



HAL
open science

Contrôle des décompressions de pongées à l'air - en mer en caisson- par détection ultrasonore (procédé Doppler) des bulles circulantes

Jacques Le, Hubert Trelu, Martine Carlioz, Francis Loce, Xavier Fructus, Bernard Gardette

► To cite this version:

Jacques Le, Hubert Trelu, Martine Carlioz, Francis Loce, Xavier Fructus, et al.. Contrôle des décompressions de pongées à l'air - en mer en caisson- par détection ultrasonore (procédé Doppler) des bulles circulantes: Amélioration des tables de plongée à l'air (contrat CNEXO/COMEX 83/2907/Y). COMEX. 1984. hal-04510137

HAL Id: hal-04510137

<https://hal.univ-brest.fr/hal-04510137>

Submitted on 18 Mar 2024

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

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



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



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

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

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

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

CONTROLE DES DECOMPRESSIONS DE PLONGEES A L' AIR

- EN MER ET EN CAISSON -

PAR LA DETECTION ULTRASONORE (PROCEDE DOPPLER)

DES BULLES CIRCULANTES

AMELIORATION DES TABLES DE PLONGEE A L' AIR

(Contrat CNEOX/COMEX 83/2907/Y)

Octobre 1984

Travail réalisé par :

Jacques Le Mire (Première partie)

Hubert Trelu

Martine Carlioz (Deuxième partie)

Francis Loce

Sous la direction de :

Xavier Fructus

Bernard Gardette

Avec la collaboration de :

Jean-Pierre Imbert

Michel Bontoux

Rapport conçu et rédigé par :

Martine Carlioz

PLAN

<u>I N T R O D U C T I O N</u>	p. 1
<u>1 E R E P A R T I E</u>	p. 5
ENQUETE MEDICOPHYSIOLOGIQUE SUR LES CONDITIONS DE PLONGEE DES PECHEURS D'EPONGES DE ZARZIS (TUNISIE)	
<u>I . Cadre général et conditions de déroulement de l'étude</u>	p. 5
<u>II . Matériel et méthodes</u>	p. 6
1. Matériel et équipement de plongée	p. 6
a - L'équipement des bateaux de plongée	p. 6
b - Le matériel individuel de plongée	p. 8
c - Matériel de mesure	p. 9
2. Les sujets	p. 10
a - Caractéristiques générales	p. 10
b - Résultats de l'examen médical préalable	p. 10
3. Méthodes	p. 12
A/ Mesures effectuées pendant la plongée	p. 12
a - Profondeur maximale atteinte	p. 12
b - Temps de plongée	p. 13
c - Profondeurs des paliers de décompression	p. 13
d - Durée des paliers	p. 13
e - Qualité de la décompression	p. 13
B/ Mesures effectuées après la plongée	p. 13
a - Mesure de l'intervalle de temps	p. 13
b - Détection Doppler des bulles d'azote circulantes	p. 13
<u>III . Résultats</u>	p. 14
1. Plongées effectuées. Evaluation de leur indice de sévérité	p. 14
2. Premières plongées de la journée	p. 15
3. Plongées successives = 2èmes plongées de la journée	p. 22
4. Bilan des résultats	p. 28
<u>IV . Discussion</u>	p. 29
1. Bulles et profil de la plongée	p. 29
2. Bulles et accidents	p. 31

3. Cinétique et intensité du dégazage	p. 41
4. Prédiposition au caractère "bulleur"	p. 42
5. Les limites de la détection Doppler	p. 45
<u>V . Conclusion</u>	p. 47

2 E M E P A R T I E p. 49

TESTS DE TABLE DE DECOMPRESSION (DECRET 1974) EN CAISSON SEC.

I . Matériel et méthodes p. 50

A/ Matériel p. 50

1. Le caisson p. 50
2. Bicyclette ergométrique p. 50
3. Détecteur ultrasonore de bulles circulantes p. 50
4. Pince de mesure du pli cutané p. 50

B/ Les sujets p. 50

1. Plongée 24 m / 90 min p. 50
2. Plongée 30 m / 80 min p. 51
3. Plongée 51 m / 40 min p. 52

C/ Méthodes p. 52

1. Protocole des plongées p. 52
2. Moyens d'investigations p. 53
3. Programme journalier p. 54

II . Résultats p. 55

1. Plongée 24 m / 90 min p. 55
2. Plongée 30 m / 80 min p. 61
3. Plongée 51 m / 40 min p. 67

III . Bilan des résultats et discussion p. 73

1. Bulles et profil de plongée p. 73
2. Bulles et accidents p. 77
3. Cinétique et intensité du dégazage p. 79
4. Prédiposition au caractère "bulleur" p. 80

IV . Conclusion p. 89

C O N C L U S I O N G E N E R A L E p. 91

INTRODUCTION

I - La sécurité de la décompression des plongées à l'air a été améliorée de beaucoup avec le calcul des tables tenant compte du travail au fond et qui ont fait l'objet du décret ministériel 74.725 du 11 Juillet 1974.

Mais, à cause de la variabilité des facteurs intervenant dans les plongées unitaires, la sécurité n'est jamais absolue et des accidents de décompression sont encore enregistrés pour des plongées se déroulant selon ces tables relativement récentes.

Les accidents de décompression peuvent avoir des manifestations variées (Fructus et Siarli, 1980) :

- manifestations cutanées : "puces" et "moutons"
- " ostéomyoarticulaires: "bends"
- " sanguines : hémorhéologiques, asthénie, tachycardie
- manifestations labyrinthiques ou vestibulaires
- " nerveuses : médullaires ou cérébrales
- " pulmonaires: "chokes" (dyspnée, détresse respiratoire)

Cependant, l'exploitation statistique des plongées à l'air réalisées par la COMEX sur ses chantiers de 1976 à 1983 (50 000 tables air, intervalle 8 heures, sortie air) montrent que ce sont principalement des accidents bénins du type "bend" qui sanctionnent l'usage de ces tables.

II - L'apparition d'un accident peut avoir trois origines :

1) La table de décompression par elle-même : pour un profil de plongée donné, cette table n'offre pas la même sécurité que pour l'ensemble des plongées. En effet, il semble que ce sont

certaines profondeurs/durées qui sont le plus souvent mises en cause telles que :

- 24 mètres/90 minutes ou plus
- 27-30 mètres/60 minutes ou plus
- 48-60 mètres/40 minutes ou plus

2) La susceptibilité individuelle du plongeur : bien qu'aucune corrélation n'ait été indiscutablement mise en évidence, il semble qu'il existe un certain nombre de "facteurs de risque" d'accidents. Ce sont :

- la forme physique insuffisante (contrat DGRST/COMEX, 1978; Gardette et al., 1981) évaluée par l'indice de Ruffier (IR) ou la fréquence cardiaque de repos (FC repos),
 - la masse grasse élevée (Le Fur, 1980; Le Fur et al., 1980)
 - le sexe masculin (Le Fur, 1980)
 - L'effort musculaire important après la décompression (Vallon, 1981; Vann et al., 1982)

3) Les conditions de la plongée :

- la température de l'eau : le froid pendant l'immersion a un rôle péjoratif sur la décompression (Gardette, 1980; Vann et al., 1982)
 - le travail effectué pendant la plongée
 - les conditions météorologiques et océanographiques : courants, houle ...
 - la précision des paliers effectués en pleine eau
 - la précision des mesures de paramètres comme la profondeur atteinte, la durée,...
- un incident technique empêchant le respect des procédures habituelles.

III - Toutes ces données ont été rassemblées en utilisant deux ordres de renseignements complémentaires, chacun comportant des avantages et des inconvénients.

1) Le nombre d'accidents observés sur un grand nombre de plongées (50 000)

Avantages : - situation réelle de chantiers
- échantillon de très grande taille (élimination des fluctuations inter et intra-individuelles)

Inconvénients : conditions non standardisées (état de fatigue du plongeur, conditions météorologiques, difficultés du chantier, application plus ou moins rigoureuse de la table de décompression...)

2) Les degrés de bulles enregistrés par le détecteur Doppler (DUG) au cours de plongées fictives expérimentales en caisson

Avantages : - utilisation du Doppler comme un appareil pouvant évaluer le risque d'accident sans attendre sa manifestation clinique,
- conditions d'expérience standardisées, qui permettent de bonnes comparaisons,
- facteurs individuels des sujets bien caractérisés (fiches d'observations médico-physiologiques).

Inconvénients : - nombre limité des plongées-tests
- conditions d'expérience différentes de celles de chantiers.

IV - L'utilisation parallèle de ces deux types d'information n'est valable que si l'on a pu établir une certaine corrélation entre le degré de bulles circulantes détectées au Doppler et l'apparition de l'accident. C'est pourquoi l'étude décrite dans ce rapport se présente en deux parties :

1) Étalonnage de la relation degré de bulles-accident

Le contrôle Doppler des décompressions de plongées à l'air, en mer, chez des pêcheurs d'éponges tunisiens, a permis de perfectionner l'étalonnage de "l'index Doppler" vis-à-vis d'un pourcentage d'accidents observés.

2) Contrôle par "l'index Doppler" des décompressions de plongées à l'air en caisson.

Certaines tables du décret 1974 étant sanctionnées par des pourcentages d'accidents plus élevés que la moyenne (statistiques de chantiers COMEX) ont été testées, soit

la 24 m - 90 min

la 30 m - 80 min

la 51 m - 40 min

Cette double approche nous permet :

- d'évaluer la sécurité des tables de décompression du décret 1974
- et de préparer leur amélioration future

1ERE PARTIE

ENQUETE MEDICOPHYSIOLOGIQUE SUR LES CONDITIONS DE PLONGEE
DES PECHEURS D' EPONGES DE ZARZIS (TUNISIE)

(Relation "index Doppler" - Pourcentage d'accidents)

I - CADRE GENERAL ET CONDITIONS DE DEROULEMENT DE L' ETUDE

Cette mission en Tunisie avait pour but l'étude des conditions de plongée des pêcheurs d'éponges, particulièrement en ce qui concerne les procédures de décompression, différentes de celles appliquées en France conformément au Décret du 11 Juillet 1974.

Grâce au Docteur Jacques Le Mire, médecin de l'Hôpital Houmt-Souk à Jerba, cette étude a été réalisée avec les pêcheurs d'éponges de la ville de Zarzis, dans le Sud de la Tunisie.

La campagne de pêche aux éponges a lieu tous les ans, de juin à septembre. Le port de Zarzis compte environ une vingtaine d'embarcations équipées pour la pêche aux éponges, emmenant chacune deux ou trois plongeurs avec trois ou quatre hommes d'équipage. Ces barques de pêche ont une dizaine de mètres de long sur trois mètres de large et sont équipées d'un moteur diesel leur conférant une vitesse de 6 à 7 noeuds. L'équipement des bateaux est très simple et ne comporte pas de liaison radio avec la terre. Les lieux de plongée se trouvent à une distance de 40 à 50 milles nautiques de la terre, ce qui représente, dans le meilleur des cas, 6 à 7 heures de navigation.

Les embarcations partent en campagne et rentrent toutes en même temps, essentiellement pour des raisons techniques de sécurité en cas de panne d'un bateau.

La durée des sorties, fonction des conditions météorologiques, est le plus souvent de 6 à 8 jours en haute mer.

Sur le site de pêche, chaque plongeur effectue en général deux plongées quotidiennes, tous les jours, sauf le premier jour où l'arrivée sur le site se fait en fin de matinée, et le jour du départ où les plongeurs n'effectuent qu'une seule plongée.

Chaque plongeur totalise donc 12 à 15 plongées par sortie d'une semaine, ce qui, en plus du travail de bord et de la préparation des éponges, représente une activité importante.

Ensuite, les campagnes de pêche sont entrecoupées de périodes de repos à terre d'une durée de 3 jours à 1 semaine.

Les conditions matérielles particulières ont posé plusieurs problèmes quant à la rigueur expérimentale de l'étude.

Tout d'abord, les mesures effectuées étaient simples, ne nécessitant pas un matériel trop lourd, étant donné la petite taille des bateaux et le peu d'espace disponible pour placer les instruments à l'abri des chocs et des éclaboussures (en particulier pour le matériel électronique).

Les mesures biométriques étaient, elles aussi, les plus simples possibles, c'est pourquoi la mesure de l'indice de RUFFIER par la méthode des flexions a remplacé le test sur bicyclette ergométrique, mesure plus précise mais impraticable à bord d'une barque de pêche.

Ce travail ne correspond pas à une expérimentation stéréotypée en laboratoire mais à une enquête épidémiologique. Cette enquête présente, en revanche, l'avantage de s'être opérée "sur le terrain", saisissant le travail réel des pêcheurs d'éponges et cela sans en modifier le déroulement habituel, à partir de laquelle on peut tirer de précieuses informations sur la physiopathologie d'un certain type d'activité sous-marine traditionnelle dans le bassin méditerranéen, et qui a permis de préciser la relation "index Doppler" et pourcentage d'accidents.

Les résultats de ces observations pourraient permettre aussi d'améliorer les conditions de sécurité de la pêche sous-marine aux éponges.

II - MATERIEL ET METHODES

1) Matériel et équipement de plongée

a - L'équipement des bateaux de plongée

Les 10 bateaux ayant participé à cette étude sont équipés de la même façon.

En dérivation sur l'arbre moteur du bateau est monté un compresseur qui fournit de l'air comprimé à un réservoir-tampon (de 100 à 500 litres suivant les bateaux) à une pression de 6 à 12 bar.

La prise d'air du compresseur est assez éloignée de la sortie des gaz d'échappement du moteur. Elle est située en haut du mât. L'air comprimé à la sortie du compresseur n'est pas filtré sauf pour un bateau qui comportait un filtre à charbon actif. L'air respiré contient donc une certaine quantité de vapeurs de l'huile minérale servant à lubrifier le compresseur.

Sur le réservoir-tampon d'air comprimé, on trouve le matériel suivant :

- un manomètre de contrôle
 - une soupape d'évacuation d'air en cas de surpression (pas sur tous les bateaux)
 - un robinet de vidange
 - l'arrivée d'air comprimé provenant du compresseur
 - la sortie d'air comprimé branchée sur le flexible du narghilé
- Chaque bateau équipé d'un seul narghilé.

Le flexible de narghilé est un tuyau d'environ 100 mètres dont la qualité varie beaucoup d'un bateau à l'autre, la plupart d'entre eux étant équipés de tuyaux utilisés normalement pour les appareils de soudure.

Les détendeurs sont des deuxièmes étages des détendeurs classiquement utilisés en plongée sportive.

Un seul bateau possédait une bouteille de plongée avec détendeur que le plongeur avait à sa disposition en cas de rupture du narghilé.

L'hélice des bateaux était entourée d'une cage de protection. Il n'y a pas de communication phonique entre le plongeur et la surface.

b - Le matériel individuel de plongée

- masque de modèle courant
- palmes
- une combinaison isothermique de faible épaisseur, (en général de 2 à 4 mm)
- une ceinture de lest de 2 à 4 kg
- un profondimètre
- parfois une montre étanche (mais la plupart des bateaux n'en disposaient pas)

Un certain nombre de problèmes sont liés à l'emploi de ce type de matériel :

* Le froid :

La majorité des combinaisons isothermiques en néoprène utilisées par les plongeurs sont très fines et peu efficaces, ce qui explique que les plongeurs ont pratiquement toujours froid en fin de plongée, ceci d'autant plus que les temps de séjour dans l'eau sont très souvent longs. La température de l'eau variait de 21 à 22°C en surface à 17-18°C au fond, vers 35 m.

* La gêne respiratoire :

Sur le bateau à partir duquel nous avons plongé, la pression dans le réservoir-tampon était de 6,5 bar et le narghilé était un tuyau de soudure de petite section. Il en résultait une gêne importante à l'inspiration en profondeur, due au trop faible gradient de pression réservoir-fond aggravé par les pertes en charge dans un flexible de petite section.

Ceci favorise lors d'un effort important un essoufflement par insuffisance de débit inspiratoire.

* Le palmage :

La majorité des bateaux ont à bord une paire de palmes (utilisée par tous les plongeurs), de petite voilure et donc de faible efficacité, ce qui accroît considérablement l'effort de propulsion dans l'eau.

* L'effort fourni dans l'eau :

Il est en général important pour deux raisons principales :

- . la distance à couvrir lors d'une plongée de collecte des éponges est grande (sans doute plus de 2 km), car leur densité est faible, leur population dispersée.
- . le plongeur remorque en permanence un filet d'éponges qui, lorsqu'il est bien rempli, représente un freinage, notable source d'efforts pour le bras qui tire.

Les conditions difficiles de plongée des pêcheurs d'éponges, montrent qu'il s'agit d'une activité pénible, accompagnée d'une thermolyse importante, favorisant l'essoufflement et majorant les risques d'accident de décompression.

c - matériel de mesure

- chronomètre
- profondimètre à aiguille traînante "COMEX PRO"
- décompressimètre "SOS"
- détecteur Doppler "DUG"

L'appareil (détecteur transcutané) DUG, mis au point à l'INSA de Lyon, en collaboration avec le CERTSM et la COMEX, fabriqué par SODELEC (Marseille), est utilisé lors des décompressions de plongées unitaires ou à saturation, à l'air ou à l'héliox depuis 1975, (Guillem et al., 1975 ; COMEX, 1975; Gardette et Ternisien, 1977). L'évaluation du débit de bulles gazeuses intravasculaires circulantes se fait selon l'échelle de Spencer (Spencer et al., 1972) - 5 degrés de sévérité croissante de 0 à 4 - au repos et au mouvement après flexions, grâce à un capteur transcutané placé sur l'infundibulum pulmonaire.

- pince de mesure du pli cutané

La "pince de Whouse" ou "caliper" est un pied à coulisse exerçant une pression de 10 g/mm^2 . Elle donne à 0,1 mm près l'épaisseur du tissu cellulaire sous cutané, (Tanner, 1959; Durmin et Rahaman, 1967) qui est ensuite assimilée à un pourcentage de tissu gras (abaque de Durmin et Rahaman).

2) Les sujets

Tous les plongeurs ayant participé à cette étude étaient des pêcheurs d'éponges de Zarzis; les interrogatoires, examens cliniques et mesures ont été effectués à bord des embarcations et avec leur collaboration pendant leur travail.

24 sujets différents, tous de sexe masculin, composent l'effectif de cette étude; 3 d'entr'eux ont été vus à deux reprises.

a) Caractéristiques générales

- âge moyen : 25 ans \pm 7
- taille : 171 cm \pm 5
- poids moyen : 67 kg \pm 11

b) Résultats de l'examen médical préalable

■ Antécédents

- tabagisme chez 23 sujets (10 à 20 cigarettes/jour en moyenne)
- importante consommation d'alcool chez un sujet
- fractures chez 2 sujets
- interventions chirurgicales chez 2 sujets (1 pour appendicite, 1 pour hémorroïdes)
- 1 ulcère gastrique (chez le sujet consommant de l'alcool)

■ Examen clinique

- 9 sujets se plaignent d'arthralgies chroniques consécutives à des bends
- 2 sujets se plaignent de douleurs évocatrices d'un ulcère gastroduodéal
- 2 sujets présentent un état pulmonaire suspect (toux, râles humides aux sommets, asthénie modérée)
- 1 sujet porteur d'une petite hernie inguinale
- 2 sujets porteurs d'une perforation tympanique dont l'un avec otite suppurative chronique
- examen clinique normal chez 10 sujets

C'est un groupe de plongeurs professionnels, la plupart en bonne forme physique, les autres paraissant atteints de maladies en cours d'évolution (affections broncho-pulmonaires, ulcères digestifs, otites chroniques)

■ Antécédents liés à la plongée

Les pêcheurs d'éponges de Zarzis sont de compétence très variable, tant par leur formation théorique et pratique de plongée que par le nombre de saisons de plongée qu'ils affichent à leur actif. Quelques plongeurs débutent, commençant juste leur première saison de plongée, d'autres plongent depuis plus de 8 ans ou ont déjà pratiqué la plongée professionnelle ailleurs (portuaire ou offshore). L'un d'entre eux serait un plongeur Classe III, un autre est moniteur à l'Ecole des Pêches de Zarzis.

Le nombre d'années de plongée est en moyenne de 3, 5 ans \pm 3; les extrêmes étant :

0 : débutants, première campagne
9 ans de pratique

Parmi les antécédents d'accidents de plongée, on retrouve les cas suivants :

- 22 sujets ont eu un ou plusieurs accidents du type "bend", 9 d'entre eux souffrant de douleurs articulaires chroniques avec limitations de certains mouvements.
- 6 sujets ont eu des accidents à type de détresse respiratoire avec cyanose, oppression thoracique et asthénie intense.
- 2 sujets auraient eu des accidents de type neurologique et/ou labyrinthique, mais on ne retrouve pas de séquelles à l'examen clinique
- 5 sujets ont subi des barotraumatismes de l'oreille moyenne ou des sinus de la face (avec rupture d'un tympan chez 2 d'entre eux)
- 2 sujets n'ont jamais eu d'accidents de plongée (on remarque que ce sont ceux qui ont relativement peu plongé : un débutant à sa première saison de pêche, l'autre à sa deuxième saison)

- L'examen médical a été complété par :
- la mesure du pli cutané pour évaluer le pourcentage de tissus graisseux du sujet

$$\% \text{ TG moyen} : 15,0 \% \pm 4,9$$

- la mesure de l'indice de Ruffier afin de quantifier approximativement son adaptation à l'effort.

