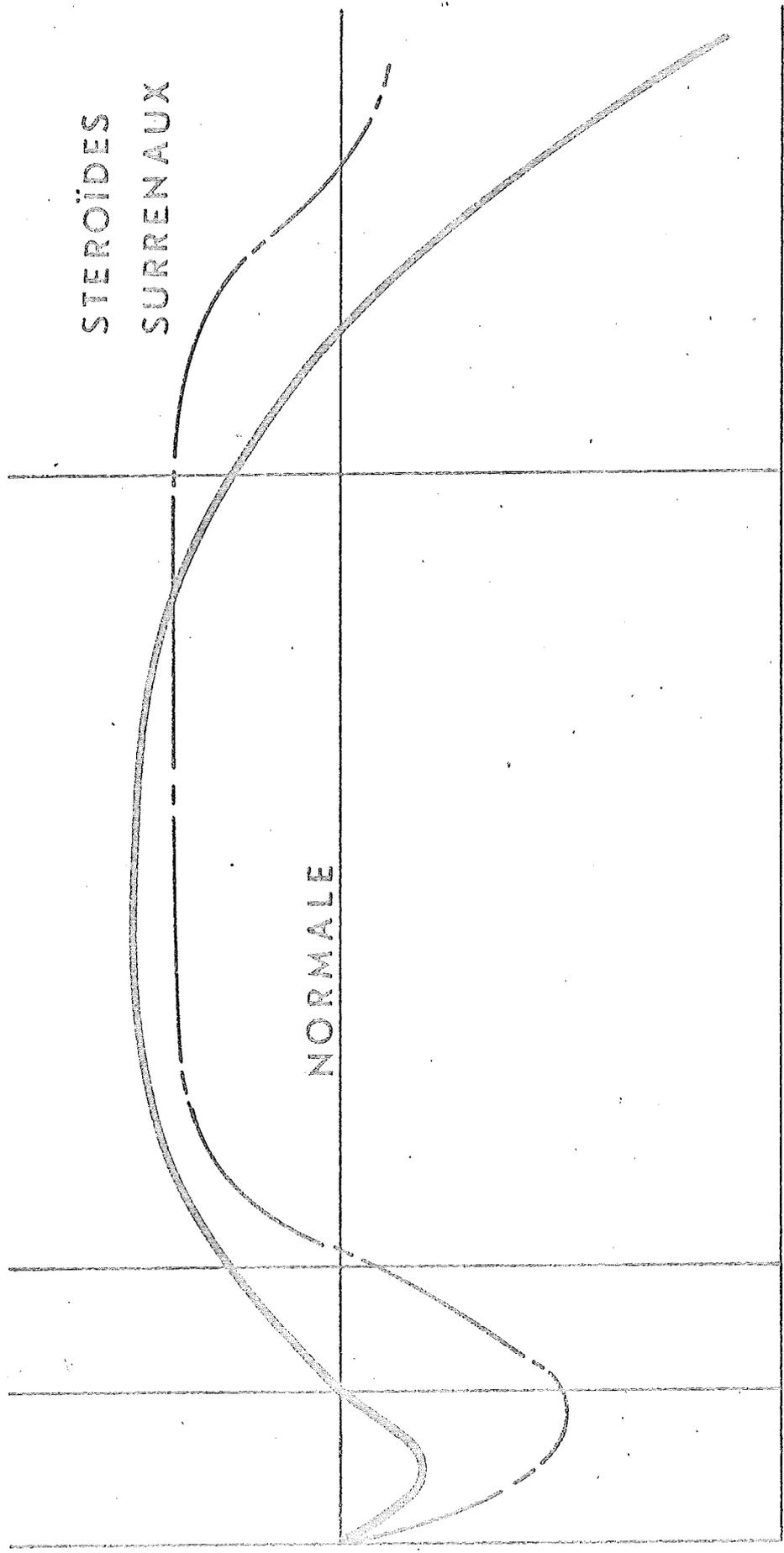
De nombreuses mesures de constantes sanguines ont été pratiquées avant et après chacune des trois phases, et au cours de la première phase. Elles n'ont pas révélé de modifications significatives, sauf l'hypoglobulie, constante au sortir des séjours en saturation sous une $PiO_2 > 0,21$ ata le nombre des globules rouges se rétablissant quelques jours après la sortie.

Des variations du nombre des plaquettes sanguines ont aussi été notées en cours de décompression, mais si ces résultats paraissent confirmer certaines hypothèses concernant la Maladie de la Décompression, ils n'ont actuellement pas de signification pathologique bien précise et ne doivent pas nous inquiéter.

L'élimination urinaire des électrolytes (P, Ca, K, Na) a aussi subi des variations physiologiques dont il est difficile de déduire actuellement une théorie, mais qui s'intégreront dans une étude à long terme, et plus vaste, sur le métabolisme phospho-calcique et le potassium circadien des océanauts.

Les courbes d'élimination urinaires des métabolites des stéroïdes cortico-surrénaux chez les trois plongeurs de la phase 1, en cours d'expérience, ressemblent à celles des sujets soumis à des "stress" de plusieurs jours, conformément aux trois stades du Syndrome Général d'Adaptation de Selye (voir tableau).

Le deuxième stade est heureusement seul atteint. C'est le stade d'adaptation (résistance) que les dosages hormonaux urinaires confirment ainsi chez CADIOU - CORNILLAUD et LIOGIER.



REACTION D'ALARME RESISTANCE EPUISEMENT

Les trois stades du S.G.A (SELYE)

On pratiqua de plus des mesures de la résistances capillaire, avec l'angio-sterromètre que les plongeurs avaient appris à s'appliquer au pli du coude.

L'intérêt de ces mesures réside dans le parallélisme assez significatif entre l'augmentation de la résistance et la fatigue, transitoire. Chez le même plongeur, après un repos suffisant, la résistance capillaire redevient normale.

Si cette corrélation se confirme chez de nombreux sujets, cette méthode de mesure simple et facile à appliquer, pourrait devenir un test objectif de fatigue physique.

		<u>RESISTANCE CAPILLAIRE</u>			
		CO..	LI..	CA..	
Phase 2 dans l'hydrosphère	CONFINEMENT	30	30	30	
	11.08.70	30	20	30	-200 m.
	12.08.70		20	40	-250 m.
	14.08.70	40 apr.eff.	20 sans ef.	40 apr.eff.	-200 m.
	15.08.70	40 apr.eff.	30 a eu trs froid	30 sans ef.	-200 m.
	16.08.70	40	30	45	-200 m.
	17.08.70	50	20	50	-170 m.
	18.08.70	50	20	40	-100 m.
	19.08.70		25	40	- 40 m.
	20.08.70	40	20	40	- 9 m.
Phase 3 en mer	21.09.70	70	60	40	
	22.09.70	70	60	50	
	23.09.70	60	40	50	
	25.09.70	40	30	40	- 150 m.
	28.09.70	30	30	40	- 5 m.

f) ERGONOMIE ET HYGIENE DU MILIEU -

Nous croyons utile de définir d'abord l'Ergonomie, selon GRANDJEAN :

"L'Ergonomie est une science interdisciplinaire : elle comprend la physiologie et la psychologie du travail, ainsi que l'anthropométrie et la sociologie de l'homme au travail"

Et cet auteur ajoute :

"Le but pratique de l'ergonomie est l'adaptation du travail à l'homme, c'est à dire l'adaptation du poste de travail, des outils, des machines, des horaires et du milieu ambiant aux exigences de l'homme".

D'après ce qui précède, nous pouvons dire que si les phases 1 et 3 de JANUS II, constituèrent pour les plongeurs une épreuve relativement pénible, ce ne fut pas à cause des séjours sous 21 et 26 ata d'héliox.

Toutefois, nous ajouterons que cette absence apparente de stress ne correspond pas à une certitude d'innocuité absolue des atmosphères hyperbares ; en particulier, dans le cas où le plongeur professionnel sera soumis à plusieurs saturations successives.

Quoiqu'il en soit, dans le cas de JANUS II, ce sont les autres conditions de milieu, les effets indirects des hautes pressions, l'exiguïté des habitats, les horaires alourdis par le temps mis à s'équiper et à se déséquiper, qui ont constitué, pour les plongeurs, les facteurs stressants les moins discutables.

Dans une opérations sous-marine aussi avancée que JANUS II, il était forcément difficile d'adapter le matériel existant à des profondeurs et surtout des durées de plongées pour lesquelles il n'était pas prévu.

Si son insuffisance et ses défaillances ont largement contribué à la fatigue des plongeurs et à la limitation de leurs performances, le fait qu'il leur ait tout simplement permis de réaliser, sans risques excessifs, ce qu'ils ont réalisé, représente quand même un véritable exploit technique.

Les observations qui suivent se rapportent donc exclusivement à l'ergonomie et ne constituent absolument pas une critique.

Nous rappellerons :

1°/ - Le confinement.

Insuffisance du volume habitable. Sauf dans l'hydrosphère, où ce volume était de 32 m³ pour trois hommes (il aurait été suffisant pour quatre) avec la "hauteur sous barrots" dans un large espace central, des lits confortables à la périphérie et les toilettes séparés dans un caisson annexe servant de sas (un peu trop exigü toutefois). Or, c'est dans l'hydrosphère que la santé des deux équipes a été la meilleure - infections cutanées mises à part.

2°/ - Le microclimat.

Avec sa température obligatoirement élevée ($30^{\circ}\text{C} \pm 1$) et son hygrométrie difficile à contrôler, il réalise des conditions tropicales, sans soleil, propices aux infections bactériennes, malgré l'antisepsie efficace de l'atmosphère (procédé AEROVAP).

En revanche, la purification des gaz et l'éviction des polluants chimiques, sont maintenant parfaitement au point. (sauf introduction toujours possible de nouveaux matériaux, mal connus, dans les caissons).

3°/ - L'habillement.

Il constitue un véritable travail en l'état actuel des équipements. Cela présente un double inconvénient :

- effort parfois plus important que celui qui devra être fourni sous l'eau, donc véritable gaspillage d'énergie musculaire ;
- temps perdu (environ 4 heures pour 2 plongées quotidiennes) et de ce fait, réduction des heures de repos et de sommeil.

4°/ - Le séjour dans la tourelle.

Celle-ci n'étant pas conçue pour que trois hommes puissent y passer un certain temps dans un confort acceptable, il constitue une nuisance non négligeable pour les deux plongeurs entièrement équipés, alourdis par leurs vêtements et leur lest et qui ne peuvent se tenir ni franchement debout, ni franchement assis.

Cette contrainte les oblige à des efforts statiques beaucoup plus fatiguants que les efforts dynamiques qu'ils auront à fournir en immersion.

