



REVUE FRANCAISE DE PLONGEE

Revue d'informations du Groupement National de Plongée Universitaire

AVRIL 2010
Numéro 7

Directeur de la publication
Vianney MASCRET, Président du G.N.P.U

SOMMAIRE

EDITORIAL (V. Mascret)	3
 <i>La narcose aux gaz inertes</i>	
L. Lemoine	4
 Asthme et plongee	
M. Bocquillon.....	14
 Régulation émotionnelle et bien-être subjectif dans les conduites à risque en plongée sous-marine	
A. Bonnet, J-L Pedinielli.....	22
 Diabète et plongée sous-marine	
E. Botel	45
 Paliers profonds, paliers à mi profondeur en plongée sous-marine : contexte et intérêt.	
E. Hennion.....	54
 Représentation du risque en plongée loisirs : tendance établie sur la base de 60 entretiens d'acteurs.	
P. Lebrun.....	80
Précédent sommaires :	87
RUBRIQUE QU'EN AVEZ-VOUS PENSE?.....	90
THESES SOUTENUES.....	90
RECHERCHES EN COURS.....	91
INSTRUCTIONS aux auteurs	93

EDITORIAL

Le temps passe bien trop vite. Pour preuve ce septième numéro de la Revue Française de Plongée, la publication du Groupement National de Plongée Universitaire. Vous êtes nombreux à nous l'avoir demandé depuis le numéro précédent, mais entre octobre 2006 et aujourd'hui, le travail n'a pas manqué avec notamment la concrétisation des Modules Spécifiques Universitaires, la création d'un brevet d'Initiateur de Plongée Universitaire, l'organisation d'un Grand Stage inter-universitaire (Egypte, fin juin), etc... Alors, pour fêter ce numéro 7, nous avons choisie un format de diffusion original : une clé USB réutilisable, nous permettant de vous proposer tous les numéros de votre Revue sur un seul support. Un partenaire généreux nous a permis cette forme de diffusion, qui, j'en suis certain, devrait vous satisfaire en vous permettant de toujours garder une trace du GNPU à porter de main.

L'actualité de la plongée est dense, avec la perspective dans l'année de deux thèses au CRIS de Lyon, une première sur l'histoire de la plongée de loisir, la seconde sur la gestion des risques en plongée autonome ; la construction à Lille d'une Licence Professionnelle sur la gestion des équipements subaquatiques, associée à un D.U. de complément de formation pour cadre de plongée ; l'organisation d'un colloque formation continue pour les moniteurs du GNPU à Brest ; la formalisation d'un partenariat entre enseignement de médecine hyperbare et plongée universitaire à Grenoble, etc...

Dans ce numéro 7, vous trouverez des productions d'étudiants avec leurs qualités et leur défauts, sur des thèmes comme l'asthme ou le diabète en plongée, nous évoquerons aussi la narcose ou les paliers profonds ; un article remarquable intitulé : Régulation émotionnelle et bien-être subjectif dans les conduites à risques en plongée sous-marine, de A. Bonnet et J-L Pardinielli, et, toujours autour de cette problématique du risque, un article de Pierre Lebrun qui devrait retenir votre attention en attente d'une thèse prometteuse.

Bonne lecture, bonnes plongées ...

Vianney MASCRET,
Président du GNPU
Responsable de la publication
vianney.mascret@univ-lille2.fr

La narcose aux gaz inertes

L. Lemoine

Etudiante, 5^{ème} année de médecine, Université de Lille 2.

Résumé : non renseigné.

Mots clefs : non renseigné.

1) INTRODUCTION :

La plongée à l'air s'est développée en deux étapes. La première qui débute au 16^{ème} siècle et voit son apogée au 19^{ème} siècle est celle des appareils tributaires de la surface (cloche, scaphandre, tube à air comprimé). La seconde qui commence vers 1930 est celle des appareils autonomes et de la plongée professionnelle en système. La mise en évidence de la narcose aux gaz inertes est liée à ce développement. Dès 1835 Junod rapporte sous air comprimé, des troubles voisins de l'intoxication alcoolique (annexe1), Green en 1861 signale des troubles analogues chez des sujets exposés à de fortes pressions à l'air. Des signes et symptômes similaires sont décrits plus tard par Hill et Greenwood et Hill et McLeod chez les tunneliers ou les plongeurs en caisson qui respirent de l'air à - 46m. En 1930, Damant observe à - 91m, des déficits psychologiques et cognitifs. A - 100m, Hill *et al* décrivent un phénomène, qu'ils nomment semi *loss of consciousness*.

Ces altérations du psychisme qui surviennent à partir de pressions absolues de l'ordre de 0.4 MPa, peuvent donc aller de la simple euphorie à la perte de conscience.

Ce n'est qu'en 1935 que Behnke *et al* rattachent ces troubles à leur véritable cause : les pressions partielles de l'azote dans le mélange gazeux inhalé. On comprit bientôt qu'il ne s'agissait que d'une manifestation particulière d'un phénomène plus général observé avec tous les gaz

inertes. En effet, ces gaz induisent des effets similaires qui varient en fonction de leur pouvoir narcotique : euphorie logorrhée, hallucinations, troubles de la mémoire et de l'idéation... Pour un gaz donné (et un sujet donné) il existe une pression partielle seuil au-delà de laquelle les symptômes apparaissent et s'intensifient avec l'augmentation de pression. Des nombreuses tentatives qui ont été faites pour essayer de corréler le pouvoir narcotique des gaz dits inertes à leurs propriétés physiques, il apparaît que la meilleure corrélation soit obtenue avec leur solubilité dans les graisses.

Ainsi, si l'on classe les gaz inertes en fonction de leur solubilité dans l'huile (graisse ou lipide), **trois gaz sont plus narcotiques que l'azote** : le **xénon** qui est anesthésique à la pression atmosphérique, le **krypton** qui cause des vertiges, et l'**argon** qui serait deux fois plus narcotiques que l'azote. **Trois autres gaz inertes sont moins narcotiques que l'azote** : l'**hydrogène** qui serait deux fois moins narcotiques que l'azote, le **néon** trois fois moins, et l'**hélium** dont le pouvoir narcotique est très faible. Ces trois gaz ont été étudiés pour leur utilisation en plongée profonde. L'analyse de l'origine de ces troubles a conduit à regrouper dans une perspective commune narcose aux gaz inertes et anesthésiques volatils.

C'est parce que la narcose aux gaz inertes ou « ivresse des profondeurs » est le premier syndrome neurologique rencontré chez les plongeurs autonomes, et en particulier chez les plongeurs professionnels,

dans la zone la plus explorée (entre 0 et 100 mètres) que nous allons l'étudier.

2) FACTEURS DETERMINANTS DE LA NARCOSE AUX GAZ INERTES

2-1) Nature du gaz inerte

Au cours des expériences passées, les expérimentateurs ont essayé de classer les différents gaz inertes en fonction de leur effet narcotique plutôt que d'établir des différences qualitatives concernant les symptômes et signes cliniques qu'ils pouvaient provoquer. Les rares études comparatives menées sur l'azote et l'argon, ou sur l'azote et le protoxyde d'azote portant sur les altérations de la fréquence de fusion (il s'agit de la fréquence à partir de laquelle des stimuli lumineux discontinus sont perçus de manière continue par l'œil) ou sur la perte du réflexe de redressement chez l'animal ou sur les diminutions de performances aux tests psychosensorimoteurs et intellectuels utilisés chez l'Homme, ne montrent **pas de différence qualitative** entre les effets narcotiques des différents gaz. **Toutefois**, la question est de nouveau posée depuis les expériences réalisées en mélange hydrogène-oxygène (**hydrox**), qui ont montré des caractéristiques différentes de la narcose à l'hydrogène par rapport à celle de la narcose à l'azote.

2-1-1) La narcose à l'azote

L'homme exposé à des pressions d'airs supérieures à **0.3 Mpa (- 30metres, 4 ATA)**, présente des signes et symptômes dont les diverses caractéristiques sont décrites plus loin.

Lorsque les animaux sont exposés à l'air comprimé ou à des mélanges azote – oxygène, des signes et symptômes de type narcotique sont observés pour des pressions relatives supérieures à 0.8-1Mpa. L'anesthésie est effective chez le rat pour des pressions comprises entre 3.7 et 4.6MPa.

2-1.1.1. Aspects psychologiques chez l'homme

Troubles de l'idéation :

Le sujet narcosé présente une détérioration de ses facultés d'attention, de concentration, d'abstraction, de raisonnement. Il a du mal à anticiper, à se tenir à une idée. Le flux idéique est mal contrôlé.

Désorientation temporo-spatiale : incapacité à évaluer l'écoulement du temps.

Troubles mnésiques : trouble de la mémoire immédiate surtout. Il est possible d'observer une véritable amnésie lacunaire.

Troubles perceptifs et hallucinations :

L'appréhension du réel est perturbée. On peut noter :

- une modification de la perception de la douleur allant dans le sens d'une hypoalgésie.
- une altération des perceptions visuelles et auditives allant dans le sens d'une intensification.
- sensation de lévitation, notamment en décubitus
- des hallucinations le plus souvent visuelles mais aussi auditives (flash, phénomènes de réverbération sonore, bruit de fond perçu comme une mélodie).
- troubles du schéma corporel avec éventuellement sensation de dépersonnalisation.
- enfin, exceptionnellement, de véritables états délirants pouvant évoquer un épisode psychotique aigu.

Troubles psychomoteurs et intellectuels :

Détérioration croissante de la dextérité manuelle et des performances aux tests intellectuels (multiplication, ordination de chiffres, reconnaissance de signes...)

Troubles de l'humeur :

Pour des narcoses modérées, l'euphorie est la règle. S'y associe souvent un sentiment de puissance, de surestimation de soi pouvant entraîner des comportements aberrants et dangereux. Dans le cas de narcoses sévères, le plus frappant est l'instabilité de la thymie avec, selon les sujets et le moment, des bouffées d'angoisse ou des accès d'hilarité incontrôlables. Le sujet peut également présenter une tendance au repli sur soi, un comportement d'allure autistique.

2.1.1.2 : Aspects électrophysiologiques chez l'homme

Les potentiels évoqués :

L'essentiel des observations effectuées mettent en évidence une dépression des potentiels évoqués tant auditifs que visuels. Les activités EEG (électro-encéphalographiques) : l'analyse des spectres de fréquence EEG montrent plutôt une diminution de la puissance de l'ensemble des activités dans les différentes bandes de fréquences analysées pour des pressions supérieures à 4 ATA.

2.1.2 La narcose à l'Hélium :

En fonction de la solubilité dans les lipides, les effets narcotiques de l'hélium apparaîtraient aux alentours de 400m. De plus, l'effet inverse de la pression antagonise le léger pouvoir narcotique de l'hélium et dans ces conditions, il n'y aurait pas de narcose. En effet, les troubles qui apparaissent à partir de 100m avec le

mélange hélium-oxygène, sont différents de ceux classiquement rencontrés dans la narcose à l'azote et ont été regroupés en un Syndrome Nerveux des Hautes Pressions (SNHP).

Cependant, à partir des résultats obtenus au cours d'expérience de plongée avec des gaz narcotiques ajoutés au mélange hélium-oxygène à pression élevée, les modifications de l'humeur et les hallucinations sensorielles rapportées dans certains cas, lors de plongées en hélium-oxygène pour des profondeurs supérieures à 400m pourraient être en relation avec un effet narcotique de l'hélium plutôt qu'avec un effet de la pression. De plus, les comportements hallucinatoires, décrits chez le Singe exposé au mélange hélium-oxygène (héliox) pour des pressions supérieures à 8MPa, seraient dus à l'effet narcotique de l'hélium.

2.1.3 La narcose au néon :

Peu d'expériences ont été réalisées avec le néon et les plongées expérimentales effectuées chez l'Homme à des profondeurs qui ne dépassent pas 200m n'ont pas montré de signes de narcose. En 1975, Lambersten étudie les effets de la respiration du néon au masque à 366m et ne rapporte pas de signe de narcose. Selon Miller et al, la perte du réflexe de redressement chez la Souris surviendrait pour des pressions de néon supérieures à 11MPa.

2.1.4 La narcose à l'hydrogène

L'Hydrogène est un autre gaz inerte qui peut être employé pour la plongée profonde. L'hydrogène a une densité plus faible que l'hélium, ce qui est un avantage au point de vue de la mécanique respiratoire. Il a aussi un pouvoir narcotique supérieur à celui de l'hélium, ce qui peut, en fonction de

l'hypothèse du volume critique, réduire certains symptômes du SNHP. Cependant, il est explosif dans des mélanges contenant plus de 4% d'oxygène. Les travaux de Brauer et Way suggèrent que la narcose à l'hydrogène apparaîtrait aux alentours de 300m.

Par le passé, plusieurs groupes ont étudiés les effets de l'hydrogène sous pression chez l'Homme et l'animal. Les résultats ont été contradictoires. Cependant, Edel et Fife ont toujours soutenu que l'utilisation de l'hydrogène serait bénéfique en plongée profonde.

Au cours des 20 dernières années, la COMEX à Marseille, a réalisé plusieurs expériences avec l'hydrogène chez les souris, les singes et l'Homme. Chez l'Homme des **sensations narcotiques différentes de celles décrites dans la narcose à l'azote, ont été rapportés en mélange hydrogène-oxygène** par les plongeurs à partir de -240m au cours de la plongée appelée HYDRA IX. La narcose à l'hydrogène, à -204m, était caractérisée par des hallucinations sensorielles et somesthésiques avec des **troubles affectant l'humeur plutôt que l'intellect**. D'autres expériences effectuées en mélange hydrogène-oxygène (hydrox) ou en mélange hydrogène-oxygène-hélium (hydréliox) ont confirmé ces résultats. En effet, au cours de la plongée HYDRA VI ou HYDRA IX (300m), des désordres de type psychotique, hallucinations, troubles de l'humeur, agitation, délire et pensée paranoïdes ont été observés chez certains sujets. Ces résultats qui indiquent que des pressions d'hydrogène supérieures à 24-25bars induisent des troubles narcotiques sont en accord avec les travaux de Brauer et al et de Brauer et Way qui prédisaient une narcose à l'hydrogène entre 25 et 30 bars. Cependant, l'utilisation de mélange hydrogène-hélium-oxygène (hydréliox) avec une pression partielle d'hydrogène qui ne dépasse pas 25 bars, réduit les signes

cliniques du SNHP et la profondeur de 701m a été atteinte avec ce type de mélange.

2.2 La pression :

Si nous prenons comme référence la classification proposée par Edmonds *et al*, dans le cas d'exposition à de fortes pressions à l'air, il existe une **intensification des troubles au fur et à mesure que la pression augmente**.

- 2-4ATA : diminution des capacités dans l'exécution des tâches et légère euphorie.
- 4ATA : altération des capacités de raisonnement et de la mémoire immédiate ainsi que des réactions de choix, réactions retardées aux stimuli (visuels, auditifs).
- 4-6ATA : hilarité, logorrhée, idée fixe, confiance excessive en soi, détérioration des tests arithmétique.
- 6ATA : somnolence, hallucination, altération des facultés de jugement.
- 6-8ATA : instabilité de la thymie («angoisse ou rires « hystériques »)
- 8ATA : détérioration marquée des capacités intellectuelles et dans une moindre mesure de la dextérité manuelle.
- 8-10ATA : confusion mentale.
- 10ATA : troubles de la mémoire, hyperexcitabilité, euphorie, expériences hallucinatoires, repli sur soi, et perte de conscience.

2.3 Rôle du gaz carbonique

Certains travaux ont tenté de relier la narcose à une rétention de gaz carbonique.

Hesser, dans les travaux consacrés à ce problème, a montré que le CO₂ ne jouait aucun rôle si sa pression partielle alvéolaire

était inférieure à 40 torr. Pour les pressions partielles plus élevées de CO₂, ce gaz provoquait une diminution des performances du plongeur, comme le faisait les pressions partielles élevées de l'azote. Des **pressions partielles élevées de CO₂ et d'azote**, pourraient donc avoir des **effets additifs**, puisque que la baisse des performances était plus importante lorsque les deux agissaient simultanément, que lorsque chaque facteur agissait séparément. En 1978, Hesser suggérait que les mécanismes de la narcose au CO₂ étaient fondamentalement différents de ceux de la narcose à l'azote.

2.4 Etat physique et psychique du sujet, adaptation, neurotoxicité

Une **mauvaise condition physique, un état de fragilité psychologique, fatigue, efforts excessifs, essoufflement, froid, des facteurs émotionnels sont autant d'éléments aggravants dans le développement d'une narcose.**

Une adaptation aux signes et symptômes de la narcose a été rapportée de façon subjective par des plongeurs expérimentés. Cependant, les études réalisées chez l'Homme pour objectiver l'existence d'éventuels processus d'habituation sont contradictoires. Ainsi, certaines études rapportent lors d'expositions prolongées à des pressions élevées d'azote, une amélioration notable des performances après une détérioration importante, alors que d'autres ne montrent pas de phénomène d'habituation. En ce qui concerne la neurotoxicité consécutive à la respiration d'azote sous pression pendant de longues durées, aucune étude n'a été réalisée à ce jour. Cependant, il faut noter que la respiration prolongée de gaz inertes analgésiques, anesthésiques volatils ou de solvants aromatiques engendrent un stress oxydatif qui génèrent des radicaux libres entraînant des perturbations du métabolisme

cellulaire, une augmentation des processus de phosphorylation avec désorganisation des phospholipides membranaires. **L'inhalation chronique des substances lipophiles peut entraîner des troubles moteurs, cognitifs et aussi des troubles de nature psychotique.** La description de symptômes similaires chez des plongeurs soumis à de hautes pressions de gaz inertes et la démonstration de leur origine narcotique constituent un argument en faveur d'un risque neurotoxique qu'il convient d'éclaircir. **Des expériences récentes montrent que des expositions répétées à une narcose à l'azote, modifie la réponse neurochimique de certaines neurotransmissions.**

2.5 Environnement :

La **privation sensorielle** est susceptible de provoquer seule des phénomènes de déréalisation, de dépersonnalisation voire des illusions sensorielles. Les **privations sociales et affectives** sont en psychiatrie un facteur de décompensation sur un mode confuso-hallucinatoire. Par ailleurs, la plongée par elle-même crée une situation de privation sensorielle (microgravité, champ visuel pauvre avec éclairage réduit, bruit monotone, isolement...). Cette situation **pourrait être un facteur**, non pas causal, mais **favorisant** le développement de la narcose aux gaz inerte en condition de plongée en eau.

3) ORIGINE ET MECANISME DE LA NARCOSE AUX GAZ INERTES

Contrairement aux idées reçues, les origines et les mécanismes de la narcose aux gaz inertes sont très **mal connus**. Les

hypothèses sont nombreuses mais très peu ont été vérifiés, confirmés ou infirmés.

3.1 Les théories :

3.1.1 Théorie lipidique et expansion membranaire

La théorie la plus généralement admise en matière de narcose se fonde sur les travaux publiés au tout début de XXème siècle par Meyer et Overton. Meyer écrit ainsi : « la substance narcosante entre dans une liaison physico-chimiquement lâche avec des lipides cellulaires vitalemment important, peut être la lécithine et ce faisant modifie leurs relations normales avec les autres constituants de la cellule d'où il résulte une inhibition du chimisme de la cellule entière ». Ces auteurs observaient en même temps une forte corrélation entre pouvoir narcotique et solubilité dans les graisses. Cette théorie de Meyer-Overton devait être reformulée en 1936 par Meyer K.H : « la narcose commence lorsqu'une substance quelconque chimiquement indifférente atteint un certain degré de concentration molaire dans les lipides cellulaires. Cette concentration dépend de la nature de l'animal ou de la cellule mais est indépendante du narcotique ».

Miller a donné la forme actuelle de cette théorie en apportant l'hypothèse dite du volume critique dans l'apparition de la narcose aux gaz inertes ou du SNHP. Le processus narcotique survient lorsque l'absorption d'une substance inerte entraîne une expansion des régions hydrophobes d'une membrane excitable au-delà d'un volume critique. Ce modèle rend compte en particulier de l'antagonisme pression-anesthésie observé par Johnson et Flager. En effet, la pression s'oppose à cette expansion. La théorie lipidique et l'hypothèse du volume critique ont été à l'origine de l'introduction de gaz narcotique dans le mélange hélium-oxygène tel que l'azote ou

l'hydrogène où l'effet narcotique de ces gaz s'opposait aux effets neurologiques propre à la pression pour réduire les symptômes cliniques du SNHP.

Cette théorie a été supportée pendant longtemps par l'effet inverse de la pression sur l'anesthésie générale ou sur la narcose et sur des observations concernant l'expansion des bicouches par les anesthésiques. Cependant, Franks et Lieb ne rapportent pas d'épaississement significatif des membranes pour les concentrations d'anesthésiques normalement utilisées. De plus, l'hypothèse du volume critique suggère que tous les anesthésiques agissent sur le même site moléculaire, mais les travaux de Halsey et al. suggèrent au contraire une expansion **multi site**, ces sites moléculaires ayant leurs propres spécificités soit à la pression soit aux gaz.

3.1.2 Théorie des interactions aqueuses : les hydrates

Pauling remarquant qu'il existait une bonne corrélation entre la pression nécessaire à la manifestation d'un effet narcotique et la pression de dissociation de l'hydrate correspondant à 0°C, postule la formation d'hydrate de gaz. Il s'agirait de clathrates, le gaz se trouvant emprisonné dans une sorte de cage formée de molécules d'eau. Leur formation serait facilitée au niveau des zones hydrophobes des protéines membranaires. Leur présence retentirait sur le fonctionnement de la membrane notamment au niveau des canaux ioniques. Cependant, les pressions de dissociation étant élevées, Pauling suggère l'intervention d'un facteur stabilisant pour que ce phénomène puisse exister dans nos conditions de plongée.

3.1.3 Théorie protéique

Les théories protéiques avancées dans les années 60-70 suggéraient des mécanismes de liaisons entre gaz inertes et protéines membranaires. Les résultats obtenus au cours de récents travaux réalisés sur des anesthésiques volatils par Franks and Lieb qui suggèrent l'existence d'une interaction directe anesthésique-protéine font de nouveau prendre ces théories en considération.

Les données obtenues par Abraini *et al* avec deux gaz inertes et un gaz anesthésique semblent indiquer que les gaz inertes se lient directement sur un site protéique modulateur des récepteurs et agiraient comme un modulateur allostérique. Les résultats montrent clairement que quelque soit le gaz utilisé, la pression nécessaire pour la perte du réflexe de redressement chez le Rat augmente significativement avec l'augmentation de la vitesse de compression. La vitesse à laquelle la pression de gaz inerte ou d'anesthésique est appliquée influe sur le potentiel anesthésique d'une façon sigmoïdale et non pas de façon linéaire comme pouvait le laisser penser la théorie lipidique. Par conséquent, ces faits indiqueraient que les gaz inertes comme les anesthésiques volatils se lient à un site protéique de la membrane des récepteurs, modifient leur conformation ce qui entraîne une facilitation ou une réduction de l'activité de ces récepteurs.

3.2 Mécanismes :

3.2.1 Mécanismes cellulaires : Transports ioniques

Des études anciennes ont mis en évidence des déséquilibres électrolytiques avec divers gaz narcotiques (azote, argon, néon). Ils ont

été attribués à une modification de la perméabilité membranaire aux cations.

D'autres auteurs mettent l'accent sur un effet activateur des gaz narcotiques sur les phénomènes de transport actifs du sodium et du potassium.

3.2.2 Neurotransmission

Au cours des 15 dernières années, des études neurochimiques ont été réalisées sur les effets des gaz inertes et de la pression sur la neurotransmission au niveau des ganglions de la base et plus particulièrement au niveau de la voie nigro-striée. Ces structures sont impliquées dans la régulation des processus moteurs, locomoteurs et cognitifs, processus qui sont perturbés par la narcose et la pression. Ces études réalisées *in vivo* chez le Rat par micro dialyse ou par voltamétrie impulsionnelle différentielle ont montré que la libération de dopamine diminue quand les rats sont exposés à des pressions croissantes d'azote ou de protoxyde d'azote et aussi d'argon, tandis que le niveau de dopamine striatale est augmenté avec de l'hélium. Cette diminution du niveau de dopamine s'accompagne d'une diminution de la locomotion et des tests de vigilance. La neurotransmission de type GABA (acide gamma amino butyrique), serait impliquée via les récepteurs GABA_A, dans ces modifications de la libération de dopamine de la voie nigro-striée.

Par ailleurs Macleod *et al* ont aussi rapporté une diminution de la concentration en dopamine sur des homogénats d'hypothalamus de rats qui avaient été exposés à 2Ma de mélange azote-oxygène.

Il est à noter que les psychoses hallucinatoires aiguës présentent des éléments cliniques permettant de les rapprocher des épisodes de narcose

aiguë. Or il est généralement admis qu'une altération des systèmes dopaminergiques centraux est liée à ces désordres.

D'autre part, des travaux récents suggèrent que l'oxyde nitrique (NO) peut être impliqué dans la narcose à l'azote.

3.2.3 Études pharmacologiques

Les études pharmacologiques sont peu nombreuses pour les raisons avancées plus haut. Elles sont anciennes pour la plupart.

En 1963, Bennett en étudiant chez le Rat, 11 substances pharmacologiques a montré que parmi elle, **cinq (Cabachol, Frenquel, Doriden, Phenacitine, Aspirine) avaient un certain effet protecteur.** Le Frenquel qui est connue pour être un agent s'opposant aux effets hallucinogènes de la mescaline montre chez le Rat et chez l'Homme une action préventive suggérant un effet biophysique de l'azote. **Parmi les autres substances étudiées, la scopolamine, la méthèdrine, la mégimide et le leptazol aggraverait la narcose.**

L'utilisation de détergents cationiques qui ont pour effets de stabiliser les membranes et de prévenir les modifications de leurs perméabilités, préviendrait la dépression des potentiels évoqués en condition de narcose chez le Rat. Le carbonate de lithium administré à des rats exposés à 1MP d'air aurait des effets similaires sur les potentiels évoqués. Rappelons que les syndromes psychiatriques impliquant des troubles périodiques de l'humeur (psychoses maniacodépressives bipolaire) sont des indications privilégiées du lithium.

Dans les deux cas, il est fait l'hypothèse que la narcose est **due à l'adsorption des molécules de gaz inertes au niveau des sites privilégiés avec pour conséquence une**

modification de la perméabilité ionique des membranes neuronales et particulièrement au sodium. Les détergents cationiques comme le carbonate de lithium stabiliseraient au contraire les membranes. Le lithium interférerait avec les transports actifs de sodium et de potassium. Par ailleurs il empêcherait l'établissement d'une hypersensibilité des récepteurs catécholaminergiques lors d'un traitement neuroleptique.

Depuis le début des années 2000, de nouvelles études neuropharmacologiques se basent sur une action spécifique du gaz au niveau de certaines protéines membranaires et s'intéressent plus particulièrement à l'implication des agents pharmacologique modifiant la neurotransmission de type GABA (neurotransmetteur inhibiteur) et de l'acide glutamique (neurotransmetteur exciteur) et l'implication du NO.

4) PRECAUTION, PREVENTION, CONDUITE À TENIR :

4.1 Précaution :

- **Descendre lentement (30 m par minute maximum)**
- **Ralentir la descente à partir de 30 mètres**
- Prendre le temps de s'adapter à la profondeur
- Etre bien équilibré
- Se déplacer lentement sans effort
- Surveiller régulièrement le comportement de ses équipiers

4.2 Prévention :

Rien de peut supprimer les effets néfastes de l'azote. Cependant ses effets peuvent être atténués

- Entraînement régulier à la plongée profonde
- Entraînement progressif à la plongée profonde
- Savoir discerner sa dégradation mentale
- Concentration permanente sur les paramètres importants de la plongée
- Plongez en bonne condition physique
- Ne plongez que si vous en avez envie
- Evitez l'alcool et certains médicaments avant la plongée
- Limitez la profondeur à 40 mètres
- Plongez avec un plongeur expérimenté
- Adaptez votre ventilation suivant la profondeur

4.3 Conduite à tenir

- Assister le plongeur en difficulté
- **Arrêter impérativement la plongée**
- Remonter pour diminuer la pression partielle azote
- Remonter en surface en respectant la procédure de décompression
- En surface, surveiller son coéquipier ; la récupération des facultés doit être complète.