Ce test consiste à faire effectuer par le sujet 30 flexions sur les membres inférieurs en 45 secondes.

Comme toutes les autres mesures, le test de Ruffier a été pratiqué en mer sur les embarcations des pêcheurs et, de ce fait, la mesure de la fréquence de repos (P_1) est en partie faussée car il est pratiquement impossible d'obtenir un repos véritable sur un bateau qui bouge en permanence; de plus les plongeurs sont presque toujours en train de travailler avant de se soumettre au test (travaux de matelotage ou de préparation des éponges). Néanmoins, les tests de Ruffier ont toujours été effectués le matin avant la première plongée et à la fin de l'examen clinique permettant d'obtenir ainsi un repos relatif de 10 à 15 minutes avant l'effort.

$$\text{IR moyen} = 10,7 \pm 4$$

Quant à la moyenne des fréquences cardiaques au repos, on trouve

$$\text{FC repos moyen} : 77 \text{ bts/min} \pm 10$$

3) Méthodes

A - Mesures effectuées pendant la plongée

a) Profondeur maximale atteinte

Obtenue de façon certaine grâce à un profondimètre à aiguille traînante COMEX PRO fourni au plongeur, cette profondeur maximale représente de façon assez juste la profondeur moyenne réelle de la plongée car les fonds composés d'herbiers et de roches plates sont homogènes et horizontaux, la profondeur ne variant donc presque pas au cours de la plongée.

b) Temps de plongée

Les plongeurs ne disposant en général pas de montre étanche, cette mesure était prise directement du bord; la fin de la plongée étant facile à connaître car le plongeur, au moment de remonter, attache toujours à un pendeur le filet plein d'éponges ainsi que le filet vide envoyé de la surface. Cela permet également d'avoir une approximation de la vitesse initiale de remontée.

c) Profondeur des paliers de décompression

Soit en sondant avec un profondimètre à aiguille traînante, soit par mesure directe.

d) Durée des paliers

Mesure effectuée directement de la surface dans des conditions aisées, car il était très facile de voir le plongeur au palier depuis le bateau, l'eau étant très limpide sur les sites de plongée (visibilité de plus de 40 m dans l'eau).

e) Qualité de la décompression

et estimation des données cumulées du temps et de la profondeur par la lecture d'un décompressimètre, type S.O.S., fourni au plongeur et porté toute la journée.

B - Mesures effectuées après la plongée

a) Mesure de l'intervalle de temps entre la fin de la première plongée et le début de la deuxième.

b) Détection Doppler des bulles d'azote circulantes

- . le 1er enregistrement est effectué juste à la sortie de l'eau
- . le 2ème " " " 30 min après la sortie
- . le 3ème " " " 1 heure " " "
- . le 4ème " " " 2 " " " "

Si le taux des bulles est encore important, une 5ème détection est faite à la 3ème heure.

Les degrés moyens de bulles au repos et au mouvement sont calculés. C'est le dégazage diphasique moyen observé sur un temps donné, c'est-à-dire la quantité moyenne de gaz s'éliminant sous forme de bulles pendant ce temps.

De plus, le degré maximal de bulles enregistré au repos, et au mouvement est noté. Il représente l'intensité maximale du dégazage diphasique à un instant donné, c'est-à-dire la quantité maximale de gaz transporté par le sang sous forme non dissoute (donc gazeuse) à cet instant.

III - RESULTATS

1) Plongées effectuées - Evaluation de leur indice de sévérité

46 plongées ont été effectuées avec les mesures précédentes sauf 3 incomplètement contrôlées faute de décompressimètre (D.mètre).

La profondeur des plongées a varié de 25 à 42 mètres (profondeur moyenne : 34 mètres \pm 3).

Les temps de plongée allaient de 23 minutes à 2 heures 38 minutes (temps de plongée moyen : 72 minutes \pm 29 minutes). La durée moyenne des décompressions était de 23 min \pm 15. La majorité des pêcheurs ont plongé deux fois dans la journée : l'intervalle entre la première et la deuxième plongée variant de 2 heures 12 minutes à 5 heures 20 minutes pour un intervalle moyen de 3 heures 23 minutes \pm 52 minutes.

Le type de travail sur le fond était toujours le même mais les temps de séjour variaient ainsi que les durées de décompression, ce qui pourrait se traduire par un "indice de sévérité" (is) des plongées. L'évaluation de cet indice est fondée sur la lecture du D.mètre porté par le plongeur au moment où celui-ci refait surface (le D.mètre fournit une évaluation de la sursaturation en azote après la première et, éventuellement, la 2ème plongée). Sur les 43 plongées contrôlées par D.mètre, on compte :

- 26 plongées unitaires
- 17 plongées successives

(l'intervalle de temps passé sur le pont entre deux plongées étant intégré par le décompressimètre).

Ont effectué ces 26 plongées unitaires :

- 2 plongeurs dont le D.mètre indiquait une remontée correcte (is = 0)
- 5 plongeurs dont l'aiguille du D.mètre indiquait que le palier de 3 m n'était pas fini lorsqu'ils ont fait surface (is = 3),
- 16 plongeurs dont l'aiguille du D.mètre était toujours au palier de 6 mètres lorsqu'ils ont émergé (is = 6)
- 3 plongeurs dont l'aiguille était encore au palier de 9 m (is = 9).

Quant aux 17 plongeurs ayant effectué des successives :

- 7 sont sortis avec l'aiguille de l'appareil à 3 mètres (is = 3)
- 9 " " " " " " " 6 " (is = 6)
- 1 est sorti " " " " " 9 " (is = 9)

Donc, sur les décompressions des 43 plongées :

- 2 ont correspondu aux normes indiquées par le D.mètre (is = 0)
- 12 ont raccourci le palier de 3 mètres (is = 3)
- 25 ont abrégé le palier de 6 et sauté celui de 3 mètres (is = 6)
- 4 ont abrégé le palier de 9 et sauté ceux de 6 et 3 mètres (is = 9)

Les indications du décompressimètre SOS n'ont donc pas été respectées dans 95,3 % des plongées contrôlées.

2) Premières plongées de la journée

27 plongées unitaires ont eu lieu dont les résultats sont regroupés dans le tableau 1 page 17 :

IR = Indice de Ruffier

FC repos = Fréquence cardiaque de repos

FC ex = Fréquence cardiaque maximale à l'exercice

% TG = Pourcentage de tissu gras

Prof = Profondeur maximale atteinte en plongée

Durée = Durée du séjour au fond

Décomp = Durée totale de la décompression

DmR = Degré moyen de bulles au Repos

DmM = " " " " " Mouvement

DMR = " Maximal de bulles au Repos

DMM = " " " " " Mouvement

is = indice de sévérité de la plongée (profondeur du palier à effectuer indiqué par le décompressimètre lors de la remontée du plongeur)

Seulement 5 sujets sur les 27 n'ont pas présenté de bulles détectables au repos ($18,5 \% \pm 7,5$ des cas) et il y a donc $81,5 \% \pm 7,5$ de sujets ayant eu des bulles au repos. Lors des détections au mouvement, seuls 2 sujets n'ont pas eu de bulles détectables au Doppler, ou, ce qui est équivalent, $92,6 \% \pm 5,0$ des plongeurs ont des détections positives au mouvement.

Les répartitions des degrés de bulles observés sont représentées sur les histogrammes des figures 1, 2, 3, 4 p. 18 à 21. Il y a $33,3 \% \pm 9,1$ des sujets qui ont un degré de bulles maximal au repos de 3 ou 4 et $40,7 \% \pm 9,5$ de degré 3 ou 4 au mouvement.

Parallèlement à ces taux de bulles observés, 13 sujets ont rapporté les symptômes cliniques d'accident de décompression de gravité variable :

- asthénie légère : fatigue ressentie par le plongeur à la sortie de l'eau, mais ne nécessitant pas le repos allongé :
6 cas,
- bend léger : douleur articulaire d'importance modérée, et accompagnée d'une impotence fonctionnelle légère :
3 cas,
- bend sévère : douleur articulaire très importante avec une impotence fonctionnelle marquée :
4 cas;

Les bends sont localisés principalement à l'épaule, au coude, au genou et parfois la hanche

- Asthénie intense : fatigue très importante, avec ou sans gêne thoracique, imposant au plongeur le repos allongé. Pas d'évolution vers aggravation :
2 cas, dont un associé à un bend sévère.

Soit $48,1 \% \pm 9,6$ de pathologies après plongées unitaires (intervalle 8 H 00) chez les pêcheurs d'éponges tunisiens.

PLONGEES UNITAIRES
Pêcheurs d'éponges tunisiens

SUJET	AGE ans	TAILLE cm	POIDS kg	IR	FC repos bts / min	FC ex. min	% TG	PROF m	DUREE min	DECOMP min	DmR	Dmm	DMR	DMM	ACCIDENT	IS
001	19	172	78	11.6	92	124	20.0	32	70	31	0.00	0.50	0	1	N	6
002	26	170	57	6.8	68	128	9.0	32	95	15	0.25	0.75	1	1	O	6
003	23	172	85	10.8	88	124	26.0	25	48	6	0.00	0.00	0	0	N	3
004	25	168	58	7.8	68	138	13.5	36	46	35	0.75	1.25	1	2	N	3
006	28	175	83	13.8	84	134	22.0	35	105	52	0.75	1.00	1	2	N	3
008	21	165	65	10.0	84	124	15.0	32	84	33	1.00	1.25	2	2	N	6
009	23	171	71	0.4	56	88	13.0	29	58	14	1.25	1.75	2	2	N	6
011	52	175	84	10.0	80	120	23.0	33	65	52	1.00	1.25	1	2	O	3
013	23	175	71	13.6	84	132	16.0	37	158	48	2.75	4.00	3	4	O	6
015	31	176	74	15.6	88	148	21.5	39	80	40	0.25	1.00	1	1	N	6
017	32	170	73	15.6	80	160	17.0	35	121	44	1.75	2.00	3	3	O	6
019	23	169	60	15.4	82	152	18.0	33	65	25	3.00	3.75	4	4	O	6
020	19	172	78	6.2	68	112	21.0	30	72	44	0.00	0.75	0	1	O	3
022	26	170	57	5.6	60	112	9.0	38	71	15	0.00	0.50	0	1	N	6
023	23	172	85	9.0	72	120	26.0	28	31	1	0.00	0.00	0	0	N	0
024	23	160	62	8.4	80	120	11.8	37	68	14	0.75	1.00	1	1	N	9
026	23	165	50	5.6	60	132	9.0	31	106	14	1.00	1.25	1	2	O	5
028	24	175	57	4.4	68	100	11.5	32	77	12	0.50	1.25	1	2	N	6
030	26	172	68	11.6	70	134	14.0	32	82	36	1.75	2.75	2	4	N	6
032	19	175	67	14.4	84	140	18.5	36	69	40	1.75	2.25	3	3	O	6
033	25	176	68	9.6	80	120	13.0	36	78	30	3.50	3.75	4	4	O	6
035	26	178	72	6.8	68	108	13.0	42	72	51	1.75	2.25	2	3	O	6
037	28	175	75	13.6	80	132	13.5	33	111	11	1.75	3.25	3	4	N	9
039	28	172	68	15.6	96	152	11.5	35	87	6	1.50	2.50	3	4	O	9
041	25	170	55	12.0	80	152	9.0	30	30	6	0.25	0.25	1	1	N	
043	19	150	45	16.2	80	154	10.0	33	40	12	2.00	2.50	3	3	O	6
045	16	165	49	17.2	80	164	11.0	35	23	2	2.00	2.75	3	4	O	0
\bar{x}	25	171	67	10.7	77	131	15.4	34	75	25	1.16	1.69	1.70	2.26		5.3
$\pm Sd$	6	5	11	4.2	10	18	5.2	4	29	17	0.82	1.05	1.00	1.14		2.2

TABLEAU 1

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=1 Nb de fiches 27
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN REPOS

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.	I
0.00 -	8	I	29.6%	I	*****
0.50 -	4	I	14.8%	I	*****
1.00 -	4	I	14.8%	I	*****
1.50 -	6	I	22.2%	I	*****
2.00 -	2	I	7.4%	I	*****
2.50 -	1	I	3.7%	I	*****
3.00 -	1	I	3.7%	I	*****
3.50 -	1	I	3.7%	I	*****
4.00 -	0	I	0.0%	I	*****
4.50 -	0	I	0.0%	I	*****
Non Renseigne	0	I	0.0%	I	*****
TOTAL	27	I	100.0%	I	*****

FIGURE 1 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des lères plongées de la journée ("unitaires").

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=1 Nb de fiches 27
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MOYEN MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I % Pop.	I
0.00 -	3	I	11.1%	I
0.50 -	4	I	14.8%	I
1.00 -	8	I	29.6%	I
1.50 -	1	I	3.7%	I
2.00 -	3	I	11.1%	I
2.50 -	4	I	14.8%	I
3.00 -	1	I	3.7%	I
3.50 -	2	I	7.4%	I
4.00 -	1	I	3.7%	I
Non Renseigne	0	I	0.0%	I
TOTAL	27	I	100.0%	I

FIGURE 2 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des lères plongées de la journée ("unitaires").

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=1 Nb de fiches 27
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MAX REPOS

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.	I
0.00 -	1.00	5	1	18.5%	I
1.00 -	2.00	9	1	33.3%	I
2.00 -	3.00	4	1	14.8%	I
3.00 -	4.00	7	1	25.9%	I
4.00 -	5.00	2	1	7.4%	I
Non Renseigne		0	1	0.0%	I
TOTAL		27	1	100.0%	I

FIGURE 3 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des lères plongées de la journée ("unitaires").

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=1 Nb de fiches 27
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MAX MOUVT.

CLASSES	Effec.	% Pop.
0.00 - 1.00	2	7.4%
1.00 - 2.00	7	25.9%
2.00 - 3.00	7	25.9%
3.00 - 4.00	4	14.8%
4.00 - 5.00	7	25.9%
Non Renseigne	0	0.0%
TOTAL	27	100.0%

FIGURE 4 : Distribution par classe des degés maximaux de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des lères plongées de la journée ("unitaires").

3) Plongées successives = 2ème plongée de la journée

19 plongées successives ont été surveillées par la détection Doppler et les résultats apparaissent dans le tableau 2 page 23.

1 seul sujet sur les 19 n'a pas eu de bulles détectables au repos ($3,3 \% \pm 5,1$), mais au mouvement tous les sujets avaient un degré de bulles supérieur ou égal à 1.

Les histogrammes des degrés de bulles (figures 5, 6, 7, 8) montrent que $52,6 \% \pm 11,5$ des sujets ont un degré maximal de 3 ou 4 au repos, et $73,7 \% \pm 10,1$ au mouvement.

$100 \% \pm 5$ des sujets ont une détection Doppler positive au mouvement après plongée successive, dont $73,7 \% \pm 10,1$ de degré 3 ou 4.

Après ces plongées successives, 12 plongeurs rapportèrent des symptômes d'accident de décompression. Il s'agissait de :

- 2 asthénies modérées
- 3 bends avec douleur modérée dits "légers"
- 2 bends avec douleur importante dits "sévères" dont un associé à un bend "léger"
- 4 asthénies intenses
- 1 bend "sévère" + asthénie intense,

Soit $63,2 \% \pm 11,1$ de pathologies après plongée unitaire successive

PLONGEES SUCCESSIVES
Pêcheurs d'éponges tunisiens

SUJET	AGE ans	TAILLE cm	POIDS kg	IR	FC repos bts / min	FC ex. bts / min	% TG	PROF m	DUREE min	DECOMP min	D _{mR}	D _{mM}	D _{mR}	D _{mM}	ACCIDENT	IS
005	25	168	58	7.8	68	138	13.5	34	84	39	2.80	3.50	3	4	0	6
007	28	175	83	13.8	84	134	22.0	31	54	33	1.25	2.25	2	3	N	3
010	23	171	71	0.4	56	88	13.0	37	85	35	2.00	3.40	3	4	0	6
012	52	175	84	10.0	80	120	23.0	35	53	32	0.50	0.75	1	1	0	3
014	23	175	71	13.6	84	132	16.0	35	90	23	3.00	3.90	4	4	0	6
016	31	176	74	15.6	88	148	21.5	32	50	13	0.25	1.00	1	1	N	3
018	32	170	73	15.6	80	160	17.0	36	100	26	2.00	2.25	3	3	0	6
021	19	172	78	6.2	68	112	21.0	39	74	34	0.00	0.50	0	1	N	3
025	23	160	62	8.4	80	120	11.5	32	60	15	1.00	1.50	2	3	0	6
027	23	165	50	5.6	60	132	9.0	32	77	13	1.75	2.50	2	4	0	6
029	24	175	57	4.4	68	100	11.5	33	33	2	1.25	2.00	2	3	0	3
031	26	172	68	11.6	70	134	14.0	34	70	12	2.20	3.20	4	4	0	6
034	25	176	68	9.6	80	120	13.0	39	43	49	3.20	3.80	4	4	0	3
036	26	178	72	6.8	68	108	13.0	33	70	17	3.00	3.50	4	4	0	6
038	28	175	75	13.6	80	132	13.5	34	125	20	3.40	3.80	4	4	N	
040	28	172	68	15.6	96	152	11.5	30	126	15	0.50	1.00	1	1	N	6
042	25	170	55	12.0	80	152	9.0	34	35	8	0.25	0.75	1	1	N	
044	19	160	45	16.2	80	154	10.0	37	52	8	3.00	3.75	4	4	N	9
046	16	165	49	17.2	80	164	11.0	39	28	2	3.50	3.75	4	4	0	3
\bar{x}	26	171	66	10.7	76	132	14.4	35	69	21	1.83	2.48	2.58	3.00		4.9
\pm sd	7	5	11	4.6	10	20	4.3	3	28	13	1.08	1.21	1.17	1.26		1.5

TABLEAU 2

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=2 Nb de fiches 19
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN REPOS

CLASSES	I	Effec. I	% Pop. I
0.00 -	3	15.8%	
0.50 -	2	10.5%	
1.00 -	3	15.8%	
1.50 -	1	5.3%	
2.00 -	3	15.8%	
2.50 -	1	5.3%	
3.00 -	5	26.3%	
3.50 -	1	5.3%	
4.00 -	0	0.0%	
4.50 -	0	0.0%	
Non Renseigne	I		
TOTAL	I	19	100.0%

FIGURE 5 : Distribution par classe des degés. moyens de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des 2èmes plongées de la journée (successives).

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=2 Nb de fiches 19
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I %	Pop.	I
0.00 -	0	I	0.0%	I	
0.50 -	3	I	15.8%	I	*****
1.00 -	2	I	10.5%	I	*****
1.50 -	1	I	5.3%	I	*****
2.00 -	3	I	15.8%	I	*****
2.50 -	1	I	5.3%	I	*****
3.00 -	2	I	10.5%	I	*****
3.50 -	7	I	36.8%	I	*****
4.00 -	0	I	0.0%	I	*****
4.50 -	0	I	0.0%	I	*****
Non Renseigne	0	I	0.0%	I	*****
TOTAL	19	I	100.0%	I	

FIGURE 6 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des 2èmes plongées de la journée (successives).

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=2 Nb de fiches 19
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MAX REPOS

CLASSES	I	Effec.	I % Pop.
0.00 -	1	5.3%	
1.00 -	4	21.1%	
2.00 -	4	21.1%	
3.00 -	3	15.8%	
4.00 -	7	36.8%	
Non Renseigne	0	0.0%	
TOTAL	19	100.0%	

FIGURE 7 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des 2èmes plongées de la journée (successives).

Selection : NUMERO ETUDE=05 AND TYPE PLONGEE=2 Nb de fiches 19
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MAX MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I %	Pop.	I
0.00 -	1.00	I	0	I	0.0%
1.00 -	2.00	I	5	I	26.3%
2.00 -	3.00	I	0	I	0.0%
3.00 -	4.00	I	4	I	21.1%
4.00 -	5.00	I	10	I	52.6%
Non Renseigne		I	0	I	0.0%
TOTAL		I	19	I	100.0%

FIGURE 8 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au mouvement (borne inférieure comprise , borne supérieure exclue) au cours des 2èmes plongées de la journée (successives).

4) Bilan des résultats

		PREMIERES PLONGEES n = 27	PLONGEES SUCCESSIVES n = 19
R E P O S	degré \geq 1	81,5 % \pm 7,5	94,7 % \pm 5,1
	degré \geq 3	33,3 % \pm 9,1	52,6 % \pm 11,5
	DmR moyen	1,16 \pm 0,82	1,83 \pm 1,08
	DMR moyen	1,70 \pm 1,00	2,58 \pm 1,17
M O U V E M T	degré \geq 1	92,6 % \pm 5,0	100,0 % \pm 5,3
	degré \geq 3	40,7 % \pm 9,5	73,7 % \pm 10,1
	DmM moyen	1,69 \pm 1,05	2,48 \pm 1,21
	DMM moyen	2,26 \pm 1,14	3,00 \pm 1,26
Pathologies		48,1 % \pm 9,6	63,2 % \pm 11,1
Indice sévérité			
0		2/26 = 7,7 %	0/17 = 0 %
3		5/26 = 19,2 %	7/17 = 41,2 %
6		16/26 = 61,5 %	9/17 = 52,9 %
9		3/26 = 11,5 %	1/17 = 5,9 %

TABLEAU 3

IV - DISCUSSION

1) Bulles et profil de la plongée

Les degrés de bulles observés au cours de ces plongées étaient significativement ($P < 0,01$) plus élevés que ceux de la 2ème partie de cette étude. Cela est dû principalement à un raccourcissement de la durée de la décompression : les plongeurs ne respectaient ni les indications du décompressimètre, ni à fortiori les tables du décret 74.

