



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Université Henri Poincaré, Nancy I

Faculté de Pharmacie

**AUDITION ET PLONGEE :
MOYENS DE COMMUNICATION DES PLONGEURS,
EFFETS AUDITIFS LIES A LA PRATIQUE DE LA PLONGEE**

Mémoire en vue de l'obtention du
Diplôme d'Etat d'Audioprothèse

REMERCIEMENTS

Remercier tout le monde et n'oublier personne est une tâche fastidieuse, tellement la liste est longue. Je préférerais donc ne pas prendre ce risque, mais je ne puis m'y soustraire, tant leur aide m'a été précieuse.

Ainsi, je voudrais remercier les enseignants de l'école d'audioprothèse de Nancy qui m'ont permis d'acquérir les bases nécessaires à mon futur métier.

Mon maître de stage M. X ROUSSET pour ses précieux conseils et sa disponibilité à mon égard.

Je tiens également à remercier les nombreux professionnels de la plongée sous marine pour m'avoir aiguillé et transmis une partie de leurs connaissances :

- M^{me} P Lescure : directrice du club de plongée où j'ai réalisé des audiométries sur des plongeurs loisirs
- Dr JM PONTIER : médecin à l'école de plongée militaire de Saint Mandrier.
- Dr A DEHON : médecin ORL spécialisé dans la plongée sous marine à Toulon.
- Second Maître COUTANSSIN : instructeur à l'école de plongée militaire de Saint Mandrier.

Ainsi que mes parents qui m'ont permis de suivre mes études d'audioprothésiste.

Visa du Maître de mémoire
Monsieur Xavier ROUSSET

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION | 1 |
| I. ETUDE DE LA PROPAGATION DES SONS, DE L'AUDITION ET DE LA COMMUNICATION DANS LE MILIEU AQUATIQUE..... | 2 |
| A. PROPAGATION DES SONS DANS LE MILIEU AQUATIQUE | 4 |
| 1. Propagation en milieu discontinu | 5 |
| 2. La propagation des sons dans l'eau..... | 7 |
| B. L'AUDITION EN PLONGEE ET L'AUDITION EN PRESSION | 12 |
| C. MOYENS DE COMMUNICATIONS UTILISES EN PLONGEE..... | 13 |
| 1. Principaux moyens de communication utilisés couramment en plongée | 13 |
| 2. Autres moyens de communication utilisés en plongée | 17 |
| II. ETUDE DE LA REPERCUSSION DE LA PLONGEE SUR L'AUDITION | 21 |
| A. NOTIONS DE PHYSIQUE APPLIQUEES A LA PLONGEE | 21 |
| 1. La pression | 21 |
| 2. Loi de Mariotte..... | 23 |
| 3. Composition de l'air | 24 |
| 4. Loi de Dalton | 24 |
| 5. La loi de Henry | 25 |
| B. PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE EN PLONGEE..... | 26 |
| 1. Physiologie de l'oreille externe..... | 27 |
| 2. Physiologie de l'oreille moyenne..... | 35 |
| 3. Physiologie de l'oreille interne..... | 43 |
| C. LES ACCIDENTS DE L'OREILLE EN PLONGEE..... | 44 |
| 1. Les accidents barotraumatiques de l'oreille | |
| 2. Les accidents de décompression | 52 |
| D. EFFETS DE LA PLONGEE SOUS MARINE SUR L'AUDITION..... | 56 |
| 1. Différence d'audition observée avant et après une seule plongée de façon expérimentale | 58 |
| 2. Les effets au long cours de la plongée sur l'audition | 63 |
| III. PREVENTION – SECURITE – ASPECT MEDICO LEGAL – REGLEMENTATION..... | 65 |
| A. EXAMEN DE NON CONTRE-INDICATION A LA PLONGÉE | 66 |
| B. CONTRE-INDICATIONS A LA PLONGÉE EN SCAPHANDRE AUTONOME DE LA F.F.E.S.S.M. | 68 |
| C. LA CONSULTATION O.R.L. de NON-CONTRE-INDICATION | 70 |
| 1. Les contre indications ORL..... | 70 |
| 2. La consultation médicale..... | 70 |
| 3. Le cas particulier de l'enfant | 71 |
| 4. Les moyens d'explorations paracliniques..... | 71 |
| D. REGLES DE SECURITES A RESPECTER EN PLONGEE | 77 |
| 1. Manœuvres d'équilibration | 77 |
| 2. Le palier de principe d'une plongée sans incident..... | 84 |
| E. CONDUITE A TENIR POUR EVITER LES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION | 86 |
| F. REGLEMENTATION..... | 88 |
| CONCLUSION | 89 |
| BIBLIOGRAPHIE | 90 |
| ANNEXES | 93 |

INTRODUCTION

Plongeuse depuis 5 années maintenant, je m'intéresse beaucoup à la physiologie de la plongée sur le corps humain.

Ayant passé ma licence d'Optique Professionnelle en 2007, j'ai soutenu un mémoire sur la vision en plongée.

Cette passion toujours aussi forte pour la plongée m'a donné envie d'approfondir mes connaissances concernant l'audition en plongée. D'autant plus, que beaucoup de plongeurs autour de moi se plaignent de mal entendre à cause de ce sport.

Ainsi, j'ai souhaité me pencher sur cette question à savoir si la plongée sous marine rendait sourd ou non.

Pour cela, j'ai décidé avec l'accord de mes professeurs de réaliser ce mémoire s'intitulant : « AUDITION ET PLONGEE : MOYENS DE COMMUNICATION DES PLONGEURS, EFFETS AUDITIFS LIES A LA PRATIQUE DE LA PLONGEE ».

Par conséquent, j'ai réalisé mon dernier stage de fin d'études à la Mutuelle d'Aviation Marine de Toulon afin de pouvoir rencontrer facilement des plongeurs et des professionnels dans ce domaine.

L'objectif de mon mémoire est d'étudier :

- ✓ l'audition en pression et en plongée,
- ✓ les différents moyens de communication utilisés en plongée,
- ✓ la physiologie de l'oreille et ses différentes pathologies rencontrées en ambiance hyperbare,
- ✓ les répercussions à court et long terme de la plongée sur l'audition,
- ✓ les règles de sécurité et de prévention primordiales dans cette activité.

I. ETUDE DE LA PROPAGATION DES SONS, DE L'AUDITION ET DE LA COMMUNICATION DANS LE MILIEU AQUATIQUE

L'onde sonore est le résultat de la vibration du milieu qui nous entoure. C'est une onde de pression. Le vide ne transmet pas le son. Plus l'élément est dense mieux il transmet le son. C'est le cas de l'eau par rapport à l'air.

✓ Quelques vitesses de propagation du son :

- dans l'air : ~ 330 m/s à 0° - 340 m/s à 20°
- dans l'eau : ~ 1500 m/s

Le signal de parole a besoin, comme tous les sons (toutes les ondes sonores), d'un support pour se propager. Cette propagation dépend essentiellement des caractéristiques acoustiques de la source sonore ainsi que de l'élasticité du milieu. Les supports parcourus par l'onde sonore sont rarement uniformes, et c'est cette rencontre de milieux différents qui va le plus souvent affecter le signal de parole tout au long de son parcours.

✓ La voix humaine est assimilée à une source sonore :

- Omnidirectionnelle dans les fréquences graves et qui contient beaucoup d'énergie
- De plus en plus directive en montant dans les fréquences aiguës. Dans ces hautes fréquences, il y a peu d'énergie mais l'articulation se situe dans ces fréquences.

Par ailleurs les sons aigus sont absorbés plus vite que les sons graves. Ils portent donc moins loin. Dans l'air, l'onde sonore est captée par l'oreille qui la transmet au cerveau. Dans l'eau, en plus de l'oreille, la boîte crânienne capte également les vibrations de l'onde sonore.

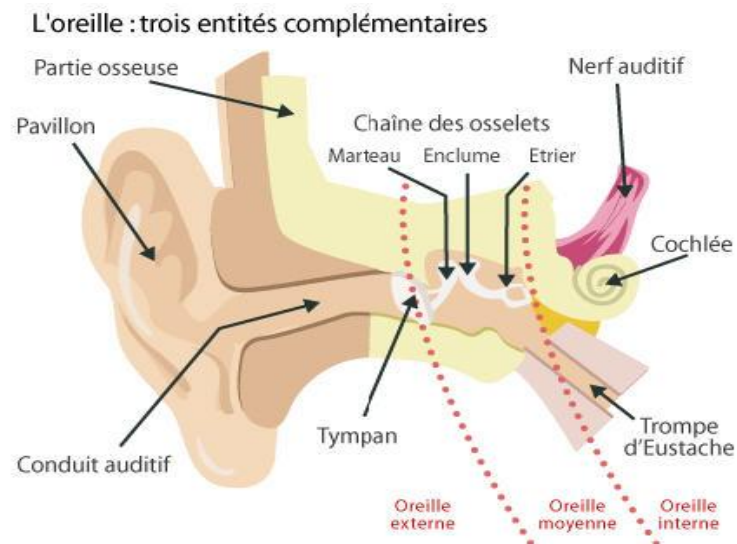


Figure I-1 Schéma fonctionnel de l'oreille [13]

- Les sons aigus proviennent d'objets proches (exemple : moteur de hors bord), les sons graves d'objets lointains (exemple : moteur de pétrolier).
- Il n'y a pas de stéréophonie.
- L'onde sonore étant une onde de pression, il y a risque de lésions internes des organes creux en cas d'explosion forte sous l'eau.

On entend très bien sous l'eau, mais il n'est pas aisé de connaître la provenance d'un bruit et de savoir à quelle distance il se trouve

✓ Application à la plongée :

On entend très bien le bruit des bateaux, mais il est très difficile de les localiser, donc attention à bien réaliser un 360° avant de franchir la surface lors de la remontée.

A. PROPAGATION DES SONS DANS LE MILIEU AQUATIQUE [4]

Les ondes sonores sont des variations de la pression du milieu dans lequel on se trouve. Pour être perçues, elles doivent varier entre 20 et 15 000 fois par seconde (fréquence de 20 à 15000 hertz) et avoir une intensité minimale.

Les ondes lumineuses (électromagnétiques) sont des variations de champs électriques et magnétiques, ce sont des phénomènes vibratoires. Les vagues sont également des ondes. Les lois de la propagation de ces trois types d'ondes (réflexion, réfraction, diffusion, diffraction), sont les mêmes. Toutefois, en raison de leur nature fort différente, la similitude n'apparaît pas de façon évidente. C'est ainsi que certains mouvements de vagues près d'un cap (diffraction) sont, à une autre échelle, les mêmes que ceux des ondes sonores entendues derrière une porte entrebâillée. La courbure dans la propagation des ondes lumineuses qui donne lieu au mirage terrestre existe aussi pour les sons dans l'air et dans l'eau.

Le son est une variation de pression donc une force qui met en mouvement le tympan. Celui-ci déplace les osselets qui, par l'intermédiaire de la fenêtre ovale, mettent en mouvement le liquide de l'oreille interne, puis la membrane basilaire (cf. figure I-2). C'est elle qui transforme ces mouvements en impulsions électriques qui sont transmises au cerveau par le nerf auditif. Si les osselets n'existaient pas, le son émis dans l'air ne pourrait pas pénétrer le liquide de l'oreille interne. Les osselets, en réduisant l'amplitude des déplacements du tympan augmentent la force qu'ils exercent sur la fenêtre ovale permettant le mouvement du liquide de l'oreille interne.

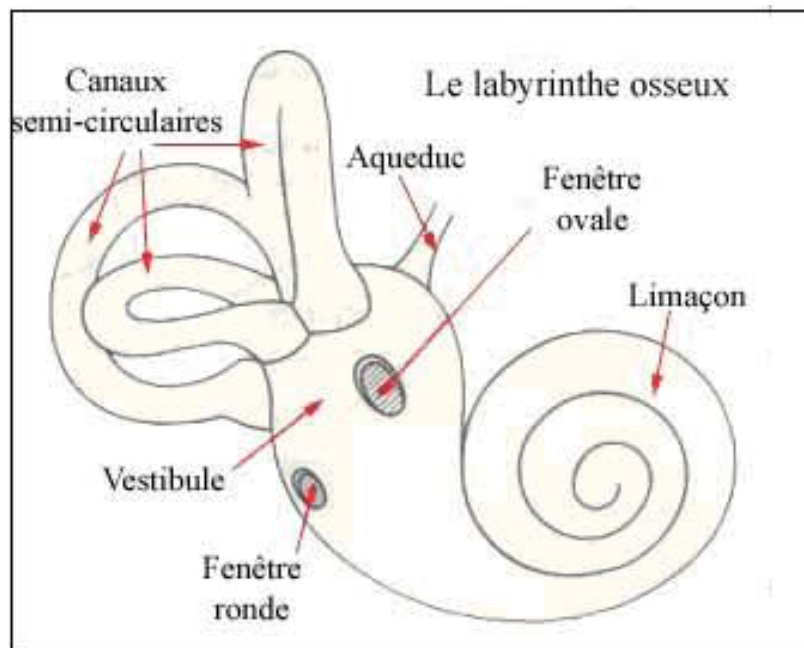


Figure I-2 Schéma de l'oreille interne [13]

1. Propagation en milieu discontinu

Comme la lumière, les sons émis dans l'air se réfléchissent et se réfractent à la surface de l'eau (cf Loi de Descartes).

a) Transmission et réflexion [7]

L'eau et l'air n'ayant pas la même impédance, ils sont donc deux milieux différents en acoustique. A la surface de séparation de deux milieux d'impédance différente, se produit une répartition d'énergie. C'est-à-dire, qu'une partie de l'énergie incidente est transmise, l'autre réfléchi. Les impédances respectives des deux milieux (air et eau de mer), déterminent le passage de l'énergie d'un milieu à l'autre.

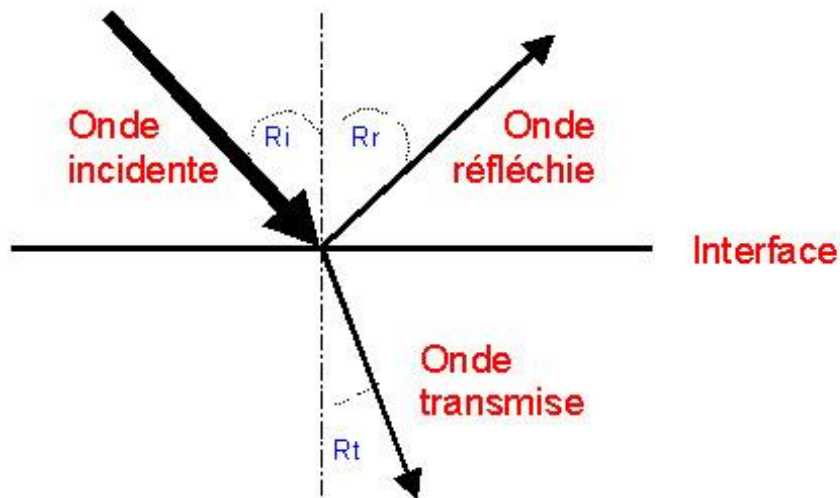


Figure I-3 Onde incidente réfléchi et transmise [11]

REMARQUE :

Le facteur de transmission t , rapport de l'énergie transmise, à l'énergie incidente, est d'autant plus élevé que les impédances des deux milieux sont proches.

A l'inverse, le facteur de réflexion r défini comme le rapport à l'énergie réfléchi, est d'autant plus faible que les impédances des milieux sont proches.

En plongée, la part du son de l'air qui pénètre dans l'eau est très faible du fait que l'impédance de ces deux milieux est très différente, par contre, un son émis dans l'eau se propage très bien.

✓ Applications : [6]

Les sons émis sur le bord de la piscine sont perçus faiblement dans l'eau. Si l'on frappe une échelle métallique hors de l'eau, toute l'échelle vibre y compris la partie qui se trouve dans l'eau, ces vibrations sont alors transmises au liquide et s'y propagent. Le son est très bien entendu sous l'eau.

De même, deux objets métalliques frappés sous l'eau sont entendus et peuvent servir à attirer l'attention (en plongée, signal de détresse).

b) Diffraction [4]

Lorsqu'un faisceau d'ondes est partiellement interrompu par un milieu opaque, une partie de l'énergie portée par le faisceau se retrouve dans l'ombre géométrique de l'obstacle ; la diffraction est donc en contradiction avec la propagation rectiligne des rayons.

La déviation que subissent les rayons sonores trouve une explication dans le principe de HUYGHENS selon lequel chaque point du front d'onde peut-être considéré comme la source d'une nouvelle onde sphérique (ondelette) en phase avec l'onde incidente ; l'intensité des ondelettes est maximale dans la direction de propagation et décroît graduellement dans la direction opposée, ce qui explique que l'onde « ne revienne pas en arrière ». Les interférences multiples entre les sources secondaires du front d'onde génèrent un champ acoustique hétérogène. Le faisceau sonore est alors limité par un obstacle, la propagation rectiligne des ondes est perturbée principalement dans les basses fréquences ; l'ensemble du champ acoustique situé après l'obstacle présente des variations dues aux interférences. Lorsque le son est complexe, l'homogénéité du champ diffracté est plus ou moins conservée à cause de la superposition des figures d'interférences formées par chacun des composants fréquentielles du son.

La diffraction joue un rôle important en acoustique.

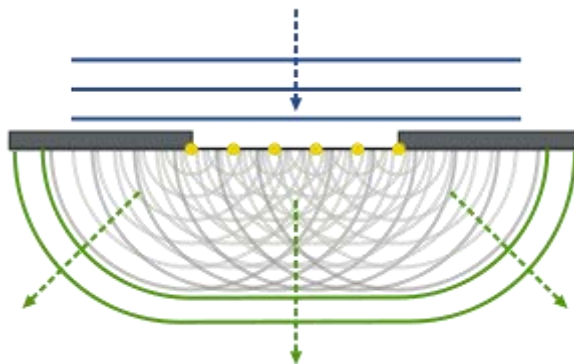


Figure I-4 Diffraction d'une onde acoustique [11]

2. La propagation des sons dans l'eau

Les sons se propagent très bien dans l'eau.

La vitesse, qui dépend de la température, est d'environ 1 500 m/sec à 0 degré Celsius dans l'eau et 340 m/sec à 20 degrés Celsius dans l'air.

✓ Applications :

Un bateau peut être entendu de très loin dans l'eau ; pour les moteurs hors-bords c'est principalement le bruit de l'hélice. Pour les moteurs in-bord s'ajoute le bruit du moteur qui se transmet à l'eau par la coque immergée...

Des vibrations, en général importantes, sont créées par les moteurs à pistons. Les navires militaires qui doivent être discrets, sont équipés de turbines à gaz ou à vapeur ou de moteurs électriques.

a) La localisation auditive

Il n'est pas possible, dans l'eau, de déterminer de quelle direction vient un son car :

- Les 2 oreilles ne sont pas à la même distance de la source.
- Le cerveau analyse le déphasage entre les 2 oreilles dans le milieu aérien puis détermine la direction de la source.
- Si la vitesse du son augmente, le déphasage diminue et devient imperceptible pour le cerveau, il en résulte une perte de la stéréophonie.

- Vitesse du son dans l'air : 330 m/s
- Vitesse du son dans l'eau : 1500 m/s

➤ Il n'y a pas de stéréophonie dans l'eau :

- La transmission osseuse aux 2 oreilles internes se fait par la boîte crânienne.
- Le cerveau humain est adapté à une audition stéréophonique aérienne, mais pas à l'audition stéréophonique subaquatique car la différence inter auriculaire de temps d'apparition des ondes dans une oreille par rapport à l'autre est trop faible pour discriminer d'où vient le son perçu du fait de la célérité importante du son dans l'eau.

REMARQUE : [6]

Quand un bateau s'approche rapidement, on entend l'intensité du son qui augmente sans être capable de le localiser. Si on ne voit pas un plongeur frapper un objet métallique, on ne sait pas d'où le bruit vient. Il est donc nécessaire de faire preuve de prudence à la remontée, de faire surface lentement, de s'assurer que la surface est libre dans toutes les directions, et de sortir d'abord le bras tendu hors de l'eau.



Figure I-5 Plongeur qui indique qu'il remonte à la surface [6]

b) La parole dans l'eau

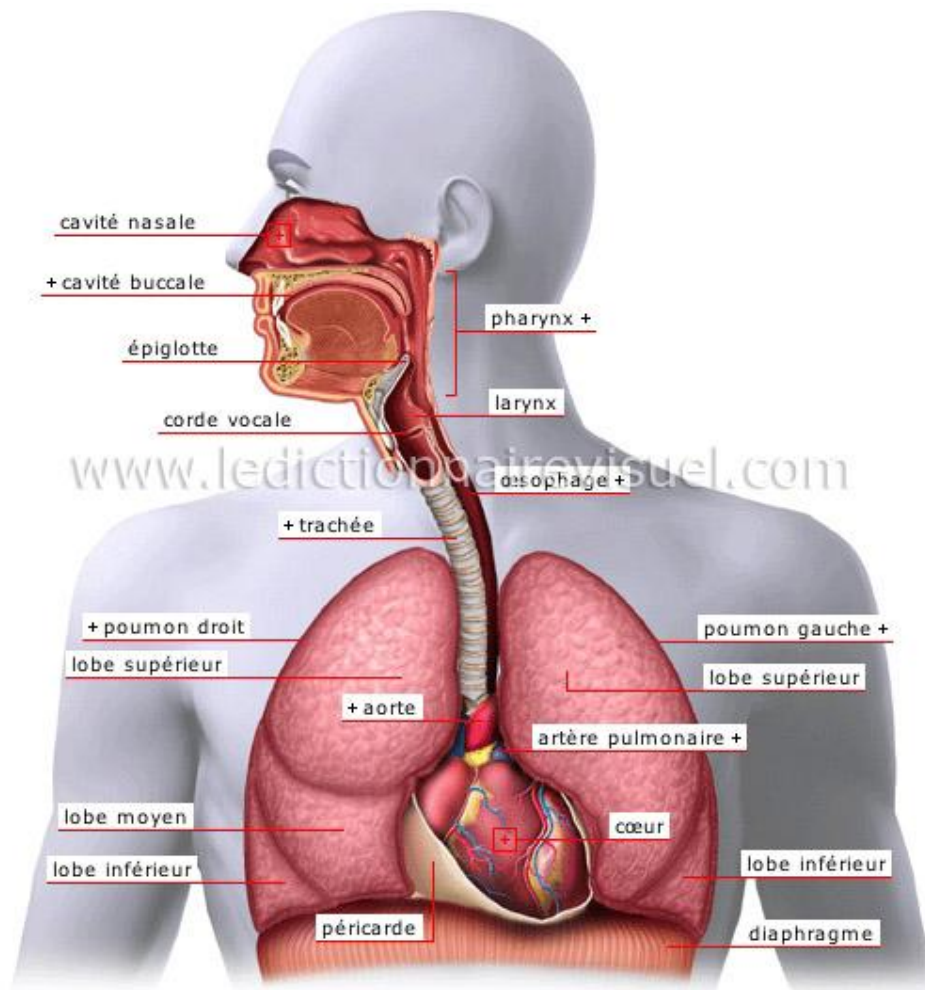


Figure I-6 L'appareil phonatoire humain [12]

La phonation, est un processus moteur qui assure la production de la voix et sous-tend ainsi l'expression motrice qui permet l'expression du langage parlé. Au plan strictement physique, la phonation correspond à l'ensemble des mécanismes qui permettent l'apparition et l'ajustement d'une vibration au niveau du bord libre des cordes vocales.

[cours de phonétique de deuxième année : Madame Bonneau année 2009]

Un tel système est constitué chez l'homme de trois parties : [5]

- Un producteur d'énergie : l'appareil respiratoire
- Un vibreur : les cordes vocales
- Un résonateur-articulateur : les cavités aériennes supralaryngées

Le résultat de la phonation dépendra entre autre de la densité du flux d'air.

Parler dans l'eau n'est possible qu'avec un masque facial, qui permet d'articuler des sons ou un laryngophone. Ce matériel est peu répandu parmi les plongeurs non professionnels.

On peut se rendre compte de l'effet produit par une variation de la densité de l'air sur la hauteur et le timbre de la parole en plongeant en caisson, à 3 bars (équivalent à 20 mètres de profondeur), la conversation entre plongeurs est très déformée (le son devient nasillard). On peut également respirer un mélange dans lequel l'azote a été remplacé par de l'hélium moins dense que l'azote, la parole est ensuite déformée jusqu'à ce que la respiration ait remplacé l'hélium par de l'azote (effet "Donald Duck"). [9]

C'est ce phénomène, que nous observons lors de plongées très profondes (jusqu'à 100 mètres de profondeur) où l'azote est remplacé par de l'hélium pour éviter les narcoses, on observe avec ce gaz une modification de la voix ainsi que de l'élocution..

c) Les explosions [9]

La pêche à la dynamite peut être aussi dangereuse pour les plongeurs que pour les poissons.

Une explosion crée une variation de pression qui se déplace (onde de choc). Cette variation est importante et d'une vitesse telle que l'équilibre des pressions dans l'organisme n'a pas le temps de se réaliser. Le corps subit des variations de pression équivalentes à plusieurs dizaines de mètres de profondeur en une fraction de seconde. Dans ce cas, les tympanes et les poumons pourraient être détruits (Loi de Boyle et Mariotte cf page 26)...

d) L'écho sondeur

Un son de fréquence trop grande pour être entendu (ultrason) est émis dans l'eau (la haute fréquence permet une meilleure directivité). Quand il rencontre un obstacle (fond, banc de poisson, épave), il se réfléchit et revient vers l'émetteur. Connaissant la vitesse de propagation dans l'eau et mesurant le temps entre l'émission et la réception du signal, on peut en déduire la distance à laquelle se trouve l'obstacle.

e) Moyens de repérage [6]

Les bateaux peuvent présenter un danger pour le plongeur qui refait surface. On peut repérer les gros d'assez loin, sans toutefois pouvoir déterminer précisément leur direction, mais les petits bateaux rapides (du genre hors-bord) ne s'entendent que de près. Quant aux bruits des animaux, il est rare qu'on les perçoive...

f) Conclusion

Les sons se propagent très bien dans l'eau. Leur passage de l'air à l'eau est difficile. La localisation auditive dans l'eau n'est pas possible.

On entend très bien le bruit des bateaux, mais il est très difficile de les localiser du fait de l'absence de stéréophonie, donc attention à la remontée à bien réaliser un 360° avant de crever la surface.

L'acoustique est encore une partie de la physique dont la connaissance contribue à la sécurité du plongeur.

B. L'AUDITION EN PLONGEE ET L'AUDITION EN PRESSION [1]

Il faut tout d'abord distinguer l'audition en plongée et l'audition en pression. Celle-ci a été étudiée en caisson, dans des conditions expérimentales fortes délicates, et l'on a constaté une élévation des seuils en conduction aérienne principalement pour les fortes pressions. Selon APPAIX, DEMARD, FARMER et THOMAS, elle serait due à une augmentation de l'impédance générale du système auditif engendrée par une plus forte viscosité du mélange respiratoire. La conduction osseuse qui explore l'oreille interne reste stable quelque soit la pression selon les expérimentations de FLUUR.

Dans « ce monde du silence » qui en fait ne l'est guère, la cochlée est souvent victime de la nocivité du bruit en plongée. Le monde de la plongée est occupé par le bruit des bateaux qui sillonnent, et également et surtout pour certains plongeurs professionnels par le bruit des travaux sous marins : marteaux-piqueurs, chalumeaux pour soudure ou découpage de tôle, brossage de coques...