5) CONCLUSION :

Les études fondamentales sur les mécanismes de la narcose aux gaz inertes se sont principalement développées dans le cadre de la plongée à l'air. Elles ont connu un rapide déclin avec l'avènement des plongées à

l'hélium. La mise en œuvre dans les années 80-90 des mélanges ternaires hélium-azote-oxygène (trimix) et surtout hélium-hydrogène-oxygène (hydrélioxy) d'une part et d'autre part, le développement de la plongée de loisir avec notamment la plongée Tech, leur redonnent une actualité certaine.

Les théories qui impliquent des liaisons directes protéines-molécules de gaz et les modifications de la neurotransmission mises en évidence récemment doivent amener une réflexion et une recherche sur les conséquences de ces modifications en termes de santé publique avec d'éventuels processus d'adaptation, d'habituation ou de neurotoxicité.

La narcose aux gaz inertes présente aussi un intérêt sur le plan fondamental qui dépasse largement l'actualité hyperbare.

Ainsi, elle peut fournir à la psychopathologie un outil d'étude remarquable:

- où l'agent « pharmacologique » est parfaitement contrôlable par le biais d'un paramètre physique (la pression)
- où les effets sont parfaitement **réversibles** et peuvent néanmoins mimer chez l'homme des épisodes de type psychiatriques.
- où il est possible que les mécanismes puissent être facilement modélisés sur la base de phénomènes de polarisation électrique de la membrane.

Par ce biais, elle pourrait fournir à la psychiatrie un éventuel modèle d'étude.

Par ailleurs, elle constitue un élément essentiel à l'étude des mécanismes impliqués dans les phénomènes anesthésiques, et les phénomènes secondaires soit neurotoxiques ou neuroprotecteurs.

Annexe1 : L'effet Martini

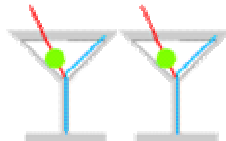
BIBLIOGRAPHIE

Les plongeurs à saturation utilisent une règle pratique appelée « l'effet Martini » selon laquelle l'effet de chaque palier de 15 m de profondeur équivaut à un martini.

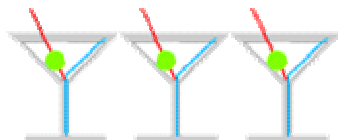
15 m =



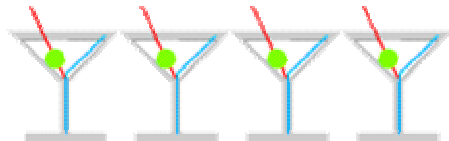
30 m =



45 m =



60 m =



Ouvrages :

Francis WATTEL, Daniel MATHIEU. « Traité de médecine hyperbare ». Edition ellipses. Année de publication : 2002. 708 pages.

Ph. Molle, P. Rey. « Nouvelle plongée subaquatique ». Edition Amphora. Année de publication : 1999. 367 pages.

Site Internet :

<http://pagespersoorange.fr/plonge.medical/plongemedical/1002AccidentsPlongee.html#ABCNGI>

<http://ifrjr.nord.univ-mrs.fr/Narcose-aux-gaz-inertes-et>

<http://www.asc-csa.gc.ca/fra/educateurs/ressources/neemo/gaz/narcose.asp>

http://www.narbonne-plongee.com/espace_adherent/les_formation_s/niveau_3_4/prevention_de_la_narcose.pdf

<http://www.plongeesout.com/articles%20publication/generaux/compression%20rapide/compression%20rapide.htm>

http://buc25.free.fr/iso_album/buc_n2_narcose.pdf

Asthme et plongée

M. Bocquillon

Etudiant, 5^{ème} année de médecine, Université de Lille 2.

Résumé : non renseigné.

Mots clefs : non renseigné.

I. Introduction

L'activité qui consiste à plonger sous l'eau pour y évoluer pendant une à plusieurs minutes a derrière elle une très longue histoire. Certes, on ne sait pas exactement à quel moment l'humain a découvert qu'il pouvait retenir son souffle pour aller sous l'eau. Il est cependant admis que des plongeurs professionnels existaient déjà au IX^e siècle avant J-C. Leur tâche consistait à aller pêcher, à une profondeur pouvant atteindre 30 m, éponges, coraux et perles. Ce n'est qu'à partir de 1866 que quelques inventions exemptes d'un long tuyau encombrant verront le jour. Il s'agit d'équipements comprenant une bouteille d'air, et qui, de ce fait, permettent au plongeur de séjourner de façon autonome sous l'eau. Il faudra attendre le début des années 1940 pour que, en combinant un système d'air comprimé et de régulateur à demande appelé «Aqua-Lung», les Français Jacques-Yves Cousteau et Emile Gagnan démocratisent un type d'équipement qui a ensuite rendu la plongée sous-marine accessible à des milliers de personnes, partout à travers le monde.

De nos jours la plongée sous marine est une activité de plus en plus pratiquée dans les clubs de vacances. Elle nécessite une intégrité physique et psychique d'où l'existence de contre-indications médicales dans certains cas. Il semble donc important de s'attarder sur des critères médicaux afin

de prévenir tout accident pouvant être évité. Nous prendrons ici le cas de l'asthme.

Jusqu'il y a peu, l'asthme dont la prévalence augmente dans la population est considéré comme une contre-indication.

À la descente, lors d'une plongée en bouteille, le travail ventilatoire augmente avec l'augmentation de la pression ambiante: les résistances dynamiques dans les voies aériennes augmentent. Tel un insuffisant respiratoire en surface, un sujet sain en plongée a une aptitude ventilatoire amputée.

En plus, avec la ventilation en bouteille, le plongeur dispose d'une réserve de gaz sous pression à partir de laquelle il inspire à l'aide d'un appareil respiratoire; il s'agit d'une ventilation de gaz sec desséché avant compression dans les réservoirs, refroidi par la détente à la sortie du réservoir. Cette inhalation d'air froid et sec associée à l'hyperventilation lors de la descente, reproduit des conditions idéales de déclenchement d'un asthme à l'exercice

Toute personne présentant une hyper-réactivité bronchique court le risque, lors d'une plongée en bouteille, de déclencher un bronchospasme identique à celui du sportif asthmatique.

II. Rappels anatomiques

L'Homme possède deux poumons, un gauche et un droit. Ce sont deux organes thoraciques, séparés l'un de l'autre par le médiastin, médialement. Ils sont posés sur le diaphragme. Ils sont protégés par la cage thoracique en avant, en dehors et en arrière, sauf au niveau de leur sommet car ils dépassent le bord supérieur de la première côte.

Le poumon droit est divisé en trois lobes (supérieur, moyen et inférieur). Le poumon gauche est divisé en deux lobes (supérieur et inférieur). À gauche, la partie linguale du lobe supérieur correspond au lobe moyen droit. Les lobes sont séparés par des scissures ; il y en a deux, l'une à droite (la grande ou oblique, et la petite ou horizontale) et l'autre à gauche (l'oblique).

III. Définition de l'asthme, Manifestations cliniques, classification et différents types

1. Définitions :

- maladie inflammatoire chronique des voies aériennes dans laquelle de nombreuses cellules sont impliquées (mastocytes, éosinophiles et lymphocytes T) ;
- chez des individus prédisposés, cette inflammation provoque des épisodes récidivants de sifflements, de toux, de dyspnée et d'oppression thoracique, particulièrement pendant la nuit ou tôt le matin ;
- Ces symptômes sont habituellement associés à une obstruction bronchique diffuse de degrés variables, réversibles, au moins partiellement, spontanément ou sous

l'effet des thérapeutiques. Cette inflammation provoque également une hyperactivité bronchique à des stimuli variés.

On retrouve dans l'asthme :

- une inflammation de l'épithélium bronchique, avec notamment un gonflement (œdème) ;
- une bronchoconstriction : contraction des muscles lisses bronchiques, ou spasme ;
- une hypersécrétion de mucus.

Tout ceci entraîne une obstruction partielle des bronches, donc une augmentation des résistances des voies aériennes (plus particulièrement des petites voies aériennes) et donc une augmentation du travail respiratoire.

2. Manifestations cliniques

- Une difficulté respiratoire ou dyspnée ;
- Un tachypnée ou inversement une bradypnée, c'est-à-dire une augmentation ou une diminution de la fréquence respiratoire ;
- Un sifflement à l'expiration et/ou à l'inspiration (on parle de respiration sibilante) ;
- Une diminution de la saturation de l'hémoglobine en oxygène ;
- Une tachycardie ;
- Un tirage ;
- Une toux qui peut être chronique, qui peut apparaître après une activité physique (On parlera d'asthme d'effort) ou prédominer la nuit.

Les muscles de la respiration qui d'ordinaire ne sont sollicités que lors du remplissage

(inspiration), doivent également fournir un effort lors de leur vidange (expiration active).

3. Classification

L'asthme peut être classé de façon simple dans un tableau qui permettra de le classer en 4 catégories, ces dernières découlent de critères symptomatiques ainsi que des EFR (épreuve fonctionnelle respiratoire) :

Dans les cas graves, on parle d'« asthme aigu grave » ou de « mal asthmatique », surtout si la crise se prolonge. Le patient n'arrive plus à parler, il est cyanosé (les muqueuses prennent une couleur bleue), il présente des sueurs, son pouls ralentit (bradycardie), il fait des pauses respiratoires, il a des troubles de la conscience. La prise du traitement habituel (en général une inhalation de bronchodilatateur) n'améliore pas son état. Cette crise grave peut évoluer vers le décès : par exemple, en France environ 2 000 personnes par an meurent d'asthme (soit 3,2 cas pour 100 000 habitants).

1. Aparté sur les EFR

Les explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) regroupent l'ensemble des explorations permettant de mesurer les variables quantifiables de la fonction respiratoire. C'est le complément indispensable de l'examen clinique en pneumologie.

Ils permettent l'obtention du VEMS (Volume expiratoire maximal seconde) et du DEP (débit expiratoire de pointe)

2. Il existe 3 types d'asthme distinguable :

1. Asthme allergique

Plusieurs personnes atteintes d'asthme souffrent d'allergies qui aggravent leurs symptômes. Sans ce cas il est important de :

- * Connaître les éléments auxquels vous êtes allergique;
- * Éviter les éléments auxquels vous êtes allergique;
- * Prendre des médicaments;

Une allergie peut se définir comme une réaction anormale du corps à l'égard des éléments auxquels il est sensibilisé.

Les allergies peuvent produire plusieurs symptômes différents:

- Yeux prurigineux et larmoiement;
- Nez prurigineux et écoulement nasal;
- Peau prurigineuse; eczéma - peau rugueuse et rouge; Urticaire ;
- Essoufflement; Respiration sifflante; Toux;...

La plupart de ces symptômes peuvent habituellement être soulagés par l'utilisation d'un inhalateur de secours (ex: le Ventolin®).

2. Asthme d'effort

L'asthme à l'effort se manifeste par de l'essoufflement, de l'oppression dans la poitrine, de la toux (avec ou sans crachats) et/ou une respiration sifflante, déclenchée par le refroidissement et l'assèchement des bronches, suite à l'augmentation de la ventilation pendant et après l'exercice. Lorsque combiné à d'autres facteurs déclenchants, comme les infections respiratoires, les allergènes, l'air froid sec, la poussière, la fumée ou les odeurs fortes, l'asthme à l'effort sera souvent plus sévère.

3. L'asthme chronique

un asthme chronique n'est rien d'autre que l'asthme défini précédemment mais il est nécessaire de souligner que ce dernier est décrit par abus de langage comme un asthme de stade 3 ou 4 soit persistant, modéré, ou persistant sévère

IV. **PATHOLOGIE LIE A L'ASTHME PENDANT LA PLONGEE**

1. Risque de surpression pulmonaire

En théorie, la maladie asthmatique expose, directement à la surpression pulmonaire, car cette dernière résulte d'un volo-traumatisme du fait d'un obstacle réduisant la perméabilité des voies aériennes. Ceci devient particulièrement critique lors de la remontée, c'est-à-dire lorsque le volume gazeux pulmonaire augmente avec la diminution de la pression ambiante.

Toutefois les données épidémiologiques actuelles des autres pays ne semblent pas confirmer ce risque théorique.

Remarque:

La surpression pulmonaire a le triste record d'être celle qui détient le plus haut taux de mortalité. La surpression est le plus grave des barotraumatismes

Ces accidents surviennent le plus souvent:

- **soit dans les plèvres** ; Provoquant un pneumothorax, c'est à dire un affaissement du poumon. En effet, la dépression qui maintenait le poumon contre la cage thoracique est anéantie.

- **soit dans les vaisseaux sanguins** ; Cet afflux de bulles pénètre une veine pulmonaire, elles passent à travers le cœur pour se loger en général dans les artères cérébrales (embolie gazeuse), provoquant des troubles neurologiques gravissimes et immédiat.

- **soit dans le médiastin** ; la cavité entre les poumons où se trouve le cœur (sans pénétrer le cœur même), provoquant lorsque cet air remonte le long de la trachée vers le cou, un emphysème sous cutané (bulles sous cutanées) et lorsqu'il descend vers le bas il crée des poches gazeuses abdominales. La direction de l'air dépend de la position du tronc.

2. **ASTHME ET RISQUE D'ACCIDENT DE DÉCOMPRESSION :**

La maladie asthmatique est comme nous l'avons vu caractérisée par la présence dans l'organisme de nombreux médiateurs pro-inflammatoires (cytokines, éicosanoïdes, kinines, histamine, etc.) qui sont également impliqués dans les réactions de l'organisme à l'agression que constitue la présence de bulles dans le compartiment vasculaire lorsque le retour à la pression atmosphérique ne s'est pas déroulé de manière satisfaisante (accident de décompression). Et bien que l'asthme n'est pas en soi un facteur d'accident de décompression, on peut toutefois penser, de plus cela a été observé, qu'il peut potentiellement transformer un dégazage aéro-embolique infraclinique ou bénin en accident (neurologique) massif et réfractaire au traitement.

Il faut souligner que des médicaments antiasthmatiques tels les dérivés de la xanthine (Théophylline) sont des vasodilatateurs pulmonaires, ils peuvent

donc augmenter le passage dans la circulation artérielle des bulles d'azote.

3. RISQUE DE SURVENUE DE CRISE D'ASTHME EN PLONGÉE

⋮

L'inflammation chronique des voies aériennes supérieures (V.A.S.) dans l'asthme est associée à une hyperréactivité bronchique non spécifique en réponse à un large panel de stimuli comprenant des allergènes, l'exercice, des virus, des polluants, et pouvant être modulée par les émotions. L'inhalation d'air mal conditionné, ne passant pas par le nez, en provoquant une évaporation et donc une hyper-osmolarité du mucus favorise le bronchospasme.

Remarque : il est à noter que l'aspiration d'eau salée accentue ce phénomène.

Ce mécanisme est largement responsable de la bronchoconstriction liée à l'effort chez les asthmatiques.

4. LA PLONGÉE PEUT-ELLE ENTRAÎNER UNE MALADIE ASTHMATIQUE ?

Une forte prévalence d'asthme, et d'hyperréactivité bronchique a été reportée chez certains athlètes, particulièrement ceux qui pratiquent des sports d'hiver comme le ski de fond, le patin à glace ou le hockey sur glace.

L'air comprimé des bouteilles de plongée est sec pour éviter la corrosion interne des bouteilles et il se refroidit en se décompressant dans le détendeur. L'air ainsi obtenu n'est pas respiré par le nez et la bouche, mais seulement par la bouche.

Même si le taux d'exposition diffère entre les athlètes de sports d'hiver et les plongeurs, il a été démontré que de la plongée intensive (moniteurs, militaires) entraîne des perturbations spirométriques évoquant des dysfonctions des bronches de petits volumes.

Le mécanisme physiopathologique sous-jacent reste à élucider.

L'hypothèse que l'asthme peut être induit par de la plongée intensive est très récente et doit être confirmée.

V. Prévention et discussion

Regnard et Méliet (2 pneumologues) pensent que le déclenchement des crises d'asthme par l'hyperventilation d'exercice est largement dépendant du refroidissement de la muqueuse des voies aériennes, refroidissement favorisé par la ventilation de gaz sec toujours rencontrée en plongée. Il est difficile de transposer sans autre vérification les résultats de l'étude de Christensen citée par Coëtmeur, obtenus très près de la surface (1,5 m) pour des profondeurs plus grandes où la déperdition thermique convective dans les voies aériennes augmente notablement. A contrario, l'importante augmentation du volume sanguin thoracique freine le refroidissement des voies aériennes pour un même débit de ventilation.

Comme en outre, l'imprévu survient souvent en plongée (progression contre un courant, aide à apporter à un compagnon de palanquée, trajet plus long que prévu,...) et que les efforts ventilatoires sont majorés en immersion, il est également risqué de croire, comme l'affirment Coëtmeur et coll., que « les efforts intenses susceptibles de déclencher une crise d'asthme ne sont jamais atteints » en plongée « de loisir » : compte tenu de l'augmentation de masse volumique

avec la profondeur, de l'augmentation des résistances, des débits de ventilation critiques sont sans doute plus facilement atteints et accompagnés de risque de fatigue ventilatoire ou à tout le moins « d'essoufflement » par hypercapnie et hypoxie.

L'importante augmentation du volume sanguin thoracique limite la capacité résiduelle fonctionnelle et augmente le travail respiratoire.

En plongée, malgré la filtration de l'air par le compresseur, il existe un risque d'exposition à des allergènes comme les pollens d'herbe qui peuvent passer ces filtres; rappelons qu'ils ne seront pas non plus piégés par le nez. Il est aussi rapporté des cas de crises d'asthme secondaires à un défaut de filtration par le compresseur.

Coëtmeur (Pneumologue, Centre Hospitalier Yves Le Foll) conclut qu'il n'y a pas de consensus pour interdire de façon systématique à tous les asthmatiques la pratique de la plongée sous-marine avec scaphandre. Les données de la littérature établissent clairement que des asthmatiques plongent sans dommage. Ce sont habituellement des personnes ayant des asthmes légers, informées des risques théoriques, qui maîtrisent parfaitement les paramètres de leur plongée (état respiratoire normal, vitesse de remontée,...).

Il n'exclut donc pas la possibilité pour les asthmatiques de plonger dans la mesure où l'on constate :

- Un état respiratoire normal, ce qui suppose un délai sans crise variable selon les auteurs allant de 48 heures à plusieurs semaines. De même, la fonction respiratoire en spirométrie doit être indemne de trouble obstructif ;
- L'absence d'hyperréactivité bronchique à l'exercice au froid, à une solution salée hypertonique ou à la

métacholine (PC20 > 8mg/l), ou à l'hyperventilation d'air sec. L'épreuve de provocation devient ainsi nécessaire ;

- Il faut également être prudent en cas de prise de bêta-2-mimétiques d'autant plus qu'il existe chez tout plongeur une bradycardie d'immersion, car ces médicaments augmentent le risque d'arythmies cardiaques, possible facteur de mort subite en plongée ;
- Ce bilan comprenant un examen clinique avec interrogatoire détaillé sur la maladie asthmatique du plongeur candidat et les EFR avec tests de provocation doit, à notre avis, être complété par la pratique au minimum d'un cliché thoracique de face, en inspiration, à la recherche de bulles ou autre aspect pathologique. En cas d'anomalie dont les caractères pourront être mieux précisés par un examen tomodensitométrique thoracique, il faut refuser l'aptitude à la pratique de la plongée sous-marine.

Après recueil de tous les paramètres associant l'interrogatoire avec historique de l'asthme du candidat, examen clinique, examens spirométriques avec tests de provocation, examen radiologique thoracique, sans oublier les motivations de la personne pour la pratique de la plongée sous-marine, il semble possible de classer l'asthme selon les degrés de sévérité de la conférence de consensus. Ainsi plusieurs situations doivent être différenciées :

- Asthme intermittent (palier 1) sans crise récente (délai supérieur à 7 jours) : possibilité de plonger, sans risque accru par rapport à un plongeur non asthmatique. Dans ce cadre, il semble possible d'inclure les asthmatiques ayant un traitement de fond préconisé dans les asthmes persistants légers (palier 2) mais ayant les caractères cliniques du palier 1.

- Les asthmes persistant légers (palier 2) ayant une fonction respiratoire normale mais avec une forte hyperréactivité bronchique (PC20 métacholine < 8 mg/ml) peuvent présenter un bronchospasme en plongée qui de ce fait leur est contre-indiquée.
- Il va de soit que les asthmes « persistant modérés » (palier 3) et « persistant sévères » (palier 4) sont une contre-indication absolue à la pratique de la plongée sous-marine.

VI. Conclusion

Plusieurs questions peuvent facilement nous interpeller :

- L'asthmatique devrait-il faire de l'exercice ?

La réponse est somme toute assez simple en effet Plus de 70 % des asthmatiques ont un asthme léger (niveaux 1 et 2). Majoritairement ceux dont l'asthme n'est pas adéquatement maîtrisé (i.e. dont l'inflammation bronchique est insuffisamment ou non traitée) auront une limitation à l'activité physique.

À l'opposé, ceux dont l'asthme est adéquatement maîtrisé (souvent par la prise régulière de faibles doses de cortisone en inhalation) présenteront peu de restrictions lors de la plupart des activités physiques et sportives.

En prenant plus de précautions et une médication appropriée, les asthmatiques modérés pourront généralement bien tolérer l'activité physique. Par contre, les asthmatiques sévères, qui présentent souvent une obstruction bronchique importante malgré plusieurs médicaments, devront choisir des activités physiques moins exigeantes, à la mesure de leurs capacités.

- Comment prévenir l'asthme à l'effort ?

Par la maîtrise de l'asthme, au moyen de changements de l'environnement et de traitements anti-inflammatoires (surtout la cortisone en inhalation);

Par l'application de mesures préventives et la sélection adéquate des paramètres de l'activité physique (type, intensité, durée, environnement) selon son niveau de sévérité d'asthme.

Si en dépit des mesures de prévention des symptômes d'asthme surviennent après l'exercice, ceux-ci disparaîtront en général spontanément, en moins de 20 minutes. Si les symptômes sont sévères ou persistants, prenez votre bronchodilatateur en inhalation.

- Comment prévenir un asthme allergique

Tout simplement par une éviction de l'allergène. Par exemple par éviction du pollen ou latex de l'équipement.

On peut toutefois stipuler que différentes études montrent que de nombreux plongeurs asymptomatiques, mais présentant une hyperréactivité bronchique, ont pratiqué la plongée pendant des années sans problèmes.

Il semble donc évident que les médecins se retrouvent devant un dilemme pour statuer sur l'aptitude à la plongée de patients asthmatiques.

La FFESSM a eu connaissance de ce « dossier », et a débattu du problème. Pour prendre en compte les arguments des partisans de plus de souplesse dans la décision médicale de contre-indication, elle a modifié le libellé de la rubrique « asthme », qui s'écrit dorénavant « asthme actif » et non plus « asthme » tout court. Et bien que cette nouvelle rédaction manque de

précision, cette dernière a un but précis pour la FFESSM : elle souhaite suggérer au médecin examinateur un bilan complémentaire et un avis pneumologique, avant d'envisager d'autoriser éventuellement la plongée à un patient dont la maladie répond à la définition des paliers I ou II de l'asthme, les paliers III et IV étant toujours formellement contre-indiqués pour la pratique de ce sport !

La FFESSM désire également que le certificat de non contre-indication à la plongée d'un patient ayant répondu « asthme » au questionnaire de santé soit rédigé par un médecin fédéral ayant une formation approfondie, ou par un médecin titulaire du diplôme inter-universitaire de médecine hyperbare et subaquatique.

Cette position est extrêmement importante, et doit être bien connue des médecins, pneumologues ou non, qui seraient confrontés au problème.

Bibliographie

Ouvrage :

- Sergio Salmeron. Pneumologie de la collection med-line 4eme édition aux éditions Estemimprimer en avril 2004

- Antoine Micheau Internat –Mémoire pneumologie aux éditions vernazobres - grego

- Item 226 de la conférence hippocrate de PNEUMOLOGIE REANIMATION - URGENCES

- Asthme Auteur : Collectif, Editeur : INSERM

- Pneumologie Auteur : Gérard HUCHON, Editeur : MASSON Collection : Pour le Praticien

Site internet :

<http://www.plongeur.com/forums/archive/index.php/t-877.html>

<http://www.plongeur.com/forums/archive/index.php/t-4090.html>

<http://pecosse.free.fr/articles.php?lng=fr&pg=106>

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3381039>

<http://www.plongeeonline.com/infos.php?rbk=Conseils+PLONGEE>

<http://www.splf.org/s/IMG/pdf/reglementation62.pdf>

<http://www.splf.org/RMR/accesLibre/asthmeplongee.htm>

Régulation émotionnelle et bien-être subjectif dans les conduites à risques en plongée sous-marine

A. Bonnet¹ ; J-L. Pardinielli²

¹Laboratoire PsyCLE, EA 3273, U.F.R. Psychologie, Université de Provence

²Laboratoire PsyCLE, EA 3273, U.F. R. Psychologie, Université de Provence

Article tiré de:

Bonnet, A., Romain, F., Rouan, G., Pardinielli, J.L. (2003). Bien-être subjectif et régulation émotionnelle dans les conduites à risques. Le cas de la plongée sous-marine. *L'Encéphale*, 29(6) : 488-495.

Auteur responsable de la correction des épreuves :

Agnès Bonnet, MCF, laboratoire PsyCLE - Université de Provence, UFR Psychologie, Département de Psychologie clinique, 29 bd Robert Schuman, 13090 Aix-en-Provence cedex.

Agnes.Bonnet@up.univ-aix.fr

Résumé

Le développement des conduites à risque amène à s'interroger sur les mécanismes psychologiques impliqués dans leur réalisation. Notre objectif est de souligner l'importance et le rôle des facteurs de personnalité et émotionnels dans la réalisation du comportement. Les facteurs concernés sont la Recherche de Danger et d'Aventure, l'anhédonie, le Bien-être subjectif et les émotions différentielles. La population est constituée de 74 plongeurs (H/F) répartis en deux groupes selon leur type de pratique, ayant ou non subi un antécédent d'accident. Des échelles d'auto-évaluation ont été utilisées et ont donné lieu à un traitement statistique. Ce sont la sous-échelle de Recherche de Danger et d'Aventure de Zuckerman (Thrill and Adventure Seeking, 1980), l'échelle de plaisir de Snaith-Hamilton (Snaith-Hamilton Pleasure Scale, 1995), l'échelle de Bien-être Subjectif de Diener (Subjective Well-Being, 1995), et l'échelle d'émotions différentielles d'Izard (Differential Emotion Scale, 1972). La Recherche de Danger et d'Aventure est une variable caractéristique des sujets "à risque". Les résultats étayent le poids des variables émotionnelles dans la prise de risque. Les Emotions négatives du Bien-être apparaissent comme facteur de risque ce qui rend possible le recours à la notion "d'émotionnalité". De plus, les sujets accidentés évaluent ressentir plus d'émotions positives après l'activité que les autres sujets. En revanche, les résultats concernant l'anhédonie ne sont pas significatifs. Sont ainsi soulignées les interactions entre conduites à risque et émotions que nous envisageons en termes de régulation émotionnelle.

"Subjective well-being and self-regulation in risk taking behaviors. The case of scuba-diving".