Compte tenu de l'assez bonne homogénéité de cet indice de sévérité, y-a-t'il un profil profondeur/durée plus générateur de bulles que d'autres ?

▪ Influence de la profondeur

Une corrélation linéaire entre DMM et profondeur a donné un coefficient $r = 0,36$ (faible mais significativement différent de zéro, donc une relation existe), de pente positive (cf figure 9). Il semblerait que les plongées plus profondes provoquent plus de bulles.

▪ Influence de la durée de plongée

Le calcul d'une régression linéaire ne montre pas de relation linéaire entre DMM et durée. La durée moyenne de plongée était de $72 \text{ min} \pm 29$. Les plongées de moins de 70 min ne créent ni plus ni moins de bulles que celles de plus de 70 min.

▪ Influence cumulée : Profondeur et durée sur les DMM, c'est-à-dire quantité de gaz dissous.

Une corrélation multiple à 2 variables explicatives a trouvé un faible coefficient de régression de 0.43 entre ces 3 paramètres :

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

$$y = \text{DMM}$$

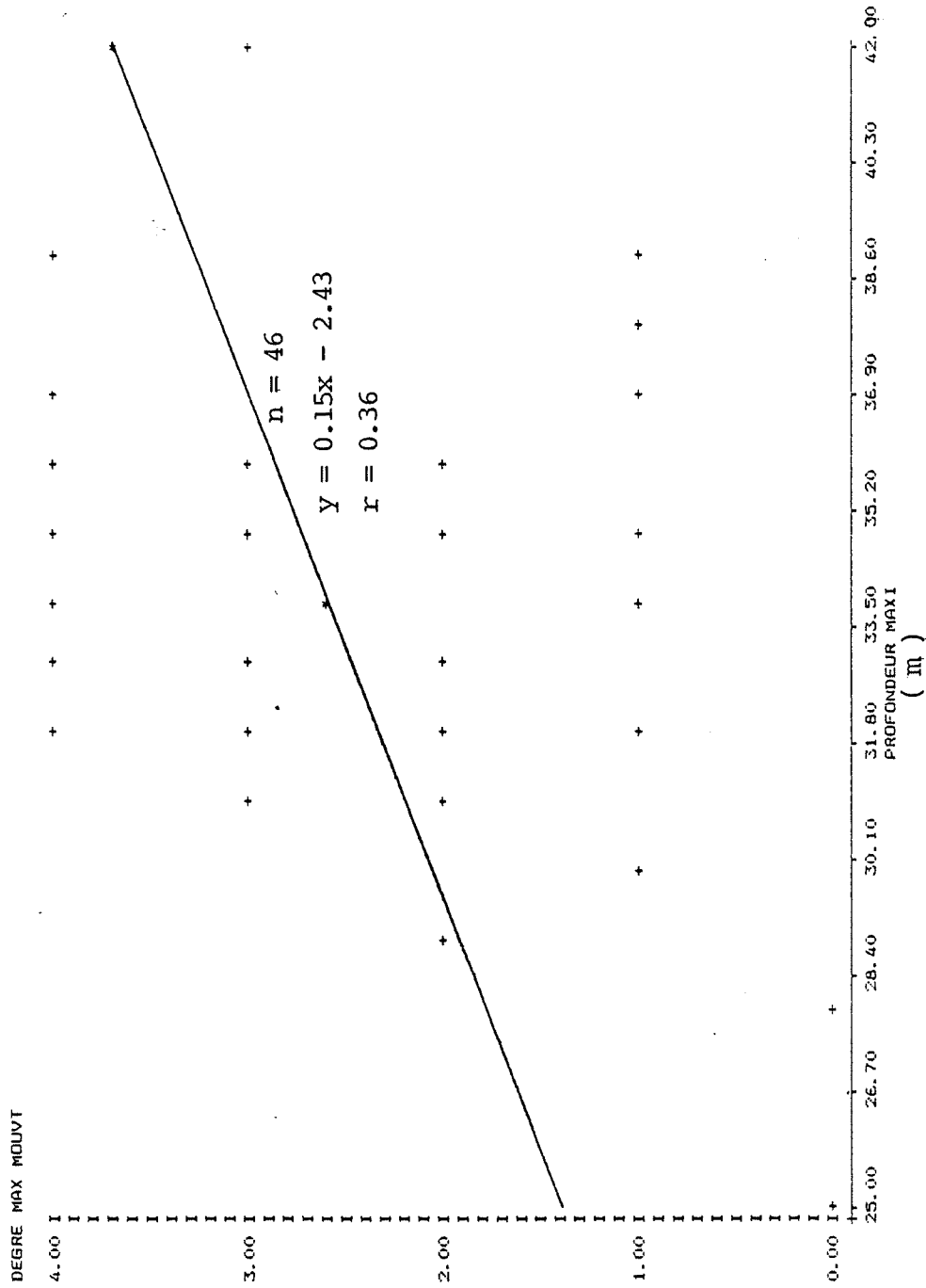
$$x_1 = \text{Profondeur maximale de la plongée}$$

$$x_2 = \text{Durée de la plongée}$$

$$a_0 = - 3.31$$

$$a_1 = 0,14$$

$$a_2 = 0,01$$



Corrélation : Degré Maximal de bulles au Mouvement / profondeur maximale atteinte.

FIGURE 9

▪ Influence de la durée de la décompression: relation bulles-de/indice de sévérité.

Le test du χ^2 calculé entre le DMM (de 0 à 4) et l'indice de sévérité de la table de décompression (0-3-6-9) montre une liaison entre ces deux caractères non significative ($P < 0,10$). Il semble donc que ce sont tous les profils des plongées effectuées par les pêcheurs qui impliquent les degrés de bulles élevés observés.

▪ Premières plongées - plongées successives.

Les plongées successives induisent des degrés de bulles plus élevés que les plongées "unitaires" :

	"UNITAIRES" ières plongées	SUCCESSIVES	P
Prof. moyenne (m)	34 \pm 4	35 \pm 3	NS
Durée moyenne (min)	75 \pm 30	69 \pm 29	NS
Décomp. " (min)	25 \pm 17	21 \pm 13	NS
DmR	1,16 \pm 0,84	1,83 \pm 1,11	0,05
DmM	1,69 \pm 1,07	2,48 \pm 1,24	0,05
DMR	1,70 \pm 1,02	2,58 \pm 1,20	0,02
DMM	2,26 \pm 1,16	3,00 \pm 1,29	0,05

TABLEAU 4

Ceci s'explique par le fait que les plongeurs effectuent les successives avec des taux résiduels d'azote dans les tissus assez importants (intervalle moyen = 203 min \pm 52) et que le profil de ces successives n'est pas significativement différent de celui des unitaires (même profondeur, même durée au fond, même durée de décompression).

2) Bulles et accidents

Ces plongées en mer, effectuées par les pêcheurs d'éponges tunisiens se caractérisent principalement par un non respect des tables de décompression, que ce soit celles utilisées sur les chantiers

respectant la législation française (Décret 1974), ou celles du décompressimètre. Lors des tests de tables en caisson (2ème partie) les moyennes des caractéristiques des profils des plongées sont :

- profondeur moyenne : 34,6 m \pm 11,6
- durée moyenne : 71 min \pm 22
- durée décompression moyenne : 66 min \pm 14

Pour les pêcheurs d'éponges, la profondeur et la durée moyenne ne sont pas significativement différentes :

- profondeur moyenne : 34,0 m \pm 3,0
- durée moyenne : 72 min \pm 29

Mais, par contre, la durée de la décompression était en moyenne de 23 minutes \pm 15 seulement, soit un raccourcissement moyen du temps de décompression de 65 %. Ce qui explique les pourcentages élevés de pathologies observées : 48,1 % \pm 9,6 pour les plongées "unitaires" 63,2 % \pm 11,1 pour les successives .

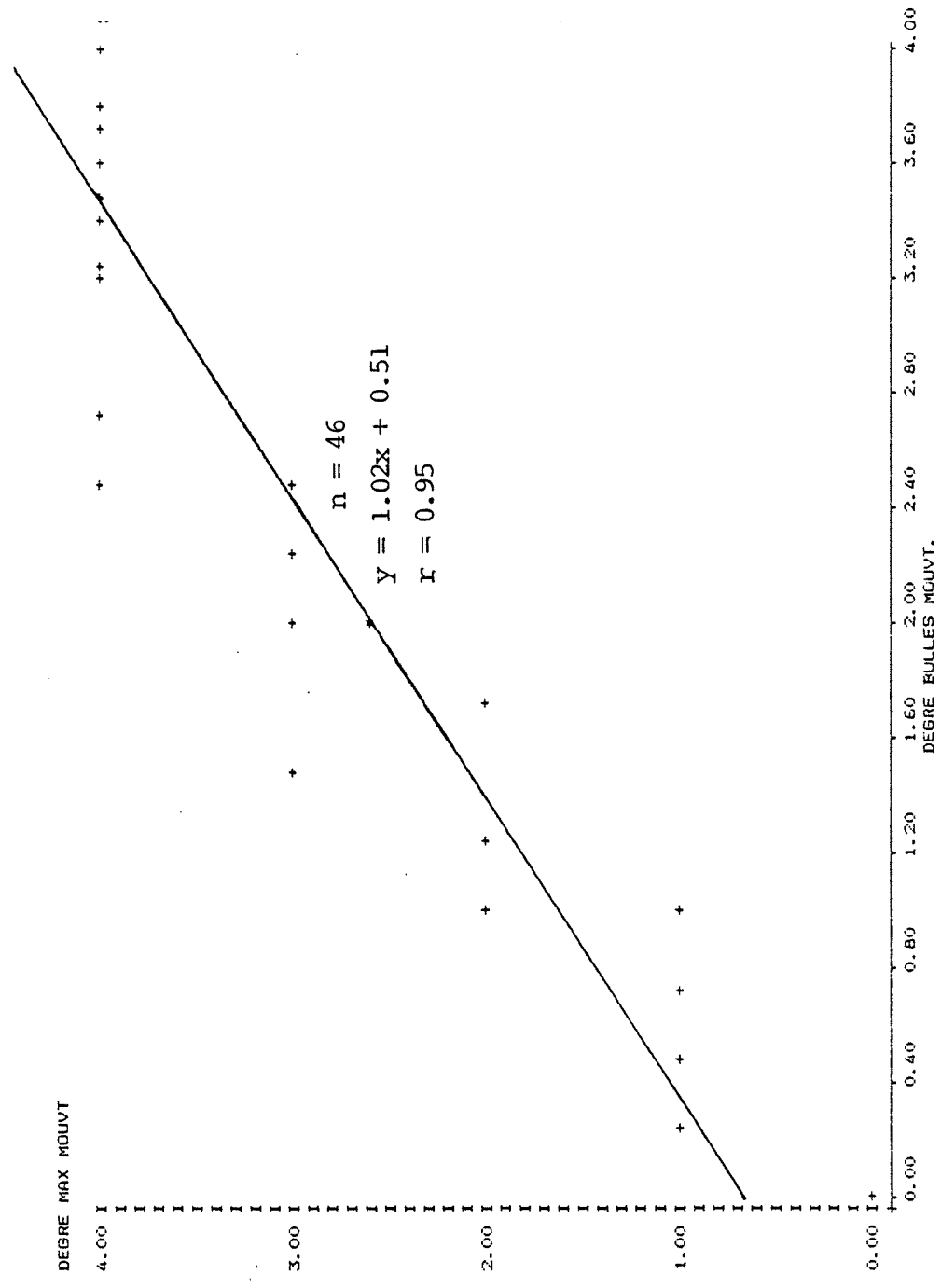
Cette étude permet de rechercher une relation entre le degré de bulles (ici est étudié le DMM parfaitement corrélé avec le DmM, figure 10) et la pathologie observée.

Le test d'indépendance entre caractères qualitatifs (χ_2) permet de tester l'hypothèse d'une dépendance entre le caractère "bulleur" (DMM \geq 2) et le caractère "accident de plongée".

TABLEAU 5

	ACCIDENT	PAS D'ACCIDENT	TOTAL
"bulleur"	22	10	32
non "bulleur"	3	11	14
TOTAL	25	21	46

La valeur $\chi_2 = 8,79$ pour un ddl = 1 montre que les deux caractères sont liés ($P < 0,01$) et que le caractère "bulleur" donne une probabilité d'accident de $22/32 = 68,8 \% \pm 8,2$, largement supérieure à celle observée chez les non "bulleurs" : $3/14 = 21,4 \% \pm 11,0$



Corrélation ; Degré Maximal de bulles au Mouvement / Degré moyen de bulles au repos.

FIGURE 10

Ceci est également vérifié par un test de student entre les degrés de bulles de deux échantillons : sujets ayant fait un accident, et sujets indemnes. Les différences entre DmR, DmM, DMR, DMM sont hautement significatives ($P < 0,001$) : les sujets ayant fait un accident avaient des degrés de bulles plus élevés.

Le test peut être affiné en étudiant le degré de bulles par rapport au caractère "accident". (Tableaux 6 et 7) :

= Degré maximal au repos :

	ACCIDENT	PAS D'ACCIDENT	TOTAL
DMR = 0	1	5	6
DMR = 1	4	9	13
DMR = 2	4	4	8
DMR = 3	9	1	10
DMR = 4	7	2	9
TOTAL	25	21	46

TABLEAU 6

$\chi_2 = 14,698$ pour un ddl = 4

Les deux caractères sont liés ($P < 0,01$), plus le DMR est grand, plus le pourcentage d'accidents s'élève

= Degré maximal au mouvement :

	ACCIDENT	PAS D'ACCIDENT	TOTAL
DMM = 0	0	2	2
DMM = 1	3	9	12
DMM = 2	2	5	7
DMM = 3	7	1	8
DMM = 4	13	4	17
TOTAL	25	21	46

TABLEAU 7

La valeur du $\chi^2 = 15,93$ pour ddl = 4 montre de même très significativement ($P < 0,01$) que plus le degré de bulles au mouvement est élevé, plus le pourcentage d'accidents est grand.

Le tableau 8 suivant montre les pourcentages d'accidents observés pour un degré de bulles donné :

	DMR		DMM	
	% accidents	Nbre de cas	% accidents	Nbre de cas
0	16,7 ± 15,2	1/6	0,0 ± 35,3	0/2
1	30,8 ± 12,8	4/13	25,0 ± 12,5	3/12
2	50,0 ± 17,7	4/8	28,6 ± 17,1	2/7
3	90,0 ± 9,5	9/10	87,5 ± 11,7	7/8
4	77,7 ± 13,9	7/9	76,5 ± 10,3	13/17

TABLEAU 8

Le test du χ^2 peut être aussi appliqué entre le degré de bulles (0, 1, 2, 3, 4) et le type d'accident (bend léger, bend sévère, asthénie intense), mais aucune relation entre ces caractères n'est statistiquement mise en évidence.

Ces résultats peuvent être comparés à ceux déjà fournis par la littérature puisque plusieurs études ont déjà défini des corrélations entre les degrés de bulles et la possibilité de survenue d'accidents de décompression (toutes pathologies confondues) Spencer, en 1974, donne les pourcentages suivants pour des degrés de bulles au repos (120 plongées) :

- degré 0 (au repos)	1,3 % d'accidents
- degré 1 " "	6,7 % "
- degré 2 " "	23,0 % "
- degré 3 " "	46,0 % "
- degré 4 " "	64,0 % "

Nashimoto et Gotoh, en 1975, donne les pourcentages suivants après avoir testé des profils de plongée très générateurs de bulles, pour des degrés de bulles au repos (152 plongées) :

- degré 0	0	
- degré 1	4,4 % d'accidents	
- degré 2	13,3 %	"
- degré 3	35,5 %	"
- degré 4	100 %	" (mais sur un seul cas).

Le compte-rendu de l'Undersea Medical Society (Norfolk, 1982)
par R.D. Vann, P.D. Barry, A.P. Dock :

Par la mise en commun de plusieurs publications, comprenant les études de :

Morita et al. (1979) : 13 cas d'accidents sur 219 plongées à l'air

Spencer (1976) : 13 cas d'accidents sur 120 plongées à l'air

Nishi et al. (1981) : 9 cas d'accidents sur 172 plongées à l'air

Neuman et al. (1976) : 5 cas d'accidents sur 31 plongées à l'air

Nashimoto et Gotoh (1977) : 17 cas d'accidents sur 152 plongées à l'air

Gardette et al. (1979) : 4 cas d'accidents sur 140 plongées au mélange He - O₂

Ce rapport établit de façon significative la relation entre les degrés de bulles et les pourcentages d'accidents de décompression sur un total de 834 plongées ayant donné lieu à 61 accidents de décompression (7,31 %).

Le tableau 9 suivant indique le pourcentage d'accidents de décompression trouvé pour chaque degré maximum de bulles :

Degré de bulles		0	1	2	3	4
au repos	Pourcentage d'accidents de décompression	0 %	6 %	10 %	31 %	35 %
	Nombre de cas	0/445	9/146	12/117	30/97	10/29
au mouvement	Pourcentage d'accidents de décompression	0,4 %	1 %	1 %	13 %	33 %
	Nombre de cas	2/471	1/140	1/84	13/103	17/52

TABLEAU 9

Une série d'études portant sur 540 plongées, dont 23 ont donné lieu à des accidents de décompression (4,26 % de pathologies de la décompression) a été effectuée à la "DUKE UNIVERSITY MEDICAL CENTER" par R.D. Vann en 1982 et complète ce rapport en y ajoutant plusieurs conclusions.

La probabilité de survenue d'accidents de décompression pour chaque degré de bulles, résultant des 540 plongées de la DUKE UNIVERSITY, est donnée dans le tableau 10 :

Degré de bulles au repos	0	1	2	3	4
Pourcentage d'accidents de décompression	1 %	1 %	0 %	19 %	41 %
Nombre de cas	2/309	1/107	0/55	7/37	13/32

TABLEAU 10

Par la mise en commun de ces deux précédents tableaux, c'est sur un total de 1374 plongées que sont établies de façon significative les probabilités de survenue d'accidents de décompression pour chaque degré de bulles (Tableau 11) :

Degré de bulles au repos	0	1	2	3	4
% d'accidents de décompression	0,26 %	3,95 %	6,98 %	27,61	37,70 %
Nombre de cas	2/754	10/253	11/172	36/134	23/61

TABLEAU 11

Ces tableaux représentent des probabilités de survenue d'accidents de décompression de manière générale, toutes pathologies confondues. Sur les 1374 plongées ayant donné lieu à 84 accidents de décompression (6,11 %), la répartition des accidents de type I (Ostéo-articulaires et cutanés) et de type II (maladie de la décompression, neurologique ou labyrinthique) s'effectue de la manière suivante (Tableau 12) :

Total des pathologies	84 cas
Accidents de type I	70 cas (83 %)
Accidents de type II	14 cas (17 %)

TABLEAU 12

Et ce sont les degrés élevés (3 et 4) qui sont responsables de 69 % des accidents de type I et de 100 % des accidents de type II.

Plusieurs conclusions ressortent également de l'étude menée à la DUKE UNIVERSITY :

- 1) que le froid a certainement une influence néfaste sur la qualité de la décompression, augmentant le risque d'apparition de bulles et d'accidents de décompression.
- 2) qu'un exercice physique important en cours de plongée est un élément augmentant le risque d'accidents de décompression et la survenue de bulles circulantes. Qu'un exercice modéré pendant la décompression semblerait réduire le risque d'accidents et de dégazage important alors qu'un exercice après la décompression est préjudiciable, augmentant ce risque.
- 3) qu'une faible proportion de pathologies de la décompression a été observée dans des conditions faciles (plongées en caisson, au sec et au chaud) alors qu'elle augmente dans des conditions difficiles.

D'autres études partagent aussi ces conclusions.

Dans un rapport interne de la COMEX, en 1980, B. Gardette mentionne le rôle néfaste du froid et de l'effort après la décompression à la suite de plongées dans des conditions difficiles effectuées en carrière en Belgique.

Ces études montrent toutes la relation significative entre le degré de bulles et le pourcentage d'accidents : les degrés de bulles faibles ou nuls sont de bons indices en faveur de la sécurité tandis que les degrés de bulles élevés induisent une plus forte probabilité d'accidents sans que celle-ci soit de 100 %.

Dans notre étude chez les pêcheurs d'éponges, les plongées s'accompagnent d'un dégazage diphasique très important ainsi que d'un nombre élevé d'accidents de décompression. Les pourcentages sont beaucoup plus élevés que ceux observés dans les publications précédentes, surtout par rapport à ceux publiés dans l'étude de R.D. Vann et à ceux du rapport de Norfolk (1982), du fait de la très mauvaise qualité des tables des pêcheurs d'éponges.

Nos résultats se rapprochent plus de ceux trouvés par Spencer en 1974 et par Nashimoto et Gotoh en 1975 dont les plongées ont été effectuées avec des profils aussi très générateurs de bulles.

