

UNIVERSITE DE LA MEDITERRANEE
FACULTE DE MEDECINE DE MARSEILLE

**La sécurité chez la femme en plongée sous-marine :
Etude prospective par la détection des bulles circulantes
et l'évaluation des apports nutritionnels**

THESE

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTE DE MEDECINE DE MARSEILLE

Le 7 Avril 2006

Par Madame BODÉRE épouse MELIN Mathilde
Née le 1^{er} Février 1977 à Quimper (Finistère)

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine
Qualification en Médecine Générale

Membres du Jury de la Thèse :

Monsieur le Professeur Jean-Marie SAINTY	Président
Monsieur le Professeur Yves JAMMES	Assesseur
Monsieur le Professeur Pierre AMBROSI	Assesseur
Monsieur le Docteur Mathieu COULANGE	Assesseur
Monsieur le Docteur Bernard GARDETTE	Assesseur

à Alex,

à nos enfants : Malo et le bébé attendu pour l'été,

Au terme de ces années d'études, je voudrais remercier tous ceux qui ont su me soutenir et m'aider dans ce travail,

A Monsieur le Professeur Jean-Marie SAINTY,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury.
Veuillez trouver ici le témoignage de ma respectueuse reconnaissance.

A Monsieur le Professeur Yves JAMMES,

Vous êtes une référence dans le domaine de la médecine hyperbare.
Recevez ici l'expression de ma respectueuse considération et mes remerciements pour avoir accepté de juger ce travail.

A Monsieur le Professeur Pierre AMBROSI,

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.
Recevez ici mes respectueux remerciements.

A Monsieur le Docteur Mathieu COULANGE,

Recevez ici l'expression de ma respectueuse considération et mes remerciements pour avoir accepté de juger ce travail.

A Monsieur le Docteur Bernard GARDETTE,

Vous m'avez fait l'honneur de diriger ce travail avec patience et haute compétence.
Recevez ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de ma très grande considération.

A Monsieur le Professeur Michel ROUX,

Vous avez aimablement réalisé les analyses statistiques de ce travail.
Recevez ici mes respectueux remerciements.

A Daniel CARTURAN,

Tu as eu la gentillesse et la patience de m'apprendre la détection des bulles circulantes.
Reçois ici l'expression de mon amitié et de ma reconnaissance.

A toutes les plongeuses qui ont gentiment accepté de participer à cette étude,

Aux enseignants et médecins qui ont croisé mon chemin et demeurent un exemple :
Mr VALICI, Mr le Professeur ROBERT, le Docteur Karl MONDON, le Docteur
Christine DOUCET, le Docteur Stéphane BURTEY, le Docteur Jean-Pierre
MARCEL...

A Francine KRAËBER et Jean GROGNAT, ainsi qu'à Jacqueline et Roger TOUS,

Vous m'avez chaleureusement accueillie quand mes parents étaient à
Tahiti, je vous en remercie très sincèrement.

A Marilyn CANTUEL, Laurent CAYATTE, et tous les amis du C.I.P Glénan, pour
leur réconfort.

A Jeannick et Jean-Pierre LE BRETON, ainsi qu'à Marie-Pierre et Jean-Michel
KERVENNIC,

Vous m'avez accueillie et soutenue avec la gentillesse qui vous
caractérise.
Je vous prie de trouver ici le témoignage de ma reconnaissance et de
mon amitié.

A mes amis carabins : Geoffroy COUHET et Olivier CÉCILLON,

A mes amies de toujours : Caroline KERVENNIC et Emilie LE BRETON,

A la famille d'Alex, en particulier mon beau-père, André MELIN,

A mes grands-parents, à ma famille,

A mes neveux et nièces : Clémence, Etienne, Jeanne et Suzanne,

A Angèle, ma filleule ; et à Pierre, mon filleul avec qui j'ai eu la joie de vivre quelques
temps,

A Ronan et Morgane, mon frère et ma sœur ; ainsi qu'à leurs conjoints Françoise et
Erwan,

A mes parents,

Recevez ici un faible témoignage de ma reconnaissance et de mon
affection.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p 8
REVUE DE LA LITTERATURE	p 11
I Bases physiques de la plongée sous-marine	p 12
1) Notions de Pressions	
2) Loi de Boyle Mariotte	
3) Loi de Dalton	
4) Loi de Henry	
5) Tables de plongée	
II Pathologies et thérapeutiques de la plongée sous-marine	p 18
1) Barotraumatismes	
2) Accidents biochimiques	
3) Accidents divers	
4) Accidents de décompression	
III Bulles et plongée sous-marine	p 30
1) La formation des bulles	
2) Détection des bulles circulantes par Doppler	
3) Facteurs de variabilité de la formation des bulles	
IV La plongée sous-marine chez les femmes	p 36
1) Données épidémiologiques	
2) Susceptibilité aux accidents de décompression	
3) Effets du cycle menstruel	
4) Influence de la contraception orale	
5) Plongée sous-marine et grossesse	
6) Plongée sous-marine et post-partum	

V Nutrition et plongée sous-marine	p 41
1) Principes diététiques en plongée	
2) Plongée et déshydratation	
3) Plongée et hypoglycémie	
4) Monoxyde d'azote et plongée	
5) Influence des protéines et des glucides	
VI Buts de notre étude	p 45
MATERIELS & METHODES	p 46
I Population étudiée	p 47
1) Caractéristiques générales	
2) Evaluation de la corpulence	
3) Cycle menstruel, contraception hormonale	
II Plongées	p 50
III Détection des bulles circulantes par enregistrement Doppler	p 51
IV Evaluation nutritionnelle	p 54
V Analyses statistiques	p 59
RESULTATS	p 61
I Influence de l'âge, de l'IMC, de la masse grasse et du niveau de plongée	p 62
II Comparaison aux hommes	p 64

III Rôle du cycle menstruel ou des traitements hormonaux	p 66
1) Rôle du cycle menstruel	
2) Rôle du traitement hormonal	
IV Effets de l'alimentation sur les bulles circulantes	p 68
V Evaluation des apports nutritionnels	p 71
DISCUSSION	p 75
I Bulles circulantes et variables individuelles chez la femme	p 76
II Effet du sexe sur les bulles circulantes en plongée	p 77
III Influence de l'alimentation sur la formation des bulles circulantes	p 78
IV Habitudes alimentaires chez les plongeuses et conseils nutritionnels	p 79
1) Habitudes alimentaires chez les plongeuses	
2) Conseils nutritionnels	
V Limites et perspectives	p 82
CONCLUSIONS	p 83
BIBLIOGRAPHIE	p 85
SERMENT D'HIPPOCRATE	p 94
RÉSUMÉ	p 95

INTRODUCTION

Grâce à la compréhension des phénomènes physiques et physiologiques relatifs à l'immersion, la plongée sous-marine peut se pratiquer depuis une centaine d'années.

Initialement réservée aux militaires, elle s'est démocratisée après la dernière guerre avec le perfectionnement du matériel de plongée et la célèbre promotion de cette activité par Jacques Yves Cousteau.

Aujourd'hui la plongée sous-marine est de plus en plus populaire. Sport « à risque » d'abord pratiqué essentiellement par les hommes, la population des plongeurs ne cesse de croître. Or la physiologie des femmes diffère de celle des hommes (proportion de masse grasse, cycles menstruels etc.), et il est possible que leur susceptibilité aux accidents de décompression soit différente de celle des hommes (Broussolle, 1992c).

Afin d'améliorer la prévention de ces accidents chez les plongeurs, il paraît donc important d'étudier la sécurité des femmes en plongée ; ce que nous avons réalisé lors de cette étude prospective à l'aide de la détection des bulles circulantes, facteurs prédictifs du risque de survenue d'accidents de décompression (Nishi, 1993b).

D'autre part, la nutrition est une science dont les domaines d'application sont de plus en plus vastes. Elle devient une préoccupation de santé publique majeure comme en témoignent les Apports Nutritionnels Conseillés (AFSSA, 2001) et le Programme National Nutrition Santé (PNNS) (Ministère des Solidarités, 2001). Elle est également impliquée dans les domaines sportifs, d'autant plus que l'activité physique est recommandée par le PNNS et l'Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization, 2004). Enfin la connaissance du sport pratiqué et des habitudes alimentaires des sportifs concernés permettent d'élaborer des conseils nutritionnels afin d'éviter les erreurs et parfois d'améliorer les performances (Guilland, 1990).

En ce qui concerne le domaine particulier de la plongée, il semble que les régimes hyperprotéinés favorisent les accidents de décompression (Evrard, 1975; Gardette et al., 2004) ; tandis que l'apport de monoxyde d'azote, dérivé de l'arginine, diminue leur risque (Wisloff et al., 2004).

Il nous a donc semblé intéressant d'associer à notre étude l'évaluation des habitudes alimentaires des plongeurs, afin d'élaborer des conseils nutritionnels adaptés à cette population et éventuellement de déterminer s'il existe une relation entre l'alimentation et le risque de survenue d'accident de décompression.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

I Bases physiques de la plongée sous-marine

II Pathologies et thérapeutiques de la plongée sous-marine

III Bulles et plongée sous-marine

IV La plongée sous-marine chez les femmes

V Nutrition et plongée sous-marine

VI Buts de notre étude

I Bases physiques de la plongée sous-marine

1) Notions de Pressions

a) Définition

Une pression P est le résultat d'une force F exercée sur une surface S : $P = F / S$

Ex : 1 bar = 1 kg / 1 cm²

b) Pression atmosphérique

Au niveau de la mer, la pression exercée par la colonne d'air est appelée pression atmosphérique, elle est égale à :

-1 atmosphère absolue (ATA)

-1,013 bar ou hPa

-1,033 kg/cm²

-760 mmHg

c) Pression hydrostatique

La pression hydrostatique ou pression relative est la pression exercée par une colonne de liquide, sous l'eau elle augmente d'un bar tous les 10 mètres.

d) Pression absolue

La pression absolue régnant à une certaine profondeur est la somme des pressions hydrostatique et atmosphérique.

Tableau 1. Pressions en fonction de la profondeur

Profondeur	Pression atmosphérique	Pression hydrostatique	Pression absolue
0 m	1 bar	0 bar	1 bar
10 m	1 bar	1 bar	2 bars
15 m	1 bar	1,5 bars	2,5 bars
20 m	1 bar	2 bars	3 bars
30 m	1 bar	3 bars	4 bars
40 m	1 bar	4 bars	5 bars

On note que la pression absolue double entre 0 et 10 mètres alors qu'elle n'augmente que de moitié entre 10 et 20 mètres.

2) Loi de Boyle Mariotte

A température constante le volume V d'un gaz est inversement proportionnel à la pression P qu'il reçoit :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T = \text{Constante}$$

Où : n = nombre de molécules de gaz

R = constante universelle des gaz (Joule/mole/Kelvin)

T = température en degré absolu (Kelvin)

Ainsi en plongée, un volume d'air de 4 litres à 40 mètres occupera un volume de 20 litres en surface.

Or, dans le cas du volume pulmonaire, comme la cage thoracique est inextensible, le volume reste constant et c'est la pression qui augmente. Si le plongeur ne peut pas expirer à la remontée, il y aura une surpression pulmonaire.

3) Loi de Dalton

Dans un mélange gazeux, la pression partielle de chaque gaz est celle qu'il exercerait s'il était seul à occuper tout le volume.

$\text{Pression partielle (Pp)} = \text{Pression absolue} \times \text{proportion du gaz dans le mélange (\%)} $
--

L'air comprend environ 20% d'oxygène (O₂) et 80% d'azote (N₂), ces gaz deviennent toxiques au delà de pressions partielles seuils.

4) Loi de Henry

A température donnée, la quantité de gaz dissout à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle du gaz au contact du liquide.

a) Notions de saturation, désaturation, sursaturation

Lors du séjour sous l'eau la pression de l'air respiré augmente, et l'azote (composant majoritaire de l'air) se dissout d'autant dans les tissus jusqu'à atteindre un état d'équilibre instable appelé *saturation*.

Puis lors de la décompression, c'est à dire à la remontée vers la surface, le phénomène s'inverse : c'est la *désaturation*.

Si la vitesse de remontée est trop rapide le gradient de pression est tel que l'azote passe alors sous forme gazeuse dans le sang et l'ensemble des tissus (Masurel, 1992), c'est la *sursaturation*.

b) Définitions des tissus et des périodes

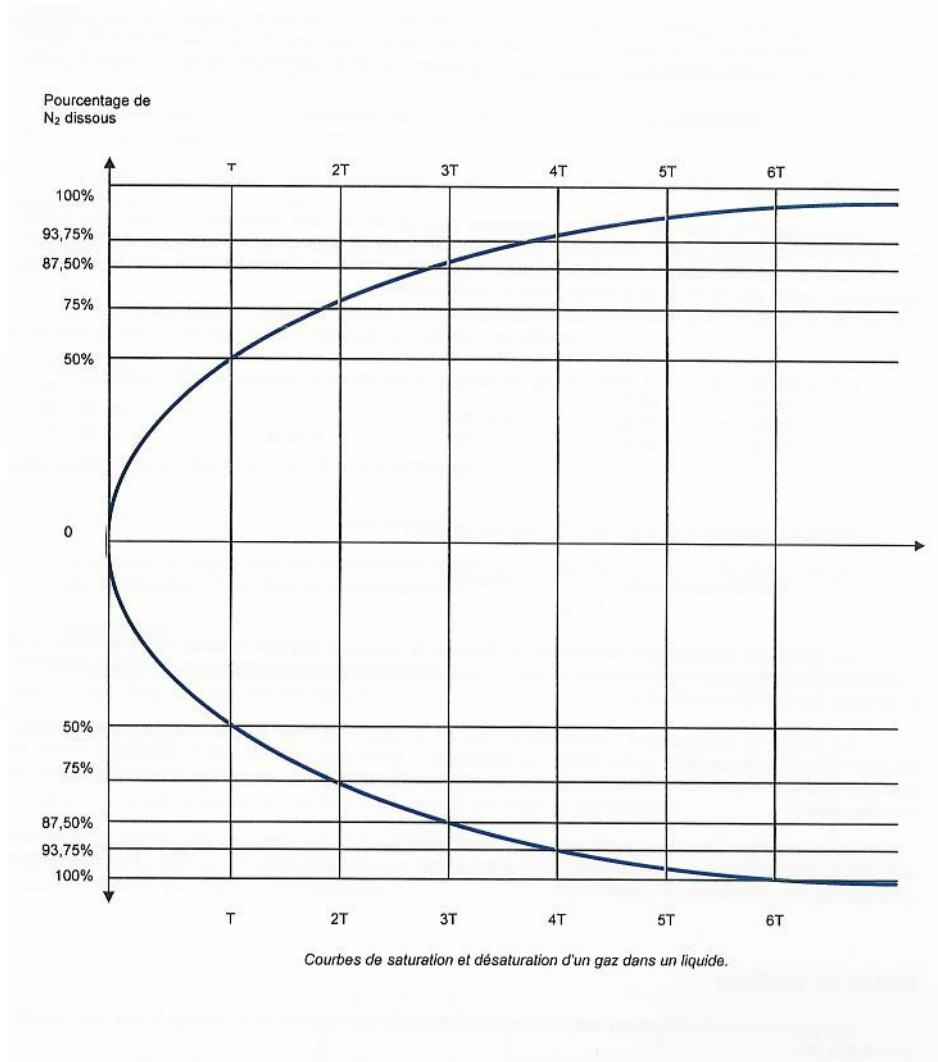
En plongée, le terme « *tissu* » ne correspond pas à sa définition histologique habituelle, mais à une notion mathématique. En effet, depuis Haldane (Boycott et al., 1908), le tissu représente un « compartiment » du corps humain, associé à une exponentielle ; ceci afin d'étudier le mécanisme de dissolution de l'azote dans le corps (Bidault, 2000).

On appelle *période T*, le temps nécessaire au gaz pour arriver à demi saturation du tissu.

Il existe ainsi des tissus de période courte tels que les muscles qui, très vascularisés, se saturent puis se désaturent rapidement en azote. Et des tissus de période plus longue comme l'os ou la graisse, moins vascularisés.

Ces notions expliquent la nécessité des tables de décompression.

Figure 1. Courbes de saturation et désaturation d'un gaz dans un liquide (Bidault, 2000)



b) Facteurs de dissolution

En pratique la dissolution des gaz dans les liquides dépend de plusieurs facteurs (Le Fur, 1980) :

- la pression absolue et les pressions partielles de chaque gaz, selon les lois de DALTON et de HENRY
- le coefficient de solubilité du gaz
- la nature du liquide

- la durée d'exposition : plus le gaz reste en contact avec un liquide, plus il s'y dissout, de façon exponentielle
- la surface de contact entre le gaz et le liquide (vascularisation des tissus)
- la température, qui reste constante chez l'homme

5) Tables de plongée

Les travaux de Paul Bert (1878) puis de John Scott Haldane (Boycott et al., 1908) ont prouvés que certains accidents de plongée étaient dus à une décompression trop rapide provoquant un dégazage de bulles d'azote dans le sang et les tissus.

Ainsi Haldane publia au début du 20^{ème} siècle les premières tables de décompression par paliers en fonction de la durée et de la profondeur de l'immersion (Corriol et Broussolle, 1992).

Depuis les tables de plongée se sont perfectionnées : tables militaires (MN 78 et MN 90), tables du ministère du travail (MT 74 et MT 92), ou tables du Ministère des pêches (Corailleurs 95).

Cependant, comme le soulignent Gardette et al. (2004), avec le développement d'Internet et l'engouement pour les plongées aux mélanges gazeux, on assiste à la publication en ligne, sans aucun contrôle, de tables non sécurisées.

II Pathologies et thérapeutiques de la plongée sous-marine

1) Barotraumatismes

Les barotraumatismes sont des accidents provoqués par les variations de pression. Ils concernent les cavités aériennes, toutes soumises à la loi de Boyle Mariotte ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T = \text{Constante}$) : poumons, oreilles, sinus, tube digestif etc. (Broussolle, 1992b).

a) Surpression pulmonaire

1-Physiopathologie

En cas de gêne ou d'obstacle à l'expiration lors de la remontée, comme la cage thoracique est inextensible, le volume pulmonaire reste constant mais la pression augmente jusqu'à la rupture alvéolaire : c'est la surpression pulmonaire (Broussolle, 1992a).