Si l'on veut que des hommes aillent travailler sous la mer de plus en plus longtemps, il faudra mettre au point des équipements d'utilisation plus facile et des tourelles de dimensions plus grandes, conçues pour la décontraction et non pour la tension musculaire avant l'effort.

5°/ - Les horaires.

Ils doivent être aménagés en fonction des rythmes biologiques. Au cours de la phase en mer, une sortie de deux heures le matin, de 8 à 10 et une deuxième le soir de 18 à 20, paraissent acceptables au départ. En fait, les préparatifs et les rangements obligeaient les hommes à se lever à 05:30 tandis qu'ils ne se couchaient jamais avant 23:30. D'où constitution d'une dette de sommeil, augmentant chaque jour et provoquant la (relative) défaillance du cinquième jour. Or, il a suffi d'une matinée de récupération le lendemain pour que les P.J. retrouvent presque leur forme du début !....

Dans la mesure où, d'une part les impératifs du chantier et d'autre part la protection prolongée contre le froid le permettront, il faut prévoir la possibilité de plongées quotidiennes uniques mais longues (3 à 4 heures) ou bi-quotidiennes plus rapprochées (de 9 à 11 et de 16 à 18 par exemple).

Les tables Ludion doivent être adaptables à cette plus grande liberté d'horaire, au prix d'une légère augmentation des pressions-vie (22 ata environ), mais toujours sans paliers de décompression intermédiaire.

6°/ - La fiabilité du matériel.

L'insuffisance de celle-ci, surtout en ce qui concerne les équipements individuels, écourta la plupart des séjours sur le chantier. De plus elle fut - avec le manque de sommeil - le facteur le plus important de fatigue nerveuse pour les plongeurs.

Les pannes électriques constituèrent un handicap certain. Sans elles, il est permis de penser que les durées de travail sous-marin auraient pu atteindre (ou dépasser) 25 heures par plongeur, en 8 jours.

Mais il faut tenir compte aussi, des gants déchirés, des entrées d'eau par les soupapes du V.C et de quelques autres types d'incidents, mineurs en apparence mais qui, dans ce contexte de milieu aquatique, de pression, de profondeur réelle et de difficultés thermiques, prennent tout de suite des proportions telles qu'ils écourtent la séance de travail s'il n'est pas possible de pallier immédiatement leurs effets.

JANUS II a eu le mérite de montrer tout cela et d'ouvrir un cahier des charges dont chaque détail devra être traité comme s'il était aussi important que tout l'ensemble.

7°/ - La sécurité.

En ce qui la concerne, JANUS II fut une complète réussite, sur les trois plans : physiologique, logistique et technique. Il sera bon de la codifier par écrit, mais ici tout commentaire serait superflu.

g) COMPRESSION ET DECOMPRESSION -

1 - La compression.

Les diverses expériences de plongée profonde et très profonde réalisées depuis 1967 par COMEX, ainsi qu'à l'étranger, ont mis en évidence le rôle important joué par la vitesse de compression sur l'apparition des différents symptômes du Syndrome nerveux des hautes Pressions et par conséquent, sur le comportement physiologique des plongeurs à grande profondeur et leur faculté d'adaptation à des pressions ambiantes importantes.

Déjà lors de la phase 1 de JANUS II, voulant éviter de traumatiser les P.J. par une compression initiale trop rapide, de 0 à 200 mètres, nous avons opéré de la façon suivante :

- pressurisation de 0 à 100 mètres en 5 minutes.
- pressurisation de 100 à 150 mètres en 20 minutes.
- palier de dix minutes à 150 mètres.
- pressurisation de 150 à 200 mètres en 35 minutes.

Soit un total de 1 heure 10 minutes pour la mise en pression de 0 à 200 mètres.

Cette descente a entraîné des troubles assez significatifs :

- . vertiges,
- . symptômes articulaires,
- . fatigue marquée à l'arrivée au fond (voir tableau page 3)

Réapparition de ces symptômes lors du premier Ludion de 200 à 250 mètres.

Plus aucun trouble lors des Ludions suivants.

Ce qui montre qu'indéniablement, la vitesse de compression adoptée était trop importante, compte tenu des diverses expériences effectuées par ailleurs en ce domaine (paliers de longue durée à profondeurs intermédiaires, notamment).

Exposé de l'hypothèse de base.

(gradient entre tissus lents et rapides)

Pour modifier de façon rationnelle cette vitesse de compression, il fallait partir d'une hypothèse de travail.

Cette hypothèse, fondée sur les recherches de KYLSTRA concernant le pouvoir osmotique des gaz dissous dans les liquides, fait intervenir le déséquilibre existant entre la saturation en gaz inerte des tissus rapides tels que le sang et celle des tissus les plus lents, lors des variations rapides de pression. Ce que l'on a appelé le "dysbarisme osmotique" doit avoir des effets non négligeables, principalement au niveau de certaines formations ou de certains compartiments liquidiens (labyrinthe, liquide céphalo-rachidien, articulations).

Il pourrait exister une valeur limite des différences de pression de gaz dissous au delà de laquelle le dysbarisme osmotique ferait apparaître les troubles rattachables au Syndrome nerveux des hautes Pressions, que nous avons pu observer lors des plongées très profondes.

Afin de déterminer ce gradient admissible, n'influant pas sur le comportement des plongeurs dans la tranche 0 - 250 mètres, nous sommes partis de la constatation suivante :

- l'expérience pratique de COMEX (expérimentation et travaux sur chantiers pétroliers) montre qu'une compression très rapide (en quelques dizaines de secondes) jusqu'à une profondeur de l'ordre de 100 mètres, ne semble pas avoir d'influence notable sur le comportement des plongeurs. Il semble donc, qu'un gradient de l'ordre de 10 bars, soit supportable sans troubles.

Le calcul de la vitesse de compression à adopter pour maintenir un gradient constant est aisé :

Si G est le gradient admissible

P la pression absolue ambiante

Q la tension de gaz dissous dans le tissu de période T

Par définition :

$$Q = P - G$$

$$\text{Soit : } dQ = dP$$

$$\text{puisque } dG = 0$$

or :

$$dQ = \frac{\text{Log } 2}{T} G dt$$

d'où l'on tire :

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\text{Log } 2 \times G}{T}$$

Soit, si nous prenons

$$T = 240 \text{ minutes} : \underline{4 \text{ heures}}$$

Vitesse de compression (en mètres par heure) = $0,175 G$ (en mètres).

Nous fiant aux observations déjà citées plus haut, et partant de l'hypothèse que cette valeur de G pouvait être admise jusqu'à 250 mètres de profondeur, nous avons adopté pour la phase 2A de JANUS II, une vitesse de compression de 20 m/heure correspondant, par conséquent, à un gradient constant d'environ 114 mètres (ou 110 mètres si nous retranchons les 400 mb de pression partielle d'oxygène). L'horaire de la compression se présentait alors comme suit (y compris le test d'un gradient d'une centaine de mètres environ lors de la première plongée à 250 mètres) :

- 1°/ - Compression rapide (en quelques minutes, la durée exacte étant plus dictée par des considérations d'ordre technique que par la physiologie) de 0 à 100 mètres, afin de créer le gradient désiré pour la suite de la pressurisation.
- 2°/ - Pressurisation de 100 à 200 mètres en 5 heures (soit à 20 m/heure).
- 3°/ - Pause de 4 heures au niveau-vie à 200 mètres, réduisant de moitié le gradient (puisque ce "palier" est d'une durée égale à la période choisie pour le tissu le plus lent) et le ramenant ainsi à une valeur d'environ 55 mètres.
- 4°/ - Pressurisation rapide (10 minutes environ) de 200 à 250 mètres lors de la première plongée-travail, portant ce gradient à environ $55 + 50 = 105$ mètres.

Cette méthode nous a donc permis le contrôle des effets d'un gradient moyen de 100 à 110 mètres environ, en continu pour les profondeurs comprises entre 100 et 200 mètres, et en un point pour la profondeur 250 mètres.

Les résultats ont été les suivants :

- . vertiges très atténués ;
- . symptômes articulaires se manifestant de façon très discrète ;
- . mais petites douleurs lombaires, comparables à une courbature chez deux des trois P.J. ;
- . aucun vertige à l'arrivée au fond.

L'amélioration très nette ainsi constatée, n'éliminant pas totalement les divers symptômes observés, nous avons légèrement diminué le gradient admissible lors de la mise en pression de la phase 2B et choisi une vitesse de pressurisation de 15 m/heure. Ce qui correspond à un gradient d'environ 85 mètres. L'horaire de compression se présentait comme suit :

- 1°/ - Compression rapide (en quelques minutes) de 0 à 80 mètres, afin de créer le gradient désiré pour la suite de la pressurisation.
- 2°/ - Pressurisation de 80 à 200 mètres en 8 heures (soit à 15 m/heure).
- 3°/ - Pause minimale de 6 heures au niveau-vie pour réduire le gradient à 30 mètres, avant la première plongée-travail (portant alors celui-ci à $30 + 50 = 80$ mètres au maximum).
Lors de la phase 2B, cet intervalle a été de 8 heures réduisant le gradient à 20 mètres et portant celui-ci à $20 + 50 = 70$ mètres à la mise en pression de la première plongée-travail à 250 mètres.

Les résultats de cette méthode de pressurisation se sont avérés excellents : les trois plongeurs à l'arrivée au fond ne présentaient que des symptômes articulaires très atténués (aucun vertige, aucune fatigue).

Nous avons, en conséquence, adopté la même méthode pour la phase 3 en mer. Les sujets étant les mêmes que lors des phases 1 et 2A.

La comparaison des résultats offrait, par conséquent, un intérêt certain.

Seul LIOGIER a présenté quelques petites gênes articulaires. Mais aussi bien lui que CORNILLAUX et CADIOU, se trouvaient dans un état de bien-être et même d'euphorie assez étonnant. Le traumatisme de la compression ayant été éliminé, ils étaient d'emblée, au moral comme au physique, en état de se consacrer à la performance qu'ils souhaitaient accomplir.

CONCLUSIONS :

Dans la tranche 0 - 250 mètres, un gradient de 80 mètres environ est admissible entre les tensions d'hélium dissous dans le tissu le plus lent et le plus rapide de l'organisme. Il en résulte que la compression optimale s'effectue de la façon suivante :

- rapide jusqu'à 80 mètres environ ;
- à 15 mètres/heure, ensuite.

Dans le cas d'un niveau-vie différent du niveau-travail, un intervalle de temps suffisant devra être ménagé entre l'arrivée au niveau-vie et la pressurisation de la première plongée-travail, afin de ne pas excéder un gradient d'environ 80 mètres lors de la première arrivée au niveau-travail.

II - La décompression finale.