Or, les plongées des Tunisiens ont de nombreuses raisons d'être très génératrices de bulles. En effet :

- 95 % des plongées sont effectuées sans respect des tables de décompression, alors que les durées des plongées sont souvent importantes (durée moyenne = 72 minutes), nécessitant des décompressions longues.
- l'effort physique pratiqué en cours de plongée est très important (palmage et remorquage du filet plein d'éponges); effort majoré par l'utilisation de matériel inadéquat (palmes de petite voilure et gêne respiratoire importante due au narghilé).
- le froid qui est constant pour la quasi totalité des plongeurs et en particulier pour les plongeurs accidentés chez qui on retrouve toujours une sensation de froid très gênante en fin de plongée et pendant la décompression avec de nombreux frissons à l'arrivée en surface. Seul un des plongeurs accidentés n'a pas présenté de frissons à l'arrivée en surface mais on retrouve chez lui un travail physique extrêmement important en cours de plongée ainsi qu'une durée de plongée très longue (158 min).
- l'effort après la décompression qui est là aussi un fait présent dans la majorité des cas.

De plus, la prise en compte dans les résultats des plongées successives beaucoup plus génératrices de bulles, expliquent ces pourcentages d'accidents plus élevés que dans tous ces travaux.

Cette étude n'a pas permis de comparer les types d'accidents de décompression entre eux et par rapport aux bulles circulantes. En effet, les accidents que nous avons constatés sont de type I (ostéo-myoarticulaires) puisque l'on retrouve 52 bends, dont

- 47 % atteignant l'épaule
- 29 % " le genou
- 12 % " le coude
- 12 % " la hanche

Les 48 % restants se traduisent par des asthénies isolées, d'intensité variable, mais ne pouvant pas vraiment faire penser à la maladie de la décompression avec détresse respiratoire que l'on rencontre parmi les accidents de type II (MDD, accidents neurologiques, accidents labyrinthiques).

La majorité des accidents ostéo-myoarticulaires concernent l'épaule, ce qui semble confirmer le rôle du travail physique important que fournit le membre supérieur du plongeur pour tirer le lourd filet d'éponges

3) Cinétique et intensité du dégazage

Dans le cadre de cette étude les profils de plongée étaient très générateurs de bulles. Les degrés de bulles étaient plus élevés que ceux observés lors de l'étude en caisson. (Tableau 13)

	Tests de table Décret 1974 caisson sec	Plongées Unitaires en mer	Plongées successives en mer
DmR moyen	0,47 \pm 0,68	1,16 \pm 0,82	1,83 \pm 1,08
DmM moyen	1,07 \pm 0,92	1,69 \pm 1,05	2,48 \pm 1,21
DMR moyen	0,79 \pm 0,91	1,70 \pm 1,00	2,58 \pm 1,17
DMM moyen	1,54 \pm 1,05	2,26 \pm 1,14	3,00 \pm 1,26
t max (*)	63 min \pm 34	45 min \pm 31	56 min \pm 33

TABLEAU 13

(*) t max = moment du dégazage diphasique maximal

Mais le moment du maximum de dégazage (t_{max}) n'est pas très significativement différent ($P < 0,03$). Ce temps semble assez constant quel que soit le profil de la plongée et les degrés de bulles mesurés. Il apparaît cependant que la durée de ce maximum est d'autant plus longue que l'intensité du dégazage diphasique croît.

4) Prédisposition au caractère "bulleur".

En partageant l'échantillon des pêcheurs d'éponges en deux groupes, l'un avec les sujets ayant un DMM < 2 et l'autre ayant un DMM > 2 , le test t de student montre qu'il n'y a aucune différence entre les deux groupes au niveau des caractères biométriques des plongeurs, ni du profil de plongée. Le même résultat a été obtenu avec les deux groupes suivants : DMM < 3 et DMM > 3 .

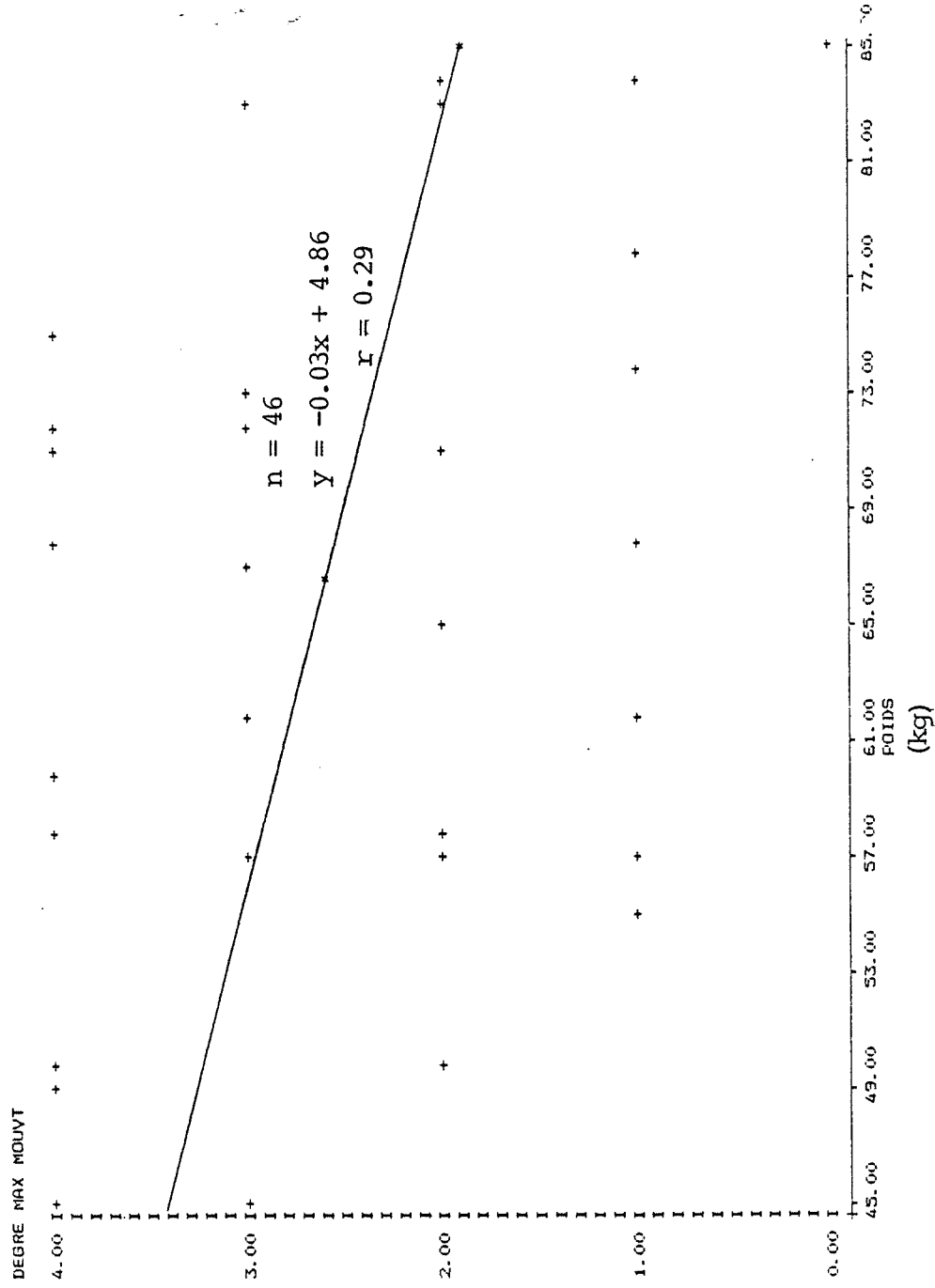
A priori, il semble qu'aucun facteur biométrique s'influe sur les degrés de bulles, ceci sans doute car le profil de ces plongées est trop générateur de bulles.

La recherche de relation linéaire entre un de ces caractères et le degré de bulles complète l'étude :

- DMM et âge $r = 0,17$ (statistiquement non \neq de 0)
- DMM et poids $r = 0,29$ probablement \neq de 0) Figure 11
- DMM et taille $r = 0,03$ (statistiquement non \neq de 0)
- DMM et IR $r = 0,19$ (statistiquement non \neq de 0)
- DMM et FC repos $r = 0,07$ (statistiquement non \neq de 0)
- DMM et FC ex $r = 0,15$ (statistiquement non \neq de 0)
- DMM et % TG $r = 0,38$ (statistiquement \neq de 0). Figure 12

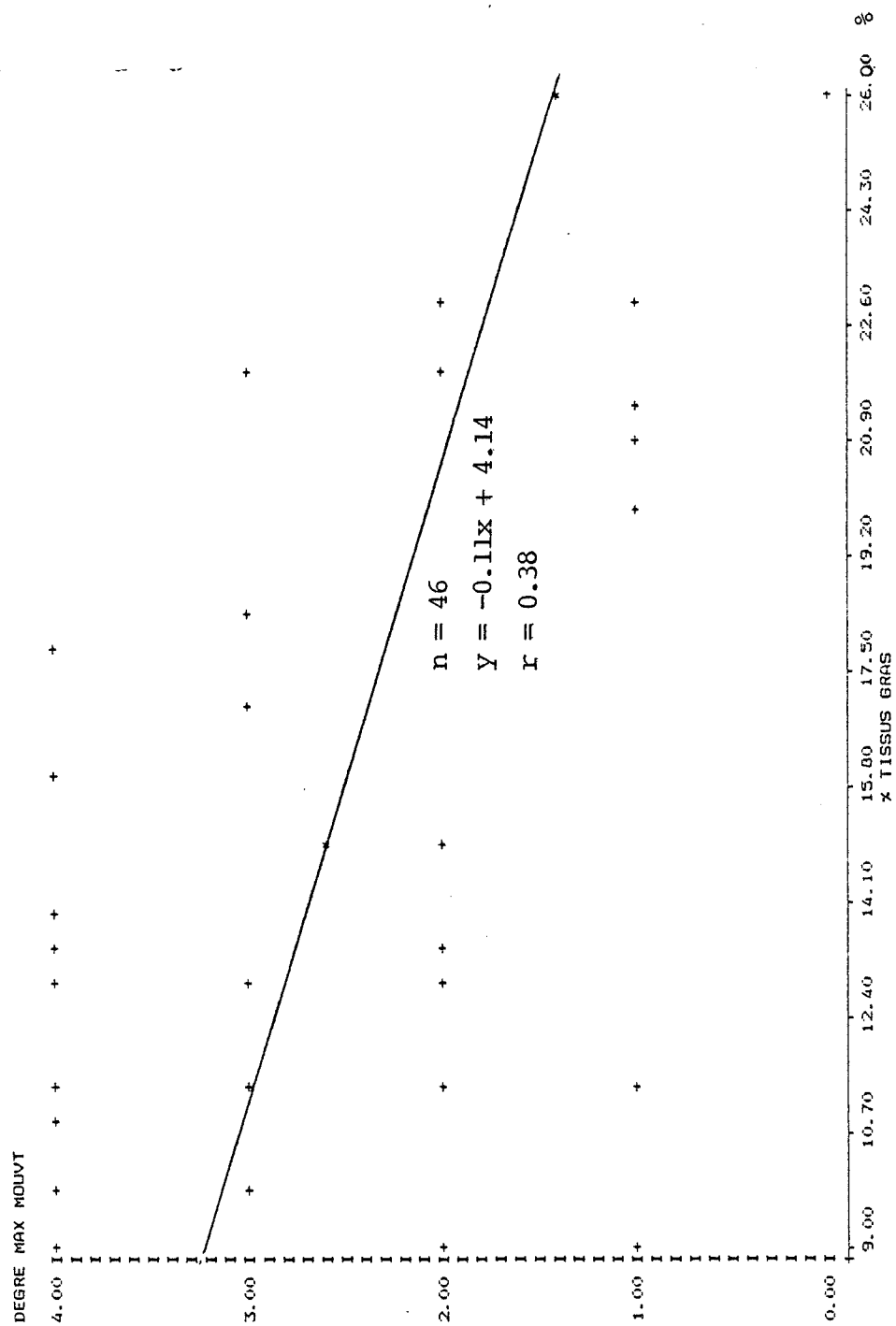
Les deux paramètres pour lesquels une relation avec le DMM pourrait exister sont le poids et le % de TG.

Au niveau du poids, le test t de student ne met en évidence aucune différence significative entre les degrés de bulles des sujets de moins de 65 kg et de ceux de 65 kg et plus.



Corrélation ; Degré Maximal de bulles au Mouvement / poids.

FIGURE 11



Corrélation : Degré Maximal de bulles au Mouvement / pourcentage de Tissu Gras

FIGURE 12

Quant à l'influence du % de TG sur les degrés de bulles, elle semble exister puisque l'on observe des différences significatives ou probablement significatives entre les degrés de bulles des sujets maigres ($\% \text{ TG} < 15 \%$) et des sujets gras ($\% \text{ TG} \geq 15 \%$). Cependant ces différences ne sont pas dans le sens généralement admis : les sujets les plus gras ont des degrés de bulles moins élevés. Mais on remarque que les sujets "gras" ont en moyenne un indice de sévérité de la plongée plus faible ($4,33 \pm 1,80$, contre $5,76 \pm 2,06$ pour les sujets "maigres") avec $P < 0,05$. On ne peut donc pas conclure sur l'influence du % de TG sur le dégazage diphasique dans cette étude.

De même, la liaison entre les caractères : poids et accidents de décompression, et % de TG et accidents n'est pas mise en évidence par le test de χ^2 . Ces caractères apparaissent indépendants.

On remarque de plus que les sujets ayant une fréquence cardiaque d'exercice supérieure à 130 bts/min, ont des degrés de bulles plus élevés que ceux ayant une FC ex < 130 bts/min ($P < 0,01$), mais, par le test du χ^2 , FC d'exercice et accidents de décompression, sont apparus également indépendants.

Quant aux caractères qualitatifs (alcoolémie, tabagisme, antécédents médicaux ...), aucun n'a d'influence sur les degrés de bulles.

Il semble, que dans le cadre de cette étude en mer, aucune relation entre caractères biométriques et bulles (donc accidents) ne puisse être mise en évidence puisque les plongées ont des profils très générateurs de bulles, et donc tous les sujets, quels que soient leur âge, leur poids, leur IR... ont des degrés de bulles similaires au reste de l'échantillon

5) Les limites de la détection Doppler

Quelle valeur peut-on accorder à la détection Doppler chez l'homme des bulles circulantes intravasculaires dues à la décompression ?

En effet, il existe des cas d'accidents de décompression (bends) avec des degrés de bulles faibles, voire nuls, et des degrés 4 de bulles au repos sans pathologie de la décompression associée; point que nous avons d'ailleurs constaté lors de cette étude.

Si les mesures effectuées au repos telles que les faisait Spencer ont été affinées par les mesures Doppler après mouvement, afin de mobiliser les bulles retenues dans les masses musculaires, toute la pathologie de la décompression ne passe pas par l'existence de bulles circulantes détectables au Doppler.

Les bords pourraient s'expliquer par des phénomènes locaux de bulles stationnaires avec blocage des bulles dans la microcirculation locale intratissulaire ne passant pas dans le courant veineux et n'étant par conséquent pas détectables par le Doppler (Le Chuiton, 1979; Guillermin et Masurel, 1982).

De plus, l'appréciation du signal "bulles" à l'écoute est plus ou moins subjective car uniquement dépendante de "l'oreille" de l'opérateur, ce qui limite la détection Doppler à des bulles suffisamment grosses pour être perçues sur le bruit de fond sanguin et les bruits cardiaques.

Un traitement informatique des données est possible par l'utilisation du code K.M. (Kisman et al, 1978), mais la détection par elle-même reste purement auditive.

Il est très probable que des bulles soient présentes de façon bien plus importante que ce qui est quantifiable par la mesure Doppler, en particulier pour des microbulles non perceptibles.

Cependant, la détection Doppler reste une très bonne méthode de contrôle de la décompression. De nombreuses études affirment qu'un degré faible de bulles est un bon élément en faveur de la sécurité d'une décompression, notamment lors de plongées à l'air (ou au mélange nitrox). Notre étude n'apportait que trop peu de cas de degré faible pour confirmer ce point. Au contraire, un degré élevé de bulles incitera à la surveillance, voire à une thérapeutique de prévention d'un éventuel accident de décompression possible dans 35 à 70 % des cas (selon les études) pour un degré 4 de bulles au repos.

V - CONCLUSION

Au cours de cette étude, 46 plongées en mer effectuées par les pêcheurs d'éponges de Zarzis en Tunisie, ont été contrôlées médicalement, dans leurs conditions réelles de déroulement. Toutes ces plongées ont aussi donné lieu à des détections Doppler des bulles d'azote circulantes après la décompression.

Les plongeurs d'éponges tunisiens sont des plongeurs qui travaillent au narghilé à une profondeur variable proche des 35 mètres, pendant des durées assez longues. Ils effectuent des paliers de décompression de manière aléatoire, sans comparaison avec les règles des tables du Décret 74. Parfois, même, ils remontent sans paliers. De plus, au fond ils effectuent un travail pénible, dans des conditions thermiques défavorables, sans repos ultérieur, ce qui explique les forts degrés de bulles au repos ($87 \% \pm 5$ de détections positives) et au mouvement ($96 \% \pm 3$ de positifs) qui ont été enregistrés, ainsi que les pourcentages importants d'accidents :

$48 \% \pm 10$ après les plongées unitaires,
 $63 \% \pm 11$ après les plongées successives.

Les accidents observés étaient de gravité variable allant de l'asthénie légère, à l'asthénie intense associée à un bend avec douleur importante. Les bends représentent 52 % des pathologies (dont 47 % à l'épaule).

Cependant, pour des plongées particulièrement "imprudentes", comme 158 min à 37 m avec 48 min de décompression (remontée largement en-deçà des durées prescrites par le Décret 74) l'accident se traduit par une asthénie intense sans plus de gravité. Et les accidents d'ordre neurologique ne sont pas aussi fréquents qu'il était légitime de le craindre. Peut-être, cela est-il dû à la façon de faire les paliers, car il semble que souvent les pêcheurs tunisiens effectuent des paliers assez profonds, quelquefois plus longs à 9 m qu'à 6 m...

Ceci n'empêche pas un dégazage diphasique important, et, comme la relation degré de bulles/pourcentage d'accidents est ici bien démontrée, donc une forte probabilité d'accidents de décompression.

Afin d'essayer de cerner la variabilité inter-individuelle qui existe entre un plongeur "bulleur" et un "non-bulleur", nous avons tenté de mettre en évidence l'influence des données anthropométriques et fonctionnelles avec le degré maximal de bulles au mouvement (lui-même, parfaitement corrélé au degré maximal au repos, ou au degré moyen au mouvement).

Mais aucune relation statistiquement valable n'apparaît, ceci, sans doute, du fait du pouvoir trop pathogène de ces plongées.

2EME PARTIE

TESTS DE TABLE DE DECOMPRESSION (DECRET 1974) EN CAISSON SEC

C.E.H. COMEX

La première partie de ce rapport a montré l'intérêt de la détection Doppler pour la prévision d'un risque d'accident de décompression chez les pêcheurs d'éponges où de nombreux accidents étaient observés.

Au cours de tests de tables de décompression, Décret 74, en caisson sec, le Doppler nous servira d'outil de pronostic et permettra d'évaluer les performances de ces tables.

Plusieurs profils ont été choisis à partir de l'exploitation statistique des plongées à l'air sur les chantiers de la COMEX :

24 m - 90 min

30 m - 80 min

51 m - 40 min

I - MATERIEL ET METHODES

A) Matériel

1 - Le caisson

Le caisson utilisé pour les tests de tables à l'air est le caisson 1800 du CEH de la COMEX d'une capacité de 5300 litres, avec une pression maximale de service de 9,8 bar.

2 - Bicyclette ergométrique

Nous disposions de deux bicyclettes ergométriques :

- une à l'intérieur du caisson, calibrée à 50 W, sur laquelle les plongeurs effectuaient un exercice durant leur séjour au fond.
- une au laboratoire, calibrée à 100 W, utilisée pour la mesure de l'indice de Ruffier.

3 - Détecteur ultrasonore des bulles circulantes

Il s'agit du même détecteur Doppler DUG que celui utilisé dans la première partie de cette étude.

4 - Pince de mesure du pli cutané

Pince de Whouse ou caliper pour évaluer la masse grasse des sujets.

B) Sujets

Ils étaient tous du sexe masculin.

1 - Plongée 24 m - 90 min

Les 28 plongeurs appartenaient tous aux Corps de sapeurs-pompiers de la côte varoise.

Age = 30 ans \pm 6

Taille = 176 cm \pm 5

Poids = 75 kg \pm 8

Sur le plan des antécédents médicaux, 6 sujets ont eu des problèmes directement en rapport avec la plongée (sinusite, asthme, bronchite, hernies).

14 d'entre eux ont un de leurs parents atteint de maladies cardiovasculaires (hypertension artérielle, valvulopathies, artérite). En ce qui concerne leur passé de plongeur, 2 d'entre eux ont pratiqué la plongée professionnelle et 9 ont déjà eu des incidents de type "blocage des sinus", difficulté d'équilibrage d'une oreille, début de narcose à l'azote. 3 ont déjà fait un véritable accident de plongée ayant nécessité un séjour en caisson.

Les examens cliniques ont été satisfaisants dans l'ensemble. 2 sujets présentaient un discret souffle systolique sans répercussion fonctionnelle, évocateur d'un prolapsus de la valve mitrale.