De même, les plongeurs en caisson ou en tourelle ne sont pas non plus épargnés du bruit. En effet les fréquentes purges de gaz et chasse d'air élèvent le niveau sonore dans ces milieux à 120 dBA. Selon les études menées par MOLVAER, l'hypoacousie précoce des plongeurs professionnels serait due au bruit de fond, fréquemment intense.

Quelques cas indiscutables de traumatismes sonores aigus en caisson ou en surface ont été observés, lorsque la tête d'un plongeur était par mégarde près d'une vanne de purge inopinément mise en service.



Figure I-7 Plongeur effectuant des travaux de soudure en milieu hyperbare [14]

C. MOYENS DE COMMUNICATIONS UTILISES EN PLONGEE

1. Principaux moyens de communication utilisés couramment en plongée [6]

La parole n'est pas un moyen de communication utilisable facilement sous l'eau : le son s'y transmet mal et il est bien difficile de s'exprimer avec un embout dans la bouche...

C'est toute l'utilité des signes conventionnels ou de l'utilisation de l'ardoise.



Figure I-8 Ardoise de plongée [21]

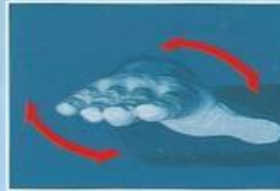
Principaux signes de plongée



« Est-ce que ça va ? »
« Ok, tout va bien » *



« Ok, surface »



« Ça ne va pas » *



« Détresse en surface » *



« Je suis à mi-pression » *



« Je suis sur réserve » *
(début de zone rouge)



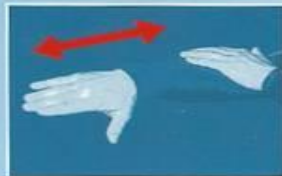
« J'ai du mal à passer ma réserve » *
(réserve mécanique)



« Je n'ai plus d'air » *



« Montre-moi ton manomètre »



« J'ai froid »



« Je suis essoufflé(e) »



« Souffle à fond, expire »



« Maintiens-toi à cette profondeur »



« On monte » *



« On descend » *



« Fin d'exercice »
ou « fin de plongée »



« Ok de nuit »
(loin de l'interlocuteur)
(grands cercles lents avec la lampe)



« Ok de nuit »
(proche de l'interlocuteur)



« Détresse en surface de nuit »

* Signes normalisés par la CMAS (Congrès de Barcelone 1960 et Singapour 1999).

Figure I-9 Principaux signes de plongée [6]



Copyright Paradise Subaqua

Figure I-10 Principaux signes utilisés en plongée [21]

Pour attirer l'attention d'un camarade sous l'eau, on peut utiliser :

- ✓ Des chocs sur la bouteille (avec le couteau par exemple)
- ✓ Des chocs sur l'échelle d'un bateau et en surface
- ✓ Le sifflet attaché à la "stab"



Figure I-11 Sifflet attaché à la « stab » [21]

- ✓ Des "pétards de rappel"



Figure I-12 Pétards de rappel [21]

2. Autres moyens de communication utilisés en plongée [14]

Transmission des sons par les dents pour écouter par conduction osseuse :

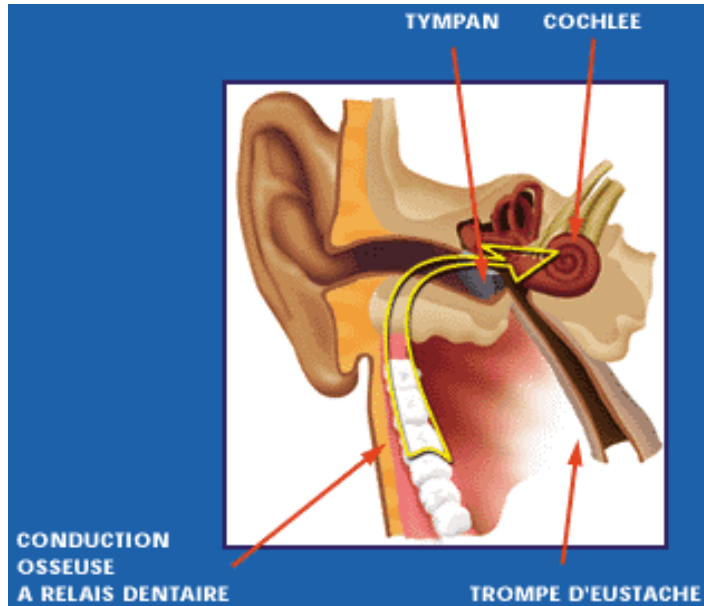


Figure I-13 Principe de la conduction osseuse [14]

a) Le tuba aqua FM par conduction osseuse

Le tuba Aqua FM utilise la conduction osseuse pour écouter un enregistrement lors d'une randonnée aquatique ou la radio pendant que l'on nage... Le son est transmis à l'oreille interne via les dents par transmission osseuse.

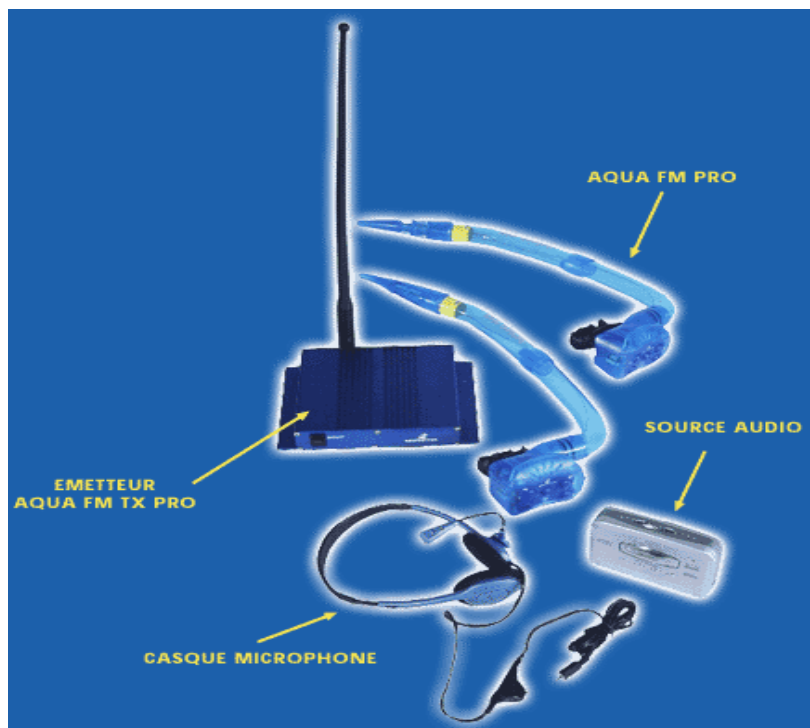


Figure I-14 Tuba aqua FM [14]

b) Les embouts AMPHICOM par conduction osseuse

Les produits AMPHICOM utilisent un embout buccal spécifique qui permet la transmission des sons par conduction osseuse.

L'embout actif AMPHICOM contient des capteurs électroniques qui transmettent directement les sons par les dents, sans passer par les voies aériennes de l'oreille. Ainsi, la qualité d'écoute obtenue est très bonne.

La forme ergonomique de l'embout (surmoulé en silicone) garantit un excellent confort en bouche limite la fatigue des muscles maxillaires.



Figure I-15 Embout AMPHICOM [14]

c) Masques Faciaux

Ces masques permettent la communication orale et de respirer par le nez, ainsi l'air est mieux humidifié donc le plongeur est moins déshydraté.

De même, les mâchoires ne sont plus soumises à la contraction permanente due à la tenue du deuxième étage par l'embout.

Le confort est augmenté (les plongeurs bénéficient d'un angle de vision plus large) et la prise d'eau est pratiquement impossible. Un point de plus pour la sécurité sans compter que tous ces avantages pourraient être mis aux profits des futurs baptisés un peu inquiets.

Microphone du masque facial



Figure I-16 Masque facial [14]

Le masque facial permet de plonger en eaux glaciales sans que le froid agresse le visage. Etrangement, certaines personnes veulent bien investir dans un vêtement sec mais négligent le visage qui est pourtant un gros facteur de déperdition calorifique.

De plus, l'eau sur le visage favorise la diurèse (ce qui est très gênant en combinaison étanche).

Le grand avantage du masque facial est la possibilité de lui adjoindre très souvent un système de communication sous-marine GSM. Un micro est placé dans le masque et une oreillette est fixée sur la sangle.

Le système fonctionne par ondes et il faut prendre l'habitude de passer outre le bruit des bulles au moment de l'émission. La transmission avec le poste de surface est plutôt moyenne : une antenne filaire de vingt mètres reliée au poste est mise à l'eau.

Si les ondes ne rencontrent pas d'obstacle, deux plongeurs peuvent communiquer avec la surface et entre eux sur une distance de trois cents mètres environ (1000 mètres pour la version militaire).

Pour effectuer la manœuvre de Valsalva (manœuvre d'équilibration), des "bourres-pif" logés dans le masque devront être réglés à la morphologie du nez du plongeur. Lors de la descente, il suffira juste d'appuyer sur ces éléments bien nommés afin de boucher les narines et d'effectuer la manoeuvre de Valsalva.

Valise de commande pour la communication de 2 plongeurs entre eux et avec les personnes en surface.

Antenne filaire

Masque facial comprenant un microphone et un écouteur



Figure I-17 Masque facial complet [14]

REMARQUES :

- *Le masque facial a souvent un espace mort important, le gaz respiré passe par cet espace mort et le plongeur dans l'effort sera indéniablement plus sensible à l'essoufflement.*
- *Ne négligeons pas non plus les risques de noyades fortement diminués en cas de perte de connaissance, car le plongeur respirera normalement et ne sera pas victime de la perte de son détendeur.*
- *Pour la sécurité, il ne faut pas oublier d'emporter lors de votre plongée un masque de secours et d'avoir toujours à votre portée un octopus (c'est un détendeur de secours).*

d) Téléphonie sous marine : système de liaison GSM / plongeur

AMPHICOM a développé, en partenariat avec France Télécom et Certicom International, le premier système de liaison GSM / plongeur utilisé par les professionnels du travail sous-marin.

Cet équipement permet une communication bidirectionnelle entre le plongeur en évolution sous l'eau et une personne en surface se trouvant sur un bateau ou une plate-forme ou à des milliers de kilomètres équipé d'un simple mobile GSM.

Sous la couverture d'un réseau GSM, un utilisateur se trouvant à la surface, établit une communication sans fil avec la bouée interface GSM : plongeur ancré sur la zone d'évolution des plongeurs.

Cette bouée interface assure une liaison bidirectionnelle avec une « station sous marine ».

Cette dernière est constituée d'un boîtier électronique relié à l'embout actif de communication AMPHICOM monté sur un ensemble bouteille-détendeur.

Dans le cas d'appel entrant, la « station sous-marine » actionne un flash lumineux et une sonnerie qui attire l'attention du plongeur. Celui-ci, après avoir échangé son embout par l'embout actif AMPHICOM actionne un bouton poussoir d'une télécommande pour prendre la ligne. La conversation peut alors commencer.

Pour effectuer un appel sortant, le plongeur compose tout simplement le numéro de téléphone de son correspondant à l'aide d'un numéroteur sous-marin.



Figure I-18 Téléphonie Sous Marine [14]

II. ETUDE DE LA REPERCUSSION DE LA PLONGEE SUR L'AUDITION

A. NOTIONS DE PHYSIQUE APPLIQUEES A LA PLONGEE [6]

1. La pression [6]

La pression est un élément primordial à comprendre pour pouvoir raisonner en environnement de plongée.

La pression subie par un corps correspond à la **force** qui s'exerce sur ce corps, **divisée par la surface** sur laquelle s'exerce cette pression. Soit $P=F/S$. La Pression est exprimée en **bars**, la force en **kilogrammes** et la surface en **centimètres carrés**. Ainsi une pression de 1 bar correspond à une force de un kilogramme qui s'exerce sur une surface de un centimètre carré.

a) Pression Relative (P.R.)

La pression atmosphérique correspond à la colonne d'air située au dessus de nous. Sa valeur est de **760 mmHg** au niveau de la mer. Cela donne **1,013 bar** ou 1013 hectopascals ou 10,330 m d'eau pure. En **altitude** la colonne d'air est moins importante et la pression est donc **inférieure**.

| | |
|--------|--------|
| 0 m | 0 bar |
| - 10 m | 1 bar |
| - 20 m | 2 bars |
| - 30 m | 3 bars |

$$P.R. = \frac{\text{Profondeur (m)}}{10}$$

b) Pression Absolue (P.A.)

La pression sous-marine est fonction de la **profondeur** du plongeur. La colonne d'eau située au dessus du plongeur correspond à un bar de pression pour 10 mètres d'eau, pression à laquelle il faut ajouter la pression atmosphérique située au dessus. Le plongeur à **10 mètres** sera donc soumis à une pression totale de **2 bars**. (4 bars à 30 mètres, 5 bars à 40 mètres...).

| | |
|--------|--------|
| 0 m | 1 bar |
| - 10 m | 2 bars |
| - 20 m | 3 bars |
| - 30 m | 4 bars |

$$P.A. = P.R + 1$$

c) Variation de Pression

| | | |
|---------------|--------|--------------|
| 0 m | 1 bar | |
| - 10 m | 2 bars | 100 % |
| - 20 m | 3 bars | 50 % |
| - 30 m | 4 bars | 33 % |
| - 40 m | 5 bars | 25 % |
| - 50 m | 6 bars | 20 % |
| - 60 m | 7 bars | 17 % |

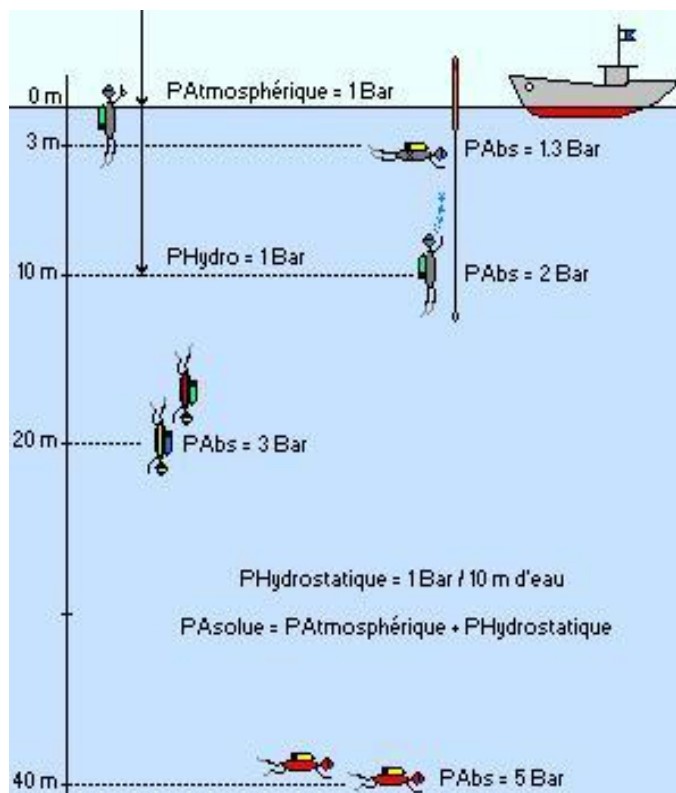


Figure II-1 Pressions en milieu hyperbare [6]

2. Loi de Mariotte [6]

La loi de Mariotte (physicien français) précise que le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit. **$P.V=\text{constante}$** Donc plus la pression augmente (le plongeur descend dans les profondeurs) et plus les gaz contenus à l'intérieur de son corps se contractent. S'il prend à la surface un ballon contenant **10 litres d'air**, il s'aperçoit que le ballon diminue de volume en descendant et ne contient plus que 5 litres à 10 mètres puis 3,3 litres à 20 mètres et 2,5 litres à 30 mètres. La loi de Mariotte a été vérifiée puisque $1*10=2*5=3,3*3=2,5*4=10$

On se rend compte qu'**entre la surface et 10 mètres** le volume du ballon a diminué de moitié. C'est entre 0 et 10 mètres que les **variations de pression** sont les plus importantes et les plus **dangereuses** pour l'organisme.

Les phénomènes décrits en descente du plongeur sont inversés à la **remontée** et on assiste à une dilatation des cavités gazeuses parfois douloureuse (sinus, dents...).

$$P_1 \times V_1 = \text{Constante} = P_2 \times V_2$$

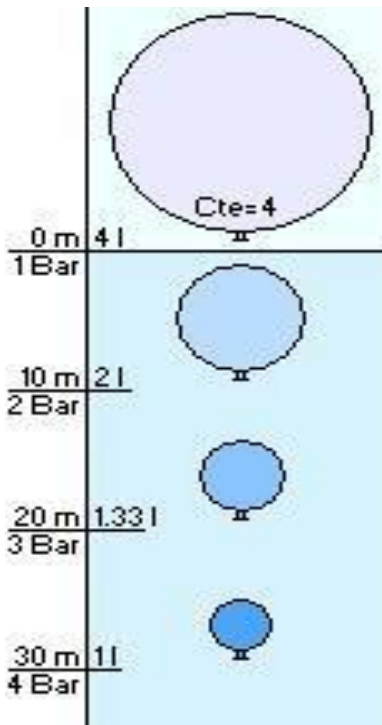


Figure II-2 Illustration de la loi de Mariotte [6]

On notera que **la plus forte variation de pression se situe, entre 0 et -10 m**, donc bien souffler à la remontée pour éviter la surpression pulmonaire.

3. Composition de l'air [6]

| | | |
|--------------------------------------|-----------------|--------|
| Azote | N ₂ | 79 % |
| Oxygène | O ₂ | 20,9 % |
| Gaz carbonique | CO ₂ | 0,03 % |
| Gaz Rares (Néon, Argon, Krypton,...) | - | 0,07 % |

79 % de N₂ & 21 % de O₂

4. Loi de Dalton [6]

La loi de Dalton décrit les **pressions partielles (p.p)** des gaz :

"A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total". Ainsi un plongeur à **30 mètres** de profondeur respire de l'air à **4 bars**. La pression partielle de l'oxygène (21% du total de l'air) sera donc de 21% multiplié par 4. Soit 0,84 bars. La pression partielle de l'azote sera de 79% multiplié par 4. Soit 3,16 bars. On vérifie que 0,84+3,16=4bars.

P_p : Pression partielle

P_{Ab.} : Pression absolue

C : Concentration du gaz (si 20%, C = 0,2)

$$P_p = P_{Ab} \times C$$

✓ Application à la plongée :

Utilisation des tables de plongée pour éviter les accidents toxiques...

5. La loi de Henry [6]

"A température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au dessus de ce liquide".

La pression que va rencontrer le plongeur dans les profondeurs va permettre aux gaz qu'il respire d'augmenter leur saturation dans les tissus de l'organisme et dans le sang. Quand il remontera, le plongeur rencontrera le phénomène inverse et les tissus sursaturés en azote vont avoir tendance à laisser échapper l'azote excédentaire sous la forme de bulles de gaz. C'est ceci qui provoque les accidents de plongée car ces bulles vont aller boucher des vaisseaux et entraîner des paralysies, des thromboses... Le blocage des vaisseaux va être aggravé par la remontée qui entraîne une dilatation de ces bulles (Loi de Mariotte). La solution pour le plongeur sera de remonter lentement pour permettre à l'azote de s'évacuer par les poumons.

Autant la sursaturation des tissus est fonction du temps de plongée, autant la désaturation lors de la remontée prendra du temps. Il faudra donc faire des paliers pour que la désaturation des tissus se produise et ainsi on pourra évacuer l'ensemble de l'azote emmagasiné grâce à la loi de Henry.

Plusieurs facteurs influents sur la dissolution :

- La température
- La nature du gaz
- La nature du liquide
- La surface de contact gaz/liquide
- La pression
- La durée
- L'agitation du liquide

✓ Application à la plongée :

Compréhension des accidents de décompression (tous les tissus du corps ne réagissent pas de manière identique à la dissolution), c'est pourquoi, nous utilisons des tables pour tous les mélanges...

B. PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE EN PLONGEE

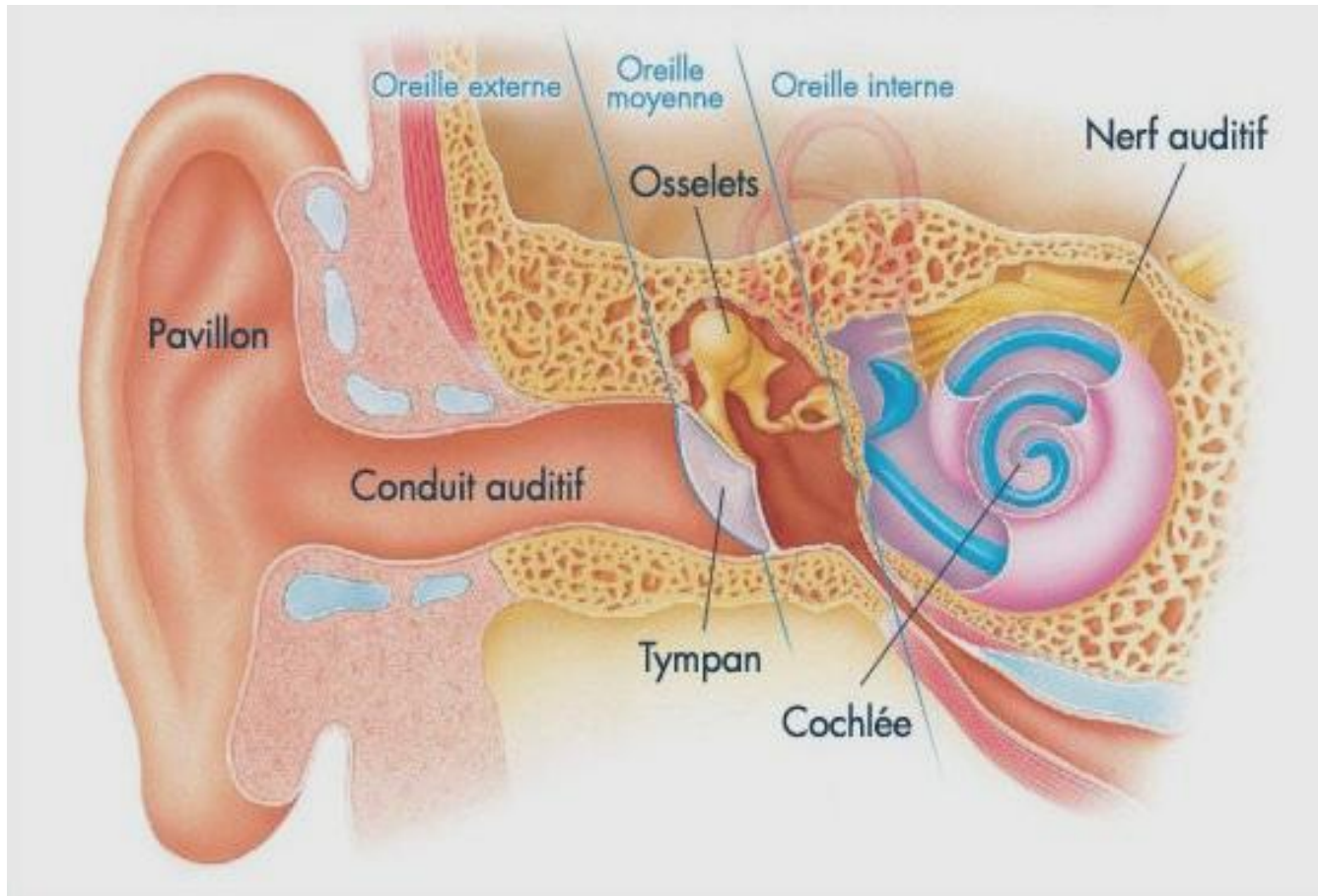


Figure II-3 Schéma général d'une oreille [13]

1. Physiologie de l'oreille externe [1 ; 8 - 9 ; 12 - 13]

Le conduit auditif externe, destiné habituellement à conduire les vibrations aériennes et à transmettre la pression acoustique au tympan se trouve en plongée rempli d'eau et transmet à l'oreille moyenne la pression hydrostatique.

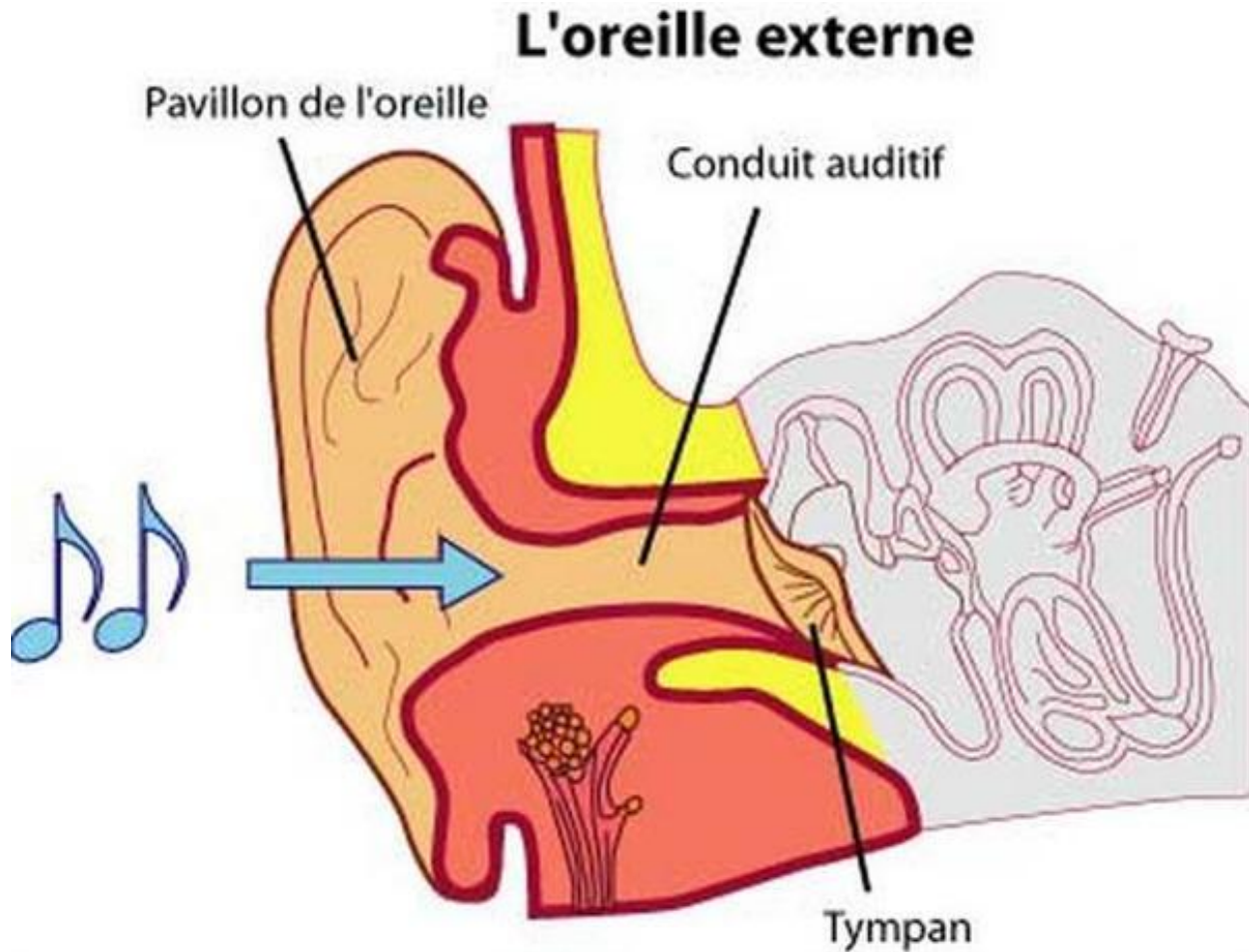


Figure II-4 Schéma de l'oreille externe [13]

a) Les otites externes du plongeur

L'eau qui persiste dans le conduit auditif externe après les plongées entraîne des macérations de l'épithélium transformant l'équilibre de la flore et élevant le pH. Si le plongeur y ajoute une irritation par nettoyage, même au coton-tige, et enlève le cérumen protecteur (qui est bactéricide), il favorise le développement d'une flore pathogène habituellement gram négatif : d'où la fréquence des otites externes chez les plongeurs, surtout en pays tropical où l'eau contient des micro-organismes coralliens en suspension.