Abstract. Nowadays, risk-taking behaviors category is a very fast growing domain, yet not well known. Recent studies point out the importance of emotional phenomenons in subjective risk-taking behaviors. According to this axis, on scuba-diving empirical field, we aim to depict the size and the role of psychological process in the realization of the behavior; our research links personality variables and emotional ones. The observation of scuba-divers behavior lead us to construct a fitting of conceptual positions to give an account of that behavior and its subjective function. The self-regulation concept has been dimensioned through several factors and the scales in respect of: Thrill and Adventure Seeking (Zuckerman, 1980), anhedonia (Snaith-Hamilton Pleasure Scale, 1995), Subjective Well-being (Diener, 1992) and differential emotions

(Izard, 1972). The population of this study is composed of 74 subjects. They are grouped in 2 categories depending of the risk-taking behavior, injured or injuredless. The datas have been statistically treated by classic methods (Khi-2, student t test) and logistic regression. It appears that Thrill and Adventure Seeking discriminate risk-taking in scuba-diving. The results especially support the weight of emotional variables. It turns out that risk-taking subjects are particularly sensitive to negative emotions. Negative well-being seems to be a central characteristic of the emotional functioning of these subjects. Moreover injured subjects tend to overestimate emotions linked to the behavior. Anhedonia is not a caresteristic factor. So it introduces the notion of emotionality and sublins the interactions between risk-taking behavior and emotions through the self-regulation concept.

Key-words: Risk-taking behavior; Thrill and Adventure Seeking; Emotions; Subjective well-being; Self-regulation.

INTRODUCTION

Le domaine de la santé publique rencontre actuellement un nombre important de situations “à risque” ayant des conséquences sur le plan de la santé publique, sociales et financières non négligeables (Baiju, 2003). Dans ce contexte, il est nécessaire de connaître plus précisément les variables impliquées dans ces situations. Pour notre part, nous avons étudié les phénomènes psychologiques - cognitifs et comportementaux - et les mécanismes sous-jacents à ces pratiques, dans le but lointain de contribuer à terme à la modulation de ces comportements.

Les conduites à risque (Adès, 1994) ou “de prise de risque” constituent un objet d’étude complexe impliquant, dans une perspective étiologique, plusieurs phénomènes, notamment émotionnels (Bonnet et col. 2003 ; Levenson, 1990 ; Michel et col. 1997 ; Spies et col. 1997 ; Taylor & Hamilton, 1997).

S’appuyant sur un matériel issu de la plongée sous-marine, notre recherche se propose de faire le lien entre variables de personnalité et facteurs émotionnels.

Dans une perspective de régulation des émotions, l’observation comportementale des plongeurs nous conduit à aborder plusieurs positions conceptuelles pour

rendre compte d’un comportement et de sa fonction subjective.

Le bien-être subjectif, composé de trois dimensions émotionnelles, est envisagé comme facteur de risque, sur la réalisation d’un comportement. La notion de régulation émotionnelle soutient l’influence d’une tonalité émotionnelle dispositionnelle sur la prise de risque.

La prise de risque étudiée ici implique aussi d’éclairer l’implication d’un trait de personnalité - la recherche de sensations - et un trait émotionnel - l’anhédonie. Nous utilisons le concept opératoire de Recherche de Sensations pour rendre compte d’une dynamique de personnalité ; en effet, des travaux (Michel et col. 1997) mettent en évidence sa relation avec l’incapacité à éprouver du plaisir ou anhédonie. Par ailleurs, le comportement ayant à son tour un effet sur les émotions, nous allons également évaluer par l’intermédiaire des émotions différentielles, la qualité et l’intensité de l’état émotionnel post-comportement (avec ou sans antécédent d’accident).

Nous discuterons les résultats à partir de la notion de régulation émotionnelle pour faire le lien entre un comportement pouvant être déterminé par des facteurs de personnalité et

émotionnels, et la fonction de ce comportement.

GESTION DES EMOTIONS

Bien-être Subjectif

Le concept de Bien-être entre dans le cadre de modèles explicatifs envisageant les relations entre les composantes émotionnelles de l'individu et les cognitions selon un continuum du pôle négatif au pôle positif constituant les tonalités émotionnelles subjectives. Développé par Ed Diener (1995), ce concept définit, suite aux travaux de Watson et Tellegen (1985), deux dimensions indépendantes (affects positifs versus affects négatifs) qui définissent le niveau émotionnel du bien-être (par opposition au niveau cognitif). La partie la plus haute de chaque dimension (affect élevé) représente un état d'éveil émotionnel (versus une relative absence d'intérêt affectif). Selon Diener, un type d'affect constituerait la base de l'humeur stable caractérisant un individu, et l'orienterait ensuite à faire l'expérience préférentielle de certains types d'émotions discrètes. Le Bien-être subjectif est ainsi considéré comme une dimension primaire (Stones & Kozma, 1986).

Certaines dispositions tempéramentales (i.e. émotionnalité négative versus positive)

apparaissent comme des prédicteurs du Bien-être subjectif ; l'extraversion est ainsi entendue comme pouvant favoriser l'expérimentation ultérieure par le sujet d'émotions positives (Pavot & col. 1990). L'intensité émotionnelle est une autre variable pouvant avoir une influence sur l'expérience émotionnelle (Oishi et col. 1998); ainsi, les hauts chercheurs de sensations attendraient un état d'activation émotionnelle élevé (éveil élevé), tandis que l'inverse serait attendu par les faibles chercheurs de sensations.

Les conduites à risques s'inscrivent dans cet axe, les émotions semblant avoir en effet un impact particulier pour le sujet (Bonnet et col. 2003).

Dans le cadre de la régulation émotionnelle, le concept de bien-être subjectif est particulièrement heuristique ; il est en effet, considéré comme l'un des buts de nos conduites, notamment hédoniques.

Le concept de régulation subjective (self-regulation) envisage les émotions et l'humeur positive comme servant différents buts (Aspinwall, 1998), et notamment le maintien d'un bien-être général optimum. C'est dans ce cadre que nous discuterons ses apports. La régulation émotionnelle souligne l'effet des émotions sur la subjectivité, effet

que nous allons aborder grâce aux émotions différentielles.

Emotions différentielles

Les émotions primaires situent l'émotion comme un phénomène motivationnel, servant des fonctions biologiques et sociales essentielles et pouvant déterminer le comportement (Izard, 1999).

La théorie des Emotions différentielles, fondé sur la définition d'émotions fondamentales (joie, tristesse, colère...) représente pour sa part une tentative d'intégration de l'étude des émotions dans un système de personnalité. Elle souligne le fait que ressentir une émotion, quel que soit son niveau d'intensité, est un état motivationnel ; c'est un processus non cognitif qui détermine l'éprouvé subjectif. Le traitement cognitif intervient alors dans un second temps, et permet de définir la représentation subjective de l'état émotionnel expérimenté (Izard, 1972).

L'échelle d'Emotions différentielles d'Izard est utilisé notamment, pour étudier la variabilité des états émotionnels secondaires au comportement (i.e. exercice physique (Aganoffa, 1994), ou encore, pour objectiver les biais cognitifs présents chez des sujets souffrant de troubles de l'humeur (Youngstrom et col. 1999).

L'adaptation française de cette échelle ouvre le recours à cet outil sur d'autres applications en psychopathologie (situation d'évaluation non inductive). En effet, il ne s'agit plus de décrire un état imaginaire mais d'évaluer les adjectifs jugés les plus pertinents pour décrire son état actuel (Ouss et col. 1990). C'est ce second axe que nous privilégions dans ce travail : les émotions différentielles sont posées comme des marqueurs pouvant rendre compte de l'effet du comportement de prise de risque sur le ressenti émotionnel subjectif.

Prise de risque

Conduites à risque

La conduite à risque (Adès, 1994) implique dans sa dimension pathologique "l'engagement délibéré et répétitif dans des situations dangereuses, pour soi-même et éventuellement pour autrui, comportement non imposé par les conditions de travail ou d'existence, mais recherché activement pour l'éprouvé de sensations fortes, de jeu avec le danger et souvent avec la mort". La "prise de risque" est ici active. Par cette expression concernant la conduite à risque, nous soulignons la dimension d'intentionnalité accrue (Michel, 2001). Le sujet est acteur de sa mise en danger, ce qui peut conduire au niveau psychopathologique, à un

regroupement nosographique de ce type de conduites. Certaines pratiques sportives sont envisagées dans la classification définie par Adès (1994): elles sont doublement caractérisées par l'augmentation du risque dans le choix des initiatives, et une tentative de réduction de celui-ci dans la réalisation de l'action par la maîtrise technique et l'expertise du sujet. Dans ce travail, nous allons envisager la fonction hédoniste du comportement, sans que la dimension d'assuétude que peut parfois revêtir le comportement ne soit envisagée. A l'heure actuelle, le concept de Recherche de Sensations est celui qui rend le mieux compte du point de vue de la personnalité, des conduites à risque, même si cela reste parcellaire.

Recherche de Sensations

La Recherche de Sensations selon Zuckerman (1972) définit un trait de personnalité "caractérisé par le besoin d'expériences variées, nouvelles, complexes et la volonté de s'engager dans des activités physiques et sociales risquées, expériences recherchées pour elles-mêmes et soutenues par la recherche de plaisir" (Carton et col. 1990); le but de la Recherche de Sensations est de maintenir un niveau élevé d'activation corticale. Bien que l'étude de la

prise de risque comportementale en termes de trait reste partielle, ce concept a l'avantage d'éclairer les relations entre un comportement et une personnalité en incluant une dimension biologique. Limiter, la prise de risque à des potentiels d'activation physiologiques apparaît un peu réducteur eu égard à la complexité du phénomène. Cependant, les travaux de Zuckerman ont permis d'élaborer une échelle qui permet de déterminer une typologie des "preneurs de risques". Cet outil, traduit et validé en français par Carton et coll. (1990), est constitué de 4 sous-échelles: la "Désinhibition" (Disinhibition Scale -D.I.S.-), la "Recherche d'Expériences" (Experience Seeking -E.S.-), la "Susceptibilité à l'Ennui"(Boredom Susceptibility -B.S.-) et la "Recherche de Danger et d'Aventure" (Thrill and Adventure Seeking -T.A.S.-). Les différentes dimensions de personnalité qui constituent la Recherche de sensations, ont été étudiées et définissent des types de "preneurs de risques". Ainsi, la DIS est souvent associée aux conduites à risque « à long terme », ou encore, différées (i.e. consommation de substances), mais aussi à certaines pratiques sportives (Franquès et col. 2002). D'autres travaux soulignent les liens entre la TAS et certaines pratiques sportives, telles que, par exemple, le

parachutisme, ou encore, en association avec la recherche d'expériences, les grimpeurs (Cronin, 1991) ou les coureurs automobiles (Straub, 1982).

La T.A.S. contient les items correspondant aux sports à risque, dont la plongée en scaphandre fait partie (Zuckerman, 1978). Des travaux ont porté sur des pratiquants de deltaplane qui ont été comparés à des joueurs de bowling (Straub, 1982); les résultats ont montré que les pratiquants de deltaplane ont des scores supérieurs à l'échelle de Recherche de Danger et d'Aventure à ceux des joueurs de bowling. Une étude de Bacon (1974) sur des plongeurs sauveteurs a mis en évidence que ceux-ci obtenaient des scores supérieurs à la T.A.S. aux sujets témoins (étudiants). D'autres travaux portant sur des skieurs (Connolly, 1981), des alpinistes (Freixanet, 1991), ou encore des pratiquants de sports en eaux vives (Campbell, 1993) ont également montré la pertinence de cette dimension. Une autre étude plus récente enfin, de Michel et coll. (1997) a comparé une population de benjistes (pratiquants du saut à l'élastique) et a mis en relief la pertinence de la T.A.S. au regard des "preneurs de risques". La T.A.S. est représentée massivement dans les activités "à risque" ce qui justifie son utilisation isolée dans cette étude. Cependant, les

travaux Slanger (1997) signalent la possibilité d'un effet plafond qui ne permettrait pas de distinguer les pratiquants des activités "à risque" des pratiquants "à risque" de ces mêmes activités. Toutefois, cet argument est soumis à controverse aux vues d'autres études prenant en compte différents niveaux de risque (Levenson, 1990). En ce qui concerne notre étude, il faut préciser que la pratique à risque de la plongée sous-marine correspond à une pratique déviée de l'activité se situant à l'extrême de la prise de risque calculée.

La problématique de l'évaluation du risque par le sujet dépend en effet autant de sa perception que de certaines dimensions de sa personnalité. La prise de risque est un phénomène complexe qui inclut aussi des variables de personnalité et émotionnelles comme l'anhédonie impliquées dans la réalisation du comportement, et pouvant intervenir dans l'estimation précédant la prise de risque proprement dite (Bonnet et col. 2004).

L'anhédonie

L'anhédonie est habituellement utilisée pour rendre compte d'une incapacité à ressentir du plaisir. Elle représente en psychopathologie une dimension symptomatique des troubles de l'humeur

(anhédonie-état), préférentiellement en ce qui concerne la schizophrénie et la dépression, et un trait de personnalité (anhédonie-trait). Ce trait désigne la perte de la capacité à éprouver du plaisir chez les sujets ne présentant pas de troubles psychiatriques. En revanche, associé à d'autres traits, il peut favoriser l'émergence de troubles psychiatriques (schizophrénie et dépression) (Loas & Pierson, 1989). Nous utilisons ici ce terme pour rendre compte de la capacité à prendre du plaisir, et nous évaluons par conséquent l'absence de ce trait. Les travaux de Michel (1997) soulignent la relation entre l'anhédonie et la Recherche de Danger et d'Aventure. Il existe une corrélation dans la population féminine entre la motivation personnelle (pour la pratique des sauts à l'élastique) et/ou la présence de plus de cinq sauts réguliers avec une anhédonie élevée. La recherche de stimulations pourrait représenter un mouvement destiné à lutter contre une indifférence affective sous-jacente ; ceci dans le but de ressentir des émotions, positives ou négatives, mais véritablement expérimentées, ce que ne permettraient pas des stimulations communes.

En conséquence, il est possible d'envisager les "preneurs de risques" comme étant des sujets qui tirent bénéfice du comportement

par une expérience émotionnelle qu'ils pourront communiquer alors sous forme d'émotions différentielles.

Nous tenterons ainsi d'éclairer, à la lumière de concepts indépendants, un phénomène pluridéterminé. Nous utiliserons la notion de régulation émotionnelle dans une perspective intégrative, en prenant en considération des concepts issus de différents champs théoriques, pour rendre compte des conduites à risque.

OBJECTIFS

Ce travail a pour buts de déterminer:

- Les relations entre les conduites à risque et les variables de personnalité (Recherche de danger et d'aventures) et émotionnelles (Anhédonie, Bien-être subjectif, et émotions différentielles) ;
- L'incidence de l'accident sur l'expérience émotionnelle du sujet; l'accident étant un événement susceptible de modifier le ressenti émotionnel du sujet lié à sa pratique.
- Des facteurs de risque à ce type de "conduites à risque", dans un souci de prévention de ces comportements.

METHODOLOGIE

Sujets

La population est constituée de 74 sujets, 10 femmes et 64 hommes. Le niveau socio-culturel des sujets n'a pas été retenu comme variable pertinente, la plongée étant une activité sélective d'emblée par son coût et le poids de la formation théorique des pratiquants évalués (Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins); par conséquent, nous avons considéré la pratique de l'activité comme étant un critère d'homogénéisation de la population.

Tous les plongeurs ont rempli un questionnaire à visée descriptive pour confirmer leur niveau de plongée (Niveau III "plongeur autonome" minimum) et le type de pratique de plongée privilégiée par le sujet. Ces résultats ne sont pas pris en compte dans cette étude, mais ils ont permis de répartir les sujets en deux groupes homogènes quant au type de pratique (avec ou sans prise de risque), et à l'antécédent d'accident de plongée. Les sujets accidentés ayant été reçus dans les caissons hyperbares (n= 36): CHRU Salvator (Marseille), CHR Font-pré (Toulon), Hôpital militaire Sainte-Anne (Toulon), CHRU Pasteur (Nice) ont été sélectionnés sur dossiers médicaux par médecins. Les plongeurs non accidentés (n= 38) sont issus de la région méditerranéenne.

Dans cette population (N=74) se trouvaient des plongeurs ayant une pratique "à risque" de l'activité (n= 38) et des plongeurs sans pratique "à risque" (n= 36).

Le comportement de prise de risque en plongée doit présenter une ou des caractéristiques suivantes: profondeur supérieure à 60m, fortes saturations en azote successives, divers (non respect des procédures de décompression, non respect des consignes de sécurité, antécédents médicaux de contre-indication à la plongée, fatigue excessive, prise d'alcool et autres substances psychoactives). Les critères d'exclusion sont les comportements liés à l'ignorance (niveau de plongée insuffisant, sans formation théorique initiale), à l'activité professionnelle, à la dépendance à autrui, à la pression sociale.

Hypothèses

- Les sujets « à risque » présentent des scores supérieurs aux sujets ne présentant pas de conduite à risque en : Recherche de danger et d'aventure, Emotions négatives à l'échelle de Bien-être ;
- Ils présentent en outre, des scores inférieurs aux sujets « non à risque » en Emotions positives à l'échelle de Bien-être ;

- Ils obtiennent des scores non significativement différents des sujets « non à risque » en anhédonie ;
- Ils obtiennent des scores différents, par contre, en émotions différentielles, après la plongée ;
- Les plongeurs accidentés ont des scores différents à l'échelle d'Emotions Différentielles des sujets non accidentés.
- La Recherche de Danger et d'Aventure, les Emotions négatives du Bien-être subjectif et l'anhédonie constituent des facteurs favorisant la prise de risque, tandis que les Emotions positives du "Bien-être subjectif" constituent un facteur protecteur à la prise de risque.
- "L'échelle de plaisir de Snaith-Hamilton": Snaith-Hamilton Pleasure Scale (S.H.A.P.S., 1995). Traduction française et étude de validation par Loas et coll. (1997). Elle contient quatorze items cotés 0 ou 1.
- "L'échelle de Bien-être subjectif" : Subjective Well-being (S.W.B.), Diener 1992. Traduction française et validation de Rolland (1998). Elle est constituée de trois sous-échelles : *Emotions positives*, scores de 10 à 70 (10 items de 1 à 7); *Emotions négatives*, scores de 18 à 126 (18 items de 1 à 7) ; *surprise*, scores de 3 à 21 (3 items de 1 à 7).
- "L'échelle d'Emotions Différentielles": Differential Emotions Scale (D.E.S.), Izard 1977. Traduction française et validation Ouss et Carton (1990). Elle est constituée de neuf facteurs: *sensitivité* (7 items de 1 à 5), *joie* (3 items 1-5), *colère* (3 items 1-5), *paranoïa* (4 items 1-5), *surprise* (3 items 1-5), *attention* (3 items 1-5), *découragement* (3 items 1-5), *alerte* (1 item 1-5), *dégoût* (4 items 1-5). Les facteurs joie, colère, surprise et découragement représentent les émotions fondamentales.

Outils et procédure

- "Sous-échelle de Recherche de Danger et d'aventure": Thrill and Adventure Seeking (T.A.S.) issue de la Sensation Seeking Scale (S.S.S.), Zuckerman 1980, forme IV (Zuckerman, 1978). Traduction française et validation de Carton et coll. (8). Elle contient les items correspondant à la pratique des sports à risque. Le score va de 0 à 14.

Les échelles de Recherche de Danger et d'Aventure, de plaisir de Snaith-Hamilton, et de Bien-être Subjectif ont été remplies par les sujets indépendamment de la pratique de l'activité. Seule l'échelle visant à relever un état émotionnel après la plongée (D.E.S.) a été remplie après celle-ci.

Statistiques

Nous avons comparé les deux groupes de plongeurs (à risque et non à risque) et les groupes de sujet accidentés en fonction des facteurs étudiés (âge, sexe, recherche de danger, bien-être subjectif, émotions différentielles). Les méthodes classiques (Test du Khi deux pour comparaison d'effectifs et Test t de Student pour comparaison de moyennes) ont été employées. Le test non paramétrique de Fisher pour comparaison d'effectifs a été utilisé lorsque les conditions d'application du Khi deux n'étaient pas remplies. Le seuil de significativité a été fixé à 5%. La même méthode a été utilisée pour comparer les groupes de sujets accidentés et non accidentés aux scores à l'échelle d'émotions différentielles.

Des analyses par régression logistique ascendante pas à pas de Wald ont été utilisées pour calculer les odd ratio (OR) et

leurs intervalles de confiance à 95% (95%IC) et pour permettre l'ajustement sur les facteurs potentiels de confusions. Pour entrer dans la régression logistique, au moins une des conditions suivantes devait être respectée : un $p \leq 0,2$ à l'analyse univariée et/ou être considéré comme un facteur de risque potentiel. Les odds ratio (OR) correspondent à l'estimation de l'augmentation du risque de présenter une conduite à risque quand le score augmente d'une unité c'est à dire d'un point ; un OR >1 signifie une augmentation du risque et un OR <1 , une diminution du risque.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel SPSS 9.

RESULTATS

Caractéristiques sociodémographiques

La population est âgée de 22 à 66 ans avec une moyenne à 40 ± 10 ans (moyenne \pm écart-type).

Nous trouvons une différence significative entre les deux groupes en fonction de l'âge ; les plongeurs "à risque" (n = 38, m = 36, $2 \pm 8, 6$) sont significativement plus jeunes que les plongeurs "non à risque" (n = 36, m = 43, $8 \pm 10, 9$) à t = 11, ddl = 1; p = 0,001. Nous ne retrouvons pas de différence significative en

fonction du sexe ($p= 0,73$). Les sexe ratios hommes/femmes dans les deux groupes sont les suivants: plongeurs avec conduites à risque: 32/6; plongeurs sans conduites à risque : 32/4.

Conduites à risque et variables de personnalité et émotionnelles (tableau I)

Recherche de Danger et d'Aventure: il existe une différence significative entre les deux groupes sur les scores à la T.A.S. Les plongeurs "à risque" ont des scores supérieurs aux plongeurs "non à risque".

Anhédonie: nous ne retrouvons pas de différence significative à l'échelle de plaisir entre les scores des sujets "à risque" et ceux des sujets "non à risque".

Bien-être subjectif: nous retrouvons une différence significative entre les scores des sujets à la sous-échelle d'Emotions négatives, mais nous ne retrouvons aucune différence significative sur les scores aux deux autres sous-échelles (Emotions positives et Surprise). Les plongeurs "à risque" ont des scores supérieurs en Emotions négatives aux plongeurs "non à risque".

Emotions différentielles: nous ne retrouvons aucune différence significative entre les deux groupes pour les scores aux différents

facteurs de la D.E.S.: Sensitivité, $t= 2,69$ et $p= 0,10$; joie, $t= 1,01$ et $p= 0,31$; colère, $t= 0,04$ et $p= 0,84$; paranoïa, $t= 1,49$ et $p= 0,22$; surprise, $t= 0,20$ et $p= 0,65$; attention, $t= 0,71$ et $p= 0,40$; découragement, $t= 2,74$ et $p= 0,10$; alerte, $t= 2,06$ et $p= 0,15$; dégoût, $t= 3,30$ et $p= 0,07$.

Accident et Emotions Différentielles (tableau II)

Il existe des différences significatives pour les facteurs Sensitivité, Joie, Colère, Surprise, Attention et Alerte. En effet les sujets accidentés ressentent plus de Joie, de Surprise, sont plus attentifs et plus alertes après la plongée que les sujets non accidentés. Par ailleurs ils sont moins sensitifs et ressentent moins de colère que les sujets sans accident.

Facteurs de risque aux conduites à risque

La régression logistique non ajustée montre que la probabilité de présenter une conduite à risque en plongée augmente avec le score de Recherche de Danger et d'Aventure et celui d'Emotions négatives. Nous trouvons un odds ratio (OR= 1,35) avec un intervalle de confiance(IC) entre 1,01 et 1,81($p= 0,04$) pour la Recherche de Danger et d'Aventure

et pour les Emotions négatives, OR= 1,04(IC [1,00; 1,07], (p= 0,02).

La régression ajustée sur l'âge montre que la prise de risque augmente seulement avec les Emotions négatives : OR= 1,05 (IC [1,02; 1,09]), (p= 0,01).

DISCUSSION

Concernant cette population, nous avons trois objectifs initiaux: premièrement, mettre en évidence les relations entre les conduites à risque et les variables de personnalité et émotionnelles; deuxièmement, évaluer l'incidence de l'accident sur l'état émotionnel subjectif après la plongée; troisièmement, dégager des facteurs favorisant la prise de risque.

Les résultats valident en partie les hypothèses formulées. Tout d'abord, nous avons fait l'hypothèse, conformément à la littérature, que les sujets présentant des conduites à risque présentaient des scores plus élevés en Recherche de Danger et d'Aventure que les sujets sans conduites à risque. Les analyses statistiques nous permettent de valider cette première hypothèse concernant l'implication de ce facteur de personnalité chez les sujets "à risque". Les travaux précédents sur le concept de Recherche de Sensations mettent en effet en évidence la spécificité de cette

sous-échelle pour les sports à sensations fortes considérés comme sports "à risque". Bien que la validité discriminante de la T.A.S. soit remise en question par certains auteurs (Slanger & Rudestam, 1997), il apparaît dans notre étude, qu'elle permet de discriminer les pratiquants "à risque" ou "extrêmes" en plongée sous-marine, des pratiquants "non à risque", pourtant amateurs d'une activité risquée.

La seconde hypothèse concernait la capacité à prendre du plaisir. Nous avons fait l'hypothèse, contrairement à la littérature, que les deux groupes de sujets ne se distinguaient pas sur les scores à l'échelle de plaisir. Cette hypothèse est validée; les sujets "à risque" sont aussi capables que les sujets non "à risque" de prendre du plaisir. Par conséquent, si l'anhédonie est une variable qui peut, pour certaines populations, être mise en relation avec la Recherche de sensations, elle n'est pas pertinente pour rendre compte du fonctionnement émotionnel des plongeurs présentant des conduites à risque. Ceci pourrait notamment s'expliquer par les relations entre anhédonie, et dépression, la première correspondant parfois à un symptôme de la seconde. Ainsi, certaines conduites à risque, par exemple, la consommation de substances, pourraient être davantage concernées par l'implication de cette variable.

Par ailleurs, les résultats mettent en évidence une saturation significative du facteur Emotions négatives de l'échelle de Bien-être, chez les sujets "à risque", conformément à l'hypothèse de départ, bien que les deux groupes de sujets ne se distinguent pas au regard des Emotions positives. L'évaluation du Bien-être des sujets "à risque" est ainsi saturée en Emotions négatives, ce qui souligne l'importance des émotions et de leur gestion dans la prise de risque. On peut donc dire, au regard de cette variable, que les plongeurs "à risque" représentent un groupe particulier de la population de plongeurs.

Les émotions ont été également évaluées à travers l'échelle d'émotions différentielles; contrairement à l'hypothèse, les sujets "à risque" ne présentent pas de profil d'état émotionnel subjectif après le comportement de plongée différent des sujets non "à risque". Ceci est toutefois contredit par une autre étude portant sur une population de plongeurs plus importante (Bonnet et col. 2007). Toutefois, en ce qui concerne les plongeurs accidentés, nous avons fait l'hypothèse que l'accident pouvait avoir un effet sur l'état émotionnel subjectif, et par conséquent, que les sujets ayant vécu un accident auraient des scores différents à l'échelle d'émotions différentielles. Cette hypothèse est validée; les sujets accidentés

évaluent ressentir plus d'émotions (état) positives (joie, surprise) et un état d'éveil émotionnel supérieur (attention, alerte) après la plongée, aux sujets sans accident. Par ailleurs, ils estiment également ressentir moins d'émotions négatives (sensitivité, colère) que les sujets sans accident.

Ces résultats soulignent deux points. D'une part, on peut envisager l'existence d'une manifestation réactionnelle post-accident qui tendrait vers la surestimation des bénéfices liés à la pratique de cette activité "à risque", indépendamment d'une conduite à risque. Ceci justifierait en quelque sorte l'engagement du sujet dans le comportement, et conduirait, selon le même schéma de pensée, à la sous-estimation des émotions négatives. D'autre part, l'existence d'un état d'éveil émotionnel supérieur semble mettre en relief la trace laissée par l'événement "accident". Un état d'éveil élevé permet en effet de repérer précocement les premiers signes de l'apparition d'une pathologie liée à la plongée (signes neurologiques et neurovégétatifs de l'accident et de la maladie de décompression notamment). Cet état émotionnel est parfaitement congruent à la conduite à tenir lors de la sortie de toute plongée de profondeur relativement importante.