Le bilan clinique a été complété par :

- mesure du pourcentage de tissu gras
 $\% \text{ TG} = 15,8 \% \pm 3,5$
- mesure du coefficient de Tiffeneau
 $\text{Tiff.} = 0,78 \pm 0,07$
- mesure d'un indice de Ruffier sur bicyclette ergométrique (100 W - 7 min)
 $\text{IR} = 7,6 \pm 2,7$

2 - Plongée 30 m - 80 min

Les 25 sujets étaient des plongeurs professionnels (COMEX, INPP) ou occasionnels.

Age = 36 ans \pm 8

Taille = 175 cm \pm 6

Poids = 73 kg \pm 11

17 sujets présentaient des antécédents médicaux variés (fractures, appendicectomie, parents diabétiques, poliomyélite, hypercholestérolémie, paludisme, hépatite virale...), et 5 avaient eu des incidents ou accidents de plongée :

- . otite barotraumatique (2 cas),
- . bends, perte de connaissance, perforation d'un tympan (chez un plongeur professionnel),
- . barotraumatisme dentaire (1 cas).

De même ont été mesurés :

- % TG = 18,1 % \pm 3,6
- IR = 10,7 \pm 3,3
- Capacité vitale CV = 4,9 l \pm 0,8

3 - Plongée 51 m - 40 min

Il s'agissait aussi de 25 plongeurs professionnels (COMEX, INPP) et occasionnels.

Age = 36 ans \pm 6

Taille = 175 cm \pm 6

Poids = 71 kg \pm 11

13 sujets présentaient des antécédents médicaux du même type que précédemment, et 8 avaient des antécédents d'accident de plongée :

- otite barotraumatique (1 sujet),
- bends, paralysie transitoire des membres inférieurs, surpression pulmonaire avec séquelles (1 sujet),
- bends, perte de connaissance et perforation du tympan (plongeur professionnel)
- bends (3 cas)
- barotraumatisme dentaire (1 cas)
- ostéonécrose des deux fémurs (1 cas).

Pour compléter le bilan clinique :

- % TG = 17,7 % \pm 4,0
- IR = 11,0 \pm 3,3
- CV = 5,3 l \pm 0,7

C) METHODES

1 - Protocole des plongées

La table de décompression utilisée et testée, est celle imposée depuis 1974 par le Ministère du Travail à tous les plongeurs civils travaillant pour des entreprises françaises.

Les protocoles des plongées étudiées (24 m - 90 min; 30 m - 80 min; 51 m - 40 min) sont regroupés dans le tableau 14 suivant :

Plongée étudiée	24 m - 90 min	30 m - 80 min	51 m - 40 min
Durée compression (min)	1 à 2	2 à 3	3 à 4
Durée séjour + compression (min)	90	80	40
Durée des paliers (min)			
15 m			1
12 m			8
9 m		8	14
6 m	11	19	19
3 m	36	41	41
Durée totale remontée (min)	48,2	69,4	85,4
Durée totale plongée (min)	148	149	125

TABLEAU 14

2 - Moyens d'investigations- dossier médicophysique individuel (voir en annexe)

Remis à jour avant chaque test et comportant notamment :

- évaluation de la masse grasse du sujet par la mesure du pli cutané
- évaluation de la forme physique (subjective, + indice de Ruffier)

Le test de Ruffier est effectué sur bicyclette ergométrique calibrée à 100 W. L'exercice dure 7 minutes. Le pouls est mesuré avant l'exercice au repos (P_1), juste après les 7 minutes d'exercice (P_2), et une minute après l'arrêt de l'exercice (P_3).

$$IR = \frac{(P_1 + P_2 + P_3) - 200}{10}$$

- examens respiratoires de dépistage (capacité vitale, coefficient de Tiffeneau)

■ détection Doppler des bulles circulantes

Celle-ci débute dès la sortie du caisson (fin de décompression) et se poursuit pendant 3 ou 4 heures.

L'évaluation se fait selon l'échelle de Spencer (Spencer et al., 1972), (5 degrés de sévérité croissante de 0 à 4), au repos et au mouvement, c'est-à-dire après 1, 2, et 3 flexions.

Le degré moyen de bulles au repos et au mouvement est calculé (dégazage diphasique moyen). De plus le degré maximal enregistré au repos et au mouvement est noté (intensité maximale du dégazage diphasique).

3 - Programme journalier

- arrivée des plongeurs par groupe de 4, au CEH à 8 H 30 . Premier interrogatoire de dépistage (examen auriculaire).
- mise en caisson vers 9 H 00.
- durant le séjour au fond, les 4 sujets se relayent sur la bicyclette ergométrique (50 W) pendant des périodes de 5 min. Lors de chaque passation la fréquence cardiaque est notée avant l'exercice, en fin d'exercice et 1 minute après.
- décompression (heures variables selon la plongée).
- entre 11 h et 11 h 30 sortie des plongeurs (t_0).
- détections de bulles à t_0
 - $t_0 + 1/2$ h
 - $t_0 + 1$ h
 - $t_0 + 2$ h
 - $t_0 + 3$ h
 - $t_0 + 4$ h .
- déjeuner entre 12 h 30 et 13 h 00 .
- suite des détections de bulles .
- 15-16 h 00 = mesure de l'IR sur bicyclette 100 W et examen médical complet .

II - RESULTATS

1 - Plongée 24 m - 90 min

Le tableau 15 suivant réunit les résultats observés chez les 28 sujets ayant participé à ces plongées.

IR	=	Indice de Ruffier
FC repos	=	Fréquence cardiaque de repos
FC ex	=	Fréquence cardiaque maximale observée pendant l'exercice
% TG	=	Pourcentage de tissus gras
Tiff.	=	Indice de Tiffeneau
DmR	=	Degré moyen de bulles au Repos
DmM	=	Degré moyen de bulles au Mouvement
DMR	=	Degré Maximal de bulles au Repos
DMM	=	Degré Maximal de bulles au Mouvement

On observe que pour cette plongée 8 sujets sur 28 ($28,6 \% \pm 8,5$) ont eu une détection positive au repos et 12/28 ($42,9 \% \pm 9,4$) au mouvement, soit $71,4 \% \pm 8,5$ détections négatives au repos et $57,1 \% \pm 9,4$ au mouvement

Les niveaux moyens de bulles observés au cours de ces plongées sont de :

$$\begin{aligned} \text{DmR}_{\text{moyen}} &= 0,21 \pm 0,44 \\ \text{DmM}_{\text{moyen}} &= 0,64 \pm 0,80 \\ \text{DMR}_{\text{moyen}} &= 0,46 \pm 0,77 \\ \text{DMM}_{\text{moyen}} &= 0,93 \pm 0,96 \end{aligned}$$

Les figures, 13, 14, 15, 16 représentent les histogrammes de répartition des différents degrés de bulles.

Les degrés moyens au repos restent inférieurs à 2,5 ($89 \% \pm 6$ sont compris entre 0 et 0,5)

Les degrés moyens au mouvement sont inférieurs à 3,0 ($60 \% \pm 9,2$ sont compris entre 0 et 0,5).

Quant aux degrés maximaux observés, ils sont inférieurs ou égaux à 3 et n'ont jamais atteint 4.

Le moment où est enregistré le degré maximal, se situe en moyenne à 68 minutes ± 36 après la fin de la décompression, ce que l'on peut approximer à 1 heure ± 30 min.

Aucun accident n'est survenu durant ces 28 plongées (même de type "puces")

PLONGEES 24 METRES / 90 MINUTES

SUJET	AGE ans	TAILLE cm	POIDS kg	IR	FC repos bts / min	FC ex.	% TG	TIFF.	DmR	DmM	DMR	DMM
001	27	168	65	6.4	75	117	9.5	0.82	0.25	1.00	1	2
002	33	172	78	10.4	80	115	19.1	0.82	1.40	2.80	3	3
003	32	176	71	7.6	80	119	14.4	0.80	0.00	0.00	0	0
004	34	174	74	2.0	69	102	11.3	0.85	0.00	0.00	0	0
005	38	176	84	9.6			20.3	0.85	0.00	0.00	0	0
006	33	185	78	8.8	78	120	13.8	0.54	0.00	1.66	0	2
007	35	181	70	12.0	85	127	16.0	0.86	0.00	0.00	0	0
008	47	180	74	6.8			17.7	0.66	0.20	1.80	1	3
009	29	172	72	6.4	76	128	15.9	0.76	0.00	0.00	0	0
010	25	175	69	10.4	89	127	13.4	0.79	0.00	0.00	0	0
011	25	176	73	4.6			13.6	0.81	1.00	2.60	2	3
012	33	168	74	5.2	70	113	21.6	0.77	2.00	2.75	3	3
013	28	173	66	8.0	78	127	21.5	0.74	0.00	0.00	0	0
014	26	175	67	7.2	74	121	12.2	0.77	0.00	0.00	0	0
015	23	175	68	7.6	80	124	13.0	0.73	0.00	0.00	0	0
016	25	186	76	4.8	80	120	15.1	0.85	0.00	0.50	0	1
017	36	176	101	12.2	85	130	21.8	0.84	0.25	1.75	1	3
018	25	187	71	6.4	81	124	10.4	0.81	0.00	0.00	0	0
019	30	172	74	15.6	100	147	20.0	0.80	0.00	0.00	0	0
020	29	176	78	8.8	93	121	18.0	0.62	0.00	0.00	0	0
021	47	174	81	8.0	63	124	21.2	0.78	0.00	0.50	0	1
022	30	189	98	7.6	80	119	18.4	0.67	0.40	0.80	1	2
023	28	179	75	0.0			13.5	0.75	0.00	0.00	0	0
024	30	173	77	4.4	70	113	15.2	0.85	0.00	0.00	0	0
025	23	171	70	9.2	76	126	13.4	0.80	0.00	0.00	0	0
026	25	174	70	7.6	79	138	13.6	0.85	0.00	0.00	0	0
027	24	175	74	8.0	74	113	12.6	0.78	0.40	1.60	1	2
028	28	183	75	7.6	64	106	14.6	0.80	0.00	0.25	0	1
\bar{x}	30	176	75	7.6	78	122	15.8	0.78	0.21	0.64	0.46	0.93
\pm sd	6	5	8	2.7	8	9	3.5	0.07	0.44	0.80	0.77	0.96

TABLEAU 15

Selection : NUMERO ETUDE=04 Nb de fiches 28
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN REPOS

CLASSES	I	Effec.	I %	Pop. I
0.00 -	0.50	I	25	I 89.3% I*****
0.50 -	1.00	I	0	I 0.0% I
1.00 -	1.50	I	2	I 7.1% I****
1.50 -	2.00	I	0	I 0.0% I
2.00 -	2.50	I	1	I 3.6% I**
2.50 -	3.00	I	0	I 0.0% I
3.00 -	3.50	I	0	I 0.0% I
3.50 -	4.00	I	0	I 0.0% I
4.00 -	4.50	I	0	I 0.0% I
Non Renseigne		I	0	I 0.0% I
TOTAL		I	28	I 100.0% I

FIGURE 13 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 24 m / 90 min.

Selection : NUMERO ETUDE=04 Nb de fiches 28
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MOYEN MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I %	Pop.
0.00 -	17	I	60.7%	I
0.50 -	3	I	10.7%	I
1.00 -	1	I	3.6%	I
1.50 -	4	I	14.3%	I
2.00 -	0	I	0.0%	I
2.50 -	3	I	10.7%	I
3.00 -	0	I	0.0%	I
3.50 -	0	I	0.0%	I
4.00 -	0	I	0.0%	I
4.50 -	0	I	0.0%	I
Non Renseigne	0	I	0.0%	I
TOTAL	28	I	100.0%	I

FIGURE 14 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 24 m / 90 min.

Selection : NUMERO ETUDE=04 Nb de fiches 28
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MAX REPOS

CLASSES	I	Effec.	I % Pop.
I 0.00 -	1.00	I 20	I 71.4%
I 1.00 -	2.00	I 5	I 17.9%
I 2.00 -	3.00	I 1	I 3.6%
I 3.00 -	4.00	I 2	I 7.1%
I 4.00 -	5.00	I 0	I 0.0%
I Non Renseigne		I 0	I 0.0%
TOTAL		I 28	I 100.0%

FIGURE 15 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 24 m /90 min.

Selection : NUMERO ETUDE=04 Nb de fiches 28
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MAX MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I %	Pop.	I
0.00 -	16	I	57.1%	I	I
1.00 -	3	I	10.7%	I	I
2.00 -	4	I	14.3%	I	I
3.00 -	5	I	17.9%	I	I
4.00 -	0	I	0.0%	I	I
Non Renseigne	0	I	0.0%	I	I
TOTAL	28	I	100.0%	I	I

FIGURE 16 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 24 m / 90 min.

2 - Plongée 30 m - 80 min

Le tableau 16 regroupe les résultats observés chez les 25 sujets ayant participé à ce groupe de plongée.

Ces résultats montrent que sur les 25 sujets, 15 ont une détection positive au repos ($60,0 \% \pm 9,8$) et 21 au mouvement ($84,0 \% \pm 7,3$), c'est-à-dire seulement $40 \% \pm 9,8$ des sujets n'ont pas de bulles détectables au repos, et seulement $16 \% \pm 7,3$ au mouvement.

Les niveaux moyens de bulles observés lors de ces plongées sont de :

$$\begin{aligned} DmR_{\text{moyen}} &= 0,52 \pm 0,63 \\ DmM_{\text{moyen}} &= 1,28 \pm 0,87 \\ DMR_{\text{moyen}} &= 0,92 \pm 0,73 \\ DMM_{\text{moyen}} &= 1,92 \pm 0,92 \end{aligned}$$

Les figures 17, 18, 19 et 20 montrent la répartition des différents degrés de bulles.

Les degrés moyens restent inférieurs à 2,5 au repos ($68,0 \% \pm 9,3$ entre 0 et 0,5), et à 3,5 au mouvement ($28,0 \% \pm 9,0$ seulement entre 0 et 0,5), mais l'examen des degrés maximaux montre que 2 sujets ont eu un degré 3 au repos et 4 au mouvement, ce qui est un niveau important.

Le moment d'apparition des degrés maximaux est de $63 \text{ min} \pm 29$ (soit $1 \text{ heure} \pm 30 \text{ min}$), comme pour la plongée 24 m/90 min.

Après ces plongées à 30 m de 80 min :

- le sujet 043 s'est plaint de "puces". Il avait les degrés de bulles suivants :

$$\begin{aligned} DmR &= 1,75 \\ DmM &= 2,25 \\ DMR &= 2 \\ DMM &= 3 \end{aligned}$$

- le sujet 019 a rapporté une douleur à l'épaule droite, épaule sujette aux arthralgies. La douleur a débuté 15 minutes après la sortie, s'est calmée durant le déjeuner et a repris 2 h 30 après la sortie du caisson. Elle a persisté pendant 2 jours environ et s'est atténuée lentement.

PLONGEES 30 METRES / 80 MINUTES

SUJET	AGE ans	TAILLE cm	POIDS kg	IR	FC repos bts / min	FC ex.	% TG	CV l	DmR	Dmm	DMR	DMM
001	31	167	65	13.7	93	128	20.0	5.0	0.00	0.50	0	1
003	43	175	75	6.8	72	104	17.0	4.5	0.20	1.60	1	3
006	26	176	70	14.0	84	140	21.0	5.0	0.00	0.00	0	0
007	32	167	56	10.8	88	128	14.0	4.0	0.00	0.00	0	0
009	41	186	100	14.0	88	132	22.0	5.5	0.50	1.00	1	2
011	32	178	77	11.4	88	120	21.0	5.7	0.25	1.00	1	2
013	42	170	71	6.8	72	112	20.0	4.0	0.00	0.25	0	1
015	54	176	76	5.4	60	106	17.0	5.1	1.50	3.00	3	4
017	50	180	85	12.6	86	128	22.5	3.6	0.25	1.75	1	2
019	36	167	70	11.6	88	120	18.0	4.5	1.75	2.25	2	3
020	33	170	54	8.0	68	116	12.0	6.5	0.00	0.25	0	1
023	32	176	63	.			14.0	.	0.00	0.00	0	0
024	32	176	63	14.8	90	138	14.0	.	0.25	0.50	1	1
026	38	180	80	8.8	80	112	18.0	5.4	2.25	3.00	3	4
028	28	181	74	12.0	84	132	16.5	5.9	0.00	0.00	0	0
031	32	173	75	.	56		17.0	4.9	1.40	2.80	2	3
033	35	171	61	12.2	76	138	14.0	4.4	0.25	1.00	1	2
036	27	175	75	7.6	80	116	16.1	5.5	0.00	0.25	0	1
038	36	165	66	10.4	76	132	16.0	3.4	0.20	2.00	1	3
041	26	180	74	11.6	84	120	19.0	3.8	1.75	2.75	2	3
043	40	183	96	18.6	100	148	21.0	5.5	1.75	2.25	2	3
045	49	170	67	12.6	82	140	14.0	4.1	0.00	1.00	0	2
046	31	184	93	11.6	84	116	28.0	5.5	0.00	1.00	0	2
048	25	182	70	4.8	72	100	18.0	5.3	0.50	2.25	1	3
049	43	172	72	6.4	76	100	22.5	4.5	0.25	1.50	1	2
\bar{x}	36	175	73	10.7	80	123	18.1	4.9	0.52	1.28	0.92	1.92
\pm sd	8	6	11	3.3	10	13	3.6	0.8	0.63	0.87	0.73	0.92

TABLEAU 16

CV = capacité vitale

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=30 AND DUREE=80 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MOYEN REPOS

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.	I
0.00 -	17	I	68.0%	I	*****
0.50 -	2	I	8.0%	I	*****
1.00 -	1	I	4.0%	I	*****
1.50 -	4	I	16.0%	I	*****
2.00 -	1	I	4.0%	I	*****
2.50 -	0	I	0.0%	I	
3.00 -	0	I	0.0%	I	
3.50 -	0	I	0.0%	I	
4.00 -	0	I	0.0%	I	
4.50 -	0	I	0.0%	I	
Non Renseigne	0	I	0.0%	I	
TOTAL	25	I	100.0%	I	

FIGURE 17 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 30 m / 80 min.

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=30 AND DUREE=80 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I % Pop.
0.00 - 0.50	7	28.0%	
0.50 - 1.00	2	8.0%	
1.00 - 1.50	5	20.0%	
1.50 - 2.00	3	12.0%	
2.00 - 2.50	4	16.0%	
2.50 - 3.00	2	8.0%	
3.00 - 3.50	2	8.0%	
3.50 - 4.00	0	0.0%	
4.00 - 4.50	0	0.0%	
Non Renseigne	0	0.0%	
TOTAL	25	100.0%	

FIGURE 18 : Distribution par classe des degres moyens de bulles au mouvement (borne inferieure comprise, borne superieure exclue) au cours des plongees 30 m / 80 min.

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=30 AND DUREE=80 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MAX REPOS

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.	I
0.00 -	1.00	I	10	I	40.0%
1.00 -	2.00	I	9	I	36.0%
2.00 -	3.00	I	4	I	16.0%
3.00 -	4.00	I	2	I	8.0%
4.00 -	5.00	I	0	I	0.0%
Non Renseigne		I	0	I	0.0%
TOTAL		I	25	I	100.0%

FIGURE 19 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 30 m / 80 min.

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=30 AND DUREE=80 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DES MAX MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.	I
0.00 -	4	1.00	16.0%		
1.00 -	5	2.00	20.0%		
2.00 -	7	3.00	28.0%		
3.00 -	7	4.00	28.0%		
4.00 -	2	5.00	8.0%		
Non Renseigne	0		0.0%		
TOTAL	25		100.0%		

FIGURE 20 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 30 m / 80 min.

Ce sujet présentait un $DmR = 1,75$

$DmM = 2,25$

$DMR = 2$

$DMM = 3$

La cinétique d'apparition de bulles détectables au Doppler se traduit dans le tableau 17 suivant :

t (min)	15	50	120	230
D repos	2	2	2	1
D mouv ^t	2	3	2	2

TABLEAU 17

3 - Plongée 51 m - 40 min

Les résultats observés au cours de cette plongée sont réunis dans le tableau 18.

Au cours des 25 plongées réalisées selon ce protocole, 10 sujets ($40 \% \pm 9,8$) ont présenté des détections de bulles positives au repos, et 22 positives au mouvement ($88,0 \% \pm 6,5$). Il y a donc $60,8 \% \pm 9,8$ de sujets n'ayant pas de bulles détectables au repos après la plongée, contre seulement $12,0 \% \pm 6,5$ lors de détections au mouvement.

Les figures 21, 22, 23 et 24 montrent les histogrammes des différents degrés de bulles enregistrés.

Les degrés moyens de bulles au repos sont inférieurs à 3,5 (1 sujet avec DmR compris entre 2,5 et 3,0, et 1 sujet avec DmR entre 3,0 et 3,5, mais $60,0 \% \pm 9,8$ ont un DmR compris entre 0 et 0,5).

Les DmM sont compris entre 3,0 et 3,5 pour 3 cas et entre 3,5 et 4,0 pour 1 sujet. Ces DmM , calculés sur 5 détections étalées sur 4 heures étant élevés (3 à 4) traduit un dégazage de forte intensité et de longue durée.