L'otite externe est une infection du revêtement cutané du conduit auditif externe. Elle peut être localisée (furoncle) ou toucher tout le conduit (otite externe généralisée ou diffuse). L'otite externe est une pathologie infectieuse caractéristique des adeptes des sports subaquatiques. En anglais on la nomme souvent « swimmer's ear ». L'otite externe des plongeurs ne diffère de celle des non-plongeurs que par une fréquence plus élevée et des facteurs favorisants spécifiques aux activités subaquatiques.

✓ Etiologie :

L'otite externe diffuse peut être causée par un bacille Gram négatif, par *Staphylococcus aureus* ou plus rarement par un champignon.

Ces agents infectieux ne proviennent pas de l'eau mais sont présents dans la flore habituelle du canal auditif externe. L'eau stagnant dans le conduit auditif pendant et après l'immersion provoque une macération et entraîne un déséquilibre de la flore saprophyte de la peau. Les germes de cette flore deviennent alors pathogènes sous l'effet de divers facteurs favorisants.

✓ Facteurs favorisant :

Les facteurs favorisants la macération de l'eau dans le conduit auditif et la prolifération de germes pathogènes sont de 2 ordres : ceux liés au milieu extérieur et ceux liés au conduit auditif.

Facteurs favorisants liés au milieu extérieur :

- Durée et fréquence des séjours dans l'eau, d'autant plus que l'eau est chaude, la chaleur favorisant le développement des germes.
- Action irritante de certains micro-organismes aquatiques et de particules coralliennes.

Facteurs favorisant liés au conduit auditif :

- Facteurs favorisant la macération de l'eau :
 - Conduit auditif externe étroit.
 - Présence de débris de cérumen (et à fortiori de bouchon) dans le conduit auditif externe.
 - Présence d'exostoses (ou hyperostoses) : excroissances osseuses bénignes du conduit, rétrécissant celui-ci en cul-de-sac. L'irritation thermique du froid et l'irritation mécanique de l'eau favorisent leur apparition. Elles sont particulièrement fréquentes chez les plongeurs professionnels en eau froide et les surfeurs.

- Facteurs favorisant la colonisation de l'épithélium par les agents pathogènes :
 - Diminution du pouvoir protecteur du film lipidique de surface du conduit auditif par un nettoyage répété (cotons-tiges). Ce film lipidique possède une activité bactériostatique et fongostatique.
 - Absence de cérumen : le pH du cérumen est légèrement acide, ce qui lui donnerait une activité antibactérienne (toujours éviter les cotons-tiges)
 - Irritation préexistante de l'épithélium : eczéma et autres affections dermatologiques (psoriasis...), lésions de grattage, prothèse auditive mal adaptée ou allergisante, utilisation fréquente de bouchons d'oreille (de type boules Quiès).

✓ Symptomatologie :

- L'otite externe diffuse entraîne prurit, douleur lancinante et otorrhée d'odeur fétide. Lorsque le conduit est tuméfié ou contient de nombreux débris purulents, on constate une baisse de l'audition.
- La douleur ressentie à la traction du pavillon de l'oreille et à la pression au niveau du tragus permet de distinguer otite externe et otite moyenne.
- L'examen à l'otoscope est difficile car douloureux. Le conduit auditif est souvent rétréci, parfois sténosé.
- A l'otoscopie, la peau du conduit auditif externe apparaît rouge, tuméfiée et souillée de débris humides et purulents. La membrane tympanique est généralement normale, parfois un peu rouge.
- La présence de filaments blanchâtres dans le conduit auditif évoque une otite externe fongique à *Candida albicans*, des filaments charbonneux évoquent une otomycose à *Aspergillus-niger*.
- Les furoncles se traduisent par une douleur violente et, lors de leur drainage par une brève otorrhée sanguinolente et purulente.

✓ Complications :

- L'otite externe sévère avec obstruction du conduit auditif et envahissement des tissus mous, particulièrement le long du plancher du conduit.
- La cellulite de l'oreille externe et de la face.
- L'otite externe maligne : ostéite de la base du crâne à point de départ otitique, à *Pseudomonas aeruginosa*. L'otite externe maligne doit être suspectée devant toute otite externe résistant aux traitements usuels chez le diabétique, l'immunodéprimé et lors de la prise de stéroïdes par voie générale.

✓ Diagnostic différentiel :

Chez le plongeur, face à une otalgie associée ou non à une baisse de l'audition on éliminera un barotraumatisme de l'oreille moyenne. Un barotraumatisme du tympan avec rupture de celui-ci peut s'accompagner d'une otorrhée.

Une baisse de l'audition peut également révéler un barotraumatisme ou un accident de décompression de l'oreille interne. Elle s'accompagne alors le plus souvent de vertiges, et d'acouphènes.

✓ Traitement curatif :

Le traitement de l'otite externe nécessite le plus souvent l'aide du médecin essentiellement pour vérifier l'intégrité du tympan.

Il associe :

- Un nettoyage du conduit auditif au sérum physiologique et, si nécessaire, une aspiration des débris et de l'exsudat.
- Des instillations biquotidiennes d'une solution antibio-corticoïde pendant 7 à 10 jours. Eventuellement un méchage du conduit auditif ou la pose d'un pansement expansible en mousse si celui-ci est rétréci afin de faciliter la pénétration des gouttes auriculaires et d'éviter une sténose du conduit. Cette mèche est changée quotidiennement.
- Une suspension des plongées et des baignades jusqu'à guérison complète.

Un analgésique est souvent nécessaire pour calmer l'otalgie.

En cas de perforation tympanique, les antibiotiques utilisables en instillations auriculaires sont la rifamycine (Otofa) et la lincomycine (Lincocine).

Le traitement de l'otite externe mycosique comportera un topique.

Les furoncles doivent se drainer spontanément, leur incision pouvant entraîner la diffusion de l'infection au périchondre du pavillon. Les antibiotiques locaux sont inefficaces. En cas de nécessité, l'antibiothérapie sera administrée par voie orale.

✓ Traitement préventif :

➤ *Avant la saison de plongée*

L'examen otoscopique par un médecin permet de repérer et de traiter les facteurs favorisants : inflammation ou dermatose du conduit auditif, débris ou bouchon de cérumen, exostoses ...

➤ *Après l'immersion*

Pour les plongeurs sans prédisposition particulière aux otites externes un simple rinçage des conduits auditifs à l'eau douce et propre suffit. Pour les plongeurs sujets aux otites externes fréquentes ce rinçage, éventuellement effectué à l'eau minérale, sera suivi d'un séchage soigneux au sèche-cheveux.

L'usage du coton-tige est formellement proscrit.

L'instillation auriculaire de préparations magistrales a un effet bénéfique dans la prévention des otites externes du plongeur. Ces préparations comportent, associés ou non, 2 composants aux modes d'actions différents:

- Un composant asséchant qui réduit la macération: alcool, acétate d'aluminium, acétate de sodium, silicone hydrofuge.
- Un composant acide qui limite la prolifération des germes pathogènes: acide borique, acide acétique.

Pour être efficaces, ces instillations doivent avoir une durée minimale de contact de 5 minutes.

Ces produits ne seront utilisés qu'après vérification de l'intégrité du tympan.

Les préparations alcooliques sont déconseillées en cas d'irritation du conduit auditif.

Il n'y a pas de preuve scientifique de l'efficacité des préparations antiseptiques ou antibiotiques dans la prévention des otites externes.

➤ *Avant l'immersion*

Il est préférable de ne rien introduire dans le conduit auditif afin de respecter le film lipidique protecteur et de ne pas créer d'irritation du conduit.

Certains auteurs préconisent toutefois l'instillation préventive d'une solution huileuse (huile d'amande douce ...).

b) Exostose du conduit auditif externe et activités en eau de mer

Sous l'effet mécanique et thermique de l'eau, surtout froide, et plus hypothétiquement de la pression, l'os du CAE présente une hyperplasie compacte lamellaire avasculaire aboutissant aux exostoses.

✓ Définition :

Excroissances osseuses bénignes développées au niveau de la portion osseuse du conduit auditif externe, elles sont dans la majorité des cas bien tolérées, mais elles peuvent avoir un retentissement fonctionnel non négligeable, tel que des otites externes récidivantes ou une hypoacousie de transmission. Un traitement chirurgical est alors nécessaire.

✓ Anatomopathologie :

Habituellement multiples et bilatérales, les exostoses sont constituées par des couches lamellaires d'os compact d'origine périostée. Pauvres en canaux fibrovasculaires de Havers, elles ont une large base d'implantation et sont recouvertes de peau saine qui est à ce niveau très fine et fragile.

✓ Épidémiologie et facteurs étiopathogéniques :

Les exostoses sont rares. Soulignons le caractère racial et la prédominance masculine. Les populations noires, chinoises et les esquimaux sont épargnés par cette affection, alors que les exostoses sont très fréquentes chez les aborigènes d'Amérique du nord et en Polynésie. Tout élément à l'origine de la stimulation locale de l'ostéogenèse est susceptible d'entraîner une exostose.

Le sport nautique en eau froide est sans conteste le facteur prédisposant majeur : c'est la double action du froid et de l'action mécanique de l'eau qui provoque l'irritation de l'os périosté mal protégé par un épithélium très mince à ce niveau. Les surfeurs sont particulièrement exposés à ces exostoses, probablement parce que les turbulences des vagues entraînent des projections d'eau qui exposent beaucoup plus leurs oreilles que celles de simples nageurs.

✓ Diagnostic clinique et imagerie :

Les circonstances de découverte :

- Otites externes
- Bouchons de cérumen
- Hypoacousie
- Examen de routine.

Le diagnostic est essentiellement otoscopique : excroissance osseuse mamelonnée habituellement multiple et retrouvée dans l'oreille controlatérale. Le tympan est plus ou moins visible selon l'importance de l'exostose.

En cas de sténose sub-totale, une étude radiologique par tomodensitométrie dans les deux plans axial et coronal permet de situer les lésions par rapport au plan de la membrane tympanique et de déceler une éventuelle propagation à l'oreille moyenne.

✓ Évolutivité et tolérance :

Une étude japonaise a révélé que les exostoses apparaissent en moyenne après cinq ans de pratique régulière de sport nautique (surf) en eau froide et elles évoluent vers une sténose en 7 à 12 ans. Il est cependant impossible de prévoir si la sténose se compliquera ou si elle se stabilisera malgré la poursuite du sport.

La plupart des exostoses sont bien tolérées. Elles ne deviennent gênantes que lorsqu'elles constituent un obstacle à l'élimination du cérumen ou des squames épidermiques. L'accumulation de squames peut engendrer une surinfection ou des otites externes récidivantes. De plus, l'obstruction provoquée par les excroissances osseuses et les réactions cutanées peuvent causer une surdité de transmission.

Enfin, la survenue d'un cholestéatome entre sténose et tympan est rare.

✓ Indications opératoires :

L'indication opératoire est relativement rare, car la plupart des exostoses sont très bien tolérées. Une intervention d'alésage du conduit osseux devient impérative lorsque les exostoses se compliquent d'otites externes à répétition ou de rétention épidermique.

Elle est relative en cas d'hypoacousie de transmission et / ou d'acouphènes provoqués par le contact exostose / tympan.

L'alésage d'un conduit auditif externe pour exostose est une intervention relativement difficile, et cela d'autant plus que les exostoses sont importantes et rétrécissent considérablement la lumière du conduit. Cette notion plaide pour une intervention relativement précoce. C'est dans ces formes oblitérantes que la cicatrisation s'avère parfois longue et peut nécessiter le recours à une greffe cutanée.

Un alésage pour une sténose encore bien tolérée est plus aisé à réaliser, mais ne serait peut-être pas nécessaire si les exostoses ne poursuivent pas leur croissance, ce qui est en fait difficile à prévoir.

L'indication opératoire doit être discutée en fonction de la gêne ressentie, de l'âge et du désir de poursuivre les activités nautiques.

Il importe de bien prévenir le patient des risques opératoires, tout particulièrement de risques d'atteintes cochléaires avec surdité de perception et acouphènes et des aléas de cicatrisation notamment vis à vis de la reprise des activités nautiques.

2. Physiologie de l'oreille moyenne

[1 ; 8 - 9 ; 12 - 13 ; 19]

La physiologie de l'oreille moyenne en plongée intéresse d'une part ses structures anatomiques et d'autre part la pression du gaz qu'elle contient.

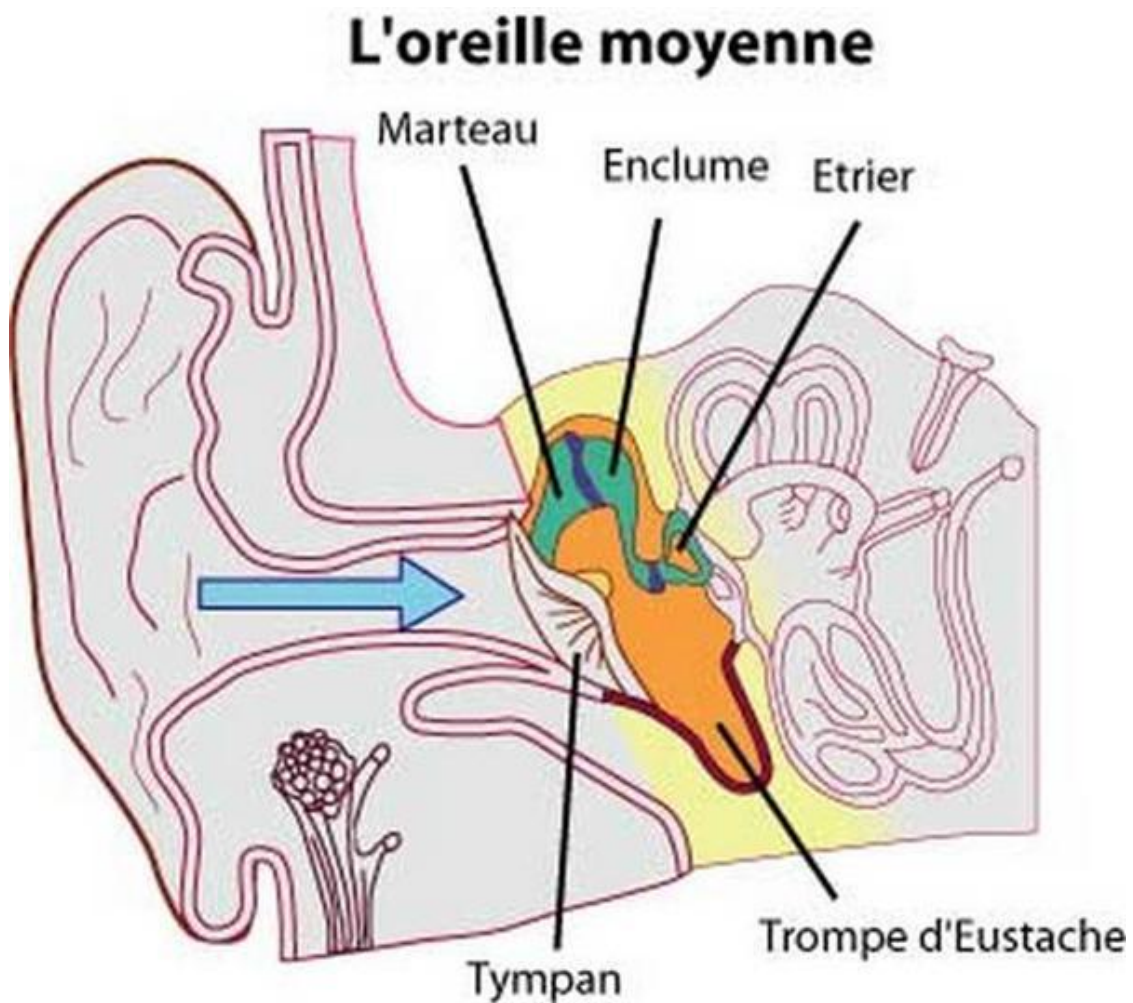


Figure II-5 Schéma de l'oreille moyenne [13]

a) Les structures anatomiques : fonctionnement du système tympano-ossiculaire

Le tympan sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne. Il semble que l'eau n'arrive pas directement à son contact : il y aurait en général une lamelle d'air au fond du CAE, par laquelle se transmettraient les pressions. Sa solidité et son élasticité essentielles chez le plongeur, sont dues à sa couche médiane fibreuse, qui peut être affaiblie après perforation, par les sollicitations excessives et répétées ou avec l'âge, ce qui expliquerait la laxité tympanique des vieux plongeurs.

Chez certains plongeurs, l'articulation stapédo-vestibulaire, formée par le ligament annulaire, peut présenter des elongations. Cette distension peut agir sur l'oreille interne, en partie la cochlée, par hypertension des liquides labyrinthiques à l'origine de barotraumatismes de l'oreille interne.

Cette articulation est fondamentale pour l'audition chez le sujet à la pression atmosphérique car elle transmet à l'oreille interne les vibrations ossiculaires.

Le rapport des surfaces entre le tympan et la platine est de l'ordre de 20, permet la concentration en un point précis de l'énergie acoustique. On conçoit que chez le plongeur, la concentration de la pression hydrostatique puisse être très importante en l'absence d'équipression.

Lors d'otospongiose, cette articulation est bloquée par un cal d'os néoformé. Si le plongeur otospongieux se fait opérer pour améliorer son audition, apparaissent des conditions anatomo-physiologiques nouvelles fort dangereuses pour l'oreille interne. Celle-ci n'est plus protégée par le muscle de l'étrier, dont on doit classiquement sectionner le tendon, et un piston transplatinaire court-circuite le blocage : il y a contre indication formelle à la plongée en raison des risques de surdité et de vertiges.

Un dernier élément anatomique de la caisse du tympan mérite d'être signalé, le canal de Fallope où chemine le nerf facial. Ce canal est parfois physiologiquement déhiscent : le nerf pourra directement être soumis à la pression qui règne dans l'oreille moyenne, d'où la possibilité de paralysies faciales en plongée.

En fait l'élément fondamental en plongée est représenté par la trompe d'Eustache, qui régule la pression dans l'oreille moyenne.

b) La pression dans l'oreille moyenne

Pour que le système tympano-ossiculaire fonctionne normalement, il faut que le tympan vibre normalement, ce qui suppose la même pression sur ses deux faces : c'est l'équipression. Elle est permise par la trompe d'Eustache qui est un conduit ostéofibrocartilagineux reliant la caisse du tympan au rhinopharynx. Il présente un rétrécissement de quelques millimètres de diamètre dans sa portion moyenne. La perméabilité tubaire est indispensable pour que la pression de l'air inspiré (déterminée par la pression hydrostatique) puisse s'équilibrer avec celle de la caisse du tympan.

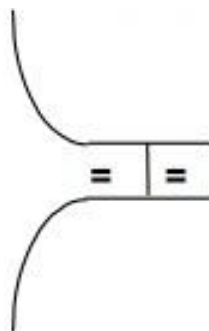


Figure II-6 Schéma montrant l'équilibration des pressions entre l'oreille externe et l'oreille moyenne [6]

- ✓ Les facteurs de perméabilité de la trompe sont bien connus et sont essentiellement d'ordre anatomique :
- La rectitude de son axe et l'étroitesse de son isthme
 - Son appareil musculaire (péristaphyllins), dont la synergie est fondamentale.
 - Sa muqueuse d'origine respiratoire, avec ses cellules sécrétoires et un mucus comparé au surfactant des alvéoles pulmonaires
 - La position de son ostium pharyngé, en arrière des fosses nasales donc sensibles à l'infection ou à l'inflammation nasale voilà pourquoi il est déconseillé de plonger si on est enrhumé.

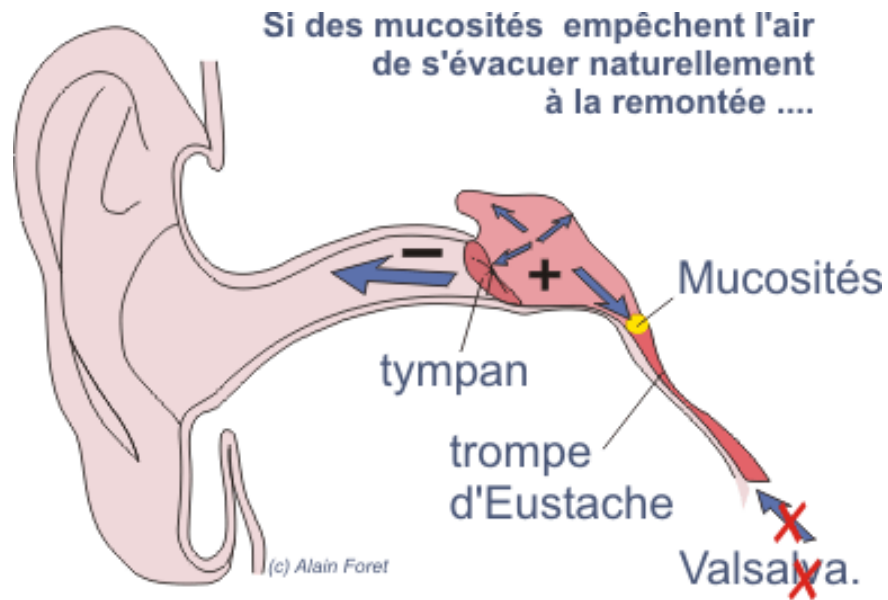


Figure II-7 Equipression oreille externe-oreille moyenne rendue impossible à la remontée [6]

✓ L'obtention des équipressions est variable selon le sens des « échanges gazeux » caisse du tympan-rhinopharynx. On distingue deux situations :

(1) celle où la caisse du tympan est en dépression relative par rapport au rhinopharynx, c'est-à-dire lors de la descente. L'ouverture tubaire doit-être active.

- A la descente : voici ce qui va se passer au niveau du tympan.

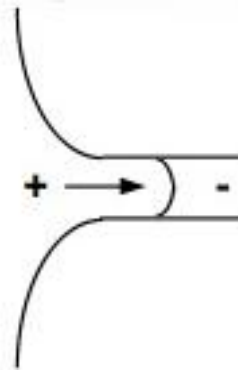


Figure II-8 Schéma montrant la dépression de la caisse du tympan par rapport au rhinopharynx [6]

- *Nous allons équilibrer la pression en envoyant de l'air derrière le tympan grâce à la trompe d'Eustache. Chose qui ne se fait pas naturellement.*

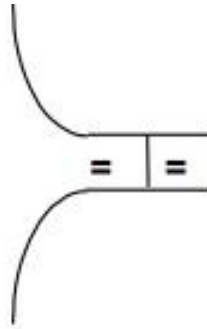


Figure II-9 Schéma montrant l'équilibrage des pressions entre l'oreille externe et l'oreille moyenne [6]

- La déglutition volontaire est souvent insuffisante, de ce fait, nous utilisons différentes manœuvres dans le but d'obtenir l'équipression lors de la descente. Ces méthodes seront expliquées plus en détail dans le chapitre « prévention aspect médico-légal ».
- La méthode de Valsalva est la plus connue. Elle n'est pas dénuée d'inconvénients si la technique est mal assimilée. En effet, il y a risque d'un blocage de l'isthme, d'hypotension artérielle périphérique par hyperpression céphalique, hyper pression dans la caisse et coup de piston sur les liquides labyrinthiques.
- La béance tubaire volontaire de G. DELONCA, qui nécessite une bonne perméabilité tubaire bilatérale au risque de subir les mêmes inconvénients que la méthode de Valsalva, notamment lors des immersions en apnée ou la variation de pression est rapide. Elle utilise la diduction et la protraction de la mandibule, voire la contraction isolée du voile du palais sans déglutition.
- Enfin la méthode de Frenzel, plus délicate à réaliser en plongée, consiste à produire une hyperpression rhinopharyngée par action de la masse linguale à glotte fermée.

(2) la deuxième situation est celle où la caisse du tympan est en surpression relative par rapport au rhinopharynx, c'est-à-dire lors de la remontée.

L'ouverture tubaire est très habituellement passive la trompe fonctionne comme une soupape de dysperméabilité passagère (inflammation), notamment unilatérale les conditions du vertige alternobarique sont réunies. Il faut alors s'aider de déglutitions volontaires, de la béance tubaire de G. DELONCA ou de la méthode de TOYNBEE qui est une déglutition bouche et nez fermés, voire légèrement redescendre en effectuant une manœuvre de VALSALVA (mais surtout ne jamais effectuer de manœuvres de Valsalva en remontant).

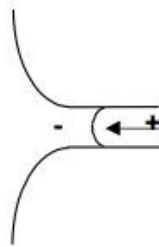


Figure II-10 Schéma où la caisse du tympan est en surpression relative par rapport au rhinopharynx, c'est-à-dire lors de la remontée [6]

L'exploration de la perméabilité tubaire est donc fondamentale chez le plongeur.

➤ Moyens d'explorations de la perméabilité tubaire

✓ Plusieurs méthodes existent :

- L'examen du tympan peut déjà renseigner sur un éventuel dysfonctionnement tubaire. L'otoscopie est aidée par la pratique de la manœuvre de Valsalva ou de celle de Toynbee : les variations de pression dans la caisse permettent de voir la mobilité du tympan.
- La tympanométrie est un reflet indirect du fonctionnement du système tubaire. Cette méthode est utilisée par les ORL depuis 1976 pour les plongeurs.

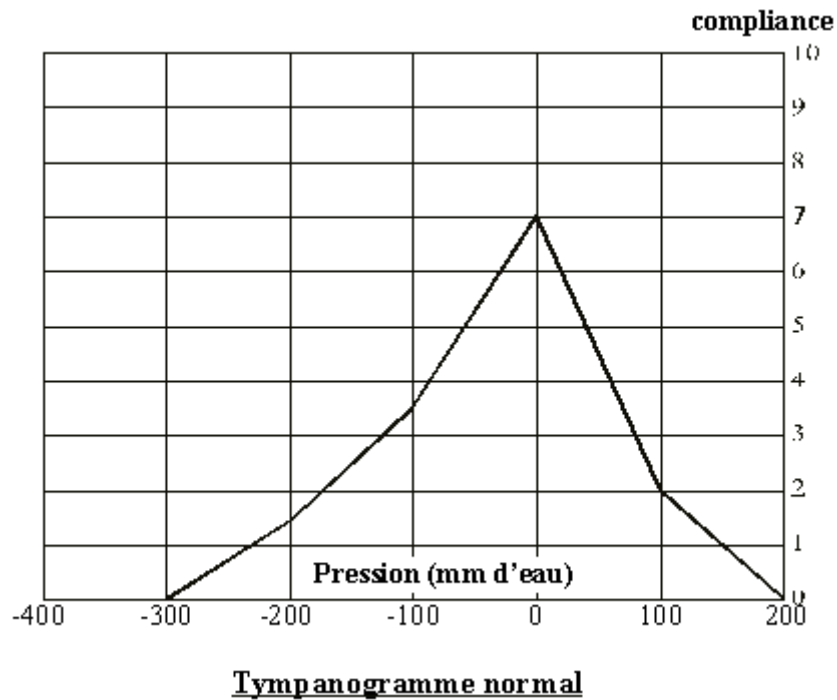


Figure II-11 Tympanogramme normal [1]

✓ Idéalement, il faudrait utiliser :

- La sonomanométrie tubaire ou tubomanométrie : c'est une méthode sophistiquée, initialement mise au point au laboratoire de physiologie de centre d'études et de recherches des techniques sous-marines (anciennement CERSTM et CEPHISMER maintenant) de Toulon, qui permet une exploration totale de la trompe d'Eustache seule, dans ses deux sens de fonctionnement. Elle quantifie et chiffre une éventuelle dysperméabilité et juge du caractère chronique ou aigu du trouble. Cette technique est cependant peu répandue.