Enfin, notre projet était également de déterminer des facteurs de risque à ce type de comportement pathogène. La régression ajustée sur l'âge nous a permis de mettre en évidence qu'il est un facteur de confusion de la relation apparaissant dans cette étude entre la présence de conduites à risque et la Recherche de Danger et d'Aventure. La probabilité de présenter une conduite à risque croît avec l'augmentation des scores aux Emotions négatives de l'échelle de Bien-être. La probabilité de réaliser des comportements de prise de risque est multipliée par 1,05 [1,02-1,09] à chaque augmentation d'un point au score d'Emotions négatives. Les Emotions négatives représentent donc un facteur favorisant pour les conduites à risque en plongée sous-marine ; l'anhédonie et les Emotions positives, envisagées respectivement dans ce modèle, comme facteur de risque et comme facteur protecteur, ne donnent pas de résultat significatif.

La lecture de ces résultats, bien que limités par l'effectif des échantillons, nous conduit à envisager deux niveaux de compréhension du phénomène : le niveau de la personnalité, et la régulation des émotions à travers les conduites à risque. Les développements suivants s'entendent dans cet axe.

Personnalité et émotions

Les travaux Levenson (1990) ont porté notamment sur l'association de traits de personnalité (Recherche de Sensations, Névrosisme/Extraversion) et de variables émotionnelles avec la prise de risque. Il étudie trois types de risques à partir de trois populations différentes: des sujets résidents en unités pour toxico-dépendants, des sauveteurs professionnels appelés "héros", et des sportifs à risque (alpinistes "extrêmes"). Il apparaît que les sujets toxico-dépendants ont des scores supérieurs aux deux autres groupes en émotionnalité (sensibilité émotionnelle aux affects dysphoriques) et en dépression, tandis que les alpinistes et les "héros" ont des scores égaux à la norme. Pour la Recherche de Sensations, les grimpeurs ont les plus hauts scores dans le facteur Général, Recherche de Danger et d'Aventure, Recherche d'Expériences, les sujets toxico-dépendants ont des scores supérieurs aux deux autres groupes en Désinhibition et Susceptibilité à l'ennui, alors que les héros ont des scores inférieurs à la norme.

Ces résultats sont intéressants parce qu'ils soulignent la sensibilité particulière aux affects dysphoriques d'une population représentant un type de risque dit "à long terme" ou "différé" (sujets toxico-

dépendants). La population de notre étude était constituée de sujets ayant des conduites à risque "à court terme" ou "immédiates"; nos résultats soulignent l'existence d'un Bien-être saturé en Emotions négatives, ce qui va dans un sens inverse aux travaux de Levenson concernant ce type de conduite. Cependant, non seulement nos plongeurs "à risque" ont une saturation de leur Bien-être supérieur en Emotions négatives, mais ces Emotions négatives constituent un facteur de risque, tandis que la Recherche de Danger et d'Aventure ne répond plus au modèle, lors de l'ajustement sur le facteur de confusion (âge). Par conséquent, on peut dire que ce facteur représente une variable très importante pour comprendre le fonctionnement émotionnel des sujets présentant des conduites à risque en plongée sous-marine.

La notion d'émotionnalité peut ainsi se définir comme une sensibilité aux émotions négatives, qui serait indirectement responsable du Bien-être ou de l'humeur de base d'un sujet. Ceci induirait l'expérimentation ultérieure d'un certain type d'émotions discrètes ou états émotionnels. Zuckeman (1988) rapproche l'émotionnalité de l'affectivité négative, ce qui correspondrait par conséquent au même facteur que le Névrosisme du modèle d'Eysenck. L'émotionnalité met en relief

l'importance des émotions dans la régulation subjective et dans le fonctionnement cognitif d'un individu. Elle induirait indirectement l'aménagement des stratégies cognitives ou de coping, suite à un délai de 3 mois suivant l'événement de vie qui aurait pu perturber le bien-être du sujet. Ce délai est en effet important à respecter dans l'évaluation des patients accidentés. Après ce délai, le sujet retrouverait son fonctionnement émotionnel dispositionnel. Ceci peut être une raison pour laquelle nos plongeurs ayant vécu un accident ont tendance à surestimer leurs émotions positives "état" après la plongée, sans que toutefois ils ne perturbent la saturation en Emotions négatives des scores de la population de plongeurs "à risque".

Les stratégies cognitives seraient influençables par les émotions et affects (inconscients) expérimentés par un sujet; par conséquent, la prise de risque s'en trouverait également influencée. Nos résultats portent à croire qu'une explication en termes d'affects, d'humeur et d'émotionnalité pourrait s'inscrire dans une perspective de régulation émotionnelle, à travers un comportement de prise de risque. Nous allons à présent envisager quels sont les liens possibles entre conduites à risque et régulation émotionnelle.

Conduites à risque et régulation émotionnelle

Les travaux de Taylor et Hamilton (1997) envisagent les facteurs de personnalité comme jouant un rôle important dans la régulation de soi. Il distingue deux fonctions différentes d'auto-régulation attribuées à la Recherche de Sensations, à partir des facteurs Désinhibition et Recherche de Danger. Ce sont respectivement les fonctions de fuite de la conscience de soi et de compensation. Les sujets présentant des scores importants en Désinhibition sont décrits comme présentant un fonctionnement psychologique pauvre, avec une faible estime de soi, une forte anxiété et dépression. Ceci est caractéristique des sujets ayant des conduites d'abus de substance. Les sujets présentant des scores hauts en Recherche de Danger ne présentent pas d'indices de problèmes psychologiques; la compensation implique un concept de soi plus complexe et plus résilient. Ces remarques semblent par ailleurs confirmer les travaux de Levenson (1990) sur l'association de la Désinhibition avec les Emotions négatives, d'autant plus que Taylor a souligné dans ses résultats une corrélation entre Emotions négatives et fuite. Par conséquent, la compensation n'est pas reliée aux indices de détresse émotionnelle, tandis que la fuite l'est; ceci ne correspond

pas à nos résultats actuels. Cependant, ils peuvent s'entendre différemment en raison de la spécificité de l'activité de plongée sous-marine à l'air. Nous savons en effet que la plongée implique physiologiquement à partir d'une certaine profondeur des modifications émotionnelles et cognitives, qui plus est lorsqu'il s'agit de conduites à risque (influence de l'augmentation de pression sur la circulation de l'influx nerveux dans les gaines de myéline). Ce phénomène, la narcose, étant présent dès 30m de profondeur et la susceptibilité individuelle à celle-ci étant variable, il est difficile de définir en conditions réelles son intensité; l'évaluation et l'estimation qu'en fait le plongeur est donc relative. Les scores des plongeurs "à risque" à la sous-échelle de Recherche de Danger et d'Aventure et aux Emotions négatives nous laissent envisager que la prise de risque en plongée peut être considérée comme un comportement mixte, résultant de la combinaison entre compensation et fuite à travers les phénomènes émotionnels impliqués. Nous ne connaissons pas l'expérience émotionnelle qualitative des plongeurs "à risque" pendant l'immersion; toutefois nous savons que pré-existe au comportement un bien-être saturé en Emotions négatives. Ce point est particulièrement important. En effet, la présence d'une modification

subjective pendant la plongée peut être envisagée comme responsable d'un état de bien-être (bien que cela ne ressorte pas dans nos résultats), pour pallier la disposition émotionnelle de base, et prendre ainsi place dans un système de régulation émotionnelle subjective. On peut entendre également dans ce cadre la surestimation des bénéfices émotionnels liés à la plongée dans le cas des sujets accidentés. Elle viendrait peut-être alors souligner le but "hédonique" de ces conduites, par le maintien d'un Bien-être subjectif.

La disparité des modèles et leur compréhension parcellaire du phénomène de prise de risque conduit à recourir à une vision théorique alternative de type intégratif comme peut l'être la régulation des émotions.

Conclusion

Le concept de régulation émotionnelle subjective semble ici heuristique et porteur de modélisation. Le comportement serait en effet déterminé, en amont, par l'interaction

de variables de personnalité et psychosociales, induisant en retour, par l'intermédiaire des composantes dispositionnelles de l'individu, la recherche de cet état subjectif particulier. Dans ce cadre, bien que non significativement différent entre sujets "à risque" ou non, l'état émotionnel revêt ainsi une fonction particulière pour le sujet. Nous faisons donc l'hypothèse que les sujets "à risque" utilisent leur comportement pour réguler leurs émotions, à la base de leur fonctionnement subjectif. Ce fonctionnement émotionnel participerait par ailleurs au maintien d'un état de Bien-être psychologique en interaction avec les composantes de personnalité. Ceci amène à la nécessité d'approfondir la question des variables émotionnelles impliquées et des stratégies mises en place par le sujet pour réguler ses émotions.

Remerciements : Nous tenons à remercier le Pr. Xavier Thirion pour sa précieuse collaboration quant à la méthodologie et l'analyse statistique de cette étude.

Références

- Adès, J., Lejoyeux, M., Tassain, V. Sémiologie des conduites à risque. *Editions techniques, EMC, Psychiatrie* 1994 ; 37-114-A-70.
- Aganoffa, J.A., Boyleb, G.J. Aerobic exercise, mood states and menstrual cycle symptoms. *J Psychosom Res* 1994, 38(3) : 183-192.
- Aspinwall, L-G. Rethinking the role of positive affect in self-regulation. *Motivation and Emotion* 1998 ; 22 (1) : 1-32.
- Bacon, J. Sensation seeking levels for members of high risk organisation. Unpublished manuscript 1974. (Described in : Zuckerman M. Sensation seeking : beyond the optimal level of arousal. Erlbaum, Hillsdale, New Jersey 1979).
- Baiju, D.S.R. Parachuting: a sport of chance and expense. *Injury* 2003, 34(3): 215-217.
- Bonnet, A., Fernandez, L., Piolat, A., Pedinielli, J.L. (2007). Emotional state changes before and after risk taking in scuba diving. *Journal of Clinical and Sport Psychology* (sous presse).
- Bonnet, A., Fernandez, L., Graziani, P. Rouan, G., & Pedinielli, J.-L. (2004). Etat émotionnel subjectif et prise de risques : rôle de l'anxiété et de la fatigue psychologique. *Journal de Thérapie comportementale et Cognitive*, 14, 2, 89-93.
- Bonnet, A., Pedinielli, J.-L., & Rouan, G. (2003). Bien-être subjectif et régulation émotionnelle dans les conduites à risque. Le cas de la plongée sous-marine. *L'Encéphale*, 29(6), 488-495.
- Campbell, J.B., Tyrell, D., Zingaro, M. Sensation seeking among white watercanoe and kayak padlers. *Person Indiv Differ* 1993, 14 : 489-491.
- Carton S., Lacour C., Jouvent R., Widlöcher D. Le concept de recherche de sensations : traduction et validation de l'échelle de Zuckerman. *Psychiatr Psychobiol* 1990 ; 5 : 39-44.
- Connolly, P.M. An exploratory study of adults engaging in the high risk sport of skiing. Master thesis. Rutgers university, 1981.
- Cronin, C. Sensation seeking among mountain climbers. *Person Indiv Differ* 1991, 12: 653-654.
- Diener E., Smith H., Fujita F. The personality structure of affect. *J Pers Soc Psychol* 1995 ; 69 (1) : 130-141.

Franquès, P., Auriacombe, M., Piquemale, E. et al. Sensation seeking as a common factor in opioid dependent subjects and high risk sport practicing subjects. A cross sectional study. *Drug and Alcohol Depend* 2002, 00: 1-6.

Freixanet, M.G. Personality profile of subjects engaged in high physical risk sports. *Person Individ Differ* 1991, 12: 1087-1093.

Fujta, F. An investigation of the relation between extraversion, neuroticism, positive affect, and negative affect. Unpublished masters thesis, University of Illinois, 1993. (Described in DIENER E. Traits can be powerful, but are not enough: lessons from Subjective Well-being. *J Res Pers* 1996, 30 : 389-399:)

Headey, B., Wearing, A. Understanding happiness: A theory of subjective well-being. Melbourne: Longman Cheshire, 1992.

Izard, C.E. Patterns of emotion : an new analysis of anxiety and depression. New York : Academic Press, 1972.

Izard C-E. Basic emotions, relations among emotions, and emotion-cognition relations. *Psychol Rev* 1992 ; 99 (3) : 561-565.

Levenson M.R. Risk-taking and personality. *J Pers Soc Psychol* 1990 ; 58 : 1073-1080.

Loas, G., Pierson, A. L'anhédonie en Psychiatrie. *Ann Med Psychol* 1989 ; 147 (7) : 705-717.

Loas G., Dubal S., Perot P., Tirel F., Nowaczkwski P., Pierson A. Etude de validation de la version française de l'échelle de plaisir de Snaith et Hamilton (Snaith-Hamilton pleasure scale, SHAPS, Snaith et al.1 995). Détermination des paramètres métrologiques chez 208 sujets sains et 103 malades hospitalisés présentant une dépression ou une schizophrénie. *L'Encephale* 1997 ; 23 (6) : 454-458.

Michel G., Carton S., Jouvent R. Recherche de sensations et anhédonie dans les conduites de prise de risque : étude d'une population de sauteurs à l'élastique. *L'Encephale* 1997 ; 23 (6) :403-411.

Michel, G. La prise de risque à l'adolescence: pratique sportive et usage de substances psychoactives. Paris, Masson, 2001.

- Oishi, S., Schimmack, V., Diener, E. Dynamic relations between experiences and life satisfaction : beyond the nomothetic approach to subjective well-being. Submitted for publication, University of Illinois at Urbana-Champaign 1998.
- Ouss L., Carton S., Jouvent R., Widlöcher D. Traduction et validation de l'échelle d'émotions différentielles d'Izard. Exploration de la qualification verbale des émotions. *L'Encephale* 1990 ;16 : 453-458.
- Pavot, W., Diener, E., Fujita, F. Extraversion and happiness. *Person Indiv Differ* 1990, 11: 1299-1306.
- Pédinielli J-L., Rouan G., Bertagne P. Psychopathologie des addictions. Paris, P.U.F, 1997.
- Rolland J-P. Du stress au bien-être subjectif. Proposition d'une approche intégrative. Habilitation à diriger des recherches, Paris X Nanterre, 1998.
- Slanger E., Rudestam K.E. Motivation and desinhibition in high-risk sports : sensation seeking and self efficacy. *J Res Pers* 1997 ; 31 : 355-374.
- Spies K., Hesse F., Brandes F. Influence of positive mood on risk taking behavior. *Psychol Beit* 1997 ; 39 (3) : 216-228.
- Stones, M.J., Kozma, A.. Happy are they who are happy: A test between two causal models of relationships between happiness and its correlates. *Exp Aging Res* 1986, 12: 23-29.
- Straub, W.F. Sensation seeking among high risk or low risk male athletes. *J. Sport Psychol* 1982 ; 4 : 246-253.
- Taylor R., Hamilton J. Preliminary evidence for the role of self-regulatory processes in sensation seeking. Anxiety-stress-and coping : *An international journal* 1997 ; 10 (4) : 351-375.
- Tellegen, A., Lykken, D.T., Bouchard, T.J. Jr., et al. Personality similarity in twins reared apart and together. *J Pers Soc Psychol.* 1988 ; 54 (6) : 1031-9.
- Watson D., Tellegen A. Toward a consensual structure of mood. *Psychol Bull* 1985 ; 98 (2) : 219-235.
- Youngstrom, E., Izard, C., Ackerman, B. Dysphoria-related biases in maternal ratings of children. *J Consult Clin Psychol* 1999, 67(6): 905-916.

Zuckerman M., Bone R., Neary R., Mangelsdorff D., Brustaman B. What is a sensation seeker ? Personality trait and experience correlates of the sensation seeking scales. *J Consult Clin Psychol* 1972 ; 39 (2) : 308-321.

Zuckerman, M.. Sensation seeking. In : London H., Exner J., eds. Dimensions of personality . New York : Wiley ; 1978 : 487-549.

Zuckerman M. Sensation seeking and sports. *Person Indiv Differ* 1983 ; 4 (3) : 285-293.

Zuckerman M., Kuhlman D.M., Camac C. What lies beyond E and N ? Factor analyses of actes to measure basic dimensions of personality. *J Pers Soc Psychol* 1988 ; 54 : 96-107.

Diabète et plongée sous-marine

E. Botel

Etudiante en médecine, 6^{ème} année, Université de Lille 2.

Résumé : Non renseigné.

Mots clefs : Non renseigné.

1/ INTRODUCTION

La plongée sous marine en scaphandre autonome telle que nous la connaissons aujourd'hui existe depuis les années 1930. Elle était souvent réservée à une élite sportive et sociale, mais, dans les années 1980, le développement du matériel a permis une démocratisation de ce sport, vers ce qu'il est aujourd'hui : un loisir en plein essor, pratiqué pour le plaisir et la découverte des fonds sous-marins.

La plongée est un sport très particulier, puisqu'elle se pratique dans un environnement aquatique, habituellement hostile à l'homme. Sa pratique nécessite donc un matériel et un apprentissage obligatoires.

L'aptitude du sujet diabétique traité par des médicaments hypoglycémiant à la plongée en scaphandre autonome fait l'objet de controverses.

En France, depuis les années 1970, seul le diabète non traité ou traité par biguanides n'était pas dans la liste des contre-indications de la FFESSM (Fédération Française d'Etude et de Sports Sous-Marins), les diabètes insulino-dépendant, traités par sulfamide ou acarbose étaient quant à eux des contre-indications absolues à la pratique de la plongée sous marine en scaphandre autonome de loisir.(1)

La principale raison évoquée pour expliquer cette interdiction est le risque d'une hypoglycémie en immersion, et sa possible conséquence : la noyade.

Or, il s'agit d'un risque supposé et non prouvé.(2) Au contraire, des données disponibles sur des plongeurs diabétiques suggèrent que certains diabétiques pourraient plonger avec un risque acceptable.

De plus, il est connu que de nombreux diabétiques plongent malgré la contre-indication, souvent en cachant leur diabète afin d'obtenir des certificats d'aptitude, et sont ainsi dans l'impossibilité de sécuriser leurs plongées.

Ainsi, nous commencerons par exposer les modalités de la pratique de la plongée sous marine de loisir et les possibles dangers de celle-ci. Puis nous définirons la maladie diabétique et nous verrons qu'elle présente un risque théorique pour le plongeur en scaphandre autonome. Enfin nous verrons que de nombreux pays autorisent les diabétiques à plonger, que les positions de chacun évoluent, et qu'en France comme à l'étranger des études sont réalisées afin d'analyser le risque réel que cours un diabétique à plonger, de contrôler ce risque et de proposer des protocoles pour sécuriser ces plongées.

2/ LE MONDE DE LA PLONGEE SOUS-MARINE

2.1/ La FFESSM et la réglementation de la plongée de loisir en France

En France, la (FFESSM), membre fondateur

de la Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques (CMAS), est la principale école de plongée. Elle a délégué de pouvoirs du Ministère de la jeunesse et des sports et de ce fait ses règlements font force de loi et de réglementation pour la plongée de loisir en France.

La pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome à l'air est réglementée par l'arrêté du 22 Juin 1998, modifié le 28 Août 2000.(3,4) Les niveaux de plongée, prérogatives et espaces d'évolution de la FFESSM y sont définis. La plongée subaquatique autonome à l'air est limitée à 60 mètres. Dans des conditions matérielles et techniques favorables, les espaces d'évolution peuvent être étendus dans la limite de 5 mètres

2.2/ La plongée dans le monde

2.2.1/ PADI (Professional Association of Diving Instructors)

Principale école anglo-saxonne, PADI est la plus représentée dans le monde. Structure commerciale principalement présente dans les zones tropicales et subtropicales, elle se voue à la formation de plongeurs de loisir uniquement.

2.2.3/ Quelques autres structures

- DAN (Divers Alert Network), organisme de recherche le plus actif dans le domaine de la médecine de plongée, responsable entre autre de l'étude « diabète and diving », et d'analyses statistiques de cohorte des accidents de plongée.(5-6)

- Le BSAC (British Sub Aqua Club), organisation britannique, au sein de laquelle les diabétiques britanniques peuvent plonger depuis 1992.

- La SPUMS (South Pacific Underwater Medicine Society) organisme de régulation, d'études et société savante de médecine subaquatique et hyperbare en Australie et Nouvelle-Zélande.

- La MEDSUBHYP, société de physiologie et de médecine hyperbare regroupant les médecins de plongée français. Elle organise entre autre la formation médicale en médecine hyperbare

2.3/ Le certificat médical

Pour la FFESSM un certificat médical de non contre indication à la plongée sous-marine annuel est obligatoire.(7)

Pour l'obtention de certifications, le passage d'examens, ou la compétition, ce certificat devra être signé par un médecin spécialiste de la plongée

Dans le modèle PADI ce certificat n'est pas obligatoire, le plongeur signe simplement une décharge qui expose les différents risques et contre indications médicales à la plongée, certifiant qu'il ne présente pas de contre-indications médicales à la plongée sous marine.(8)

2.4/ Lois physique régissant la plongée sous marine

2.4.1/ La pression

Le facteur principal influant sur l'organisme humain en plongée est la pression exercée par l'eau. Celle-ci augmente avec la profondeur : alors que nous sommes soumis à une pression d'environ 1 bar à l'air libre au niveau de la mer (pression atmosphérique), le poids de l'eau au-dessus du plongeur immergé soumet celui-ci à une pression additionnelle d'environ 1 bar tous les 10 mètres.

Par exemple, à 15 mètres de profondeur, un plongeur est soumis à 2,5 bars de pression totale.

Cette pression inhabituelle va provoquer différents phénomènes, que le plongeur doit connaître et gérer sous peine de se mettre en danger.

La majeure partie du corps humain est composée de liquides et solides incompressibles, et n'est pas directement affectée par les variations de pression. En revanche, l'air contenu dans les différentes cavités du corps (oreille moyenne, sinus, appareil respiratoire...) voit son volume varier de manière inversement proportionnelle à la pression ambiante, suivant la loi de Boyle-Mariotte (ainsi, quand la pression double, le volume qu'occupe un gaz est divisé par deux).

On peut imaginer les effets délétères que peut avoir, dans une cavité aérienne de

l'organisme inextensible, l'augmentation brutale d'un volume gazeux suite à la diminution de la pression barométrique lors de la remontée. C'est ce mécanisme qui est impliqué dans les barotraumatismes.

Ainsi, dans les poumons d'un plongeur qui remonte, la quantité d'air résiduel se dilate à mesure que diminue la pression ambiante. Si la remontée est trop rapide ou si le plongeur n'expire pas suffisamment, la capacité maximale des poumons risque d'être dépassée. Pour cette raison, les plongeurs qui remontent ne bloquent pas leur respiration; ils expirent en permanence, de façon à éviter que leurs poumons ne se distendent jusqu'au point de rupture. Cet accident est nommé surpression pulmonaire, c'est le plus grave des accidents dysbariques.

2.4.2/ La dissolution des gaz

Lorsqu'un gaz se trouve en contact avec un liquide, il s'y dissout progressivement jusqu'à atteindre une limite proportionnelle à la pression et dépendant de la nature du gaz et du liquide, suivant la loi de Henry. Si la pression augmente, de plus en plus de gaz se dissout dans le liquide. Si la pression diminue doucement, le gaz dissout repasse progressivement à l'état gazeux. Si la pression diminue très rapidement, le gaz s'échappe de manière explosive et forme des bulles au sein du liquide (exemple de la bouteille de soda au moment de l'ouverture). Le corps humain est soumis au même phénomène d'absorption et de restitution des gaz. Seuls les gaz inertes (azote, hélium,...), non métabolisés par l'organisme, sont impliqués dans ce mécanisme pathologique. L'oxygène et le gaz carbonique obéissent à des mécanismes physiologiques supplémentaires, qui font que ces gaz ne posent pas de problème du point de vue de la dissolution.

Lors de l'immersion, les gaz inertes (azote principalement) diffusent dans le corps du plongeur (sang et tissus) et s'accumulent progressivement, et ce d'autant plus que la profondeur et la durée de la plongée augmentent. Lors de la remontée, l'azote en excès repasse progressivement à l'état gazeux. Il est évacué petit à petit lors du

passage du sang dans les poumons. L'évacuation n'est possible que par les poumons : elle est progressive et longue. Lors des remontées trop rapides, l'azote dissous dans le sang et dans les tissus n'a pas le temps d'être éliminé. Des bulles de gaz restent piégées dans le sang et dans les tissus. Suivant leur localisation, ces bulles peuvent entraîner notamment des accidents circulatoires, des paralysies, des douleurs articulaires, ... regroupés sous le terme d'accidents de décompression (ADD).

2.4.3/ Les paliers de décompression

Pour éviter les effets néfastes sur l'organisme d'une surcharge en bulles d'azote, les plongeurs doivent remonter doucement et parfois s'arrêter pour effectuer des paliers de décompression. Ces procédures limitent la vitesse de remontée (entre 6 et 18 mètres par minute en fonction des procédures), et imposent des paliers (des temps d'attente sans remonter). Les procédures de décompression sont décrites sous forme de tables.

Il existe différents modèles de tables pour guider les paliers et la remontée, mais toutes suivent le même principe : chaque profondeur associée à un temps de plongée correspond à un temps de palier.

Les tables les plus utilisées en France sont les tables MN90

2.4.4/ La courbe de sécurité

C'est une courbe du temps fonction de la profondeur définissant des plongées qui permettent une remontée à la surface sans palier de décompression.

3/ LA MALADIE DIABETIQUE

3.1/ Définition

Le terme de diabète sucré regroupe un ensemble de maladies ayant en commun une carence absolue ou relative en insuline, entravant ainsi l'activité hypoglycémiante de cette hormone dont résulte l'hyperglycémie

et les complications dégénératives.

L'OMS et l'ALFEDIAM (Société Française de Diabétologie) retiennent comme critère de diabète une glycémie veineuse à jeun supérieure ou égale à 1,26 g/l; ou supérieure à 2g/l à tout autre moment de la journée, mesurée à au moins deux reprises.

3.2/ Classification des diabètes

Il existe deux principaux types de diabète:

– Diabète insulino-dépendant (DID) (20%) qui correspond au diabète de type 1

traduit un état de carence absolue en insuline, secondaire à une destruction des cellules béta des îlots de Langerhans pancréatiques, d'origine auto-immunitaire avec une prédisposition génétique, survenant chez l'enfant ou l'adulte jeune

– Diabète non insulino-dépendant (DNID) correspondant au diabète de type 2

forme la plus fréquente de diabète (80 % des cas), traduisant une carence relative en insuline, associant insulino-pénie et insulino-résistance (diminution des effets de l'insuline sur ses tissus cibles), concernant l'adulte des deux sexes après cinquante ans, responsable d'un pourcentage important de complications

3.3/ Conduite à tenir

Pour diminuer sa glycémie le diabétique doit s'astreindre à des règles strictes:

1) Régime normo ou hypocalorique si surpoids, équilibré (50 à 55 % de glucides, 30 % de lipides, 15% de protéides)

2) Pratique d'une activité physique, élément indispensable à l'équilibre du diabète en favorisant:

– l'amélioration des glycémies et de la sensibilité à l'insuline.

– l'augmentation des HDL circulant.

– la stabilisation du poids.

– l'adaptation cardio-vasculaire à l'effort.

– la sensation de bien-être.

– la bonne image sociale du diabétique.

Toutefois, la pratique inconsiderée d'un sport (diabète déséquilibré, pathologie coronarienne, rétinopathie proliférante non

traitée, pieds « menacés ») peut avoir des effets néfastes.

L'activité sportive implique également un risque de complications aiguës hypo et hyperglycémiques, d'où la nécessité d'adapter son traitement et son alimentation. Certains sports sont ainsi contre-indiqués du fait des risques liés à l'hypoglycémie : plongée sous-marine, alpinisme, parachutisme...

3) Traitement médicamenteux palliatif à vie

3.4/ Spécificités de chaque type de diabète

3.4.1/ Diabète de type 1

Traité par insuline: insulinothérapie, à vie, adaptée à chaque patient, selon un schéma à 1,2 ou 3 injections par jour

Il doit respecter certaines règles :

– Ne jamais sauter un repas.

