HAL open science

Compte-rendu de l'expérience "JANUS"

Sa Comex

To cite this version:

Sa Comex. Compte-rendu de l'expérience "JANUS". COMEX. 1969. hal-04351121

HAL Id: hal-04351121

https://hal.univ-brest.fr/hal-04351121v1

Submitted on 18 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.

Entreprise de Recherches et d'Activités Pétrolières

E L F

COMPTE-RENDU DE L'EXPERIENCE "JANUS"

Travail réalisé par la COMEX

R A P P O R T F I N A L

SUR L'EXPERIENCE DE VIE ET DE TRAVAIL EN SATURATION

" J A N U S "

- 1 - INTRODUCTION

1.1 Si l'expérience JANUS avait pour objet d'étudier les possibilités de vie et de travail sous-marin à 150 mètres de profondeur, l'opération n'était réalisable que grâce aux procédés de "plongée à saturation".

En effet, si les interventions à 150 mètres devaient se faire à partir de la surface, les durées de décompression seraient prohibitives, par exemple :

- pour 10 minutes de descente et de séjour au fond = 223 minutes
- " 20 " " " = 7 heures
- " 30 " " " = 10 heures

Avec les mélanges respiratoires suivants :

- au fond = 7 % d'O_2 / 7 % N_2 = 86 % He
- à la remontée de 33 à 15 mètres = 50 % d'O_2 / 50 % N_2
- de 12 mètres à la surface = O_2 pur

../...

Dans ce cas, les plongées devraient se limiter à 30 minutes par jour et encore les plongeurs, soumis à dix heures de décompression hyperoxique, ne pourraient-ils peut-être pas tenir plus de trois jours à ce régime, comme l'a démontré l'Expérience "CONTRE-LUDION" réalisée par la COMEX en Janvier 1968 (50 minutes à 120 mètres avec huit heures et demie de décompression par jour).

1.2 Le "Coefficient de temps utile d'une plongée" établi par J. CHOUTEAU, met en évidence les avantages de la saturation pour un travail sous-marin vraiment profond et assez prolongé pour être efficace. Il se présente sous la forme du rapport :

$$\frac{\text{Temps de séjour au fond (donc de travail)}}{\text{Temps de séjour au fond + Durée de remontée en surface}}$$

Selon son auteur, ce coefficient évolue de la façon suivante :

" Il est évident que ce rapport diminuera jusqu'au voisinage de la saturation (puisque la durée de la remontée augmente) puis il tendra vers l'unité lorsque cette saturation est atteinte, la durée de décompression étant alors constante. La décompression qui limite les séjours de courte durée devient donc de moins en moins importante, jusqu'à devenir négligeable pour une durée très importante.

1.3 En ce qui concerne les plongées à saturation à objectif industriel, nous devons être plus exigeants et considérer que le "temps utile" d'une plongée ne doit couvrir que la période de travail et non toute la durée du séjour, ainsi dégagerions-nous le "Coefficient de rentabilité" (C.R.) suivant le rapport :

$$\frac{\text{Temps de travail au fond x 10}}{\text{Temps de séjour au fond + Durée de la remontée en surface}} \ *$$

1.3.1. Dans le cas présent, nous pouvons, de la sorte, comparer la plongée unitaire à partir de la surface (à condition qu'un plongeur puisse la renouveler durant six jours sans fatigue pulmonaire, ce qui est peu probable) et la première phase de JANUS (saturation type LUDION) :

---

* Le fait de multiplier le numérateur par 10 a l'avantage de rapprocher le rapport de l'unité, ce qui permet de mieux l'apprécier. Le temps de séjour au fond couvre aussi bien les niveaux intermédiaires de saturation (CACHALOT ou LUDION) que la saturation au fond, ce qui permet d'avoir une seule mesure de rendement pour toutes les plongées, quel que soit leur type.-

1er CAS/

6 plongées de 30 minutes par jour x 6 jours
avec 600 minutes de décompression par jour x 6 jours

On a :

30 x 6 = 180 min. de travail et 600 x 6 = 3.600 min. décompression

$$C.\ R. = \frac{180 \times 10}{180 + 3.600} = \frac{1.800}{3.780} = \underline{\underline{0,47}}$$

2ème CAS/

2 sorties-travail de 120 minutes par jour x 6 jours
suivies de 65 heures de décompression

On a :

120 x 2 x 6 = 1.440 minutes de travail
60 x 24 x 6 = 8.640 minutes de séjour
60 x 65 = 3.900 minutes de décompression

$$C.\ R. = \frac{1.440 \times 10}{8.640 + 3.900} = \frac{14.400}{12.540} = \underline{\underline{1,15}}$$

1.4 La comparaison des deux C.R. montre que la rentabilité est : 2,4 fois plus grande pour la profondeur de 150 mètres, par le procédé LUDION que par les plongées répétées à partir de la surface; la saturation au fond présentant sensiblement les mêmes avantages que le LUDION (Il est évident que quelques heures de plus de décompression terminale interviennent peu si le séjour est assez long).

1.4.1 Encore avons-nous comptabilisé sans complaisance le temps de séjour en pression. Si nous admettions le fait que l'immobilisation du plongeur dans le caisson de pont, sous pression, ne doit pas être considérée autrement que l'obligation de vivre à bord de la barge ou du navire, entre deux plongées, nous pourrions calculer le C.R. de la façon suivante :

$$C.R. = \frac{\text{Temps de travail au fond} \times 10}{\text{Temps de travail} + \text{Temps de remontées intermédiaires} + \text{Temps de remontée finale}}$$

./...

Ce qui donnerait pour le deuxième cas cité plus haut (JANUS-LUDION) :

$$C.R. = \frac{1.440 \times 10}{1.440 + (200 \times 6) + 3.900} = 2,2$$

Et la saturation se présenterait ici comme environ cinq fois plus rentable que la plongée conventionnelle.

1.5 Notre première façon de calculer nous apparaît comme plus réaliste étant donné les charges qui grèvent les opérations de saturation et nous proposerons donc de conserver la formule :

$$C.R. = \frac{\text{TEMPS DE TRAVAIL AU FOND} \times 10}{\text{TEMPS DE SEJOUR AU FOND} + \text{TEMPS DE DECOMPRESSION FINALE}}$$

(C.R. = Coefficent de Rendement)

1.6 Nous croyons utile de rapporter dans le tableau suivant, les diverses expériences de vie en saturation réalisées depuis le premier Man-in-Sea - ROBERT STENUIT - en 1962 jusqu'à JANUS (et HYDRA) compris en Octobre 1968. Il s'agit là d'un inventaire assez complet si l'on excepte trois ou quatre expériences ayant eu lieu dans les pays de l'Est et sur lesquelles nous n'avons pas assez de précisions.

1.6.1 Ce tableau appelle quelques remarques :

(1) Dans la colonne des profondeurs d'excursion, les nombres figurant entre parenthèses ne peuvent être considérés comme désignant des profondeurs de travail à l'instar des procédés CACHALOT ou LUDION.

(2) Dans la colonne "type de décompression", nous avons symbolisé, par les lettres R et M, la méthode de calcul appliquée lorsque nous en étions certains.
" R " signifiant l'utilisation d'un rapport constant,
" M " l'utilisation d'un gradient constant et d'un rapport variable, selon la méthode de WORKMANN reprise par SCHREINER, KRASBERG et nous-mêmes (voir Annexe 10).