- Enfin, si une épreuve supplémentaire était nécessaire, l'épreuve au caisson devrait être pratiquée au moindre doute. Celle-ci est systématiquement réalisée lors de l'expertise médicale en visite initiale chez les plongeurs professionnels. Cette épreuve consiste à augmenter petit à petit la pression dans le caisson jusqu'à 3 bars et de vérifier que tout se passe bien (au niveau de l'équilibration des pressions...) pour le plongeur.



Figure II-12 Photo d'un caisson de décompression appelé également caisson hyperbare [6]

- Notons, pour être complet, les possibilités modernes d'endoscopie rigide ou souple, qui explorent les fosses nasales et l'orifice pharyngien de la trompe d'Eustache et permettent le diagnostic étiologique de la dysfonction tubaire.

3. Physiologie de l'oreille interne

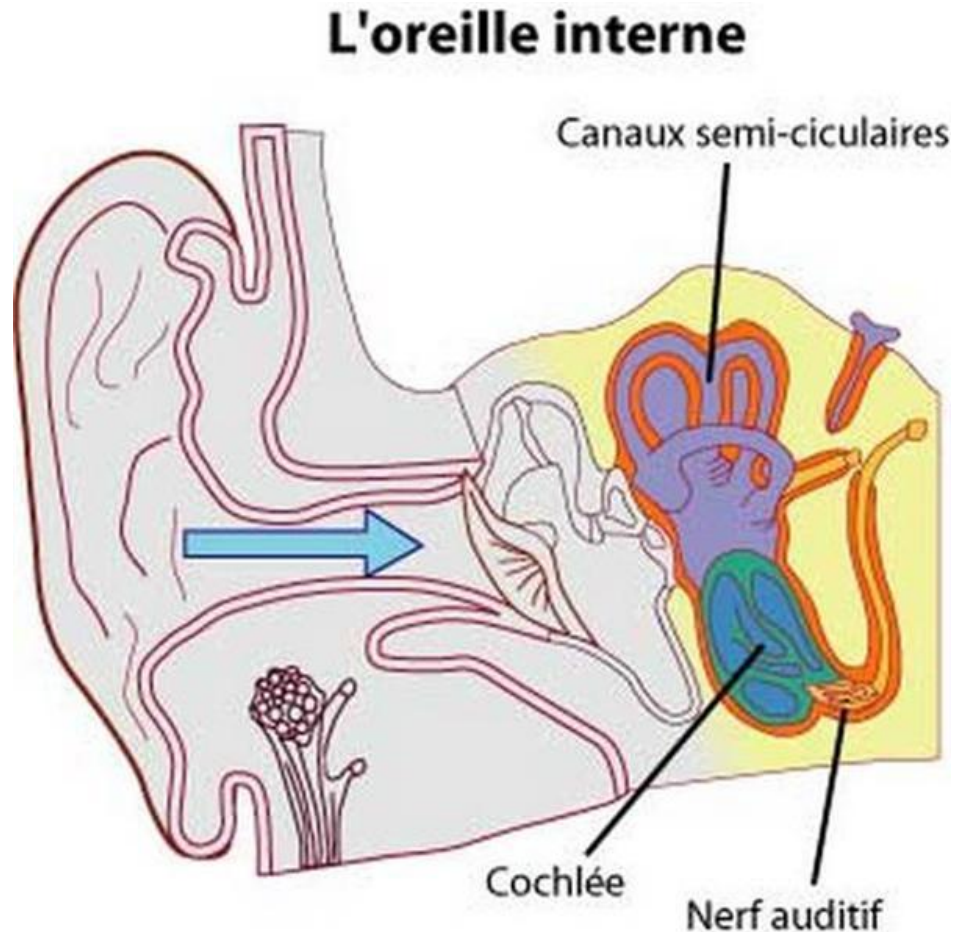


Figure II-13 Schéma de l'oreille interne [13]

L'oreille interne est constituée du labyrinthe membraneux rempli d'endolymphe. Situé dans le carter du labyrinthe osseux, le labyrinthe membraneux est séparé des parois par la périlymphe.

La partie antérieure de l'oreille interne est constituée du canal cochléaire avec l'organe de Corti (récepteur sensoriel auditif).

La partie postérieure de l'oreille interne est constituée par le vestibule (récepteur sensoriel de l'équilibration). Ces deux parties communiquent entre elles et l'ensemble est soumis, en plongée, à la pression hydrostatique, qui s'exerce de façon symétrique des deux côtés.

La physiologie de l'oreille interne en plongée est encore mal connue. Nous exposerons, à la lumière des travaux de Kovalski, ce qu'on peut en dire actuellement, au sujet de l'audition puis de l'équilibration.

C. Les accidents de l'oreille en plongée [1]

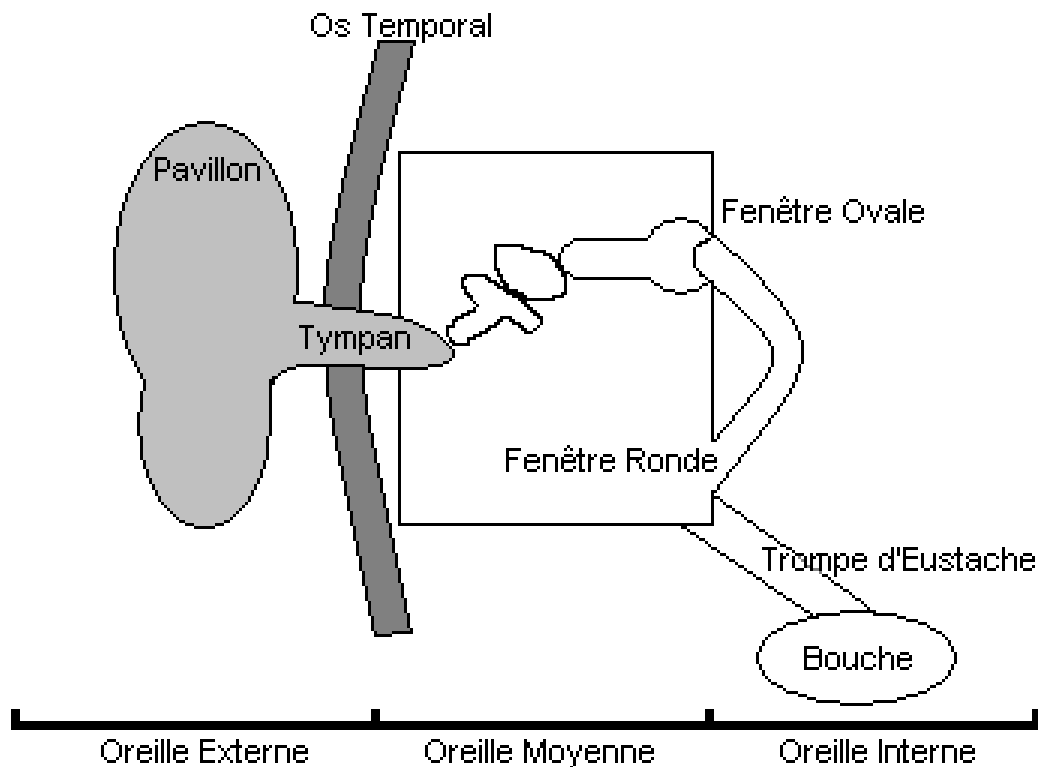


Figure II-14 Schéma des principaux organes de l'oreille impliqués en plongée [13]

L'oreille est un organe très sollicité en plongée et qui peut être le siège d'accidents bénins ou d'accidents graves. Le risque est la méconnaissance de l'accident par le sujet qui attribue les troubles au mal de mer par exemple, et aussi par le médecin qui peut ne pas évoquer le bon diagnostic. Les prises en charge retardées sont très fréquentes dans cette pathologie et la récupération est souvent dépendante d'une prise en charge thérapeutique précoce.

Le diagnostic d'accident d'oreille est souvent simple à faire, à condition d'y penser ; le diagnostic du type d'accident repose sur une anamnèse soignée des circonstances d'apparition et de plongée, autant que sur l'examen clinique.

Les examens paracliniques vont permettre d'apprécier le bilan lésionnel et de surveiller l'évolution.

Les accidents barotraumatiques se rencontrent chez les apnéistes et les plongeurs en scaphandre.

Les accidents de décompression se rencontrent à l'occasion de plongées en scaphandre saturantes.

Il y a des accidents liés aux plongées à grande profondeur chez les professionnels.

Les lésions peuvent intéresser :

- Soit l'audition : oreille moyenne, appareil cochléaire.
- Soit l'équilibre : appareil vestibulaire.
- Soit les deux.

L'appareil vestibulaire est un organe indispensable au bon déroulement d'une plongée, car il renseigne le plongeur sur sa position, ses mouvements, son orientation dans l'eau, la notion de haut et de bas. En cas de perturbation, apparaît un vertige dont les conséquences peuvent être dramatiques. On sait que cet appareil est en fait double, pair et symétrique pour chaque côté, sous contrôle central. Il reçoit ses informations de 3 récepteurs essentiels :

- Le vestibule proprement dit, situé dans l'oreille interne au niveau du labyrinthe postérieur.
- La « béquille visuelle ».
- Les récepteurs de la proprioception, en particulier cutanés et musculo-ligamentaires.

En plongée, les références visuelles sont parfois perturbées par la turbidité de l'eau, voire annulées en plongée de nuit. De plus, le contact de l'eau et la pression hydrostatique réduisent la sensibilité des récepteurs proprioceptifs. Enfin, la poussée d'Archimède va venir s'opposer à la force de gravité : le plongeur a l'impression d'être en "impesanteur" relative. C'est dire l'importance du récepteur périphérique vestibulaire et en particulier des canaux semi-circulaires, qui renseignent sur les mouvements de la tête et du corps dans les 3 dimensions de l'espace [1].

Les accidents barotraumatiques de l'oreille

Il s'agit d'accidents très fréquents, parfois bénins, parfois redoutables, pouvant laisser des séquelles et qui peuvent intéresser tous les plongeurs.

Ces barotraumatismes sont la conséquence directe de la **loi de BOYLE-MARIOTTE** par variation de volume des gaz enclos dans l'oreille moyenne.

" A température constante le volume occupé par une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression à laquelle il est soumis."

$$\text{Pression} \times \text{Volume} = \text{Constante}$$

L'équilibration de ces pressions est assurée par la trompe d'Eustache, dont la dysperméabilité est la cause de survenue des barotraumatismes.

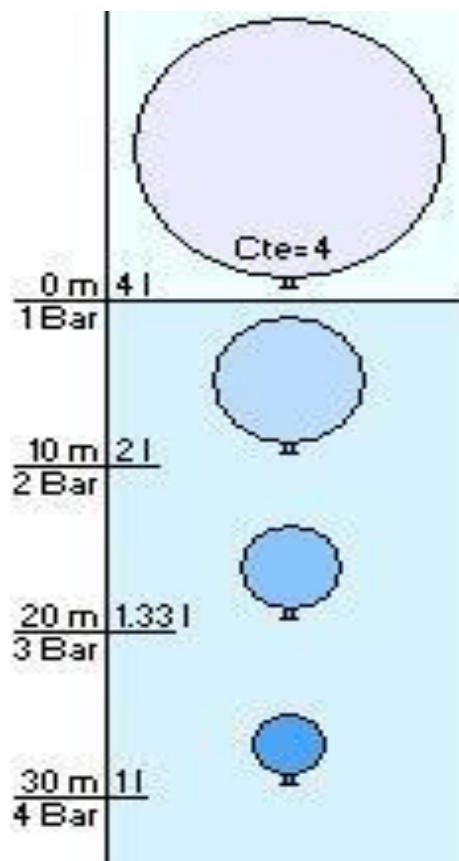


Figure II-15 Schéma illustratif de la loi de Boyle Mariotte [6]

a) Les barotraumatismes de l'oreille moyenne

On les connaît sous le terme impropre « *d'otites barotraumatiques* ». Elles sont très fréquentes et échappent souvent au corps médical. Ils sont rapportés dans 1 à 2% des plongées. Fréquents, ils sont en général peu graves, mais ne doivent pas être négligés.

✓ Circonstances de survenue :

Lors de la descente, quand celle-ci est trop rapide et la fonction équipressive de la trompe d'Eustache défectueuse. Les “forçages tubaires” sont souvent retrouvés.

- *A la descente : voici ce qui va se passer au niveau du tympan*

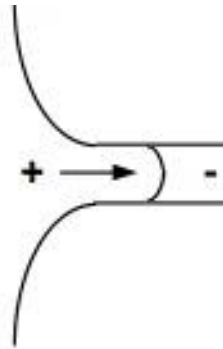


Figure II-16 Schéma montrant la dépression de la caisse du tympan par rapport au rhinopharynx [6]

✓ Les plongeurs les plus exposés sont :

- Les plongeurs en apnée chez lesquels la répétition des descentes expose à ce type d'incident.
- Les plongeurs autonomes entraînés qui descendent rapidement, les moniteurs qui font “l'ascenseur”, les débutants qui font des Valsalva trop forts et répétés.

✓ Cliniquement :

- Otalgie profonde, au fond du conduit auditif externe, d'intensité variable.
- Hypoacousie de transmission, avec sensation "d'oreille bouchée".
- Acouphènes parfois.
- L'examen otoscopique du tympan permet, selon l'aspect des lésions, la classification de Haines et Harris en 5 stades :
 - Stade I : rougeur du manche du marteau ;
 - Stade II : rougeur diffuse du tympan qui est rétracté ;
 - Stade III : épanchement séreux dans la caisse du tympan ;
 - Stade IV : épanchement de sang dans la caisse ;
 - Stade V : perforation tympanique, avec otorragie minime.

✓ Traitement :

- *Stades I et II* : disparition spontanée en quelques jours, avec abstention de plongée ;
- *Stades III et IV* : traitement local simple, régional nasal et général anti-inflammatoire ; certains proposent une paracentèse pour l'hémotympan ;
- *Stade V* : protection d'oreille par coton et interdiction de gouttes auriculaires ; traitement régional et général ; antibiothérapie en cas de surinfection seulement. La cicatrisation spontanée est fréquente ;
- Parfois une tympanoplastie peut être nécessaire. Certains font parfois des interventions précoces de remise en place des lambeaux tympaniques.

✓ Evolution et séquelles :

- Guérison rapide et sans séquelle le plus souvent.
- Cicatrisation des perforations en quelques semaines.
- Risque de surinfection si perforation, et d'évolution vers une otite moyenne chronique à tympan ouvert.
- Risque d'otite moyenne chronique à tympan fermé si le barotraumatisme est dû à une obstruction tubaire pathologique.

b) Les barotraumatismes de l'oreille interne

➤ Généralités :

Dix fois moins fréquents que les barotraumatismes de l'oreille moyenne, mais redoutables par leurs séquelles potentielles fonctionnelles parfois irréversibles et leurs conséquences socioprofessionnelles graves. Ils sont isolés ou associés à un barotraumatisme de l'oreille moyenne dans plus de la moitié des cas.

Ils surviennent surtout en descente et concernent souvent les apnéistes.

Leur symptomatologie est surtout cochléaire.

Le danger principal est le retard de diagnostic, aussi bien par le plongeur qui évoque une simple oreille bouchée que par le médecin qui peut méconnaître un barotraumatisme d'oreille interne derrière un banal barotraumatisme d'oreille moyenne : "Un accident peut en cacher un autre".

➤ Mécanisme :

Ce sont des accidents physiques barotraumatiques, conséquences de la loi de Boyle-Mariotte.

- Les barotraumatismes de l'oreille moyenne qui se transmettent à l'oreille interne : ce sont les barotraumatismes mixtes.
- Les barotraumatismes directs de l'oreille interne (sans atteinte du tympan) :
 - Par coup de piston de l'étrier dans la fenêtre ovale ; c'est l'entorse stapédo-vestibulaire de Plante-Longchamp.
 - Par coup de pression au niveau de la fenêtre ronde, avec risque de fistule par rupture de la fenêtre cochléaire.
 - Par hyperpression endocrânienne du liquide céphalo-rachidien (LCR) se transmettant aux liquides labyrinthiques en cas de perméabilité congénitale de l'aqueduc cochléaire.
- Le vertige alterno-barique dû à la difficulté à vider la caisse du tympan en surpression relative pendant la remontée et de façon asymétrique, dû à un fonctionnement défectueux de la trompe d'Eustache dans le sens caisse-cavum.

Les accidents barotraumatiques mixtes et les barotraumatismes directs de l'oreille interne surviennent surtout à la descente ; les vertiges alterno-bariques surviennent principalement à la remontée.

➤ Au point de vue clinique :

- L'interrogatoire précise le moment de la plongée où sont apparus les troubles, les moyens d'équilibration utilisés.
- L'otalgie est souvent présente par atteinte de l'oreille moyenne associée.
- L'hypoacousie est le signe essentiel. L'audiogramme en urgence permettra de préciser :
 - Soit l'atteinte seulement de perception en cas de trauma d'oreille interne isolé (perte prédominante sur les aigus),
 - Soit une atteinte mixte de transmission et de perception en cas de barotraumatisme mixte.
- Les vertiges rotatoires sont prédominants dans le vertige alterno-barique, sinon ils sont rares dans les barotraumatismes d'oreille interne de type mécanique, traduisant une souffrance vestibulaire irritative surajoutée à l'atteinte labyrinthique cochléaire.
 - En cas de vertiges paroxystiques, il faut évoquer la possibilité d'une fistule périlymphatique au niveau de la fenêtre ronde ou ovale.
 - Enfin, ils peuvent faire évoquer un accident de décompression de l'oreille interne en diagnostic différentiel.
- Nausées et vomissements sont parfois présents.

➤ Traitement :

C'est une urgence fonctionnelle. En cas de prise en charge dans les 24 heures, une récupération auditive est fréquente, les chances diminuant avec le retard de prise en charge thérapeutique ; bien que des résultats soient parfois obtenus, même lors de prises en charge tardives (au-delà de 1 semaine).

C'est le traitement d'une surdité brusque :

- *Repos au lit ;*
- *Corticoïdes* à forte dose ;
- *Vaso-actifs* en injectable ou en perfusion : Praxilène, Vastarel, Fonzylane,... ;
- *Oxygénothérapie hyperbare* : séances quotidiennes ou biquotidiennes contre l'anoxie cellulaire ;
- Certains utilisent le Carbogène à 5%, l'hémodilution ;
- Selon le mécanisme, traitement associé : gouttes auriculaires, traitement naso-sinuso-tubaire si barotraumatisme mixte.

Le vertige alterno-barique est une entité à part ; il est le plus souvent transitoire :

- Au moment de l'incident : stopper la remontée, redescendre de quelques mètres ;
- Eviter tout Valsalva, qui aggraverait la situation ;
- Pratiquer des déglutitions ou la manœuvre de Toynbee ;
- Prévention par techniques d'équipression passives, béance tubaire volontaire (BTV), ...

L'existence d'une fistule périlymphatique impose le repos strict en position demi-assise, associée à des diurétiques, tranquillisants, labyrinthoplégiques.

La recherche de la fistule fera appel à l'imagerie (scanner). L'exploration chirurgicale de la caisse peut permettre de visualiser la brèche et de l'obturer par une greffe de conjonctive, avec un bon résultat fonctionnel.

✓ Séquelles :

Dans les formes mineures la restitution complète est la règle, mais des séquelles fonctionnelles peuvent persister, notamment des acouphènes et une hypoacousie d'importance variable, portant sur les fréquences aiguës.

La reprise de la plongée sera autorisée après un délai minimum de 3 mois. En cas de séquelles auditives : la restriction sera plus marquée pour l'apnée que pour la plongée en scaphandre. Un enseignement des manœuvres tubo-tympaniques dites passives, une sensibilisation à la béance tubaire volontaire sont les meilleurs garants de la prévention de ces accidents. (cf annexe 1 « Exercices de Gymnastique tubaire »)

2. Les accidents de décompression

Les accidents de décompression sont des accidents biophysiques dus au retour à l'état gazeux de l'azote dissout dans le sang. Ce retour à l'état gazeux est expliqué par les lois de Mariotte et d'Henry.

L'air que nous respirons est constitué de - approximativement - 80% d'azote (N₂) et 20% d'oxygène (O₂). L'oxygène est consommé par nos cellules, alors que l'azote est dissous dans nos tissus sans être consommé. Plus on descend (donc plus la pression ambiante augmente), plus les tissus emmagasinent l'azote. De la même manière, plus la plongée est longue, plus les tissus se saturent en azote.

A la remontée, la pression ambiante diminuant, l'azote reprend progressivement sa forme gazeuse. L'azote passe alors dans la circulation sanguine sous forme de microbulles circulantes, qui arrivent aux poumons, aux alvéoles pulmonaires, et sont ainsi évacuées par l'expiration. Il n'y a alors aucun problème pour le plongeur.

Si la remontée est trop rapide, le dégazage est trop important et l'azote forme de grosses bulles dans les tissus avant d'avoir pu être évacué par l'expiration. Ces bulles bloquent la circulation sanguine et les tissus qui se trouvent en aval de la bulle ne sont plus irrigués. La taille des bulles augmente encore sous l'influence de la loi de Mariotte. Ces bulles peuvent se coincer dans n'importe lequel des vaisseaux sanguins, et les symptômes dépendent de la localisation de la bulle. De plus, il se forme autour de cette bulle qui est considérée par l'organisme comme indésirable un agrégat plaquettaire ; il s'agit des plaquettes sanguines s'agglutinant autour de la bulle rendant bientôt impossible le passage du sang.

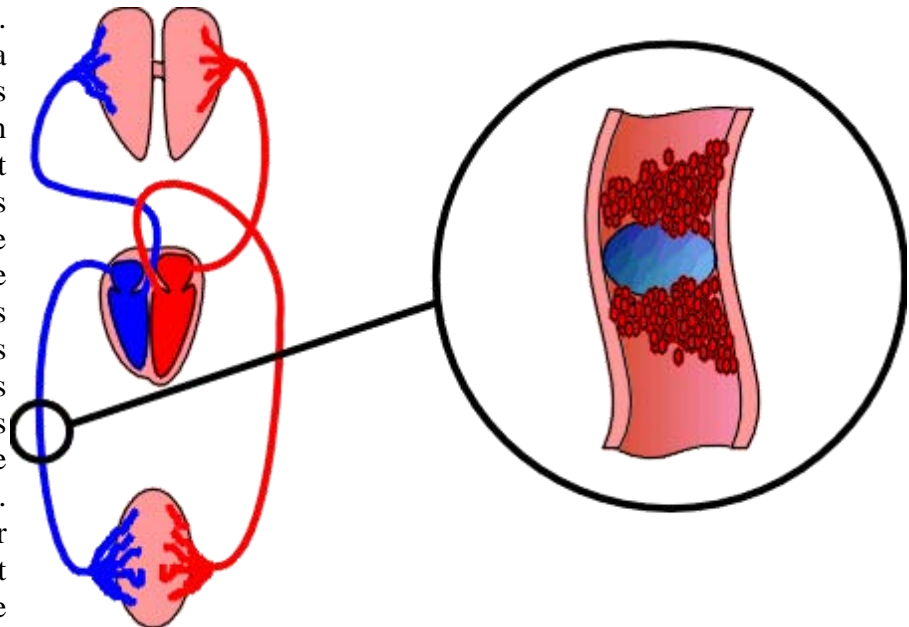


Figure II-17 Schéma du mécanisme des accidents de décompression [12]

On prend souvent l'exemple de la bouteille de champagne : quand on l'achète, la bouteille contient du gaz dissout dans le liquide. La bouteille est fermée, il règne à l'intérieur une forte pression (comme en profondeur). Lorsque l'on retire le bouchon, la pression à l'intérieur de la bouteille diminue et de petites bulles se forment, comme chez le plongeur qui remonte. Si l'on avait secoué la bouteille, l'ouverture aurait provoqué un dégazage trop important ; le gaz se dilatant trop brusquement aurait fait jaillir le liquide hors de la bouteille. Chez le plongeur, ce dégazage anarchique se solde par un accident de décompression.

localisation des accidents de décompression

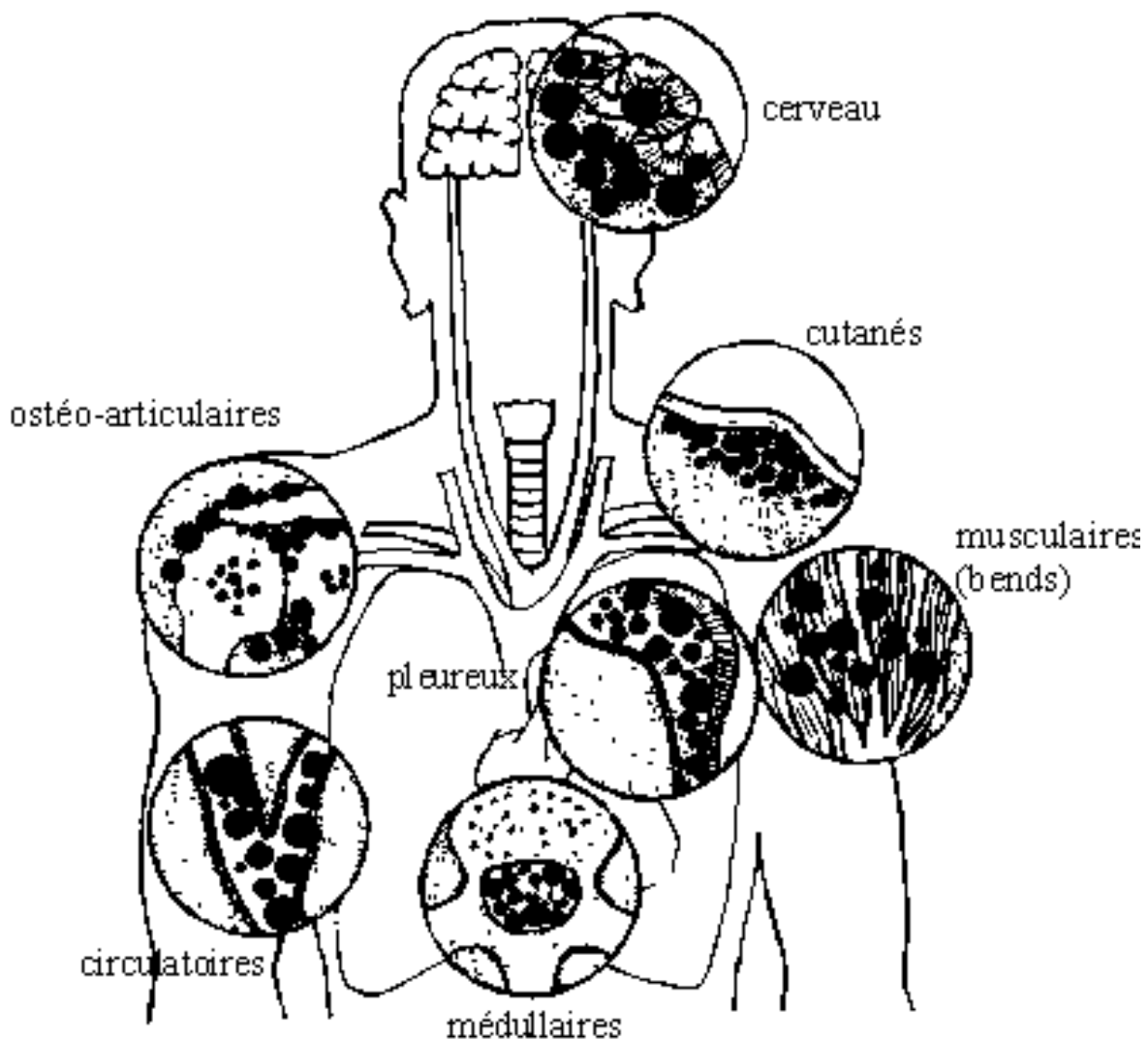


Figure II-18 Localisation possible des accidents de décompression [12]

a) Les accidents de décompression de l'oreille interne

Il s'agit là d'une forme d'Accident de Décompression qui touche bien évidemment le plongeur en scaphandre autonome, et survient le plus souvent à l'occasion de plongées itératives, de plongées saturantes. Il survient souvent au sortir de la plongée ou dans l'heure qui suit. La symptomatologie est essentiellement vestibulaire. Ils sont en fréquence croissante dans la plongée de loisir et des facteurs de risques ont maintenant été mis en évidence, notamment les vitesses de remontées, les variations de niveaux de plongée, les vitesses de remontées entre les paliers et entre palier et surface...