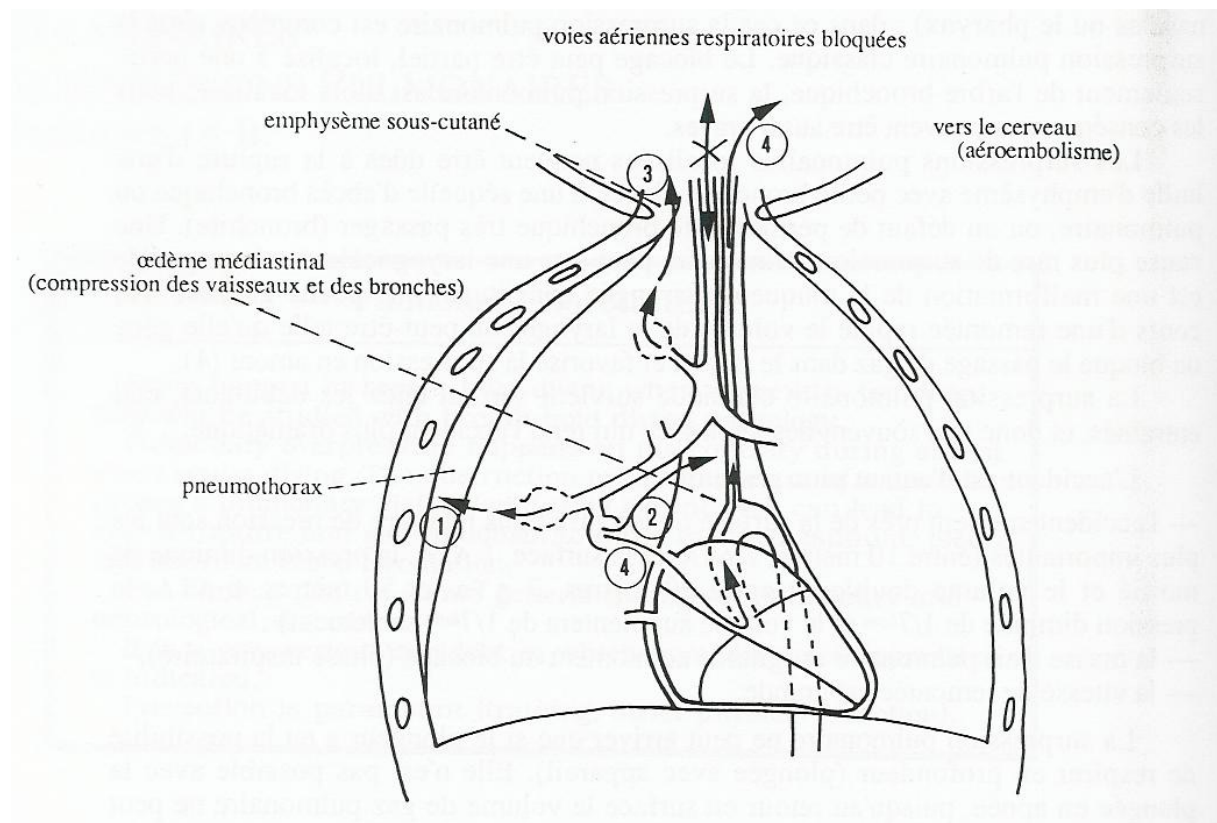
Cet accident arrive surtout aux débutants, lors d'une panique ; il est d'autant plus grave que la surface est proche (la pression va doubler entre 10 mètres et la surface) et que la vitesse de remontée est rapide.

2-Clinique

L'air peut passer vers la plèvre (pneumothorax), le médiastin (pneumomédiastin), les tissus du cou (emphysème sous cutané en pèlerine), et la circulation veineuse pulmonaire, provoquant alors un aéroembolisme cérébral (Barthélémy et al., 2002b) .

La symptomatologie est donc variée pouvant s'exprimer par des signes pulmonaires (toux, dyspnée, hémoptysie, douleur thoracique), neurologiques (déficits moteurs, crise convulsive etc.), ou généraux allant de l'asthénie au décès.

Figure 2. Devenir du gaz issu des alvéoles rompues, selon Brousolle (1992a)



3-Thérapeutique

La surpression pulmonaire est une urgence vitale qui nécessite une oxygénothérapie normobare (Barthélémy et al., 2002b). Puis, selon le bilan lésionnel, on discutera d'une oxygénothérapie hyperbare associée aux autres traitements nécessaires (drainage d'un pneumothorax, anti-convulsivants etc.).

b) Autres barotraumatismes

1-Oreille

Lors de la descente, la pression exercée sur le tympan augmente ; en l'absence de manœuvre d'équilibration des pressions comme la déglutition ou la manœuvre de Valsalva, il se produit des lésions tympaniques pouvant aller jusqu'à la perforation (dès 0,4 bar de variation de pression) (Renon et Jacquin, 1992).

Des barotraumatismes de l'oreille moyenne peuvent également se manifester par des vertiges alternobariques ou des paralysies faciales transitoires ; un traitement symptomatique et un arrêt momentané de la pratique de la plongée sont alors nécessaires (Molvaer, 2003).

Enfin, des lésions de l'oreille interne sont possibles, laissant parfois des séquelles cochléo-vestibulaires.

Le respect des règles de prudence permet d'éviter ces barotraumatismes.

2-Sinus

En cas d'obstruction nasale, l'équilibration entre les sinus et le milieu extérieur est gênée, déclenchant alors douleurs, larmoiement ou épistaxis (Renon et Jacquin, 1992). Il est donc préférable d'éviter de plonger en cas de rhinite.

3-Dents

Une fissure ou une carie dentaire laissent de l'air pénétrer dans la dent. Lors de la remontée le volume de cet air augmente, engendrant des algies dentaires voire un éclatement (Guidicelli, 1992). C'est pourquoi les plongeurs doivent régulièrement contrôler leur état bucco-dentaire.

4-Plaquage de masque

A la descente, le volume d'air contenu dans le masque diminue, provoquant un effet ventouse avec purpura pétéchial facial et parfois des hémorragies conjonctivales (Daubas et

Landes, 1992). Il s'agit d'un accident bénin pouvant être évité en soufflant par le nez dans le masque pour équilibrer les pressions.

5-Tube digestif

L'estomac et les intestins contiennent des gaz soumis aux variations de pression. Ils sont responsables de la « colique du scaphandrier » (De Saint-Julien, 1992), dilatation de l'intestin grêle et du colon, qui peut être évitée par une diététique adéquate.

En cas de remontée rapide, une rupture gastrique est possible, avec pneumopéritoine nécessitant une intervention chirurgicale en urgence.

2) Accidents biochimiques

a) Hypercapnie

L'essoufflement est fréquent en plongée sous-marine, favorisé par le froid, les efforts, ou encore les émotions. Il provoque une hypercapnie responsable de céphalées, nausées, majoration du risque d'accident de décompression par augmentation du nombre de noyaux gazeux (Hyacinthe, 1992), et peut même entraîner une perte de connaissance aux conséquences gravissimes sous l'eau.

La prévention consiste en une bonne aptitude physique, et en l'observation du comportement et du rythme respiratoire de ses compagnons de palanquée sous l'eau.

b) Narcose

Communément appelée « ivresse des profondeurs » (Cousteau, 1953), la narcose est due à l'augmentation de la pression partielle de l'azote avec la profondeur (loi de Dalton). Elle peut apparaître dès 30 mètres de profondeur, selon la susceptibilité individuelle (Bennett et Rostain, 2003), et tous les sujets sont atteints à partir de 70 mètres soit pour une pression partielle d'azote de 5,6 bars (Meliet, 2002).

Les effets narcotiques de l'azote sont variés : diminution de la dextérité, désorientation temporo-spatiale, troubles mnésiques, troubles sensitifs, hallucinations, troubles de l'humeur etc. (Bugat et Lemaire, 1992; Gillard, 1992).

Les symptômes disparaissent spontanément à la remontée mais le risque d'accident par trouble du comportement existe (continuer la descente, lâcher son détendeur etc.).

c) Intoxication à l'oxygène

La toxicité neurologique aiguë de l'oxygène ou « effet Paul Bert » (Bert, 1878), se manifeste à partir d'une pression partielle en oxygène de 1,7 bars, soit à 75 mètres de profondeur en plongée à l'air (Meliet, 2002). Tachycardie et crampes peuvent alors précéder une crise convulsive tonico-clonique généralisée (Broussolle et Courtière, 1992). Ces troubles disparaissent pendant la remontée mais il y a risque de noyade, de surpression pulmonaire etc.

d) Plongée aux mélanges

La plongée aux mélanges gazeux TRIMIX (Oxygène, Azote, Hélium) permet de plonger profond, en limitant le risque de survenue de ces accidents biochimiques (Gardette et al., 2004). Plus la plongée est profonde, plus on diminue la proportion d'oxygène dans le mélange pour limiter le risque hyperoxique ; et plus l'azote est remplacé par de l'hélium pour diminuer la narcose.

3) Accidents divers

D'autres accidents liés au milieu ambiant sont possibles en plongée :

- le froid, avec risque d'hypothermie (Lemaire et Giry, 1992)
- la faune, surtout en mer chaude (brûlures de corail de feu, piqûre de poisson pierre, morsure de requin, voire piqûre de cône mortelle) (Ehrhardt, 1992)
- la mauvaise visibilité qui favorise la désorientation
- les filets et les lignes de pêche qui peuvent devenir de véritables pièges pour les plongeurs

Afin de limiter le risque d'accident et de profiter pleinement de ce loisir, une formation pratique et théorique préalable est indispensable, ainsi que le respect de règles de sécurité et l'utilisation d'un matériel correct.

4) Accidents de décompression

Les accidents de décompression sont dus au dégagement de bulles d'azote dans le sang et les tissus lors de la remontée vers la surface. Ils peuvent être la conséquence d'une erreur de décompression (vitesse de remontée trop rapide ou non respect des paliers), ou simplement de facteurs favorisants tels que la fatigue et sont alors dits « immérités ».

Tableau 2. Facteurs de risque d'accident de décompression selon Gardette et al. (2004)

FACTEURS INDIVIDUELS	FACTEURS LIES A LA PLONGEE
1-Age (>40 ans)	1-Profondeur ou durée trop importante (plongée saturante)
2-Poids, masse grasse excessive	2-Répétitivité excessive(>2plongées/jour), profil « yoyo », altitude
3-Mauvaise forme physique	3-Vitesse de remontée >15m/min (sans palier intermédiaire)
4-Antécédents : traumatismes, maladie grave, accident de décompression, foramen ovale perméable	4-Fatigue avant la plongée (voyage, stress psychologique, déshydratation, hypoglycémie etc.)
5-Longue pratique de la plongée (>10 ans)	5-Effort, froid, stress pendant la plongée
6-Mauvaise hygiène de vie, prise de médicament, alcool, tabac, alimentation trop riche en protéines	6-Effort, fatigue après la plongée (apnée, déshydratation, hypoglycémie, choc thermique etc.)
7-Perte du conditionnement due à la non répétition des plongées (plongée précédente>3jours)	

a) Accidents de décompression type I (bénins)

1-Accidents cutanés

Ils représentent 3,5% des accidents de décompression (Francis et Mitchell, 2003a), et peuvent apparaître plus d'une heure après la sortie de plongée selon Grandjean (2002).

Ils correspondent à la formation de bulles dans les vaisseaux sous-cutanés, ou au blocage de gaz dans une zone de pression (sous la montre ou l'ordinateur de plongée par exemple).

Ces accidents cutanés se présentent sous forme de « puces », sensations prurigineuses ; ou de « moutons », éruptions maculo-papuleuses (Chateau, 1992).

2-Accidents ostéo-musculo-articulaires ou « bends »

Observés jusqu'à deux heures et demi après émergence (Grandjean, 2002), les bends sont dus à des bulles stationnaires intra articulaires, sous périostées, ou tendineuses (Powell et al., 1983). Ces zones étant particulièrement riches en nocicepteurs, les accidents ostéo-articulaires s'expriment par des douleurs.

D'après Francis (2003) on les retrouve dans 22,2% des accidents de décompression et un traitement par oxygénothérapie hyperbare sera proposé en fonction de leur gravité (Sainty et Bergmann, 2002).

b) Accidents de décompression type II (malins)

1-Accidents cochléo-vestibulaires

Représentant 12,6% des accidents de décompression (Francis et Mitchell, 2003a), ils résultent soit de l'occlusion par des bulles d'azote de la vascularisation de l'oreille interne (qui ne possède pas de suppléance anastomotique), soit de bulles extra vasculaires qui apparaissent in situ.

Ces accidents se traduisent par un syndrome vestibulaire périphérique, une hypoacousie, ou encore des acouphènes. Ils sont traités par oxygénothérapie hyperbare à

laquelle on peut associer une corticothérapie et des vasodilatateurs type nicergoline (SERMION®).

La persistance de séquelles est possible et contre indique alors la pratique de la plongée sous-marine (Barthélémy et al., 2002a).

2-Accidents neurologiques

Ces accidents gravissimes peuvent apparaître jusqu'à 24h après la plongée (Grandjean, 2002), ils représentent 40,4% des accidents de décompression et peuvent atteindre la moelle épinière ou le cerveau (Francis et Mitchell, 2003a).

2.1-Accidents médullaires

Les embolies gazeuses peuvent engendrer des accidents ischémiques médullaires dont la symptomatologie varie selon la zone lésée : paraplégie, troubles sensitifs, syndrome de la queue de cheval, syndrome d'hémisection de la moelle (Brown Sequard) etc.

2.2-Accidents cérébraux

Il arrive que des bulles passent dans la circulation artérielle soit par des shunts artério-veineux ouverts lors d'une surpression pulmonaire, soit par une communication intracardiaque telle qu'un foramen ovale perméable persistant (Moon et al., 1989; Wilmshurst et al., 1989; Vik et al., 1993; Germonpre et al., 1998). Elles sont alors responsables d'accidents vasculaires cérébraux ischémiques (Bergmann et al., 2002).

2.3-Thérapeutique

Dans tous les cas, la prise en charge pré hospitalière immédiate de ces accidents neurologiques est primordiale (Seyer, 2002a). Elle comprend les gestes élémentaires de réanimation cardio-pulmonaire si nécessaire, ainsi que de l'oxygénothérapie. En l'absence de

trouble de la conscience ou de vomissement, une réhydratation orale sera administrée, accompagnée d'une prise d'antiagrégants plaquettaires (acide acétylsalicylique).

Ces notions sont enseignées dans tous les cours théoriques de plongée, et les plongeurs confirmés reçoivent une formation aux premiers secours.

La rapidité du traitement hospitalier est un facteur pronostic important ; en plus de l'oxygénothérapie hyperbare, il comprend la réhydratation intraveineuse, une corticothérapie à visée anti-inflammatoire, un traitement symptomatique, et parfois une héparinothérapie afin de prévenir le risque thromboembolique (Seyer, 2002b). Cependant la persistance de séquelles neurologiques est fréquente.

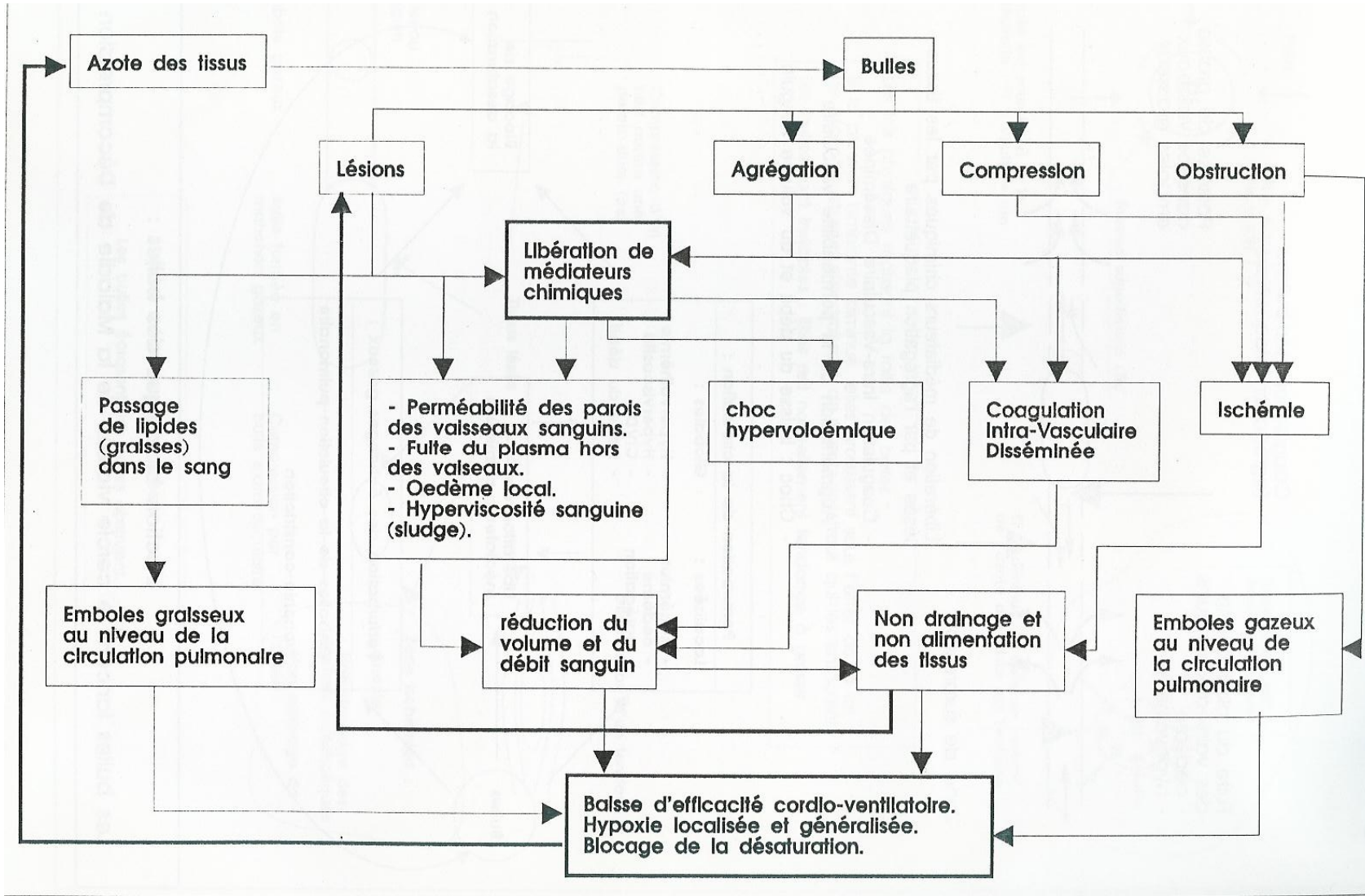
c) Maladie de décompression

En plus de ces complications mécaniques, les bulles peuvent se comporter comme des corps étrangers entraînant une cascade biochimique : la maladie de décompression (Cochard, 2005).