– Ne jamais différer un repas, s'il n'y a qu'une injection d'insuline par jour.

– Ne jamais cesser de s'alimenter .

– Éviter les sucres rapides entre les repas, sauf en cas d'hypoglycémie.

– Programmer l'activité sportive, diminuer la dose d'insuline couvrant la période de l'activité sportive, contrôler sa glycémie avant, pendant et après l'activité et prendre une collation glucidique si elle est inférieure à 6-8 mmol/l.(9)

En dehors du risque de survenue de complications aiguës, en particulier d'hypoglycémie insulino- (doses d'insuline trop élevées par rapport aux besoins énergétiques) et de décompensation acidocétosique (doses d'insuline trop faibles), l'évolution est marquée à plus ou moins long terme et de façon quasi inéluctable par la survenue de complications dégénératives.

3.4.2/ Diabète de type 2

Traité par antidiabétiques oraux :

- Biguanides (réduisent l'insulino-résistance) en premier si surpoids.

- Sulfamides hypoglycémisants (stimulent l'insulinosécrétion) en l'absence d'obésité, traitement induisant un risque non négligeable d'hypoglycémie

- Acarbose (retardent l'absorption des glucides complexes), responsable quand à

lui de problèmes digestifs.

Contrairement au type 1, des complications dégénératives (artériopathie, insuffisance coronaire, rétinopathie...) sont présentes dès le diagnostic de diabète de type 2 dans près de la moitié des cas. Les complications cardio-vasculaires sont au premier plan chez le DNID en raison de l'association fréquente avec d'autres facteurs de risque cardio-vasculaire (tabac, HTA, obésité,...).

3.5/ Dangers du diabète en plongée

3.5.1/ Risques engendrés par la maladie elle même

Chez le diabétique insuffisamment traité ou non traité il existe un risque de décompensation aiguë (céto-acidose) de la maladie diabétique, ou d'aggravation de celle-ci chez ces patients débutant l'exercice hyperglycémiques et cétonémiques, la lipolyse et la cétonogénèse étant déjà activées par la carence en insuline.

On a également évoqué une susceptibilité accrue à l'ADD par augmentation de l'agrégabilité plaquettaire chez les diabétiques, ainsi que la confusion possible entre les signes d'un ADD neurologique et un malaise hypoglycémique à présentation neurologique.

3.5.2/ Risques induits par le traitement

Chez les sujets traités par insuline, les concentrations plasmatiques d'insuline correspondent essentiellement à l'insuline injectée et donc ne diminuent pas pendant l'exercice musculaire. Les risques d'hypoglycémie sont donc majeurs si le patient ne diminue pas les doses d'insuline et/ou ne se supplémente pas en hydrates de carbone.

On l'a vu, le traitement par sulfamides hypoglycémiant induit par lui même un risque d'hypoglycémie.

On peut imaginer le risque que représente pour un plongeur la survenue d'une hypoglycémie en immersion, qui induit de remonter le plus rapidement possible afin de se resucrer, risquant ainsi un accident de décompression et/ou de surpression.

Pour les inhibiteurs des alpha-glucosidase (type acarbose), le risque de surpression digestive à la remontée a été évoqué en plongée.

3.5.3/ Les complications chroniques du diabète

Ces complications apparaissent à plus ou moins long terme, beaucoup plus précocement chez le DNID que chez le DID. Toutes ces pathologies gênent la pratique sportive, décompensent le diabète, et sont des facteurs de risques d'accidents (syncope, déshydratation, mort subite, ..), certaines sont d'ailleurs par elles-mêmes des contre-indications à la plongée (cardiopathie ischémique, neuropathie, rétinopathie, plaies et pied diabétique).

4/ LA PLACE DES DIABETIQUES DANS LE MONDE DE LA PLONGEE

4.1/ Au niveau international

4.1.1/ Ceux qui interdisent la plongée aux diabétiques

- En 1980 Le BSAC publie une liste de règles, conseils et restrictions permettant à certains diabétiques de plonger en suivant un protocole bien défini.(10) En 1982 deux accidents de décompression concernant des plongeurs diabétiques font introduire par le BSAC une nouvelle contre-indication de plonger pour les diabétiques, bien que rien ne prouve que ces accidents aient été liés à leur maladie.

- En 1992 le SPUMS publie un rapport interdisant la plongée aux diabétiques en Australie en en Nouvelle-Zélande.(11) Contre-indication confirmée en 2003 lors du congrès scientifique annuel de la SPUMS.

Certains diabétiques continuant à plonger, la SPUMS met en place en 1994 une base de données anonyme de ses membres plongeant avec une contre-indication.(12) Un nombre important de diabétiques y sont recensés, sans excès d'accidents, ni d'accidents imputables au diabète.(13)

- En Belgique le diabète est une contre

indication pour la plongée dans le cadre de la LIFRAS.

- PADI interdit aux diabétiques de plonger au sein de sa structure, cite le diabète comme une pathologie à haut risque d'hypoglycémie, de noyade secondaire, et comme une contre-indication à la plongée à moins qu'elle se fasse dans un cadre spécialisé prenant en compte ce risque.(6)

4.1.2/ Ceux qui l'autorise

- En 1992, devant l'évidence que de nombreux diabétiques continuent de plonger sans présenter de problèmes autres que ceux des plongeurs indemnes de diabète, le BSAC autorise de nouveau la plongée à certains diabétiques répondant à des critères précis (pas de complication dégénérative, diabète bien équilibré,...), met en place un protocole de mise à l'eau et débute une étude et un recueil de données.(14)

- Aux Etats-Unis, l'organisme DAN autorise la plongée aux diabétiques et conduit depuis 1997 une vaste étude sur les diabétiques plongeurs afin d'observer l'effet de plongées répétées sur les glycémies plasmatiques de plongeurs diabétiques insulino-dépendants.(5,6)

- En Suisse, Autriche et Allemagne, les diabétiques sont autorisés à plonger en suivant certaines recommandations (mesure de leur glycémie avant et après la plongée, ne pas plonger si celle-ci est trop basse, bien s'hydrater)

Notons que toutes les études publiées et les données collectées sur les accidents de plongée ne montrent pas de sur-risque lié à la maladie diabétique.(6,15,16)

4.2/ La controverse en France

4.2.1/ La situation jusqu'en 2004

Jusqu'en 2004, la liste des contre-indications à la plongée en scaphandre autonome à l'air publiée par la FFESSM comprenait une section "Métabolique" avec comme contre-indications définitives : " Diabète traité par Insuline, sulfamides, acarbose ou non équilibré".(1)

En 1998 l'Alfediam, dans ses recommandations pour l'activité physique

chez le diabétique, cite la plongée sous-marine comme un cas particulier : "Longtemps considérée comme l'exemple type du sport interdit aux diabétiques, elle paraît réalisable dans sa variété de loisir à condition de respecter un certain nombre de règles".(9)

D'autre part, de nombreux diabétiques plongeaient "en cachette" (en cachant leur maladie afin d'obtenir le certificat médical d'aptitude ou en exerçant leur loisir en dehors de toute structure), et donc en dehors de tout contrôle médical.

4.2.2/ L'étude "diabète et plongée"

2003

Toutes les études publiées sur les diabétiques et la plongée sous-marine, malgré l'absence de cohortes suffisantes pour obtenir un niveau de preuves acceptable, tendent à démontrer que la plongée sous-marine pratiquée comme un loisir, avec des prérogatives restreintes et un protocole d'adaptation du traitement et de surveillance glycémique, peut être pratiquée par certains diabétiques sans augmentation réelle du risque d'accident par rapport à la population générale des plongeurs.

Suite à ce constat, une étude a été réalisée en France au cours d'un séjour de plongée en mer.(17,18) Son double objectif a été l'analyse des variations glycémiques, alimentaires, insuliniques et du profil glycémique en immersion d'un DIR avec un holter glycémique, et l'élaboration de recommandations qui permettraient aux DIR de plonger en sécurité dans le cadre de la FFESSM.

PROTOCOLE

L'étude comportait quinze diabétiques insulino-dépendants (12 Hommes et 3 Femmes), volontaires, exempts de toute complication, ayant un bon équilibre glycémique, et sachant bien percevoir les hypoglycémies. La moitié étaient débutants, les autres étaient plus expérimentés (3 Niveau 1 et 3 Niveau 2 CMAS/FFESSM, et 1 Moniteur Fédéral FFESSM de premier degré (MF1).

Le séjour s'est effectué en novembre 2003,

en méditerranée, sur un rythme de deux plongées par jour pendant quatre jours, dans 20 mètres d'eau. Chaque plongée était précédée et suivie de trois glycémie capillaires afin d'analyser la cinétique glycémique et d'adapter la prise de sucre.

Cette étude a été complétée par un séjour sur l'île de la Réunion afin de comparer les résultats eau froide/eau chaude et d'adapter le protocole.

RESULTATS

Ces études n'ont recensé aucun incident ni aucune hypoglycémie sous l'eau.

Elles ont montré que pour une plongée d'une durée de 30 minutes la décroissance de la glycémie était acceptable (environ 0,4g/l), et que la décroissance glycémique étant plus importante après ce délai, la durée de la plongée doit absolument être limitée à 30 minutes. De même, l'effet protecteur d'une ingestion de glucide avant la mise à l'eau vis à vis de la décroissance glycémique a été observé.

Elles ont démontré l'importance de baisser les doses d'insuline d'emblée de 20% par rapport aux doses habituelles, de contrôler sa glycémie avant la mise à l'eau et de se resucrer si besoin, mais aussi après la plongée afin de prévenir les hypoglycémies tardives.

Elles ont également souligné l'importance de plonger dans la courbe de sécurité afin de permettre la remontée libre en surface en cas d'hypoglycémie.

Elles ont enfin permis l'établissement d'un protocole de mise à l'eau dans lequel l'objectif glycémique idéal, avant la mise à l'eau, est supérieur à 2g/l, et dans lequel une glycémie inférieure à 1,60g/l doit faire annuler la plongée.(18)

4.3/ La nouvelle réglementation: recommandations officielles de la FFESSM pour la plongée sous-marine des patients diabétiques

Les données de la littérature ainsi que les résultats de l'étude "diabète et plongée 2003" accompagnés d'une proposition d'aptitude restreinte à la plongée

loisir chez les DID et d'un protocole de mise à l'eau ont été présentés à la FFESSM qui les a adoptées en Octobre 2004.

La plongée subaquatique en France est maintenant ouverte à certains diabétiques insulino-dépendants, avec des prérogatives restreintes, sous couvert d'un modèle de sélection du plongeur diabétique, d'un protocole glycémique de mise à l'eau, et de procédures de plongée spécifiques permettant de sécuriser ces plongées (tableaux 2 et 3).(18)

Pour s'inscrire dans un club de plongée le diabétique doit faire remplir par son diabétologue traitant un certificat préalable sur un formulaire type dans lequel les 7 conditions de non-contre indication diabétologique à la plongée auront été recherchées et éliminées. Ce médecin doit lui rappeler les règles de pratique d'un sport, d'adaptation des doses d'insuline et d'auto surveillance. Muni de ce certificat, il devra consulter un médecin fédéral de la FFESSM qui lui fournira le certificat final de non contre-indication ainsi qu'une lettre informative dûment commentée (tableau 3).

5/ CONCLUSION

Le diabète insulino-dépendant était en France le symbole des contre-indications à la plongée sous-marine. est en commençant par le DNID

Il le serait toujours sans la collaboration de diabétiques, de moniteurs de plongée et de médecins. Ceux-ci ont permis l'établissement de règles permettant aux diabétiques insulino-dépendants de plonger. Il serait souhaitable que ceci soit une première démarche pour permettre la réévaluation des interdictions et l'accès à cette activité de loisir à d'autres pathologies et que les médecins prennent l'initiative de discussions et de réévaluations de ces situations.

On peut ainsi se poser la question du cas du diabétique non insulino-dépendant. Pour le diabète de type 2, le risque n'est pas tant celui de l'hypoglycémie que celui du risque cardio-vasculaire lié à aux complications dégénératives du diabète.(19) Les incidents

cardio-vasculaires sont aussi le premier facteur associé aux accidents de plongée. Comment réaliser le dépistage? Et quel dépistage? Un risque est-il acceptable et si oui où situer la limite?

La FFESSM a demandé une période d'observation de 3 ans avec, à terme, une réévaluation des restrictions. Un observatoire national des plongeurs

diabétique a également été mis en place afin de permettre une vue globale sur l'activité, d'adapter et faire évoluer au mieux la contre indication, les recommandations, et les protocoles de mise à l'eau.

1. Vos prérogatives techniques restreintes de plongée :

1. Aucune autonomie pour les plongeurs insulino-dépendants et ce, quel que soit leur niveau de plongeur
2. Plongées encadrées par un E2 au minimum en milieu naturel, un E1 au minimum en milieu artificiel.
3. Plongées dans la courbe de sécurité.
4. Plongées dans l'espace médian (20 mètres maximum). Durée de la plongée limitée à 30 minutes.
5. Outre l'encadrant et les autres plongeurs, la palanquée ne peut comprendre plus d'un plongeur diabétique insulino-dépendant, et cela quel que soit son niveau
6. Interdiction de plonger :
 - en cas de température de l'eau inférieure à 14°C
 - s'il existe des conditions gênant la mise en pratique du protocole de mise à l'eau
 - si, en cas d'émersion rapide, le retour vers le bateau est difficile

2. Le directeur de plongée, l'encadrant et les membres de la palanquée doivent être informés de : votre diabète. et de la conduite à tenir en cas d'hypoglycémie.

3. Votre équipement particulier

Vous devez impérativement avoir avec vous, en plus du matériel habituel de plongée :

1. Votre lecteur de glycémie en état de marche avec bandelettes et stylo auto piqueur.
2. Un moyen de vérifier l'acétonurie ou l'acétonémie.
3. Traitement insulinique habituel à disposition dont stylo d'insuline rapide
4. Moyen de resucrage à bord – au minimum 60 grammes de Glucides .
5. Moyen de « resucrage » à emporter pendant la plongée dans votre gilet stabilisateur.
6. Si un « resucrage » s'avérait nécessaire, il serait à effectuer en surface.

4. Adaptation des doses d'insuline avant les plongées :

Baisser les doses d'insuline de 30 %,

La veille de la plongée : base,

Le jour de la plongée : base + bolus.

A adapter au cas par cas après discussion avec votre diabétologue

5. Protocole de mise à l'eau : prévention de l'hypoglycémie

Il comporte 3 glycémies capillaires à T-60, T-30 et T-15 minutes, avec objectif glycémique de mise à l'eau supérieure à 2g/l (11 mmol/l).

a) T – 60 minutes

glycémie < 1,6g : prendre 30 g de glucides

glycémie entre 1,6 et 2 g : prendre 15g de glucides

glycémie > 2 g : attendre le contrôle à 30 minutes

glycémie > 3 g : vérifier l'acétonémie ou l'acétonurie

si elle est positive : STOP annulez votre plongée

b) T – 30 minutes

glycémie < 1,6 g : prendre 30g de glucides

glycémie entre 1,6 et 2 g : prendre 15 g de glucides

glycémie > 2 g : attendre le contrôle à 15 min

c) T – 15 minutes

glycémie < 1,60 g : STOP annulez votre plongée

glycémie entre 1,6 g et 2 g : prendre 15g de glucides et mise à l'eau

glycémie > 2 g : mise à l'eau

6. En cas de sensation d'hypoglycémie au cours de la plongée en milieu naturel

Faire le signe « ça ne va pas », Remontée immédiate selon les procédures habituelles, resucrage en surface et retour au Bateau

Tableau 1 : Lettre d'information au Plongeur Diabétique Insulino-Dépendant

Références Bibliographiques :

1- FFESSM, CMPN. Contre indications à la plongée en scaphandre à l'air, 7 Octobre 2003, Available from : http://ffessm.fr/pdf/certif_gene.pdf

2- Taylor LT, Mitchell SJ. Diabetes and diving: should old dogma give way to new evidence? SPUMSJ. 2001; 31(1) : 44-50

3- Arrêté du 22 juin 1998 relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome à l'air. Journal officiel de la République Française 11 juillet 1998 : 10717-10721

4- Arrêté du 28 août 2000 modifiant l'arrêté du 22 juin 1998 relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome à l'air. Journal officiel de la République Française 206 du 6 Septembre 2000 : 13937

5- Dear G, Pollock W, Uguccioni D, et al. Plasma Glucose Response to Recreational Diving in Divers with Insulin-Requiring Diabetes. Undersea Hyper Med 2004; 31-3, pp291-302.

6- DAN, Durham, USA, Cumming B. NDC Diving Incidents Report. Available from: <http://www.bsac.org/techserv/increp03/intro.htm> . 2004 June.

7- Arrêté du 28 avril 2000 fixant la liste des disciplines sportives pour lesquelles un examen médical approfondi est nécessaire en application de l'article 5 de la loi n° 99-223 du 23 mars 1999 relative à la protection de la santé des sportifs et à la lutte contre le dopage Journal officiel de la République Française n° 102 du 30 avril 2000 : 6575.

8- PADI medical statement form, Available from :

<http://www.padi.com/english/common/courses/forms/pdf/10063-Ver2-0.pdf>, Décembre 2004

9- Gautier JF, et al. Recommandations de l'Alfediam : Activité physique et diabète, Diabetes Metab, 1998, 24, 281-290.

10- BS-AC Diving restrictions for diabetic divers [Editorial], SPUMSJ, 1980; 10(4) : 17

11- Davies D. SPUMS statement on diabetes, SPUMS J ,1992; 22(1) : 31-32

12- Diving information and research, Available from : <http://www.spums.org.au/diveinfo.htm> , 2004

13- Sullivan M. Diabetes mellitus and the scuba environment, SPUMS J, 1994 24(1) : 49- 51.

14- Edge C. Diving and Diabetes, Available from:<http://www.ukdiving.co.uk/information/medicine/diabetes.htm> , 2004

15- Edge CJ, Ledger-Dowse M, Bryson P. Survey of diabetic divers : results from 10-Year Study. Undersea Hyperb Med 2003; 30S: 220.

16- Cummings B. NDC Diving Incidents Report. Available from : <http://www.bsac.org/techserv/increp03/intro.htm> . 2004 June. The British Sub-Aqua Club, Chessire, United Kingdom.

17- Lormeau B, Sola A, Tabah A, et al. Blood glucose changes and adjustments of diet and insulin doses in type 1 diabetic patients during scuba diving (for a change in French regulations), Diabetes Metab 2005.

18- Tabah A.Thèse doctorat en Médecine. Diabète et plongée sous-marine. Faculté Xavier Bichat Paris VII. Available from : <http://www.diabeteetplongee.com> , 2005

19- Nathan DM, Meigs J, Singer DE. The epidemiology of cardiovascular disease in type 2 diabetes mellitus: how sweet it is ... or is it ? Lancet. 1997 Jul;350 Suppl 1:SI4-9.

Paliers profonds, paliers à mi-profondeur en plongée sous-marine : contexte et intérêt.

E. Hennion

Etudiante en médecine, 5^{ème} année, Université de Lille 2.

Résumé : Ce dossier présente les théories de la décompression, explique la modélisation des tables de plongée et discute l'intérêt des paliers à mi-profondeur à partir des différents points de vue des spécialistes de la décompression dans un objectif d'optimiser la sécurité des plongées profondes dans un souci de prévention médicale.

Mots clefs : Non renseigné

Problématique

Dès les premiers scaphandriers de la Marine, maux de tête et rhumatismes n'ont pas tardé à se faire connaître chez les plongeurs, ce problème persiste encore de nos jours.

En effet, ce milieu hyperbare sous marin n'est pas sans risque pour le corps humain et de nombreux accidents de plongées sont encore publiés, et ceci malgré l'évolution des recherches et des techniques. Dans cette ère actuelle où la plongée de loisirs se démocratise grandement, avec de surcroît l'utilisation des ordinateurs de plongée, il n'est pas illusoire pour un médecin de préciser les phénomènes de la décompression et de ses risques sur la santé, et de développer l'évolution des modèles de référence mis en œuvre pour optimiser la sécurité des plongeurs.

Dans un premier temps nous expliquerons les bases physiologiques et physiques qui s'appliquent au plongeur et qui ont permis le premier concept Haldanien de la décompression, puis nous en viendrons à la prise en compte des paramètres physiques et physiologiques qui interviennent, pour élaborer les tables de décompression, et enfin nous évoquerons les divergences sur la question des paliers profonds/mi profonds, compte-tenu des

inconconvénients physiques et physiologiques d'un profil de remontée par rapport à un autre.

Première partie

Approche schématique des Phénomènes physiques et physiologiques s'exerçant sur le plongeur lors de la descente (compression) et de la remontée (décompression) d'un profil simple de plongée « carrée »

1° DESCENTE : COMPRESSION

PRESSION AMBIANTE EN PLONGEE :

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est égale à 1 bar. La pression exercée par l'eau lors de la descente (pression hydrostatique) augmente de 1 bar tous les 10 mètres. La pression absolue est égale à la pression relative (fonction de la profondeur)+ la pression atmosphérique

- **PRESSIONS PARTIELLES DES GAZ INSPIRES :**

La composition du mélange gazeux ne varie pas en fonction de la pression tandis

que la pression partielle d'un gaz i (P_i) est proportionnelle à la pression totale du mélange (P_t) :

$P_i = f_i \cdot P_t$ avec f_i fraction du gaz dans le mélange

A la compression, du fait de l'augmentation de la pression totale des gaz intra-pulmonaires, la pression partielle de chacun des composants du mélange augmente.

• MELANGE GAZEUX

L'air inspiré correspond à un mélange gazeux homogène contenant approximativement 21% d'oxygène et 79% d'azote.

De part son transport actif sanguin (par l'hémoglobine) et son métabolisme tissulaire

(utilisation et rejeté en CO_2), nous ne tiendrons pas compte de l'oxygène dans la saturation des tissus à l'origine du phénomène de la décompression, mais nous porterons d'abord notre attention sur les échanges concernant l'azote (« gaz diluant neutre, non mobilisable »), le phénomène de dissolution et de saturation des tissus.

Cheminement de l'azote lors d'un cycle cardiaque

Ce schéma montre bien les lois physiques qui régissent le cheminement de l'azote, il est intéressant de le compléter avec les paragraphes ci après.

CHEMINEMENT DE L'AZOTE LORS D'UN CYCLE CARDIAQUE

Loi de Boyle et Mariotte
 $PV = \text{constante}$

INSPIRATION
 Pect. ↑
 Pect. ↓
 inspiration: $V \uparrow$
 → Pulvéolaire ↓
 Palv. < Pextérieure
 → air est sécrété de l'extérieur vers l'intérieur.

d'après E. HECHT
 Physique (1955)

PRESSION AMBIANTE EN PLONGÉE	
niveau de la mer	1 bar
- 10 m	2 bar
- 20 m	3 bar
- 30 m	4 bar
- 40 m	5 bar
- 50 m	6 bar

P_j tension veineuse de N_2 dissous.
 S_x solubilité de N_2 dans le sang.

COMPARTIMENTS

volume espace tissulaire
 on parle de N_2 dissous dans le tissu
 Solubilité de N_2 dans le tissu

Processus de dissolution
 $T_{N_2} = T_i - G\%$ avancement

Cinétique de saturation (tissulaire)
 à température et Pression fixées:
 Les échanges tissulaires en azote tendent vers un équilibre

PHASE VENTILATOIRE

ANGES GAZEUX ALVEOLAIRES

Etape alvéolaire
 Diffusion alvéolo-cap.
 $P_{N_2} > P_{N_2}^c$ ① $P_{N_2} > P_{N_2}^c$ → diffusion.

DISSOLUTION ② dans les liquides extracellulaires

Les gaz neutres n'ayant aucune action sur le métabolisme comme l'azote (N_2) ou l'hélium (He)

PHASE CIRCULATOIRE

P_i : pp artérielle de N_2 dans le sang
 S_x : solubilité de N_2 ds le sang $\Rightarrow \rho_{N_2}$

DIFFUSION*
 $P_c > P_e$
 O, S_1 (sang)

dans les liquides cellulaires
 $\rho = 0,975$
 $\rho = 0,967$

tout le gaz contenu dans le sang artériel ne passe pas instantanément dans le tissu, dépend de la PERFUSSION et de la DIFFUSION

tel que $\Delta P, S_2 V = (P_i - P_x) S_1 V \Delta t_i$

1) Etape alvéolaire

Selon la loi de Boyle et Mariotte :

Pour une quantité n moles donnée
: **$PV = \text{constante}$**

NB: application au cycle ventilatoire : à l'inspiration, le volume pulmonaire augmente, donc la pression alvéolaire diminue et l'air extérieur (pressions partielles inspirées supérieures s'écoule vers l'intérieur (pressions partielles alvéolaires inférieures))

2) Diffusion alvéolo-capillaire

Gradient de pressions partielles : les pressions partielles de l'air inspiré étant accrues sous l'effet de la profondeur et par souci d'équilibre des pressions partielles (en azote notamment), entre l'alvéole et le capillaire alvéolaire (membrane non limitante des échanges), il y a diffusion : déplacement moléculaire suivant le gradient de pressions partielles dans le sens de la pression partielle la plus élevée vers la pression partielle la plus faible jusqu'à l'équilibre des pressions.

Diffusion alvéolocapillaire (étape non limitante des échanges habituellement) : voir schéma 1 : le débit de gaz transféré est proportionnel à la surface S alvéolaire (150 m^2), à une constante de diffusion D et à la différence de pressions partielles : pression partielle alvéolaire P_A – Pression partielle capillaire P_c .

La constante de diffusion est proportionnelle à la solubilité du gaz (S) mais inversement proportionnelle à la racine carrée de son poids moléculaire.

3) Etape de convection sanguine : définition de shunts :

Le sang efférent pulmonaire se mélange avec le sang passé sans échanges : « shunté » (soit par un défaut de perfusion soit par un défaut de ventilation) dans la circulation veineuse pulmonaire puis dans la circulation artérielle systémique. Le taux de shunts est généralement évalué à 5%.

4) Etape intravasculaire : dissolution (cf schéma 2)

A une température donnée, la quantité de gaz qui passe en solution dépend :

- Du nombre de chocs des molécules de gaz sur la surface du liquide (effet de la pression partielle du gaz)

- Des forces d'attraction entre les molécules de gaz et de liquide (effet du coefficient de solubilité)

Et la quantité de gaz dissous est proportionnelle à la pression partielle du gaz.

5) Etape transmembranaire capillo-tissulaire : dissolution et diffusion

Dissolution :

Notion de solubilité : le coefficient de solubilité d'un gaz dans un liquide varie avec la nature du gaz, la nature du liquide et la température. L'azote a le coefficient de solubilité le plus pénalisant entre l'azote, l'hélium et l'hydrogène. Et il équivaut dans le sang à une valeur de 0,011, dans les tissus (base de 15% de graisse et 85% d'eau) à 0,019 et dans la graisse 0,067. On remarque que l'azote est plus soluble dans les graisses que dans l'eau, il a donc une grande affinité pour les tissus nerveux.

Loi de Henry : lorsqu'un état d'équilibre est réalisé entre une phase de gaz (azote) et une phase liquide (sang), à une température donnée, il y a autant de molécules qui passent de l'état gazeux à la phase dissoute que l'inverse :

Soient un gaz et un liquide au contact l'un de l'autre. Si le gaz développe une pression partielle P_i (gaz), à l'équilibre, la concentration gazeuse dans le liquide C_i (liquide) est :

$$C_i (\text{liquide}) = S_i (\text{liquide}) * P_i (\text{gaz}).$$

L'état d'équilibre est caractérisé par une concentration maximale C_m fonction des conditions d'expérience et du coefficient de solubilité. C_m représente un état de saturation.