1° - Introduction

La profondeur et la durée des travaux effectués par les plongeurs sur les chantiers offshore croissant régulièrement, il est hors de doute que, très rapidement, la plongée industrielle en saturation sera de plus en plus utilisée.

La décompression finale, de par les contraintes logistiques qu'elle impose (immobilisation totale ou partielle du personnel et du matériel) a une incidence importante sur l'organisation et le bilan financier de telles opérations.

C'est pourquoi, il apparaît souhaitable de réduire autant que possible sa durée, tout en conservant évidemment une marge de sécurité raisonnable.

Les plongées à saturation effectuées avant 1970 étant, pour la plupart, expérimentales, deux tendances pouvaient être observées :

- décompressions très rapides à pressions partielles d'oxygène élevées (BUHLMANN et col.), intéressantes sur le plan expérimental mais inapplicables sur chantiers de par les séquelles pulmonaires que leur répétition pourrait entraîner chez les plongeurs ;
- décompressions très lentes, à pressions partielles d'oxygène basses (U.S. NAVY et dérivées) bien en deçà des limites de la sécurité, et beaucoup trop longues pour être rentables sur le plan industriel.

Citons à titre d'exemple, les décompressions après saturation à 300 mètres effectuées :

- . par BUHLMANN et col. en 1969 : 88 heures
- . par l'U.S. NAVY, en 1970 : 270 heures !....

Il fallait trouver, dans le juste milieu, un procédé qui, tout en réduisant la durée de la décompression au strict minimum, soit d'une innocuité totale vis à vis des plongeurs, et tienne compte des impératifs techniques et économiques des chantiers industriels.

L'opération JANUS II a été l'occasion de mettre au point ce procédé dans la zone 0 - 200 mètres (qui sera la tranche opérationnelle des années à venir).

Pour la phase I, la méthode de calcul de la décompression finale adoptée a été abondamment décrite dans le programme de cette phase et constituait une première approche de la solution aux problèmes que nous venons de poser. Les renseignements que nous en avons tirés, du fait de son imperfection (voir rapport phase I), ainsi que des "Ludions" 200 - 250 mètres, nous ont permis l'élaboration d'une méthode nouvelle, entièrement revue et mise en expérimentation dès la phase 2A. C'est cette méthode que nous allons maintenant décrire.

2°/ - Choix des paramètres de base.

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

Cette valeur est généralement considérée comme le maximum à ne pas dépasser pour des expositions de longue durée. Nous avons pu vérifier son innocuité parfaite pour des expositions de plus de quatre jours, justifiant ainsi, à posteriori, le choix que nous en avons fait (appuyé par les travaux de LAMBERTSEN et notre expérience personnelle en ce domaine).

Afin de supprimer les risques d'incendie, le pourcentage maximal d'oxygène dans le caisson a été fixé à 25 %. Il en résulte qu'entre 14 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 600 à 250 millibars jusqu'au retour en surface.

Le rinçage du caisson à l'air a été supprimé, les plongeurs respirant de l'héliox jusqu'à leur retour en surface. Ceci permet de récupérer l'hélium jusqu'à la fin de la décompression et évite la saturation partielle des plongeurs en Azote, généralement génératrice d'accidents en fin de décompression (ou même après la sortie du caisson) ; ce fait étant dû à ce que la période de désaturation des tissus est beaucoup plus longue à l'azote qu'à l'hélium.

Le port du masque, pour inhalation de mélanges suroxygénés ou d'oxygène pur, a été supprimé, les plongeurs respirant uniquement l'atmosphère du caisson jusqu'à leur arrivée en surface. En effet, le gain de temps réalisé par l'inhalation de tels mélanges (de l'ordre de quatre heures) n'est pas significatif vis à vis des inconvénients

correspondants :

- le port du masque est astreignant, fatigant et désagréable pour les plongeurs ;
- les pressions partielles d'oxygène élevées ainsi inhalées sont à l'origine de la majorité des irritations pulmonaires consécutives aux décompressions de longue durée ;
- la nécessité de disposer des mélanges requis en grandes quantités et la consommation de ces mélanges constituent une charge évitable ;
- dans les trois derniers mètres, le fonctionnement des appareils déverseurs n'est que partiel, il en résulte une augmentation du pourcentage d'oxygène dans l'atmosphère du caisson, génératrice de risques d'incendie et nécessitant de longues ventilations des chambres.

Par ailleurs, un autre avantage de cette méthode réside dans le fait qu'en cas d' "accroc" en fin de décompression, il suffit généralement que le plongeur prenne le masque (50/50 entre 30 et 12 mètres, oxygène pur entre 12 mètres et la surface) pendant une ou plusieurs tranches de 30 minutes, pour réduire l' "accident" sans qu'il soit nécessaire de ralentir la décompression. Ceci est un avantage important, sur chantiers, où un retard de plusieurs heures dans le planning des travaux peut avoir de graves conséquences techniques et économiques.

Cette décompression s'effectue, évidemment, en continu, la décompression par paliers représentant une perte de temps inutile.

3°/ - Calcul de la vitesse de décompression en fonction de la profondeur.

P étant la profondeur exprimée en mètres d'eau de mer,

dans tout ce qui suit, nous appellerons :

D la profondeur,

A la pression absolue,

N la pression partielle de gaz inerte dans le mélange respiré,

Q la tension de gaz inerte dissous dans le tissu considéré,

M la tension maximale tolérable de gaz inerte dissous dans le tissu considéré,

E = N - Q le gradient de pression partielle de gaz inerte entre le mélange respiré et le gaz dissous dans le tissu considéré.

H la pression partielle d'oxygène dans le mélange respiré

Toutes ces grandeurs étant exprimées en décimètres d'eau de mer.

t le temps,

T la période de désaturation du tissu le plus lent de l'organisme.

Ces deux grandeurs étant exprimées en minutes.

Il en résulte les relations suivantes :

$$D = 10 P$$

$$A = 10 P + 100$$

$$N = 10 P + 100 - H$$

$$E : N - Q = 10 P + 100 - H - Q$$

Sur le plan pratique, il nous importe de déterminer la quantité $\frac{dt}{dP}$ inverse de la vitesse

de décompression qui, exprimée en minutes par mètre, permettra le mieux, au caisson-master, d'effectuer la décompression.

L'équation fondamentale de la décompression est :

$$dQ = K E dt$$

où K est la constante caractéristique du tissu considéré avec $K = \frac{\text{Log } 2}{T}$

Une décompression idéale est celle pour laquelle, à tout instant on a $Q = M$, ceci nous garantit son innocuité (condition $Q \leq M$ satisfaite) et, le gradient étant maintenu en permanence à sa valeur maximale tolérable, la vitesse de désaturation est maximale. Il en résulte que :

$$dM = dQ = K E dt$$

$$\text{soit } dM = K (10 P + 100 - H - M) dt \quad \text{ou}$$

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

$$\text{Pour } P \gg 14 \quad H = 60 \quad \text{et} \quad \frac{dt}{dP} = \frac{T}{\text{Log } 2} \times \frac{dM}{dP} \times \frac{1}{10 P + 40 - M}$$

$$\text{Pour } P \leq 14 \quad H = 0,25 (10 P + 100) = 2,5 P + 25 \quad \text{et}$$

$$\frac{dt}{dP} = \frac{T}{\text{Log } 2} \times \frac{dM}{dP} \times \frac{1}{7,5 P + 75 - M}$$

Il nous reste à choisir la fonction $M (P)$ d'où nous déduirons sa dérivée $\frac{dM}{dP}$

ainsi que la période T de désaturation du tissu le plus lent de l'organisme.

4/ - Choix des éléments de calcul.

4.1. Période.

Nous avons, dans la première approche, choisi une période unique $T = 240$ minutes. En effet, en décompression de saturation, seul le tissu le plus lent entre en ligne de compte, les autres tissus, de période plus courte se désaturant plus rapidement et ayant des valeurs M plus importantes. Par ailleurs, cette valeur de $T = 240$ minutes était considérée, de façon quasi-universelle, comme la période maximale des différents tissus pris en considération dans l'organisme humain avec l'hélium.

4.2. Fonction M .

Lors de la phase 1, la fonction M choisie était définie comme suit :

$$M = \Delta M \times P + M_0$$

$$\text{avec } \Delta M = 10,5 \text{ pour } P > 120 \text{ mètres}$$

$$\Delta M = 10 \text{ pour } P < 120 \text{ mètres}$$

$$\text{et } M_0 = 160$$

Riches des enseignements de cette première décompression, il nous a paru plus logique de choisir un ΔM variant de façon continue de 200 mètres à la surface, ce qui présentait l'avantage de supprimer la discontinuité introduite lors de la phase 1 au passage à 120 mètres. (passage du ΔM de 10,5 à 10 et de T de 180 minutes à 240 minutes). La loi de variation de ΔM en fonction de la profondeur a été choisie linéaire :
 $\Delta M = aP + b$ d'où $M = aP^2 + bP + M_0$, loi parabolique plus conforme, physiquement, à la loi de Mariotte (développement des inévitables bulles infra-cliniques).

Les coefficients a , b et M_0 ont été déterminés expérimentalement à partir des données des Ludions de la phase 1, et d'une saturation COMEX à 75 mètres (Golfe de Gascogne, été 1970).

M_0 généralement pris égal à 160, a été choisi égal à 155 seulement, valeur nous paraissant, par expérience, plus sûre pour des fins de décompressions de longues durées (plusieurs jours).

Lors des plongées de la phase 1, la charge maximale atteinte (3 sujets) par le tissu 240 minutes, au retour au niveau-vie à 200 mètres, a atteint 2225 décimètres d'eau de mer, valeur qui s'est avérée parfaitement admissible. Nous avons donc choisi :
 $M (200) = 2225$.

De la même façon, la charge de ce même tissu a atteint (2 sujet) lors de la saturation expérimentale (Ludions 75-102 mètres) effectuée au C.E.H. en juin 1970, une charge maximale de 925 décimètres d'eau de mer, lors des retours au niveau-vie à 75 mètres, et ce, avec la plus parfaite innocuité. Nous avons donc choisi :

$$M (75) = 925$$

La fonction M est alors définie de la façon suivante :

$$M = aP^2 + bP + M_0$$

$$\text{avec } \left\{ \begin{array}{l} M_0 = 155 \\ M (75) = 925 \\ M (200) = 2225 \end{array} \right.$$

Le système suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} (75)^2 a + 75 b + 155 = 925 \\ (200)^2 a + 200 b + 155 = 2225 \end{array} \right.$$

nous permettant le calcul des coefficients a et b

$$\text{soit } a = \frac{1}{1500} \quad \text{et} \quad b = 10,2 \quad (\text{valeur arrondie au } 0,1 \text{ inférieur par sécurité}).$$

$$\text{d'où } M = \frac{P^2}{1500} + 10,2 P + 155$$

soit un ΔM variant de 10,2 en surface à 10,33 à 200 mètres.