L'adhésion puis l'agrégation plaquettaire sur l'interface bulle-plasma vont activer la coagulation pouvant aller à l'extrême jusqu'à une CIVD (coagulation intra vasculaire disséminée). Les plaquettes et les tissus lésés vont libérer des médiateurs inflammatoires (prostaglandines, sérotonine, histamine etc.) engendrant une augmentation de la perméabilité vasculaire responsable d'une fuite plasmatique avec hémococoncentration et hypovolémie (Giry et al., 1992). On assiste également à la formation d'embolies lipidiques du fait de la grande solubilité des gaz dans les lipides comme le montre la Figure 3.

Cette maladie complexe est traitée par oxygénothérapie hyperbare à laquelle, en l'absence de consensus, on associe les traitements médicamenteux précités.

Figure 3. La maladie de décompression (Pujolle, 1993)



d) Ostéonécrose dysbarique

Cette pathologie d'évolution insidieuse a été décrite chez les constructeurs de tunnel dès 1911 (Bornstein et Plate), elle entre dans le tableau de Maladie Professionnelle N° 29, avec un délai de prise en charge de 20 ans.

Il s'agit d'une nécrose aseptique qui atteint l'os et la moelle osseuse, principalement au niveau de la hanche, de l'épaule et du genou. Elle résulte de lésions ischémiques par embolies gazeuses ou lipidiques, ainsi que de cascades biologiques identiques à celles responsables de la maladie de décompression. En effet la moelle osseuse est riche en adipocytes qui libèrent des substances d'hypercoagulabilité telles que le PAI-1 (inhibiteur de l'activateur du plasminogène).

L'ostéonécrose dysbarique est favorisée par l'obésité, la dyslipidémie, l'hypercoagulabilité, et l'alcoolisme (Jones et Neuman, 2003). Elle se manifeste par des douleurs avec impotence fonctionnelle, et le diagnostic est établi par les examens complémentaires : radiographies, scintigraphie, IRM.

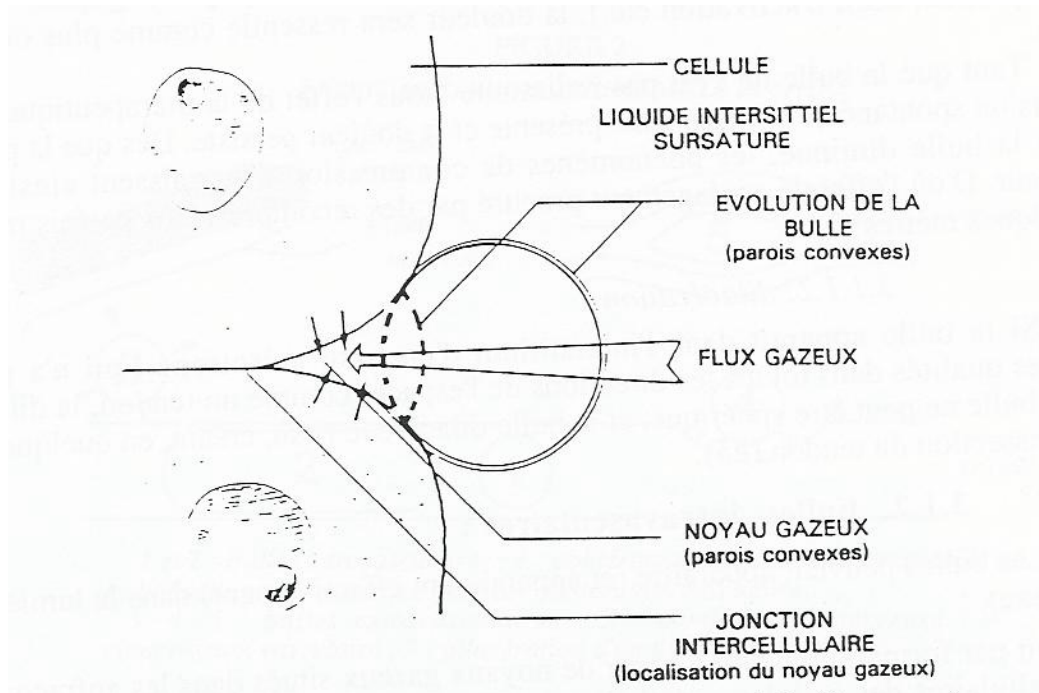
Le traitement médical par antalgiques est le plus souvent insuffisant et doit être complété par un traitement chirurgical (Elizagaray et Puech, 1992).

III Bulles et plongée sous-marine

1) La formation des bulles

Lors de la décompression, si la vitesse de remontée est trop rapide, l'azote dissout passe sous forme gazeuse et génère ainsi des bulles (Giry et al., 1992). Il est admis que ces bulles croissent à partir de noyaux gazeux préexistants (Yount, 1979; Vann et al., 1980; Van Liew, 1991) :

Figure 4. Formation d'une bulle à partir d'un noyau gazeux (Giry et al., 1992)



Selon Vann et Thalmann (1993) les bulles se forment préférentiellement au niveau de la peau, des articulations et de la moelle épinière, ainsi que dans les vaisseaux. Elles peuvent être responsables d'accidents ischémiques dont la symptomatologie varie selon leur localisation.

2) Détection des bulles circulantes par Doppler

a) Principes

L'effet Doppler appliqué aux ultrasons permet de détecter les bulles se déplaçant dans la circulation sanguine. Il existe deux types d'appareils (Nishi, 1993b) :

-le doppler continu qui possède un émetteur et un récepteur permettant la transmission ininterrompue des échos des bulles.

-le doppler pulsé dont la sonde est alternativement émettrice puis réceptrice.

La détection des bulles circulantes chez l'homme se pratique depuis 1968 (Spencer et Campbell) ; elle s'effectue par voie transcutanée, préférentiellement dans la région précordiale, en plaçant la sonde sur le 3^{ème} espace intercostal gauche, orientée vers l'infundibulum pulmonaire. Il est également possible de rechercher des bulles dans d'autres sites tels que la veine cave inférieure ou la veine sub clavière (Nishi et al., 2003).

L'appareil permet de détecter des bulles circulantes à partir d'un diamètre de 50 microns (Hills et Butler, 1981), il est relié à un casque permettant d'écouter le signal reçu, et à un système d'enregistrement. Le passage d'une bulle en regard de la sonde se traduit par un chuintement qui se superpose au bruit de fond de la circulation sanguine. La détection des bulles par la technique du Doppler nécessite ainsi un opérateur entraîné afin d'analyser les différents sons et d'éviter les bruits parasites tels que ceux des valves cardiaques. Les bulles peuvent apparaître jusqu'à une heure après la fin de la plongée, il faut donc effectuer des enregistrements itératifs.

Il existe deux échelles de classification des bulles en fonction de leur nombre et de leur fréquence par rapport aux cycles cardiaques : le code de Spencer (Spencer et Johanson, 1974) que nous avons utilisé dans notre étude, et celui de Kisman et Masurel (Kisman et al., 1978) qui est dérivé du premier.

Tableau 3. Code de Spencer

Degré de bulle	Code de Spencer
0	Absence totale de signal de bulle.
I	Un signal de bulle occasionnel.
II	Moins de la moitié des cycles cardiaques contient des signaux de bulles, isolé ou en groupe.
III	La majorité des cycles cardiaques contient des signaux de bulles, mais les bruits du flux sanguin sont toujours audibles.
IV	Des signaux de bulles sont présents à chaque systole et diastole, masquant le bruit de fond cardiaque.

b) Relation entre bulles circulantes et accidents de décompression

Les bulles circulantes étant à l'origine des accidents de décompression, de nombreuses études ont recherché une relation entre ces deux variables (Neuman et al., 1976; Spencer, 1976; Gardette, 1979; Powell et al., 1983; Eatock, 1984; Nishi, 1993a). Si la corrélation entre le degré de bulles détecté et la probabilité de survenue d'un accident de décompression est discutable, tous ces travaux montrent qu'en l'absence de bulle, le risque d'accident de décompression est très faible.

D'autre part Nishi a observé en 1993 (1993a) que les hauts degrés de bulles étaient significativement associés à un risque élevé d'accident de décompression ; l'activité des bulles circulantes peut donc être considérée comme un indicateur de la sécurité de la décompression, d'autant plus que leur détection par le Doppler est une technique sensible (peu de faux négatifs) :

Un profil d'immersion qui ne produit pas de bulle est ainsi sécurisé, tandis que la détection de hauts degrés de bulles en sortie de plongée doit faire modifier les procédures de décompression.

c) Avantages et inconvénients

La détection des bulles circulantes par le Doppler est une technique fiable, simple, rapide, non invasive, et relativement peu onéreuse (un appareil vaut environ 1500 Euros). Elle peut être effectuée sur un bateau de plongée, dès la sortie de l'eau.

Cependant c'est une méthode opérateur dépendante qui nécessite une bonne formation et beaucoup de concentration. Des essais d'analyse automatique par ordinateur se sont avérés peu fiables (Nishi et al., 2003), et l'analyse auditive humaine du signal reste indispensable.

L'utilisation de l'imagerie par échocardiographie transthoracique permet également de détecter les embolies gazeuses ; utilisée seule elle est toutefois moins précise que la détection par Doppler (Boussuges et al., 1998), mais l'association des deux techniques s'avère particulièrement fiable (Boussuges et al., 1999). Néanmoins cette méthode reste évidemment cher et trop encombrante pour être utilisée sur le terrain.

3) Facteurs de variabilité de la formation des bulles

a) Variables individuelles

La formation des bulles circulantes dépend de plusieurs variables :

-elle varie selon la susceptibilité inter individuelle : il existe des « bulleurs » et des « non bulleurs » (Spencer, 1976; Vann et Thalmann, 1993).

-elle fluctue également chez un même sujet selon des variables intra individuelles (fatigue, stress etc.) (Masurel, 1987).

-elle augmente avec l'âge, l'index de masse corporelle ou IMC et le pourcentage de masse grasse (Carturan et al., 1999; Conkin et al., 2003).

-elle diminue quand l'aptitude physique évaluée par la VO² Max (capacité maximale aérobie) augmente (Carturan et al., 2000, et 2002).

-l'incidence du sexe est encore mal connue : pour quelques auteurs il n'exerce aucun effet sur la formation des bulles circulantes (Conkin et al., 2003; Hagberg et Ornhagen, 2003), pour d'autres les hommes y sont plus sujets que les femmes (Dixon et al., 1988; Dunford et al., 2002), tandis que certains rapportent une plus grande sensibilité féminine aux bulles (Bangasser, 1979; Bassett, 1980a).

b) Vitesse de remontée

D'après Carturan et al. (2000 et 2002) une vitesse de remontée lente réduit les bulles circulantes en permettant leur élimination progressive par le filtre pulmonaire : des plongeurs effectuant une immersion de 25 minutes à 35 mètres ont produit moins de bulles lorsqu'ils sont remontés à 9m/minute qu'à 17m/minute.

c) Plongées fréquentes

Selon Dunford et al. (2002), il existe un effet d'adaptation et les embolies sont plus rarement détectés après une plongée quotidienne répétée pendant plusieurs jours.

Cependant ces auteurs soulignent l'effet délétère des plongées successives (i.e. effectuées dans un délai de 8 à 24 heures), qui majorent la formation des bulles circulantes.

Ainsi, les moniteurs de plongée et les plongeurs qui effectuent des croisières axées sur ce sport, devraient être particulièrement prudents car ils plongent plusieurs fois par jour.

d) Exercice

La pratique d'un exercice aérobie tel qu'un footing 2 à 24 heures avant une plongée réduit le risque de formation de bulles gazeuses (Dujic et al., 2004; Wisloff et al., 2004; Blatteau et al., 2005). Il en est de même lorsque les plongeurs effectuent un exercice modéré lors de la décompression (Jankowski et al., 2004; Dujic et al., 2005).

e) Monoxyde d'azote

Le NO ou monoxyde d'azote, est plus connu dans le monde médical sous le nom d'EDRF (Endothelium Derived Relaxing Factor). Il a des propriétés vasodilatatrices et antiagrégantes plaquettaires (Palmer et al., 1987). Ainsi, il diminue l'adhésion des noyaux gazeux à l'endothélium vasculaire et l'administration de NO avant la plongée prévient la formation des bulles circulantes (Wisloff et al., 2004).

Il est possible que l'effet préventif de l'exercice précédent la plongée soit dû à la production de NO (Wisloff et al., 2003).

IV La plongée sous-marine chez les femmes

1) Données épidémiologiques

Le nombre de femmes pratiquant la plongée sous-marine augmente régulièrement : En 1970 elles représentaient 5% des plongeurs aux Etats Unis (Broussolle, 1992c) ; 30 ans plus tard leur proportion était estimée à près de 35% (PADI, 2000). En France, la Fédération Française d'études et de sports sous-marins (FFESSM) évalue la population des plongeurs à 30% des adeptes de ce sport en 2005.

Or les tables de plongées actuellement utilisées sont des tables militaires (MN 90, US Navy). Elles ont été calculées pour des hommes jeunes et sportifs, et on peut se demander si elles sont également applicables aux femmes dont la physiologie est différente.

2) Susceptibilité aux accidents de décompression

Plusieurs études ont essayé de mettre en évidence l'influence du sexe sur les accidents de décompression, leurs résultats étant contradictoires.

a) Les femmes seraient plus sensibles que les hommes

D'après plusieurs auteurs (Bassett, 1973; Bangasser, 1979; Bassett, 1980b; Dixon et al., 1988; Weien et Baumgartner, 1990; Gustavsson et Hulcrantz, 1999), les femmes feraient

plus d'accidents de décompression que les hommes, sans doute à cause de leur plus forte proportion de masse grasse dans laquelle l'azote est très soluble.

On remarque toutefois qu'il s'agit surtout d'études rétrospectives dont les biais sont nombreux.

b) Les hommes seraient plus sensibles que les femmes

Dans une étude rétrospective concernant 2250 plongeurs dont 47% de femmes, StLeger Dowse et al. (2002) ont estimé que les hommes avaient un risque d'accident de décompression 2,6 fois supérieur à celui des femmes.

Howland et al. (1996), ainsi que Brown et Gaitanaru (2003) ont confirmé cette tendance qu'ils attribuent au comportement masculin plus risqué.

D'autre part, Dunford et al. (2002) ont effectué des détections de bulles circulantes chez des plongeurs, mettant en évidence une hausse de 20% de hauts degrés de bulles chez les hommes par rapport aux femmes.

Cette étude montre cependant un effet délétère de l'âge supérieur chez les plongeuses : le taux de hauts degrés de bulles détectées augmente de 55% chez les femmes quand elles vieillissent, contre 25% pour les hommes.

c) Pas de différence hommes-femmes

Deux études réalisées en altitude (Walligora et al., 1989; Wirjosemito et al., 1989) n'ont pas permis de mettre en évidence des différences d'incidence d'accident de décompression liées au sexe.

Hagberg et Ornhagen (2003) ont effectué une étude rétrospective portant sur 1742 plongeurs dont 13% de femmes. Ils ont ainsi analysé 190 cas d'accidents de décompression sans pouvoir mettre en évidence de différence significative liée au sexe.

Les résultats de Webb et al. (2003) sont plus mitigés. Cette étude prospective en caisson de décompression n'a pas montré de différence liée au sexe concernant les symptômes d'accidents de décompression, mais a permis de retrouver d'avantage de bulles circulantes chez les hommes (69,3% vs 55%).

Enfin, les accidents de décompression traités au caisson de l'hôpital Sainte Marguerite à Marseille concernent 25% de femmes et 75% d'hommes, ce qui n'est pas statistiquement significatif compte tenu de la répartition de la population des plongeurs (Coulange, 2005).

Il est donc difficile d'affirmer un lien entre le risque d'accident de décompression et le sexe des plongeurs. D'autres études, si possible prospectives et sur le terrain, semblent nécessaires.

3) Effets du cycle menstruel

Une des explications à l'absence de lien entre sexe et accidents de décompression pourrait concerner les effets du cycle menstruel chez la femme.

Plusieurs auteurs (Rudge, 1990; Dunford, 1992) ont en effet affirmé que les femmes étaient plus sensibles aux accidents de décompression lorsqu'elles plongeaient pendant leurs règles, mais leurs études présentaient des biais méthodologiques.

L'analyse des questionnaires de l'étude de Lee et al. (2003), et l'étude prospective de Webb et al. (2003) ont mis en évidence une plus grande proportion d'accident de décompression la première semaine du cycle menstruel, suivie d'une décroissance jusqu'à la

troisième semaine. Cependant on peut regretter cette séparation arbitraire du cycle en quatre semaines, sans tenir compte des variations hormonales qui distinguent trois phases : la phase folliculaire, la phase ovulatoire et la phase lutéale (Young, 2000).

Enfin, les femmes ménopausées ne paraissent pas plus sensibles aux accidents de décompression d'après Kenneth et Kizer (1981).

4) Influence de la contraception orale

Les femmes utilisant une contraception orale semblent présenter un risque d'accident de décompression égal aux femmes ne prenant pas la pilule (Bangasser, 1979; Bove, 2003; Lee et al., 2003).

Cependant, la prise d'une contraception orale pourrait modifier la répartition des accidents de décompression sur le cycle menstruel :

-Lee et al. (2003) ont montré que, si on tient compte de l'âge, les accidents de décompression sont plus fréquents en deuxième partie de cycle chez les utilisatrices de pilule.

-de même, l'étude de Webb et al. (2003) a mis en évidence une augmentation des accidents de décompression en deuxième partie de cycle en cas de contraception orale (59,6% vs 31,1%).