../...

(3) L'ensemble résumé dans un deuxième tableau (Bilan de 1962 à 1968) met en évidence l'évolution en trois époques de la plongée à saturation :

Première époque (1962 à 1965)

Dominée par les "maisons sous la mer". Saturation au fond avec de brèves incursions à plus grande profondeur sans que l'on perçoive encore très bien le danger de telles incursions si elles venaient à se prolonger. KRASBERG, le premier, fin 1965, applique des tables de remontée aux allées-venues entre divers niveaux de pression et cela au cours d'une opération qui est à la fois une expérience et un chantier (Barrage de Smith Mountain).

Deuxième époque (1966-1967)

Dominée par les expériences en caisson. Tandis que l'on pratique beaucoup la saturation au fond, ne serait-ce que pour tester les réactions physiologiques de l'homme aux grandes profondeurs et les méthodes de décompression (SCHREINER, HARTMAN, BUHLMANN), le procédé de saturation à un ou des niveaux intermédiaires (LUDION - CACHALOT) se développe (FRUCTUS, KRASBERG).

Troisième époque (1968-....)

Dominée par les grandes profondeurs et la saturation à un niveau supérieur, au niveau de travail (PRE-SEALAB III qui, à vrai dire, avait commencé fin 1967 et le procédé COMEX (LUDION et JANUS 1.A).

../...

PLONGEES A SATURATION REALISEES EN CAISSON ET EN MER (jusqu'au 31.X.1968)

ANNEE	Nombre de Expérienc.	Nombre de Plongeurs	Profondeur (m) Satur.	Profondeur (m) Excur.	Pourcentage Gaz O_2	Pourcentage Gaz N_2	Pourcentage Gaz He	Durées (Heures)	TITRE	PROMOTEUR	LIEU	Ty pe Décomp.
1962	1	1	61		3	-	97	26	Man-in-Sea	LINK	MER	R
	1	2	10	(26)	21	79	-	192	PRECONTINENT 1	I.MONACO	MER	R
1963	1	5	10		21	79	-	720	PRECONTINENT 2	I.MONACO	MER	R
		2	25	(50)	7	-	93	168				
1964	1	3	60		4	17	79	288	GENESIS E	U.S. NAVY	Caisson	M
	1	2	91		5	10	85	24		U.S. NAVY	Caisson	M
	1	2	120		4	8	88	24		U.S. NAVY	Caisson	M
	1	2	130		4	5	91	49	Man-in-Sea	LINK	MER	M
	1	4	58		4	17	79	222	SEALAB I	U.S. NAVY	MER	M
1965	6	12	de 29 à 97		13 à 5	87 à 27	à 68	50 à 100	D. V. L. R.	S. RUFF	Caisson	
	1	2	137		2	4	94	48		O. S. I.	Caisson	M
	1	2	146		3	5	92	100	D. V. L. R.	S. RUFF	Caisson	?
	1	2	198	(205)	2	4	94	48	DIVE 58	O. S. I.	Caisson	M
	1	28	63	(91)	5	17	78	360/20	SEALAB II	U.S. NAVY	MER	M
	1	6	100		3	-	97	504	PRECONTINENT 3	I. MONACO	MER	R
	1	11	48	61	7	13	80	150	CACHALOT	WESTINGHOUSE	Lac	M

../....

PLONGEES A SATURATION REALISEES EN CAISSON ET EN MER (jusqu'au 31.X.1968)

ANNEE	Nombre de		Profondeur (m)		Pourcentage Gaz			Durées	Titre	PROMOTEUR	LIEU	Type
	Expér.	Plongeurs	Satur.	Excur.	O_2	N_2	He	(Heures)				Décomp.
1966	6	12	29		21	79		24/48		H.C. ZURICH	Caisson	
	1	2	174		3	4	93	100	D. V. L. R.	S. RUFF	Caisson	
	1	2	214		2	3	95	100	D. V. L. R.	S. RUFF	Caisson	
	1	2	220		1,5	3,5	95	100		Bd. GODES	Caisson	
	4	8	29		20	80	-	24/72		H.C. ZURICH	Caisson	
	1	4	29		20	80	-	72	CAPSHELL	H.C. ZURICH	MER	
	1	2	45	122	6	13	81	84	CACHALOT	WESTINGHOUSE	Caisson	M
	1	23	48	71	6	13	81	170	CACHALOT	WESTINGHOUSE	MER	M
1967	1	5	61	91	4	11	85	72	PRE-SEALAB III	U. S. NAVY	Caisson	M
	1	5	91	137	3	8	89	72	PRE-SEALAB III	U. S. NAVY	Caisson	M
	1	3	45	100	5	15	80	144	LUDION I	COMEX	Caisson	M
	2	4	213		3	3	94	68		H. C. ZURICH	Caisson	
	1	5	137	183	2	5	93	72	PRE-SEALAB III	U. S. NAVY	Caisson	M
	1	3	116	183	3	3	94	72	CACHALOT	WESTINGHOUSE	Caisson	M
	1	7	106	186	3	3	94	72	PROJECT 600	WESTINGHOUSE	MER	M
	1	2	187		2	-	98	54	O.S. 600	O. S. I.	MER	M
	1	5	183		2	4	94	144	PRE-SEALAB III	U. S. NAVY	Caisson	M
	1	2	85	120	3	15	82	168	LUDION II	COMEX/O.S.I.	Caisson	M
	2	10	183	228	2	4	94	72/96	PRE-SEALAB III	U. S. NAVY	Caisson	M

../....

PLONGEES A SATURATION REALISEES EN CAISSON ET EN MER (jusqu'au 31.X.1968)

ANNEE	NOMBRE DE		Profondeur (m)		Pourcentage Gaz			Durées	TITRE	PROMOTEUR	LIEU	Type
	Expér.	Plongeurs	Satur.	Excur.	O_2	N_2	He	(Heures)				Décompr.
1968	1	2/5	183/250	315	2	4	94	60/144	PRE-SEALAB III	U. S. NAVY	Caisson	M
	1	2	90	150	3	3	94	69	LUDION III	COMEX	Caisson	M
	1	2	244	335		?		24		I. U. C.	Caisson	M
	1	2	90	150	3	3	94	144	JANUS 1.A	COMEX	MER	M
	1	2	145	150	2	3	95	144	JANUS 1.B	COMEX/GERS	MER	R
	1	3	200	250	3	3	94	4	HYDRA I	COMEX	MER	M

BILAN DES EXPERIENCES DE PLONGEE A SATURATION REALISEES EN CAISSON ET EN MER

jusqu'au 31.X.1968

ANNEE	SATURATION AU FOND (S)			SATURATIONS INTERMEDIAIRES						S	C + L
				Procédé CACHALOT (C)			Procédé LUDION (L)				
	Nombre d'Expér.	Nombre d'Hommes	%	Nombre d'Expér.	Nombre d'Hommes	%	Nombre d'Expér.	Nombre d'Hommes	%		
1962	2	3	100							100	
1963	1	5	100							100	
1964	10	23	100							100	
1965	6	42	86	1	11	14				86	14
1966	14	30	87,5	2	25	12,5				87,5	12,5
1967	6	21		2	10	15,5	5	20	38,5	46	54
1968 (10 mois)	1	2	17				5	14	83	17	83

TOTAL DES PLONGEES A SATURATION DE 1962 au 31.X.1968 :

Nombre d'expériences = 55 (dont 14 en MER et 1 en LAC)

Nombre de plongées/hommes = 206

1.7 Compte tenu de ce qui précède, l'expérience JANUS devait donc se faire en saturation et suivant deux procédés :

- le procédé LUDION, dans une première phase;
- le procédé SATURATION AU FOND, dans une deuxième phase.