Notion de tension : (par analogie, après un temps indéfiniment long, lorsque l'équilibre est atteint il est possible d'admettre que le gaz dissous exerce sur le gaz libre une pression antagoniste T appelée tension. A l'équilibre le liquide est saturé et on peut écrire : $T_i = S_i(\text{liquide}) * P_i$)

La cinétique de saturation est une exponentielle (cf schéma 3)

Diffusion :

Les phénomènes sont identiques à ceux décrits dans l'étape alvéolo-capillaire, à ceci près que tous les échanges se font entre phases dissoutes : sang artériel (Pa) tissu (Pt) et sang veineux (Pv).

- Limitation des échanges : si la diffusion est suffisamment rapide pour que l'équilibre soit atteint en fin de capillaire, $P_t = P_v$. Le principal facteur limitant des échanges est la perfusion.

- Si la diffusion du gaz est trop lente pour que les échanges soient complets pendant la traversée du tissu par le sang, on dit que le compartiment est limité par la diffusion

COMPARTIMENTS

Ainsi, l'évolution dans le temps de la saturation est différente selon la nature du tissu. Le temps écoulé entre l'instant initial et l'instant où la nouvelle tension atteint 50% de la nouvelle pression est la période tissulaire. Elle est déterminée par le taux de perfusion (perfusion élevée : période courte et inversement)

Empiriquement le corps humain a été modélisé en plusieurs tissus de périodes différentes, les compartiments

Coefficients MN90 pour les 12 compartiments (Cp)

Cp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Période	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Sursaturation critique	2.71	2.54	2.38	2.2	2.04	1.82	1.68	1.61	1.58	1.56	1.55	1.54

2° LA REMONTEE

Décompression, notion de sursaturation des tissus

A la décompression, la baisse de pression ambiante provoque une baisse de pressions partielles des gaz dans l'alvéole, et donc dans le sang artériel (création d'un gradient de pression : le gaz inerte est évacué par passage de la phase dissoute à la phase gazeuse au niveau de la frontière alvéolo-capillaire, puis diffusion vers l'alvéole pulmonaire. Il est rejeté dans l'atmosphère ambiante (dégazage).

La sursaturation d'un tissu correspond à un état instable où le gaz dissous repasse dans la phase gazeuse, soit au niveau de la surface d'échange si le gradient P1-P2 est suffisamment faible, soit au sein du tissu lui-même avec formation de bulles. Transitoirement, c'est-à-dire tant que le nouvel équilibre n'est pas atteint, on dit que le tissu est sursaturé.

Le coefficient de sursaturation équivaut à la pression de gaz (azote) dissous /la pression hydrostatique ambiante.

Ce principe est à l'origine des premières tables de décompression (Boycott et al. ; Haldane..) qui ont permis de résoudre de façon considérable les accidents de décompression.

Probabilité de formation de bulles d'azote : notion de sursaturation critique, décompression brutale, et dégazage excessif.

- Sursaturation critique et compartiment directeur

On définit, pour chaque compartiment, une valeur critique au dessus de laquelle il y a un fort risque de dégazage et d'accident de décompression.

Sursaturation critique :

chaque compartiment est défini par une période tissulaire et un coefficient de sursaturation critique S_c . Celui-ci dépend de la tolérance du compartiment à la charge en azote (T_{N_2})

$$S_c = \frac{T_{N_2}}{P_{\text{absolue plafond}}}$$

Si le taux d'azote dissous intratissulaire dépasse ce seuil (pour un compartiment donné), le risque de dégazage anarchique et d'accident de décompression est extrême.

C'est à cet endroit précis qu'intervient la notion de **PALIER** (de sécurité) dont le but est de faire en sorte que, pour chaque compartiment, le coefficient S_c ne soit jamais dépassé.

Selon l'hypothèse de HALDANE sur l'égalité des vitesses de saturation et de désaturation.

$$T_{N_2} = T_i - G \times \% \text{ avancement}$$

avec T_i : tension initiale en azote, avant la saturation :

Soit $80\% \times 1 \text{ bar}$ (= Pression atmosphérique au niveau de la mer)

↑
fraction d'azote dans l'air inspiré

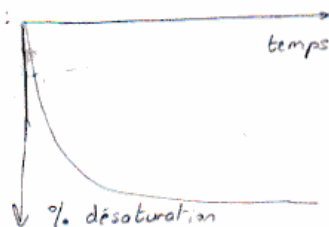
le % d'avancement peut être calculé par la formule $1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\text{période}}$

Plus on se rapproche de la saturation, plus l'avancement est lent et inversement pour la désaturation :

Charge en azote lors de la désaturation :

$$G \text{ (gradient)} = |T_f - T_i|$$

↑
à la profondeur maximale pour le calcul en saturation.



Prenons pour exemple une immersion de 15' à 50 m.
 Quelle est la tension d'azote pour le compartiment dont
 la période tissulaire vaut 5 minutes ?

$$T_{N_2} = T_i + |T_e - T_i| \times \% \text{ avancement}$$

à 50 mètres de profondeur,

la pression hydrostatique étant égale à 6 bar environ

$$T_e = 80\% \times 6 = 4,8 \text{ bar}$$

à la surface $T_i = 0,8 \times 1 \text{ bar} = 0,8 \text{ bar}$.

à 15 minutes de saturation, il y a l'équivalent de
 3 périodes pour ce compartiment soit un avancement de:

$$1 - \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8} = 0,875$$

$$\rightarrow T_{N_2} = 0,8 + (4,8 - 0,8) \times 0,875 = 4,3$$

Quelle profondeur plafond ne doit on pas dépasser à la remontée?

↳ Calcul à partir du coefficient de S_c donné par la table MN 50
 pour un compartiment de 5' de période.

Soit: d'après la table MN 50 : $S_c(5') = 2,72$

$$\rightarrow P_{\text{pass plafond}} = \frac{T_{N_2}}{S_c} = \frac{4,3}{2,72} = 1,58 \text{ bar}$$

Cette valeur correspond à une profondeur plafond de 5,8 m

La profondeur effective du palier est donc de 6 mètres

Quelle serait la conséquence d'un retour immédiat en surface ?

Calcul du coefficient de sursaturation : $\frac{P_{N_2}}{P_{abs}}$

La pression absolue en surface = 1 bar

Donc $\frac{4,3}{1} = 4,3 \gg 2,72 (=Sc(5'))$

Il y aurait donc un fort risque de dégazage anarchique avec comme conséquence l'Accident de décompression

Si ce compartiment impose le palier plus profond par rapport aux autres paliers, il devient compartiment directeur.

- Cas d'une DESATURATION BRUTALE :

Lorsque la pression ambiante est brutalement abaissée, le gaz présent en solution repasse très rapidement à l'état gazeux, au sein de la solution sous forme de bulles d'azote toujours pour l'équilibre des pressions partielles entre les phases.

- Devenir des bulles : diffusion et effet de Boyle et Mariotte

Confère plus haut

3° MODELES CLASSIQUES (Haldane, 1908)

Ils prennent pour hypothèses que :

- « La plongée nécessite la respiration d'air comprimé et entraîne la dissolution d'azote dans un nombre fini de compartiments (tissus).
- Le facteur de risque est la quantité d'azote dissous avant la remontée, proportionnelle dans chaque compartiment au taux de perfusion

(débit sanguin par unité de volume), qui détermine la période du tissu (taux de perfusion élevé = période courte et inversement).

- La quantité d'azote dissous est inversement proportionnelle à la pression et exponentiellement proportionnelle au temps.
- Les échanges entre le compartiment et le sang sont considérés comme instantanés et complets en fin d'échangeur.
- La répartition du gaz dissous est homogène au sein d'un même compartiment et il n'existe pas d'échanges entre les différents compartiments
- Le phénomène critique au cours de la remontée est le coefficient de sursaturation (...)
- L'accident de décompression est un phénomène global (...)

Au total, la stratégie de décompression consiste à contrôler la quantité d'azote dissous dans les compartiments et à ralentir la décompression de manière à éviter d'atteindre pour chaque tissu son coefficient de

sursaturation critique et ainsi prévenir les accidents de décompression.

Ces hypothèses sont la base de la plupart des tables de décompressions actuelles bien qu'il existe une grande variété dans les modèles d'échanges gazeux ou les critères de remontée retenus.

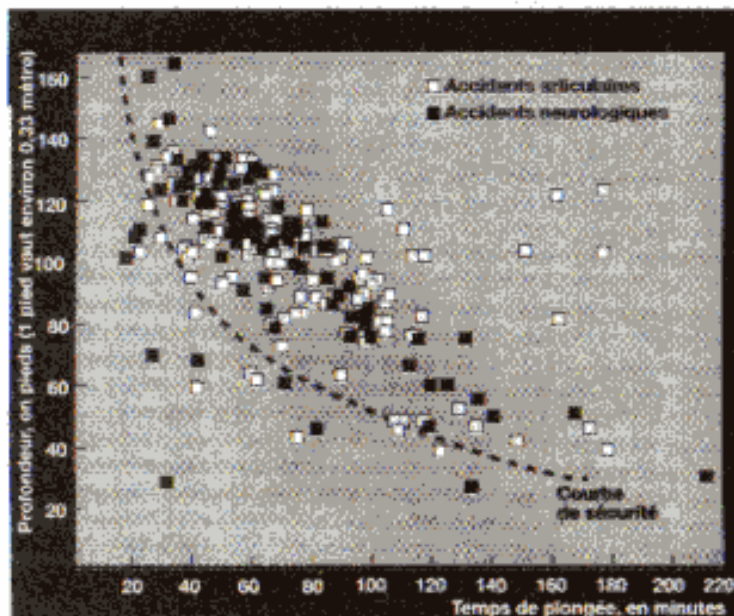
Il faut bien reconnaître à ces modèles une certaine efficacité puisque les statistiques disponibles font état d'un risque global de cinq accidents pour 10 000 plongées.

Cependant il est facile de montrer leurs limites en soulignant le nombre d'accident improprement appelés « immérités », c'est-à-dire survenant malgré le respect des procédures.

(D'après « les théories de la décompression » de JP Imbert et JL Méliet dans « Physiologie et médecine de la plongée » de Broussolle et Méliet, collections Ellipses).

FIGURE N°1

Sécurité des plongées à l'air dans le secteur anglais de la Mer du Nord en 1986, d'après Shields (42).



La sécurité d'une décompression se définit par rapport à la probabilité de survenue d'un accident décompression.

Les données recueillies par la base du Health Service Executive sur la sécurité des plongées à l'air dans le secteur anglais de la mer du Nord en 1986, d'après Shields nous ont permis de constater qu'il persiste de nombreux accidents pour des plongées avec paramètres de temps et de profondeur au dessus de la courbe de sécurité.

Le diagramme donne la répartition des accidents enregistrés en fonction de la profondeur en pieds et le temps en minutes. La ligne pointillée correspond à la courbe de sécurité

Avant tout, l'importance en nombre des accidents recueillis nous montre l'intérêt de modéliser les lois physiques qui s'exercent en fonction des paramètres de la plongée

Elle remet également en question les premiers modèles de décompression notamment le modèle multicompartmental élaboré par Haldane en 1908 et invite à reconsidérer les divers versants de la maladie de décompression (ou symptômes) sous chacun des angles différents établis par des modèles complémentaires.

2^{ème} partie

Vers une modélisation des tables de décompression...

Introduction : accidents de décompression

Dans la reconsidération actuelle de la pathologie de la décompression, on classe essentiellement deux types d'accidents de décompression : l'accident de type 1 (articulaire) survient pour les plongées longues et profondes (compartiment à période longue), l'accident de type 2 est de type neurologique (le tissu nerveux correspond aux compartiments les plus courts) et survient pour les plongées sportives ; ils correspondent à deux tiers des accidents de décompression. Ils méritent donc une certaine attention d'autant plus que les accidents neurologiques sont les plus graves.

Les accidents de décompression sont liés à la formation de bulles, à la fois vasculaires, et tissulaires.

PREAMBULE

D'où viennent ces bulles ? De quelle nature sont-elles ? Evolution des théories sur la décompression.

1) Tableaux (voir annexe)

Les tableaux sur les différentes théories de la décompression sont intéressants à consulter, car ils permettent une vision d'ensemble et une bonne compréhension de l'évolution des théories, ce qu'elles ont apporté de nouveau par rapport au modèle précédent et leurs implications plus ou moins spécifiques.

Ainsi, d'un modèle HALDANIEN à gaz dissous où les bulles formées ne sont dues qu'au dépassement d'une valeur critique de tension d'azote dissous tissulaire (sursaturation critique), HENNESSY parle en termes de bulles circulantes (avec la venue du doppler dans les années 80) et de volume critique d'une bulle. En 1990, on convient de l'élimination des bulles par le filtre pulmonaire mais on met en évidence des shunts capillaires et l'existence des foramen

ovale perméables persistants. Enfin, on suppose l'existence de micronoyaux gazeux préexistants au niveau veineux et on parle en termes de « volume gazeux tolérable par l'organisme » ; en 2000 on perçoit la nécessité d'individualiser les procédures et en fonction du type de plongée.

2) Hypothèses récentes et implication clinique

Les bulles circulantes

Elles suivent le même chemin (appareil pulmonaire = filtre à bulles) ; dans des conditions de décompression anormales, les bulles circulantes deviennent excessives en quantité et en volume et dépassent les capacités du filtre pulmonaire

(*hyperpression pulmonaire défaut d'élimination ; *lésions pulmonaires : empêchant le dégazage)

Notions de facteurs de risques

La théorie de l'existence de bulles artérielles se fonde sur l'hypothèse que des bulles gazeuses intravasculaires (réseau veineux) se forment normalement pendant la remontée, qu'elles sont transportées par les veines et filtrées par les poumons. Si une bulle franchit le filtre pulmonaire, elle passe dans le système artériel. Les tissus agissent comme un réservoir de gaz et alimente la bulle qui grossit. Le phénomène critique est alors la taille de la bulle (qui détermine le pouvoir filtrant des poumons).

Théories des micronoyaux gazeux

Pour qu'une bulle soit réellement stable, il faut que son rayon soit infiniment grand, ce que l'on retrouve au niveau des jonctions intercellulaires. En cas de sursaturation, le gradient de pression partielle entre le milieu intercellulaire et le noyau est tel qu'il « engraisse » le noyau, c'est-à-dire que le gaz passe de la phase dissoute sursaturée du milieu, dans la phase gazeuse qu'est le noyau. Ces noyaux gazeux peuvent être également nourris par des phénomènes de cavitation (dépression créée par une turbulence au niveau

de lésions sténosantes ou athéromateuses, au niveau de valves calcifiées, etc) et donner des bulles intravasculaires par transfert de gaz depuis le milieu liquide sursaturé vers la phase gazeuse : « engraissement ». NB : les compartiments tissulaires sont réduits à une phase liquide.

Objectifs de la modélisation

L'algorithme mathématique est établi sur un modèle théorique. Le choix d'une table de décompression est avant tout le choix d'un modèle de décompression théorique qui définit ses propres critères de sécurité et seuils critiques qui vont jouer un rôle d'alarme dans l'objectif d'optimiser la sécurité de la décompression lors d'une plongée

La modélisation mathématique permet d'intégrer les paramètres de la plongée et des échanges gazeux au calcul et définir en fonction des variables de la plongée un profil de décompression « sécurisé » et adapté au mieux à la situation

L'objectif, à l'avenir, de la modélisation est de tendre vers un modèle qui se rapproche le plus possible de la physiologie humaine.

Dans cette prochaine sous partie, nous nous poserons la question du contenu d'un modèle de calcul de décompression

Conception d'une table de décompression

1) Définition des paramètres de la plongée

1° la profondeur

La profondeur est un paramètre très important d'une plongée. C'est aussi la question soulevée par la problématique car c'est **au-delà de 40 mètres que 54 % des accidents** surviennent alors que les plongées au-delà de 40 mètres ne représentent que 10 % des plongées toutes profondeurs confondues.

On a vu précédemment que la pression retrouvée à une profondeur donnée est reliée linéairement à la quantité d'azote dissous.

Pour les plongées peu profondes, les gradients de pressions partielles ne sont pas assez élevés pour atteindre les premiers coefficients de sursaturation critiques tissulaires. Il n'y a donc pas de bulles formées en termes de décompression selon le modèle Haldanien à gaz dissous et par conséquent moins de risque de faire un accident de décompression.

On pourra donc classer deux types de plongées : les plongées à remontée directe, elles sont situées dans la courbe de sécurité décrite ci après, et les plongées à remontée indirecte nécessitant des paliers de décompression.

D'après le Docteur Jean Eric Blatteau au centre d'expertises médicales du personnel plongeur de la marine (CEMPP de TOULON), en 2005 :

« Pour la tranche 0-30 mètres (de profondeur), on dénombre un accident de décompression (ADD) pour 30000 plongées. Pour la tranche 30-60mètres, un ADD pour 3000 plongées. »

Avec l'évolution des techniques, et la mise sur le marché d'ordinateurs qui semblent « sécuriser » les plongées, la plongée profonde devient l'affaire de tous et de plus en plus celle des plongées loisirs. C'est pourquoi nous nous attacherons plus particulièrement à ce problème dans notre troisième partie.

2° le temps au fond

Il est le second paramètre important de la plongée qui influera sur le risque d'accident de décompression et donc sur le profil de remontée pour gérer au mieux ce risque. Les plongées au fond de courte durée nécessiteront, d'après les tables de la COMEX des paliers peu profonds. Ce sont ces profils de plongée qui répertorieront le plus d'ADD de type neurologique (Les plus graves, donc auxquels nous essaieront d'attacher plus d'importance dans notre troisième partie). Tandis que les plongées profondes plus longues nécessiteront des paliers plus profonds et provoqueront plus de symptômes de type articulaires.

1°+2°: LA COURBE DE SECURITE :

Elle indique pour une profondeur donnée le temps maximal d'immersion ne nécessitant pas de paliers

Pour une plongée à l'air, d'après la courbe de sécurité de la table MN 90

- à une profondeur de 6 mètres, la durée indiquée est illimitée.
- A 20 mètres de profondeur, la durée indiquée par la courbe de sécurité est de 40 minutes
- A 25 mètres, il ne faut pas dépasser 20 minutes au fond.
- A 30 mètres, on ne peut rester que 10 minutes.

Pour une pratique se déroulant dans la courbe de sécurité, le risque d'accidents de décompression est d'environ 1/100 000, et le profil de remontée à la surface est direct d'après la revue « plongée ».

L'enjeu de notre réflexion repose sur les plongées en dehors de la courbe de sécurité, que l'on retrouve de plus en plus dans les plongées loisirs et dont la remontée à la surface nécessite des paliers car le risque d'accident de décompression est alors de 1 pour 10 000.

3° Les mélanges gazeux

Cette courbe de sécurité est établie pour des plongées à l'air. Rappelons que l'air est composé de 79 % d'azote, que l'azote n'est pas métabolisé par notre organisme, et c'est encore celui-ci qui sursature les tissus, qui est générateur d'accidents de décompression en dehors de la courbe de sécurité basée sur des principes à gaz dissous.

- *Etant donné que ce n'est qu'un gaz « diluant », ne peut on pas diminuer sa proportion au sein du mélange gazeux contenu dans la bouteille et inspiré par le plongeur ou le remplacer par un autre gaz diluant pour augmenter la marge de sécurité de nos plongées?*

En effet, il existe des mélanges suroxygénés (arrêté d'encadrement législatif datant de Août 2000) qui ont pour but de diminuer les effets délétères dus à l'azote. Ils contiennent plus d'oxygène que l'air et ainsi, moins d'azote : ils sont habituellement appelés « nitrox » par anglicisme (de nitrogen pour l'azote et oxygen).

Ainsi, le Nitrox 40 contient 40% d'oxygène et 60 % d'azote.

Il permet une extension de la courbe de sécurité :

- A 20 mètres de profondeur, elle autorise 2h15 de plongée au

nitrox 40 par rapport aux 40 minutes de la plongée à l'air.

- A 25 mètres, 50 minutes au nitrox 40 contre 20 à la plongée à l'air.
- A 30 mètres, 40 minutes contre 10 seulement pour la plongée à l'air
- *Mais, trop d'oxygène, n'est ce pas toxique ?*

Si, et c'est ce qui limite les profondeurs accessibles avec les mélanges suroxygénés. Le risque de la plongée au Nitrox est l'hyperoxie. La plongée professionnelle a établi que la pression partielle maximale d'oxygène admissible en immersion est de 1,6 bar donc chaque mélange Nitrox a selon sa teneur en O₂ une profondeur limite de sécurité à ne pas dépasser.

Ne peut-on donc pas remplacer l'azote par un autre gaz neutre diluant au lieu d'augmenter la fraction d'oxygène du mélange et donc de risquer l'hypoxie ?

L'hélium est en effet un autre gaz diluant qui peut, en partie (car il coûte cher) remplacer l'azote. C'est le cas dans les plongées au « trimix » dont le but est de diminuer la teneur du mélange respiré en oxygène et en azote.

« Les trimix veulent éviter la narcose (toxicité de l'azote sur le système nerveux central) en diminuant la teneur en azote, le risque d'essoufflement en utilisant un gaz léger comme l'hélium, et le risque d'hyperoxie en calculant le taux d'oxygène permettant de rester à une PpO₂ tolérable selon la profondeur à atteindre.

Le trimix permet donc la réalisation d'immersion à grandes profondeurs avec un maximum de sécurité. »

D'après « Plongée sous-marine et milieu subaquatique. Accidents-Aspects médicaux » (JP Bonnin, (...)) Editions Masson.

Cependant ces mélanges sont des produits sophistiqués faits pour la plongée profonde dite « technique », ce qui n'est plus tout à fait la plongée de loisir.

Ainsi, nous avons défini les paramètres de la plongée : Profondeur, temps, et mélanges qui influent sur la charge en azote des tissus pour une plongée donnée et sont les premiers éléments utiles dans la conception d'un modèle de calcul de décompression.

2) Paramètres des échanges gazeux et facteurs de risques

Dans un second temps, c'est considérer les paramètres qui vont influencer sur les échanges gazeux, la charge et la décharge en azote des tissus : la **diffusion** dans le sang, et entre les compartiments plus ou moins altérée par la viscosité sanguine (paramètre individuel de l'organisme du plongeur et notion de facteurs de risques), et la **perfusion** qui pourra être modifiée par de nombreux facteurs individuels et environnementaux comme la fatigue, le stress, le froid.

Le flux sanguin pulmonaire (*insuffisance respiratoire obstructive : bronchopathes chroniques, HTAP..), la ventilation (*insuffisance respiratoire restrictive, scoliose..), métabolisme vont également influencer sur les échanges gazeux.

3) Critères d'ascension: « en dessous ça passe, au dessus ça casse ! » (J-P. Imbert)

Dans un troisième temps un modèle de calcul de tables de décompression va définir ses critères de sécurité de la remontée. C'est le choix critique ou « critère d'ascension »

Il peut être :

- La quantité de gaz dissoute
- La sursaturation des compartiments en gaz
- Le volume d'une bulle critique
- Le rayon d'une microbulle
- Le volume de gaz admissible pendant la remontée

Ce critère d'ascension pourra être évalué par le calcul d'un algorithme mathématique défini par le modèle et déterminera, en fonction des autres paramètres précédemment définis le profil de remontée.

4) paramètres opérationnels (pour le profil de décompression)

1) Les mélanges

Confère plus haut

2) La vitesse de remontée

Vitesse de remontée (VDR) et gradients de pression

La vitesse de remontée est liée au paramètre physique « gradient de pressions partielles en azote ». Il s'agit de gérer le paramètre extérieur qui est la pression ambiante. Si la vitesse de remontée est trop rapide, on passe brutalement à une pression extérieure P2 beaucoup plus faible que P1 : risque de désaturation brutale et formation de bulles comme nous l'avons expliqué plus haut, et par l'effet Boyle et Mariotte d'une augmentation des bulles préexistantes qui, par leur trop grosse taille pourraient bloquer un capillaire et entraîner des lésions ischémiques(accident de décompression neurologique : de type 2.

D'autre part, les compartiments de longue période continuent à se charger en azote pendant la gestion de la désaturation des compartiments courts. Il faut donc trouver un compromis entre ces deux phénomènes et éviter la sursaturation critique des compartiments longs qui tolèrent moins cette zone critique (confère dernière grande partie).

Pendant les premiers mètres de la remontée : la fenêtre oxygène

Au fur et à mesure que le sang traverse les tissus, l'augmentation de la PpCO2 est bien moins importante que la diminution de PpO2 parce que :

- La totalité de l'oxygène consommé n'est pas transformée en CO2
- Le CO2 est 20 fois plus soluble que l'O2 dans le sang : donc entraîne une pression partielle plus faible. Ce qui fait que la somme des pressions partielles sera plus faible : cette diminution de pression partielle totale entre le côté artériel et veineux est appelée « pression partielle

vacante » ou sous saturation inhérente ou encore fenêtre oxygène. Cette pression partielle vacante limite la sursaturation du sang veineux, prévient la formation de bulles (par diffusion d'azote de la bulle vers le tissu environnant chargé en oxygène) et par la même, accélère la désaturation des tissus. (dans les tissus vivants, la somme des pressions partielles des gaz dissous est inférieure à la pression atmosphérique)

En pratique,

- 1) la respiration d'oxygène pur agrandirait cette fenêtre oxygène et participerait à une meilleure décompression.
- 2) La fenêtre oxygène, couvrirait une partie de la remontée, en fonction de la profondeur et de son amplitude, et permettrait une remontée rapide jusqu'au premier palier (16-18m/min)

Vitesse de remontée : état des lieux : avis des spécialistes :

« La tendance actuelle va dans le sens d'une diminution de la VDR afin d'optimiser la sécurité des plongeurs, l'abandon d'une VDR de 18 m/min et l'usage systématique de 15 m/min pour les tables MN 90. »

Revue Française de plongée, 5^{ème} numéro, GNPU.

En effet, pour minimiser le grossissement des bulles par l'effet de Boyle et Mariotte à la remontée, il faut la ralentir avant de permettre le dégazage des bulles intravasculaires par le filtre pulmonaire lors des paliers de décompression (qui maîtriseront par ailleurs la sursaturation des tissus longs) et ralentir d'autant plus que l'on s'approche de la surface.

Prenons l'exemple d'une remontée rapide de 10 mètres à 50 mètres de profondeur (soit -1 bar de pression ambiante sur 6 bars initialement).

L'effet sur l'organisme de la variation de pression (1/6) serait relativement bien toléré. En revanche, la même remontée rapide à 10 mètres de profondeur c'est-à-dire jusqu'en surface représenterait un risque majeur de formation de bulles car il s'agirait d'une variation brutale de pression de la moitié de la pression initiale.

3) L'intervalle des paliers

Nous porterons notre réflexion plus précisément sur l'intérêt des paliers à mi profondeur dans le profil de remontée d'une décompression qui se veut la plus sécurisée possible

MODELE DYNAMIQUE A CROISSANCE DE BULLES

Ainsi la modélisation d'un profil de remontée se fait à partir d'un choix critique, pour lequel on a établi et admis un certain nombre d'hypothèses.

Le modèle le plus actualisé est un modèle dynamique à croissance de bulles.

C'est un modèle pour lequel les hypothèses établies sont :*

- Que les bulles interviennent dès le début de la remontée.
- Qu'elles sont petites car elles ont passé le filtre pulmonaire
- Qu'elles sont vasculaires et non plus tissulaires.
- Qu'elles ne sont pas directement liées aux charges gazeuses des tissus avoisinants (elles sont préexistantes ou viennent d'ailleurs)

-
- Qu'elles échangent du gaz avec les tissus avoisinants et le sang.
Elles peuvent croître et décroître selon les conditions

Le choix critique est le volume de la bulle, et le but est de décrire les conditions de remontée qui vont éviter la croissance des bulles lors de leur passage dans le tissu.

Le problème est de décrire leur survie en fonction du temps alors qu'elles sont, d'après les équations complexes thermodynamique, instables. Pour cela, certains auteurs ont émis l'hypothèse d'une membrane perméable de diffusion (Variable permeability model) ou d'une enveloppe résistante assurant leur pérennité.