A titre de vérification, avant d'expérimenter cette fonction M , nous avons calculé la charge Q_1 d'un tissu 240 minutes tout au long de la décompression adoptée pour la phase 1. Nous avons alors considéré la différence $Q_1 - M$ en fonction de la profondeur (M étant défini par la formule que nous venons d'établir), et noté que cette différence présentait deux maxima :

- l'un à 160 mètres, profondeur à laquelle sont apparus les premiers signes de bends
- l'autre aux environs de 130 mètres, profondeur à laquelle les symptômes s'aggravant, il a été nécessaire d'effectuer un palier thérapeutique.

Ce qui prouvait que la fonction M ainsi déterminée, était en concordance parfaite avec les résultats expérimentaux obtenus lors de la phase 1.

5°/ - Décompressions effectuées.

Nous avons donc décidé la décompression de la phase 2A sur les bases suivantes :

$$T = 240 \text{ minutes}$$

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

De la formule du chapitre III on déduit :

$$\text{Pour } P \geq 14 \quad \frac{dt}{dP} = \frac{240}{\text{Log } 2} \times \frac{\frac{P}{750} + 10,2}{\frac{P^2}{1500} + 0,2 P + 115}$$

$$P \leq 14 \quad \frac{dt}{dP} = \frac{240}{\text{Log } 2} \times \frac{\frac{P}{750} + 10,2}{\frac{P^2}{1500} + 2,7 P + 80}$$

et la table de décompression suivante :

de 200 à 199 mètres	20 min/mètre	} sous 600 mb d'O ₂
de 199 à 179 "	21 min/mètre	
de 179 à 160 "	22 min/mètre	
de 160 à 141 "	23 min/mètre	
de 141 à 123 "	24 min/mètre	
de 123 à 105 "	25 min/mètre	
de 105 à 87 "	26 min/mètre	
de 87 à 69 "	27 min/mètre	
de 69 à 51 "	28 min/mètre	
de 51 à 33 "	29 min/mètre	
de 33 à 15 "	30 min/mètre	
de 15 à 14 "	31 min/mètre	

de 14 à 13 mètres	32 min/mètre	} Sous 25 % d'O ₂
de 13 à 12 "	33 min/mètre	
de 12 à 11 "	34 min/mètre	
de 11 à 10 "	35 min/mètre	
de 10 à 9 "	36 min/mètre	
de 9 à 8 "	37 min/mètre	
de 8 à 7 "	38 min/mètre	
de 7 à 6 "	39 min/mètre	
de 6 à 5 "	40 min/mètre	
de 5 à 4 "	41 min/mètre	
de 4 à 3 "	42 min/mètre	
de 3 à 2 "	43 min/mètre	
de 2 à 1 "	44 min/mètre	
de 1 à la surface	45 min/mètre	

Durée totale de décompression : 87 heures 47 minutes.

Cette décompression débute dès le retour au niveau-vie suivant la dernière plongée-travail, le gradient étant fourni, au "démarrage" par la décompression intermédiaire de 250 à 200 mètres assurant : Q du tissu 240 minutes $\leq M$ (200)

Ce schéma de décompression, très amélioré par rapport à celui de la première phase, était tout de même un peu "juste". Les passages de bulles ont été perçus précocement par les trois P.J. et un "pain" par P.J. A à 25 mètres. La prise de 50/50 durant 1/2 heure n'a pas suffi à réduire les bulles. On a dû arrêter la décompression pendant 1 heure, redonner du 50/50 et reprendre la décompression à 40 min/mètre au lieu de 30 min/mètre à ce niveau.

Un deuxième palier de 30 min. a été nécessaire quelques heures plus tard, ainsi que la prise d'oxygène pur par périodes, à partir de 6 mètres.

L' O₂ a été aussi respiré par P.J. C par prudence, bien que les douleurs qu'il a ressenties à la jambe gauche, à la cheville et aux genoux, n'aient pas été très significatives. Elles ont tout de même disparu après 10 min. sous O₂.

Remarquons au passage la bonne tolérance de la PiO₂ à 600 mb. La preuve de cette tolérance est fournie par le fait que les plongeurs A et C ayant respiré durant 3 jours de l'héliox à PiO₂ = 600 mb, ont très bien supporté la respiration de mélanges enrichis et d'oxygène pur, pendant quelques heures, au cours de la dernière journée, sans le moindre signe

d'irritation broncho-pulmonaire.

A cause des incidents et du ralentissement de la fin de la décompression, celle-ci a été au total de 92 h 50 au lieu de 87 h 47. Moyennant cette "rallonge" de 5 heures, les incidents observés chez P.J. A et C n'ont pas eu de suites. Ils n'ont ressenti aucune douleur à la sortie, ni plus tard et P.J. B avait été beaucoup plus affecté par son anthrax que P.J. A et C par leurs "pains".

Le point important réside dans le fait que les 3 sujets ont ressenti, pratiquement tout au long de cette décompression, de légers "passages de bulles" infra-pathogènes, démontrant ainsi la justesse de nos calculs et prouvant que la courbe adoptée suivait rigoureusement dans la zone 200 - 25 mètres, la vitesse limite de décompression acceptable. Le "pain" survenu à 25 mètres et ayant nécessité la modification de la courbe ainsi qu'une orientation thérapeutique de la table, peut s'interpréter de deux façons :

- soit que la période T augmente en fin de décompression - ce fait étant dû à l'inactivité des plongeurs et à la diminution du taux de perfusion qui en résulte ;
- soit que les bulles infra-pathogènes ressenties par les plongeurs dans la première partie de la décompression ne se soient pas suffisamment résorbées et, la loi de Mariotte jouant, aient déclenché les "pains" constatés (sur un sujet seulement sur trois).

La première hypothèse nous a paru la plus vraisemblable étant donné que :

- le sujet qui a subi les "pains" était le seul à ne pas avoir "accroché" lors de la phase 1 et paraissait, par conséquent, présenter une moindre sensibilité aux accidents de décompression;
- ses deux camarades, ayant présenté sur la fin de la décompression, un petit état frivole, voyaient, par conséquent, leurs taux de perfusion augmenter. Ainsi, ils ont subi la décompression sans incident notable.

Afin de vérifier ces conclusions, nous avons pour la phase 2B, apporté les modifications suivantes à la table :

- réduction de la vitesse de décompression dans la tranche 200 - 33 mètres, tout en conservant à la courbe la même allure semi-parabolique ;
- seconde phase de la décompression, dans la tranche 33 - 0 mètres identique;

Nous avons donc adopté la table suivante :

de 200 à 163 mètres	26 min/mètre	} Sous 600 mb d'O ₂
de 163 à 126 "	27 min/mètre	
de 126 à 89 "	28 min/mètre	
de 89 à 52 "	29 min/mètre	
de 52 à 15 "	30 min/mètre	
de 15 à 14 "	31 min/mètre	} Sous 25 % d'O ₂
de 14 à 13 "	32 min/mètre	
de 13 à 12 "	33 min/mètre	
de 12 à 11 "	34 min/mètre	
de 11 à 10 "	35 min/mètre	
de 10 à 9 "	36 min/mètre	
de 9 à 8 "	37 min/mètre	
de 8 à 7 "	38 min/mètre	
de 7 à 6 "	39 min/mètre	
de 6 à 5 "	40 min/mètre	
de 5 à 4 "	41 min/mètre	
de 4 à 3 "	42 min/mètre	
de 3 à 2 "	43 min/mètre	
de 2 à 1 "	44 min/mètre	
de 1 à la surface	45 min/mètre	

Durée totale de la décompression : 95 heures 50 minutes

Cette décompression d'une durée totale de 96 heures a correspondu au schéma à 10 minutes près. On n'a dû ni ralentir, ni passer les plongeurs sous masque (à O₂ avec mélange enrichi).

Elle n'en a pas moins été génératrice de bulles chez les 3 sujets dans la dernière phase, bulles non dangereuses que l'on pourrait qualifier d'infra-pathogènes sinon infra-cliniques.

Par exemple :

P.J. C à 06:30 du matin -20 mètres est réveillé par une douleur aux deux genoux. Cette douleur s'atténuera, puis s'intensifiera par moment, mais demeurera si bénigne que le plongeur l'acceptera jusqu'à la sortie.

Elle disparaîtra définitivement, environ 1 heure après le retour à la pression atmosphérique.

Chez P.J. A c'est à partir de 15 mètres (10:30) qu'une gêne dans les deux genoux se manifestera jusqu'à la sortie. Tandis que P.J. B qui prétend avoir ressenti quelques passages la veille de la sortie vers 20 heures (44 mètres) il est incommodé par des passages fréquents mais fugaces de douleurs, toujours au niveau des genoux jusqu'à la fin.

Aucune de ces manifestations n'a nécessité une modification de la table.

Ces résultats montrent, le début de la décompression ayant, manifestement été effectué bien en deçà de la limite de sécurité et les symptômes observés en fin de décompression étant bénins, comparés à ceux de la phase précédente, que les deux raisons évoquées plus haut ont joué un rôle, ainsi :

- la première partie de la décompression de la phase 2A s'étant effectuée très près des limites, des bulles infra-pathogènes ainsi créées ne sont pas résorbées et ont occasionné les bords du P.J. A sous l'effet de leur dilatation progressive dans la zone des 30 mètres ;
- la première partie de la décompression de la phase 2B s'étant effectué en deçà des limites de sécurité et des passages de bulles ayant, malgré tout, eu lieu dans la phase terminale, il en résulte que la période choisie (240 minutes) doit être reconsidérée sur la fin de la décompression, compte tenu de la réduction de la perfusion chez des sujets soumis à plusieurs journées d'inactivité et en légère hyperoxie.

Pour la phase 3, (où les sujets étaient les mêmes que pour les phases 1 et 2A, ce qui présente un très grand intérêt comparatif) nous avons donc, considérant les remarques exposées ci-dessus, repris la table de la phase 2A que nous avons "allongée" de 3 minutes par mètre, ce qui nous permettait :

- de nous éloigner suffisamment de la frontière définie, lors de la phase 2A, pour la première partie de la décompression et d'éviter ainsi qu'elle ait une influence fâcheuse sur la phase finale ;
- d'allonger cette phase finale d'environ 8 %, en moyenne, et par conséquent d'obtenir le même résultat que celui que nous aurions obtenu en choisissant, pour cette partie de la décompression, une période $T = 240 \times 1,08 \approx 260$ minutes.