➤ Mécanisme :

Les hypothèses étiopathogéniques sont diverses :

- Microbulles des tissus et liquides labyrinthiques endolymphatiques : elles provoquent des dilacérations ou compression des structures neurosensorielles, avec hémorragies et exsudats protéiques, à l'origine d'une évolution vers la dégénérescence ;
- Microbulles dans la circulation de type terminal de l'oreille interne : la constitution d'agrégats bullo-lipido-plaquettaires entraîne une anoxie en aval, dans une circulation de type terminal ;
- Souffrance des noyaux vestibulaires centraux ;
- L'embolisation de microbulles du système veineux central à travers un foramen ovale a été évoquée récemment à l'occasion d'accidents de décompression de l'oreille interne et peut être évoquée dans certains cas.

➤ Description clinique :

Ces accidents ont une expression essentiellement vestibulaire, parfois associée à une composante cochléaire.

En fin de plongée, au palier, mais plus souvent au sortir immédiat de la plongée, ou plus tard, le plus souvent dans l'heure qui suit, apparaît une grande crise vertigineuse avec nausées, vomissements, déviation segmentaire avec trouble de la marche latéralisée et chute du côté de la lésion, et nystagmus horizontal du côté opposé, Romberg positif, évoquant un syndrome vestibulaire harmonieux périphérique. Le diagnostic de « mal de mer » est souvent évoqué, retardant la prise en charge thérapeutique et l'oxygénothérapie.

On retrouve souvent un contexte de plongée saturante, de plongées itératives, de profil « ascenseur » avec vitesses de remontée rapides près de la surface, de fatigue,...

Ces accidents sont en général isolés, mais peuvent parfois s'intégrer dans le contexte d'un accident de plongée neurologique, venant compléter le tableau.

Une exploration secondaire audio-vestibulaire confirme une hypovalence vestibulaire unilatérale à l'épreuve calorique, associée parfois à une perte auditive perceptive du même côté par atteinte cochléaire concomitante, mais ces explorations ne sont le plus souvent pas effectuées initialement, étant donné le contexte d'urgence.

➤ Traitement :

(1) Sur le bateau :

- Oxygénothérapie immédiate : 10 à 12 l/min avec masque à haute concentration ;
- Faire boire, si possible, mais souvent impossible (vomissements) ;
- Aspirine : 250 à 350 mg ;

(2) Médicalisation du transfert :

- Poursuite ininterrompue de l'oxygénothérapie ;
- Perfusion avec remplissage par Ringer-Lactate, Hydroxyéthylamidon ;
- Perfusion de vasoactifs ;
- Corticoïdes à forte dose ;
- Héparine de bas poids moléculaire à visée antihypercoaguabilité ;

(3) Oxygénothérapie Hyperbare (OHB) :

- Application des protocoles de traitement des accidents décompression en utilisant les tables de recompression spécifiques (effectuées dans un caisson hyperbare). Hospitalisation et poursuite du traitement médical, ainsi que des séances d'OHB pour lutter contre l'anoxie cellulaire les jours suivants (1 à 2 séances).

➤ Evolution :

Le plus souvent, récupération vestibulaire souvent excellente, plus ou moins rapide. La récupération fonctionnelle est en général bonne et les séquelles exceptionnelles à distance. Mais, parfois, les explorations paracliniques montrent des anomalies résiduelles qui sont masquées par la compensation centrale.

La reprise de la plongée sera possible théoriquement 6 mois après un tel accident de décompression, mais le problème de l'aptitude se pose si des séquelles existent aux explorations complémentaires.

En cas d'atteinte cochléaire associée, la restitution n'est pas toujours totale.

D. EFFETS DE LA PLONGEE SOUS MARINE SUR L'AUDITION

Pour étudier les effets de la plongée sous-marine en bouteille sur l'audition, j'ai procédé à une étude expérimentale sur le court terme où je réalisais une anamnèse, une otoscopie puis une audiométrie tonale liminaire uniquement (faute de temps et de matériel nécessaire à proximité des lieux de plongée) juste avant puis juste au retour de la plongée en prenant deux types de plongeurs différents :

- les plongeurs loisirs expérimentés ou non, réalisant une plongée d'exploration à l'air (20% d'oxygène, 79% d'azote et 1% de gaz rares) dans laquelle il n'y avait pas de « yoyo » à faire (c'est-à-dire, que ces plongeurs ne descendaient pas et ne remontaient pas plusieurs fois successivement lors de leur plongée). Pour cela, je me rendais dans le club « AU MARIN PLONGEUR » à la SEYNE SUR MER dans le Var (83) où Pascale LESCURE la directrice du club que je remercie, me laissait une pièce au calme pour réaliser les audiométries.

J'ai pu réaliser des audiométries tonales en conduction osseuse et aérienne avec un pas de 5 dB (cf annexe 2). Pour réaliser ces mesures, j'utilisais un audiomètre portable « SYMPHONY OTOVATION » que le fournisseur WIDEX m'a gracieusement prêté. Après avoir étudié ces 15 cas, je n'ai constaté aucune différence d'audiométrie en conduction osseuse c'est pour cette raison que je ne fais figurer que les résultats obtenus en conduction aérienne (annexe 3).



Figure II-19 Audiomètre Symphony Otovation [22]

Lors de 3 week-ends successifs j'ai ainsi pu tester 15 plongeurs loisirs :

- 6 femmes et 9 hommes
- âgés de 27 à 75 ans dont la moyenne d'âge est de 46 ans.
- avec des paramètres de plongée différents au niveau :
 - de la profondeur (variant de 13 mètres de profondeur à 40 mètres),
 - de la durée (variant de 29 à 62 minutes), et des palliers de décompression effectués.
- allant du plongeur débutant (qui n'a effectué que 3 plongées uniquement) au plongeur confirmé qui a 3500 plongées à son actif.

- **les plongeurs professionnels** qui sont instructeurs à l'école militaire de plongée de Saint-Mandrier dans le Var. Durant l'expérimentation, ces plongeurs réalisaient des plongées dites « yoyo » où ils descendaient à 18 mètres puis remontaient à la surface 6 fois durant la plongée (pour les exercices donnés à leurs élèves). De même, ces plongeurs plongeaient au Nitrox à 30% et avaient tous les mêmes paramètres de plongée. J'ai réalisé ces audiométries tonales en conduction aérienne dans la cabine audiométrique de l'infirmerie de l'école en collaboration avec les médecins et infirmiers hyperbares (cf annexe 3).

J'ai ainsi pu tester 10 plongeurs instructeurs durant ces 5 demi-journées :

- 10 hommes
- âgés entre 28 et 43 ans dont la moyenne d'âge est de 33ans
- ayant tous les mêmes paramètres de plongée (temps, durée, palliers...)



Saint-Mandrier
Plongée

II-20 Logo de l'école de plongée militaire de Saint Mandrier

- Pour étudier sur le long terme les effets de la plongée sur le système auditif, je me suis aidée de la littérature car les dossiers médicaux des « vieux plongeurs » que l'on pouvait me laisser consulter n'étaient pas renseignés de l'élément majeur à savoir si le plongeur était soumis à du bruit dans sa profession ou dans sa vie privée.

1. Différence d'audition observée avant et après une seule plongée de façon expérimentale (annexe 3)

a) Plongeurs professionnels et plongeurs loisirs confondus (au total, 25 plongeurs, soit 50 oreilles testées)

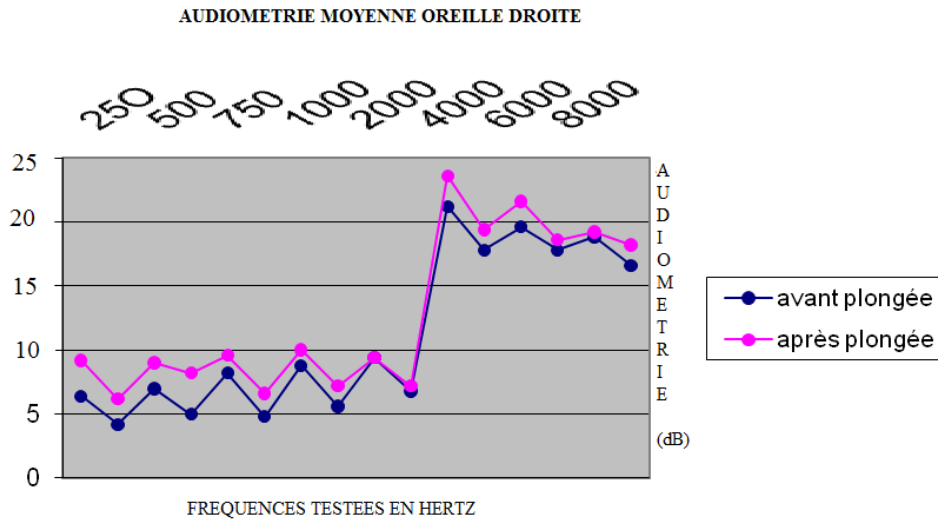


Figure II-21 Relevé graphique des mesures effectuées précédemment

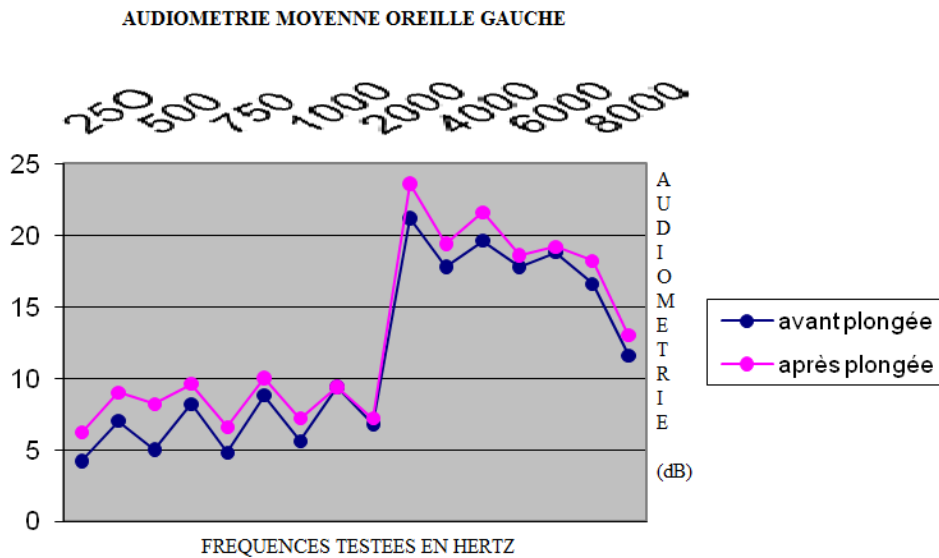


Figure II-22 Relevé graphique des mesures effectuées précédemment

Au vue de ces résultats, on ne constate pas de différence significative entre l'oreille droite et l'oreille gauche. Les résultat observés sont similaires. Pour la suite de cette étude, nous traiterons alors l'oreille droite et gauche ensemble.

Cependant, il est à noter une baisse importante d'audition de façon générale à partir du 4000 Hertz pour tous les plongeurs confondus pour laquelle je n'ai pas trouvé d'explications théoriques pour le moment.

Différence d'audiométrie obtenue avant et après la plongée tout type de plongeurs confondus

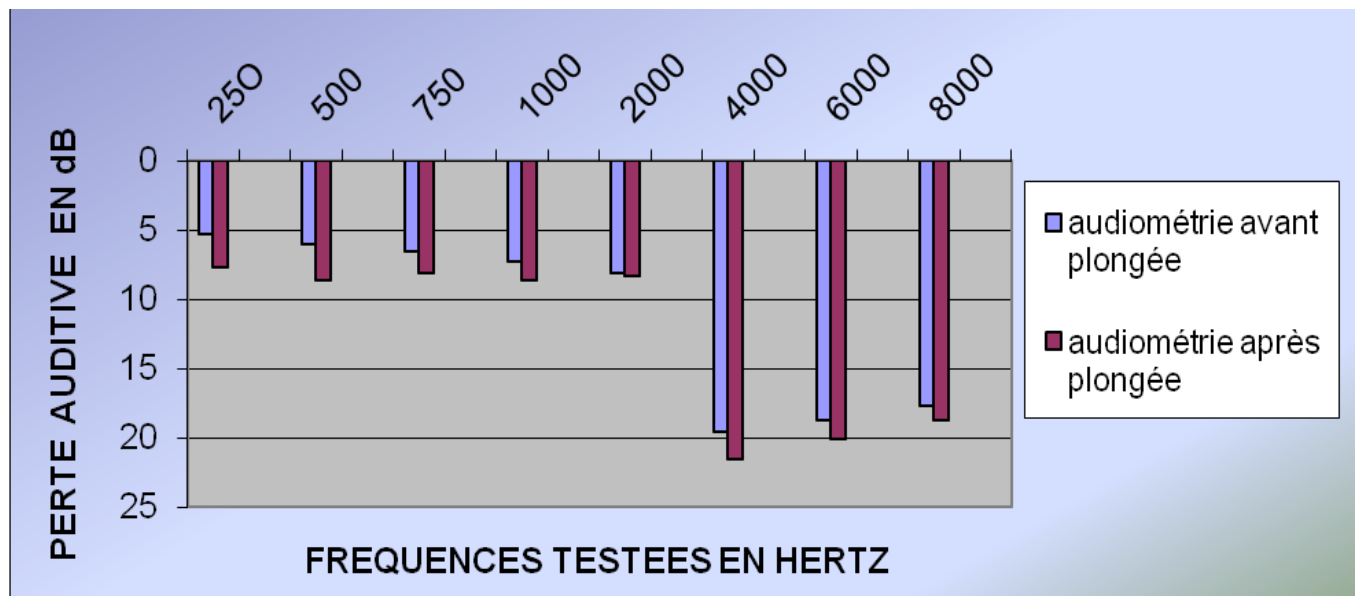


Figure II-23 Relevé graphique des mesures effectuées précédemment

Nous constatons de façon globale sur ces 50 oreilles testées une légère diminution d'audition (entre 1 et 3 dB de perte auditive à la sortie de la plongée) à peine perceptible et relativement uniforme pour toutes les fréquences testées.

b) Plongeurs loisirs (au total, 15 plongeurs)

Différence d'audiométrie obtenue avant et après la plongée
sur les plongeurs loisirs

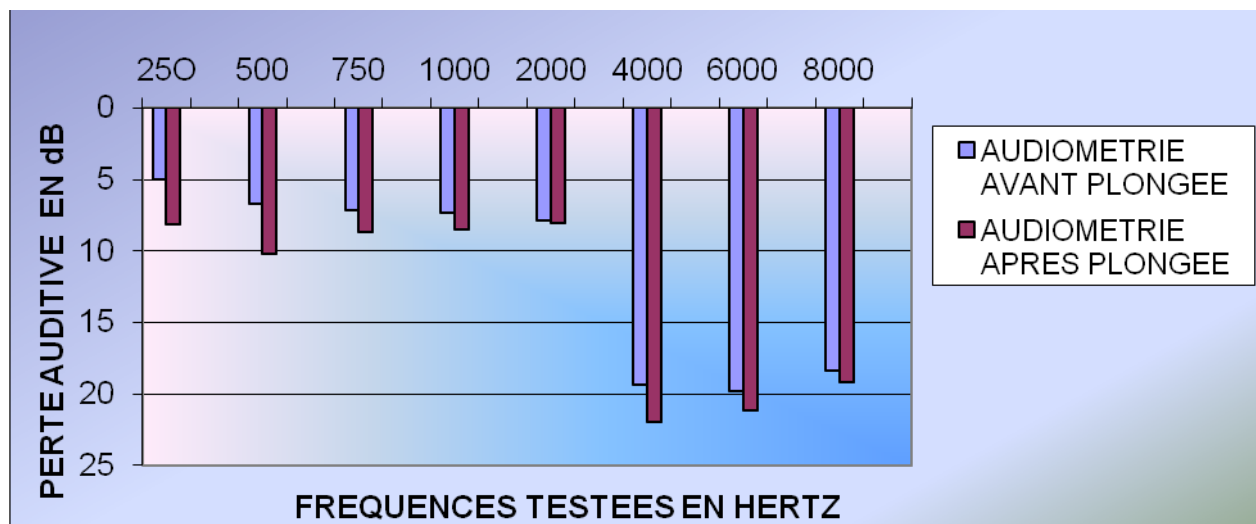


Figure II-24 Relevé graphique de mes mesures effectuées précédemment

Pour cette catégorie de plongeurs, nous constatons de façon globale sur ces 30 oreilles testées une légère diminution d'audition cependant légèrement plus importante que celle obtenue avec tous les types de plongeurs confondus. Cela pourrait être expliqué vraisemblablement par un moins bon fonctionnement de la trompe d'Eustache en ambiance hyperbare pour ces plongeurs moins expérimentés de façon générale que les plongeurs professionnels (du fait que l'on ait écarté un problème lié à l'oreille externe par l'otoscopie : absence d'ostéomes pour tous ces plongeurs ainsi que d'eau dans le conduit).

c) Plongeurs professionnels (au total 10 plongeurs)

Différence d'audiométrie obtenue avant et après la plongée
chez les plongeurs professionnels

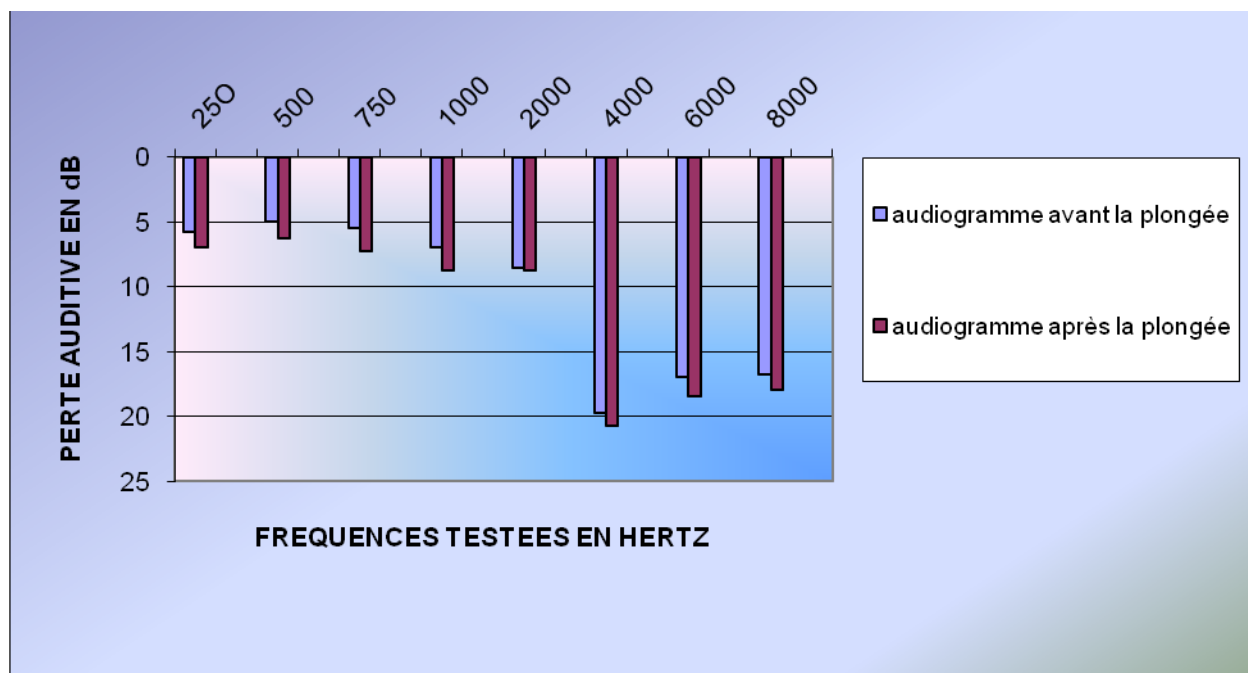


Figure II-25 Relevé graphique de mes mesures effectuées précédemment

Pour cette catégorie de plongeur, nous constatons de façon globale sur ces 20 oreilles testées une légère diminution d'audition cependant légèrement moins importante que celle observée chez les plongeurs loisirs. Le fait que la trompe d'Eustache de ces plongeurs soit plus habituée au milieu hyperbare pourrait peut être expliquer cette baisse d'audition moins importante dans cette catégorie de plongeurs. En effet, les muscles péristaphylins de la trompe d'Eustache sont plus toniques ce qui expliquerait l'ouverture de celle-ci et permettrait un meilleur dosage conscient de l'effort de pression à exercer pour obtenir l'équilibration des pressions lors de la plongée.

De même, deux des oreilles testées dans cette population de plongeurs présentaient des ostéomes avec inévitablement de l'eau qui restait dans le CAE après la plongée. Sur ces deux oreilles testées, nous avons constaté, une perte d'audition en conduction aérienne relativement importante après la plongée. (entre 5 à 10 dB HL en fonction des fréquences testées). Sur le reste de cette population testée, il n'y avait quasiment aucune différence constatée pour toutes les fréquences testées. De ces observations nous constatons que la présence d'ostéomes amplifie la perte d'audition en conduction aérienne après la plongée de façon significative.

Différence de perte observée entre les plongeurs loisirs et professionnels

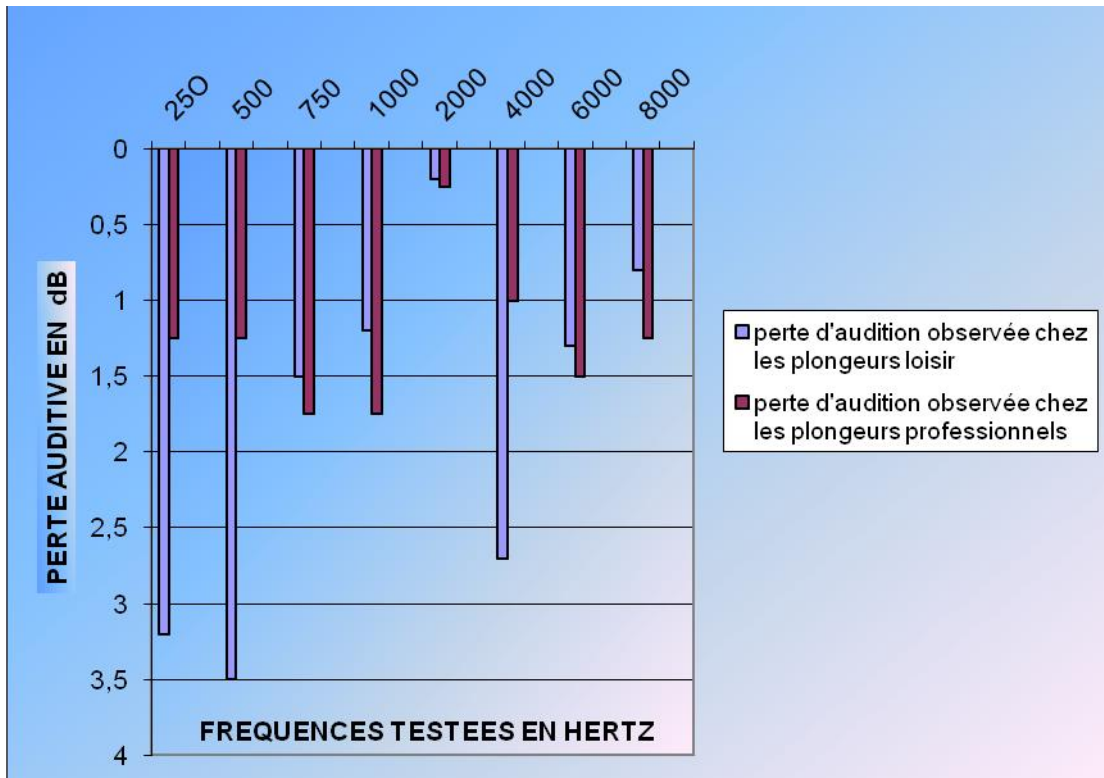


Figure II-26 Relevé graphique de mes mesures effectuées précédemment

Nous observons une perte d'audition après la plongée plus marquée chez les plongeurs loisirs que professionnels sur les fréquences 250, 500 et 4000 Hertz.

Le fait que la trompe d'Eustache des plongeurs loisirs soit moins habituée au milieu hyperbare (c'est-à-dire à équilibrer les pressions) pourrait peut être expliquer cette baisse d'audition plus importante observée chez ces plongeurs.

2. Les effets au long cours de la plongée sur l'audition

Les trois parties de l'oreille peuvent être concernées :

a) L'oreille externe

Elle est le siège d'exostoses au niveau de la partie moyenne du conduit auditif externe. Ces exostoses sont généralement asymptomatiques. Lorsqu'elles gênent l'élimination du cérumen, des squames épidermiques et retiennent l'eau au contact du tympan, elles favorisent les otites externes à répétition.

En cas d'obstruction quasi complète elles sont responsables d'une surdité de transmission de 20 à 30 dB.

b) L'oreille moyenne

Si l'équipression est obtenue lors des phases de descente et de remontée, il n'y a pas de retentissement de la plongée sous-marine au long cours sur l'oreille moyenne. C'est en fait la répétition de micro-barotraumatismes quasi asymptomatiques qui est responsable d'une véritable maladie de l'oreille moyenne des plongeurs dont la perméabilité tubaire est limitée.

Sur le long terme, des modifications tympaniques apparaissent avec des tympons hétérogènes, épaissis, peu mobiles, mats, plus ou moins rétractés. Parfois on peut trouver des hyperlaxités tympano-ossiculaires qui sont responsables de barotraumatismes de l'oreille interne par « coups de piston » notamment lors de plongées « yoyo ».