PLONGEES 51 METRES / 40 MINUTES

SUJET	AGE ans	TAILLE cm	POIDS kg	IR	FC repos bts /	FC ex. min	% TG	CV l	DmR	DmM	DMR	DMM
002	31	167	65	15.2	84	148	19.0	5.0	0.00	0.25	0	1
004	43	175	75	11.6	88	120	18.0	5.1	0.00	0.75	0	1
005	37	179	75	15.2	88	144	20.0	5.7	2.00	2.80	3	4
008	32	167	56	17.6	100	148	14.0	4.1	0.00	0.50	0	1
010	36	170	61	9.4	76	118	13.5	5.1	1.75	2.50	2	3
012	32	178	77	9.2	84	116	23.0	5.9	1.40	2.20	2	3
014	26	171	57	12.0	76	120	13.1	5.5	0.00	0.20	0	1
016	54	176	76	3.6	68	96	17.0	5.1	2.20	3.20	3	4
018	37	168	65	6.0	68	108	16.1	5.1	0.00	1.00	0	1
021	33	170	54	8.4	72	112	11.5	6.2	0.00	0.00	0	0
022	33	170	54	9.6	84	116	11.5	6.3	0.00	0.00	0	0
025	32	176	63	14.8	90	138	14.0	.	0.00	0.40	0	1
027	38	180	80	12.4	100	120	16.0	5.7	2.75	3.25	3	4
029	28	181	74	12.4	88	124	17.5	5.8	0.00	0.00	0	0
030	28	181	74	10.0	72	124	17.0	6.2	0.00	0.75	0	1
032	40	183	76	6.4	64	112	17.5	5.6	3.00	3.60	4	4
034	35	171	61	10.8	80	132	13.0	4.7	0.00	0.75	0	1
035	48	176	80	11.6	84	128	18.0	4.0	1.00	2.25	2	3
037	27	175	75	7.6	78	118	18.8	5.4	0.75	1.50	2	2
039	36	165	66	10.0	88	112	18.0	3.8	1.00	2.00	2	3
040	34	177	69	11.2	76	124	22.0	5.9	0.00	0.60	0	1
042	39	182	78	10.4	80	124	21.5	5.7	0.00	0.50	0	1
044	40	183	96	17.4	110	144	21.0	5.5	1.80	3.00	3	4
047	31	184	93	10.4	84	120	28.0	5.8	0.00	0.75	0	1
050	43	172	72	12.0	88	124	24.0	4.5	0.00	0.75	0	1
\bar{x}	36	175	71	11.0	83	124	17.7	5.3	0.71	1.34	1.04	1.84
$\pm sd$	6	6	11	3.3	10	13	4.0	0.7	0.31	1.05	1.07	1.22

TABLEAU 18

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=51 AND DUREE=40 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN REPOS

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.	I
0.00 -	0.50	I	15	I	60.0% I
0.50 -	1.00	I	1	I	4.0% I
1.00 -	1.50	I	3	I	12.0% I
1.50 -	2.00	I	2	I	8.0% I
2.00 -	2.50	I	2	I	8.0% I
2.50 -	3.00	I	1	I	4.0% I
3.00 -	3.50	I	1	I	4.0% I
3.50 -	4.00	I	0	I	0.0% I
4.00 -	4.50	I	0	I	0.0% I
Non Renseigne		I	0	I	0.0% I
TOTAL		I	25	I	100.0% I

FIGURE 21 : Distribution par classe des degrés moyens de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 51 m / 40 min.

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=51 AND DUREE=40 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MOYEN MOUVT.

CLASSES	I	Efec.	I	% Pop.	I
0.00 -	6	I	24.0%	I	*****
0.50 -	8	I	32.0%	I	*****
1.00 -	1	I	4.0%	I	*****
1.50 -	1	I	4.0%	I	*****
2.00 -	3	I	12.0%	I	*****
2.50 -	2	I	8.0%	I	*****
3.00 -	3	I	12.0%	I	*****
3.50 -	1	I	4.0%	I	*****
4.00 -	0	I	0.0%	I	
Non Renseigne	0	I	0.0%	I	
TOTAL	25	I	100.0%	I	

FIGURE 22 : Distribution par classe des degés moyens de bulles au mouvement (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 51 m / 40 min.

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=51 AND DUREE=40 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MAX REPOS

CLASSES	I	Effec.	I	% Pop.
0.00 -	15	I	60.0%	I
1.00 -	0	I	0.0%	I
2.00 -	5	I	20.0%	I
3.00 -	4	I	16.0%	I
4.00 -	1	I	4.0%	I
Non Renseigne	0	I	0.0%	I
TOTAL	25	I	100.0%	I

FIGURE 23 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au repos (borne inférieure comprise, borne supérieure exclue) au cours des plongées 51 m / 40 min.

Selection : NUMERO ETUDE=06 AND PROF MAX=51 AND DUREE=40 Nb de fiches 25
 DISTRIBUTION PAR CLASSE DE LA ZONE DEG MAX MOUVT.

CLASSES	I	Effec.	I % Pop.	I
0.00 -	3	I	12.0%	I*****
1.00 -	12	I	48.0%	I*****
2.00 -	1	I	4.0%	I*****
3.00 -	4	I	16.0%	I*****
4.00 -	5	I	20.0%	I*****
Non Renseigne	0	I	0.0%	I
TOTAL	25	I	100.0%	I

FIGURE 24 : Distribution par classe des degrés maximaux de bulles au mouvement (borne inférieure comprise , borne supérieure exclue) au cours des plongées 51 m / 40 min.

Les degrés maximaux de bulles atteignent le degré 4 au repos chez 1 sujet (4,0 % \pm 3,9 des cas) et 4 au mouvement chez 5 sujets (20,0 % \pm 8,0 des cas)

Le moment du maximum de dégazage est 62 min \pm 37 (environ 1 heure \pm 30 minutes).

3 plongeurs ont rapporté, pendant les 2 premières heures après la fin de la plongée, la sensation de démangeaisons (puces).

Ces 3 sujets (010, 012 et 030) présentaient les degrés de bulles rapportés dans le tableau 19 :

	DmR	DmM	DMR	DMM
010	1,75	2,50	2	3
012	1,40	2,20	2	3
030	0,00	0,75	0	1

TABLEAU 19

Pour 2 de ces sujets leurs niveaux de bulles se situent au-dessus des niveaux moyens des sujets ayant plongé 40 min à 51 m, qui sont :

$$DmR_{\text{moyen}} = 0,71 \pm 0,81$$

$$DmM_{\text{moyen}} = 1,34 \pm 1,05$$

$$DMR_{\text{moyen}} = 1,04 \pm 1,07$$

$$DMM_{\text{moyen}} = 1,84 \pm 1,22$$

III - BILAN DES RESULTATS DE CES TROIS TYPES DE PLONGEE ET DISCUSSION

1 - Bulles et profil de plongée

Le tableau 20 suivant résume les résultats précédemment décrits .

Plongée	Nbre de sujets	% bulleurs au repos	% bulleurs au mouvt	DmRm	DmM _{moyen}	DmR _{moyen}	DmM _{moyen}	Nbre "accidents"
24m/90min	28	28,6 % ± 8,5	42,9 % ± 9,4	0,21 ± 0,44	0,64 ± 0,80	0,46 ± 0,77	0,93 ± 0,96	0
30m/80min	25	60,0 % ± 9,8	84,0 % ± 7,3	0,52 ± 0,63	1,28 ± 0,87	0,92 ± 0,73	1,92 ± 0,92	1 "puces" 1 bend léger
51m/40min	25	40,0 % ± 9,8	88,0 % ± 6,5	0,71 ± 0,81	1,34 ± 1,05	1,04 ± 1,07	1,84 ± 1,22	3 "puces"

TABLEAU 20

% bulleurs = % de détections Doppler positives ($\neq 0$)

DmR_{moyen} = Degré moyen de bulles au repos moyen

DmR_{moyen} = Degré moyen de bulles au mouvement moyen

DmR_{moyen} = Degré maximal de bulles au repos moyen

DmM_{moyen} = Degré maximal de bulles au mouvement moyen

On constate que sur un échantillon de 25 à 28 sujets (échantillons n'étant pas statistiquement identiques puisque le groupe ayant plongé à 24 m - 90 min est plus jeune, a un meilleur IR et moins de TG que les 2 autres groupes), la plongée 24 m - 90 min est celle qui provoque un pourcentage moins élevé de bulles au repos et au mouvement, ainsi que des degrés moyens de bulles les plus faibles (Différences significatives par le test t de Student à 95, 99 et 99,9 % selon les degrés de bulles étudiés).

Par contre pour les plongées 30 m - 80 min et 51 m - 40 min, les pourcentages de bulleurs au mouvement sont importants (84 et 88 % de DmM $\neq 0$) et similaires (aucune différence statistiquement significative).

Les 2 plongées 30 m/80 min et 51 m/40 min semblent donc voisines en ce qui concerne le pouvoir générateur des bulles. Cette différence de degrés de bulles entre les plongées 24 m/90 min et les deux autres est-elle due à l'hétérogénéité des échantillons ou à un profil de plongée moins générateur de bulles ?

Ces plongées engendrent cependant toutes des degrés de bulles relativement élevés, par rapport à d'autres profils de plongée déjà testés (Le Fur, 1980; contrat DGRST/COMEX, 1979) selon la table Décret 1974 (TABLEAU 21)

Plongée	Etude	Nbre de sujets	Paliers	DmRm	DmMn	DMRm	DMMn
15m/80min	LE FUR	8	Non	0,04	0,21	0,13	0,25
24m/25min	LE FUR	8	Non	0,00	0,04	0,00	0,13
12m/180min	LE FUR	9	Non	0,22	0,67	0,33	0,39
18m/50min	LE FUR	9	Non	0,00	0,26	0,00	0,33
30m/15min	LE FUR	9	Non	0,00	0,07	0,00	0,11
54m/30min	DGRST	3	Oui	1,33	2,00	1,67	2,33
48m/20min	DGRST	4	Oui	0,00	0,06	0,00	0,25
60m/30min	DGRST	4	Oui	0,44	0,83	0,75	1,50
48m/40min	DGRST	4	Oui	0,38	1,25	1,00	2,00
30m/60min	DGRST	4	Oui	0,00	0,16	0,00	0,50
24m/90min	DGRST	3	Oui	0,93	1,67	1,33	2,00
42m/20min	DGRST	4	Oui	0,08	0,17	0,25	0,25
60m/15min	DGRST	3	Oui	0,17	0,50	0,33	1,00

TABLEAU 21

On peut cependant remarquer la différence qui existe au niveau des degrés moyens de bulles pour la plongée 24 m - 90 min entre nos résultats et ceux du contrat DGRST/COMEX. Mais il faut observer que 3 sujets seulement avaient testé cette table lors de ce contrat.

Dans cette série de plongées, d'autres profils que la 24 m/90 min engendrent des degrés de bulles moyens plus élevés que l'ensemble :
plongées 54 m/30 min (3 sujets seulement)

60 m/30 min (4 " ")

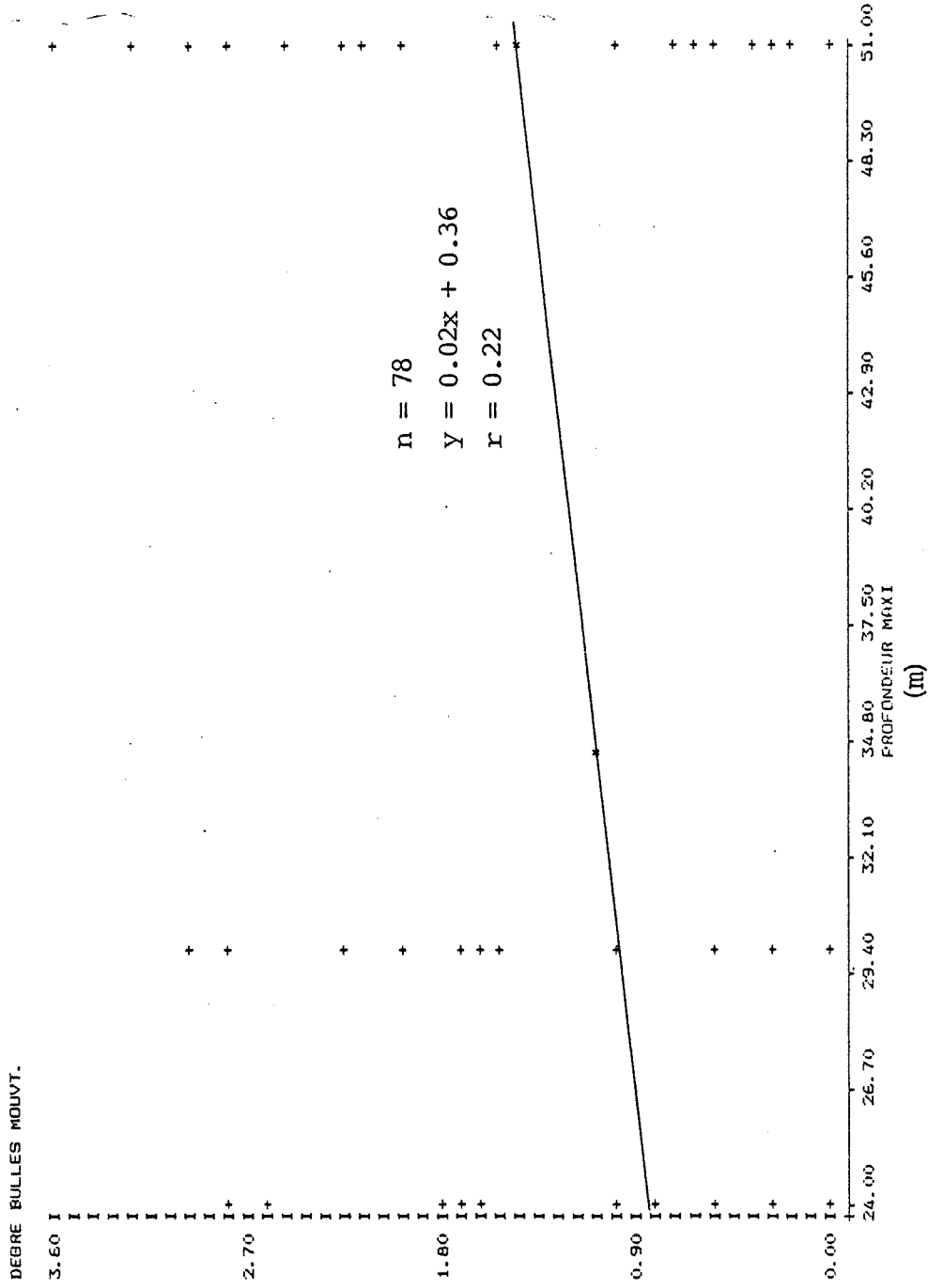
48 m/40 min (4 " ")

La plongée 12 m/180 min sans paliers provoque des niveaux moyens de bulles chez 9 sujets similaires à ceux observés pour la 24 m - 90 min dans cette étude.

Le pourcentage de "bulleurs" est donc plus important pour les plongées 30 m - 80 min et 51 m - 40 min que pour la 24 m - 90 min, et ceci est associé à des niveaux de bulles plus importants puisque :

0% ± 4 des sujets atteignent le degré 4 après 24 m - 90 min
8% ± 5 " " " " " 4 " 30 m - 80 min
20% ± 8 " " " " " 4 " 51 m - 40 min

(voir figure 25)



Corrélation : Degré moyen de bulles au mouvement / profondeur maximale atteinte.

FIGURE 25

Il n'y a donc pas homogénéité de la prise en compte des phénomènes (ou processus) d'élimination des gaz dissous dans l'organisme au cours des décompressions se déroulant selon les tables du Décret 74.

2 - "Bulles" et accidents

Sur les 78 plongées surveillées, 4 sujets ont fait un accident très bénin : puces, et 1 sujet a eu un bend "léger".

Le groupe des "accidents" est petit mais le test de Student permet de vérifier qu'ayant les mêmes caractères biométriques que le reste de l'échantillon, ces 5 sujets ont des degrés de bulles (DmR, DmM, DMR et DMM) probablement significativement ($\alpha = 0,05$) plus élevés (Tableau 22) :

	"ACCIDENTS"	NON "ACCIDENTS"	α
DmR	1,33	0,41	0,01
DmM	1,99	1,01	0,05
DMR	1,60	0,74	0,05
DMM	2,60	1,47	0,05

TABLEAU 22

Bien que ces accidents soient très bénins et peu nombreux, ces résultats vont dans le même sens que ceux de la lère partie de ce rapport, c'est-à-dire la mise en évidence de la relation entre degré de bulles et probabilité d'accident; relation importante à vérifier pour permettre cette étude visant à améliorer la sécurité des tables de plongée non pas en comptabilisant des accidents, mais en évaluant le risque à partir des degrés de bulles mesurés.

Les test d'indépendance entre deux caractères qualitatifs (χ_2) permet de tester l'hypothèse d'une relation entre le caractère "bulleurs" et le caractère "accident".

Si nous définissons le caractère "bulleur" par un $DM > 2$ le test de χ^2_2 donne une valeur de 2,72 pour $ddl = 1$. La relation entre les deux caractères ne donne qu'une probabilité $P = 0,20$ ce qui n'est pas significatif.

Par contre le test de χ^2_2 entre plusieurs caractères tels le degré de bulles et accidents montre que les deux sont liés et qu'un degré de bulles favorise l'apparition d'accident (tableau 23) :

Degré bulles Max. Mouvt	Accident pendant la plongée		
	OUI	NON	TOTAL
0	0	23	23
1	1	19	20
2	0	12	12
3	4	12	26
4	0	7	7
TOTAL	5	73	78

$$\chi^2_2 = 13,97 \quad ddl = 4 \quad (P < 0,01)$$

TABLEAU 23

Une relation entre le type d'accident et le degré de bulles n'existe pas dans cette étude.

Grâce aux statistiques concernant les pourcentages d'accidents observés sur 50 000 plongées en chantiers selon les tables Décret 74 (intervalle 8 h, décompression à l'air), on peut remarquer que les profils de plongée tests ont à la fois des degrés de bulles plus élevés que les autres profils (tableau 21) et des pourcentages d'accidents plus importants.

3 - Cinétique et intensité du dégazage

On imagine habituellement cette cinétique selon le modèle suivant (Figure 26)

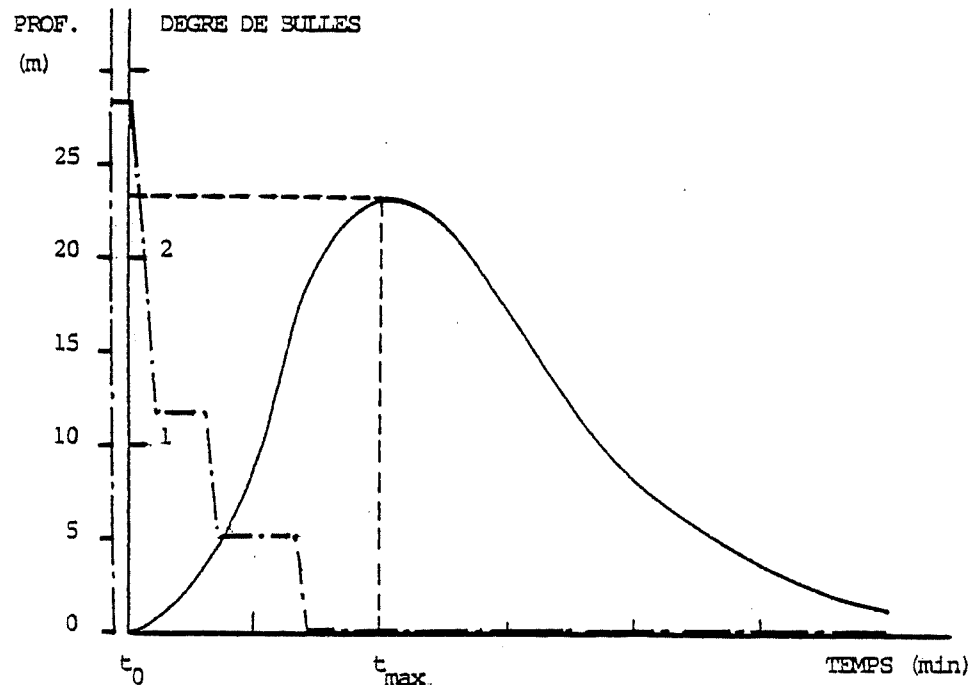


FIGURE 26

Dans cette étude, au cours des 3 profils de plongée surveillés par le Doppler nous avons pu mesurer le moment du maximum t_{\max} du dégazage diphasique et les DMR et DMM correspondants.

Il s'est avéré que $t_{\max} = 60 \text{ min} \pm 30$ après la fin de la décompression quelle que soit la plongée (bien que l'intensité du dégazage soit variable selon la plongée).

Aucune détection Doppler n'ayant été faite pendant la décompression en caisson, t_0 (moment d'apparition des lères bulles détectables), n'est pas connu; mais 20 sujets sur 78 présentaient une détection Doppler positive juste en fin de décompression (sortie du caisson) qui précédait un dégazage diphasique. Les détections ont été poursuivies jusqu'à 4 heures après la sortie, mais chez certains sujets ayant des degrés de bulles > 2 , le dégazage détectable au Doppler persistait tout en montrant une diminution.

Aucun 2ème pic éventuel (Le Chuiton, 1979) n'a été enregistré sur les 78 sujets.

4 - Prédisposition au caractère "bulleur" ?

Sur les 78 plongées /détectations effectuées, des relations linéaires entre facteurs individuels, tels que âge, % TG... et le degré de bulles ont été recherchées. Le DMM a été choisi comme indice, bien que l'on aurait pu prendre le DmM ou le DMR car ces paramètres sont reliés linéairement avec de bons coefficients de corrélation : voir figures 27 et 28.