Nous avons donc utilisé la table suivante :

de 210 à 199 mètres	23 min/mètre	} Sous 600 mb d'O ₂
de 199 à 179 "	24 min/mètre	
de 179 à 160 "	25 min/mètre	
de 160 à 141 "	26 min/mètre	
de 141 à 123 "	27 min/mètre	
de 123 à 105 "	28 min/mètre	
de 105 à 87 "	29 min/mètre	
de 87 à 69 "	30 min/mètre	
de 69 à 51 "	31 min/mètre	
de 51 à 33 "	32 min/mètre	
de 33 à 15 "	33 min/mètre	
de 15 à 14 "	34 min/mètre	
de 14 à 13 "	35 min/mètre	
de 13 à 12 "	36 min/mètre	
de 12 à 11 "	37 min/mètre	
de 11 à 10 ; "	38 min/mètre	
de 10 à 9 "	39 min/mètre	
de 9 à 8 "	40 min/mètre	
de 8 à 7 "	41 min/mètre	
de 7 à 6 "	42 min/mètre	} Sous 25 % d'O ₂
de 6 à 5 "	43 min/mètre	
de 5 à 4 "	44 min/mètre	
de 4 à 3 "	45 min/mètre	
de 3 à 2 "	46 min/mètre	
de 2 à 1 "	47 min/mètre	
de 1 à la surface	48 min/mètre	

Cette courbe de décompression s'est avérée excellente, se concrétisant par une remontée opérée sans le moindre incident. Durée totale : 102 heures (de 210 mètres).

Les diverses données théoriques et expérimentales, doivent nous permettre dans les mois à venir, en effectuant une série de calculs plus précis, de parfaire nos courbes afin d'en augmenter la sécurité par une optimisation de leurs caractéristiques, avec une incidence négligeable sur leur durée. Cela nous permettrait de définir, ainsi une table de décompression de saturation, opérationnelle et utilisable pour toute profondeur de niveau-vie comprise dans la tranche 0 - 200 mètres.

III - Les décompressions intermédiaires.

Les calculs exposant l'hypothèse de travail présidant au choix des paramètres du "Ludion" utilisé ont été exposés dans le programme de la phase 1 de JANUS II.

Cette hypothèse s'est avérée exacte, et les conditions de plongée correspondantes (2 plongées quotidiennes, à 08 : 00 et 20 : 00, d'une durée de 2 heures chacune, avec décompression intermédiaire, de 250 à 200 mètres, en 10 minutes sans palier) nous sont apparues être bien en deçà des limites de sécurité, en ce qui concernait les décompressions intermédiaires.

La vérification en a été effectuée de la manière suivante :

- lors de la phase 1, l'augmentation progressive de la durée des séjours au niveau-travail de 1 heure à 2 heures, a permis de vérifier l'hypothèse de base. Ensuite, la plongée du soir a été effectuée à 19 heures et sa durée portée progressivement à 2 h 17. La dernière plongée d'une durée de 2 heures a débuté à 18 : 00. Ceci a permis de fixer comme opérationnellement valable, l'horaire de plongée suivant :

- matin de 08 : 00 à 10 : 00
- soir de 18 : 00 à 20 : 00

Tout en maintenant une décompression intermédiaire de 250 à 200 mètres en 10 minutes, sans palier.

Cet horaire a ensuite été conservé pour toute la durée des phases 2A, 2B et 3.

II - LOGISTIQUE -
=====

Tout le matériel lourd de plongée a été décrit en détail dans le rapport de la phase 3.

Le site avait été particulièrement bien choisi, en baie d'AJACCIO par DORIS, suite à une campagne de sondages effectuée par C. AGARATE sur le N/O "CATHERINE-LAURENCE".

Le mouillage de l'ASTRAGALE a été parfaitement réussi, malgré les difficultés inhérentes à la profondeur importante.

Bien que prévu pour des plongées d'interventions jusqu'à 200 mètres, le matériel de l'ASTRAGALE a permis une plongée à saturation avec des interventions à 250 mètres, sans grandes modifications. Le seul incident qui se soit produit sur le treuil à la première remontée de la tourelle ne met pas en cause la conception du matériel.

Le dispositif du surpresseur dont était équipée la tourelle, pour l'alimentation en mélange des plongeurs est intéressant et doit être perfectionné (voir les conclusions sur l'équipement individuel du plongeur).

III - TECHNOLOGIE - =====

Nous avons regroupé dans ce chapitre, les conclusions critiques relatives au matériel individuel de plongée ; cette dernière phase nous permettant de définir la gamme de matériel nécessaire aux plongeurs à grande profondeur.

1°/ - Les vêtements.

Deux types de vêtement avaient été sélectionnés pour la plongée réelle à 250 mètres.

a) vêtement SIDEP.

La description détaillée de cet équipement figure dans l'annexe 1 du rapport JANUS II phase 2 A et B.

Malgré l'avantage d'une belle présentation et d'une grande facilité d'habillage, cet habit n'est pas adapté à des plongées industrielles profondes en saturation :

- gants trop minces ;
- le néoprène alvéolé qui compose le vêtement supporte mal la décompression ;
- entrées d'eau dans l'intervalle de pressurisation ;
- mécanique du détendeur de pressurisation trop fragile ;
- nécessité d'une alimentation en eau chaude très fréquente ;
- mauvaise isolation thermique de l'intervalle de pressurisation gorgé d'hélium, qui le rend dangereux dans le cas de plongées à saturation.

b) vêtement SPIROTECHNIQUE :

Le vêtement utilisé à "volume constant" était fabriqué en tissu souple type "HANS KELLER".

A l'intérieur, le plongeur portait un sous-vêtement chauffant électrique, type "SPIRO-CHROMEX".

Cet équipement présente le désavantage d'être difficile à revêtir (il faut un aide au plongeur) mais il est très satisfaisant sur le plan de confort thermique et de la sécurité d'emploi.

2°/ - Matériel respiratoire.

Le circuit respiratoire était composé d'un détendeur Aquilon, d'un déverseur CYCLO-FLOW, d'un prototype de compresseur de tourelle mis au point par DORIS, d'un réchauffeur de gaz mis au point par COMEX.

Bien qu'ayant été capable d'assurer la respiration d'un plongeur à 250 mètres, l'Aquilon qui a été conçu pour la plongée sportive, ne donne pas au plongeur un confort respiratoire suffisant.

Les Aquilons employés étaient suralimentés à la limite du débit continu (après tarage additionnel). Un détendeur conçu pour la plongée profonde doit être mis au point.

Le déverseur CYCLO-FLOW utilisé, présente l'inconvénient d'introduire des pertes de charge à l'inspiration et à l'expiration, et surtout de ne pas avoir de sécurité en cas de panne d'alimentation (se reporter au rapport de la phase 2, annexe 2).

Le prototype compresseur de tourelle a donné satisfaction. L'ensemble de ce matériel a permis la récupération d'environ 60 % des gaz respirés.

Le réchauffeur de gaz, dont la nécessité a été mise en évidence par un rapport de C. AGARATE (dans le cadre d'une convention d'étude CFP-COMEX), a permis de maintenir les gaz respirés à une température de 37°C. Il est régulé électroniquement, et dissipe une puissance maximale de 1kw.

3°/ - Equipement de tête.

a) SIDEPE - EFA.

Les plongeurs utilisaient le casque EP 200 à visière plane (voir rapport phase 2, annexe 1) qui n'est pas adapté à la plongée profonde industrielle et a été rapidement abandonné lors de la phase 3.

b) Cagoule: SPIROTECHNIQUE.

Cette cagoule fait partie du vêtement à volume constant (voir ci-dessus).

Elle présente une grande sécurité d'emploi ; à noter que la soupape de tête était remplacée par une soupape blocable par 1/4 de tour, manoeuvrée au grè du plongeur.

Mais cette cagoule présente les inconvénients d'être difficile à mettre en place (nécessité de l'aide d'un deuxième plongeur), d'avoir un champ de vision réduit, d'autant plus qu'elle est mal assujettie à la tête du plongeur et risque de se déplacer lorsque le vêtement est plus ou moins gonflé.

Enfin, l'emploi d'un embout buccal rend difficile l'emploi d'un système de communications téléphoniques du plongeur vers la tourelle.

L'expérience JANUS II a mis en évidence l'absence totale d'un équipement de tête adapté aux besoins des plongées profondes industrielles, et dont les caractéristiques principales pourraient se résumer ainsi :

- confort du plongeur, le libérant ainsi de toutes contingences qui peuvent le gêner dans son travail ;
- sécurité d'emploi (visière, respiration, protection mécanique) ;
- possibilité de liaisons téléphoniques claires.

4°/ - Matériel divers.

- a) le Bathyphone I B M a été utilisé avec succès pour le décodage des communications tourelle-surface, et caisson-surface.
- b) un capteur BIO-MARINE placé à l'intérieur de la tourelle, a permis la lecture en permanence de la PPO_2 . Cet appareil d'encombrement très réduit et d'une grande fiabilité, a donné entière satisfaction.
- c) l'oxymètre MINOS AOM BECKMAN est tombé en panne le 1er jour.
- d) l'analyseur de CO_2 ACDM s'est avéré inutilisable en tourelle.

- C O N C L U S I O N S -

Les trois phases de l'Opération J A N U S II ont montré :

- 1°/ - Que des plongeurs professionnels pouvaient vivre à 200 - 250 mètres fictifs, et travailler à 250 mètres en mer, en demeurant efficaces et sans être notablement affectés par ces conditions d'hyperbarie.
- 2°/ - Que la fatigue éprouvée lors de la phase en mer provenait davantage du confinement et de l'inconfort d'enceintes non conçues pour de telles profondeurs - et surtout de telles durées - et que si certaines plongées furent écourtées, c'est à cause des défaillances du matériel et non des hommes.
- 3°/ - Que ce matériel, comportant un certain nombre de perfectionnements assez remarquables (surpresseur de tourelle, réchauffeur de gaz, sous-vêtement chauffant électrique, bathyphone, appareils de contrôle des atmosphères) a tout de même permis aux hommes de réaliser, en grande première mondiale, une performances vraiment opérationnelle.
- 4°/ - Que la décompression terminale avait été améliorée, grâce à une nouvelle méthode, contrôlée par les essais successifs, constituant un gain de temps et de confort considérable dans les "remontées" des plongées à saturation.

- ANNEXE -

- NEUROPHYSIOLOGIE -

Au cours des différentes phases de l'opération JANUS II, l'étude neurophysiologique, principalement axée sur les données de l'électroencéphalogramme, devait déceler, d'une part, les éventuelles modifications des activités corticales, et, d'autre part, les perturbations de l'organisation du sommeil que pouvaient entraîner la vie en confinement et sous pression.