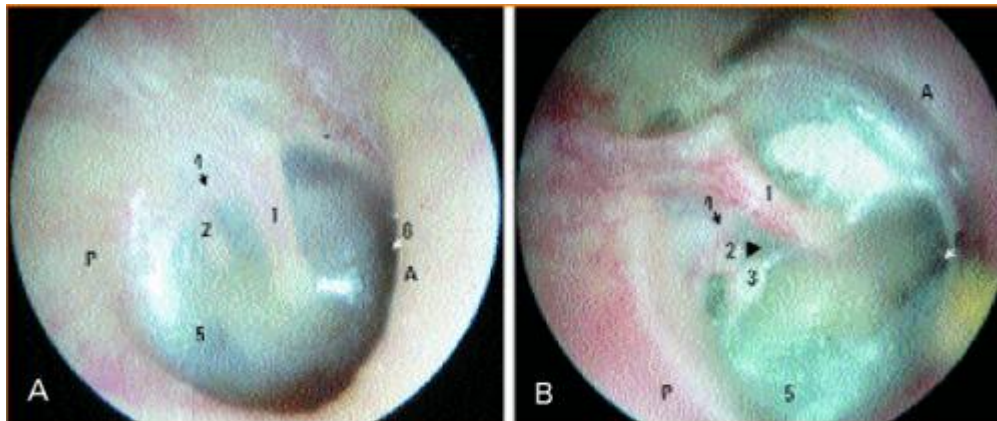


Fig. 1. Aspect de la membrane tympanique et des structures de la caisse visibles en transparence.
A. Il s'agit d'un tympan normal ; B. La membrane tympanique est rétractée, accolée à la longue apophyse de l'enclume dont la partie distale est nécrosée, sans contact avec la tête de l'étrier (tête de flèche).
(P = postérieur ; A = antérieur ; 1 = manche du marteau ; 2 = longue apophyse de l'enclume ; 3 = tête de l'étrier ; 4 = chorda tympani ; 5 = niche de la fenêtre ronde ; 6 = trompe d'Eustache).

Figure II-27 Aspect d'un tympan normal et d'un tympan ayant souffert de barotraumatismes répétés [19]

c) L'oreille interne

Nous ne parlerons, que de l'oreille interne hors accident.

➤ La cochlée

Des études effectuées par BRADY, EDMONDS et FREEMAN [1] ont été réalisées sur une population de non plongeurs et de plongeurs. Certaines de ces études, ont incriminé la plongée dans une atteinte neurosensorielle de l'audition marquée par un déficit auditif dans les fréquences aiguës. A l'inverse, d'autres études ne trouvent aucune différence significative par rapport à un groupe témoin.

Les études menées par PENY [1] montrent statistiquement que les plongeurs soumis occasionnellement ou régulièrement aux bruits impulsionnels (tir au fusil) ou continus (bruits industriels, mécaniciens de marines...) ont statistiquement une cochlée fragilisée et une presbycusie précoce. On observe uniquement pour cette population de plongeurs professionnels, une perte auditive sur les fréquences aiguës, hautement corrélée avec le nombre de plongée. Ainsi il faut informer les plongeurs, exposés aux bruits industriels qu'ils ont donc deux facteurs de risque, et que leur oreille interne doit être particulièrement surveillée et protégée.

En fait, le déficit auditif pourrait surtout être la conséquence d'une exposition aux nuisances sonores professionnelles lors de la mise en pression dans les caissons hyperbares, de l'utilisation directement liée à l'usage d'outils sous marins, de tirs au fusil... Ainsi, il n'y a pas de surdité de perception directement liées à la pratique de la plongée sous marine pratiquée sans accidents ; c'est ce qu'affirme le Dr PENY après surveillance audiométrique pendant 5 à 10 ans de 273 plongeurs de la Marine Nationale.

Pour résumer : la plongée sous marine, pratiquée sans accident, ne rend pas sourd.

➤ L'appareil vestibulaire

Le suivi électro-nyctagmographique (ENG) de 50 plongeurs de la MARINE Nationale pendant 6 ans a permis de retrouver certaines anomalies constatées de longue date, non systématiques, surtout qualitatives, ayant tendance à la stabilisation voire à l'amélioration. Les sujets à électro-nyctagmographie ENG « limites », ne font pas plus d'accidents vestibulaires que les autres.

Ces anomalies infracliniques retrouvées dans d'autres études doivent être considérées comme banales chez le plongeur et représentent pour certains une adaptation à la plongée. Le développement récent de nouvelles technologies d'exploration de l'équilibre et du labyrinthe (posturographie, potentiels évoqués otolithiques) devrait permettre de progresser sur la connaissance de l'appareil de l'équilibre du plongeur.

III. PREVENTION – SECURITE – ASPECT MEDICO LEGAL – REGLEMENTATION

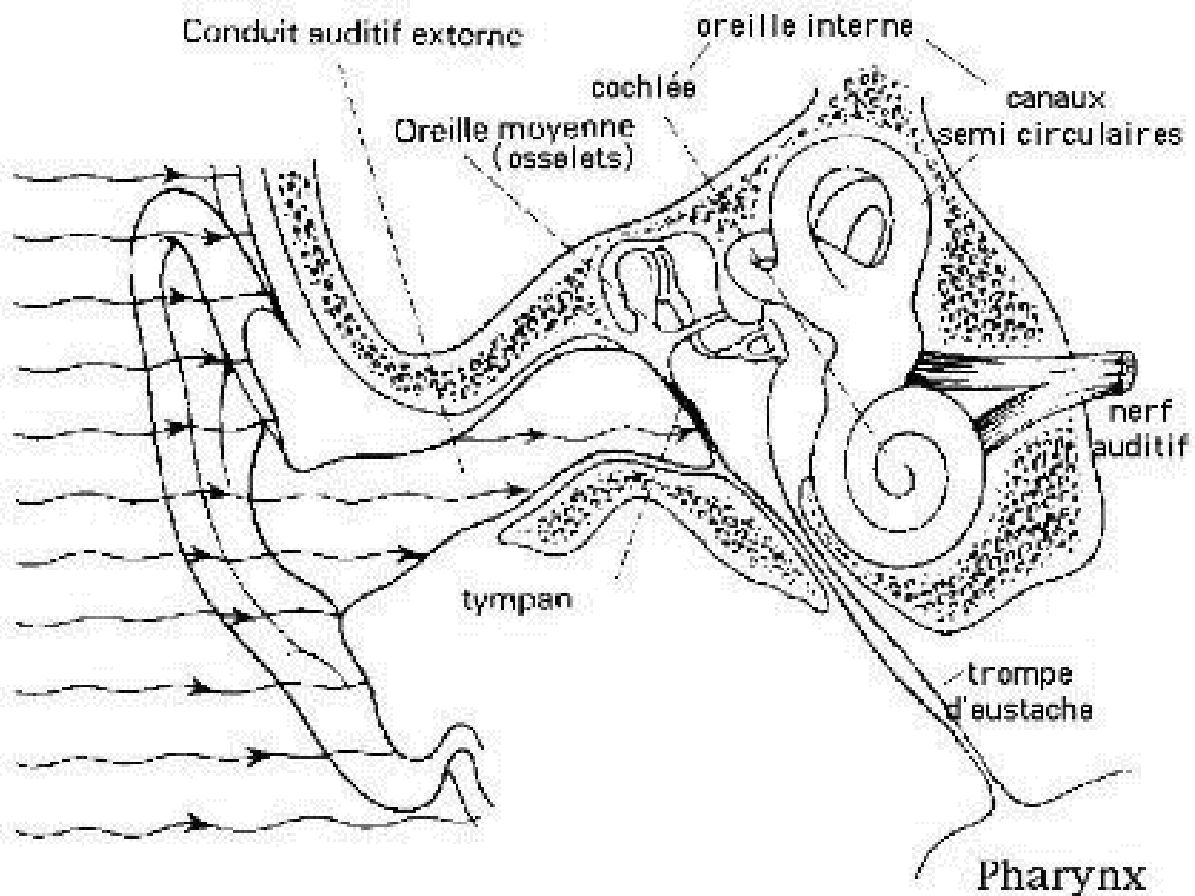


Figure III-1 Schéma de l'oreille et des mécanismes pressionnels [19]

A. EXAMEN DE NON CONTRE-INDICATION A LA PLONGÉE [18]

L'examen de non contre-indication à la pratique de la plongée est une consultation qui prend beaucoup de temps. L'interrogatoire constitue un temps capital dans la consultation. Le praticien devra bien connaître les contre-indications fédérales et faire remplir la fiche de renseignements au futur plongeur.

L'examen clinique classique organe par organe sera complété (pour les plongeurs loisirs et professionnels) par :

- Une otoscopie avec manœuvre de Valsalva,
- Une évaluation simple de l'acuité visuelle,
- Un audiogramme tonal liminaire,
- Un électro-cardiogramme (ECG).

A ces examens, seront ajoutés pour les plongeurs professionnels :

- Une radiographie des poumons,
- Un test spirotechnique mesurant la capacité des poumons,
- Un électroencéphalogramme,
- Un bilan sanguin,
- Une aptitude à 30 mètres dans un caisson hyperbare.

Au terme de cette visite en cas de contre-indication, le patient peut demander un avis auprès de la commission régionale des médecins fédéraux voire de la commission nationale.

➤ Exemple de certificat médical type pour les plongeurs loisirs [18]

« Je soussigné Docteur

Médecin diplômé de médecine subaquatique Médecin fédéral n°
 Médecin du sport (**qui ne peut pas signer ce document s'il s'agit d'un enfant de 8 à 14 ans qui n'est pas Niveau 1, d'un plongeur handicapé ou pour la reprise de la plongée après un accident de plongée**)
Certifie

| | |
|-----------------------|--------|
| Avoir examiné ce jour | |
| Nom : | Prénom |
| Né(e) le | |
| Demeurant | |

| |
|--|
| Ne pas avoir constaté ce jour, sous réserve de l'exactitude de ses déclarations, de contre-indication cliniquement décelable : |
| <input type="checkbox"/> à la pratique de l'ensemble des activités fédérales de loisir |
| <input type="checkbox"/> à la pratique des activités fédérales de loisir suivantes : |
| <input type="checkbox"/> à l'enseignement et à l'encadrement de la plongée |
| <input type="checkbox"/> à la préparation et à la présentation du brevet suivant : |

| |
|---|
| Que l'enfant désigné ci-dessus a bénéficié des examens prévus par la réglementation FFESSM et qu'il ne présente pas à ce jour de contre-indication clinique à la pratique : |
| <input type="checkbox"/> de la plongée subaquatique avec scaphandre |
| <input type="checkbox"/> de l'ensemble des activités fédérales de loisirs à l'exception des activités indiquées ci-dessous : |
| Pour la surveillance médicale des enfants de 8 à 12 ans, je préconise la périodicité suivante : |
| <input type="checkbox"/> 6 mois <input type="checkbox"/> 1 an |
| <input type="checkbox"/> Que l'enfant désigné ci-dessus ne présente pas de contre-indication au surclassement pour la discipline suivante : |

| |
|--|
| Ne pas avoir constaté ce jour, sous réserve de l'exactitude de ses déclarations : |
| <input type="checkbox"/> de contre-indication à l'ensemble des compétitions fédérales |
| <input type="checkbox"/> de contre-indication aux compétitions dans la discipline suivante : |

Remarques éventuelles :

Fait à _____ le _____ Signature et cachet

Nombre de case(s) cochée(s) : (obligatoire)

Le présent certificat, valable 1 an sauf maladie intercurrente ou accident de plongée, est remis en mains propres à l'intéressé(e) qui a été informé(e) des risques médicaux encourus notamment en cas de fausse déclaration. »

B. CONTRE-INDICATIONS A LA PLONGÉE EN SCAPHANDRE AUTONOME DE LA F.F.E.S.S.M [18]

**« Commission Médicale et de Prévention Nationale de la F.F.E.S.S.M.
mise à jour en février 2007**

Cette liste est indicative et non limitative.

Les problèmes doivent être abordés au cas par cas, éventuellement avec un bilan auprès d'un spécialiste, la décision tenant compte du niveau technique (débutant, plongeur confirmé ou encadrant).

En cas de litige, la décision finale doit être soumise à la Commission Médicale Régionale, puis en appel à la Commission Médicale Nationale.

| | Contre-Indications Définitives | Contre-Indications Temporaires |
|-------------------------------|--|---|
| Cardiologie | Cardiopathie congénitale Insuffisance cardiaque symptomatique Cardiomyopathie obstructive Pathologie avec risque de syncope Tachycardie paroxystique BAV II ou complet, non appareillés Shunt D-G découvert après un accident de décompression à symptomatologie cérébrale ou cochléo-vestibulaire | Hypertension artérielle non contrôlée Infarctus récent et angor Péricardite Traitement par anti-arythmique Traitement par bêtabloquants par voie générale ou locale : à évaluer (*) |
| Oto-Rhino-Laryngologie | Cophose unilatérale Evidement pétromastoïdien Ossiculoplastie Trachéostomie Laryngocèle Déficit audio bilatéral à évaluer par audiométrie Otospongiose opérée | Episode infectieux Polypose nasosinusienne Obstruction tubaire Syndrome vertigineux Perforation tympanique |
| Pneumologie | Insuffisance respiratoire Pneumopathie fibrosante Vascularite pulmonaire Asthme à évaluer (*) Pneumothorax spontané ou maladie bulleuse, même opérés | Pathologie infectieuse Pleurésie Traumatisme thoracique |

| | | |
|---|---|--|
| | Chirurgie pulmonaire | |
| Ophthalmologie | Pathologie vasculaire de la rétine, de la choroïde ou de la papille kératocône Prothèse ou implant creux | Chirurgie du globe oculaire sur 6 mois, y compris laser Détachement rétinien |
| Neurologie | Epilepsie Syndrome déficitaire sévère Pertes de connaissance itératives Effraction méningée neuro-chirurgicale, ORL ou traumatique | Traumatisme crânien grave à évaluer |
| Psychiatrie | Affection psychiatrique sévère Infirmité Motrice Cérébrale Ethylisme chronique | Traitement antidépresseur, anxiolytique, par neuroleptique ou hypnogène Alcoolisation aiguë |
| Hématologie | Thrombopénie périphérique Thrombopathies congénitales Phlébites à répétition, troubles de la crase sanguine découverts lors du bilan d'une phlébite hémophiles : à évaluer (*) | Phlébite non explorée |
| Gynécologie | | Grossesse |
| Métabolisme | Diabète traité par insuline : à évaluer (*) Diabète traité par antidiabétiques oraux (hormis biguanides) | Tétanie / Spasmophilie |
| | Troubles métaboliques ou endocriniens sévères | |
| Dermatologie | Différentes affections peuvent entraîner des contre-indications temporaires ou définitives selon leur intensité ou leur retentissement pulmonaire, neurologique ou vasculaire | |
| Gastro-Entérologie | manchon anti-reflux | Hernie hiatale ou reflux gastro-oesophagien à évaluer |
| Toute prise de médicament ou de substance susceptible de modifier le comportement peut être une cause de contre-indication | | |
| La survenue d'une maladie de cette liste nécessite un nouvel examen | | |
| Toutes les pathologies affectées d'un (*) doivent faire l'objet d'une évaluation, et le certificat médical de non-contre-indication ne peut être délivré que par un médecin fédéral | | |
| La reprise de la plongée après un accident de désaturation, une surpression pulmonaire, un passage en caisson hyperbare ou autre accident de plongée sévère, nécessitera l'avis d'un Médecin Fédéral ou d'un médecin spécialisé selon le règlement intérieur de la C.M.P.N. ; ce certificat médical devra être visé par le Président de la Commission Médicale Régionale. » | | |

III-2 Tableau rédigé par la Commission Médicale et de Prévention Nationale de la F.F.E.S.S.M [18]

C. LA CONSULTATION O.R.L. de NON-CONTRE-INDICATION [19]

1. Les contre indications ORL

définitives

- otite chronique suppurée
- otospongiose opérée
- surdité unilatérale totale
-  videment r tromasto dien (cholestéatome)
- laryngoc le
- déficit audiométrique bilatéral
- tympanoplastie, ossiculoplastie

temporaires

- syndrome labyrinthique
- pathologie infectieuse
- polypose nasosinusienne
- obstruction tubaire
- syndrome vertigineux
- perforation tympanique
- malformation nasale

2. La consultation médicale

- **Otoscopie** : intégrité tympanique, mobilité à l'épreuve de Valsalva.
- **Audition** : si altérée => nécessité d'un audiogramme.
- **Examen** :
 -  tat dentaire,
 - sinus,
 - fosses nasales,
 - gorge.
- Une visite médicale spécialisée par un oto-rhino-laryngologiste est souhaitable avec examen du tympan au microscope, réalisation de manœuvres de Valsalva afin d'explorer la perméabilité tubaire, nasofibroscope à l'endoscope souple, tympanogramme et audiogramme, afin de vérifier le bon fonctionnement de l'appareil ORL très sollicité lors de la plongée, et d'autoriser une éventuelle reprise de plongée suite à la survenue d'un accident.

3. Le cas particulier de l'enfant

Nous rappelons que la plongée enfant n'est autorisée qu'au-delà de 8 ans de part l'immaturité de son organisme. Sa capacité à la plongée est réévaluée tous les 6 mois.

Sur le plan ORL, deux pathologies peuvent contre-indiquer la plongée en raison du dysbarisme qu'elles peuvent provoquer : **otite séromuqueuse et maladie allergique**.

Le tympanogramme est obligatoire, et éventuellement : radiographie des sinus et du cavum, exploration fonctionnelle respiratoire, tests allergologiques, bilan audiométrique, plongée simulée en caisson hyperbare.

4. Les moyens d'explorations paracliniques [10]

a) Exploration de l'appareil auditif

Une oreille normale perçoit une gamme de fréquences allant de 16 à 18000 Hertz (Hz) et une intensité de sons allant de 0 décibel (dB) absolu à 120 dB.

(1) L'acoumétrie

➤ à la voix

L'acoumétrie à la voix donne quelques renseignements sur l'audition en chuchotant des mots ou des chiffres à une distance variable de l'oreille.

➤ au diapason

L'acoumétrie au diapason oriente vers une surdité de perception ou de transmission.

(a) **épreuve de latéralisation de Weber**

- Normal : le son n'est pas latéralisé ;
- Surdité de transmission unilatérale : Weber latéralisé du côté atteint ;
- Surdité de perception unilatérale : Weber latéralisé du côté sain.

(b) épreuve de Rinne [10]

Permet de comparer la conduction aérienne (CA) à la conduction osseuse (CO) ; normalement : CA>CO.

- Rinne + : CA>CO : surdité de perception, mais la durée des deux conceptions est diminuée.
- Rinne - : CA<CO : surdité de transmission.

(2) Audiométrie subjective

➤ Audiométrie tonale liminaire

Détermine les seuils auditifs d'un sujet lors de stimulations par des sons purs pour des fréquences allant de 125 à 8000 Hz à l'aide d'un casque.

La CA permet d'étudier tout l'appareil auditif alors que la CO explore uniquement l'oreille interne et les voies nerveuses.

Un audiogramme est considéré comme normal lorsque la CA=CO et qu'elles sont inférieures à 20 dB.

Un audiogramme révèle une surdité de perception lorsque la CA=CO et qu'elles sont supérieures à 20 dB.

Un audiogramme révèle une surdité de transmission lorsque la CA est pathologique et que la CO est normale : il y a un Rinne.

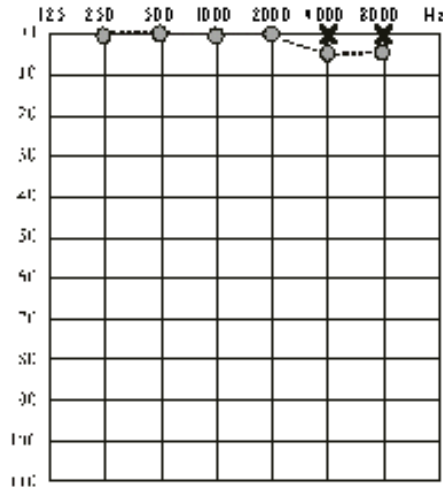
Un audiogramme révèle une surdité mixte lorsque la CA et la CO sont pathologiques et qu'il y a un Rinne avec une CO meilleure que la CA.

Classification de la surdité en fonction de la perte

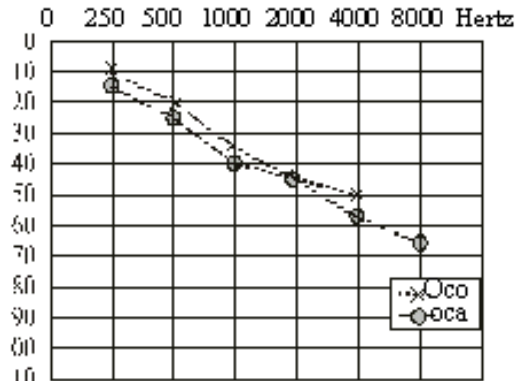
- De 0 à 20 dB : audition subnormale
- De 21 à 40 dB : surdité légère
- De 41 à 70 dB : surdité moyenne
- De 71 à 90 dB : surdité sévère
- de 91 à 120 dB : surdité profonde
- > à 120 dB : surdité totale = cophose

Définir le type de surdité en comparant CO et CA et préciser la perte auditive.

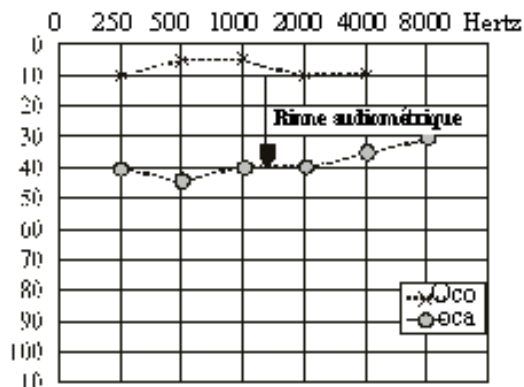
Audiométrie tonale liminaire : principaux types de surdité



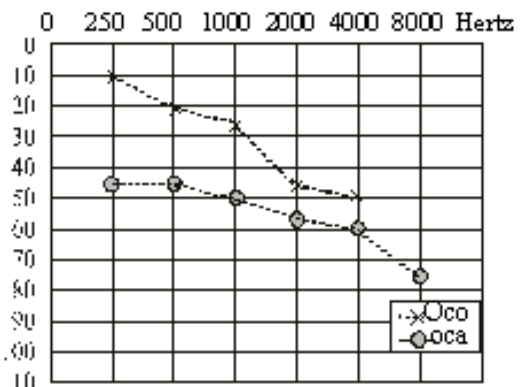
Courbe normale



Hypoacousie de perception



Hypoacousie de transmission



Hypoacousie mixte

III-3 Différents types de surdités rencontrées [10]

➤ Audiométrie vocale

Ce test global apprécie l'intelligibilité de la parole en utilisant des listes de 10 mots de Fournier (en général) à des intensités connues.

(3) Audiométrie objective

(a) L'Impédancemétrie

C'est l'exploration de la compliance du système tympano-ossiculaire.

➤ La tympanométrie

Elle permet d'étudier la mobilité de la membrane tympanique en fonction des variations de pression dans le CAE. Elle évalue donc l'élasticité du tympan, l'état de la chaîne ossiculaire et l'état de la cavité de l'oreille moyenne. Le tympanogramme va regrouper toutes ces données. En abscisse, les variations de pression dans le conduit auditif externe sont enregistrées et en ordonnée la compliance du tympan est représentée.

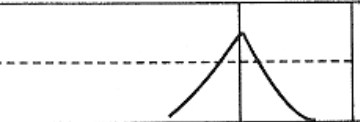
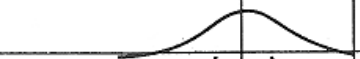
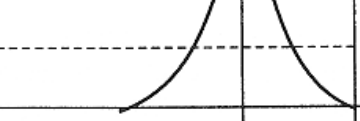
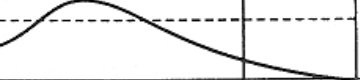
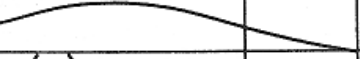
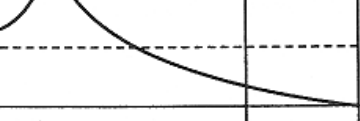
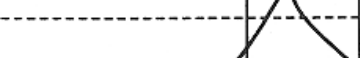
| Tympanogramme | Pression | Compliance | Oreille moyenne |
|---|----------|------------|--|
|  | Normale | Normale | Normale |
|  | Normale | Diminuée | Liquide dans la caisse et/ou tympan épaissi et/ou fixation ossiculaire |
|  | Normale | Augmentée | Tympan flaccide ou chaîne interrompue |
|  | Négative | Normale | Dépression dans l'OM associée à une présence possible de liquide |
|  | Négative | Diminuée | Liquide dans l'OM ou tympan épaissi et/ou chaîne fixée |
|  | Négative | Diminuée | Tympan flaccide ou chaîne interrompue et forte dépression |
|  | Positive | Normale | Pression anormalement positive |

Figure III-4 Différents types de tympanogrammes rencontrés [10]

L'étude du réflexe stapédien

Il s'agit d'un réflexe de protection contre les traumatismes sonores (contraction bilatérale du muscle de l'étrier empêchant sa pénétration brutale dans l'oreille interne).

C'est un réflexe musculaire survenant pour des sons intenses (à partir de 80 dB environ). Il s'agit de la contraction du muscle stapédien qui se poursuit tant que dure le son intense. Cela provoque une limitation de la vibration de l'étrier ce qui protège un peu la cochlée.

Pour faire les réflexes stapédiens il faut mettre le casque sur l'oreille du patient et placer la sonde dans l'autre oreille. L'oreille stimulée est celle qui porte le casque. On place la balance sur 0 et on se met au niveau de l'équipression de l'oreille moyenne (c'est-à-dire à la pression où on observe un pic sur le tympanogramme). Il faut envoyer des sons de plus en plus forts jusqu'à ce que l'on observe un réflexe. Cela est fait pour les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000Hz.

Pour une surdité de perception si les réflexes sont

- Normaux (entre 80 et 95 dB) c'est une atteinte endocochléaire.
- Supérieur à 100 dB, c'est une atteinte rétro cochléaire.

Pour une surdité de transmission si le Rinne est supérieur à 15dB il n'y a normalement pas de réflexes.

Remarque

Lorsque l'on a un doute concernant une éventuelle otospongiose avec une surdité de transmission et un tympanogramme normal, nous pouvons effectuer les réflexes stapédiens. Si ces derniers sont absents, cela sera alors un argument de plus en faveur de cette maladie.

➤ Manométrie tubaire

Utilisée pour vérifier l'état fonctionnel de la trompe d'Eustache, sa perméabilité, en faisant varier la pression.

(b) – Exploration de la fonction vestibulaire

Par vidéonystagmographie (VNG) on recueille les nystagmus par l'intermédiaire d'une caméra à infra-rouge qui capte tous les mouvements de l'oeil.

Cet enregistrement est couplé à un système informatique qui élimine tous les mouvements parasites et permet un comptage précis des nystagmus et de leurs paramètres (durée, fréquence, forme, nombre provoqué par chaque oreille selon le stimulus).

On provoque l'apparition des nystagmus par des épreuves caloriques ou rotatoires.

D. REGLES DE SECURITE A RESPECTER EN PLONGEE

1. Manœuvres d'équilibration (cf annexe 1)

Afin de minimiser les risques d'accidents en plongée, il est nécessaire de respecter certaines règles.

a) Manœuvres tubaires actives et passives [6 ; 18]

Nous aborderons tout d'abord les manœuvres actives, c'est-à-dire celles qui insufflent en pression la trompe d'Eustache et l'oreille moyenne derrière le tympan. Ces manœuvres sont la clé de la plongée, sans elles la descente demeure impossible. Il ne faut pas oublier que près de 80% des accidents de plongée loisir sont relatifs à des problèmes d'oreille, et c'est la trompe d'Eustache qui est au centre des conflits.