Néanmoins, ces études sont limitées par la difficulté du recueil de l'information (cycle et contraception sont « tabous » pour beaucoup de femmes). De plus, on peut leur reprocher de ne pas faire la distinction entre les différentes pilules (minidosées, triphasiques etc.), ainsi que les autres contraceptifs hormonaux (patchs, implants, dispositif intra utérin hormonal).

5) Plongée sous-marine et grossesse

Tous les auteurs considèrent la grossesse comme une contre indication à la plongée (Bolton, 1980; Kenneth et Kizer, 1981; Camporesi, 1996; Gustavsson et Hulcrantz, 1999; Morales et al., 1999; Bonnin et al., 2003).

En effet, le placenta réalise les échanges gazeux à la place du filtre pulmonaire, et il peut moins bien filtrer les bulles selon le stade de la grossesse. De plus, le fœtus possède naturellement des shunts droits gauches comme le foramen ovale, des accidents bulleux systémiques sont donc théoriquement possibles.

Des études animales ont montré un risque tératogène en cas d'accidents de décompression (Broussolle, 1992c), et Bolton (1980) a mis en évidence plus de malformations chez les femmes qui continuaient la plongée pendant leur grossesse .

Enfin, il est possible que la pratique de la plongée sous-marine pendant la grossesse favorise les décollements placentaires (Broussolle, 1992c; Bonnin et al., 2003).

La plongée doit donc être évitée pendant la grossesse, et même en cas de désir de grossesse (Morales et al., 1999). En effet, beaucoup de plongées sont effectuées lors de grossesses insoupçonnées et leur innocuité ne peut être affirmée. Dans une telle situation, une surveillance clinique accrue doit être recommandée (Camporesi, 1996).

6) Plongée sous-marine et post-partum

Les obstétriciens recommandent d'éviter les bains pendant le premier mois du post-partum, il en est donc de même pour la natation et la plongée. Cependant, il est préférable de reprendre les activités sportives après l'examen post natal (dans les huit semaines qui suivent l'accouchement), voire après la rééducation abdomino pelvienne éventuellement nécessaire. (Dessard et Pierre, 1999).

Nous n'avons pas trouvé de référence concernant l'allaitement et la plongée, Néanmoins, divers témoignages recueillis indiquent que l'allaitement est compatible avec la plongée sous-marine lorsqu'il est vraiment bien instauré (au moins depuis six semaines).

V Nutrition et plongée sous-marine

1) Principes diététiques en plongée

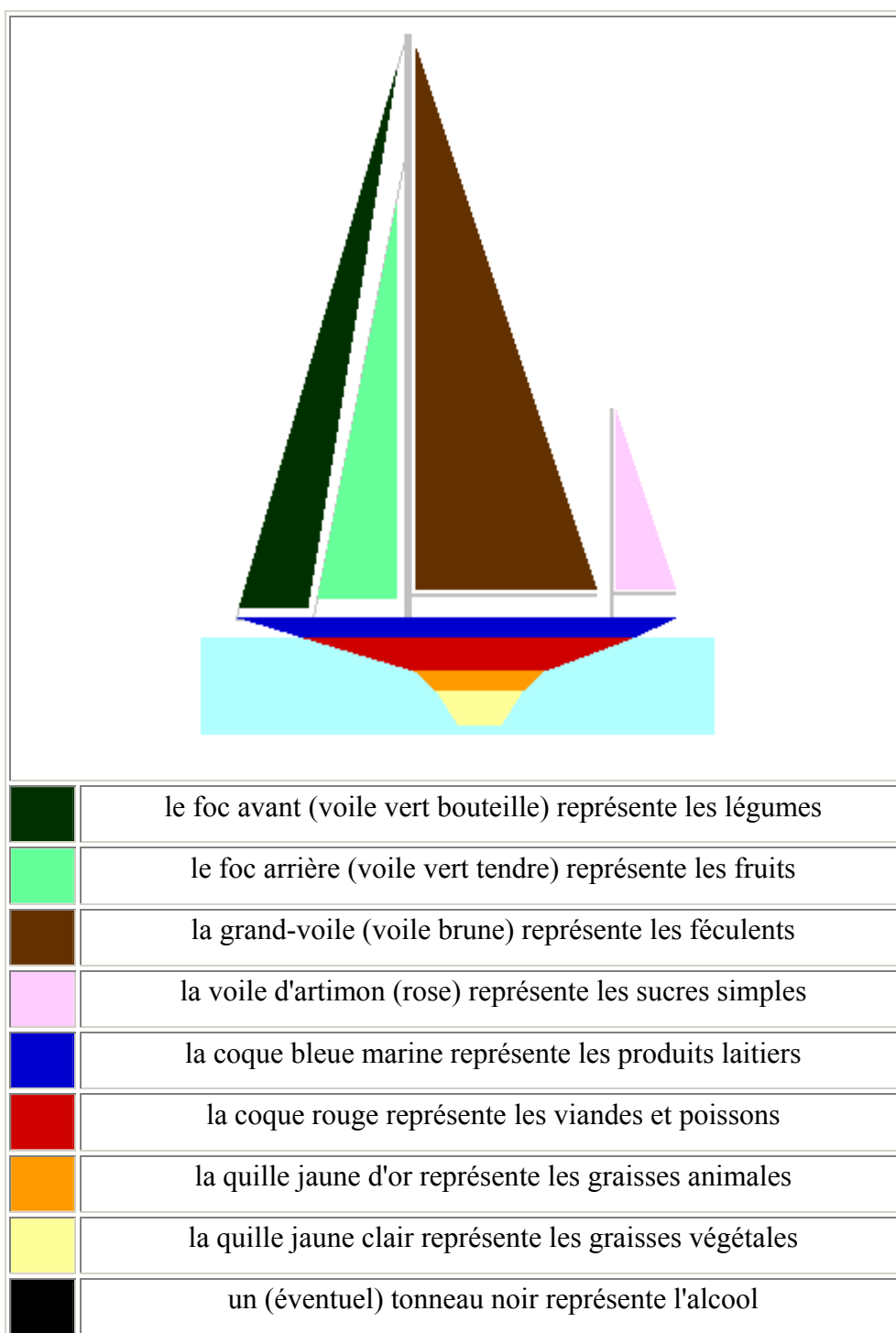
La pratique de toute activité physique, incluant la plongée sous-marine, fait partie d'un principe d'hygiène de vie, au même titre qu'une alimentation équilibrée (Ministère des Solidarités, 2001; World Health Organization, 2004).

Ainsi, une bonne alimentation doit répondre à la règle du 421 (Creff, 1979) :

- 4 portions de glucides (une crudité, une portion d'aliments cuits, un farineux et un sucre d'index glycémique élevé)
- 2 portions de protides (un produit lacté et un non lacté)
- 1 portion de lipides

Une diététique équilibrée peut également correspondre au bateau alimentaire de référence de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA, 2005b) : les différentes parties de ce navire représentent de façon proportionnelle les apports nutritionnels conseillés (ANC) pour les différentes catégories d'aliments.

Figure 5. Le bateau alimentaire de référence (AFSSA, 2005b)



De plus, de bonnes habitudes alimentaires peuvent améliorer les performances sportives et éviter les contre-performances (Guilland, 1990).

Ainsi, en plongée, obésité et dyslipidémie semblent augmenter les risques d'accident de décompression et d'ostéonécrose dysbarique (Francis et Mitchell, 2003b; Jones et Neuman, 2003). Une alimentation saine et pauvre en cholestérol devrait donc être recommandée.

De même, afin d'éviter les barotraumatismes gastro-intestinaux, il est conseillé, avant la plongée, d'éviter les boissons gazeuses et les aliments dont la digestion produit des gaz fermentescibles (De Saint-Julien, 1992).

2) Plongée et déshydratation

La déshydratation en plongée est considérée comme un facteur de risque d'accident de décompression (Trape, 2005).

Elle est fréquente et ses causes sont multiples (Tabah, 2005) :

- exposition au soleil sur le bateau avant la mise à l'eau
- apport hydrique limité avant la plongée par crainte du besoin mictionnel sous l'eau
- pertes hydriques par respiration buccale d'un air déshydraté
- effet diurétique de l'immersion (Courtiere et Broussolle, 1992) et du froid

Afin de prévenir le déficit hydrique, il est recommandé de boire de l'eau avant et après l'immersion (Bares, 1992), sans attendre le mécanisme de la soif qui n'intervient qu'à partir de 2% de déshydratation (Trape, 2005).

3) Plongée et hypoglycémie

La plongée est un sport qui nécessite concentration et attention. Un simple malaise hypoglycémique peut s'avérer dramatique sous l'eau, c'est le glycogène hépatique qui sert à maintenir la glycémie à l'effort (Trape, 2005).

4) Monoxyde d'azote et plongée

Le monoxyde d'azote (NO) ou EDRF, est synthétisé par une NO-synthase dans les cellules endothéliales à partir de L-Arginine (Palmer et al., 1988). Il a des propriétés vasodilatatrices et antiagrégantes plaquettaires (Palmer et al., 1987).

On sait qu'une alimentation riche en arginine (arachide, noisettes etc.) permet d'augmenter la synthèse de NO (Guilhermet, 1996). Or il a récemment été démontré que le NO prévient la formation des bulles responsables des accidents de décompression (Wisloff et al., 2004).

On pourrait donc penser qu'une alimentation riche en arginine permettrait de réduire la quantité de bulles circulantes au décours de la plongée. Mais il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude sur ce sujet.

5) Influence des protéines et des glucides

Selon Evrard (1975), la fréquence et la gravité des accidents de décompression cutanés augmenteraient en cas de régime hyperprotéiné, alors que leur tolérance serait améliorée par un régime riche en glucides. On remarque cependant qu'aucune étude prospective n'a été réalisée dans ce domaine.

VI Buts de notre étude

Au vu de ces différents aspects théoriques, il nous a semblé nécessaire d'évaluer la susceptibilité des femmes aux bulles circulantes en plongée sous-marine, afin de :

- vérifier l'influence de l'âge, du niveau de plongée, et de la masse grasse
- comparer la susceptibilité féminine aux bulles à celle des hommes
- déterminer le rôle incertain du cycle menstruel ou d'un traitement hormonal
- rechercher un effet éventuel de l'alimentation (protéines, arginine etc.)

Nous avons également décidé d'évaluer les habitudes alimentaires des plongeuses, pour pouvoir élaborer des conseils nutritionnels adaptés à cette population.

MATERIELS & METHODES

I Population étudiée

II Plongées

III Détection des bulles circulantes par enregistrement Doppler

IV Evaluation nutritionnelle

V Analyses statistiques

I Population étudiée

1) Caractéristiques générales

18 plongeuses ont participé à notre étude, toutes volontaires et intéressées par le sujet :

- âge : de 22 à 53 ans (âge moyen=36,8 ± 8,5 ans)
- poids : de 46,5 à 72 kg (poids moyen=57,5 ± 7,1 kg)
- taille : de 1,55 à 1,76 m (taille moyenne =1,65 ± 0,6 m)
- niveau de plongée FFESSM : du niveau 2 en cours de formation, au monitorat fédéral 1^{er} niveau (niveau 3 en moyenne)

Ces femmes possédaient toutes un certificat médical récent de non contre indication à la plongée (obligatoire dans le club de plongée fréquenté). Néanmoins, par un interrogatoire succinct, nous avons recherché les antécédents ou traitements notables :

- 5 femmes décrivaient des allergies cutanées ou respiratoires, non traitées.
- 7 avaient subi des interventions chirurgicales courantes (appendicectomie, amygdalectomie etc.)
- 1 seule avait déjà présenté un accident de décompression cutané bénin
- 1 avait eu une péritonite
- 1 portait une prothèse de jambe suite à un accident de la voie publique
- 1 présentait un syndrome de Raynaud peu invalidant
- 2 femmes étaient des tabagiques actives (10 et 20 paquets années)
- 1 prenait régulièrement de la fluoxétine, et une autre des anti-arthrosiques

Toutes ces femmes pratiquaient quotidiennement au moins l'équivalent de 30 minutes de marche rapide, comme le recommande le PNNS (Ministère des Solidarités, 2001).

2) Evaluation de la corpulence

a) Indice de masse corporelle

L'indice de masse corporelle (IMC) ou indice de Quetelet est la référence actuelle pour évaluer la corpulence (World Health Organization, 1998) :

$$\boxed{\text{IMC} = P / T^2}$$

- P=poids en kg
- T=taille en mètre
- IMC=kg/m²

La valeur normale de l'IMC est comprise entre 18,5 et 24,9 (Collet-Ribbing, 2001). Nous l'avons calculé pour chaque plongeuse, et avons obtenu des valeurs comprises entre 18 et 24,9 (IMC moyen=21,2 ± 2,1kg/m²).

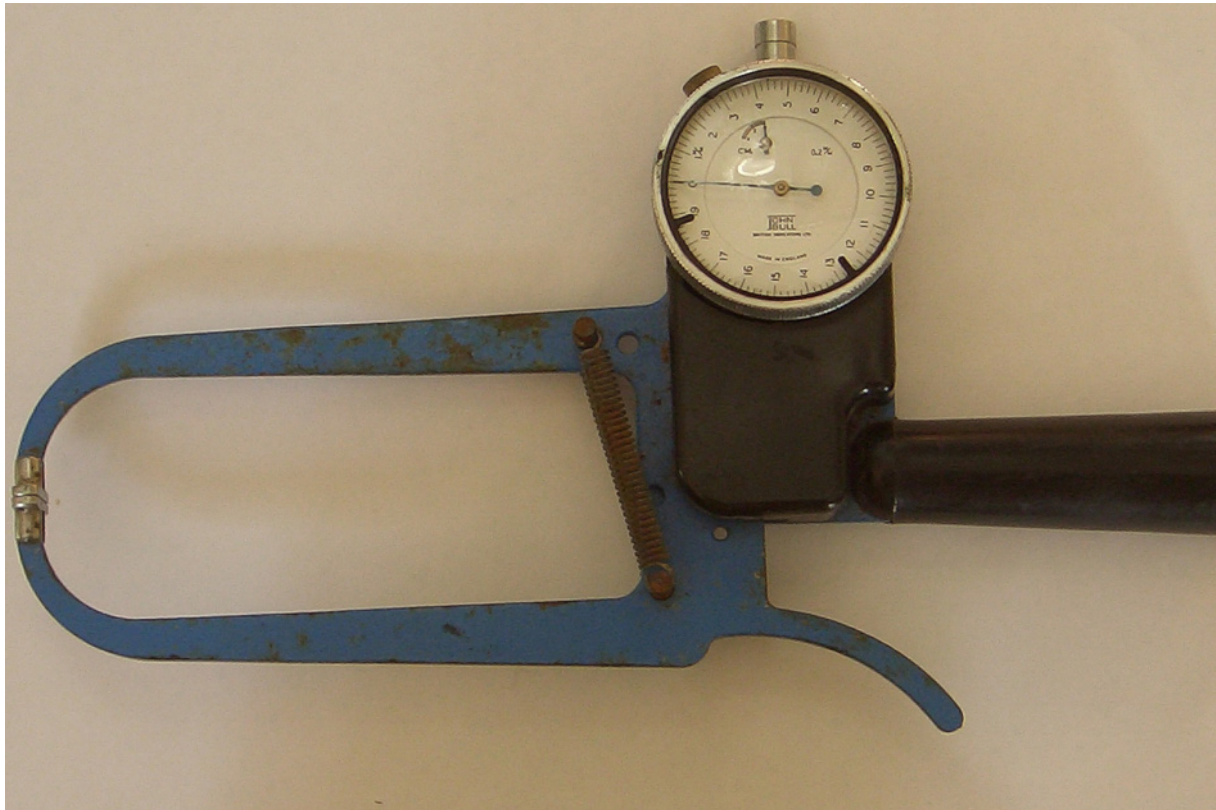
b) Epaisseur des plis cutanés

La proportion de masse grasse d'un individu peut être évaluée à partir de la mesure de l'épaisseur du pli cutané en quatre sites : bicipital, tricipital, sous-scapulaire, et supra iliaque (Durnin et Womersley, 1974). La somme de ces quatre plis cutanés est intégrée à un tableau qui détermine alors le pourcentage de masse grasse de l'individu selon son sexe.

Bien que cette méthode anthropométrique soit moins précise que l'impédancemétrie bioélectrique (Heitmann, 1990), elle a l'avantage d'être simple et robuste (Vermorel et al., 2001).

Ainsi, nous avons, à l'aide d'une pince à pli cutané (Figure 6), évalué la proportion de masse grasse de notre échantillon de plongeuses à 22,5% ± 3,1.

Figure 6. Pince à pli cutané



3) Cycle menstruel, contraception hormonale

a) Cycle menstruel

La durée moyenne du cycle menstruel étant de 28 jours (Young, 2000), nous avons distingué trois phases physiologiques, selon la date des dernières règles, de la manière suivante :

- phase folliculaire : du 1^{er} au 12^{ème} jour
- phase ovulatoire : du 13^{ème} au 15^{ème} jour
- phase lutéale : du 16^{ème} au dernier jour du cycle

Les femmes participant à notre étude ont toutes accepté de nous indiquer la date de leurs dernières règles, avec plus ou moins de précision, et parfois quelques réticences.

Nous avons obtenu la répartition suivante :

- phase folliculaire : 8 femmes
- phase ovulatoire : 1 femme
- phase lutéale : 6 femmes

Deux plongeuses utilisant un dispositif intra utérin hormonal, avec aménorrhée secondaire, n'ont pas pu répondre. Une femme était ménopausée.

b) Contraception hormonale

11 femmes utilisaient un traitement hormonal contraceptif : 2 par dispositif intra utérin hormonal, et 9 par contraception orale.

Les plongeuses qui prenaient la pilule ne connaissaient pas toutes son nom ou son type. Nous n'avons donc pas fait de distinction entre les différents dosages hormonaux des contraceptifs.

La femme ménopausée ne suivait pas de traitement hormonal substitutif.

II Plongées

Les plongées nécessaires à notre étude ont été effectuées entre le 1^{er} Mai et le 12 Novembre 2005, dans la baie de Marseille, au sein du club « Plaisirs de la mer » (<http://plmclam.free.fr/>).