I - Aspects techniques -

1°) Les électrodes de réception -

Les conditions expérimentales particulières ont posé divers problèmes. En effet, l'expérimentateur, se trouvant isolé des sujets pour plusieurs jours, les techniques utilisées devaient être sûres. Les électrodes EEG devaient rester à demeure et tenir pendant 10 à 12 jours.

Lors de la première phase, le problème a été résolu en cousant dans le scalp des trois sujets, des fils d'argent servant d'électrodes de réception. Un seul hémisphère était enregistré, les positions des électrodes étant les suivantes : fronto-polaire, rolandique, temporale, occipitale, avec en plus deux électrodes pour les mouvements oculaires (Capsulex ALVAR) appliquées au niveau de l'arcade sourcillière, à l'aide de sparadrap. Cette technique a donné entière satisfaction, l'impédance des électrodes n'ayant jamais dépassé 10.000 Ohms. Malheureusement, les plongeurs ne l'ont pas appréciée.

Pour les phases suivantes, des électrodes "Capsulex" ALVAR ont été collées sur le scalp, à l'aide de gaze et de collodion selon la disposition citée plus haut. Un orifice percé au centre de ces électrodes permettait d'introduire de la pâte conductrice à l'aide d'une seringue. Cette technique a présenté un certain nombre d'inconvénients. Les cheveux coupés sous les électrodes repoussent et les soulèvent ce qui entraîne des variations d'impédance. La pâte, de son côté, sèche et il faut en rajouter fréquemment ou la ramollir avec du C1Na. Néanmoins, elle a permis d'obtenir des enregistrements corrects pendant 8 à 9 jours.

2°) Méthodes d'enregistrements et de traitement des résultats -

Les enregistrements EEG de veille ont été pratiqués à 200 et 250 m lors de la phase I, à 200 m seulement, en raison d'exigences techniques dans les phases suivantes.

Les enregistrements EEG de sommeil, qui avaient été effectués les 1ère et 3e nuits du confinement, les 2e - 4e et 8e nuits du séjour, lors de la phase I de JANUS II, ont été pratiqués toutes les nuits dans les phases suivantes (II B et III). En effet, la première formule ne permettait pas de suivre l'évolution du sommeil de façon précise.

L'existence de plus de 80 enregistrements de sommeil, d'une durée moyenne de 7 heures, a nécessité l'utilisation d'un ordinateur (IBM 1130, Centre de Calcul de la Faculté des Sciences, St Jérôme, Marseille). Cette solution permettait de multiplier les analyses effectuées sur ces enregistrements et de cerner ainsi les problèmes de manière plus précise.

Ce programme 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 des stades indéterminés.
- 3) la répartition horaire de chaque stade.
- 4) la fréquence d'apparition et la durée de chaque stade au cours de la nuit.
- 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 celles 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.

Les données correspondent au nombre de pages EEG que dure un stade de sommeil déterminé par la lecture des tracés (chaque page représente 20 secondes d'enregistrement).

II - Résultats -

1°) Les EEG de veille -

Au cours des différentes phases de JANUS II et chez les 6 plongeurs testés, il n'y a pas eu de modification de la morphologie ou de la réactivité des rythmes EEG de veille.

Par contre, il y a eu un ralentissement léger de la fréquence de l'alpha (0,5 à 1 c/s), au bout du 5e, 6e jour du séjour en moyenne (phase I : 3 sujets, phase II : 1 sujet, phase III : 2 sujets). Le retour à la normale s'est effectué quelques jours après la sortie du caisson (fig. 1, 2, 3).

2°) Les EEG de sommeil -

a) l'étude des pourcentages et des histogrammes -

Les résultats étant quelque peu variables d'une phase à l'autre, ils seront présentés indépendamment pour chaque phase de JANUS II :

- Phase I : Au cours des différentes nuits du confinement et surtout du séjour à 200 m, il a été observé chez deux plongeurs (A et C) une augmentation progressive du pourcentage du stade III et de la PMO (phase paradoxale) aux dépens de celui du stade II (fig. 4). Simultanément, le nombre de stades diminuait. Le plongeur B n'a présenté aucune modification significative (fig. 5).
- Phase II : Lors du confinement, chez les trois plongeurs, le pourcentage du stade III a été plus élevé que celui du contrôle. A 200 m, chez deux plongeurs (B' et C') les pourcentages du stade III et de la PMO ont diminué graduellement surtout après la 3e nuit, au profit de celui du stade II (fig. 6). Parallèlement, le nombre de stades tendait à augmenter. Le sommeil du troisième sujet (A') n'a pas présenté de variations significatives, excepté en fin de séjour où il y aurait une tendance à l'augmentation du pourcentage de la PMO.
- Phase III : Les fluctuations des pourcentages des divers stades ont été importantes chez les trois plongeurs. Cependant, en fin de séjour, le pourcentage de la PMO a augmenté aux dépens de celui du stade II (pl. A et C). Le pourcentage du stade IV a présenté une même tendance, mais plus légère. (fig. 7)

b) L'analyse au niveau des stades de sommeil -

Au cours des nuits d'enregistrement des diverses phases de JANUS II, la répartition horaire des différents stades de sommeil n'a pas varié sensiblement par rapport au contrôle. Cependant, il faut noter pendant les confinements, chez trois plongeurs, une persistance de stades de veille et de stades I entre la 2e et la 6e heure (phase I : pl. A et B, phase II : pl. C).

Il y a peu de modifications au niveau de la succession des divers stades. Trois plongeurs seulement ont eu une modification de la succession des stades III et IV ; ils ont été suivis par des phases de veille ou des stades I (phase I : pl. C ; phase II : pl. B' ; phase III : pl. A).

Des variations plus sensibles ont été notées, surtout chez les sujets ayant présenté des modifications des pourcentages, au niveau de la fréquence d'apparition de chaque stade (sauf pour la PMO) et au niveau de la moyenne de la médiane et des quartiles des durées essentiellement pour la PMO. Ainsi, quelle que soit l'évolution du sommeil observée, pour le stade II, c'est surtout la fréquence d'apparition qui a varié, alors que pour la PMO, c'est plutôt la durée de ses différentes apparitions.

III - Discussion -

Ces résultats prouvent qu'il existe une grande variabilité dans les données, surtout pour celles relatives au sommeil, d'une équipe à l'autre, et, pour une même équipe, d'un sujet à l'autre et d'une expérience à l'autre. Cette constatation rejoint celles déjà faites sur d'autres observations physiologiques, lors d'expériences de plongées profondes (BENNET, 1969 ; FRUCTUS et al. , 1969).

Pour une certaine part, le temps interviendrait dans le ralentissement de la fréquence de l'alpha, observé à 200 m, chez la plupart des plongeurs. En effet, ce ralentissement n'apparaît qu'après un certain nombre de jours d'exposition sous cette pression en atmosphère hélium - oxygène, légèrement hyperoxique (420 mb d'O₂).

Au cours de ces expériences, l'un des sujets n'a pas présenté de modifications significatives de l'organisation du sommeil.

Par contre, les autres sujets ont présenté des variations, mais elles ont été très divergentes, dans deux expériences sur trois. Si l'on met à part les quelques dissemblances, l'on retrouverait essentiellement une augmentation du pourcentage de la PMO, aux dépens de celui du stade II, chez les mêmes plongeurs (A et C) lors des phases I et III ; ces variations sont inverses chez les plongeurs (B' et C') de la phase II B.

Ces modifications des pourcentages sont quelque peu différentes de celles observées par SERBANESCU et al. (1968) , lors d'une expérience analogue, mais à 85 m de profondeur. Dans ce cas, selon les auteurs, les perturbations de l'organisation du sommeil auraient été d'origine émotionnelle. En effet, il y a eu des modifications morphologiques de la phase II qui seraient liées à l'anxiété des sujets, l'expérience étant alors la première de ce genre.

D'autre part, NAITOH et al. (1971) ont observé, lors de l'opération TEKITE I (saturation de 60 jours, en atmosphère azote - oxygène, à 14 mètres de profondeur) une augmentation des stades de sommeil à ondes lentes (III et IV). Pour ces auteurs, le sommeil des plongeurs, lors de TEKITE I, n'a pas posé de problème ; les perturbations relatées, lors de plongées plus profondes, en atmosphère hélium - oxygène, par HAMILTON et al. (1966) et NAITOH et al. (1969) , doivent être attribuées à d'autres facteurs que l'hyperbarie.

La pression aurait donc joué peu de rôle dans ces phénomènes ; c'est ce qui semble ressortir du présent travail. La variabilité des résultats de l'étude de l'organisation du sommeil, lors de l'opération JANUS II, peut s'expliquer par le fait que les conditions expérimentales n'ont pas été identiques d'une phase à l'autre (caisson, par exemple) et que l'équipe de plongeurs a été différente dans la phase II.

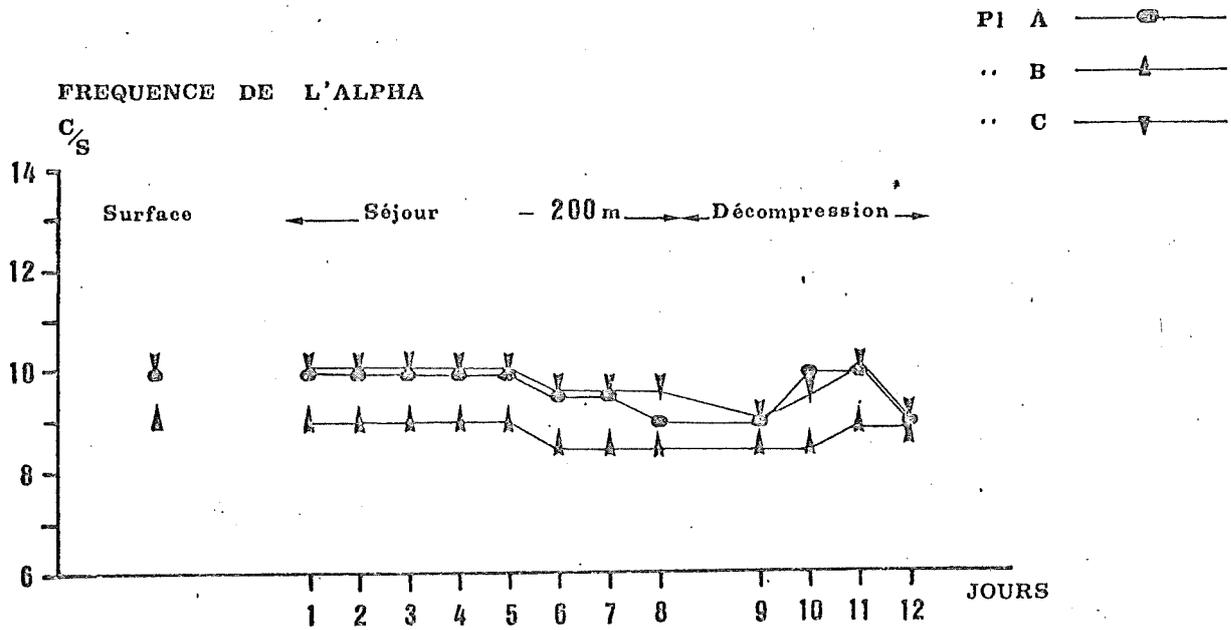
Pour chaque équipe, l'évolution du sommeil étant assez analogue, pendant les confinements en caisson à la pression atmosphérique et à 200 mètres, on peut penser qu'à des profondeurs de cet ordre, le confinement, l'environnement, les conditions de confort, influencent beaucoup plus que la pression, le sommeil de certains sujets.