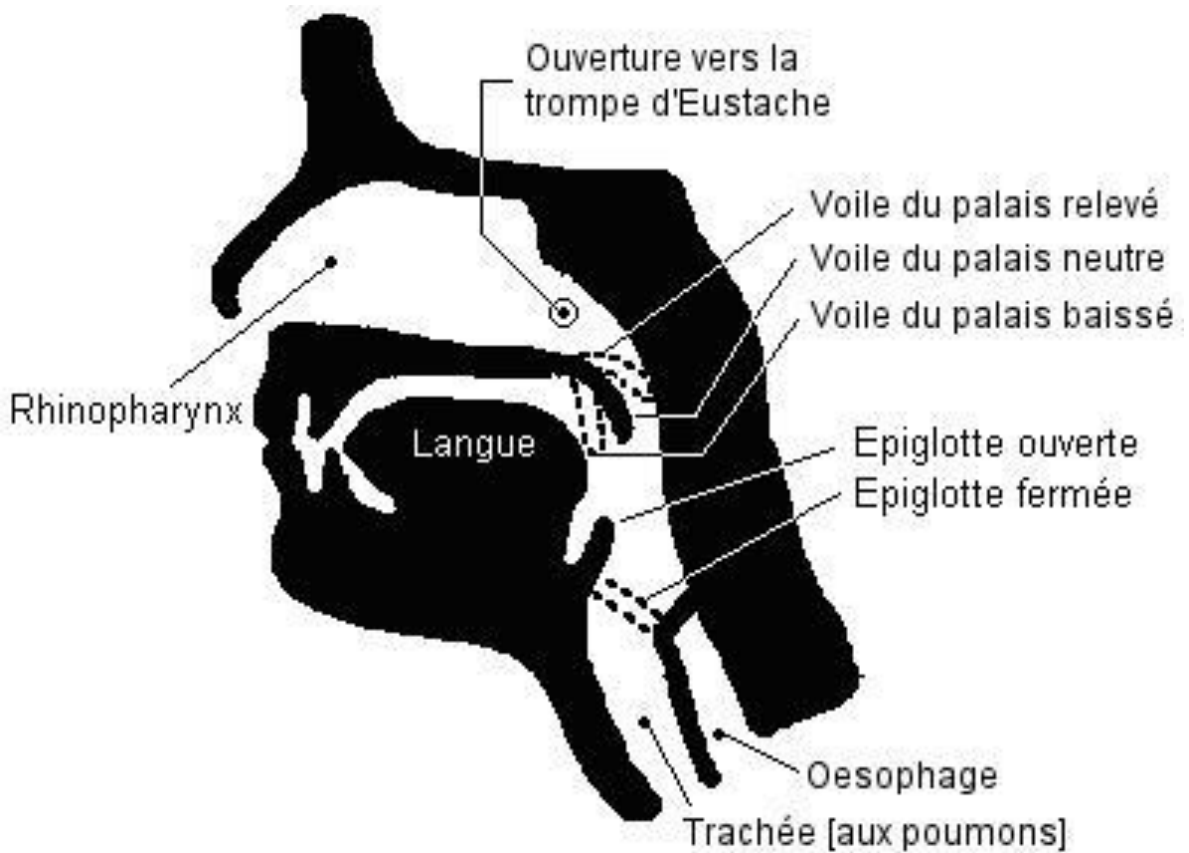


Figure III-5 Schéma de l'appareil supra-laryngé [6]

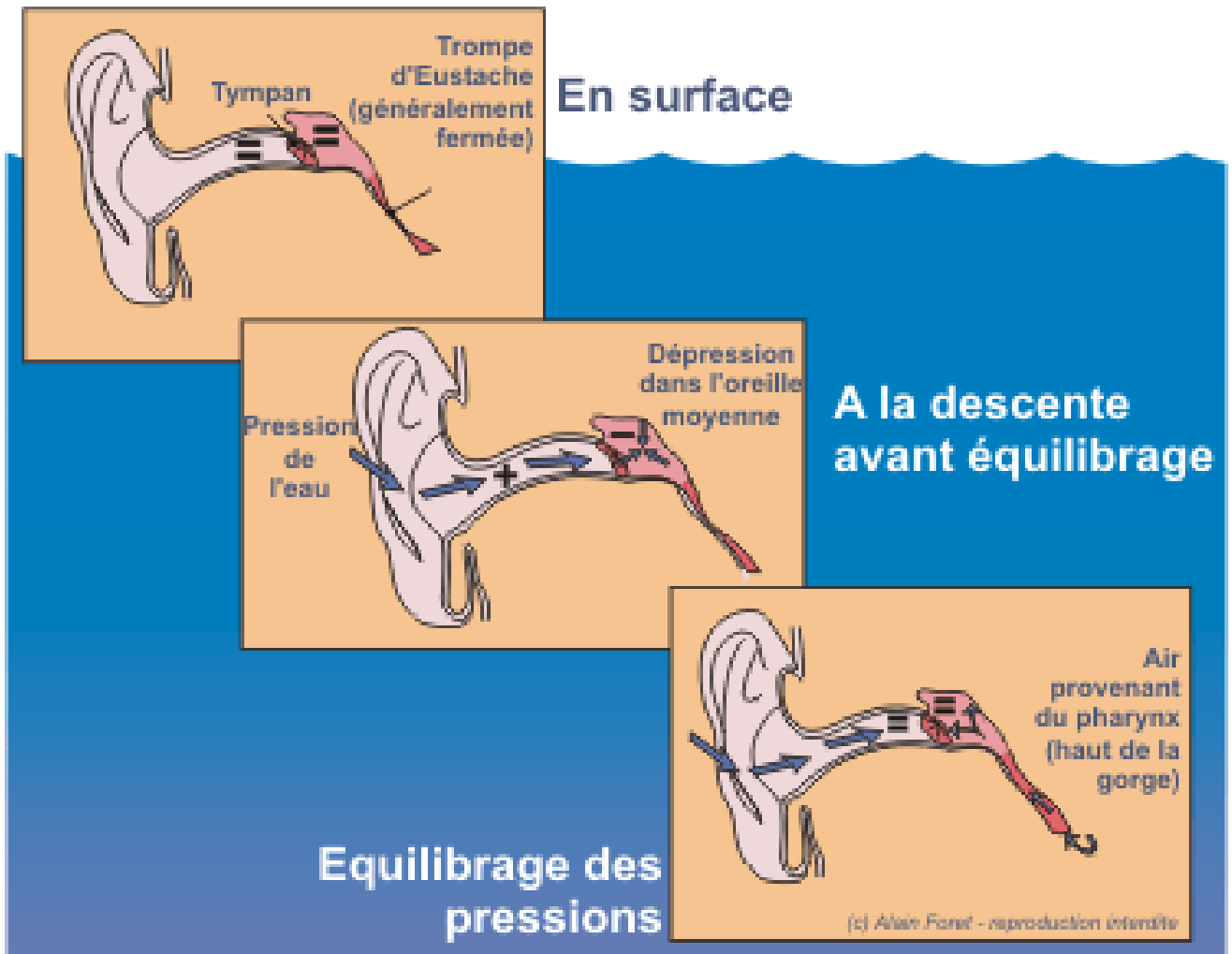


Figure III-6 Manoeuvres d'équilibrage des pressions [6]

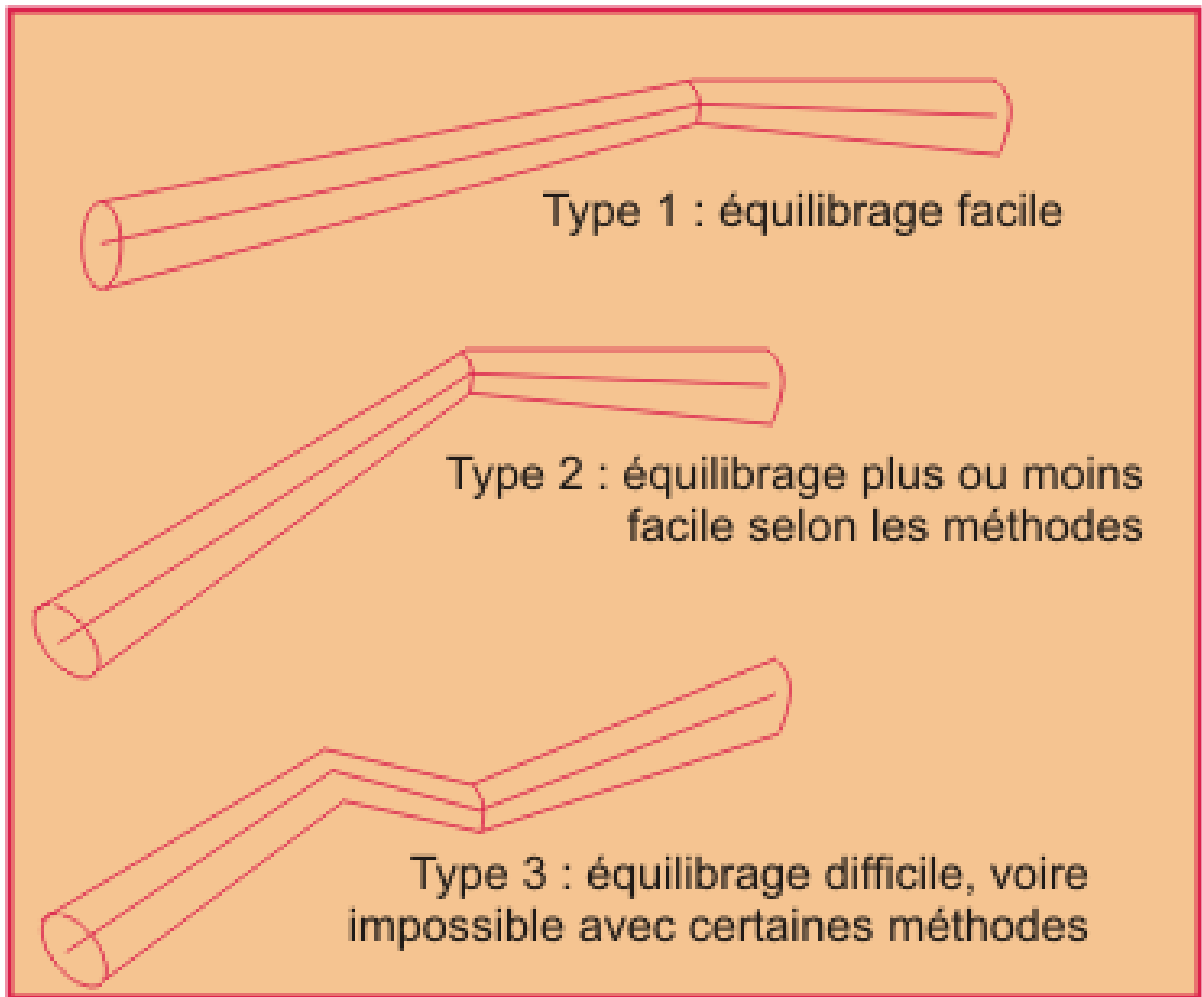


Figure III-7 La plus ou moins grande facilité d'équilibrage des pressions dépend, en partie, de la forme de la trompe d'Eustache [6]

(1) La manoeuvre de Valsalva

- La manoeuvre de Valsalva est la plus connue, elle est largement diffusée car elle est tout simplement plus facile à enseigner en première intention. Elle n'est cependant pas dénuée d'inconvénients pour l'oreille moyenne et l'oreille interne. En effet, des manoeuvres de Valsalva répétées favorisent une turgescence et congestion des tissus naso-pharyngés, ce qui induit au fur et à mesure la nécessité de mettre en jeu une pression de plus en plus importante pour ouvrir la trompe en fonction de la répétition des manoeuvres. Si la descente est trop rapide, ou s'il y a un retard dans les manoeuvres, l'ouverture active de la trompe peut devenir impossible. La trompe va se collaber rendant le passage de l'air impossible... il est préférable de remonter d'un mètre ou deux, plutôt que de forcer inconsidérément sur la manoeuvre.

A retenir : Un Valsalva bien fait est toujours un VALSALVA NON VIOLENT.



Figure III-8 Manoeuvre de Valsalva [6]

Une variante du Valsalva, moins traumatisante, consiste à effectuer un Valsalva avec un nez non pincé. L'expiration nasale d'un coup sec vient alors non pas buter sur le vestibule narinaire mais au niveau de la chambre du masque de plongée qui recouvre le nez. Elle n'apporte pas les dangers du Valsalva et elle est facile à renouveler de nombreuses fois.

Cette technique a l'avantage de ne pas nécessiter la pince des doigts, ce qui est utile quand les mains sont occupées (comme pour les moniteurs, les photographes, certains scaphandriers), et cette manoeuvre n'entraîne pas d'hyperpression thoracique, et réduit notablement les risques d'hyperpression tubo-tympanique. Elle ne peut se faire sans un entraînement préalable et ne convient pas à tout le monde.

(2) La manoeuvre de Frenzel

- La manoeuvre de Frenzel, connue en aéronautique, est délicate à réaliser en plongée avec un détendeur ou un tuba en bouche, elle consiste à produire une hyperpression dans le rhino-pharynx, par rétro-pulsion de la base de langue, à glotte fermée et à nez pincé.



Figure III-9 Manoeuvre de Frenzel [6]

- Il existe des moyens moins toniques : ces moyens vont de la simple déglutition, aux contractions isolées du voile du palais, de la protraction de la mandibule au baillement, cette prise de conscience de la musculature vélo-pharyngée conduit à la Béance Tubaire Volontaire initiée par DELONCA.

Ceci explique le grand intérêt de la gymnastique tubaire qui va faciliter grandement les manoeuvres actives, en leur permettant d'être plus douces (car elles mettent la trompe en disposition favorable d'ouverture). Cf annexe

Ces techniques de rééducation sont précieuses, elles constituent un espoir de solution pour bon nombre de plongeurs qui ont des problèmes de perméabilité tubaire inconstants.

(3) La manoeuvre de Tonybee

- La manoeuvre de Tonybee, est à utiliser lors de la remontée. Elle consiste en une déglutition et une inspiration nasale, nez pincé. Elle crée une dépression au niveau du rhino-pharynx qui favorise l'aspiration de l'air en excès contenu dans l'oreille moyenne. C'est en quelque sorte l'inverse du Valsalva. Cette technique est utile dans certaines situations lors de la remontée en cas d'encombrements de mucosités notamment.

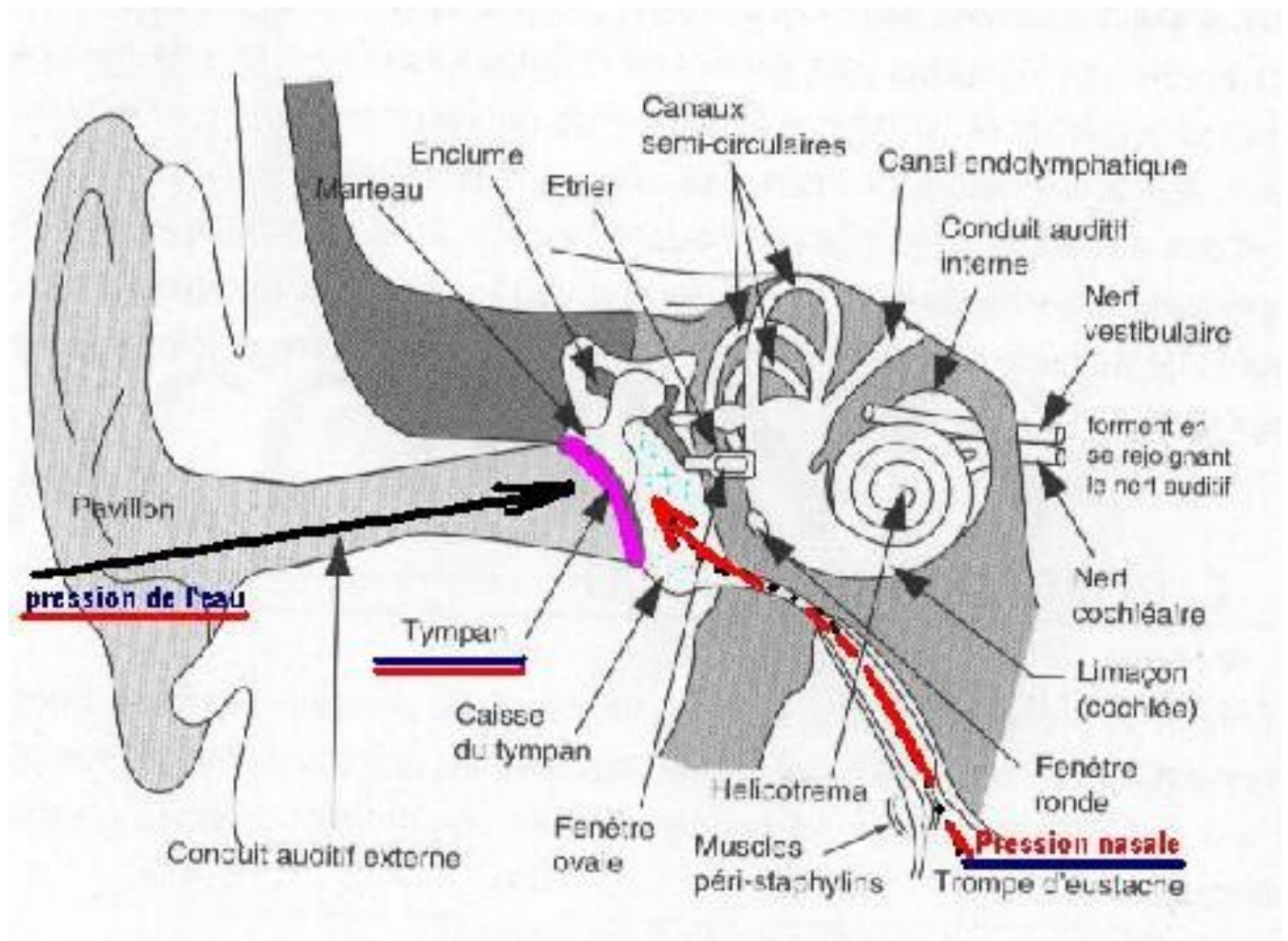


Figure III-10 Observation de la pression exercée par l'eau sur le tympan et la compensation exercée par la mise en pression de l'oreille moyenne à partir de l'oropharynx ; flèche opposée traversant la trompe d'Eustache. [13]

2. Le palier de principe d'une plongée sans incident [6 ; 18]

➤ Principe

Lorsque nous plongeons, notre corps et l'air que nous respirons sont soumis à la pression ambiante. Cet air se dissout donc dans notre corps. L'oxygène sera absorbé par nos tissus, ce qui ne sera pas le cas de l'Azote. La quantité d'azote dissous dépend donc de la profondeur et du temps de plongée.

A la remontée, cet Azote dissous va tendre à la sursaturation, le dégazage aura alors lieu sous forme de bulles dans nos tissus (sang, articulation, os, système nerveux, ...) provoquant de graves dégâts (accident de décompression). Afin d'éviter ce type d'accident, il convient de **ne pas remonter trop vite** et de respecter des **paliers de décompression**.

➤ Les paliers de décompression

Les paliers de décompression sont des arrêts que l'on fait lors de la remontée. Ils permettent d'éliminer une quantité d'Azote suffisante pour éviter la formation de bulles.

➤ La courbe de sécurité

La courbe de sécurité indique, en fonction de la profondeur, le temps maximum plongée sans palier.

| Marine Nationale MN90 | |
|---|-------------|
| 10 m | 5 heures 30 |
| 15 m | 1 heures 15 |
| 20 m | 40 minutes |
| 25 m | 20 minutes |
| 30 m | 10 minutes |
| 35 m | 10 minutes |
| 40 m | 5 minutes |
| Vitesse de remonté : 15 m/min | |
| Vitesse de remontée : vitesse des petites bulles qui remontent a la surface | |

Figure III-11 Courbe de sécurité [6]

Remarques

Il est impératif de connaître une courbe de sécurité (exemple : la courbe de sécurité de plongée à l'air) par cœur.

Par mesure de sécurité, et afin de limiter la fatigue d'après plongée il faut impérativement respecter un palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres (même si nous nous trouvons dans la courbe de sécurité).

➤ Les tables de plongées

Les tables de plongées indiquent, en fonction du temps et de la profondeur maximale atteinte, les différents paliers à respecter.

Il existe plusieurs tables (ffessm, us navy, tables de travail, Bullman, ...). Le principe de calcul de ces tables est toujours à peu près le même : on se base sur un modèle mathématique de saturation logarithmique de plusieurs tissus pour établir un premier jet. Ces valeurs sont ensuite corrigées.

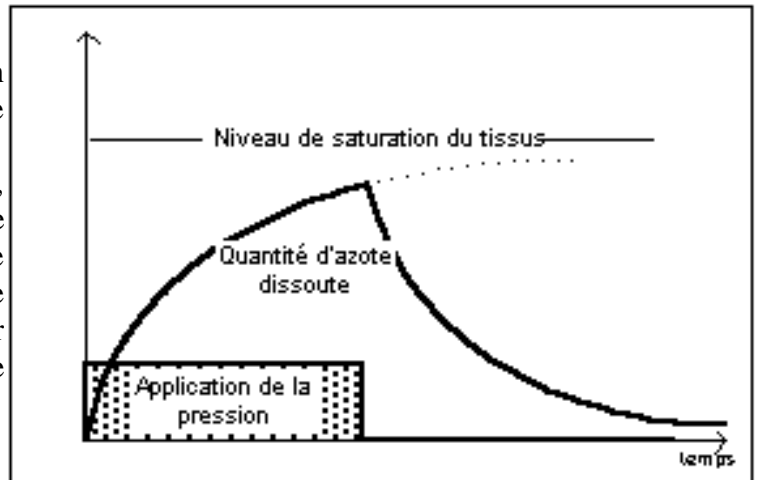


Figure III-12 Principe des tables de plongée [6]

➤ Pour utiliser correctement ces tables il faut en respecter très strictement l'utilisation

- Le temps d'entrée dans les tables est le temps qui s'est écoulé entre le début de la descente et le début de la remontée, arrondi à la valeur supérieure d'entrée dans la table.
- La profondeur à prendre en compte est la profondeur maximum atteinte lors de la plongée (même si ce n'est que quelques instants) arrondi à la valeur supérieure d'entrée dans la table.
- La vitesse de remontée indiquée par la table doit être respectée.

➤ Les ordinateurs de plongée

Le principe des ordinateurs de plongée est de calculer les paliers en fonction du profil réel de la plongée afin d'éviter la pénalisation de la "plongée carrée" des tables. Ils calculent la durée de remontée, les paliers même en cas de plusieurs plongées dans la même journée. Ils savent également indiquer la vitesse de remontée en fonction de la profondeur (puisque en fait c'est la variation de pression qui importe). Certains d'entre eux intègrent même une analyse de la consommation d'air et indiquent le temps d'air disponible et prennent en compte un éventuel essoufflement.

Le choix d'un ordinateur de plongée doit se porter sur un modèle plutôt conservateur (qui indique les temps de palier les plus longs) et qui dispose d'un compartiment (simulation d'un tissu) pour les micro-bulles générées par une remontée trop rapide.

E. CONDUITE A TENIR POUR EVITER LES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION

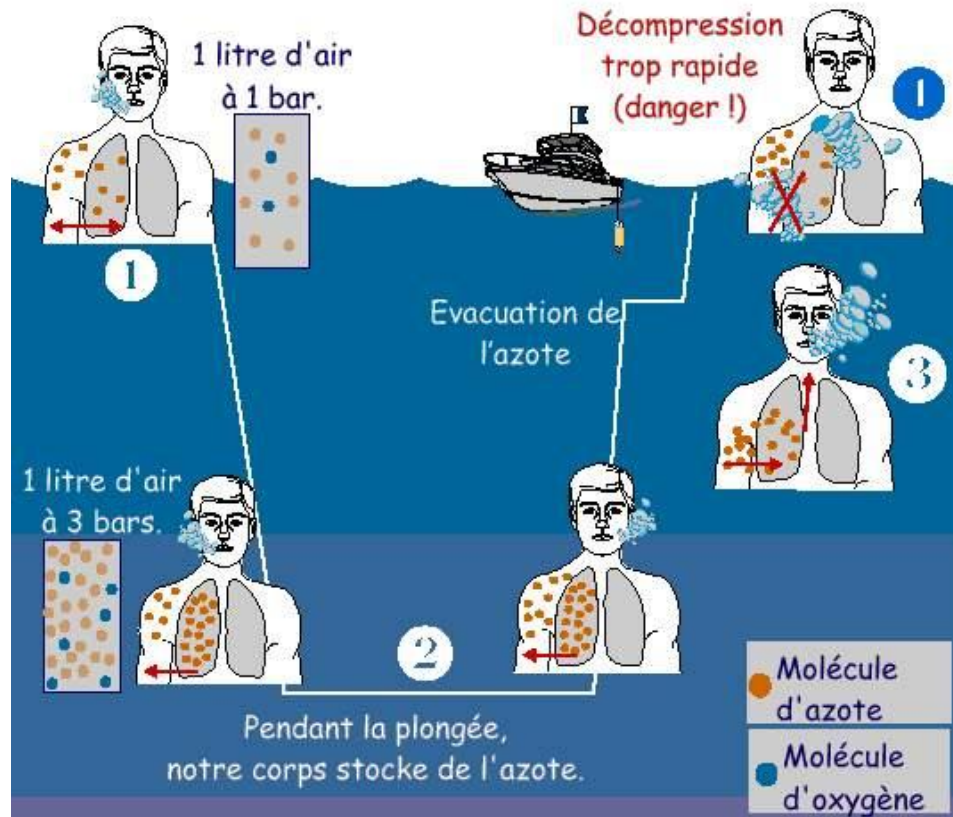


Figure III-13 Mécanisme d'apparition des accidents de décompression [6]

➤ Prévention

- Respecter la vitesse de remontée adéquate selon que l'on utilise les tables ou un ordinateur.
- Respecter les paliers de décompression.
- Plonger en bonne condition physique.
- Ne pas faire d'effort important pendant et après une plongée.
- Ne pas économiser son air, surtout au palier ; il faut éliminer l'azote emmagasiné.
- Ne pas faire d'apnée après une plongée ; l'azote reste en excédent dans l'organisme longtemps après le retour en surface, il faut donc respirer pour l'évacuer.
- Ne pas prendre l'avion après une plongée.
- En cas de successive ou de consécutive, utiliser le même moyen de calcul des paliers que pour la première plongée.
- Plonger avec la même palanquée en cas de successive ou de consécutive.
- Ne pas faire de valsalva ni gonfler le gilet pendant la remontée.

➤ Symptômes

Ils apparaissent en général progressivement après la sortie de l'eau et peuvent survenir plusieurs heures après la plongée.

Voici quelques signes précédant l'accident proprement dit : grande lassitude, angoisse, fourmillements...

Les symptômes et la gravité de l'ADD dépendent de la localisation de la bulle...

Symptômes cutanés

On les appelle "puces" ou "moutons" : démangeaisons, boursoufflures.

Symptômes ostéo-articulaires

On les appelle "bends" : douleurs dans les articulations. Le plus souvent localisés dans les épaules, les genoux ou les hanches, ils peuvent durer plusieurs mois et laisser des séquelles.

Symptômes cardiaques

La bulle est alors coincée dans un vaisseau coronaire qui irrigue le cœur : arythmie, pouvant évoluer vers l'infarctus du myocarde (muscle cardiaque) et la mort.

Symptômes neurologiques

Ils sont dûs à la localisation de la bulle au niveau de la moëlle épinière ou du cerveau :

- perte d'un ou plusieurs sens,
- troubles de la parole,
- hémiplégie (paralysie d'un côté du corps),
- syncope...

Symptômes pulmonaires

Détresse respiratoire se traduisant rapidement par une cyanose (coloration bleue) des lèvres et sous les ongles. Cette cyanose est provoquée par un appauvrissement du sang en oxygène.