Afin d'obtenir des données comparables à celle de Carturan et al. (1999, 2000, et 2002), nous avons effectué des profils de plongée similaires à ceux de leurs travaux :

- descente à 35 mètres
- balade entre 34 et 36 mètres, sans exercice particulier (palmage simple)
- fin de la plongée après 25 minutes d'immersion, incluant le temps de la descente
- remontée entre 9 et 15 mètres/minute
- paliers effectués en fonction des recommandations d'un ordinateur de plongée « Aladin pro » (Uwatec, Suisse), soit environ 5 minutes à 6 mètres et 10 minutes à 3 mètres.

Hormis une plongée dans une eau à 13°C, la température était comprise entre 19 et 23°C en surface. Les plongeuses étaient toutes équipées de combinaisons adaptées et aucune ne s'est plainte du froid.

Aucune femme n'avait plongé pendant les deux jours précédents.

III Détection des bulles circulantes par enregistrement Doppler

Les détections des bulles circulantes ont été réalisées à l'aide d'un doppler continu (Aqualab System, France) (Figure 7), équipé d'une sonde de 5 MHz. Cet appareil peut être relié à un système d'enregistrement par cassette analogique.

Figure 7. Appareil Doppler

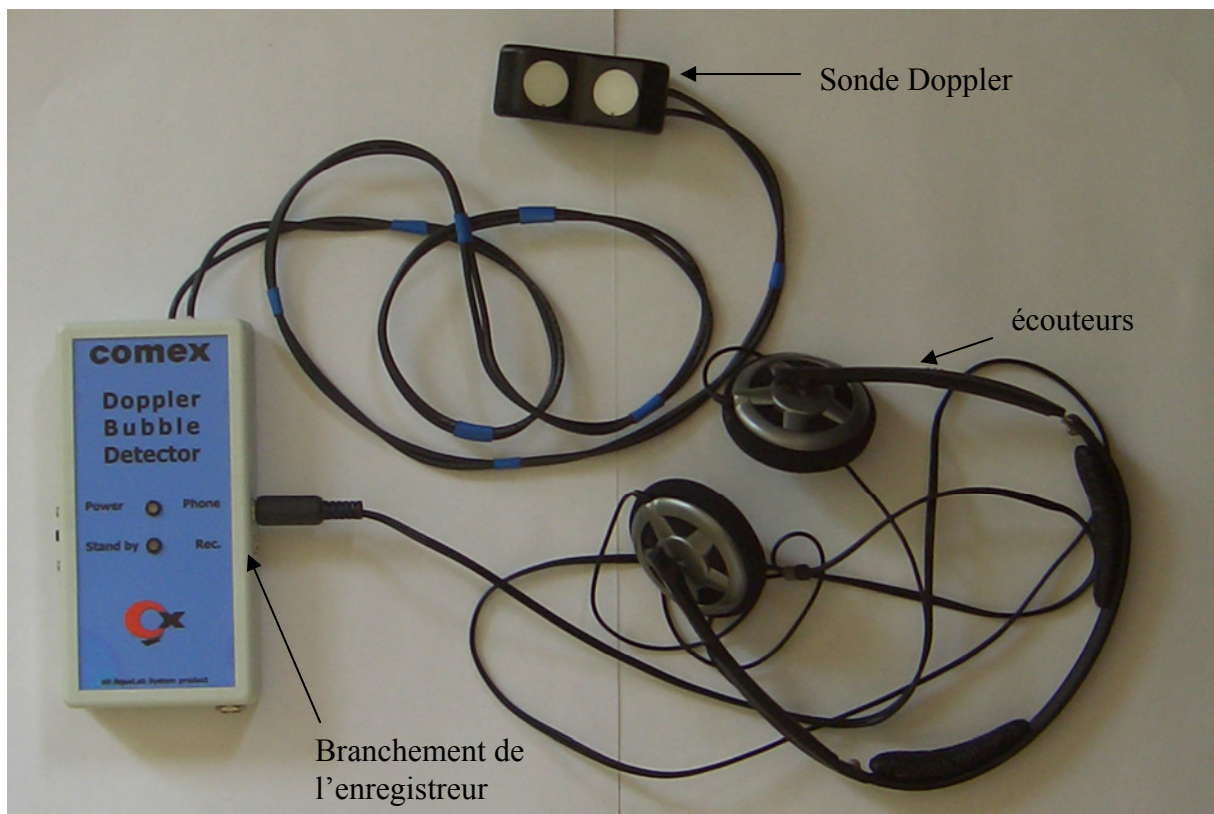


Figure 8. Détection des bulles circulantes



Nous avons effectué ces détections dans la région précordiale, selon la technique précédemment décrite en page 31. Afin d'améliorer le signal perçu, les femmes se plaçaient en décubitus latéral gauche (Figure 8).

Un enregistrement de référence était systématiquement réalisé avant l'immersion. Puis une détection de bulles avait lieu toutes les dix minutes, pendant une heure après la plongée (six enregistrements de deux minutes, respectivement à 10, 20, 30, 40, 50, et 60 minutes après la plongée).

Quelques enregistrements de référence et à 60 minutes ont été effectués à terre, mais la majorité des détections a eu lieu à bord des bateaux de plongée, suffisamment spacieux (Figure 9).

Figure 9. Un des bateaux de plongée



Les femmes de notre étude n'ont pas fait d'effort particulier après la plongée, néanmoins elles ont réalisé les gestes physiques habituels des plongeurs : remonter à bord, se déséquiper, ranger le matériel de plongée etc. C'est pourquoi nous n'avons pas effectué de détections de bulles après des mouvements de genoux, contrairement aux protocoles souvent utilisés dans les caissons hyperbares où les sujets sont réellement au repos (Nishi et al., 2003).

Les enregistrements ont été réalisés par deux opérateurs formés à cette technique. Ils ont tous été analysés par un chercheur expérimenté (dix ans de détections de bulles), qui les a côtés selon le code de Spencer, sur une échelle de 0 à 4 (Spencer et Johanson, 1974).

IV Evaluation nutritionnelle

L'évaluation des apports nutritionnels des plongeuses a été effectuée par un questionnaire établi à partir du logiciel du site internet de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA, 2005a). Il s'agit d'une autoévaluation, selon le modèle du bateau alimentaire de l'AFSSA (Annexe 1).

Annexe 1. Questionnaire d'évaluation nutritionnelle auprès de femmes pratiquant la plongée sportive

Merci de bien vouloir répondre à ce questionnaire (5 minutes) afin :

-d'évaluer vos habitudes alimentaires

-éventuellement de déterminer si il existe une relation entre l'alimentation et le risque d'accident de décompression

NOM :

PRENOM :

AGE :

POIDS:

TAILLE:

NIVEAU DE PLONGEE :

COORDONNEES :

1) vous consommez des légumes (hors légumes secs) = légumes cuits, crudités, soupes :

jamais

1 fois par semaine

2 fois par semaine

3 fois par semaine

4 fois par semaine

5 fois par semaine

6 fois par semaine

7 fois par semaine

8 fois par semaine

9 fois par semaine

10 fois par semaine

1 fois tous les 2 jours

1 fois par jour

2 fois par jour

3 fois par jour

4 fois par jour

2) vous consommez des fruits :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

3) vous consommez des féculents (pâtes, riz, pommes de terre, légumes secs, céréales) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

4) vous consommez du pain ou des biscottes :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

5) vous consommez des plats composés (quiches, pizza, tartes salées) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

6) vous consommez des produits sucrés (confiture, miel, confiseries, chocolat, glaces) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

7) vous consommez des produits laitiers (fromages, yaourts, produits laitiers frais, lait) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

8) vous consommez des poissons et viandes (poissons, volailles, jambon, charcuterie, viande, œufs) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

9) vous consommez des graisses animales (cuisine au beurre, beurre...) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

10) vous consommez des graisses végétales (cuisine à l'huile, margarine, vinaigrette...) :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

11) vous consommez des sodas :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

12) vous consommez de l'alcool :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> jamais | <input type="checkbox"/> 8 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 1 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 9 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 2 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 10 fois par semaine |
| <input type="checkbox"/> 3 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois tous les 2 jours |
| <input type="checkbox"/> 4 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 1 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 5 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 2 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 6 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 3 fois par jour |
| <input type="checkbox"/> 7 fois par semaine | <input type="checkbox"/> 4 fois par jour |

13) vous consommez souvent des noix, noisettes ou arachides :

- oui
 non

14) quelle quantité de boissons buvez vous par jour ?

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 litre | <input type="checkbox"/> 2 litres |
| <input type="checkbox"/> 1,5 litres | <input type="checkbox"/> 2,5 litres |

15) changez vous vos habitudes alimentaires les jours de plongée ?
si oui de quelle façon (nourriture, boissons...) ?

V Analyses statistiques

La population des plongeuses a été divisée en deux parties selon les détections de bulles effectuées :

- d'une part les plongeuses avec faibles degrés de bulles (i.e. présentant uniquement des degrés 0 ou 1), appelées *plongeuses faiblement bulleuses*.
- d'autre part les plongeuses avec hauts degrés de bulles (i.e. présentant au moins un degré 2, 3 ou 4), appelées *plongeuses fortement bulleuses*.

Les données ont ensuite été analysées par le service de biomathématique et d'informatique médicale du Professeur Michel Roux, à la faculté de médecine de Marseille, à l'aide du logiciel Excel (Microsoft, USA, 2002).

Les relations entre les degrés de bulles et les variables quantitatives (âge, IMC, masse grasse, niveau de plongée et consommation des différentes catégories d'aliments) ont été analysées par des tests de Student.

Les relations entre les degrés de bulles et les variables qualitatives (sexe, phase du cycle menstruel, traitement hormonal, consommation d'arginine), ont été étudiées par des tests de Chi deux, puis confirmées par des tests de Fischer.

Les valeurs moyennes, assorties de leur déviation standard, sont présentées pour chaque paramètre étudié.

Le risque statistique α retenu comme significatif est de 5% ($p < 0.05$), indiqué par le symbole ‡, ou 10% ($p < 0.1$), indiqué par le symbole †.

Les questionnaires d'auto évaluation nutritionnels ont été dépouillés un à un et leurs réponses intégrées à l'algorithme de l'AFSSA (AFSSA, 2005a) permettant d'obtenir une représentation personnalisée des différentes catégories d'aliments ingérés.

Les proportions des apports énergétiques totaux ainsi obtenues ont été intégrées dans un tableau construit avec la fonction de programmation linéaire ASCII du logiciel Excel (Microsoft, USA, 2002). Ce tableau a permis la comparaison des différentes catégories d'aliments ingérés par les plongeuses aux apports nutritionnels conseillés.

RESULTATS

I Influence de l'âge, de l'IMC, de la masse grasse et du niveau de plongée

II Comparaison aux hommes

III Rôle du cycle menstruel ou des traitements hormonaux

IV Effets de l'alimentation sur les bulles circulantes

V Evaluation des apports nutritionnels

I Influence de l'âge, de l'IMC, de la masse grasse et du niveau de plongée

Les valeurs de l'âge, de l'IMC et de la masse grasse, ainsi que le niveau de plongée de chaque plongeuse sont indiquées dans le Tableau 5.

Aucune différence significative n'est montrée entre le groupe des plongeuses faiblement bulleuses et le groupe fortement bulleuses pour ces variables (Tableau 4).

Tableau 4. Influence des variables individuelles sur les deux catégories de plongeuses (tests de Student)

Catégorie de « bulleuses »	Age	IMC (Kg/m ²)	Masse grasse (%)	Niveau de plongée
Faiblement bulleuses	35,6 ± 9,89	20,85 ± 2,33	22,56 ± 3,23	3,1 ± 1,29
Fortement bulleuses	38,25 ± 6,65	21,64 ± 1,68	22,47 ± 3,1	2,87 ± 0,99
Test de Student	p = 0,5262	p = 0,4363	p = 0,9557	p = 0,6896

A noter l'absence de bulle circulante chez la plongeuse ayant déjà eu un accident de décompression cutané bénin (plongeuse numéro 9, uniquement des degrés 0 de bulles).

Tableau 5. Degrés de bulles et variables individuelles chez les plongeuses

Num ^{ro}	D ^{tection} 10'	D ^{tection} 20'	D ^{tection} 30'	D ^{tection} 40'	D ^{tection} 50'	D ^{tection} 60'	Cat ^{gorie} de "bulleuse"	% ^{ge}	poids (Kg)	taille (m)	IMC	mg (%)	niveau
1	0	0	0	0	0	0	Faible	28	72	1,7	24,91	28,4	5
2	0	0	0	0	0	0	Faible	28	52,5	1,67	18,82	22,2	3
3	0	0	0	0	0	0	Faible	41	60	1,62	22,86	24,5	3
4	0	0	0	1	0	0	Faible	49	50	1,55	20,81	21,4	5
5	0	0	0	0	0	0	Faible	22	50	1,56	20,55	25,4	3
6	0	0	0	0	0	0	Faible	33	52,5	1,67	18,93	17,9	1
7	2	3	3	2	1	0	Forte	50	59	1,71	20,18	20	5
8	3	3	3	3	3	2	Forte	38	65	1,69	22,76	23	3
9	0	0	0	0	0	0	Faible	31	70,5	1,74	23,28	23,6	4
10	2	2	3	3	3	2	Forte	39	60	1,7	20,76	17,3	2
11	1	0	3	3	3	2	Forte	39	62	1,64	23,05	23,6	3
12	0	0	0	0	0	0	Faible	31	46,5	1,59	18,39	21	2
13	0	0	1	0	0	0	Faible	40	56	1,76	18,08	18	2
14	0	0	0	0	0	0	Faible	53	56	1,6	21,87	23,2	3
15	0	1	2	2	1	0	Forte	35	53	1,63	19,95	22,6	3
16	0	2	3	3	1	0	Forte	35	60	1,6	23,43	27,5	3
17	3	3	2	2	2	1	Forte	27	60	1,6	23,43	24,8	2
18	0	2	2	1	0	0	Forte	43	50	1,6	19,53	21	2
Moyennes ± DS								36,78 ± 8,48	57,5 ± 7,06	1,65 ± 0,06	21,2 ± 2,05	22,52 ± 3,08	3 ± 1,14

Note : Les niveaux de plongée ont été calculés comme suit : niveau 1 (débutant) = 1 point ; niveau 2 (autonome) = 2 points ; niveau 3 (confirmé) = 3 points ; niveau 4 (expert) = 4 points ; MF1 (moniteur) = 5 points.

II Comparaison aux hommes

Nous avons comparé les résultats des détections de bulles de notre population à des détections réalisées chez 50 hommes, ayant suivi le même protocole expérimental (Carturan et al., 1999, 2000, et 2002).

Les détections de bulles de cette population masculine sont présentées dans le Tableau 7. Nous avons également distingué deux groupes, selon les mêmes critères : faiblement et fortement bulleurs.

L'analyse des différences entre les plongeuses et les plongeurs est présentée dans le Tableau 6 et la Figure 10. Elle indique que les femmes produisent moins de bulles circulantes que les hommes ($p < 0,1$).

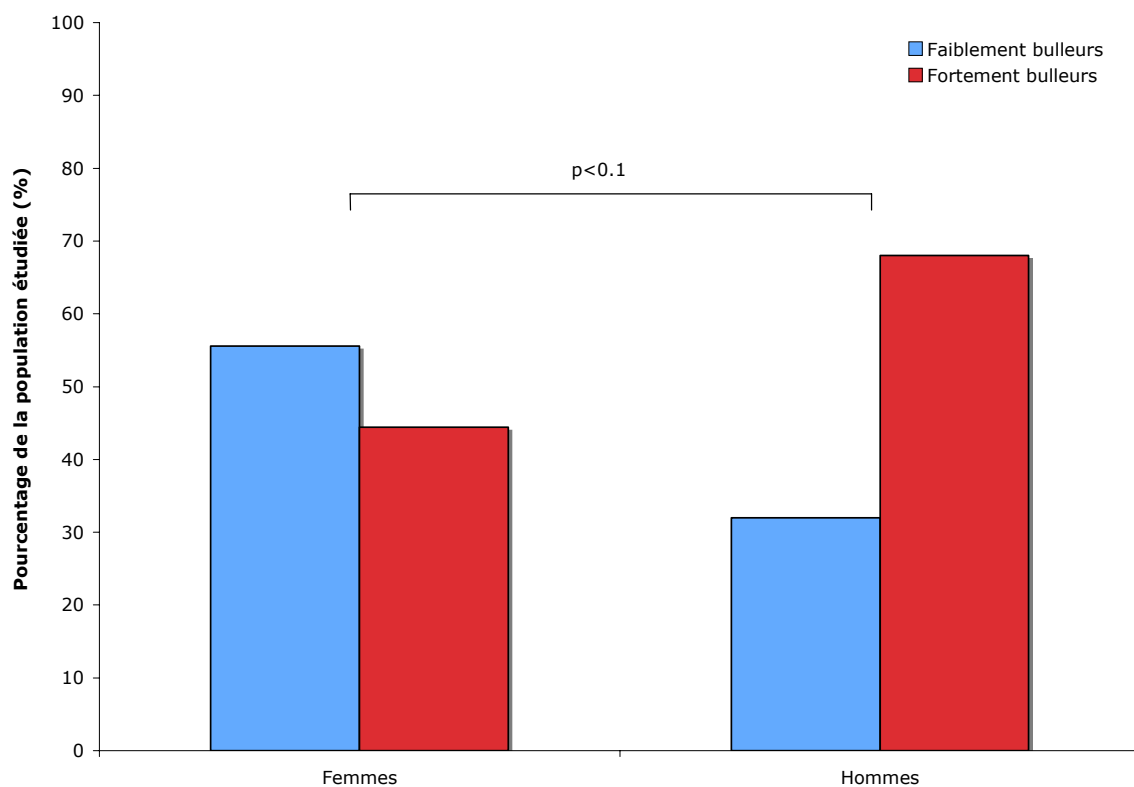
Tableau 6. Effectifs et différences entre les femmes et les hommes

Catégorie de « bulleurs »	Femmes (n)	Hommes (n)
Faibles	10	16
Forts	8	34
Test de Chi2, confirmé par test de Fischer	$p = 0,0953$ †	

Tableau 7. Degrés de bulles chez les plongeurs (données issues de Carturan et al., 1999, 2000, et 2002, avec l'autorisation des auteurs)