Il est donc permis de dire que, sur le plan neurophysiologique, la vie en saturation à 200 mètres n'a pas posé de problèmes, les modifications observées étant, dans leur ensemble, peu importantes.

Fig. 1

JANUS II

PHASE I

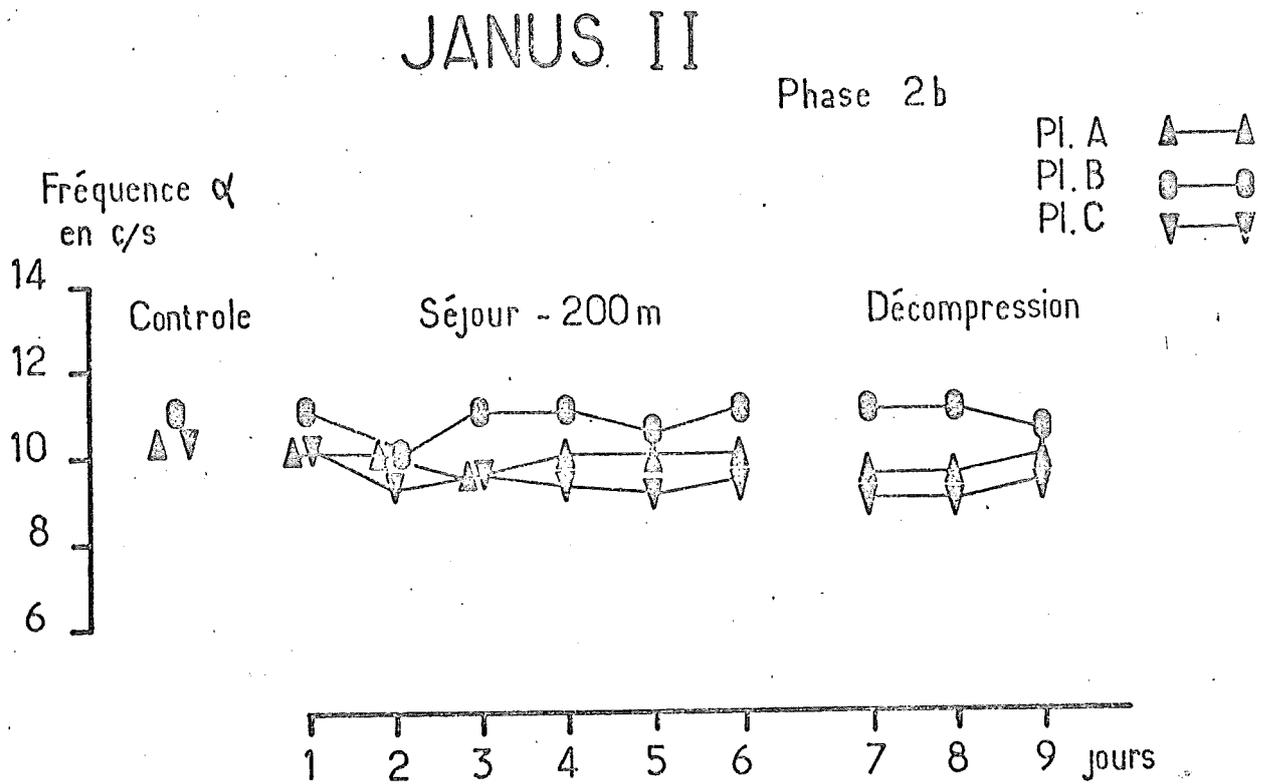


JANUS II - Phase 1

Modification de la fréquence de l'alpha.

Il y a un ralentissement de la fréquence de l'alpha, apparaissant simultanément chez trois sujets, entre le 5ème et le 6ème jour.

Fig. 2



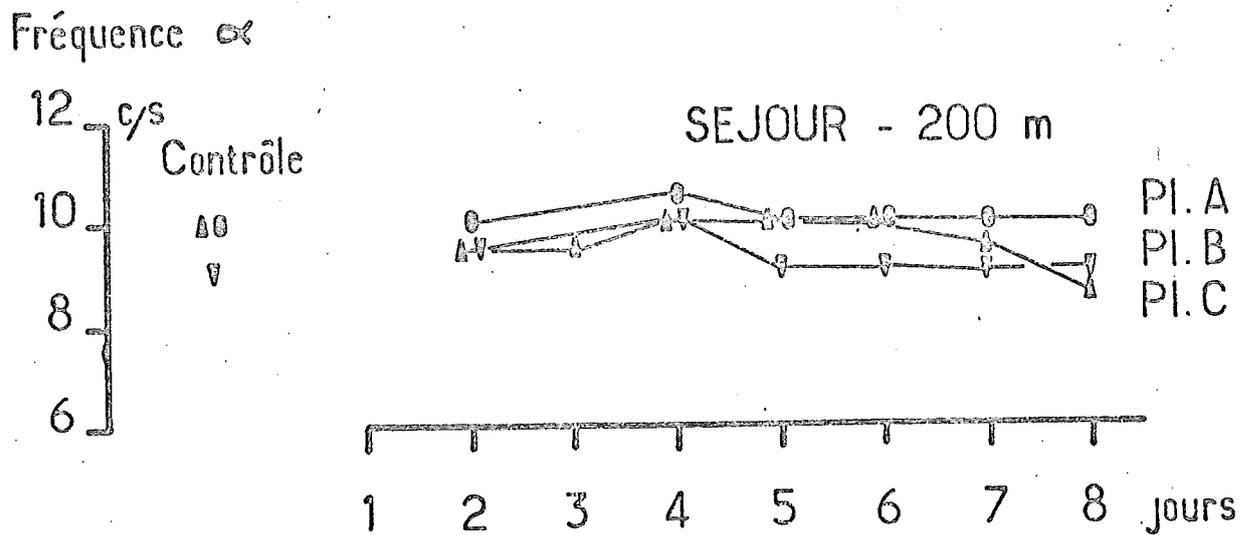
JANUS II - Phase 2B

Modification de la fréquence de l'alpha.

Il y a un ralentissement de la fréquence de l'alpha (1/2 à 1 c/s) apparaissant chez le plongeur C dès le 4ème jour de la saturation.

Fig. 3

JANUS II - Phase 3

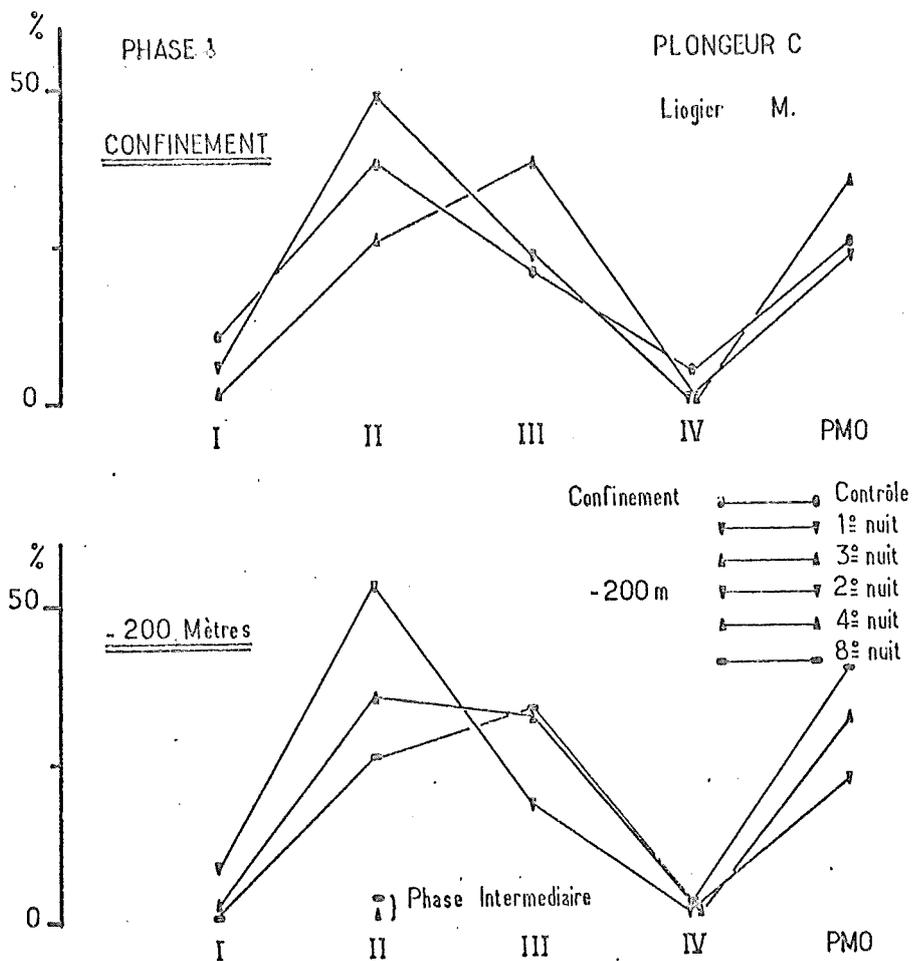


JANUS II - Phase 3

Modification de la fréquence de l'alpha.

Il y a un ralentissement de la fréquence de l'alpha (1/2 à 1 c/s) apparaissant chez deux plongeurs (B et C) à partir du 5ème, 6ème jour de la saturation.