Elle devait permettre :

1.7.1 D'étudier l'influence de certains facteurs sur les hommes vivant assez longtemps en atmosphère hyperbare à des pressions dépassant celles des cloches à plongeurs de Travaux Publics dont la profondeur excède rarement vingt mètres, ces facteurs étant :

- la présence d'hélium dans l'atmosphère respirable;
- le confinement sous ses divers aspects, y compris la rétention de gaz "parasites" comme le CO_2 ;
- le froid et l'humidité.

1.7.2. De vérifier l'efficacité des moyens mis en oeuvre pour contrôler justement les facteurs précédents et de perfectionner ces moyens si nécessaire, tant sur le plan de la technique (manoeuvre et appareillage) que sur le plan humain (importance numérique, compétence et coordination de l'équipe de surface).

1.7.3 De comparer les avantages respectifs des deux procédés de saturation.

1.7.4 D'observer enfin le comportement des travailleurs sous-marins dans le cadre d'une discipline scientifique relativement nouvelle, l'ergonomie, qui s'intéresse à :

- l'adaptation du travailleur à l'environnement : son activité psycho-motrice et son rendement dans un milieu particulier;
- l'adaptation de l'équipement et de l'outil à cet homme travaillant dans des conditions spéciales;
- la fatigue ou les risques de maladie dûs à son activité bien précisée dans chaque cas.

- 2 - LE MATERIEL UTILISE

2.1 Les caissons - Le sas - La régénération d'atmosphère -

2.1.1. Lors de la conception des caissons de l'ASTRAGALE, la plongée à saturation était encore du domaine de la recherche, aussi pour l'expérience JANUS, a-t-on dû procéder à un certain nombre de modifications de l'ensemble, tout en bénéficiant du fait que, de par leurs dimensions et leur disposition, l'espace vital fourni par les deux chambres et le sas était suffisant pour deux plongeurs (Toutefois, l'équipe de trois hommes, souhaitable pour l'obtention du meilleur rendement au fond, serait un peu à l'étroit pour de longs séjours).

Les aménagements de l'habitat, plutôt rudimentaires, furent acceptables dans le contexte d'une expérience, mais ils devront être adaptés à la plongée opérationnelle.

2.1.2 L'insonorisation des caissons doit être poussée au maximum étant donné les phénomènes de résonnance désagréable. Pour obtenir une meilleure acoustique, on pourrait recouvrir d'un tapis de caoutchouc les étagères métalliques par exemple et effectuer une projection d'amiante sur les parois du caisson.

- La peinture grise intérieure est déprimante.

- De nombreux détails d'aménagements peuvent être empruntés aux caravanes de camping, notamment en ce qui concerne les volumes de rangement, les tables pliantes escamotables, etc...

- Les W.C. à dépression se sont avérés valables en dehors du fait qu'ayant été hâtivement adaptés sur une canalisation de purge du sas, ils se sont bouchés à plusieurs reprises.

- Les plongeurs apprécient la douche chaude et l'éclairage intérieur, à intensité réglable, par rhéostat, pour la surveillance de nuit.

../...

2.1.3 La fabrication et le stockage des mélanges utilisés n'ont pas présenté beaucoup de difficultés. Il n'en a pas été de même de la recirculation.

En effet, le système de régénération de l'atmosphère s'est montré d'un entretien quotidien trop compliqué du fait de l'exiguité du local où il était installé. De nombreuses pannes (heureusement peu graves) se sont produites. Elles provenaient essentiellement d'une mise en route trop rapide, imposée par le court délai imparti aux monteurs. Lorsqu'elles survenaient, le remplacement des pièces en cause n'était pas facilité par la diversité des fournisseurs.

Le groupe frigorifique (déshydratant) était beaucoup trop puissant par rapport au module de réchauffage, aussi subissions-nous constamment l'alternative : ou laisser subsister un degré trop élevé d'hygrométrie ou abaisser la température ambiante au-dessous du confort thermique.

Le débit de la régénération s'est avéré insuffisant pour ventiler les deux caissons en série, aussi avons-nous choisi de régénérer, par ce procédé, seulement l'atmosphère du caisson-vie (n° 1) et d'installer dans le caisson-habillage (n°2) une régénération autonome interne composée d'une soufflante faisant circuler les gaz autour d'une résistance chauffante et à travers une cartouche de chaux sodée (que l'on renouvelait périodiquement).

2.1.4 Cet ensemble a permis de maintenir, durant les deux phases de JANUS, le taux de CO_2 au-dessous de 1 % et la température ambiante entre 27 et 30°C (sauf à la suite de deux ou trois courtes pannes). Malheureusement, et pour les raisons exposées plus haut, le taux d'hygrométrie était toujours supérieur à 80 %.

Encore dans le caisson n°1 les plongeurs bénéficiaient-ils de la protection inestimable du diaphragme en caoutchouc mis au point par la COMEX et qui isolait le caisson-vie du sas. Prévu pour séparer les deux atmosphères lors de la première phase, il fut indispensable aussi lors de la deuxième phase pour empêcher l'humidité du sas de pénétrer dans le caisson-vie (n° 1).

2.1.5 Notons en passant que le taux de CO_2 était beaucoup trop élevé (entre 1 et 2,4 %) dans l'atmosphère du local de surveillance des caissons et que les manipulateurs eurent à en souffrir. Une ventilation efficace, à partir d'une prise d'air sur le pont - et non dans les coursives inférieures - devrait être prévue.

../....

2.1.6 Durant la décompression de la deuxième phase (saturation type GERS), comportant des dénivellations de 0,1 bar seulement à partir de 26 mètres, nous avons dû installer, pour le contrôle des pressions, un manomètre beaucoup plus précis et sensible que ceux des tableaux de commande. Pour les fins de "remontée" - entre 20 mètres et la surface - il serait donc utile d'installer une colonne de mercure répondant à toutes les exigences de fidélité et de précision dans la mesure des pressions.

2.2 La tourelle -

2.2.1 Son volume intérieur est suffisant pour deux hommes et ses bouteilles de gaz lui assurent une bonne autonomie à 150 mètres, mais la régénération de son atmosphère, pratiquement inexistante et l'absence d'isolation thermique sont à l'origine de la plupart des incidents observés.

Le métabolisme d'un homme de 70 Kg fournissant une activité modérée produit environ 20 L/h de CO_2. Mais du fait de l'effort physique et de la réaction au froid, cette production peut facilement doubler ou tripler (60 L/h), ce qui, pour deux hommes donne 120 L/h. Dans le volume intérieur de la tourelle (4.000 litres) 120 L/h font monter le taux de CO_2 à 3 % au bout d'une heure et 6 % au bout de deux heures. Les tamis pleins de chaux sodée et l'eau dans la jupe absorbaient une partie du gaz carbonique, mais de façon insuffisante et, en définitive, son taux demeura trop élevé (voir Annexe 3).