Conclusion de la partie modélisation :

Les différents modèles nécessitent un jeu de paramètres pour définir leur fonctionnement. Ces paramètres définissent le nombre de degrés de liberté du modèle et sa **capacité d'adaptation**. Aujourd'hui les ordinateurs de plongées nous permettent un calcul algorithmique dynamique et multi niveaux. Cependant la modélisation mathématique trouve rapidement ses limites lorsqu'il s'agit d'adapter le profil de remontée à la physiologie humaine, à la condition physique individuelle et notamment la tolérance individuelle à la décompression, et à l'impact environnemental.

« Le modèle mathématique n'est que de peu d'importance, ce qui compte, c'est l'étude statistique du risque »

T. Falzone dans « Réflexions sur l'évolution des vitesses de remontée »

A l'avenir, il serait intéressant d'adopter une approche complémentaire des différentes théories pour avoir un jeu de paramètres bien plus étendu (nombre de degré de liberté plus grand) et donc plus proche des variabilités qui existent dans la physiologie humaine. C'est dans cette optique que JP Imbert propose une **« approche multimodèle »** qui prend en compte à la fois le théorie des grosses bulles de fin de plongée (ADD médullaires et articulaires), les théories des bulles artérielles, susceptibles d'emboliser vers le cerveau et de provoquer des accidents neurologiques, et le dégazage dans le cadre d'une décompression normale associant vitesse de remontée, paliers profonds et paramètres environnementaux, notamment impliquée dans les plongées consécutives, les plongées de surface, la prévention., et enfin la théorie des micronoyaux gazeux (HENESSY) aux parois des vaisseaux préexistent.

Troisième partie

INTERET DES PALIER A MI PROFONDEUR

Une étude rétrospective épidémiologique conduite par J-E Blatteau, J-M Guines, M Hugon, F-M Galland, J-M Sainty et J-P Menu, a bilanté douze années d'utilisation de la table de décompression MN 90 pour la plongée à l'air.

Les principaux résultats de cette étude montrent :

- Que le risque global d'accident est estimé à 1/30 000 plongées, mais qu'il est augmenté à 1/3000 dans la tranche de profondeur 45-60 mètres
- Que parmi les accidents, 97 % des accidents sont neurologiques et 3% seulement sont de type ostéoarticulaires.

Elle conclut que la profondeur semble être le facteur de risque le plus important. Elle indique enfin que des études sont engagées pour améliorer la sécurité de la décompression dans la tranche de profondeur 45-60 mètres.

Cette étude nous permet d'introduire notre troisième partie sur l'intérêt des paliers à mi profondeur dans l'optique d'optimiser la sécurité de décompression en plongée.

Tout d'abord,

Pour optimiser la décompression, il faut avoir en tête deux phénomènes bien distincts :

- 1) Le gradient de pression qu'il faut maîtriser en ajustant la vitesse de remontée du fond jusqu'en surface afin d'éviter un dégazage excessif

par une variation importante trop rapide de la pression ambiante, et à la fois de maîtriser le volume des bulles circulantes qui augmente linéairement avec la diminution de la pression engendrée par la remontée.

- 2) La quantité de gaz dissous à la base des algorithmes conventionnels qui se fondent sur la loi de Henry à l'équilibre ($C_i = S_i \cdot P_i$). Mais, la cinétique de dissolution n'est pas instantanée, et nécessite un temps de contact. D'où l'intérêt des paliers pour minimiser le passage en phase gazeuse trop précoce de l'azote dissous (désaturation).

En réalité, dans l'organisme, la quantité de gaz transportée se trouve environ à 90% dissoute, pour le reste en phase gazeuse.

Le sang n'est pas un liquide parfait, et la solubilité de l'azote (faible déjà initialement) dépend également de la viscosité sanguine, du débit sanguin (qui dépend du métabolisme et des paramètres de l'environnement comme la température).

La loi de Henry n'est pas purement applicable à la physiologie sanguine qui dépend également de paramètres individuels et extérieurs. Elle nécessiterait donc des facteurs de correction pour tendre vers la réalité.

D'autres paramètres interviennent dans la charge initiale des tissus en azote comme des plongées successives où il persiste un taux résiduel en azote au moment de la plongée suivantes. Ceci est encore un facteur préalable qui n'est pas pris en compte dans les tables de décompression conventionnelles.

Ce paragraphe a pour but de situer les notions de vitesse de remontée et de paliers dans un profil de décompression à gaz dissous, et d'introduire les algorithmes non conventionnels en soulevant quelques limites liées à l'application des modèles conventionnels à gaz dissous à la physiologie humaine.

Ensuite, une bonne décompression nécessite donc de trouver un compromis entre le respect des paliers, la vitesse de remontée et la durée totale de la remontée.

PREALABLES A LA DISCUSSION :

- ALGORITHMES NON CONVENTIONNELS :

- 1) MODELE RGBM : Reduced gradient Bubble Model

Il fut développé par le Docteur Bruce WIENKE, aux laboratoires Los Alamos aux Etats-unis en 1990.

Ce modèle prend pour hypothèse au départ:

- Le passage des gaz de l'état dissous à l'état libre
- Les micronoyaux déjà présents ou produits par l'exercice musculaire et l'évolution des microbulles

Ce modèle prend en compte également séparément chaque gaz par intégration des M-Values (que l'on résumera au gradient de sursaturation critique en gaz dissous tolérable pour un compartiment donné)

Ce modèle a permis de nouvelles implications et s'adapte alors

- Aux plongeurs techniques, Qui veulent intégrer des variations de mélange et des grandes profondeurs à leurs profils, des paliers profonds et des décompressions à l'oxygène.

- Aux plongées loisirs, Pour des profils inversés, des plongées au Nitrox, des intervalles de surface réduits et des plongées successives et intensives sur plusieurs jours.

Il s'agit de la combinaison la plus récente des modélisations en termes de décompression.

2) RGBM Mares-Wienke

Le modèle RGBM est approfondi avec la prise en compte de la tension de surface qui fait que la pression dans la bulle est supérieure à la pression ambiante.

Si la pression du gaz dans la bulle est supérieure à la tension du tissu: les molécules de gaz se déplacent de la bulle vers le tissu, ce qui entraîne une diminution de taille de la bulle.

D'après la loi de Laplace, plus une bulle est petite, plus la différence de pression est grande entre la bulle et l'environnement extérieur.

Par cette différence de pression, on aura une migration du gaz de la bulle vers le tissu, la bulle aura tendance à s'écraser.

Une autre hypothèse introduite dans la réflexion est que dans le corps humain, le gaz présent est à 90% dissous, et 10% sous forme de microbulles.

La stratégie de la décompression est alors de conserver les bulles aussi petites que possible, afin que la différence de pression soit plus grande et augmente la vitesse de transfert du gaz de la bulle vers le tissu. Il s'agit de créer une substantielle différence

de pression entre l'intérieur de la bulle et la tension du tissu.

Ce modèle apporte une importance particulière à la vitesse de remontée, et de descente et introduit les paliers profonds.

En pratique, ce qui est préconisé, c'est un départ du fond lent, puis une vitesse à 10 mètres par minute jusqu'au palier profond, puis 17 mètres / minute jusqu'aux paliers de surface. Ils préconisent également une descente rapide à 20 mètres/ minute pour « écraser » les bulles.

3) Le Variable permeability model ou VPMModel

Sont à la base de ce modèle les travaux de David Yount sur la gélatine et sur les animaux, puis WIENKE en 1991 (qui a créé le RGBM), enfin en 1990 -2000, la collaboration d'Eric BAKER, Eric MAIKEN et David YOUNT a permis de mettre au point ce modèle dit « à perméabilité variable ».

Ils postulent :

- qu'il existe un capital initial de micronoyaux gazeux qui ont une distribution spécifique en fonction de leur taille
- lors de l'immersion, s'appliquent l'effet Boyle et Mariotte, et la diffusion gazeuse progressivement.

Le phénomène critique est : les volumes gazeux tolérables par l'organisme.

Ce modèle à perméabilité variable est modélisé par un calcul différentiel ; au cours

de la descente, il calcule la réduction du noyau initial ; au cours de la remontée, il module le gradient limite de sursaturation (nombre de noyaux excités et volume gazeux dégagé).

Ce modèle trouve son intérêt surtout pour son implication dans les plongées multi gaz.

4) VPM B Model

Ce modèle est mis au point par Eric Baker.

Ses hypothèses sont :

- Un capital initial de micronoyaux gazeux, distribués en fonction de leur taille.
- L'effet Boyle et Mariotte lors de la descente puis de la remontée.

C'est le modèle à micro bulles le plus récent est le plus précis.

Il préconise pour la décompression des paliers profonds, des paliers moins profonds, ou des plongées sans palier ou des plongées profondes au recycleur.

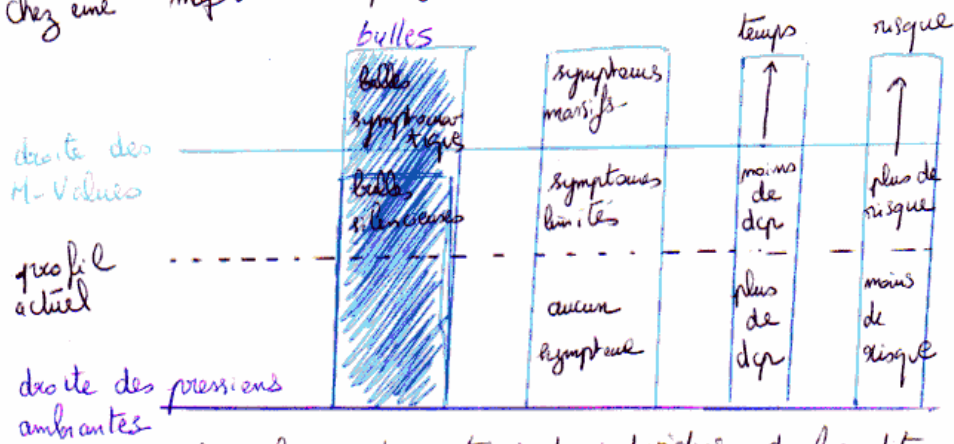
• GRAPHE DE SURPRESSION :

A la base de la désaturation : le dégazage :

En théorie, un compartiment nécessite un écart positif au dessus de la pression ambiante pour « dégazer » (écart entre la droite des pressions et la droite des M-values).

Concept des M-Values : une ligne dessinée au travers d'une zone gazeuse et floue

La représentation d'un seuil au delà duquel on peut s'attendre à voir fréquemment des symptômes de la maladie de la décompression (MDD) chez une majorité de plongeurs

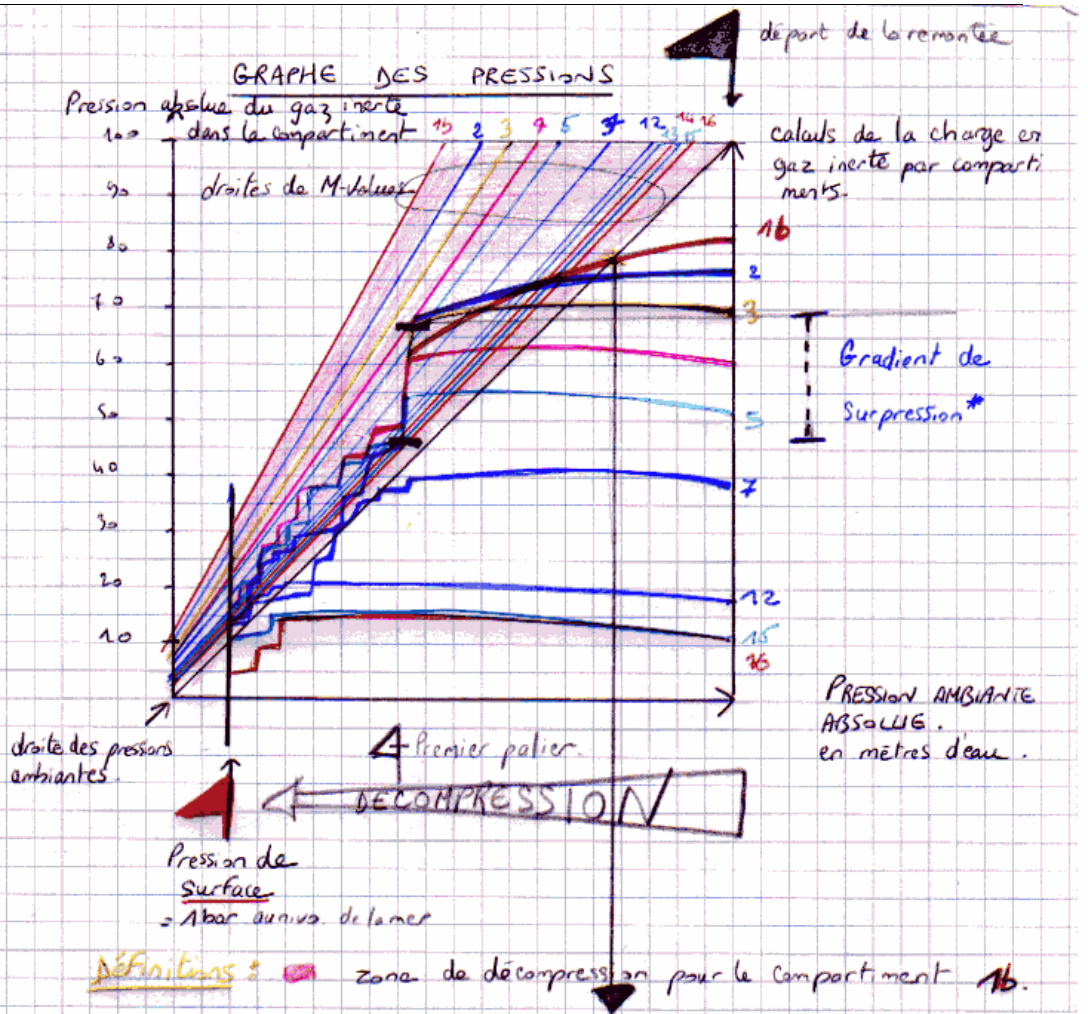


Variable selon la prédisposition des individus, de la condition physique..

tiré de l'article Comprendre les M-Values
de E. Baker

L'observation du graphique des pressions permet de visualiser les notions :

- De limites de sursaturation représentées par les droites de M-Values, pour chacun des compartiments.
- d' « entrée dans la zone de décompression » pour un compartiment donné et de palier de décompression le plus profond
- De gradient de surpression entre l'azote dissous dans le compartiment et la pression partielle en azote ambiante, liée directement à la profondeur. Et donc de premier palier effectif.



- * Le palier de décompression le plus profond possible est le prochain palier juste après que le compartiment directeur (1b) ait traversé la droite des pressions.
- zone de décompression = celle comprise entre la droite des P. ambiantes et celle des M-values
- * Le Gradient de surpression créé lors de la remontée jusqu'au premier palier est rapide et élevé
- droite des pressions ambiantes : quand la valeur du compartiment en charge de gaz, passe au dessus de la droite des pressions ambiantes, il se crée un écart de surpression.
- Une droite de M-value représente la limite établie pour un écart de surpression admissible, au dessus de la droite des pressions ambiantes

DISCUSSION

1) Paramètre opérationnel : pour une meilleure décompression, est ce plus important la vitesse de remontée ou les paliers de décompression ?

Sur ce point déjà, les différents auteurs ne sont pas d'accord.

Docteur Méliet, dans la revue Medsubhyp en 1989, affirme :

« Lors d'une plongée, les conditions de la sursaturation sont fixées par la vitesse de remontée bien plus que par le respect des paliers qui ne concernent que le dégazage des tissus longs (...) or les accidents de décompression (ADD) les plus graves sont ceux qui concernent les tissus courts » (neurologiques)

Tandis que Docteur Marroni affirme que les paliers ont plus d'importance que la simple réduction de la vitesse de remontée...

2) Quels paliers pour une meilleure décompression ?

Notre réflexion concernera des plongées profondes (supérieures à 40 mètres), à l'air.

PARTIE DES MODELES CONVENTIONNELS A GAZ DISSOUS :

Selon eux, pour une plongée typique « en coup de vent », le premier palier s'impose lorsque la charge en gaz inerte du compartiment est égale ou proche de sa M-Value.

Le phénomène critique est la limite de l'écart toléré entre la pression de gaz inerte et la pression ambiante, pour chaque compartiment : la M- Value.

M-Value, M- Value : OUI MAIS il a été constaté l'apparition de symptômes de fatigue, somnolence ou malaise après une plongée sans pour autant qu'une M-Value ne soit dépassée...

Pour le modèle à gaz dissous, le principal phénomène à contrôler est donc la quantité d'azote dissous...

OUI MAIS... (disent les pro-algorithmes non conventionnels)...

Des études au Doppler ont montré qu'un plongeur n'a pas besoin de dépasser une M-Value pour générer des bulles. Il existe en effet des micronoyaux gazeux et des bulles circulantes qui peuvent venir d'ailleurs que de la désaturation... Pensez aux phénomènes de cavitation dans les turbulences liées aux valvulopathies par exemple, au niveau de bifurcations artérielles plus ou moins sténosées.

Les plongeurs présentant un foramen ovale perméable persistant ont un risque élevé de former des bulles...

Et si... les paramètres extérieurs (température de l'eau) ou le comportement du plongeur (défaut d'expiration) entraînent un défaut inopiné de ventilation ou de perfusion ou bien les paramètres individuels liés au plongeur comme une pathologie obstructive, ou restrictive ... induisent un retard au dégazage...

Qu'en est-il de la quantité d'azote dissous dans le compartiment étudié ? C'est la même...par contre les bulles s'accumulent dans les capillaires ne pouvant être correctement éliminées par les poumons...et risquent fortement de bloquer un capillaire et d'entraîner des lésions d'ischémie.

Tac au tac : Certes, et c'est à cet effet que peuvent être intégrés à certains ordinateurs de plongées basés sur de algorithmes conventionnels à gaz dissous des coefficients de pénalisation

La stratégie de décompression, d'après BAKER à propos des algorithmes conventionnels à gaz dissous (Robert WORKMAN ; BUHLMAN), permet aux plongeurs de remonter jusqu'à la plus faible profondeur possible (= plafond) basée sur la M-Value qui limite la remontée pour ce tissu. En effet, d'une part, elle accélérerait l'élimination des gaz et des compartiments courts et d'autre part, on minimise la charge en gaz inerte qui continue de s'accumuler dans les compartiments les plus longs : ce sont les compartiments courts qui contrôlent le début de la remontée.

Tandis que le gradient de surpression augmente pour les compartiments les plus longs lorsqu'on effectue des paliers profonds (alors que l'écart de surpression toléré pour ces compartiments est minime).

PARTI FAVORABLE A
L'INTRODUCTION DES PALIERS
PROFONDS DANS UN PROFIL DE
DECOMPRESSION

Tout d'abord, argument basé sur les faits : à l'origine, Richard Pyle a constaté de bénéfiques évidents sur la plongée des paliers profonds. D'autres plongeurs « tech » (techniques) vont dans ce sens en observant que de nombreux troubles peuvent être évités en incluant des paliers profonds dans leurs profils.

CERTES, MAIS,...

les profils de décompression qui utilisent des paliers profonds arbitraires sont source de problèmes potentiels : les arrêts trop profonds ainsi qu'un allongement inapproprié des derniers paliers pour compenser l'accroissement de la saturation causée par ces arrêts trop profonds.

Sur l'hypothèse des microbulles préexistantes, l'enjeu n'est plus de tout éliminer dans un même temps, mais de contrôler la taille des bulles lors de la remontée, qui ont tendance sous l'effet Boyle et Mariotte d'augmenter de volume fonction linéairement du retour à la surface

Or, des bulles trop grosses pourraient bloquer des capillaires ou grossir dans les tissus et entraîner des accidents de décompression... Donc, l'introduction de la tension superficielle dans les données du modèle est intéressante car, d'après la loi de Laplace, plus la bulle est petite, plus la différentielle de pression est grande, et permet un transfert de gaz de la bulle vers les tissus (on maîtrise la phase gazeuse de l'azote). C'est pourquoi, le palier en profondeur permet l'écrasement de la bulle... et son possible dégazage par les poumons (tant qu'elle n'est pas trop grosse). Ainsi dès la mi-profondeur, les bulles les plus précoces, peuvent être maîtrisées et plus ou moins dégazées et prévenir les phénomènes ischémiques liés aux bulles artérielles.

Paliers profonds et pendant ce temps là ...les compartiments lents continuent de se charger en azote... le problème est qu'eux, tolèrent moins le gradient de surpression. Alors pour les plongées longues et profondes c'est joué avec le feu...

Les accidents les plus graves donc à prévenir en priorité (comme vous, les pro-Haldaniens, le disiez très bien tout à l'heure) sont bien ceux des compartiments courts, les accidents neurologiques.

La Mi profondeur est une distance arbitraire du fond, qui en prend en fait, en compte la partie de la remontée qui est couverte par la fenêtre oxygène, celle-ci étant en effet fonction de la profondeur.

Par ailleurs, en profondeur, la quantité d'azote en phase gazeuse est sous une plus grande concentration pour un moindre volume : dégazées, cela permettrait la désaturation d'une plus grande quantité d'azote pour un temps identique.

En pratique, l'introduction des paliers profonds ralentirait fortement la vitesse de remontée et diminuerait la production de bulles, permettrait la décharge de certains tissus, et de passer moins de temps dans les derniers paliers...

Passer moins de temps dans les derniers paliers : OUI MAIS...

le risque d'avoir une bulle trop grosse qui entraîne un accident de décompression est toujours le même en surface, étant donné la brutale variation de pression pour une moindre distance remontée par rapport à ce qu'il se passe en profondeur : les bulles (plus tardives) grossissent nettement plus vite. Il suffit d'une pour engendrer un accident de décompression...

EXPERIMENTATION

- 1) Avec de nouvelles tables au sein de la marine nationale par comptage de bulles.

Une vitesse de remontée lente et un palier profond, calculés par la COMEX pour des tranches 40 à 60 mètres montrent qu'elles sont moins génératrices de bulles que les MN 90 (B. Gardette et JP Imbert)

Les questions qui se posent : paliers profonds : oui mais à quelle profondeur ? et combien de temps ?

D'après le graphe des pressions du modèle à gaz dissous, il ne faudrait pas effectuer le palier avant que le premier compartiment n'entre en sursaturation, dans la zone de décompression, la mi-profondeur serait alors une approximation pour les plongées profondes.

Des études sur des ordinateurs qui, à l'avenir, avec doppler intégré mesureraient le nombre moyen de bulles présentes intravasculaires pourront peut être répondre à la question du temps qu'on laisserait au dégazage des tissus courts lors des paliers à mi profondeur.

Les expériences de DAN EUROPE

1° En 1996, J-R Broome fait subir à 40 cochons une plongée de 60 mètres pendant 24 minutes. Afin d'évaluer deux profils de remontée, il crée deux groupes.

Dans le premier, le début de la remontée est lente, ce qui entraîne une plus grande absorption des tissus plus lents, puis la

remontée est linéaire est rapide. A l'inverse, dans le second groupe, le début de la remontée est rapide (et entraîne la formation de bulles), puis la remontée est lente (ce qui permet l'élimination des bulles avant la phase critique de décompression).

Les résultats montrent 55 % d'accidents neurologiques dans le premier groupe dont un décès et 25% seulement dans le second groupe.

Par ce résultat, on se rend compte de l'importance de la vitesse de remontée, et que par l'observation des plongeurs tech, les paliers profonds donneraient le même type de résultat que le second profil.

2° Dan Europe a voulu vérifier cette hypothèse et étudie les effets des différences de vitesse de remontée et d'un palier profond sur la formation des bulles dans la circulation sanguine, chez 22 plongeurs.

On étudie 8 profils de remontée différents, soit à 3 mètres par minute, à 10 ou à 18 mètres par minutes ; combinés ou non à des paliers de décompression, soit pas de palier, soit un à 6 mètres, soit 2 : l'un à 15 mètres, l'autre à 10 mètres.

Il en résulte, en faveur du palier de décompression, qu'une remontée plus rapide et associé à deux paliers (l'un profond, l'autre moins) formerait moins de bulles qu'une remontée lente et linéaire.

Deuxièmement, que la meilleure combinaison testée est celle associant une VDR à 10 mètres par minute à un palier à mi profondeur maximale atteinte en plus d'un autre à 5 mètres pendant 3 à 5 minutes car elle diminuerait le nombre de bulles et la tension d'azote dans les tissus rapides.

CONCLUSION

La décompression au cours de plongées profondes est un phénomène très complexe, et le profil de décompression dépend du type de plongée, des conditions environnantes, du terrain individuel, enfin du comportement du plongeur ! Chaque plongée ne peut donc être

reproductible, d'où la difficulté de modéliser un profil de décompression. Cependant, on peut déjà réduire l'angle d'étude du phénomène de la décompression, au cours des plongées profondes au type de plongée (profondeur, temps, carrée, successive).

Quel intérêt pour les paliers à mi profondeur ?

Les paliers à mi profondeur correspondent bien aux plongées sportives : c'est-à-dire courtes et profondes (40-60m) où les tissus lents seront à peine chargés lors des paliers et ne seront pas à risque de désaturation à cause de paliers profonds. Egalement les paliers à mi profondeur peuvent répondre à des plongées successives où il persiste un taux résiduel d'azote à l'origine de bulles précoces à éliminer plus rapidement que lors d'une plongée typique.

Ensuite, l'intérêt que représentent les paliers à mi profondeur, dépend de la priorité que nous voulons donner à la prévention de l'accident de décompression. Et, là il présente un intérêt relativement important dans la mesure où elle prévient les accidents les plus graves et les plus fréquents ! C'est-à-dire : les accidents neurologiques liés à la désaturation des tissus courts.

Enfin, en cas de problème au fond, à type de fatigue à cause d'efforts imprévus, ou un comportement inadapté (apnée) le palier à mi profondeur pourrait être un recours à une meilleure prévention de complications en surface, pour maîtriser l'excédent de bulles formées par ces incidents.

Quatrième partie

CONCLUSION

Le plus important pour un profil de remontée est de le voir dans un contexte, il faut connaître les situations à risques, les comportements à risques et les facteurs prédisposant à une mauvaise décompression (insuffisance ventilatoire obstructive ou restrictive, insuffisance cardiaque et facteurs de risque cardiovasculaires, foramen ovale perméable... comportements inadaptés : plongées « yoyo », successives, plongée fatiguée...). Il faut appliquer les consignes de sécurité d'une plongée pour restreindre le champ du risque d'ADD.

Dans le cas d'un shunt droite-gauche par exemple, que le médecin averti en notion de risque de plongée aura pu diagnostiquer par un dépistage préalable (simple gaz du sang : faisable en pratique, ou échodoppler (plus spécialisé) pour dépister un éventuel foramen ovale perméable), il aura la sagesse, d'informer le patient présentant un risque préalable accru, mais passionné ..., de la meilleure conduite à tenir pour réduire la production de bulles circulantes : c'est-à-dire qu'il faudrait :

- Eviter les plongées nécessitant les paliers,
- Ne plonger uniquement que dans la courbe de sécurité,
- Eviter les plongées successives, les plongées de plus de 30 mètres de profondeur, les efforts en plongée, les efforts musculaires pendant les trois heures suivant l'immersion, - réaliser une remontée lente (proche de 10 mètre/ minute).
- Privilégier la plongée au nitrox

- Ne pas modifier la pression intrathoracique : pas de Vasalva intempestif ou forcé, pas d'apnées après une plongée scaphandre au cours de la même journée, éviter les efforts en isométrie à glotte fermée (remontée du mouillage, portages intempestifs, remontée à bord avec le bloc sur le dos, efforts de toux...), éviter la plongée en cas de mal de mer avec vomissements.

- Contrôler les facteurs de risque : ne pas plonger fatigué, stressé, avoir une bonne condition physique, avoir un entraînement progressif et régulier, se méfier de la surcharge pondérale, et être encore plus vigilant à 40 ans.