Num ^{ro}	%ge	IMC	mg (%)	D ^{tection} 10'	D ^{tection} 20'	D ^{tection} 30'	D ^{tection} 40'	D ^{tection} 50'	D ^{tection} 60'	Cat ^{gorie} de "bulleur"
1	46	24,7	18,1	0	0	2	1	1	1	Fort
2	31	20,74	14,1	0	0	1	2	1	0	Fort
3	22	29,4	20,6	0	1	1	2	1	0	Fort
4	36	23,2	12,4	0	2	3	3	2	1	Fort
5	44	24,2	17,7	2	3	3	3	3	3	Fort
6	33	30,4	21,1	3	4	4	4	4	3	Fort
7	27	21,1	11,6	0	0	0	0	0	0	Faible
8	37	25,34	13,2	2	3	3	3	1	0	Fort
9	46	22	11,8	2	3	3	3	3	2	Fort
10	30	33,22	24,9	0	0	2	1	1	0	Fort
11	37	23,1	11,5	0	0	1	1	0	0	Faible
12	49	22,8	15,3	1	1	1	1	0	0	Faible
13	25	26,5	14	0	0	1	1	0	0	Faible
14	30	28,4	18,9	0	0	1	1	1	0	Faible
15	32	25,8	18,3	0	0	1	0	0	0	Faible
16	48	28,1	18,7	2	3	3	3	3	2	Fort
17	30	28,1	20,2	1	2	3	3	3	2	Fort
18	36	23,4	12,8	1	1	3	3	2	1	Fort
19	42	31,9	22	3	3	3	4	3	3	Fort
20	47	23,4	12,6	0	0	1	1	0	0	Faible
21	49	29,8	16,6	3	3	3	3	3	3	Fort
22	33	26,2	19	1	2	2	2	1	0	Fort
23	39	24,4	18,3	3	3	3	3	3	3	Fort
24	49	25,59	19	2	3	3	3	2	1	Fort
25	46	25,3	18,5	1	2	2	3	3	3	Fort
26	38	29,05	20	0	0	1	1	0	0	Faible
27	43	24,3	17	1	1	1	1	1	0	Faible
28	43	28,4	19,6	2	2	2	1	1	0	Fort
29	42	25,42	22	2	3	3	3	2	2	Fort
30	45	23,4	17,5	0	1	1	1	0	0	Faible
31	32	25,7	19,4	0	1	2	2	0	0	Fort
32	26	18,25	10	0	0	0	0	0	0	Faible
33	26	17,7	23,6	0	0	0	0	0	0	Faible
34	27	23,2	11,5	0	0	0	0	0	0	Faible
35	34	21,7	11,9	2	1	1	0	1	0	Fort
36	34	25,8	22,4	3	4	4	4	4	3	Fort
37	42	24,7	17,9	0	0	2	1	0	2	Fort
38	31	24,4	15,2	0	1	2	2	1	0	Fort
39	42	26,04	19,7	3	3	3	3	2	2	Fort
40	50	25,75	15,5	3	3	3	3	3	2	Fort
41	30	21,46	9	0	0	0	0	0	0	Faible
42	56	23,09	15,2	3	3	3	3	3	2	Fort
43	40	23,04	9	2	3	3	3	3	3	Fort
44	46	22,34	12,7	2	1	2	3	2	0	Fort
45	40	29,22	18	1	2	3	2	2	2	Fort
46	32	22,6	13,5	0	0	1	0	0	0	Faible
47	62	24,45	13,9	2	3	3	4	3	2	Fort
48	51	21,8	16,7	0	3	3	3	3	2	Fort
49	54	24,61	14,9	0	3	3	3	2	2	Fort
50	31	27,51	17	0	0	0	0	0	0	Faible
Moyennes ± DS	38,8 ± 9	25 ± 3,2	16,5 ± 3,9							

Figure 10. Relation entre les bulles détectées et le sexe



III Rôle du cycle menstruel ou des traitements hormonaux

1) Rôle du cycle menstruel

La distribution des trois phases du cycle menstruel des deux catégories de plongeuses est indiquée dans le Tableau 8. Elle ne présente pas de différence significative.

Tableau 8. Répartition des plongeuses selon le cycle menstruel

Catégorie de « bulleuses »	Phase folliculaire	Phase ovulatoire	Phase lutéale
	(n)	(n)	(n)
Faiblement bulleuses	3	1	4
Fortement bulleuses	5	0	2
Test de Chi 2, confirmé par test de Fischer		p = 0,4452	

2) Rôle du traitement hormonal

La répartition des plongeuses selon la prise ou non d'un traitement hormonal (pilule contraceptive, stérilet hormonal), est présentée dans le Tableau 9. Aucune différence significative n'est observée entre ces deux sous populations.

Tableau 9. Recherche d'un effet du traitement hormonal contraceptif

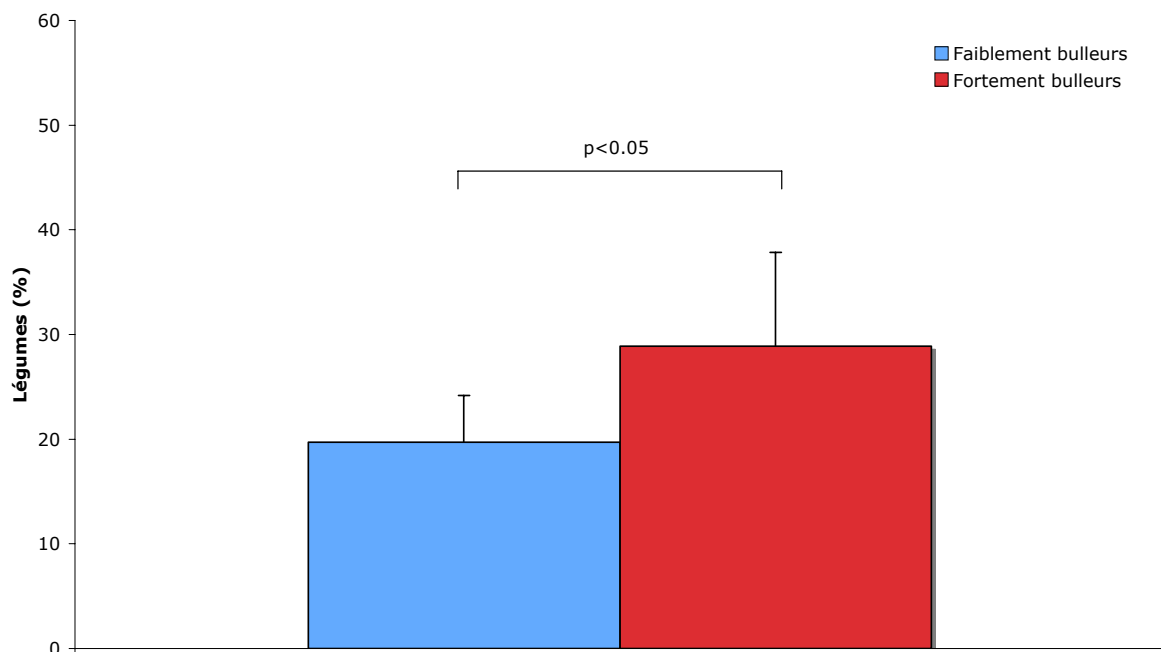
Catégorie de « bulleuses »	Sans traitement hormonal	Avec traitement hormonal
	(n)	(n)
Faiblement bulleuses	3	7
Fortement bulleuses	4	4
Test de Chi 2, confirmé par test de Fischer		p = 0,6305

IV Effets de l'alimentation sur les bulles circulantes

Le Tableau 10 indique la répartition des apports alimentaires des deux catégories de plongeuses, exprimés en pourcentage des apports énergétiques totaux (AET).

On observe une différence significative des bulles circulantes selon la consommation de légumes ($p < 0.05$) et selon la consommation de produits laitiers ($p < 0.1$) (Figures 11 et 12).

Figure 11. Relation entre la consommation de légumes et les bulles circulantes chez les plongeuses



Les plongeuses fortement bulleuses consomment davantage de légumes que les faiblement bulleuses (Figure 11).

Par contre ces femmes chez qui on détecte plus de bulles consomment moins de produits laitiers (Figure12).

Figure 12. Relation entre la consommation de produits laitiers et les bulles circulantes chez les plongeurs

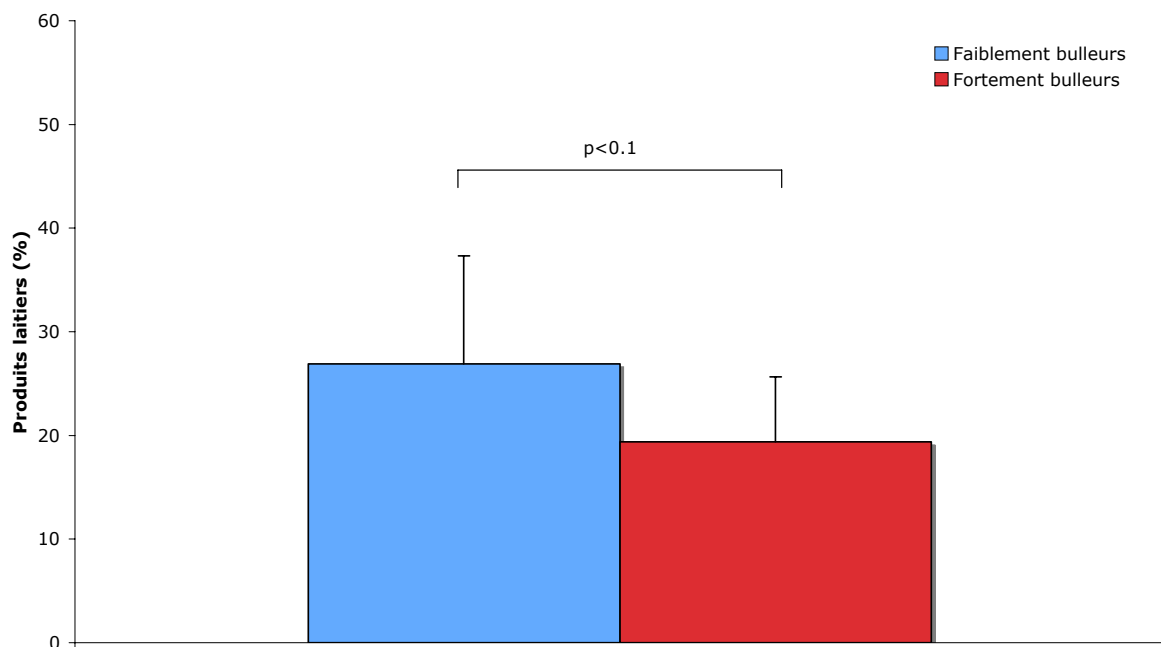


Tableau 10. Apports alimentaires des plongeuses et bulles circulantes

Catégorie de « bulleuses »	Légumes (% AET)	Fruits (% AET)	Féculents (% AET)	Produits sucrés (% AET)	Produits laitiers (% AET)	Viande, poisson ou œuf (% AET)	Eau (litres)
Faiblement bulleuses	19,7 ± 4,47	10,8 ± 5,59	20,8 ± 10,23	3,4 ± 2,72	26,9 ± 10,41	15,6 ± 7,68	1,55 ± 0,49
Fortement bulleuses	28,87 ± 8,97	11,62 ± 6,95	20,87 ± 7,92	2,25 ± 1,16	19,37 ± 6,3	14,12 ± 5,05	1,75 ± 0,53
Test de Student	p = 0,0118 ‡	p = 0,7834	p = 0,9866	p = 0,2821	p = 0,0919 †	p = 0,6468	p = 0,4239

Le Tableau 11 représente la consommation d'aliments riches en arginine chez les plongeuses. Les effectifs sont faibles et aucune différence significative n'est mise en évidence.

Tableau 11. Arginine et bulles circulantes

Catégorie de « bulleuses »	Alimentation pauvre en arginine (n)	Alimentation riche en arginine (n)
Faiblement bulleuses	6	2
Fortement bulleuses	8	2
Test de Chi 2	Chi 2=0,0643<2,706 (p>0,1)	

V Evaluation des apports nutritionnels

Le Tableau 12 représente les apports nutritionnels chez 18 femmes pratiquant la plongée sous-marine sportive, exprimés en pourcentage des apports énergétiques totaux.

Parmi elles 10 plongeuses (55,5%) modifient leurs habitudes alimentaires les jours de plongée :

- elles augmentent leurs consommations d'eau et de féculents
- elles évitent les légumes secs et les boissons gazeuses

Les déviations standards sont faibles, la répartition des apports nutritionnels chez les plongeuses est relativement homogène (Tableau 12).

Les Figures 13 et 14 permettent la comparaison des habitudes alimentaires des plongeuses aux apports nutritionnels conseillés (ANC).

Tableau 12. Apports nutritionnels chez 18 femmes pratiquant la plongée sous-marine sportive

Num ^o	l ['] gumes	fruits	f ['] culents	produits sucr ['] s	produits laitiers	viande, poisson,	graisses animales	graisses v ['] g ['] tales	eau (l)	alcool (verre/semaine)
1	25	18	12	2	27	14	1	1	2	3
2	13	9	24	3	15	31	3	2	2	2
3	22	5	17	1	32	19	1	3	1	4
4	25	4	8	1	35	22	2	3	1	3
5	22	10	7	5	47	8	0	1	2	1
6	20	8	26	4	27	13	1	1	1	1
7	44	16	8	4	16	10	1	1	2	0
8	42	8	19	2	9	19	0	1	1	1
9	21	22	21	1	15	18	1	1	1,5	1
10	28	10	13	1	30	13	1	4	2,5	2
11	22	24	19	2	24	7	1	1	2	0
12	20	13	32	4	14	17	0	0	2	1
13	12	8	39	3	25	10	1	2	2	2
14	17	11	22	10	32	4	0	4	1	0
15	23	5	29	4	17	20	1	1	1	2
16	24	2	32	1	17	20	2	2	1,5	4
17	26	13	24	2	19	14	1	1	2	2
18	22	15	23	2	23	10	2	3	2	2
Moyennes \pm DS	23,8 \pm 8,1	11,2 \pm 6,1	20,8 \pm 9,0	2,9 \pm 2,2	23,6 \pm 9,4	14,9 \pm 6,5	1,1 \pm 0,8	1,8 \pm 1,2	1,6 \pm 0,5	1,7 \pm 1,2
ANC	17	15	45	5	7	7	2	2	2	0

Figure 13. Comparaison des apports nutritionnels des plongeurs aux apports nutritionnels conseillés

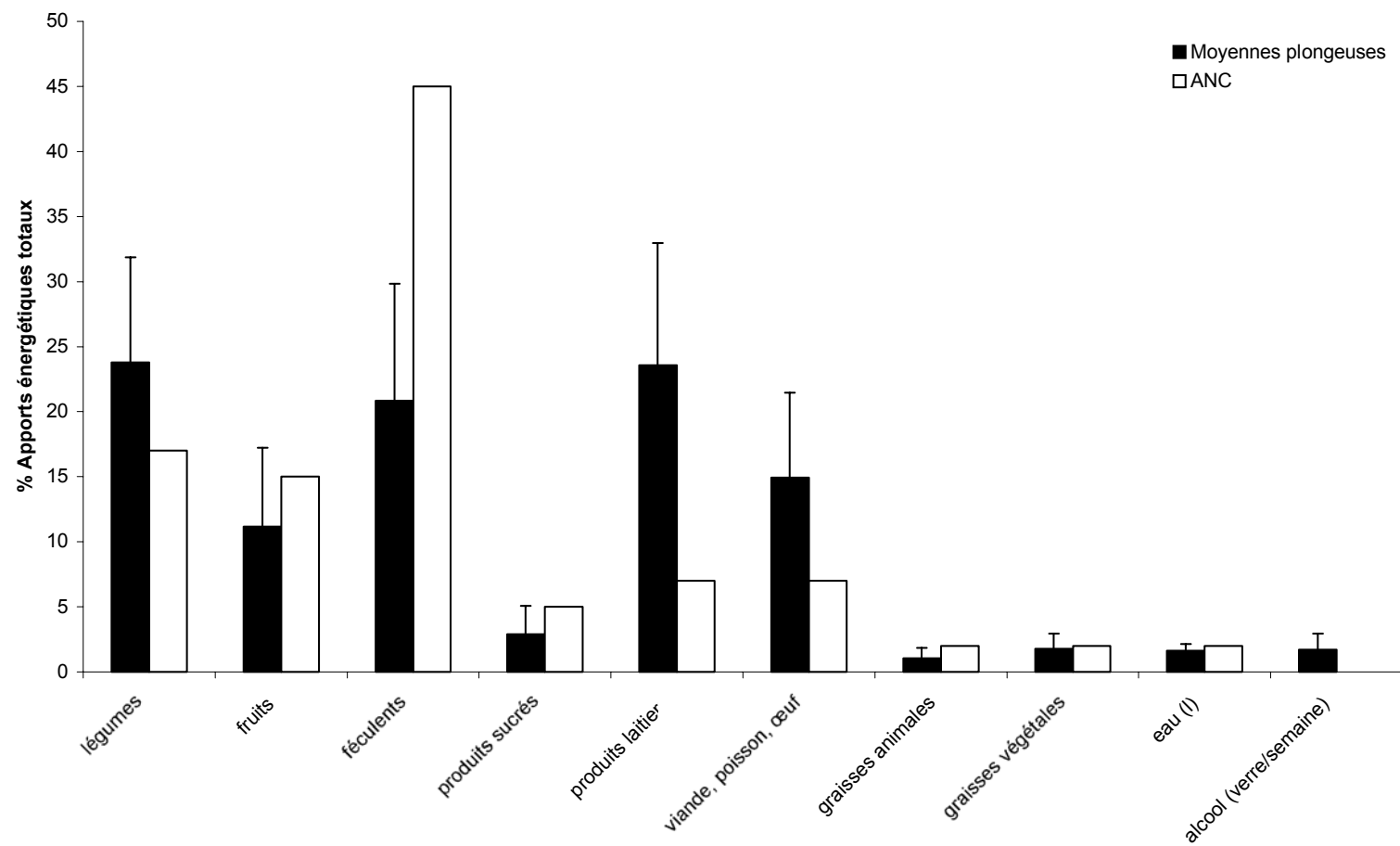
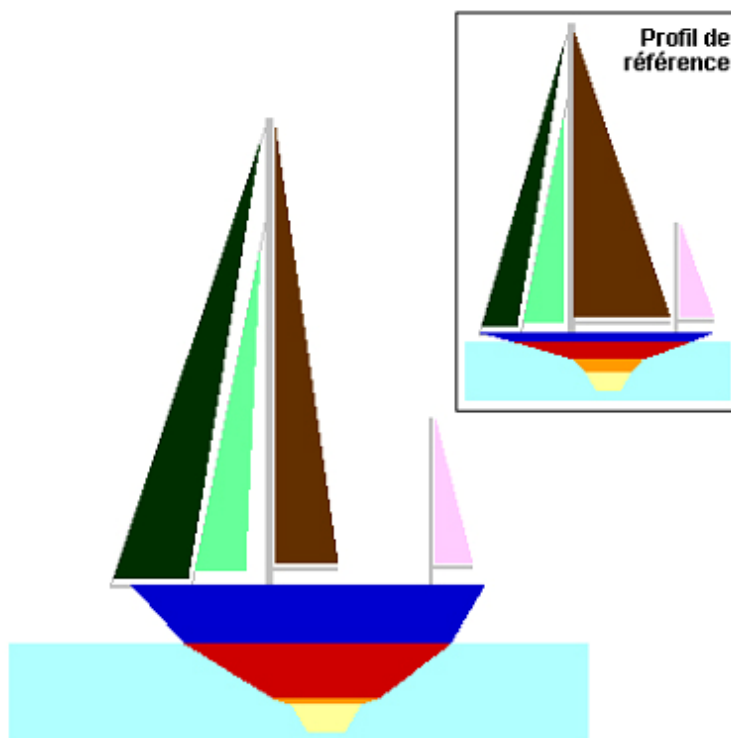


Figure 14. Le bateau alimentaire des plongeurs



	le foc avant (voile vert bouteille) représente les légumes
	le foc arrière (voile vert tendre) représente les fruits
	la grand-voile (voile brune) représente les féculents
	la voile d'artimon (rose) représente les sucres simples
	la coque bleue marine représente les produits laitiers
	la coque rouge représente les viandes et poissons
	la quille jaune d'or représente les graisses animales
	la quille jaune clair représente les graisses végétales

DISCUSSION

I Bulles circulantes et variables individuelles chez la femme

II Effet du sexe sur les bulles circulantes en plongée

III Influence de l'alimentation sur la formation des bulles circulantes

IV Habitudes alimentaires chez les plongeuses et conseils nutritionnels

V Limites et perspectives

Pour cette étude prospective nous avons effectué des détections de bulles circulantes chez 18 femmes qui venaient de plonger à 35 mètres pendant environ 25 minutes. Nous avons également évalué leur IMC et masse grasse, ainsi que leurs habitudes alimentaires par un questionnaire.