Un ventilateur manuel monté sur une cartouche absorbante améliora un peu la situation. Mais seule une ventilation à gros débit - donc, à moteur électrique - permettra une régénération convenable.

2.2.2 La thermométrie dans la tourelle après immersion a montré des chutes de température de 28° à 14 ° en 30 à 45 minutes.

Deux causes essentielles à cela : la haute conductibilité calorique de l'hélium et l'échangeur thermique idéal constitué par les parois d'acier de la tourelle en immersion dans l'eau de mer.

../....

En effet, sans isolation efficace, il semble que vouloir réchauffer la tourelle constitue une gageure en raison des énormes déperditions thermiques en immersion.

Il faut donc, dans un premier temps, calorifuger la tourelle de façon satisfaisante et secondairement, apporter la quantité de chaleur nécessaire.

2.3 Compression et récupération des gaz -

2.3.1 Si le débit des compresseurs CORBLIN (15 m3/h) fut suffisant au cours de l'expérience, les machines tournaient souvent à la limite de leurs possibilités (12 heures par jour). On peut se demander ce qui serait arrivé s'il y avait eu une fuite d'hélium importante, à partir des caissons. On aurait pu, il est vrai, compenser cette fuite par des rajouts d'hélium et d'oxygène pur mais au risque de provoquer une anoxie ou une hyperoxie brutale des plongeurs, car il n'est pas facile de maintenir une enceinte hyperbare à une pression donnée avec un mélange donné sans risquer de faire subir au taux d'oxygène des variations soudaines, imprévisibles et difficiles à corriger rapidement.

2.3.2 La récupération des gaz donna satisfaction, mais l'augmentation des taux de vapeur d'eau et d'azote dans les mélanges stockés en racks posèrent un certain nombre de problèmes dont la plupart furent assez facilement résolus.

L'installation de récupération étant temporaire, elle comportait des tuyaux souples en plastique qui étaient fragiles et qui, de ce fait, ont souvent été endommagés Lors de la recompression des gaz récupérés, les compresseurs aspiraient le mélange stocké dans les gazomètres, mais aussi un peu d'air ambiant par les fuites des canalisations en dépression. On avait finalement dans les racks un mélange à forte teneur en azote (plus de 20 %).

Etant donné le manque de racks pour re-étalonner ce mélange, nous avons été obligés plusieurs fois d'éliminer une partie des gaz récupérés, faute d'un nombre suffisant de bouteilles pour les garder en réserve.

Une installation fixe, étanche, avec un nombre suffisant de bouteilles de stockage nous aurait permis de récupérer au moins 75 % des gaz utilisés.

../....

2.3.3 Quoiqu'il en soit, la consommation de gaz au cours de l'expérience JANUS se répartit ainsi :

- au cours de la première phase de saturation (de type "intermédiaire") =

140 bouteilles d'hélium (1.260 m3)

- au cours de la deuxième phase de saturation (de type "fond") =

121 bouteilles d'hélium (1.090 m3)

2.4 Habits et casques -

2.4.1 Dans le compte-rendu minuté et pris sur le vif du chrono des plongées, on lit souvent "fin de plongée, remontée de la tourelle car les plongeurs ont trop froid". L'Opération "JANUS" a mis en évidence les imperfections actuelles des vêtements chauffants.

L'habit PIEL, Lambda 6, qui fut employé, quoique très ingénieux de conception, ne s'est pas montré opérationnel. Malgré plusieurs améliorations de l'habit lui-même (augmentation de la puissance de chauffage) ou du système d'apport d'énergie (augmentation de la tension par un transformateur de type VARIAC pour compenser les pertes en lignes), les plongeurs eurent toujours froid au bout de 15 à 20 minutes dans une eau à 13°.

2.4.2 Ce n'est qu'en remplaçant la combinaison à nid d'abeilles, dite "mouillée de l'ensemble Lambda 6 par un habit étanche DUNLOP et en gardant le sous-vêtement chauffant que les plongeurs purent tenir plus de 30 minutes dans l'eau.

Aussi, en première conclusion, il semble que l'on devrait s'orienter vers un habit sec et chauffant.

2.4.3 Nous ne pensons pas que c'est en augmentant la puissance thermique de l'habit (3 à 400 Watts paraissant suffisants) que l'on améliorera le chauffage, mais en multipliant le réseau de résistances pour avoir une répartition de chaleur plus homogène.

../...

Il est toutefois à craindre que cette augmentation de la densité du réseau de conducteurs réduise un des principaux avantages de l'habit PIEL : sa souplesse. Néanmoins, l'association PIEL chauffant/DUNLOP étanche permet pour l'instant des immersions de 60 minutes maximum, sous hélium, à 13°C et à 150 mètres.

2.4.5 De leur côté, les casques utilisés ne nous donnèrent pas entière satisfacti Nous pensons que cela est dû plus à leur fabrication qu'à leur conception. En effet, les nombreuses entrées d'eau que nous avons enregistrées sont toutes venues d'un mauvais collage de la cagoule interne et du joint de visière.

2.5 Appareils respiratoires -

2.5.1 Le MIXGERS a été le plus utilisé. Il était alimenté par narghilé à partir du manifold de tourelle qui distribuait les mélanges gazeux stockés dans les bouteill extérieures.

Les bouteilles réservées au MIXGERS contenaient du mélange 10/10/80 ce qui, à 150 m, donnait, dans le sac respiratoire un mélange à 7 % d'O_2.

2.5.2 Lorsque le MIXGERS était branché sur le casque, une dérivation, à partir du narghilé, permettait de ventiler celui-ci en mélange frais si le besoin s'en faisait sentir (entrée d'eau dans le casque ou panne du circuit semi-fermé).*

2.5.3. Nous avions à notre disposition quatre appareils MIXGERS dont trois en service. On en utilisait un seul par plongée, tandis que les autres étaient révisés et préparés pour les sorties suivantes.

2.5.4 Au cours des premières plongées, des céphalées et de l'essoufflement se manifestaient assez rapidement. Le remplacement de la chaux sodée, type GERS par la PROLABO n'apporta aucune amélioration. En outre, les analyses pratiquées au GERS démontrèrent que la première était conforme aux normes en vigueur dans la Marine, tandis que la seconde était impropre à l'utilisation dans les appareils respiratoires du type semi-fermé.

../...

* (Voir bas de la page suivante)

D'autre part, il est apparu à l'examen d'un appareil par le GERS que le tassage du granulé dans les cartouches était insuffisant, le matériel lui-même étant en parfait état de fonctionnement.

Après avoir mieux tassé la chaux sodée, augmenté la surpression en amont (de 10-12 à 14 b au mano-détendeur de la tourelle) et remplacé les casques PIEL par des masques MIXGERS,* les plongeurs purent enfin respirer avec cet appareil pendant 60 minutes sans difficulté.

2.5.5 En conclusion, le MIXGERS s'est montré valable et intéressant dans ces conditions, mais au prix d'une préparation minutieuse d'une durée d'une heure avant chaque plongée.

2.5.6 Par contre, le détendeur "aller-retour" type PRECONTINENT III ne nous donna pas satisfaction. Malgré de nombreuses mises au point, tant par les utilisateurs dans l'eau que par l'équipe de surface, cet appareil n'apporta jamais au plongeur le confort respiratoire espéré.