JANUS II



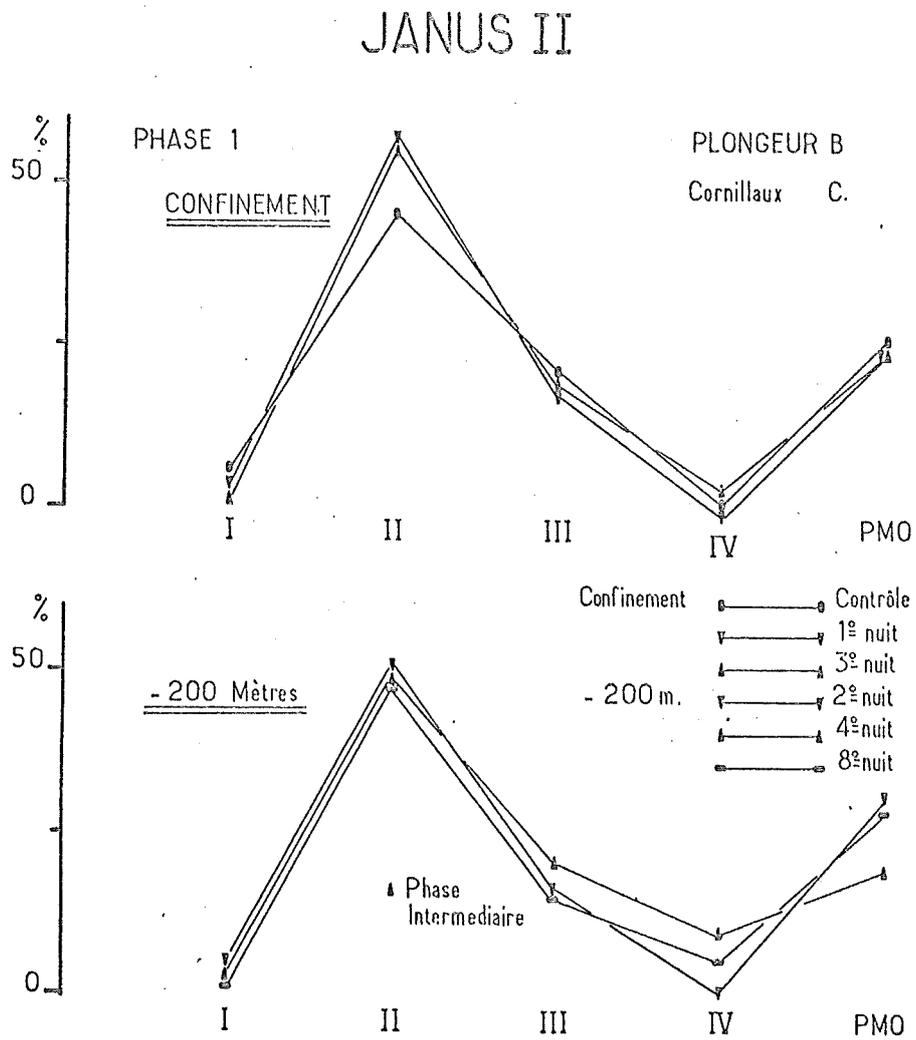
JANUS II - Phase I

Représentation graphique des pourcentages des durées de chaque stade par rapport à la durée totale du sommeil au cours des différentes nuits d'enregistrements.

Cas du plongeur C (voir texte).

- en abscisse : les stades de sommeil.
- en ordonnée : les pourcentages.
- graphique supérieur : nuit de contrôle et nuits de confinement en caisson à la pression atmosphérique.
- graphique inférieur : nuits à -200 mètres.

Fig. 5



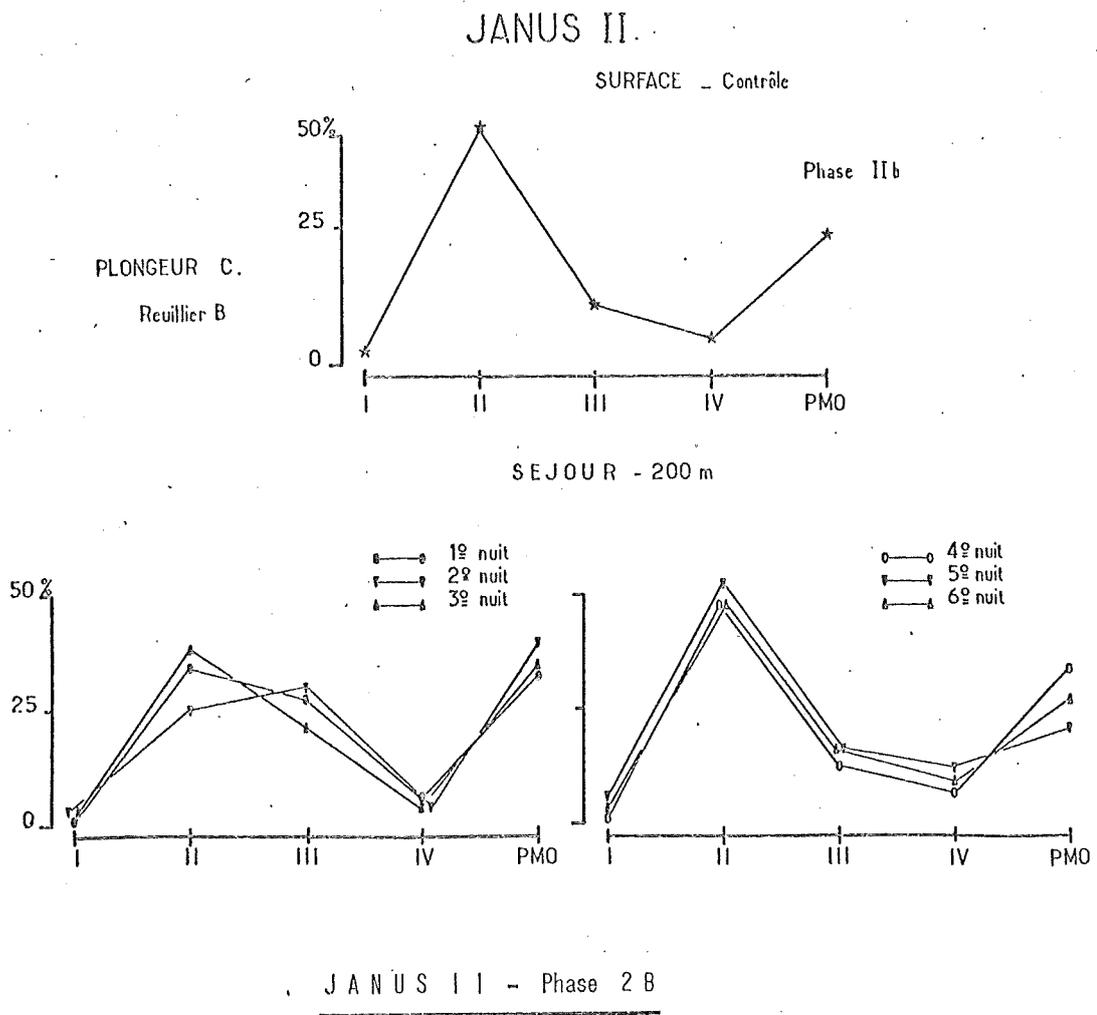
JANUS II - Phase I

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 (voir texte)

- en abscisse : les stades de sommeil.
- en ordonnée : les pourcentages.
- graphique supérieur : nuit de contrôle et nuits de confinement en caisson à la pression atmosphérique.
- graphiques inférieurs : nuits à -200 mètres.

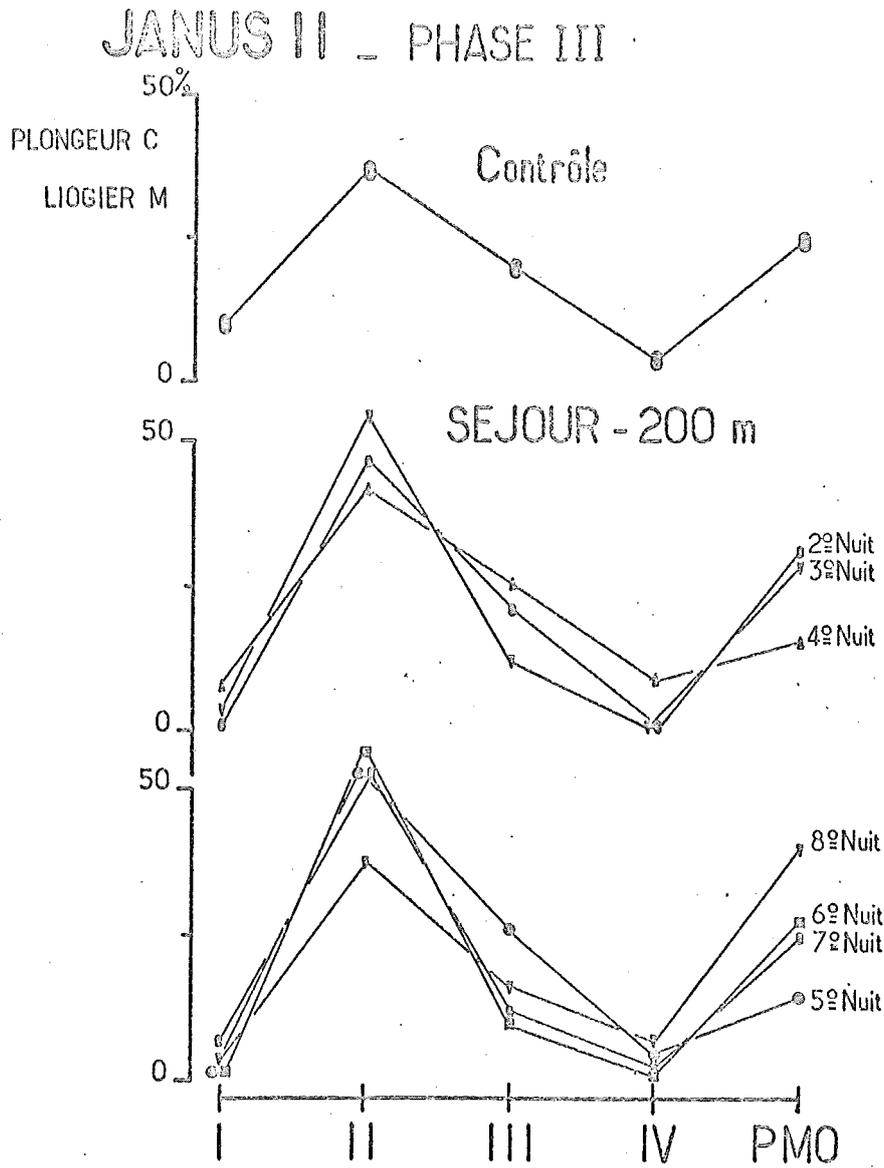
Fig. 6



Représentation des graphiques 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 C (voir texte).

- en abscisse : les stades de sommeil.
- en ordonnée : les pourcentages.
- graphique supérieur : nuit de contrôle.
- graphiques inférieurs : nuit à -200 mètres.



JANUS II - Phase 3

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 C (voir texte)

- en abscisse : les stades de sommeil.
- en ordonnée : les pourcentages.
- graphique supérieur : nuit de contrôle.
- graphiques central et inférieur : nuits à -200 mètres.