Les régressions linéaires calculées n'ont pas donné de bons coefficients de régression r :

- DMM et âge : $r = 0,48$ fig. 29 (significativement \neq de 0 à 1 %)
- DMM et poids : $r = 0,35$ fig. 30 (significativement \neq de 0 à 1 %)
- DMM et taille : $r = 0,12$ (non significativement \neq de 0)
- DMM et FC repos : $r = 0,03$ (non significativement \neq de 0)
- DMM et FC exercice : $r = 0,18$ fig. 31 (non significativement \neq de 0)
- DMM et IR : $r = 0,07$ (non significativement \neq de 0)
- DMM et % TG : $r = 0,28$ fig. 32 (significativement \neq de 0 à 2 %)
- DMM et CV (n = 50) : $r = 0,17$ (non significativement \neq de 0)
- DMM et Tiffeneau (n = 28) : $r = 0,19$ (non significativement \neq de 0)

Il n'existe donc apparemment aucune relation linéaire significative qui permette d'expliquer le niveau de bulles observé chez un sujet à partir d'un critère biométrique, et réciproquement de prévoir le degré de bulles d'un sujet d'après ces caractères.

Il est probable que plusieurs de ces caractères interviennent simultanément tels l'âge, le poids et le % TG. Une régression linéaire à plusieurs variables a été calculée entre ces facteurs et le DMM :

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$$

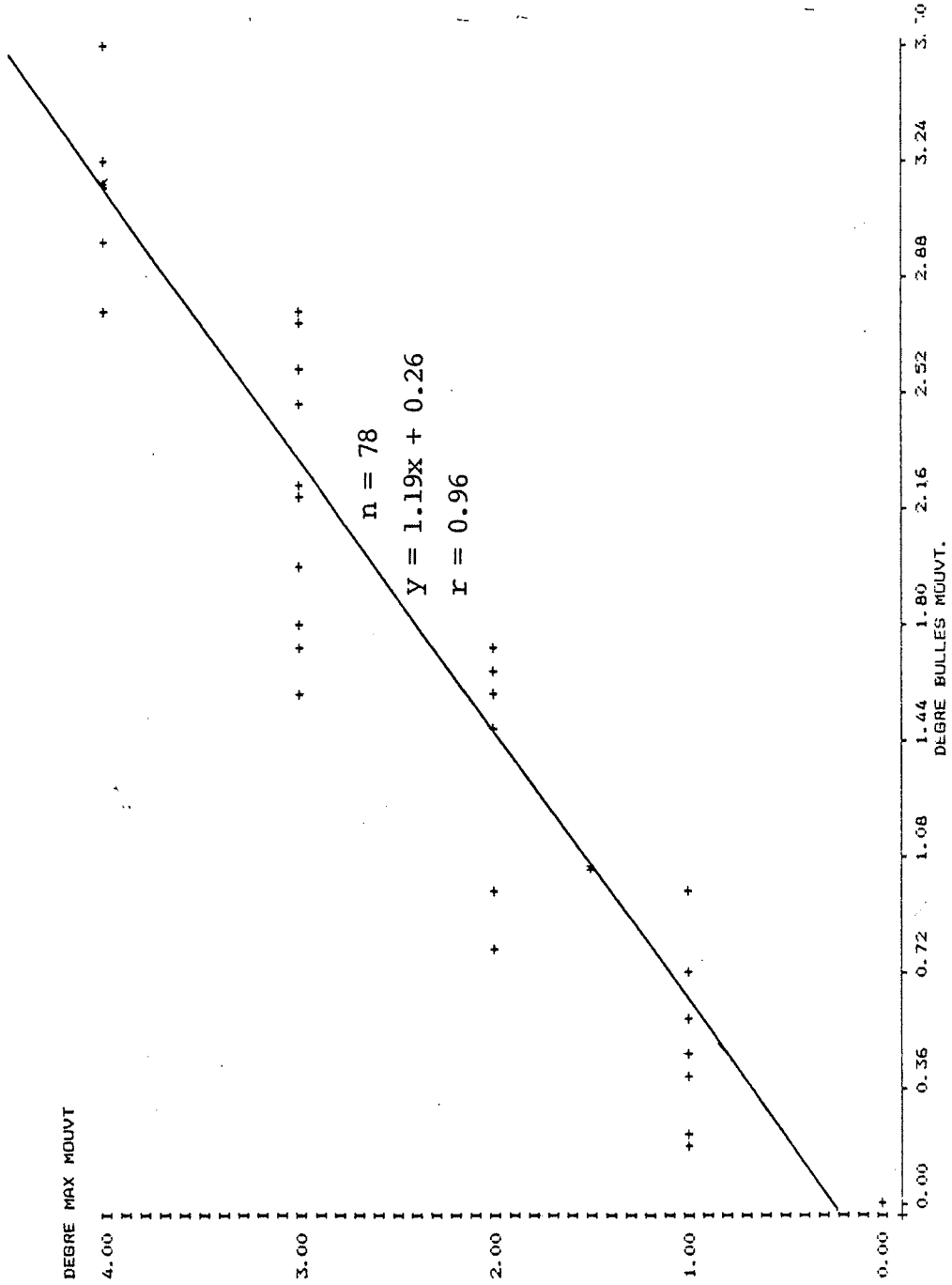
$$Y = \text{DMM}$$

$$x_1 = \text{âge} \quad a_1 = 0,078$$

$$x_2 = \text{poids} \quad a_2 = 0,035$$

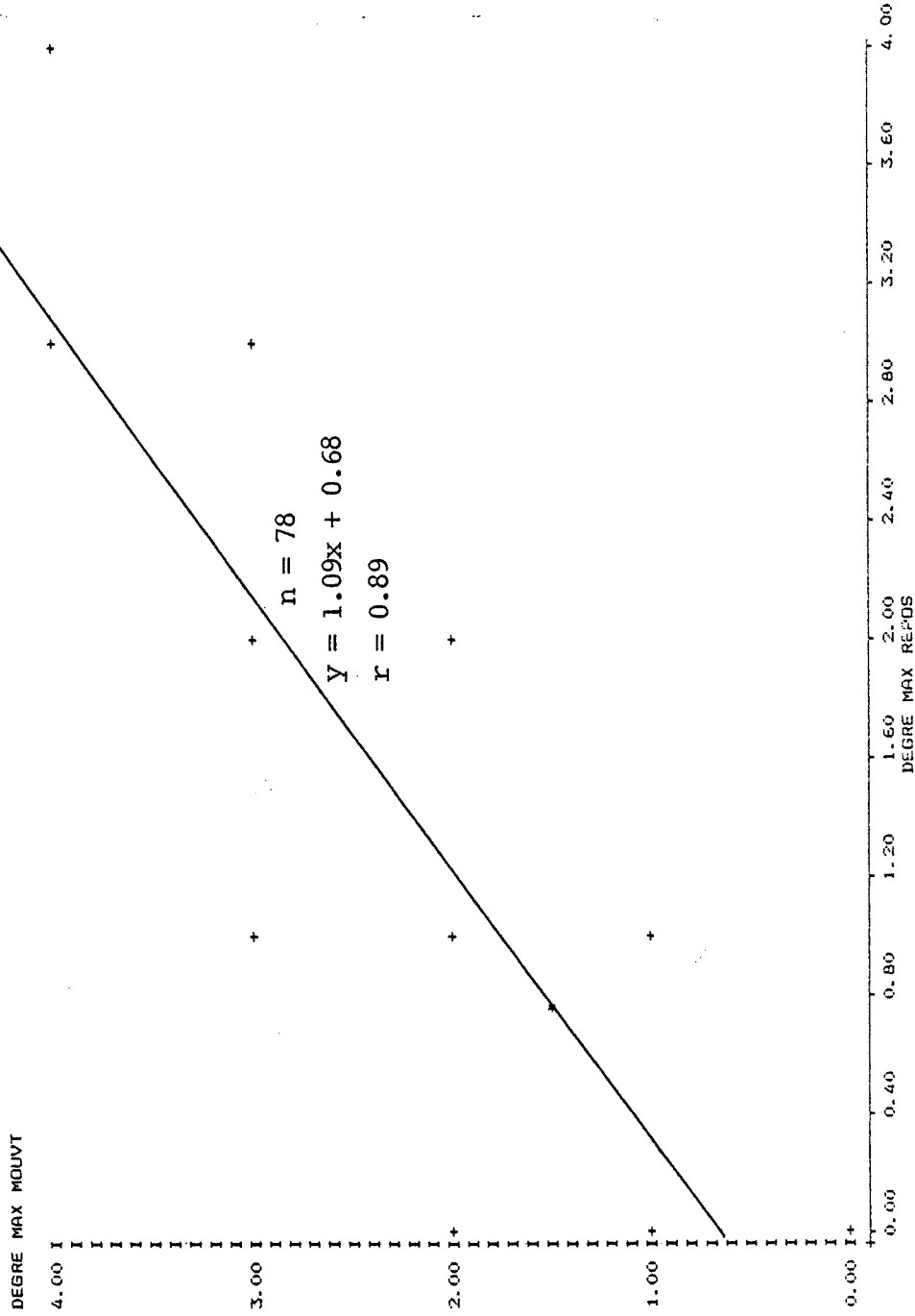
$$x_3 = \% \text{ TG} \quad a_3 = 0,005$$

$$a_0 = - 3,55$$



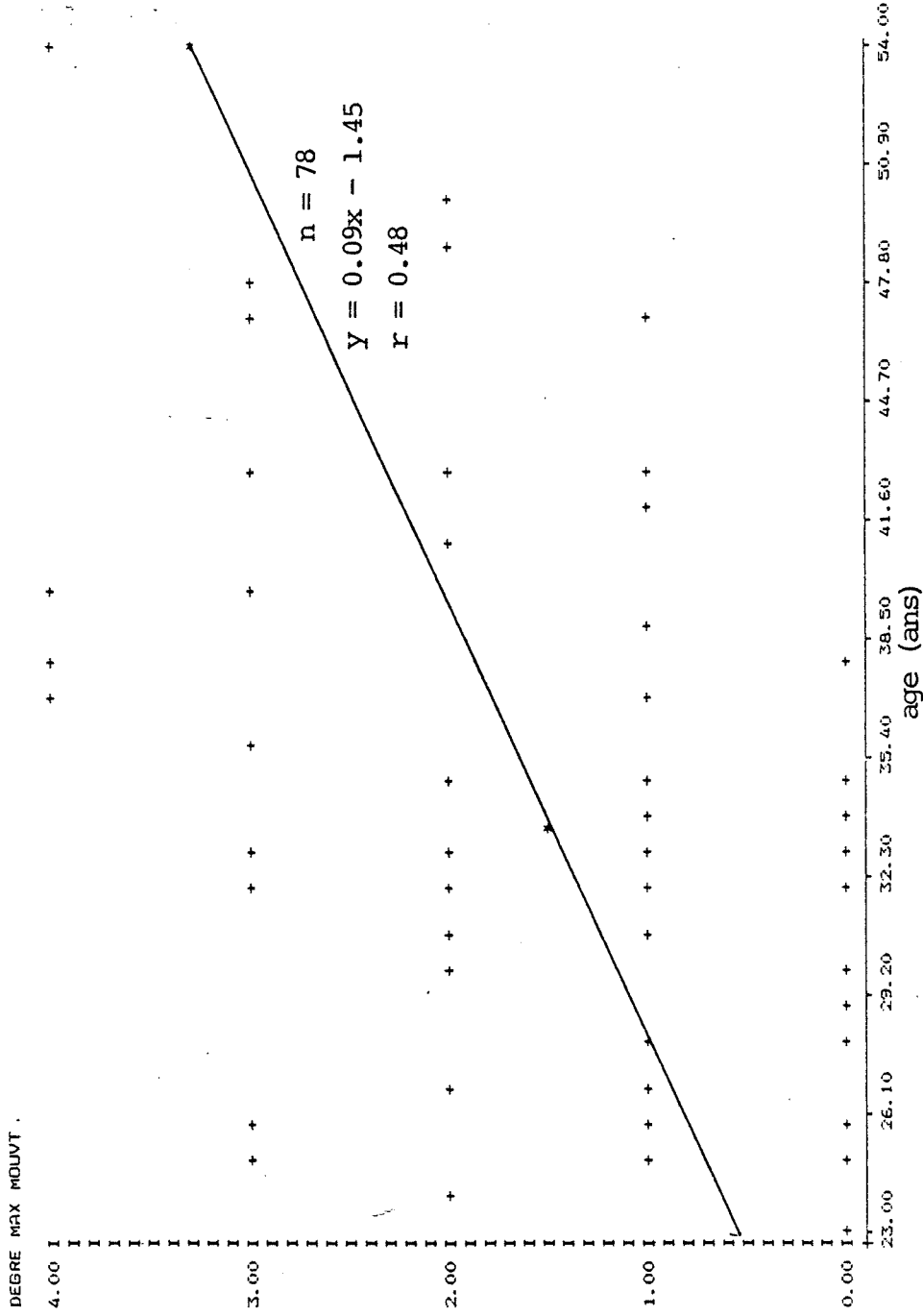
Corrélacion : Degré Maximal de bulles au Mouvement / Degré moyen de bulles au Mouvement

FIGURE 27



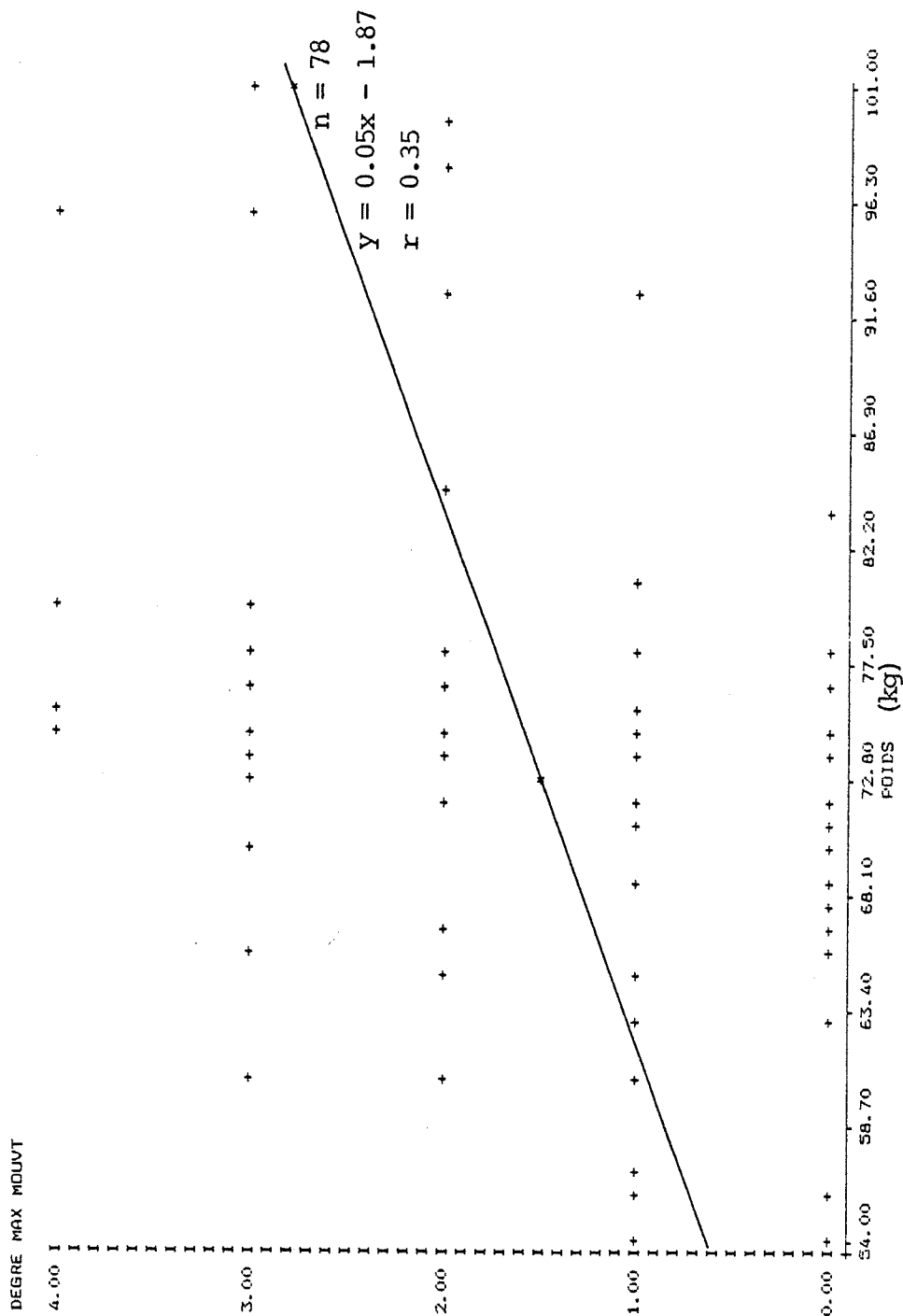
Corrélation : Degré Maximal de bulles au Mouvement / Degré Maximal de bulles au Repos

FIGURE 28



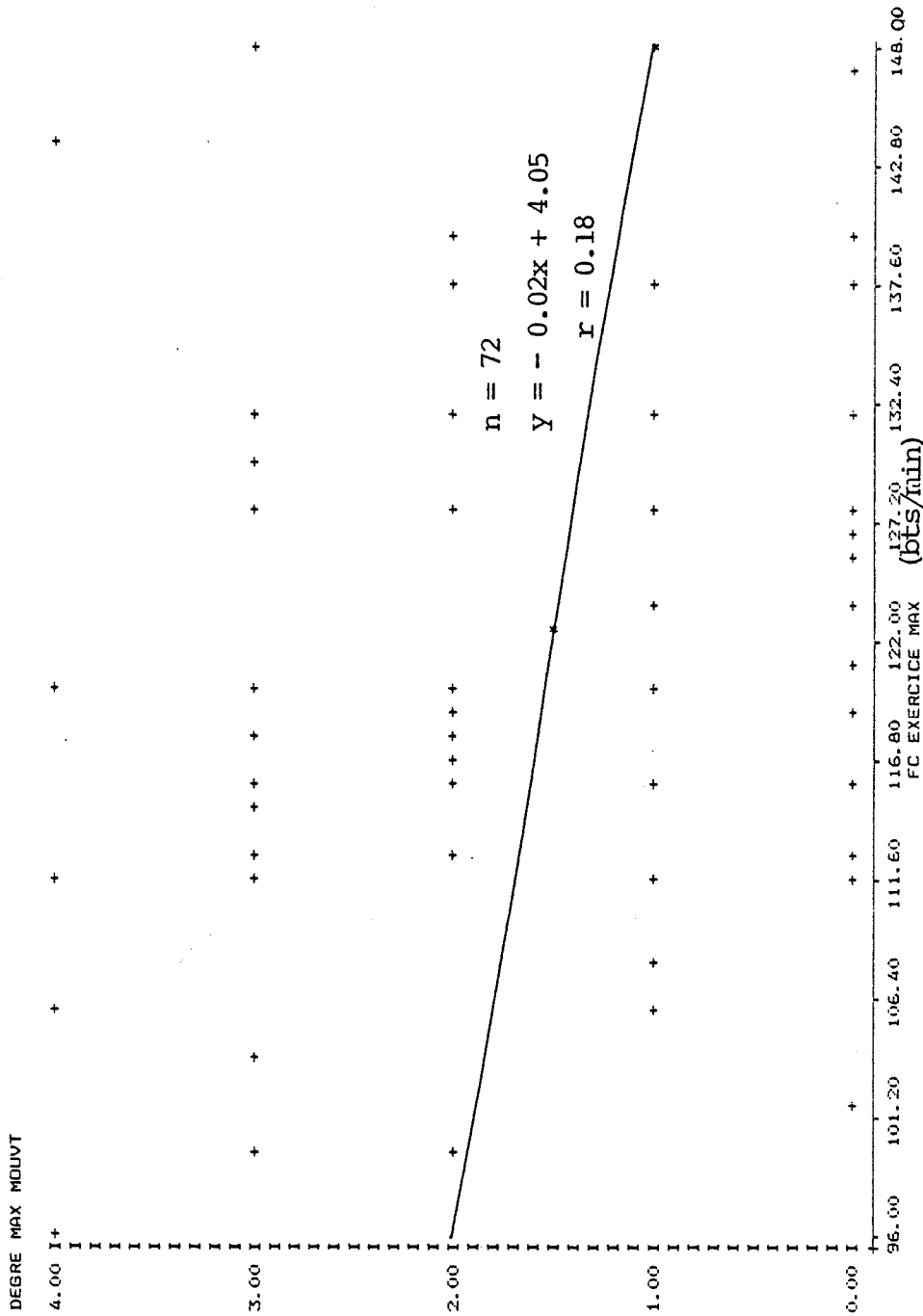
Corrélation : Degré maximal de bulles au mouvement / age