Ce n'est pas à l'expiration qu'il fût le plus "dur", mais bien à l'inspiration. En effet, du fait de la position de la tourelle - à 6 - 7 mètres au-dessus du fond - les plongeurs étaient toujours en surpression par rapport à celle-ci. Nous pensons que les inconvénients du détendeur PRECONTINENT III proviennent essentiellement de la conception de l'appareil qui, au début d'un mouvement respiratoire (expiration ou inspiration) est toujours plus "dur" qu'un détendeur classique à membrane. Aussi, nous abandonnâmes cet appareil au profit exclusif du MIXGERS.

../...

---

* De toute façon l'expérience nous a montré que l'adaptation du casque au MIXGERS n'est pas au point et que le bon fonctionnement de cet appareil n'est assuré qu'avec le masque facial qui lui est propre.-

- 3 - LE TRAVAIL

3.1 Durant la période de saturation intermédiaire (phase 1), les incidents de plongée ne permirent d'effectuer aucun des exercices prévus et, en particulier, le travail sur la tête de puits expérimentale immergée B.C.F.E. BOUSSENS.

3.2 Au cours des dernières plongées de la saturation "fond" (phase 2), le travail s'effectua de façon continue.

Les plongeurs intervertirent les vannes latérales inférieures et supérieures pesant chacune 60 Kg. Mais comme cette manipulation ne pouvait être effectuée que par un seul plongeur à la fois, il fut nécessaire d'installer une chèvre et un palan au-dessus de la tête de puits.

3.3 La même tâche effectuée par dix mètres de fond dans le Port de MARSEILLE avait demandé 30 minutes. A 150 mètres, elle nécessita (les autres conditions étant identiques) six plongées-hommes variant de 30 à 60 minutes (c'est-à-dire trois descentes de tourelle). Nous pensons que deux hommes auraient mis beaucoup moins que la moitié de ce temps et que, de ce fait, le rendement aurait été bien supérieur. Les gestes du travailleur sont incontestablement ralentis à cette profondeur, principalement à cause du froid qui engourdit les extrêmités, diminue l'habileté manuelle et, plus généralement, réduit les performances psycho-motrices.

3.3.1 Néanmoins, si le travail traîna en longueur, le résultat fut de bonne qualité et le test d'étanchéité pratiqué sur la tête de puits ne révéla aucune fuite.

3.3.2 Si, en revanche, le rivetage effectué par les deux plongeurs de la phase 2 (saturation au fond) fut mal exécuté, deux causes à cela :

- d'une part, il exigeait une certaine dextérité manuelle peu compatible avec l'engourdissement des mains par le froid;
- d'autre part, il ne fut réalisé qu'une fois.

../...

- 4 - LES MOYENS DE COMMUNICATION ET DE SURVEILLANCE

4.1 Téléphone

4.1.1. Le téléphone tourelle-surface, surface-tourelle ne posa pas de problème. Par contre, le téléphone surface-plongeurs fut la plupart du temps en dérangement.

4.1.2. Deux causes principales :

- les capsules à guide d'ondes PIEL utilisées marchaient très bien dans le casque quand celui-ci était sec, mais la moindre entrée d'eau (et les inondations furent fréquentes) modifiait la transmission au niveau de la capsule et le plongeur ne recevait que très imparfaitement les messages de la surface. Néanmoins, dans l'autre sens, nous pûmes presque tout le temps contrôler par ce système le rythme respiratoir du plongeur dans l'eau;

- le 220 Volts alternatif qui passait dans le câble électro-porteur était générateur de parasites qui gênaient incontestablement la transmission.

4.2 Télévision

4.2.1 Si dans un premier temps toutes les caméras étaient orientées sur le chantier, on préféra par la suite en laisser deux braquées sur la tête de puits et placer la troisième en face d'un hublot de la tourelle, pour en surveiller l'intérieur.

4.2.2 A la fin de l'expérience, l'installation qui donnait entièrement satisfaction comprenait deux caméras de télévision orientées vers la tête de puits couplées à deux caméras-photos télécommandées depuis la surface et permettant de pratiquer des clichés au moment choisi; la troisième caméra de télévision demeurant braquée sur un hublot.

Le chantier était éclairé par six projecteurs de 4,5 KW de puissance totale. Cet éclairage s'est montré suffisant.

../....

L'ensemble projecteurs-caméras du chantier était fixé sur un cadre coulissant sur trois câbles-guides reliant le navire à la plaque de base de la tête de puits. L'ensemble des câbles électriques formait un cordon ombilical de quelques centimètres de diamètre dont la flottabilité était rendue indifférente par un chapelet de bouées Nokalon.

4.2.3 La nécessité de remonter fréquemment le cadre télévision (pannes de projecteurs, changement de films des caméras de prise de vues), amena une détérioration rapide des épissures au niveau des connexions câbles-appareils. Aussi, la plupart des câbles souffrirent-ils d'entrées d'eau. Grâce à beaucoup de soins, l'ensemble arriva quand même à fonctionner correctement. La qualité de l'image T.V. fut assez médiocre, essentiellement du fait de l'impossibilité de disposer à bord d'un courant alternatif stable (on ne pouvait empêcher une variation de fréquence de ± une période du courant 50 Hz).

4.2.4 Pour permettre une surveillance de routine et non plus dans le cadre d'une expérience, l'ensemble de l'installation de télévision gagnerait à être plus robuste, moins complexe et surtout ne devrait pas nécessiter l'intervention de trois hommes pour dérouler le cordon ombilical.

Sur un chantier, la ou les caméras de télévision devraient être montées sur un orienteur motorisé multidirectionnel et l'ensemble fixé sur un cadre rectangulaire coulissant sur deux câbles-guides. Le câble électro-porteur s'enroulant sur le tambour d'un treuil pneumatique à tension constante remplacerait l'encombrant cordon ombilical.

De même, l'alimentation et le contrôle de la caméra fixée sur la tourelle dépendraient du câble électro-porteur de celle-ci.

4.3. Surveillance des gaz

4.3.1 Si les appareils de contrôle des pressions étaient un peu trop sommaires, en revanche, les instruments de mesure et d'analyse du gaz constituaient un matériel important, réuni dans un véritable Laboratoire, manipulé par une spécialiste à plein temps.

../...

Cet équipement, heureusement conçu pour contrôler les gaz récupérés et pour tirer le maximum d'enseignements de l'expérience JANUS serait naturellement trop complexe et trop fragile pour un ensemble opérationnel.

4.3.2 Il s'agira donc de mettre au point, à l'usage des chantiers, un matériel d'analyse le plus simple possible, robuste, pouvant être utilisé par le Chef d'équipe et n'exigeant pas des manipulations d'une haute technicité pour fournir des résultats fiables.

4.3.3 De toute façon, la saturation exigera une nouvelle génération de Chefs d'équipe qui devront posséder un bagage technique et ne seront qualifiés qu'après avoir subi une certaine spécialisation. Car tout le monde ne sera pas capable de diriger et de surveiller une opération de plongée à saturation.

- 5 - LES HOMMES

5.1 Equipe de surface

5.1.1 "JANUS" était une opération expérimentale et, de ce fait, nécessita un temps de mise en place et un délai de démarrage assez longs.

Les cadres supérieurs, tels que Médecins et Ingénieurs, n'auront plus leur place dans l'équipe de surface dès que ce mode de plongée sera devenu vraiment opérationnel.