Nous avons ainsi voulu vérifier l'influence des variables individuelles sur les bulles circulantes chez la femme, évaluer le rôle du cycle menstruel ou d'un traitement hormonal, et rechercher un effet éventuel de l'alimentation sur la production de bulles.

Nous avons, de plus, comparé nos détections de bulles à celles effectuées précédemment, dans les mêmes conditions, chez 50 plongeurs par Carturan et al. (1999, 2000, et 2002).

Nous avons ainsi montré que les variables individuelles n'influencent pas la production de bulles circulantes chez les plongeuses, mais que les femmes produisent moins de bulles que les hommes. Aucun effet du cycle menstruel ni de la prise d'un traitement hormonal n'a été mis en évidence.

I Bulles circulantes et variables individuelles chez la femme

Contrairement aux résultats signalés par la littérature (Carturan et al., 1999 ; Conkin et al., 2003), notre étude ne montre aucune relation significative entre les bulles circulantes et les variables individuelles telles que l'âge, l'IMC et la masse grasse.

Notre population est toutefois relativement homogène en ce qui concerne l'IMC ($21,2 \pm 2,05$), et la masse grasse ($22,52 \pm 3,08$), des différences liées à ces deux paramètres sont donc probablement difficiles à mettre en évidence.

Bien que l'âge de notre population soit plus étendu ($36,78 \pm 8,46$), aucune variation des bulles circulantes liée à ce paramètre n'est établie. On peut donc penser que l'effet

délétère du vieillissement habituellement retrouvé (Dembert et al., 1984 ; Carturan et al., 1999 ; Conkin et al., 2003), est en fait dû à l'augmentation de l'adiposité avec l'âge, comme le suggèrent Lam et Yau (1989).

II Effet du sexe sur les bulles circulantes en plongée

Dans cette étude, nous montrons que les femmes produisent moins de bulles circulantes que les hommes (Figure 10, p 66). En effet, la proportion féminine faiblement bulleuse est de 55,5%, contre 32% chez les hommes ($p < 0,1$).

Ces résultats vont à l'encontre de l'idée fréquemment admise que les femmes seraient fragilisées vis à vis des accidents de décompression, à cause de leur masse grasse physiologiquement supérieure à celles des hommes (la masse grasse est considérée comme un « piège à bulles » à cause de la forte solubilité de l'azote dans la graisse) (Bassett, 1973; Bangasser, 1979; Bassett, 1980b; Dixon et al., 1988; Weien et Baumgartner, 1990; Gustavsson et Hulcrantz, 1999).

Néanmoins, nos résultats confirment ceux d'études récentes effectuées par Howland et al. (1996), Dunford et al. (2002), St Leger Dowse et al. (2002), ainsi que Brown et Gaitanaru (2003). Ces auteurs soulignent le comportement masculin plus risqué, mais cette notion ne peut pas intervenir dans notre étude car les deux populations ont effectué exactement le même profil de plongée.

Ces différences hommes-femmes pourraient être liées au cycle hormonal féminin. En effet plusieurs auteurs décrivent une répartition différente des accidents de décompression selon la phase du cycle menstruel (Rudge, 1990 ; Dunford, 1992 ; Lee et al., 2003 ; Webb et al., 2003).

Cependant, notre faible population ne nous a pas permis de mettre en évidence d'effet du cycle menstruel sur les détections des bulles circulantes.

Il en est de même pour l'influence du traitement hormonal suggérée par Lee et al. (2003), ainsi que Webb et al. (2003). Notre échantillon de 18 plongeuses ne permet apparemment pas de montrer un rôle de la contraception hormonale.

Il nous semblerait donc intéressant de poursuivre cette étude sur un plus grand échantillon, en continuant l'interrogatoire gynécologique succinct effectué (date des dernières règles, traitement hormonal).

III Influence de l'alimentation sur la formation des bulles circulantes

Nous mettons en évidence, sur la Figure 11 (p 68), un effet délétère d'une trop forte consommation de légumes (deux fois supérieure à celle recommandée).

Par contre nous trouvons un rôle protecteur vis à vis des bulles circulantes, d'une consommation excessive de produits laitiers (près de quatre fois supérieure à celle recommandée), comme le montre la Figure 12 (p 69).

Il est éventuellement possible de penser que les régimes très riches en fibres favoriseraient les bulles circulantes, tandis que les régimes hyperprotéinés d'origine animale éviteraient leur formation, contrairement à ce que pensait Evrard (1975).

Cependant une évaluation nutritionnelle sur une plus grande population de plongeuses est indispensable avant d'arriver à des conclusions hâtives, et les apports nutritionnels conseillés (ANC) par l'AFSSA demeurent évidemment la recommandation à suivre.

Concernant l'effet éventuel d'une alimentation riche en arginine (précurseur du NO) que nous suggérons en page 44, notre échantillon est trop faible pour obtenir des résultats significatifs. Ce paramètre devrait donc continuer à être exploré chez d'autres plongeurs.

IV Habitudes alimentaires chez les plongeuses et conseils nutritionnels

1) Habitudes alimentaires chez les plongeuses

En analysant les Figures 13 et 14 (p 73 et 74), on remarque que la consommation de fruits et légumes de la population étudiée se rapproche de celle des ANC. Ce résultat n'est pas surprenant car il s'agit de femmes sportives, probablement sensibilisées à l'intérêt nutritionnel des fruits et légumes.

La consommation de féculents est par contre très inférieure à celle conseillée. Ce résultat confirme la tendance actuelle de forte diminution de la consommation de ce groupe d'aliments dans la population générale (Collet-Ribbing, 2001). De plus certains féculents ont une mauvaise réputation auprès des plongeurs, leur digestion pouvant produire des gaz fermentescibles qui sont sensibles aux variations de pression et donc déconseillés dans les cours théoriques de plongée sous marine.

La consommation de produits sucrés est légèrement inférieure à celle recommandée. Ici encore, la population étudiée étant exclusivement féminine et sportive, ce résultat pouvait être attendu : les plongeuses tiennent à enfiler leur combinaison, et évitent donc les sucreries.

Par contre, la consommation de produits laitiers est largement supérieure à celle des ANC. Cette tendance pourrait être expliquée par la profusion de produits laitiers actuellement disponibles sur la marché, notamment les produits allégés intéressant particulièrement la

population étudiée pour les raisons déjà évoquées. De plus, ces femmes pourraient être intéressées par les aliments fonctionnels et les probiotiques, qui sont souvent présentés sous forme de produits laitiers (ex : Actimel®).

La consommation de protéines animales des plongeuses est deux fois supérieure à celle recommandée. Cela rejoint les erreurs fréquemment commises par la population générale, à savoir viande ou poisson ou œuf midi et soir au lieu d'une seule fois par jour.

L'apport en graisses des plongeuses étudiées est proche de celui des ANC, avec un apport en graisses végétales supérieur à celui des graisses animales. Cette population féminine et sportive a souvent entendu vanter les mérites des huiles végétales et les méfaits du beurre. De plus, les femmes interrogées plongent à Marseille, où l'huile d'olive occupe traditionnellement une place de choix dans l'alimentation.

Les apports hydriques sont relativement insuffisants. Cette consommation est celle de la population générale.

La consommation hebdomadaire d'alcool est modérée (Tableau 12, p 72), elle correspond à la consommation de femmes pratiquant un sport convivial.

Lorsque les femmes modifient leur régime alimentaire les jours de plongée elles le font à bon escient, en prévenant notamment le risque de déshydratation, et celui d'hypoglycémie (consommation de produits céréaliers à index glycémique faible). Il ne faut pas oublier que la théorie occupe une place importante dans la formation des plongeurs et augmente avec le niveau de plongée, comportant entre autre des notions de physique, physiologie et secourisme.

2) Conseils nutritionnels

Cette étude, bien que prospective, n'est pas une véritable enquête nutritionnelle. Une enquête nutritionnelle étant particulièrement longue et fastidieuse (Guilland, 1990), et compte tenu du temps et des moyens à disposition, seule une évaluation nutritionnelle, moins précise, a pu être réalisée auprès de femmes plongeuses.

De plus, les ANC étant des données théoriques sans écarts types, un traitement statistique ne pouvait pas être envisagé.

Néanmoins, bien que succincte, cette évaluation nutritionnelle permet d'obtenir un aperçu des habitudes alimentaires d'une population pour laquelle la diététique est importante et très peu étudiée.

Des recommandations pourraient ainsi être formulées auprès de femmes pratiquant la plongée sous-marine sportive :

- augmenter leur consommation de féculents afin qu'elle atteigne 45% des apports énergétiques totaux, et manger ainsi des légumes en quantité raisonnable (17% des apports énergétiques totaux). En pratique cela équivaut à manger du pain à chaque repas. Manger du riz, des pâtes ou des pommes de terre une fois par jour, sans oublier l'intérêt des légumes secs.

- diminuer la quantité de produits laitiers au profit des fruits. Manger un produit laitier 3 fois par jour en variant laitages frais et fromages. Manger au moins un fruit de saison et un agrume par jour.

- diminuer la quantité de viande, poisson ou œuf, en n'en consommant qu'une fois par jour.

- boire davantage d'eau, notamment avant et après les plongées, afin de prévenir le risque de déshydratation.

V Limites et perspectives

Notre étude, sur le terrain, a été difficile à réaliser. Elle ne peut être effectuée que pendant la saison de plongée, chez des femmes d'un bon niveau de plongée, qui acceptent de réaliser une plongée contraignante (profondeur et durée imposées), suivie de détections de bulles pendant une heure. Ces plongeuses doivent également accepter de répondre à des questions qu'elles peuvent considérer comme indiscrettes.

Toutes ces contraintes expliquent le faible effectif de notre population (n=18).

Cependant, c'est également cet aspect de conditions réelles de plongée loisir qui fait la valeur de ce type d'étude prospective.

Nous espérons donc que cette étude pourra être poursuivie, afin de confirmer l'effet du sexe sur les bulles circulantes, à une plus grande échelle ; et également de pouvoir mettre en évidence le rôle du cycle menstruel ou du traitement hormonal, trop souvent négligés dans les études habituelles.

Dans notre étude nous montrons que le sexe exerce un effet sur la formation des bulles circulantes. Cela confirme le phénomène complexe à l'origine des accidents de décompression et nous incite à préconiser la prise en compte des paramètres individuels lors de la plongée (sexe, fatigue etc.).

Ainsi, il pourrait être intéressant d'inclure ces données personnelles dans les ordinateurs de plongée ; ou d'utiliser des tables de plongée différentes des tables militaires, calculées pour une population masculine en excellente condition physique. On peut d'ailleurs remarquer que les tables du ministère du travail (MT 92) ont été calculées pour une population plus hétéroclite, il serait peut être plus adapté de les utiliser en plongée loisir.

CONCLUSIONS

La plongée sous-marine est une activité de plus en plus répandue, notamment chez les femmes qui représentent aujourd'hui 30% des plongeurs.

Cependant la plongée peut être responsable de différentes pathologies, telles que les accidents de décompression.

Ces accidents sont dus à des bulles d'azote qui peuvent se développer en cas de non respect des procédures de décompression, ou en présence de facteurs favorisants dépendant de chaque individu (stress, fatigue etc.).

Compte tenu des différences physiologiques entre hommes et femmes, il est possible que ces phénomènes complexes varient selon le sexe du plongeur.

Nous avons donc effectué une étude prospective de détection de bulles circulantes (facteurs prédictifs du risque de survenue d'accident de décompression), par la technique du Doppler.

Cette étude a été réalisée chez 18 plongeuses, après une immersion en mer de 25 minutes à 35 mètres. Nous avons comparé les résultats obtenus à ceux de détections de bulles effectuées dans des conditions similaires chez 50 hommes.

Nous avons également complété ce travail par une évaluation des apports nutritionnels chez les plongeuses, afin de rechercher l'influence éventuelle de l'alimentation sur la formation des bulles d'azote.

Notre étude suggère que les femmes auraient tendance à produire moins de bulles que les hommes dans des conditions identiques : 55,5% de faibles degrés de bulles versus 32% ; le risque statistique de 10% a été retenu comme significatif compte tenu des effectifs difficiles à obtenir dans ce genre d'étude prospective.

Cette différence pourrait éventuellement s'expliquer par l'influence hormonale du cycle menstruel ou des traitements contraceptifs, mais des études complémentaires sur un plus grand échantillon seraient nécessaires.

De même, compte tenu des petits effectifs, nous n'avons pas montré d'influence d'une alimentation riche en arginine (précurseur du monoxyde d'azote réputé prévenir la genèse des bulles circulantes).

Par contre il semble qu'une alimentation très riche en légumes favorise la formation des bulles, tandis qu'un apport excessif de produits laitiers pourrait la diminuer. Cependant la poursuite de cette étude à l'échelle d'une plus grande population est indispensable pour confirmer ces tendances et les apports nutritionnels conseillés par l'AFSSA demeurent la référence diététique .

BIBLIOGRAPHIE

AFSSA. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. Martin A. 3^{ème} édition. Paris: Editions Tec & Doc, 2001. 605 p. ISBN. 2-7430-0422-3.

AFSSA a. *Construction de votre bateau personnalisé* [en ligne, page consultée le 26 avril 2005]. Disponible sur Internet: <http://www.afssa.fr/ouvrage/Bateaux_frequence.html>.

AFSSA b. *Le bateau alimentaire de référence* [en ligne, page consultée le 25 avril 2005]. Disponible sur Internet: <http://www.afssa.fr/ouvrage/fiche_bateau.html>.

Bangasser S.A. *Incidence of decompression sickness in women scuba divers, 1979, Program and abstracts Undersea Medical Society*. Annual scientific meeting: Undersea Biomed. Res., 6 (suppl.), 21 p.

Bares C. Prévention : entraînement, hygiène, diététique. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 559-564.

Barthélémy A., Bergmann E., Sainty J.M. Accidents vestibulaires. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002a. p. 165-167.

Barthélémy A., Bergmann E., Sainty J.M. Suppression pulmonaire. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002b. p. 168-171.

Bassett B.E. Decompression sickness in female students exposed to altitude during physiologic training. *Aerospace Med.*, 1973, 44 p.261.

Bassett B.E. *Twelve year survey of the susceptibility of women to altitude decompression sickness, 1980a, Aerospace Medical Association annual scientific meeting*. Alexandrie: Aerospace Medical Association, 12, 3 p.

Bassett B.E. Twelve-year survey of the susceptibility of women to altitude decompression sickness. *Aerospace Med.*, 1980b, 51 p.12-13.

Bennett P.B., Rostain J.C. Inert Gas Narcosis. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003. p. 300-322.

Bergmann E., Barthélémy A., Sainty J.M. Accidents neurologiques de décompression. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002. p. 160-164.

Bert P. *La Pression barométrique: recherche de physiologie expérimentale*. Paris: Masson, 1878. 1183 p.

Bidault G. *Bases théoriques de la plongée*. Orléans: 2000. 218 p.

Blatteau J.E., Gempp E., Galland F. M., Pontier J.M., Sainty J.M., Robinet C. Aerobic exercise 2 hours before a dive to 30 msw decreases bubble formation after decompression. *Aviat Space Environ Med*, 2005, 76 7, p.666-669.

Bolton M.E. Scuba diving and fetal well-being: a survey of 208 women. *Undersea Biomed Res*, 1980, 7 3, p.183-189.

Bonnin J.P., Grimaud C., Happey J.C., Strub J.M., Cart P. *Plongée sous-marine et milieu subaquatique: accidents, aspects médicaux*. Paris: Masson, 2003. 338 p. ISBN. 2-294-01166-X.

Bornstein A., Plate E. Uber chronische Gelenkveränderungen entstanden durch Pressluftherkrankung. *Fortschr. Geb. Roentgenstr.Nuklearmed.*, 1911, 18 p.197.