FIGURE 29



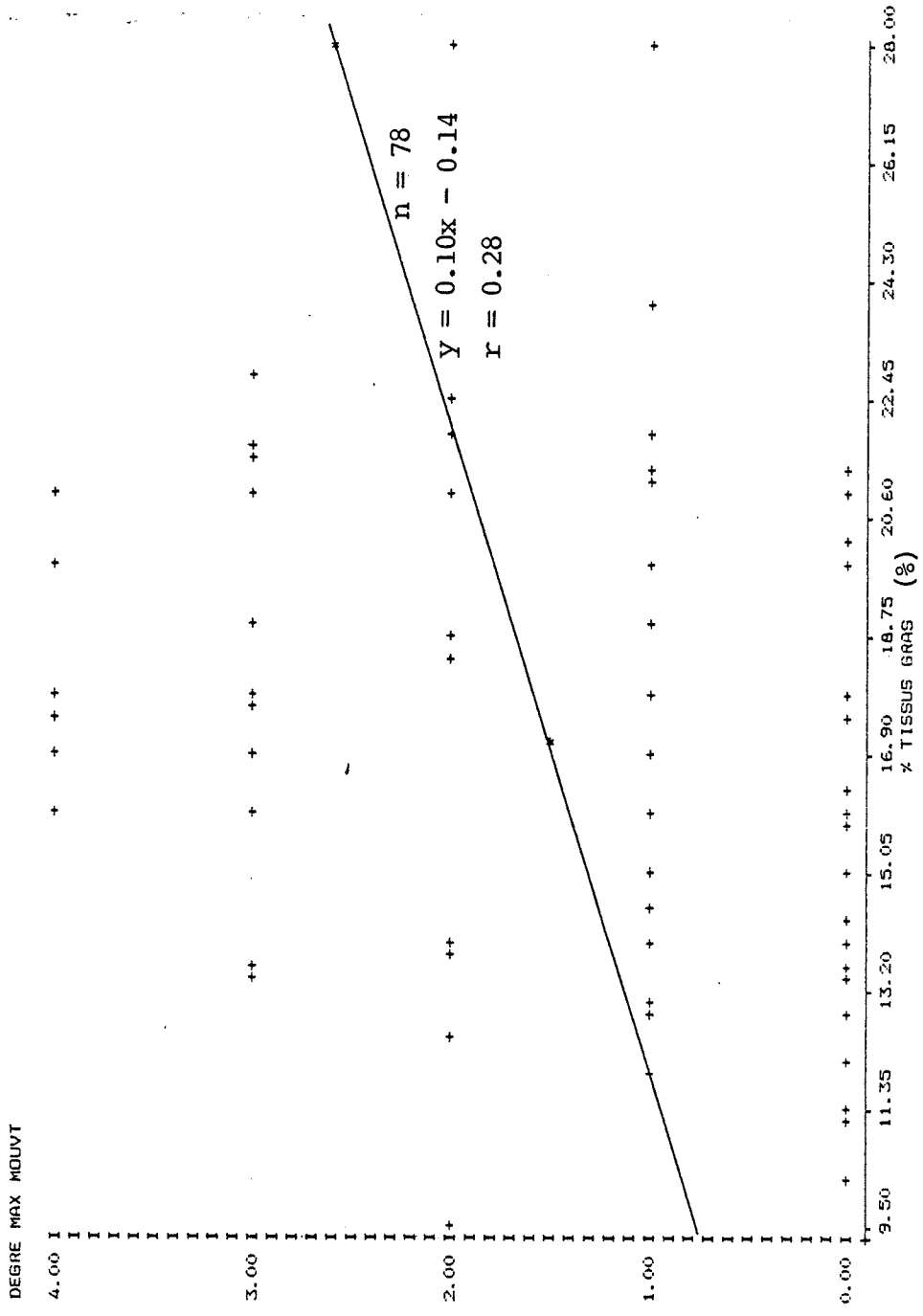
Corrélation : Degré Maximal de bulles au Mouvement / poids

FIGURE 30



Corrélation : Degré Maximal de bulles au Mouvement / fréquence cardiaque maximale à l'effort

FIGURE 31



Corrélation : Degré Maximal de bulles au Mouvement / pourcentage de tissus gras

FIGURE 32

Le coefficient $r = 0,54$ est meilleur que pour ces facteurs pris 2 à 2 ce qui tend à montrer l'influence cumulée de ces trois facteurs sur le DMM.

Cependant, il apparaît que de nombreux facteurs non indentifiés influencent la qualité du dégazage ainsi que la saturation (charge en gaz), et ceci explique les mauvais coefficients de regression calculés.

Une autre méthode de calcul permet d'isoler un facteur influençant le DMM. Il s'agit de faire un test de student en partageant l'échantillon en deux groupes, par exemple les sujets âgés de moins de 40 ans, et les sujets de 40 ans et plus (législation du travail concernant la profession de plongeur) et de comparer les divers paramètres mesurés.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence des différences statistiquement significatives ($\alpha = 0,05$, ou $0,01$ ou $0,001$) entre les degrés de bulles (DmR, DmM, DMR et DMM) et :

- les sujets ayant moins de 40 ans et ceux de 40 et plus : les sujets les plus âgés ayant des degrés de bulles plus élevés (étant aussi plus gras et plus lourds)
- les sujets pesant moins de 75 kg et ceux de 75 kg et plus : les plongeurs les plus lourds ont des degrés de bulles significativement plus élevés (ils sont aussi plus âgés, plus grands, et plus gras).
- les sujets ayant une fréquence cardiaque (FC) à l'exercice < 120 bts/min et ceux ayant une FC ex. > 120 bts/min : les sujets à FC ex. > 120 bts/min ont des degrés de bulles moins élevés.
- les plongeurs ayant moins de 17 % de tissus gras et ceux de 17 % et plus : les sujets "gras" ont des degrés de bulles statistiquement plus élevés que les "maigres" (Ils sont aussi les plus âgés et les plus lourds).

(cf TABLEAU 24)

α	DmR	DmM	DMR	DMM
Age < 40 ans - \geq 40 ans	0,05	0,01	0,01	0,001
Poids < 75 kg - \geq 75 kg	0,01	0,001	0,001	0,001
FC ex. <120bts/min - \geq 120	0,02	0,02	0,01	0,01
% TG < 17 % - \geq 17 %	0,001	0,001	0,001	0,001

TABLEAU 24

Degré de significativité (α) des différences observées sur les degrés de bulles (DmR, DmM, DMR, DMM) entre deux groupes de sujets définis en fonction de l'âge, ou du poids, ou de la FC à l'exercice, ou du pourcentage de tissus gras.

Il semble donc que 4 facteurs biométriques interviennent sur le degré de bulles enregistré : l'âge, le poids, le pourcentage de tissus gras et la FC d'exercice. Ceci a aussi été mis en évidence par le test de student en partageant l'échantillon en deux : les sujets ayant un DMM < 2 et ceux ayant un DMM \geq 2.

Les plongeurs ayant un degré maximal au mouvement \geq 2 sont significativement plus âgés, plus lourds et plus gras. La différence au niveau de la FC ex. n'est pas significative. Ce facteur a une influence plus faible.

Le calcul de la régression linéaire à plusieurs variables donne un meilleur coefficient de régression en tenant compte de ces 4 facteurs :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4$$

$$y = \text{DMM}$$

$$x_1 = \text{âge} \quad a_1 = 0,078$$

$$x_2 = \text{poids} \quad a_2 = 0,034$$

$$x_3 = \text{FC ex.} \quad a_3 = - 0,016$$

$$x_4 = \% \text{ TG} \quad a_4 = 0,005$$

$$a_0 = - 1,76$$

$$r = 0,59$$

Aucune influence de la FC de repos, de l'IR, de la CV, du Tiff, ou de la taille sur le degré de bulles n'a été mise en évidence dans cette étude.

D'autres critères biométriques non numériques étaient susceptibles d'avoir une influence sur le degré de bulles, ce qui a été recherché de la même manière grâce au dossier médical :

- fumeurs/non fumeurs : aucune différence des degrés de bulles.
- alcool/pas d'alcool : idem
- sujets ayant des antécédents médicaux/sans antécédents médicaux : pas de différence
- sujets ayant eu un ou des accidents de plongée/sans antécédents d'accident de plongée : on observe une différence probablement significative (5 %) sur les DmM, et les DMR, mais aucune différence au niveau des DmR et DMM. L'influence de ce facteur n'est pas évidente.

Ces résultats ont été retrouvés par le test χ_2 d'indépendance entre deux caractères qualitatifs.

IV - CONCLUSION

Le contrôle Doppler des tables de décompression a permis dans cette étude en caisson sec (conditions standardisées mais non absolument semblables à celles de la plongée réelle) de mettre en évidence

l'inocuité insuffisante de certaines courbes de décompression du Décret 74.

Trois types de plongées ont été testés (25 ou 28 plongeurs par type) :

24 m -- 90 min

30 m - 80 min

51 m - 40 min

La détection Doppler des bulles intravasculaires circulantes après la décompression a été positive au mouvement dans

42,9 % \pm 9,4 pour la 24 m - 90 min

84,0 % \pm 7,3 pour la 30 m - 80 min

88,0 % \pm 6,5 pour la 51 m - 40 min

Les moyennes des degrés maximaux de bulles au mouvement étaient de

0,93 \pm 0,96 pour la 24 m

1,92 \pm 0,92 pour la 30 m

1,84 \pm 1,22 pour la 51 m

5 "accidents" ont été rapportés :

- 1 cas de "puces" et 1 bend léger après la 30 m

- 3 cas de "puces" après la 51 m

Ces résultats confirment bien que les profils de plongée ayant une longue durée et/ou une profondeur importante ont des probabilités d'accidents plus élevées.

Il semble donc nécessaire de revoir les tables de décompression pour ce type de profil de plongée afin de diminuer la probabilité d'apparition d'accident.

De plus, l'influence de facteurs biométriques tels que l'âge, le poids, le pourcentage de tissus gras sur les degrés de bulles est clairement observée, sans que le calcul ait fourni de bonnes corrélations linéaires. La bradycardie relative à l'exercice semble avoir aussi une influence sur le degré de bulles mais elle est moins nette.

CONCLUSION GENERALE

A - L'enquête médicophysiological réalisée chez les pêcheurs d'éponges tunisiens a permis de dégager les résultats suivants :

1) La pêche aux éponges en Tunisie, est une activité éprouvante pour les pêcheurs avec des normes de sécurité inexistantes ou presque. Les équipements sont succincts et aucune table de décompression n'est imposée.

2) Les pourcentages d'accidents observés sont importants : 48 % \pm 10 lors des plongées dites unitaires (intervalle 8 h), et 63 % \pm 11 lors des plongées successives. Ces accidents ont des manifestations ostéo-arto-musculaires (Bends) pour 52 % des cas, ou une manifestation générale (asthénie plus ou moins intense).

3) L'utilisation du détecteur Doppler après les plongées a permis d'établir la relation entre le degré de bulles et le pourcentage d'accidents de décompression. Cette relation est quantifiée dans cette étude par les résultats suivants :

Degré maximal de bulles au Repos	Pourcentage d'accidents %	Degré maximal de bulles au mouvement	Pourcentage d'accidents (%)
0	16,7 \pm 15,2	0	0,0 \pm 35,3
1	30,8 \pm 12,8	1	25,0 \pm 12,5
2	50,0 \pm 17,7	2	28,6 \pm 17,1
3	90,0 \pm 9,5	3	87,5 \pm 11,7
4	77,7 \pm 13,9	4	76,6 \pm 10,3

B - L'étalonnage de l'"index Doppler" (ID) a permis une surveillance plus prédictive des décompressions. La confrontation ID/accidents a montré l'intérêt, mais aussi les limites de ce mode d'exploration (*). Dans le cadre d'une enquête épidémiologique portant sur une population professionnelle assez homogène, le Doppler constitue un outil précieux.

Mais il est, pour le moment, impossible de transposer la même relation ID/accidents sur un échantillon de personnel différent et plongeant dans d'autres conditions. En effet, à la lecture de nos résultats, on a pu se rendre compte (voir ci-dessous) que les ID élevés ne correspondaient pas à un même taux d'accidents dans les deux populations qui ont fait l'objet de notre étude.

C - Les tables du décret 1974 ont été testées en centre expérimental. Trois profondeurs/durées ont été choisies à partir de l'exploitation statistique réalisée par la COMEX sur ses chantiers :

24 mètres - 90 minutes

30 " - 80 "

51 " - 40 "

1) Les degrés maximaux de bulles observés au mouvement étaient :

pour la 24 mètres $0,93 \pm 0,96$

pour la 30 mètres $1,92 \pm 0,92$

pour la 51 mètres $1,84 \pm 1,22$

(*) Il faut cependant se rappeler que le Doppler ne détecte, au niveau des artères pulmonaires, que les bulles intravasculaires circulantes d'un diamètre supérieur à 50 μ . Les bulles intratissulaires, comme celles localisées dans les grosses articulations génératrices de bends, ne sont pas détectées.

Cela explique qu'un degré faible de bulles au Doppler puisse correspondre à un pourcentage d'accidents élevé chez les pêcheurs d'éponges qui font des décompressions sans paliers ou presque, alors que le même degré est de bon pronostic chez les plongeurs qui respectent une table de décompression.

2) 5 accidents bénins ont été rapportés (4 de types "puces" et un bend) sur les 78 plongées-tests, soit $6,4 \% \pm 2,8$ d'accidents.

3) Les facteurs anthropométriques qui influencent la susceptibilité individuelle au dégazage diphasique (gaz inerte éliminé sous forme de bulles) et donc au risque pathologique semblent être :

- l'âge
- le poids
- le pourcentage de tissus gras.

D - Il semble nécessaire de réviser les tables de décompression du Décret 1974 pour les plongées de longue durée et/ou de grande profondeur. De ces plongées les trois profils étaient représentatifs car :

- 1° - D'après les statistiques de chantiers les pourcentages d'accidents y sont nettement supérieurs à ceux observés sur l'ensemble des tables.
- 2° - Les degrés de bulles enregistrés sont relativement importants et l'utilisation de l'ID doit nous permettre d'améliorer les procédures de décompression les plus discutables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

COMEX, 1975.

Rapport CORAZ IV. 300 mètres.

Contrat CNEOX/COMEX 75/1245.

COMEX, 1979.

Contrôle médicophysiological de la sécurité assurée par les tables de plongée à l'air utilisées (ou utilisables) en pratique sportive.

Contrat DGRST/COMEX 78-7-2342.

DURNIN J.V.G.A., RAHAMAN M.M., 1967.

The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness.

Brit. J. Nutr., 21, 681-689.

FRUCTUS X., SCIARLI R., 1980.

Plongée, santé-sécurité.

Editions Maritimes et d'Outre-Mer, Paris.

GARDETTE B., TERNISIEN A., 1977.

Détection ultrasonore des bulles circulantes au cours de décompressions.

Bilan 1976/1977.

Rapport interne COMEX, 2 volumes.

GARDETTE B., LE CHUITON J., SCIARLI R., FRUCTUS X., 1981.

Contrôle médicophysiological des tables de plongée à l'air.

VIIth congress of EUBS and symposium on decompression sickness, Cambridge, UK, July 1981.

GUILLELM R., MASUREL G., 1982.

La détection ultrasonore à effet Doppler de bulles circulantes.

Medsubhyp, 1 (1), 33-44.

GUILLERM R., MASUREL G., GUILLAUD C., MONIJARET J.L., 1975.

Détection ultrasonore par effet Doppler des bulles intravasculaires chez l'animal après exposition hyperbare.

Lyon Méditerr. Méd., XI, 1301.

KISMAN K., MASUREL G., GUILLERM R., 1978.

Bubble evaluation code for Doppler ultrasonic decompression data.

Undersea Biomed. Res., 5 (1, suppl.), 28.

LE CHUITON J., 1979.

Contribution à l'étude des phénomènes bullaires intravasculaires survenant en cours de décompression après plongée.

Thèse de 3^o cycle, Physiologie, Lyon.

LE FUR M., 1980.

La détection ultrasonore des bulles circulantes intravasculaires. Contrôle chez l'amateur des tables de plongée sans paliers de décompression.

Thèse de Médecine, Marseille.

LE FUR M., GARDETTE B., OHRESSER P., 1981.

Détection Doppler de bulles après plongées à l'air avec remontée sans paliers.

Reports of proceedings : EUBS VIIth annual congress and symposium on decompression sickness, Cambridge, UK, July 1981, 218-232.

MINISTERE DU TRAVAIL, 1977.

Mesures particulières de protection applicables aux scaphandriers.

Bull. officiel du Ministère du Travail (Travail-Emploi-Population), Fascicule spécial n° 74-48 bis, Edition mise à jour, Rue Desaix, Paris.

NASHIMOTO F., GOTOH Y., 1975.

Relationship between precordial Doppler ultrasound records and decompression sickness.

Vith symposium on Underwater Physiology, San Diego, Ca, 497-501.

SPENCER M.P., JOHANSON D.C., 1974.

Investigations of new principles for human decompression schedules using the Doppler ultrasonic blood bubbles detector.

Technical report, Seattle : Inst. Environ. Med. Physiol., N00014-73-C-0094, 115 p.

SPENCER M.P., JOHANSON D.C., CAMPBELL S.D., 1972.

Safe decompression with the Doppler ultrasonic blood bubbles detector. Underwater physiology V, proceedings of the Vth symposium Underwater Physiology, Ed C.J. Lambertsen, 311-325.

TANNER J.M., 1959.

The measurements of body fat in man.

Brit. J. Nutr., 18, 148-155.

VANN R.D., DICK A.P., BARRY P.D., 1982.

Doppler bubble measurement and decompression sickness.

Undersea Med. Soc. meeting, Norfolk.

A N N E X E

DOSSIER MEDICAL

b) Epreuves d'effort :

(Exercices de 30 flexions en 45 secondes)

- . Fréquence avant exercice (P) :
- . Fréquence juste après exercice (P_1) :
- . Fréquence 1 minute après exercice (P_2) :
- . Indice de Ruffier : $\left(\frac{P + P_1 + P_2 - 200}{10} \right)$

10

* Examen pulmonaire :

- . Signes fonctionnels :
- . Auscultation :
- . Fréquence respiratoire :

* Examen digestif et abdominal :

- . Signes fonctionnels
- . Heure du dernier repas :
- . Examen de l'abdomen ;
- . Hernies ? :

* Examen neurologique :

- . Motricité segmentaire
- . Tonus :
- . Coordination :
- . Symétrie :
- . Sensibilité :
- . R O T :
- . Babinski :
- . Nerfs crâniens :

- . Matériel habituel :
 - scaphandre :
 - vêtement : épaisseur (mm) :
 - lest :
- . Incidents :
- . Accidents et séquelles :
- . Prédisposition aux affections ORL après la plongée :
- . A fait de la plongée professionnelle ? :
 - ramassage de corail ? :
 - ramassage d'éponges ? :
- . Conditions d'exercice :

3 - EXAMENS CLINIQUES DE REFERENCE (AVANT PLONGEE)

* Examens biométriques et généraux :

- poids :
- taille :
- morphotype :
- pli cutané :
- sensation subjective de bonne forme :
- heure du coucher :
- heure du lever :
- activités de la veille :
- date et heure de la dernière plongée :

* Examens cardio-vasculaires :

- a) Au repos
 - . signes fonctionnels :
 - . auscultation :
 - . Fréquence cardiaque :
 - . T.A.
 - . Pouls périphériques :

* Examen labyrinthique :

- . Romberg simple :
- . Romberg sensibilisé :
- . Déviation des index :
- . Marche aveugle :
- . Nystagmus - H :
- V :
- R :

* Examen ostéo-articulaire :

- antécédents - traumatismes :
- douleurs :
- mobilité :
- déformations :

* Examen O.R.L.

- . otites barotraumatiques :
 - infectieuses :
- . audition :

	Droit		Gauche	
Valsava	+	-	+	-
C.A.E.	RAS	Anorm	RAS	Anorm

- . gorge
- . état bucco dentaire

* Autres et examens para-cliniques éventuels

E X A M E N S A P R E S P L O N G E E

NOM

Prénom

Date :

Heure

1 - TYPE DE PLONGEE :

- Profondeur maxi. atteinte : Temps de plongée :
- Données du décompressimètre (profondeur ↔ Temps) :
- Vitesse initiale de remontée :

- Paliers

Profondeur:	Durée

2 - CONDITIONS DE PLONGEE :

- Travail effectué :

- Fatigue :
 - . En plongée :
 - . Pendant les paliers :
 - . Après la remontée :

- Froid :
 - . Avant la plongée :
 - . Pendant la plongée :
 - . Après la plongée :

- Sensation subjective de bonne forme :
 - . Avant la plongée :
 - . Pendant la plongée :
 - . Après la plongée :

- Problèmes techniques :

3 - TROUBLES PENDANT LA PLONGEE

- O.R.L. : . Oreilles

. Sinus

- Essoufflement :

- Narcose :

4 - ACTIVITES APRES LA PLONGEE

Durée du repos :

- Repos après plongée ?

Qualité du repos :

- Travail après la plongée ?

Nature du travail :

Durée du travail :

5 - EXAMEN CARDIO-VASCULAIRE

- Signes fonctionnels :

auscultation :

- Fréquence cardiaque :

T.A. :

6 - EXAMEN OSTEO-ARTICULAIRE

- Bends ?

. Localisation :

. Douleurs :

. Mobilité :

- Autres accidents de décompression :

7 - AUTRES EXAMENS CLINIQUES :

- Pulmonaire
- Neurologique :
- Labyrinthique :
- O.R.L. :
- Digestif :

8 - DETECTION DOPPLER DES BULLES CIRCULANTES :

- Retour surface : Heure de l'examen Doppler :
- 1/2 heure après retour :
- 1 heure après retour :
- 2 heures après retour :
- 3 heures après retour (si taux de bulles important)

9 - AUTRES EXAMENS PARACLINIQUES EVENTUELS :