5.1.2 Il n'en reste pas moins que, bien que les risques encourus par l'organisme humain ne semblent pas être plus importants que ceux de la plongée conventionnelle, un médecin devra certainement inspecter périodiquement ce genre de chantier profond, à saturation, et que les conditions d'aptitude des plongeurs devront être rigoureusement respectées.

../...

5.1.3 En ce qui concerne l'équipe de manoeuvre, en contact presque permanent avec l'équipe de fond, les facteurs psychologiques sont primordiaux.

Le chef de plongée devra être capable non seulement de s'imposer par sa qualification technique, mais aussi de se faire obéir aveuglément dans les situations critiques.

Les "caissons-masters" seront forcément habiles et précis dans la manipulation des vannes, mais ces qualités ne seront, en définitive, valables que s'ils sont animés par une haute conscience professionnelle du niveau de celle que l'on rencontre chez le meilleur personnel para-médical.

5.2 Equipe de fond

5.2.1 Comme nous l'avons déjà signalé, nous pensons que des équipes de trois plongeurs auraient, proportionnellement, un rendement bien supérieur aux équipes de deux plongeurs.

5.2.2 Le point de vue psychologique dans le choix des hommes a encore son importance. Nous en avons tenu compte pour la composition des deux équipes de JANUS et ce fut une réussite : les hommes vivaient en bonne harmonie et se soutenaient moralement dans les moments difficiles. De plus, ils faisaient totalement confiance au chef de plongée (qui dirigeait les manoeuvres de la tourelle) et aux caissons-masters; confiance justifiée étant donné le sérieux et la compétence de ces trois personnes.

Dans l'avenir, il faudra toujours essayer de reconstituer cette conjoncture, et dans un groupe comportant un homme de plus, car - nous l'avons dit plus haut - sur certains chantiers, le rendement sera considérablement amélioré par la présence d'un troisième homme dans l'équipe de fond.

Les trois plongeurs travaillant dans des conditions très particulières d'environnement, soumis à certains risques, et vivant longtemps reclus devront obligatoirement s'entendre. Non seulement s'entendre, mais aussi s'entr'aider et se surveiller mutuellement. Cela impliquera chez ces hommes une certaine valeur morale et un comportement social non soumis à de trop fortes pulsions caractérielles.

../...

- 6 - LA SURVEILLANCE PHYSIOLOGIQUE ET MEDICALE

6.1 Chez les quatre plongeurs, il fut pratiqué, avant et après le séjour en caisson :

- un examen clinique,
- des contrôles biologiques sanguins et urinaires,
- une exploration fonctionnelle pulmonaire.

Au cours de l'expérience, des électrocardiogrammes et des mesures de la capacité vitale furent effectués quotidiennement.

Les résultats de l'ensemble figurent dans l'Annexe 8.

6.2 A part quelques phénomènes secondaires, l'évolution physiologique des quatre plongeurs fut sensiblement la même au cours de l'expérience.

6.2.1 Le rythme cardiaque, stable durant la saturation, a sensiblement diminué en cours de décompression, sans doute à cause de l'inactivité des sujets.

6.2.2 La capacité vitale a augmenté de 10 à 15 %, attestant le fait que les plongeurs ont respiré des mélanges gazeux convenables, sans excès d'O_2.

6.2.3 L'état général, correspondant à une forme physique normale pour les quatre sujets est demeuré remarquablement stable, seulement un peu altéré par la décompression chez les plongeurs de la deuxième phase.

6.3 Les douleurs articulaires apparues les premier et deuxième jours, modérées, erratiques et de localisation différente pour chacun, étaient favorisées par les efforts et se manifestaient de préférence au niveau d'articulations antérieurement traumatisées.

../...

6.3.1 Il faut signaler aussi les petites infections cutanées, propres à la vie en saturation, plus marquées chez les plongeurs de la première équipe, ainsi qu'une otite moyenne chez l'un des deux.

6.3.2 L'un des hommes de la deuxième équipe avait, quelques jours auparavant, subi une brûlure au deuxième degré de la face antéro-interne de la cuisse droite (30 à 40 cm2). Le traitement entrepris à l'extérieur fut poursuivi et la brûlure cicatrisa sans complications.

6.4 Les décompressions finales se passèrent bien.

6.4.1 Aucun incident pour celle de la première phase.

6.4.2 Au cours de la deuxième décompression, les deux sujets accusèrent un certain degré de nervosisme et de fatigue, certainement dû à l'obligation de respirer le 60/40, puis l'O_2 pur, au masque, un tiers du temps, de nuit comme de jour, et cela durant les cinquante dernières heures.

Trois heures après la sortie, l'un des plongeurs souffrait de "puces" généralisées qui l'incommodèrent quatre heures avant de disparaître.

6.5 Les épreuves biologiques ne montrèrent pas de grands changements. Il faut tout de même noter :

6.5.1 - une légère diminution du nombre des globules rouges chez trois plongeurs. Cette hypoglobulie, bien connue, est liée à l'augmentation de la pression partielle d'oxygène, - modérée mais non négligeable -, au cours de la saturation;

6.5.2 - une petite augmentation de l'azotémie chez trois plongeurs, signature d'un discret état de fatigue;

6.5.3 - cette fatigue s'accompagnait d'une baisse du taux urinaire des hormones surrénales (17 - cétostéroïdes et 17 - hydroxy - 20 cétostéroïdes) d'ailleurs plus marquée chez les deux plongeurs de la deuxième phase (saturation au fond).

../...

6.6 Il ne nous semble d'ailleurs pas que cette différence soit liée aux pressions de saturation. Les sujets semblaient supporter aussi bien la saturation à 150 mètres qu'à 90 mètres, et si ceux de la deuxième phase paraissent avoir légèrement souffert, nous pensons que cela est dû à la décompression terminale, comme nous l'avons expliqué plus haut.

6.7 Rien à dire de l'exploration fonctionnelle pulmonaire qui demeura normale dans tous les cas.

6.8 En résumé, nos résultats montrent que les deux niveaux de saturation sont également bien tolérés par l'organisme humain, tout au moins pour une durée d'une semaine et sans préjuger des réactions possibles à des séjours beaucoup plus longs.

- 7 - LES PROCEDES DE SATURATION

7.1 L'expérience JANUS a été conçue sous forme de dyptique :

1er volet : Saturation à un niveau intermédiaire (procédé LUDION) : 90 mètres, pour un niveau de travail à 150 mètres.

2ème volet : Saturation au niveau du fond (à cinq mètres près) : 145 mètres, pour un niveau de travail à 150 mètres.

Le dyptique permettait donc de confronter deux procédés de saturation et nous souhaitions cette confrontation pour deux raisons : la première étant physiologique et la deuxième logistique.

PREMIERE RAISON : Savoir si l'homme tolérait aussi bien de vivre plusieurs jours sous une pression de 16 ata que sous une pression de 10 ata, en atmosphère d'Héliox, avec une PpO_2 de 300 mb ± 10, dans les deux cas.

../...

DEUXIEME RAISON : Evaluer les avantages de la saturation au fond (simplicité des manoeuvres, souplesse de l'horaire de travail) au regard des garanties de sécurité qui sont à l'avantage de la saturation type LUDION.

A notre avis, la première raison était la plus importante car, seule, l'expérience était en mesure de répondre à la question posée. La deuxième raison l'était moins, les résultats ne pouvant que confirmer la plupart de nos prévisions.