La prévention des accidents de décompression, passe par la connaissance de soi, de la notion de prise de risque et la notion de responsabilité. Le plongeur doit être autonome et responsable dans sa conduite, tout en étant intimement proche de son voisin de palanquée... En quelque sorte la plongée est déjà une école de la vie...sous l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- Physiologie et médecine de la plongée. B.Broussolle et J-L Méliet, Editions : Ellipses, 2006.
- Plongée sous marine et milieu subaquatique : Accidents-aspects médicaux. J-P Bonnin, Grimaud, Happey, Strub, Cart, Editions MASSON, 2003.
- REFLEXIONS SUR L'EVOLUTION DE LA VITESSE DE REMONTEE , ASSOCIEE AUX PROCEDURES DE DECOMPRESSION DE LA PLONGEE LOISIR A L'AIR, T Falzone, Revue Française de Plongée, numéro 4, février 2004.
- Clarifier la confusion régnant auour des paliers profonds, Eric BAKER
- Comprendre les M-Values, Eric Baker
- Web invisible : Sciences direct : Etude : retour sur 12 ans d'études des tables MN90
- Liste des contre indications à la pratique de la plongée subaquatique avec scaphandre autonome : Commission médicale de la FFESSM.
- Revue « Plongée », numéro 14, novembre 2008.
- La plongée sous marine à l'air. P. FOSTER, Editions : Presses Universitaires de Grenoble, 1993.
- Eléments de calculs de tables ,(Louis Cilliot-Club palm) formation théorique plongeur niveau 4
- Cours de biophysique de médecine de la faculté de Grenoble.
- Physique E.Hecht (1999).

<p style="text-align: center;">Représentation du risque en plongée loisirs : Tendance établie sur la base de 60 entretiens d'acteurs</p>
--

P. Lebrun

Doctorant STAPS – Université de Lyon – Labo. CRIS. Attaché Temporaire
d'Enseignement et de Recherche, Université de Poitiers, Labo. CEREGE.

Résumé - Il y a plusieurs manières d'appréhender une étude sur le risque : analyse des accidents, analyse des interactions homme/environnement, recherche des dysfonctionnements du système, etc. Pour cette étude, nous avons choisi de centrer notre vision sur les représentations du risque des acteurs : plongeurs, moniteurs, responsables de structures, dirigeants, etc. L'intérêt est la compréhension des actions et interactions entre les individus. Enfin, cela pourra permettre de comprendre certains comportements à risques en plongée ainsi que de guider de futures recherches sur la sécurité.

Mots clés : *risques, sécurité, représentations, plongée loisirs*

Abstract - There are several ways of approaching a study about risk: accident analysis, study of human / environmental relations, identification of dysfunctions, etc.. For this survey, we chose to focus our vision on risk representations of different entities: scuba divers, instructors, managers, leaders, etc. The interest is to understand the actions and interactions between individuals. Finally, it may help to understand some risk behaviors as well as scuba dive guide for further research on safety.

Keywords: *risk, safety, representations, recreational scuba-diving*

Introduction

Depuis quelques années, on remarque un engouement populaire pour les activités à fort coefficient émotionnel (1). La plongée ne bénéficie pas autant que d'autres pratiques de l'attention des médias, peut-être parce que moins impressionnante à première vue. Cela n'empêche pas que cette pratique de loisir soit perçue comme dangereuse (2) et que le nombre d'accidents de plongée est en légère recrudescence depuis une dizaine d'années (Source CROSS-MED). La notion de sport à risques ou de loisirs à risques est plus ou moins confuse voire abstraite. Nous laissons volontiers ce travail terminologique aux sociologues tels que Baudry (3) définir voir énumérer les pratiques considérées comme à risques. Cette confusion vient en partie du fait que le risque n'est pas complètement objectif mais aussi subjectif (Delignières, 1991) (4). Afin de percevoir ces représentations du risque en plongée, nous avons réalisés 60 entretiens anonymes semi-directifs d'environ une heure auprès de plongeurs de tous niveaux, encadrants, bénévoles, responsables de structures commerciales et associatives, acteurs de la plongée, etc. Les entretiens ont été menés dans les clubs de l'intérieur et de bords de mer. Ils ont ensuite été analysés et classifiés

en sept catégories divisés en trente unités d'analyse afin d'objectiver notre recherche.

Bien que la plongée soit aujourd'hui qualifiée d'activité en environnement spécifique, il subsiste cependant une controverse sur sa qualification populaire d'activité à risque. Les activités subaquatiques de loisirs, s'exerçant dans un environnement spécifique, impliquent le respect de mesures de sécurité particulières (en tous lieux, en milieu naturel et en fosse de plongée) mentionnées à l'article L. 212-2 de l'article du code du sport R212-7. Il semble évident que ces mesures de sécurité sont mises en place pour éviter incidents et accidents. Il existe donc des risques pouvant conduire à l'accident. Cette analyse va permettre de mettre en avant les risques perçus par les plongeurs. Notons qu'il faut différencier risques perçus et risques réels (apportés par des études complémentaires), et que, de ce fait, cette analyse ne peut se suffire à elle-même pour tirer des conclusions.

I – Les plongeurs considèrent-ils la plongée comme une activité à risque ?

Il semble difficile de donner un avis catégorique à cette question. Environ 18% des personnes (11 sur 60) interrogées se

prononcent pour un oui catégorique quand 11.7% des personnes (7 sur 60) se prononcent pour un oui mitigé. Le constat est le même pour l'avis opposé mais dans des proportions moindres (5/60 non catégoriques contre 4/60 non mitigés).

Pour certains plongeurs, la question ne fait pas débat, c'est un euphémisme de dire que la plongée est une activité à risque : « *Enormément, surtout plus tu montes dans la formation plus tu apprends ce que la plongée peut faire et moi je trouve ça méga dangereux (...). Je trouve ça vraiment très dangereux* » ; « *C'est implicite que la plongée est dangereuse !* » ; « *Lorsqu'on descend on est jamais sûr de remonter tous, c'est un sport où tu peux mourir, tu peux avoir n'importe quel accident au fond* ». Ce discours est dans l'ensemble plutôt fataliste.

D'autres sont défenseurs de l'idée que la plongée n'est au contraire une activité exempte de risques : « *Moi je ne pense pas que c'est à risque. C'est pas évident pour certains de respirer sous l'eau, comme pour les baptêmes, ce n'est pas facile, mais une fois que l'on a compris ça, il n'y a pas de raison, pourquoi ce serait à risque ? Pas plus que d'autres disciplines ! Je ne saute pas en parachute, ou je ne fais pas de saut à l'élastique. Ça pour moi, ça serait des trucs à risque. Se lancer dans le vide, faut être fou ! Que là, ils sont dans l'eau. Dans l'eau, tu*

flottes, c'est tout naturel ! Comme dans le ventre de ta mère ! Enfin presque » ; « *Aujourd'hui plonger c'est facile avec le matériel, c'est tellement facile que finalement on a plus tellement l'impression qu'il y a du danger* » ; « *On ne génère que très très peu d'incidents ou d'accidents, je dis bien incidents d'abord par rapport à la pratique et par rapport certainement aux écarts, aux fautes techniques que peuvent commettre les uns les autres, justement c'est très très peu risqué statistiquement compte tenu des écarts que peuvent commettre les uns les autres à savoir celui qui saute avec la bouteille fermée, celui qui perd sa palme, celui qui boit la tasse... Enfin, on peut en trouver des choses et pourtant tout cela ne débouche pas sur des accidents de façon massive* ». Ici, l'accident est perçu comme extérieur à l'activité. Les acteurs comparent souvent la plongée à d'autres pratiques, sportives ou non, où les accidents sont *a priori* plus courants et nombreux, pour ainsi défendre l'idée d'une activité sans risques majeurs. On remarquera aussi que ces plongeurs défendent avec ferveur l'idée d'une activité sans risque pour ne pas ternir l'image de la plongée et ainsi casser certains préjugés sur la dangerosité de cette pratique.

Enfin, une partie des acteurs interviewés sont moins catégoriques et mesurent leur propos. Il y a ceux qui penchent

plutôt vers l'idée d'une activité à risque. Deux éléments forts apparaissent : même si la plongée est une activité à risque, en respectant les consignes de sécurité et la réglementation, il n'y a pas d'accidents. Ensuite, même si la plongée est une activité à risque, elle l'est tout autant que d'autres activités, le risque zéro n'existe nulle part. On ressent chez ces plongeurs un moyen de se conforter dans l'idée que la plongée n'est pas une activité plus dangereuse qu'une autre. Puis, il a les plongeurs qui tendent à dire que la plongée ne serait pas une activité à risque. Le discours se rapproche du précédent, c'est-à-dire que la plongée n'est pas une activité dangereuse si l'on respecte les règles, elle le devient si l'on ne les respecte pas. A l'inverse, il n'y a pas de fatalisme, c'est l'individu qui contrôle la situation et doit gérer les contraintes environnementales.

II – Au-delà de la notion de risque : l'acceptabilité.

Dire que la plongée comporte des risques, comme toutes activités, ne signifie pas pour autant que celle-ci doit être considérée comme une activité à risque. Cependant, les risques n'ont pas tous la même intensité aux yeux des plongeurs. Cette notion d'acceptabilité pose de réels cas

de conscience qui mettent les plongeurs en difficulté pour répondre.

Il ressort une banalisation du risque qui induit de ce fait une acceptation « passive » du risque : *« On sait qu'il y aura toujours des accidents. Par exemple dans la décompression, il y aura toujours des accidents. Parce que les accidents sont faits pour quatre vingt dix huit pour cent de la population »* ; *« Je ne sais pas ce qui est acceptable pour moi. C'est les statistiques (...). A partir du moment où on décide quelque chose, il y a forcément un nombre de morts acceptables, et un nombre d'accidents acceptables. C'est pareil pour les autres fédérations, ce n'est pas spécifique à la plongée »* ; *« À partir du moment où on plonge il y a un risque, c'est tout »* ; *« C'est en prenant des risques, que l'on sait ce qui se passe ou pas (...) Pour évoluer, il faut tenter des choses pour en tirer les bénéfices ! »*.

Certains plongeurs sont plus précis quand aux risques qui sont banalisés : *« Pour moi ce qui est acceptable c'est de descendre d'un ou deux mètres de plus que tu n'as le droit parce que ça peut aller très vite »* ; *« Ça peut être une défaillance physique de la personne, humaine, ça, ça reste acceptable. On peut tous avoir une défaillance physique un moment donné, après ça dépend de la personne que vous*

avez à côté de vous, soit elle est capable de vous assister, soit elle n'est pas capable de vous assister » ; « Plonger sans couteau en mer, si on ne sait pas s'en servir de toutes façons, peut être acceptable... ».

Même si le risque est jugé acceptable, celui-ci est souvent jugé en fonction du niveau supposé du plongeur ou de ses membres de palanquée. Il apparaît aussi que l'acceptabilité est corrélée avec la notion de responsabilité, c'est-à-dire que chacun doit prendre ses responsabilités par rapport aux risques qu'il accepte de prendre : *« Partir sans deuxième arrivée d'air... Mais aux risques et périls du plongeur » ; « Plonger c'est un risque acceptable effectivement, mais dans les limites... Le fait qu'il y ait des prérogatives qui soient installées, ça permet de limiter ce risque, le fait de respecter les tables de plongée ou bien ce que t'indique ton ordinateur ! ».* Les facteurs de risques qui paraissent acceptable pour la majorité des plongeurs sont les contraintes environnementales (faune, flore, contraintes liées au milieu).

La vision du risque inacceptable est souvent liée à l'accident grave et au décès : *« Aucun risque n'est acceptable en plongée, parce que un accident de plongée c'est toujours grave » ; « Je pense qu'aucun*

risque n'est acceptable, il y a déjà eu trop de morts comme ça ».

Si l'accident est jugé inacceptable, les incidents peuvent par contre l'être : *« Ce qui serait acceptable en matière de risque, en plongée comme ailleurs, ce serait un risque qui concernerait que ceux qui les ont pris, qu'ils auraient sciemment choisis et qui n'engagerait pas de responsabilités ou qui n'aurait pas d'incidences sur d'autres personnes » ; « Une prise de risque acceptable ça serait un dépassement de la profondeur qui dépasserait pas 20% ou 10% si on dépasse l'espace lointain ».*

Un quart des plongeurs avoue avoir peur du risque. Celle-ci n'est pas forcément justifiée dans leur discours : *« Une peur ou une crainte dans ma pratique ? Oh ouais... (rire) à chaque fois que je plonge » ; « J'ai encore peur maintenant lorsque j'encadre » ; « Pendant la formation niveau 4, on te parle que des problèmes qui peuvent arriver et ça fait un peu peur et dès que tu as un peu mal à un endroit, tu te demandes si tu fait pas un accident, mais on relativise car sinon on ne plonge plus ».*

III – Les facteurs de risques explicités dans le discours

Une majorité des plongeurs font l'amalgame entre risques, facteurs de risque,

et accidents. A la question sur les facteurs de risque en plongée, le discours tend plutôt vers une énumération des accidents typiques : Barotraumatisme, accident de décompression, noyade, etc.

Nous retiendrons cependant neuf catégories de facteurs de risque :

- **Le milieu aquatique** : *« Surtout quand t'es dans un monde à 95% inconnu, il faut bien étudier la question quand tu arrives dans un monde complètement inconnu, c'est pour ça que juste en tant qu'observateur c'est déjà risqué quoi ».*
- **Le non respect des règles** : *« A Marseille, tout le monde grillent les feux rouges, personne ne respecte les feux rouges. Je veux dire, c'est pareil pour la profondeur en plongée ».*
- **Les déficits dans la formation** : *« Je suppose que certains niveaux III n'ont pas acquis suffisamment de bons comportements par rapport aux risques liés strictement à la formation sous marine. Mais si l'apprentissage est bon, c'est effectivement au niveau I et au niveau II que l'on trouve les gens les moins susceptibles de pouvoir cerner tout ce qui pourrait leur permettre de limiter considérablement les risques d'incidents ou d'accidents ».*
- **Prise de conscience du risque limitée voir inexistante** : *« Le principal risque c'est la surestime de soi ».*
- **Le niveau du plongeur inadapté au lieu de pratique, aux circonstances** : *« Le risque*

majeur c'est la méconnaissance des niveaux des gens ».

- **Le manque d'entraînement physique** : *« Quand on ne pratique pas une activité pendant une longue période ou trop peu, évidemment que ça comporte des risques ».* Les termes d'alcool, de tabac, de surcharge pondérale, d'asthme, de manque d'entraînement, etc. sont récurrents tout au long des entretiens.
- **Les facteurs psychologiques** : Les acteurs parlent d'une certaine fragilité psychologique face à des situations nouvelles ou perçues comme difficiles, surtout chez les novices.
- **Les facteurs renforçateurs** : Les termes récurrents sont la consommation d'alcool et la fatigue qui sont liées à un climat festif. Les longs voyages pour se rendre sur le lieu de plongée sont aussi synonymes de fatigue.
- **Les défaillances liées au matériel ou à sa mauvaise gestion** : *« Chaque mètre que je descends moi c'est surtout par rapport au matériel que je flippe, j'ai vraiment peur qu'il y ait un truc qui pète (...) J'ai plus peur du matériel que d'avoir un malaise... ».*

D'autres facteurs de risque sont mentionnés de façon parcimonieuse : l'expérience, les membres de la palanquée, l'encadrement, les pressions commerciales et pressions de groupe...

Tout ceci nous donne des tendances générales sur les représentations du risque et

de la sécurité qui ne demandent qu'à être approfondie par des études complémentaires. Car s'il est nécessaire de « casser » certaines représentations erronées ou inexacts sur les risques en plongée loisirs, l'analyse de ces 60 entretiens d'acteurs nous révèle aussi certaines vérités.

Notes :

1- Nous faisons ici référence aux sports qualifiés de « extrême » par le grand public et les médias mais dont le terme peut parfois paraître éloigné de la réalité. L'ouvrage de Le Scanff, C. (2000), Les aventuriers de l'extrême donne un aperçu de ces notions au travers d'exemples concrets.

2- « *L'ouvrage veut seulement inculquer au débutant les connaissances indispensables sans lesquelles la plongée peut devenir une opération suicide* » dans Molle, P. & Rey, P. (1981). Plongée subaquatique. Paris, Editions : Amphora. Introduction.

Les cours d'appel ou de cassation, lors de jugements signalent aussi souvent cette notion de milieu à risque et qualifient la plongée comme un loisir sportif dangereux : « *activité dont la dangerosité est manifeste* ». Cours d'appel d'Aix en Provence, 19/01/2004. Numéro JurisData 2004-239723.

3- Baudry, P. (1991). Le corps extrême. Approche sociologique des conduites à risque. Paris, Editions : L'Harmattan.

4- Delignières, D. (1991). Risque perçu et apprentissage moteur. In J.P. Famose, P. Fleurance & Y. Touchard (Eds.), *Apprentissage moteur : rôle des représentations* (pp. 157-171). Paris : Editions : EPS.

Sommaires de la Revue Française de Plongée, n°1 à 6

N°1 – Mars 2001

Influence de l'entraînement sur la cinétique de la lactatémie lors d'apnées courtes et dynamiques en piscine chez des plongeurs experts et débutants.

P. DELAPILLE, C. TOURNY CHOLLET. UFR STAPS - Rouen

Des cailloux et des bulles : L'archéologie Sous-Marine à l'université

D. DEGEZ. Paris I - Panthéon Sorbonne

Plongée et arthrogrypose

C. BRACHET. UFR STAPS - Bordeaux

Le palmage en plongée sous-marine

E. CHAUDURIE. UFR STAPS - Bordeaux

La notion de stress rencontrée chez le débutant en Plongée Sous-marine.

T. MARCUCCI. UFR STAPS - Bordeaux

N°2 – Janvier 2002

Influence du gilet de stabilisation sur l'efficacité du palmage du plongeur lors d'une formation de niveau 1.

S. LEBLOAS, P. DELAPILLE. UFRSTAPS Rouen.

Accidents de plongée chez les pêcheurs du centre Vietnam ; à propos de 539 plongeurs.

Docteur PHUNG Thi Thanh Tu. Institut Pasteur, Nha trang, Vietnam.

La presse spécialisée et les représentations sociales en plongée sous marine.

V. MASCRET, F WILLE. Université Lille 2.

L'autonomie en plongée, une définition difficile.

M. MOUTON. UFRSTAPS Bordeaux.

Limites physiologiques de la plongée sous-marine chez l'enfant.

F. LEMAÎTRE, P. DELAPILLE. Toulon, Rouen.

N°3 – Février 2003

Influence du réflexe de plongée sur la saturation artérielle en oxygène selon la vitesse de nage subaquatique et l'expertise des plongeurs.

J. DELAHOUCHE, F. LEMAITRE, P. DELAPILLE

La fréquence cardiaque en apnée peut elle être un facteur prédicteur de la syncope ?

F. LEMAITRE, F. BERNIER, I. PETIT, N. RENARD, B. GARDETTE

Effets de l'apnée statique ou dynamique sur l'estimation du temps.
T. JAMIN, F. JOULIA, P. FONTANARI, C. ULMER, J. CREMIEUX

Effets d'un entraînement spécifique à l'apnée sur les variables métaboliques et l'activité musculaire.
F. JOULIA, C. ULMER, T. JAMIN, P. FONTANARI, Y. JAMMES

Spleen function related to apneic diving in humans.
E. SCHAGATAY

Débits circulatoires en apnée - effets d'un entraînement spécifique.
P. FONTANARI, F. JOULIA, P. BARTHELEMY

Aptitudes et contre-indications cardio-vasculaires à la plongée en apnée.
P. AFRIAT.

Records d'apnée : entraînements et sécurité - Le grand débat.
C. CHAPUIS.

La plongée en apnée -Pathologie syncopale et prévention.
Dr SCIARLI.

La syncope hypoxique.
B. GARDETTE

N°4 –Février 2004

Etude comparative de la fréquence cardiaque chez des apnéistes femmes et hommes pratiquant le hockey subaquatique.
E. FLEURY, F. LEMAITRE, MC LEMOUTON, P. DELAPILLE.

Etude comparative de la fréquence cardiaque chez les ballerines en position verticale immergée.
V. JOURDREN, F. LEMAITRE, D. LEROY, P. DELAPILLE.

Toxicité des radicaux libres en plongée.
H. HOURDEAU.

Température corporelle et plongée loisir.
F. BERNIER, F. THIESSARD.

Réflexe de plongée et apnées dynamiques répétitives.
J. DELAHOUCHE, F. LEMAITRE.

Portraits de plongeur.
V. MASCRET.

Une géographie sociale de la plongée
R. KEERLE.

N°5 –Mars 2005

Effets de l'entraînement à l'apnée sur le métabolisme et la fonction musculaire.
F. JOULIA, F. LEMAITRE.

Evolution historique des tables de plongée.
B. GARDETTE.

Reflexions sur les nouveaux records de profondeur en apnée "No limits".
J.H. CORRIOL.

Modifications ventilatoires après une seule plongée avec scaphandre chez le jeune plongeur.
V. HAMIDOUCHE, F. LEMAITRE, MC LEMOUTON.

Et si Némou nous permettait de mieux comprendre ce qu'est le commensalisme des bactéries bucco-dentaires.
M. TERNOIS.

Physiopathologie des accidents de la plongée en apnée.
R. SCIARLI, B. GARDETTE.

N°6 –Octobre 2006

Modifications ventilatoires chez les plongeurs seniors amateurs : étude transversale.
F. LEMAITRE, J. JUGE, MC LEMOUTON.
V.

Approche géographique de l'activité de plongée sur l'île de la réunion.
O. NARIA

Réflexions sur l'évolution de la vitesse de remontée associées aux procédures de décompression de la plongée de loisir à l'air.
T. FALZONE

Une histoire du G.N.P.U, entre reconnaissance et autonomie.
V. MASCRET

RUBRIQUE QU'EN AVEZ-VOUS PENSE ?...

Cette rubrique vous est destinée. Utilisez celle-ci pour donner votre avis, votre opinion ou encore des informations supplémentaires et complémentaires sur les articles originaux ou les communications brèves parues dans les différents numéros de la Revue Française de Plongée.

N'oubliez pas que certains de ces travaux universitaires sont réalisés par nos étudiants dans le cadre de leurs formations (licence, maîtrise, etc.). Il n'est donc pas illogique que certaines imperfections puissent se glisser dans leurs contenus.

Nous attendons avec impatience vos remarques (judicieuses). Ensemble, nous pourrons construire de nouveaux projets de recherche afin d'améliorer la pratique de notre activité favorite.

THESES SOUTENUES ...

RECHERCHES en COURS ...

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive, et ne demande qu'à être complétée...

Nous avons remarqué pour vous :

Eric LEVET-LABRY. **L'évolution des diplômes de moniteur de plongée de 1957 à 2005 : entre théorie et pratique.** pp 197-217, In, (Sous la Dir. de D. Bernardeau-Moreau et C. Collinet), *Les éducateurs sportifs en France depuis 1945. Questions sur la professionnalisation.* Rennes, Editions : Presses Universitaires de Rennes, 2009, page 201.

Vianney MASCRET, **La presse spécialisée en plongée sous-marine : entre propagande et témoignage.** In, (Sous la Dir. de E. Combeau-Mari) *Sport et presse en France (XIX^e- XX^e siècle).* Bibliothèque universitaire francophone, Océans Indien, 2007, pp 391- 406.

Vianney MASCRET, **La professionnalisation de la plongée sous-marine de loisir, 1960-1990.** In, (Sous la Dir. de L. Munoz) *Les pratiques corporelles et l'eau dans l'histoire (XIX^e- XX^e siècle).* Paris, Editions : L'Harmattan, 2006, pp 249-260.

Gilles RAVENEAU, **L'avènement de la plongée sous-marine en France.** In, (Sous la Dir. de L. Munoz) *Les pratiques corporelles et l'eau dans l'histoire (XIX^e- XX^e siècle).* Paris, Editions : L'Harmattan, 2006, pp 219-232.

Pierre-Olaf SCHUT et Olivier BENIS, **Naissance de la plongée souterraine : les technologies de la plongée subaquatique au service des spéléologues.** In, (Sous la Dir. de L. Munoz) *Les pratiques corporelles et l'eau dans l'histoire (XIX^e- XX^e siècle).* Paris, Editions : L'Harmattan, 2006, pp 275-286.

Le colloque organisé à la Faculté des sciences du sport de l'Université de Poitiers par Pascal Lebihain le 27 mars 2010, en collaboration avec la FFESSM : « **Plongée et sécurité, premier colloque national Sport et sécurité** » ; Avec, entre autre :

- **Les Cindyniques (Sciences du danger) au service d'une meilleure gestion des risques et de la sécurité dans les Activités Physiques et Sportives.** M. Pascal

LEBIHAIN, Maître de conférences à l'Université de Poitiers, enseignant management du sport et chercheur en gestion des risques et de la sécurité dans les sports de nature, moniteur 2ème degré.

- **L'apport des Sciences du danger dans la gestion des risques et de la sécurité en plongée subaquatique de loisirs.** Résultats de recherche de M. Pierre LEBRUN, doctorant et ATER à la Faculté des sciences du Sport de Poitiers.
- **L'accidentologie en plongée loisirs : Etat des lieux.** Docteur Eric BERGMANN, médecin Hyperbare, instructeur régional et vice Président de la commission médicale nationale.
- **L'expertise judiciaire en plongée loisirs : un premier pas vers le Retour d'Expérience !** M. Philippe SCHNEIDER, expert auprès des tribunaux, Instructeur national, rédacteur dans la revue Subaqua.
- **Quel mode d'appréhension de la dimension sécurité dans l'enseignement fédéral ?** M. Yvon FAUVEL, Vice Président de la Commission Technique Nationale de la FFESSM.
- **Intérêt d'une démarche Qualité et de certification ISO 9002 pour une fédération à environnement spécifique.** M. Mathieu CHEVALIER et M. Alexandre LEZEAU, étudiants en Master 2 Management des Administrations et des Entreprises, tous les deux titulaires d' un Master 2 en Management du sport de l'Université de Poitiers.

Instructions aux auteurs

Le manuscrit soumis pour publication sera adressé au responsable de la publication du G.N.P.U. Il est demandé aux auteurs d'utiliser les instructions suivantes afin de faciliter la mise en page de la revue. Compte tenu du temps nécessaire pour la réalisation de la revue, aucun article ne sera publié si celui-ci n'est pas mis en forme dans une version Word et selon les instructions décrites ci-dessous.

Il est souhaitable que le nom de l'auteur soit accompagné de son adresse institutionnelle.

Manuscrit

- Titre 1 :

Police : Arial, 18 pt, gras, ombré, centré
Crénage : 14 pt
Retrait gauche : 1,5 cm
Espace avant 12 pt, après 3 pt
Bordure : simple ombrée, 1 pt épaisseur du trait

- Titre 2

Police : Time new roman, 12 pt, Grande majuscule, aligné à gauche
Espace après : 3 pt

- Corps de texte

Police : Time new roman, 12 pt, justifié, deux colonnes
Retrait : premier 0,5 cm
Interligne simple

- Notes de bas de pages

Police : time new roman, 10 pt, aligné à gauche

Référence

Elle doit figurer de la façon suivante : Les noms d'auteurs, le titre d'ouvrage ou d'article, le titre des revues (numéro compris) d'où ils sont tirés le cas échéant, la date de parution et le lieu d'édition.

Les références citées dans le texte doivent être systématiquement accompagnées d'une date et figurer dans la bibliographie.

La forme de présentation retenue est la suivante :

X. (initiale du prénom de l'auteur) NOM ; Titre de l'article ou de l'ouvrage ; *titre de la revue* ; n° ; ppX-X; ANNEE de parution.

Résumé

Par ailleurs, il est vivement souhaité que vos articles soient précédés d'un bref descriptif en français et en anglais.

La Revue Française de Plongée est une revue interne au Groupement National de Plongée Universitaire (GNPU).

Elle est accessible sur le site Internet du GNPU (<http://gnpu.free.fr>), environ 6 mois après sa diffusion aux membres du Groupement.

On peut néanmoins l'obtenir par souscription auprès du GNPU [gnpu@mailsc.univ-lille2.fr]

Particulier.....15 Euro.

Organisme.....50 Euro.

Directeur de la publication :

Vianney Mascret, Président du GNPU,

Salle des sports châtelet, rue F. Combemale, 59000 Lille.