Boussuges A., Carturan D., Ambrosi P., Habib G., Sainty J.M., Luccioni R. Decompression induced venous gas emboli in sport diving: detection with 2D echocardiography and pulsed Doppler. *Int J Sports Med*, 1998, 19 1, p.7-11.

Boussuges A., Molenat F., Carturan D., Gerbeaux P., Sainty J.M. Venous gas embolism: detection with pulsed Doppler guided by two-dimensional echocardiography. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1999, 43 3, p.328-332.

Bove A.A. Fitness to dive. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003. p. 700-717.

Boycott A.E., Damant G.C.C., Haldane J.S. The prevention of compressed-air illness. *J. Hyg. Lond.*, 1908, 8 p.342-443.

Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992a. Accidents barotraumatiques pulmonaires, surpressions pulmonaires, p. 272-276.

Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992b. Accidents mécaniques ou barotraumatismes, généralités, p. 270-271.

Broussolle B., Courtière A. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. Toxicité de l'oxygène, p. 298-317.

Broussolle P. La femme et la plongée. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992c. p. 539-546.

Brown S.D., Gaitanaru D. Drowning and nearly drowning. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003. p. 181-210.

Bugat R., Lemaire C. Psychophysiologie et plongée. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 195-206.

Camporesi E.M. Diving and pregnancy. *Semin Perinatol*, 1996, 20 4, p.292-302.

Carturan D., Boussuges A., Burnet H., Fondarai J., Vanuxem P., Gardette B. Circulating venous bubbles in recreational diving: relationships with age, weight, maximal oxygen uptake and body fat percentage. *Int J Sports Med*, 1999, 20 6, p.410-414.

Carturan D., Boussuges A., Molenat F., Burnet H., Fondarai J., Gardette B. Ascent rate and circulating venous bubbles in recreational diving. *Int J Sports Med*, 2000, 21 7, p.459-462.

Carturan D., Boussuges A., Vanuxem P., Bar-Hen A., Burnet H., Gardette B. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol*, 2002, 93 4, p.1349-1356.

Chateau J. Accidents de décompression, clinique et thérapeutique. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1ère édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 369-423.

Cochard G. *Accidents de surpression pulmonaire, accidents de décompression et leur traitement* [en ligne, page consultée le 04/01/2006]. Disponible sur Internet: <http://cours.univ-brest.fr/UFR-Medecine/capacites/Med_Sport//Ac_dec_surp_med_sport.pdf>.

Collet-Ribbing C. La santé des français et leurs consommations alimentaires. In. Martin A. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. 3^{ème} édition. Paris: Editions Tec & Doc, 2001., p. 397-432.

Conkin J., Powell M. R., Gernhardt M.L. Age affects severity of venous gas emboli on decompression from 14.7 to 4.3 psia. *Aviat Space Environ Med*, 2003, 74 11, p.1142-1150.

Corriol J., Broussolle B. Historique de la plongée. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1ère édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 11-32.

Coulangue M. *Accidents traités à Marseille, 2005*. Marseille: Faculté de Médecine, cours de DIU de médecine hyperbare.

Courtierre A., Broussolle B. Variations humorales en plongée. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1ère édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 239-251.

Cousteau J.Y. *The silent world*. London: Reprint Society, 1953.

Creff F. *Diététique sportive*. Paris: Masson, 1979.

Daubas P., Landes J. Plongée sous-marine et pathologie ophtalmique. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 466-474.

Dembert M.L., Jekel J.F., Mooley L.W. Health risk factors for the development of decompression sickness among US Navy divers. *Undersea Biomed Res*, 1984, 11, p.395-406.

De Saint-Julien J. Pathologie gastro-intestinale barotraumatique. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 286-289.

Dessard P., Pierre F. *Gynécologie-obstétrique*. Paris: Edinter, 1999. Post-partum, p. 283.

- Dixon G.A., Krutz R.W., Jr., Fischer J.R. Decompression sickness and bubble formation in females exposed to a simulated 7.8 psia suit environment. *Aviat Space Environ Med*, 1988, 59 12, p.1146-1149.
- Dujic Z., Duplancic D., Marinovic-Terzic I., Bakovic D., Ivancev V., Valic Z., Eterovic D., Petri N.M., Wisloff U., Brubakk A.O. Aerobic exercise before diving reduces venous gas bubble formation in humans. *J Physiol*, 2004, 555 Pt 3, p.637-642.
- Dujic Z., Palada I., Obad A., Duplancic D., Bakovic D., Valic Z. Exercise during a 3-min decompression stop reduces postdive venous gas bubbles. *Med Sci Sports Exerc*, 2005, 37 8, p.1319-1323.
- Dunford R.G. Gender-related risk of decompression sickness in hyperbaric chamber inside attendants: case control study. *Undersea Hyperb Med*, 1992, 19(suppl) p.37.
- Dunford R.G., Vann R.D., Gerth W.A., Pieper C.F., Huggins K., Wacholtz C., Bennett P.B. The incidence of venous gas emboli in recreational diving. *Undersea Hyperb Med*, 2002, 29 4, p.247-259.
- Durnin J.V., Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr*, 1974, 32 1, p.77-97.
- Eatock B.C. Correspondence between intravascular bubbles and symptoms of decompression sickness. *Undersea Biomed Res*, 1984, 11 3, p.326-329.
- Ehrhardt J.P. Animaux et flore dangereux pour le plongeur. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 455-461.
- Elizagaray A., Puech B. Accidents de décompression, ostéonécrose dysbarique des plongeurs. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 424-440.
- Evrard E. *Précis de médecine aéronautique et spatiale*. Paris: Maloine, 1975. Effets physiques des changements de pression barométrique, p. 91.
- Francis T.J.R., Mitchell S.J. Manifestations of decompression disorders. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003b. p. 578-599.
- Gardette B. Correlation between decompression sickness and circulating bubbles in 232 divers. *Undersea Biomed Res*, 1979, 6 1, p.99-107.
- Gardette B., Hugon M., Galland F.M. *Pour une plongée sécurisée en plongée autonome profonde*, 2004, MEDSUBHYP.
- Germonpre P., Dendale P., Unger P., Balestra C. Patent foramen ovale and decompression sickness in sports divers. *J Appl Physiol*, 1998, 84 5, p.1622-1626.

- Gillard J. Effets narcotiques des gaz diluants. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 323-332.
- Giry P., Hyacinthe R., Masurel G. Accidents de décompression, physiopathologie. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 353-368.
- Grandjean B. Epidémiologie des accidents de la plongée sous-marine autonome de loisir. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002. p. 153-159.
- Guidicelli G. Pathologie dentaire barotraumatique. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 290-294.
- Guilhermet R. Fonctions nutritionnelles et métaboliques de l'arginine. *INRA Prod. Anim.*, 1996, 9 4, p.265-572.
- Guilland J. Intérêt et limites de l'étude de la consommation alimentaire des sportifs. In. Monod H. *Nutrition et sport*. édition. Paris: Masson, 1990. p. 51-64.
- Gustavsson L.L., Hultcrantz E. [Medical aspects of diving--a sport for both women and men]. *Lakartidningen*, 1999, 96 7, p.749-753.
- Hagberg M., Ornhaugen H. Incidence and risk factors for symptoms of decompression sickness among male and female dive masters and instructors :a retrospective cohort study. *Undersea Hyperb Med*, 2003, 30 2, p.93-102.
- Heitmann B.L. Evaluation of body fat estimated from body mass index, skinfolds and impedance. A comparative study. *Eur J Clin Nutr*, 1990, 44 11, p.831-837.
- Hills B.A., Butler B.D. Size distribution of intravascular air emboli produced by decompression. *Undersea Biomed Res*, 1981, 8 3, p.163-170.
- Howland J., Hingson R., Mangione T.W., Bell N., Bak S. Why are most drowning victims men? Sex differences in aquatic skills and behaviors. *Am J Public Health*, 1996, 86 1, p.93-96.
- Hyacinthe R. L'hypercapnie. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 318-322.
- Jankowski L.W., Tikuisis P., Nishi R.Y. Exercise effects during diving and decompression on postdive venous gas emboli. *Aviat Space Environ Med*, 2004, 75 6, p.489-495.
- Jones J.P.J., Neuman T.S. Dysbaric osteonecrosis. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003. p. 569-680.
- Kenneth W., Kizer M.D. Women and diving. *The physician and sportsmedicine*, 1981, 9 2, p.84-92.

Kisman K.E., Masurel G., Guillerm R. Bubble evaluation code for Doppler ultrasonic decompression data. *Undersea Biomed Res*, 1978, 5 (suppl) p.28.

Lam T.H., Yau K.P. Analysis of some individual risk factors for DCS in Hong Kong. *Undersea Biomed Res*, 1989, 16, p.283-292.

Le Fur M. *La détection ultrasonore des bulles circulantes intravasculaires, contrôle chez l'amateur des tables de plongée sans palier de décompression*. 1980. Thèse de Médecine, Marseille, 50 p.

Lee V., St Leger Dowse M., Edge C., Gunby A., Bryson P. Decompression sickness in women: a possible relationship with the menstrual cycle. *Aviat Space Environ Med*, 2003, 74 11, p.1177-1182.

Lemaire C., Giry P. Echanges thermiques en plongée. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 227-236.

Masurel G. *Contribution à l'étude du rôle physiopathologique des bulles générées chez l'animal et chez l'homme par un séjour en atmosphère hyperbare*. 1987. Thèse de Sciences, Lyon. 267 p.

Masurel G. Accidents de décompression, détection des bulles. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 364-368.

Meliet J. L. Effets de l'élévation de la pression barométrique. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002. p. 43-49.

Ministère des Solidarités de la Santé et de la Famille. *Programme National Nutrition Santé* [en ligne, page consultée le 20 avril 2005]. Disponible sur Internet: <<http://www.mangerbouger.fr/pnns/index.html>>.

Molvaer O.I. Otorhinolaryngological aspects of diving. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003. p. 227-264.

Moon R.E., Camporesi E.M., Kisslo J.A. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. *Lancet*, 1989, 1 8637, p.513-514.

Morales M., Dumps P., Extermann P. Pregnancy and scuba diving: what precautions?. *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)*, 1999, 28 2, p.118-123.

Neuman T.S., Hall D.A., Linaweaver P.G., Jr. Gas phase separation during decompression in man: ultrasound monitoring. *Undersea Biomed Res*, 1976, 3 2, p.121-130.

Nishi R.Y. Tiny bubbles: a primer on Doppler bubble detection. *aquaCorps Journal*, 1993a, 5 p.24-31.

Nishi R.Y. Doppler and ultrasonic bubble detection. In. Elliott D. *The physiology and medicine of diving*. 4^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 1993b. p. 433-454.

Nishi R.Y., Brubakk A.O., Eftedal O.S. Bubble detection. In. Neuman T.S. *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving*. 5^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 2003. p. 501-530.

PADI. *PADI diver statistics* [en ligne, page consultée le 09/01/2006]. Disponible sur Internet: <<http://www.padi.com/english/common/padi/statistics/10.asp>>.

Palmer R.M., Ferrige A.G., Moncada S. Nitric oxide release accounts for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor. *Nature*, 1987, 327 6122, p.524-526.

Palmer R.M., Rees D.D., Ashton D.S., Moncada S. L-arginine is the physiological precursor for the formation of nitric oxide in endothelium-dependent relaxation. *Biochem Biophys Res Commun*, 1988, 153 3, p.1251-1256.

Powell M.R., Thoma W., Fust H.D., Cabarro P. Gas phase formation and Doppler monitoring during decompression with elevated oxygen. *Undersea Biomed Res*, 1983, 10 3, p.217-224.

Renon P., Jacquin M. Accidents barotraumatiques de l'oreille et des sinus. In. Broussolle B. *Physiologie et médecine de la plongée*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 1992. p. 277-285.

Rudge F.W. Relationship of menstrual history to altitude chamber decompression sickness. *Aviat Space Environ Med*, 1990, 61 7, p.657-659.

Sainty J.M., Bergmann E. Recompression thérapeutique de l'accident de décompression. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002. p. 183-187.

Seyer J. Prise en charge pré hospitalière des accidents de décompression. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002a. p. 172-176.

Seyer J. Traitements hospitaliers médicamenteux de l'accident de décompression. In. Wattel F. *Traité de médecine hyperbare*. 1^{ère} édition. Paris: Ellipses, 2002b. p. 177-182.

Spencer M.P. Decompression limits for compressed air determined by ultrasonically detected blood bubbles. *J Appl Physiol*, 1976, 40 2, p.229-235.

Spencer M.P., Campbell S.D. Development of bubbles in venous and arterial blood during hyperbaric decompression. *Bull. Mason Clin.*, 1968, 22 p.26-32.

Spencer M.P., Johanson D.C. *Investigation of new principles for human decompression schedules using the Doppler ultrasonic blood bubble detector*, 1974. Seattle: Institute for environmental Medicine and Physiology.

St Leger Dowse M., Bryson P., Gunby A., Fife W. Comparative data from 2250 male and female sports divers: diving patterns and decompression sickness. *Aviat Space Environ Med*, 2002, 73 8, p.743-749.

Tabah A. *Diabète et plongée sous-marine*. 2005. Thèse de Médecine, Bobigny, 104 p.

Trape C. *Diététique du sportif*, 2005. Marseille: Faculté de Pharmacie. Cours de DU Nutrition, Diététique et Santé.

Van Liew H.D. Simulation of the dynamics of decompression sickness bubbles and the generation of new bubbles. *Undersea Biomed Res*, 1991, 18 4, p.333-345.

Vann R.D., Grimstad J., Nielsen C. H. Evidence for gas nuclei in decompressed rats. *Undersea Biomed Res*, 1980, 7 2, p.107-112.

Vann R.D., Thalmann E. Decompression physiology and practice. In. Elliott D. *The physiology and medicine of diving*. 4^{ème} édition. London: W.B Saunders Company Ltd, 1993.p. 376-433.

Vermorel M., Ritz P., Tappy L., Laville M. Energie. In Martin A. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. 3^{ème} édition. Paris: Editions Tec & Doc, 2001. p. 17-36.

Vik A., Jenssen B.M., Brubakk A.O. Arterial gas bubbles after decompression in pigs with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med*, 1993, 20 2, p.121-131.

Walligora J., Horrigan D., Gilbert J. Incidences of symptoms and venous gas bubbles in male and female subjects after decompression. *Aviat Space Environ Med*, 1989, 60 p.511.

Webb J.T., Kannan N., Pilmanis A. A. Gender not a factor for altitude decompression sickness risk. *Aviat Space Environ Med*, 2003, 74 1, p.2-10.

Weien R.W., Baumgartner N. Altitude decompression sickness: hyperbaric therapy results in 528 cases. *Aviat Space Environ Med*, 1990, 61 9, p.833-836.

Wilmshurst P.T., Byrne J.C., Webb-Peploe M.M. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. *Lancet*, 1989, 2 8675, p.1302-1306.

Wirjosemito S.A., Touhey J.E., Workman W.T. Type II altitude decompression sickness (DCS): U.S. Air Force experience with 133 cases. *Aviat Space Environ Med*, 1989, 60 3, p.256-262.

Wisloff U., Richardson R.S., Brubakk A.O. NOS inhibition increases bubble formation and reduces survival in sedentary but not exercised rats. *J Physiol*, 2003, 546 Pt 2, p.577-582.

Wisloff U., Richardson R.S., Brubakk A.O. Exercise and nitric oxide prevent bubble formation: a novel approach to the prevention of decompression sickness? *J Physiol*, 2004, 555 Pt 3, p.825-829.

World Health Organization. *Obesity: preventing and managing the global epidemic, 1998, WHO consultation on obesity*. Geneva: 276 p.

World Health Organization. *Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health* [en ligne, page consultée le 20 avril 2005]. Disponible sur Internet: <<http://www.who.int/dietphysicalactivity/en/>>.

Young J. Axe gonadotrope chez la femme. In. Young J. *Endocrinologie*. Paris: Douin éditeurs, 2000. p. 37-50.

Yount D.E. Application of a bubble formation model to decompression sickness in rats and humans. *Aviat Space Environ Med*, 1979, 50 1, p.44-50.

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Admise dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni favoriser le crime.

Respectueuse et reconnaissante envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.

RÉSUMÉ

La sécurité chez la femme en plongée sous-marine : étude prospective par la détection des bulles circulantes et l'évaluation des apports nutritionnels

Les femmes pratiquant la plongée sous-marine sont nombreuses. Cependant ce sport peut générer des pathologies comme les accidents de décompression, dus à des bulles d'azote se développant par des phénomènes complexes. La formation de ces bulles pourrait varier selon le sexe du plongeur. Nous avons donc effectué une étude prospective de détection de bulles circulantes par la technique du Doppler. Ce travail a été réalisé chez 18 plongeuses ; nous avons comparé nos résultats à ceux obtenus dans des conditions similaires chez 50 hommes. Nous avons montré que les femmes produisent moins de bulles que les hommes. Cette différence pourrait s'expliquer par l'influence hormonale du cycle menstruel ou des traitements contraceptifs, mais des études complémentaires sur un plus grand échantillon sont nécessaires. Nous avons aussi évalué les apports nutritionnels des plongeuses, pour rechercher l'influence de l'alimentation sur la genèse des bulles et élaborer des conseils alimentaires spécifiques.

MOTS CLÉS

Plongée ; Femmes ; Accidents de décompression ; Bulles circulantes ; Nutrition.

ABSTRACT

Safety for women scuba-divers : a prospective study including bubble detection and evaluation of food habits

Scuba diving is an increasingly sport among women. However diving can induce several pathologies such as decompression sickness due to nitrogen bubbles which form by complexe phenomenon. Venous gas emboli formation could depend on gender. Therefore we performed a prospective study including Doppler ultrasonic bubble detection. This work has been performed in 18 female scuba-divers, and we compared our results with those obtained using similar methodology in 50 men. We showed that women produced less bubbles than men. This difference could be explained by the effect of the menstrual cycle or the use of hormonal contraception, but additive studies using more subjects are needed. We have also evaluated women food habits, to search how nutrition could influence bubble formation and to elaborate specific nutritional suggestions.

KEYWORDS

Scuba diving ; Women ; Decompression sickness ; Venous gas emboli ; Nutrition.