7.2 Cela explique notre choix de la saturation à 10 ata dans le procédé LUDION. En effet, si les réactions physiologiques aux séjours en pression devaient être différentes suivant les profondeurs, il serait bon de les faire ressortir, dans JANUS, par le plus grand écart possible entre les pressions des deux types de saturation (soit 10 et 16 ata).

7.2.1 Par ailleurs, les quelques opérations CACHALOT et LUDION réalisées par WESTINGHOUSE et la COMEX ne suffisaient pas encore à nous assurer de la sécurité des tables de décompression intermédiaires. Or, l'expérience nous a montré que, plus les plongées sont profondes et prolongées, moins les tables sont sûres. Nous pensions qu'il pourrait en être de même pour les remontées du niveau-travail au niveau-vie et c'est pourquoi nous avons choisi la dénivellation la plus grande pour des "excursion dives" de deux heures.

7.3 Les deux phases de JANUS, chacune de six jours, devaient donc se dérouler la première en saturation de type intermédiaire, la deuxième en saturation de type "fond".

7.3.1 Saturation intermédiaire (LUDION IV)

Niveau-vie : 90 mètres (10 ata)
Niveau-travail : 150 mètres (16 ata)
Mélanges :
Dans le caisson-habitat : Héliox à 3 % d'O_2
Dans le caisson-habillage, le sas et la tourelle : Héliox à 7 % d'O_2
Une plongée au niveau-travail de deux heures toutes les douze heures.

../...

Décompression après chaque plongée :

- de 150 à 102 mètres,	en 20 minutes		(dans la tourelle)
- de 102 à 96 "	100 "		(dans le caisson-habillage)
- de 96 à 90 "	300 "		(dans le caisson-habitat)

Décompression finale en 65 heures.

7.3.2 Ce procédé, qui a déjà fait ses preuves et tend à se répandre de plus en plus, est intéressant à plusieurs titres :

a - moins forte est la pression-vie, meilleure est l'adaptation physiologique (encore que cela n'ait pas été démontré entre 10 et 16 ata, il faudra bien y repenser pour des profondeurs supérieures à 150 mètres ou des opérations plus longues ou des séjours renouvelés);

b - la décompression terminale coûte moins d'heures (ou même de journées), ce qui n'est pas capital mais peut entrer en ligne de compte, surtout pour les profondeurs en-deçà de 100 mètres;

c - la saturation à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du fond permet au plongeur de se déplacer dans cette zone, et par conséquent de travailler, le long d'une structure haute de 15 à 30 mètres, sans risquer un accident de décompression.

7.3.3 Car il faut toujours avoir présente à l'esprit une caractéristique fondamentale de la saturation dont les utilisateurs ne se rendent pas assez compte : c'est que le niveau de saturation représente un plafond et non un plancher, c'est que le plongeur ne peut pas s'élever à plus de 20 ft - 6 mètres - au-dessus sans risquer de voir s'amorcer la formation de bulles dans ses tissus, c'est que l'on admet comme marge de sécurité maximum : dix mètres. En revanche, au-dessous ses déplacements verticaux peuvent être de plusieurs dizaines de mètres avec retour sans paliers à l'habitat, à condition qu'ils ne soient pas de trop longue durée (comme cela a été démontré par les PRECONTINENT I,II,III et SEALAB II).

../...

7.3.4 Et cela nous permet d'insister sur l'avantage le plus important - en fait irremplaçable - du procédé LUDION : la sécurité.

7.3.5 Dans le cas qui nous intéresse, deux types d'accidents peuvent se produire :

7.3.6 Premier type : Panne de régénération dans la tourelle, suivie d'intoxication par le CO_2, ou encore blessure grave d'un plongeur (ou, plus généralement, toute circonstance dans laquelle une intervention extérieure fait toute la différence entre le réparable et l'irréparable). Dans tous les cas, la tourelle peut être remontée sans danger à 118 mètres en 4 à 5 minutes et, à cette profondeur, les plongeurs de surveillance en surface peuvent intervenir en PPLI. Le temps qu'ils interviennent, la tourelle peut déjà être remontée à 110 mètres (encore 5 minutes); puis 102 mètres (encore 10 minutes).

7.3.7 Deuxième type : Le plongeur qui est sorti de la tourelle pour travailler subit une perte de connaissance, largue son lest, remonte en ballon à bout de narghilé (il peut aussi bien s'être accroché par inadvertance à un câble qu'on remonte). Si le narghilé fait 20 mètres de longueur (et il n'est pas souhaitable qu'il soit plus long !) le plongeur se retrouvera, inanimé, à 130 mètres et le temps que son camarade puisse le ramener, il pourra amorcer un accident de décompression d'autant plus grave que l'état syncopal favorisera son évolution.

7.3.8 Ces arguments concernant ce qui doit être la préoccupation majeure des responsables d'un chantier profond, la sécurité, sont si évidents qu'ils interviendront forcément dans les suites juridiques de tout accident.

En effet, si un accident se produit à 150 mètres - les plongeurs étant saturés au fond - et qu'il coûte la vie à l'un d'entre eux, les enquêteurs envisageront les interventions qui auraient été possibles dans le cas de la même opération réalisée en LUDION. S'ils parviennent à démontrer que grâce à cette saturation moins profonde, le plongeur aurait été sauvé, il est évident que la responsabilité morale et juridique des entreprises en cause sera gravement engagée.

La législation du travail sous-marin profond, qui doit intervenir d'ici deux ou trois ans, tiendra certainement compte de ces considérations.

../...

7.4 Saturation au fond

Niveau-vie : 145 mètres (15,5 ata)
Niveau-travail : 150 mètres (16 ata)

(Dénivellation comprise dans la marge de sécurité établie par le GERS).

Mélanges :

Un seul mélange : Héliox à 2 % d'O_2 pour tout l'ensemble pressurisé (caissons et tourelle).

Deux heures de travail à 150 mètres toutes les douze heures.

Pas de délai de décompression intermédiaire.

Décompression terminale en 138 heures (calculée par le GERS).

7.4.1 Les avantages opérationnels de ce procédé sont indéniables :

a - quelles que soient la durée ou la fréquence des interventions à 150 mètres (niveau-travail), le retour à 145 mètres (niveau-vie) se situe toujours en-deçà de la courbe de remontée sans palier.

Les sorties-travail permises à toute heure et pour toutes les durées ne sont plus limitées que par les possibilités physiques et nerveuses des travailleurs.

b - ceux-ci peuvent occuper plus librement tout leur espace vital du fait de l'utilisation d'un seul mélange respiratoire.

c - ce mélange unique est plus facile à récupérer, rectifier, stocker.

Bref, la logistique d'un chantier sous-marin s'en trouve indéniablement allégée.

../...

7.5 Discussion

Les avantages des deux procédés étant indiscutables, nous ne reviendrons que sur leurs inconvénients :

7.5.1 Pour le procédé LUDION, tel qu'il a été adopté pour JANUS :

- Décompressions intermédiaires trop longues,
- Codification trop rigide des plongées successives,
- Manoeuvres compliquées par l'utilisation de deux mélanges respiratoires.

7.5.2 Pour le procédé SATURATION AU FOND :

- Si la nocivité pour l'organisme humain d'un séjour d'une semaine environ, à grande profondeur, n'apparaît pas à 150 mètres, il n'est pas dit qu'une pathologie chronique ne se développerait pas au cours de séjours plus prolongés ou renouvelés. Dans l'ignorance où nous sommes de cette pathologie possible, nous avons le devoir de modérer la profondeur de vie dans la mesure où cela est conciliable avec la commodité des opérations.

- La sécurité des opérations sous-marines doit être assurée dans toute la mesure du possible, or la saturation au fond ne représente justement pas toute cette mesure du possible et cela, quelle que soit la profondeur. Ce qui n'est pas toujours compatible avec les impératifs topographiques d'une "maison sous la mer" (encore que SEALAB III, à 180 mètres, doive se situer au-dessous d'un champ d'intervention allant jusqu'à 250 mètres) l'est parfaitement avec la profondeur fictive et modifiable d'un caisson de pont.

7.5.3 Pour conclure, entre les deux solutions, intentionnellement polarisées aux extrêmes dans le cas de l'Expérience JANUS, nous pensons qu'il faudrait choisir une solution intermédiaire, c'est-à-dire un procédé LUDION plus proche de la saturation au fond.

../...

Maintenant que notre confiance dans le mode de calcul des tables LUDION s'affirme (plus de 30 décompressions intermédiaires sans la moindre perception de passage de bulles), nous serions en mesure de proposer pour un chantier sous-marin à 150 mètres, le LUDION suivant :

Niveau-vie : 120 mètres (13 ata)
Niveau-travail : 150 mètres (16 ata)

Mélange respiratoire unique : HYDROX à 2,5 % d'O_2

Une plongée au niveau-travail de deux heures toutes les douze heures.

Dans ce cas, la décompression entre 150 et 120 mètres dure 10 minutes.

Les plongées peuvent être renouvelées, après un travail de deux heures au fond, dans les conditions suivantes :

- nouvelle plongée après un intervalle de deux heures :
  durée admissible sans palier : 40 minutes.
- nouvelle plongée après un intervalle de quatre heures :
  durée admissible sans palier : 60 minutes.
- nouvelle plongée après un intervalle de six heures :
  durée admissible sans palier : 90 minutes.
- Après un intervalle de huit heures, on pourra replonger durant 120 minutes, mais la remontée nécessitera alors un palier de 30 minutes à 123 mètres.

Ce schéma est donné à titre d'exemple. D'autres calculs peuvent permettre une plus grande souplesse opérationnelle : par exemple, si les plongées sont limitées à 60 minutes, elles peuvent se renouveler toutes les quatre heures, etc.. etc..

../...

- 8 - CONCLUSIONS

8.1 Deux équipes de deux plongeurs ont successivement vécu en saturation six jours chacune. Si l'on ajoute à cela les journées de décompression, l'expérience JANUS, sous ses deux aspects, a duré vingt-et-un jours.

8.1.1 Trois semaines pendant lesquelles nous avons pu éprouver les données physiologiques, les procédés de saturation, les tables de décompression, les hommes et leur capacité de travail par 150 mètres de fond, les appareils, les techniques.

8.1.2 L'expérience JANUS nous a aussi beaucoup appris sur les exigences du maître-d'oeuvre, tandis qu'elle informait utilement celui-ci des possibilités de la plongée à saturation.

8.2 Il était prévu quatre heures de plongée-travail par jour, soit 24 heures en six jours pour chaque équipe, or la première équipe n'a plongé que 10 h 40 min. en tout. La deuxième équipe, plus longtemps : 16 h 14 min., restant encore en-deçà des prévisions. C'est en quoi l'opération a pu paraître décevante.

8.2.1 En fait, si le programme de travail au fond n'a été réalisé qu'à 56 % c'est à cause de certaines défaillances du matériel et de la technique.

8.2.2 Or, pour des motifs bien légitimes d'utilisation de l'ASTRAGALE, on n'a, en définitive, disposé que de fort peu de temps pour adapter son matériel de plongée profonde à la vie en saturation et à des durées de séjour sous la mer trois à quatre fois plus grandes que celles des interventions habituelles.

8.2.3 Quant à la technique, tout aurait été simple si l'on s'était contenté de faire respirer les plongeurs en circuit ouvert - que de minutes (et d'heures) perdues à mettre au point le bon usage du MIXGERS - non en caisson-laboratoire mais en mer, à 150 mètres de fond - et à s'obstiner aux essais du "P.III" pour finalement le rejeter ! Mais aussi que d'enseignements et que de progrès en perspective. Beaucoup plus décevante à notre avis aurait été l'utilisation sans histoires de moyens éprouvés mais déjà dépassés.

../...

8.3 Une expérience de ce genre n'est enrichissante que dans la mesure où sortant des sentiers battus, et faisant même appel à l'improvisation, elle permet de définir, non seulement ce qui est réalisable mais aussi comment le réaliser lorsque, passant au stade de l'opérationnel, on ne pourra plus se permettre de faux pas.

8.3.1 D'ailleurs, la préparation de JANUS, beaucoup plus importante qu'on ne saurait l'imaginer, a porté ses fruits dans la mesure où elle s'appuyait sur une sérieuse expérimentation préalable - et c'est pourquoi JANUS fut un succès.

8.3.2 Nous rappellerons :

- le choix judicieux des mélanges respiratoires (COMEX, GERS)
- la sélection efficace des hommes, préparés à cette épreuve (COMEX)
- les premières notions d'ergonomie sous-marine (LUDION I, II, III - COMEX)
- la codification des tests de travail sous-marin (BOUSSENS, GERS)
- le contrôle chimique rigoureux des gaz qui a permis de détecter les "pièges" de la récupération utilisée pour la première fois (COMEX)
- les systèmes économiseurs, MIXGERS et récupération (GERS, COMEX) étudiés et mis au point dans la perspective de leur adaptation aux opérations de chantiers.
- les techniques de saturation et de décompression éprouvées (LUDIONS/COMEX - PRECONTINENT III/GERS)
- les protocoles de surveillance physiologique et d'explorations fonctionnelles (COMEX, O.S.I., C.N.R.S.) qui permettent des comparaisons valables de JANUS avec SEALAB II, LUDION II et III, DIVE 58.

8.4 <u>On sait donc, maintenant, que des hommes peuvent travailler plus d'une heure et cela plusieurs fois par jour, sur un fond marin de 150 mètres</u>.

8.4.1 Il reste à résoudre deux problèmes importants :

(1) la protection du plongeur contre le froid au-delà d'une heure de séjour dans l'eau,

(2) la régénération de l'atmosphère de la tourelle pour les longues durées d'immersion.

Mais une expérience n'est valable que si, justement, par delà ses résultats positifs, elle indique clairement les axes de recherches à poursuivre.

../...

8.4.2 Pour plusieurs raisons, JANUS avait deux visages; mais les opérations futures, sur de vrais chantiers, se feront plutôt sous le signe de la Divinité indienne CIVA, aux trois paires de bras.

Celle-ci symbolisera les diverses possibilités d'interventions sous-marines offertes au maître-d'oeuvre Interventions variables dans le temps à partir d'une profondeur de saturation adaptée au meilleur rendement et à la plus grande sécurité.

Et c'est tout cela que l'expérience JANUS a permis de définir.

Fait à MARSEILLE, le 30 Janvier 1969