Figure III-14 Symptômes des accidents de décompression [6]

➤ Conduite à tenir en cas d'accident de décompression

Protéger

- Sortir le plongeur de l'eau
- Allonger en position inclinée, tête en bas.
- Réchauffer.
- Rassurer.
- Surveiller les autres plongeurs de la palanquée.

Alerter

Utiliser la V.H.F sur le canal 16 ou un téléphone. Il faut rappeler qu'un moyen de communication est obligatoire sur une embarcation de plongeurs. Ceci implique qu'il faut connaître les numéros d'urgence accessibles depuis le lieu de plongée.

Secourir

- Si la personne est consciente, lui donner 500 mg d'aspirine. Cet aspirine va fluidifier le sang et éliminer les agrégats plaquettaires. En cas d'allergie à l'aspirine, ne rien administrer ; l'usage de paracétamol est un non-sens car ce produit n'a pas de propriétés anti-coagulantes.
- Faire boire si possible 1 litre / heure d'eau douce à la victime, toujours dans le but de fluidifier le sang.
- Administrer 15 litres / minutes d'oxygène normobare.
- Diriger la victime le plus vite possible vers un caisson de décompression multiplace.

F. REGLEMENTATION (cf annexe 4)

Les textes de la cette partie réglementaire proviennent du site de la F.F.E.S.S.M .
Nous les retrouverons dans l'annexe 4.

CONCLUSION

Après avoir étudié l'audition de 25 plongeurs de tous niveaux, avant et après une seule plongée, on n'observe aucune différence au niveau de la conduction osseuse et une légère baisse d'audition en conduction aérienne plus marquée chez les plongeurs loisirs que professionnels. Cette étude permet ainsi de prouver l'absence de perte auditive au niveau de l'oreille interne et révèle une légère baisse non systématique de l'audition due soit à l'oreille externe, soit à l'oreille moyenne chez certains plongeurs.

De même, les études bibliographiques révèlent également que la plongée sous marine réalisée sans accidents et sans traumatismes sonores n'entraîne pas de perte auditive dans le temps.

Ainsi je tiens à rassurer mes amis les plongeurs quant aux méfaits de la plongée sur le système auditif lorsqu'il n'y a pas d'accidents de plongée.

Cependant, comme nous l'avons vu dans le dernier chapitre, de nombreuses règles de sécurité sont à respecter pour éviter tous risques d'accidents susceptibles d'avoir des impacts irréversibles sur les organes du corps humain y compris sur le système auditif. Notamment, lorsque l'on sait que 80% des accidents de plongée se situent dans la sphère ORL et que 72% d'entre eux sont des accidents touchant les oreilles.

De même, il est important que chaque plongeur soit sensibilisé à ces accidents pour qu'il les repère mieux et consulte plus rapidement. En effet plus la prise en charge sera rapide, moins le risque de séquelles sera important, en particulier lors d'accidents affectant l'oreille interne.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

- [1] BROUSSELE B., MELIET JL. Physiologie et Médecine de la Plongée, Editions Ellipses, 2006, p 246-252 ; p 496-498
- [2] BRUNEAU M. Manuel acoustique fondamentale. Editions HERMES, 1998, p 23-27
- [3] CERRETELLI P. Traité de physiologie de l'exercice et du sport. Editions MASSON, 2002, p229-247
- [4] CHAIGNE A. Ondes acoustiques. Editions ellipses, 2001, p 11-12
- [5] COLLEGE NATIONAL D'AUDIOPROTHESE. Précis d'audioprothèse. Production, phonétique acoustique et perception de la parole. Editions MASSON, 2008, p1-8 et p 309-313
- [6] FORET A. PLONGEE PLAISIR : INITIATEUR 2^{ème} EDITION. Editions GAP, 2009.
- [7] GELIS C. Biophysique de l'environnement sonore. Editions ellipses, 2002, p 54-56
- [8] LAMENDIN H., COURTEIX D., Biologie et pratique sportive. Edition MASSON, 1995, p53-62
- [9] MATHIEU D., WATTEL F. Traité de Médecine Hyperbare. Editions Ellipses, 2002
- [10] PORTMANN M., PORTMANN C., Précis d'audiométrie clinique. Edition MASSON, 1998, p75
- [11] POTEL C., BRUNEAU M., Acoustique générale. Equations différentielles et intégrales, solutions en milieux fluides et solides, applications. Edition Ellipses, 2006
- [12] WILMORE H. , COSTILL L. Physiologie du sport et de l'exercice. Adaptations physiologiques à l'exercice physique. Deuxième édition De Boeck Université, 2002, p358-367

Sites internet

- [13] Site Anatomie de l'oreille.com
- [14] Site Amphicom : Amphicom.com
- [15] Site de la commission : apnee.ffessm.fr
- [16] Site de la CMAS : www.cmas2000.org ou www.ffessm.fr puis lien vers CMAS
- [17] Site de la DJS : www.jeunesse-sports.gouv.fr/sport/fnds.asp
- [18] Site de la FFESSM (Fédération Française d'Etude et de Sport Sous-Marins) : www.ffessm.fr les liens vers les textes de réglementations, et assurances.
- [19] Site Pathologie de l'oreille, rubrique ORL et plongée : www.braccini.net
- [20] Site de Pub Med : Pubmed.gov
- [21] Site Scubaland : Scubaland.fr
- [22] Site Widex : Widex.fr

Articles médicaux provenant de Pubmed

- [23] Brocks C, Wollenberg B, Graefe H. Acute hearing loss from scuba-diving holidays: diagnosis and treatment of barotrauma of the inner ear. PubMed - indexed for MEDLINE. Mars 2009
- [24] Gonnermann A, Dreyhaupt J, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK, Klingmann C. Otorhinolaryngologic disorders in association with scuba diving. Mai 2008
- [25] Herranz González-Botas J, Fojón Polanco S, López Facal MS, Fernández Casabella C, García Casás M. Auditory threshold in professional divers not exposed to noise. Février 2008
- [26] Hizel SB, Muluk NB, Budak B, Budak G. Does scuba diving cause hearing loss ? Aout 2007
- [27] Klingmann C, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK. Otorhinolaryngologic disorders and diving accidents: an analysis of 306 divers. Octobre 2007.
- [28] Klingmann C, Praetorius M, Baumann I, Plinkert PK. Barotrauma and decompression illness of the inner ear: 46 cases during treatment and follow-up. Juin 2007
- [29] Lippmann J, Smith D. The absence of hearing loss in otologically asymptomatic recreational scuba divers. Mars-Avril 2006
- [30] Tetzlaff K, Muth CM, Klingmann C. Diving fitness of children and adolescents. Importance for ENT doctors. Mai 2008.
- [31] Zulkafly AR, Saim L, Said H, Mukari SZ, Esa R. Hearing loss in diving a study amongst Navy divers. Mars 1996

Articles de périodiques

- [32] BOVARD M. Plongée magazine n°24, Février/Mars 2008

ANNEXES

ANNEXE N°1 : Exercices de Gymnastique tubaire

ANNEXE N°2 : Exemples d'audiogrammes observés

ANNEXE N°3 : Résultats des audiométries réalisées sur les plongeurs

ANNEXE N°4 : Texte réglementaire

ANNEXE N°1 : Exercices de Gymnastique tubaire.

« Le but de ces exercices est donc une meilleure prise de conscience des manoeuvres passives d'ouverture tubaire qui en tonifiant les muscles péristaphylins de la trompe d'Eustache vont en faciliter l'ouverture.

Une prise de conscience progressive de cette région de la musculature vélo-pharyngée, va faciliter par la suite le bon dosage conscient de l'effort de pression à exercer pour obtenir l'effet d'équilibration pressive au cours de la plongée.

1 - Exercices de langue:

Il s'agit de mobiliser la base de la langue.

Exercices bouche ouverte puis bouche fermée :

- *Alternativement, tirer la langue le plus en avant possible, comme pour toucher le menton, puis la rentrer et la pousser le plus possible en arrière et en bas, en laissant la pointe de la langue sur le plancher de la bouche.*
- *Balayer le palais et le voile du palais: pour cela, placer la pointe de la langue derrière les incisives supérieures et racler d'avant en arrière le palais comme pour l'essuyer, en essayant de toucher la luette.*

2 - Exercices du voile du palais :

*Il s'agit de "relever la luette". C'est le plus important des exercices. **Les exercices se font d'abord bouche ouverte, puis bouche fermée.***

On a recours à un mouvement de déglutition incomplet et s'arrêtant au stade de contraction du voile du palais, sans déglutition de salive. Commencer par des exercices très lents pour bien sentir les sensations avant de réaliser des contractions du voile plus rapides et successives qui sont les plus efficaces pour ouvrir la trompe d'Eustache. Donc " ébaucher un mouvement de déglutition sans avaler en essayant de creuser le voile et de relever la luette".

Le contrôle de l'efficacité se fait en contrôlant le déplacement de l'os hyoïde, on le touche juste sous la pomme d'Adam.

3 - Exercices de la Mâchoire inférieure :

Ceci s'effectue bouche ouverte et puis bouche fermée.

-Avancer et reculer le plus possible la mandibule: subluxation antérieure puis postérieure.

-Déplacer la mandibule alternativement à droite et à gauche.

4 - Exercices Langue + Voile du palais :

D'abord bouche ouverte puis bouche fermée.

-La pointe de la langue appliquée contre les incisives inférieures, l'arrière de la langue est poussée en bas et en arrière. Puis pratiquer un mouvement de déglutition incomplet s'arrêtant au stade de contraction du voile.

Contrôle d'efficacité de cet exercice : l'os hyoïde abaissé par la poussée de la base de langue doit être encore plus abaissé par le mouvement de déglutition incomplet.

5 - Exercices Mâchoire inférieure + Langue + Voile du palais :

-La pointe de la langue prend appui contre les incisives inférieures, la mâchoire inférieure est projetée en avant, la langue est sortie au maximum hors de la bouche (la pointe toujours appliquée contre les dents). Contracter alors le voile du palais en faisant un mouvement de déglutition incomplet.

Répéter les exercices jusqu'à les intégrer efficacement et bien les avoir en conscience, l'idéal est de parvenir à l'aisance d'un bon contrôle volontaire de la perméabilité tubaire...

Ceci est possible en deux ou trois mois d'entraînement. »

Article issu du site de la F.F.E.S.S.M [17]

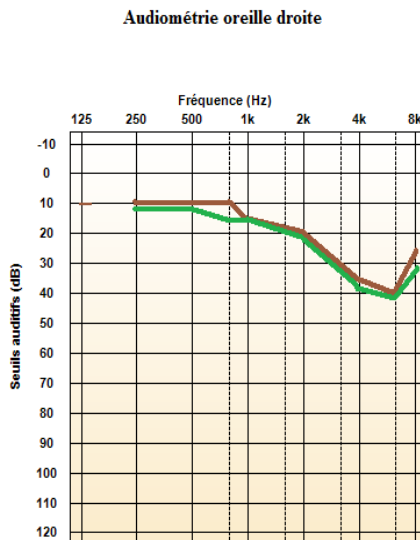
ANNEXE N°2 : Exemples d'audiogrammes observés :

➤ CAS N° 24 :

Audiométrie oreille droite

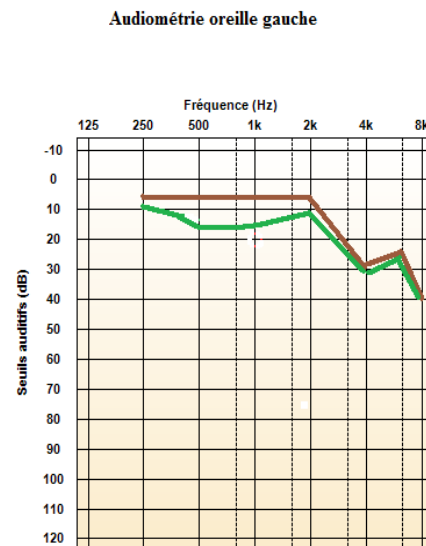
Audiométrie avant plongée —

Audiométrie après plongée —



Anamnèse :
 Plongeur professionnel de 43 ans
 Plonge depuis 22 ans
 Opération il y a 3 ans d'un ostéome à l'oreille droite
 L'oreille gauche présente des ostéomes (cette oreille n'a jamais été opérée).

Paramètres de la plongée :
 plongée de 48 minutes à 18 mètres.
 réalisation de 8 yoyos (remontée suivie d'une descente) durant cette plongée.

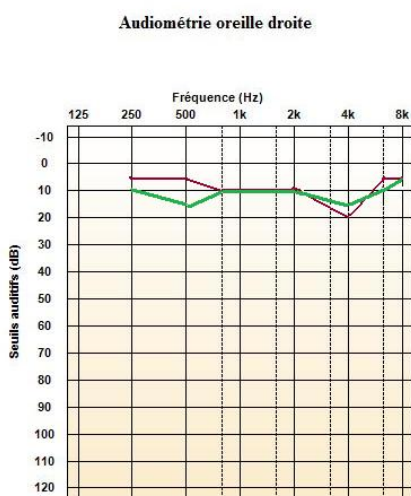


➤ CAS N° 7 :

Audiométrie oreille droite

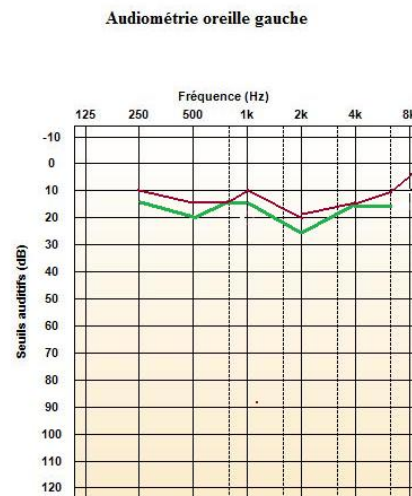
Audiométrie avant plongée —

Audiométrie après plongée —



Anamnèse :
 Plongeuse loisir de 49 ans.
 Plonge depuis 12 ans (environ 350 plongées à son actif).
 Pas d'antécédents ORL
 Rien à signaler à l'otoscopie.

Paramètres de la plongée :
 Plongée d'exploration de 53 minutes à 29 mètres.



ANNEXE N°3 : Résultats des audiométries réalisées sur les plongeurs

| AUDIOMETRIES REALISEES SUR DES PLONGEURS LOISIRS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|------|----|------|-----|------|-----|------|-----|
| FREQUENCES TESTEES (HERTZ) | | 250 | | 500 | | 750 | | 1000 | | 2000 | | 4000 | | 6000 | | 8000 | |
| | | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG |
| CAS CLINIQUES | | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG |
| CAS 1 | <i>Avant la plongée</i> | 5 | 0 | 0 | 10 | 10 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 | 5 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 0 | 5 | 10 |
| | <i>différence</i> | -5 | -5 | -10 | 5 | 0 | -5 | 5 | -5 | 0 | 0 | -5 | -10 | -5 | 15 | 0 | -5 |
| CAS 2 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 10 | 0 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | 20 | 25 | 25 | 20 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 5 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 | 0 | 0 | 25 | 30 | 15 | 25 | 15 | 15 |
| | <i>différence</i> | -5 | 5 | -5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 5 | 5 | -5 | -10 | 10 | 0 | 5 | -10 |
| CAS 3 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 15 | 10 |
| | <i>Après la plongée</i> | 0 | 10 | 5 | 15 | 5 | 10 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 10 | 20 |
| | <i>différence</i> | 0 | -10 | -5 | -15 | -5 | -10 | 0 | -5 | 0 | -5 | 0 | -5 | 5 | 10 | 5 | -10 |
| CAS 4 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | <i>Après la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 |
| CAS 5 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 10 | 15 | 10 | 15 | 25 | 40 | 30 | 15 | 20 |
| | <i>Après la plongée</i> | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 25 | 20 | 35 | 25 | 20 | 20 |
| | <i>différence</i> | -5 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | -5 | 0 | 5 | 0 | -10 | 5 | 5 | 5 | -5 | 0 |
| CAS 6 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 40 | 50 | 40 | 40 | 45 | 45 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 10 | 5 | 20 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 45 | 55 | 45 | 55 | 45 | 50 |
| | <i>différence</i> | 0 | -5 | 5 | -15 | 0 | -5 | 5 | 0 | -5 | 0 | -5 | -5 | -5 | -15 | 0 | -5 |
| CAS 7 | <i>Avant la plongée</i> | 5 | 10 | 5 | 15 | 10 | 15 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 15 | 5 | 10 | 5 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 15 | 15 | 20 | 10 | 15 | 10 | 15 | 10 | 25 | 15 | 15 | 10 | 15 | 5 | 5 |
| | <i>différence</i> | -5 | -5 | -10 | -5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | -5 | 5 | 0 | -5 | -5 | 0 | 0 |
| CAS 8 | <i>Avant la plongée</i> | 30 | 20 | 40 | 20 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 50 | 55 | 60 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| | <i>Après la plongée</i> | 35 | 25 | 40 | 25 | 45 | 25 | 40 | 30 | 40 | 45 | 55 | 65 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| | <i>différence</i> | -5 | -5 | 0 | -5 | -5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -15 | -15 |
| CAS 9 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | <i>Après la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 | 0 | 0 | 5 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | -15 | 0 | 0 | -5 |

SUITE DES AUDIOMETRIES REALISEES SUR DES PLONGEURS LOISIRS

| FREQUENCES TESTEES (HERTZ) | | 250 | | 500 | | 750 | | 1000 | | 2000 | | 4000 | | 6000 | | 8000 | |
|----------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| | | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG |
| CAS CLINIQUES | | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG |
| CAS 10 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 20 | 10 | 20 | 15 | 20 | 65 | 60 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| | <i>Après la plongée</i> | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 | 25 | 20 | 65 | 60 | 65 | 65 | 70 | 70 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10 | 0 | -10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| CAS 11 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 | 5 | 10 | 5 | 30 | 20 | 35 | 20 | 10 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 0 | 10 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 10 | 5 | 40 | 25 | 40 | 20 | 15 | 5 |
| | <i>différence</i> | -10 | 0 | -10 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10 | -5 | -5 | 0 | -5 | 0 |
| CAS 12 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 0 | 0 | 10 | 10 | 0 | 0 | 20 | 10 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 10 | 15 | 10 | 10 | 5 | 5 | 15 | 0 | 0 | 15 | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 |
| | <i>différence</i> | -10 | -5 | -5 | -5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | -5 | 0 | -5 | -5 | 10 | 5 |
| CAS 13 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 | 20 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 25 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | -10 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| CAS 14 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 15 | 15 | 15 | 15 | 5 | 20 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 15 | 15 | 10 | 15 | 5 | 10 |
| | <i>différence</i> | -10 | -10 | 0 | -10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 10 |
| CAS 15 | <i>Avant la plongée</i> | 15 | 10 | 15 | 15 | 5 | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 |
| | <i>Après la plongée</i> | 15 | 10 | 15 | 15 | 10 | 15 | 10 | 10 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 5 | 5 |

AUDIOMETRIES REALISEES SUR DES PLONGEURS PROFESSIONNELS

| FREQUENCES TESTEES (HERTZ) | | 250 | | 500 | | 750 | | 1000 | | 2000 | | 4000 | | 6000 | | 8000 | |
|----------------------------|-------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|----|------|----|------|-----|------|-----|
| | | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG |
| CAS CLINIQUES | | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG | OD | OG |
| CAS 16 | <i>Avant la plongée</i> | 5 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 10 | 5 | 40 | 25 | 40 | 20 | 15 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 0 | 10 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 10 | 5 | 40 | 25 | 40 | 20 | 15 | 5 |
| | <i>différence</i> | -5 | 0 | -5 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CAS 17 | <i>Avant la plongée</i> | 20 | 0 | 20 | 5 | 25 | 5 | 25 | 0 | 20 | 0 | 20 | 5 | 25 | 10 | 20 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 20 | 0 | 20 | 5 | 25 | 5 | 30 | 0 | 15 | 0 | 20 | 5 | 30 | 10 | 20 | 5 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 |
| CAS 18 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 10 | 5 | 0 | 5 | 0 | 10 | 0 | 15 | 5 | 30 | 20 | 30 | 20 | 30 | 25 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 10 | 5 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 20 | 5 | 35 | 20 | 30 | 20 | 30 | 25 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CAS 19 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 15 | 0 | 15 | 0 | 15 | 15 | 15 | 20 | 15 | 15 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 15 | 0 | 15 | 0 | 15 | 15 | 15 | 30 | 20 | 15 |
| | <i>différence</i> | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10 | -5 | 0 |
| CAS 20 | <i>Avant la plongée</i> | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 25 | 15 | 15 |
| | <i>Après la plongée</i> | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | 10 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 15 | 25 | 15 | 15 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 |
| CAS 21 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 15 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 20 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CAS 22 | <i>Avant la plongée</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 5 | 20 | 20 | 30 | 30 | 10 | 15 | 35 | 25 |
| | <i>Après la plongée</i> | 5 | 0 | 5 | 5 | 10 | 5 | 15 | 10 | 15 | 20 | 40 | 30 | 10 | 15 | 30 | 25 |
| | <i>différence</i> | -5 | 0 | -5 | -5 | 0 | -5 | -5 | -5 | 5 | 0 | -10 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| CAS 23 | <i>Avant la plongée</i> | 5 | 0 | 5 | 0 | 15 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 20 | 5 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 0 | 5 | 0 | 15 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 10 | 0 | 15 | 0 | 20 | 20 |
| | <i>différence</i> | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | 0 | -15 |
| CAS 24 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 15 | 5 | 20 | 5 | 35 | 30 | 40 | 25 | 25 | 40 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 10 | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 | 10 | 35 | 30 | 40 | 25 | 30 | 40 |
| | <i>différence</i> | 0 | -5 | 0 | -10 | -5 | -10 | 0 | -10 | 0 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 |
| CAS 25 | <i>Avant la plongée</i> | 10 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 30 | 20 | 5 | 15 | 10 | 10 |
| | <i>Après la plongée</i> | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 5 | 10 | 5 | 30 | 20 | 10 | 15 | 15 | 10 |
| | <i>différence</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | -5 | -5 | -5 | 0 | 0 | 0 | -5 | 0 | -5 | 0 |

ANNEXE N°4 : Texte réglementaire

**Extrait du code du sport
Partie réglementaire - Arrêtés
(Modifié par l'arrêté du 23 juillet 2009)**

**Livre III Pratique sportive
Titre II Obligations liées aux activités sportives**

Capitre II Garanties d'hygiène et de sécurité

Section 3

**Etablissements qui organisent la pratique ou dispensent
l'enseignement de la plongée subaquatique**

Sous-section 1

**Etablissements qui organisent et dispensent
l'enseignement de la plongée à l'air**

Art. A.322-71. - Les établissements mentionnés à l'article L. 322-2 qui organisent la pratique ou dispensent l'enseignement de la plongée subaquatique autonome à l'air sont soumis aux règles de technique et de sécurité définies par la présente sous-section.

Art. A. 322-72. - Les annexes III-14 à III-17 au présent code déterminent:

- les niveaux de pratique des plongeurs et équivalences de prérogatives (annexe III-14) ;
- les niveaux d'encadrement (annexe III-15) ;
- les conditions de pratique de la plongée en milieu naturel (annexe III-16 a, III-16 b) ;
- le contenu de la trousse de secours (annexe III-17).

Paragraphe 1

Directeur de plongée

Art. A. 322-73. - La pratique de la plongée est placée sous la responsabilité d'un directeur de plongée présent sur le site qui fixe les caractéristiques de la plongée et organise l'activité. Il s'assure de l'application des règles définies par la présente sous-section.

Art. A. 322-74. - Le directeur de plongée en milieu naturel est titulaire au minimum :

- du niveau 3 d'encadrement;
- ou du niveau 5 de plongeur uniquement en cas d'exploration.

Il faut entendre par exploration la pratique de la plongée en dehors de toute action d'enseignement.

Art. A. 322-75. - Lorsque la plongée se déroule en piscine ou fosse de plongée dont la profondeur n'excède pas 6 mètres, le directeur de plongée est titulaire au minimum du niveau 1 d'encadrement. Le directeur de plongée autorise les plongeurs de niveau 1 ayant reçu une formation adaptée à plonger entre eux et les plongeurs de niveau 4 à effectuer les baptêmes.

La plongée dans une piscine ou fosse de plongée dont la profondeur excède six mètres est soumise aux dispositions relatives à la plongée en milieu naturel.

Paragraphe 2

Le guide de palanquée

Art. A. 322-76. - Plusieurs plongeurs qui effectuent ensemble une plongée présentant les mêmes caractéristiques de durée, de profondeur et de trajet constituent une palanquée.

Une équipe est une palanquée réduite à deux plongeurs.

Art. A. 322-77. - Le guide de palanquée dirige la palanquée en immersion. Il est responsable du déroulement de la plongée et s'assure que les caractéristiques de celle-ci sont adaptées aux circonstances et aux compétences des participants.

L'encadrement de la palanquée est assuré par un guide de palanquée titulaire des qualifications mentionnées en annexe III-14 et selon les conditions de pratique définies en annexe III-16 a, III-16 b du présent code.

En situation d'autonomie, les plongeurs majeurs de niveau égal ou supérieur au niveau 2 peuvent évoluer en palanquée sans guide selon les conditions définies en annexe III -16 a, III -16 b.

Paragraphe 3

Matériel d'assistance et de secours

Art. A. 322-78. - Les pratiquants ont à leur disposition sur les lieux de plongée le matériel de secours suivant:

- un moyen de communication permettant de prévenir les secours;
- une trousse de secours dont le contenu minimum est fixé en annexe III-17 du présent code;
- de l'eau douce potable non gazeuse;
- un ballon autoremplisseur à valve unidirectionnelle (BA VU) avec sac de réserve d'oxygène;
- une bouteille d'oxygène gonflée d'une capacité suffisante pour permettre, en cas d'accident, un traitement adapté à la plongée, avec manodétendeur et tuyau de raccordement au BA VU ;
- une bouteille d'air de secours équipée de son détendeur;
- une couverture isothermique ;
- un moyen de rappeler un plongeur en immersion depuis la surface, lorsque la plongée se déroule en milieu naturel, au départ d'une embarcation, ainsi que, éventuellement, un aspirateur de mucosités.

Ils ont en outre le matériel d'assistance suivant:

- une tablette de notation;
- un jeu de tables permettant de vérifier ou de recalculer les procédures de remontées des plongées réalisées au-delà de l'espace proche.

Les matériels et équipements nautiques des plongeurs sont conformes à la réglementation en vigueur et correctement entretenus.

Art. A. 322-79. - L'activité de plongée est matérialisée selon la réglementation en vigueur.

Paragraphe 4

Equipement des plongeurs

Art. A. 322-80. - Sauf dans les piscines ou fosses de plongée dont la profondeur n'excède pas 6 mètres, les plongeurs évoluant en autonomie et les guides de palanquée sont équipés chacun d'un système gonflable au moyen de gaz comprimé leur permettant de regagner la surface et de s'y maintenir, ainsi que des moyens de contrôler personnellement les caractéristiques de la plongée et de la remontée de leur palanquée.

En milieu naturel, le guide de palanquée est équipé d'un équipement de plongée muni de deux sorties indépendantes et de deux détendeurs complets. Les plongeurs en autonomie sont munis d'un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout.

Paragraphe 5

Espace d'évolution et les conditions d'évolution

Art. A. 322-81. - Les plongeurs accèdent, selon leur compétence, à différents espaces d'évolution:

Espace proche: de 0 à 6 mètres;

Espace médian: de 6 à 20 mètres ;

Espace lointain: de 20 à 40 mètres.

Dans des conditions matérielles et techniques favorables, l'espace médian et l'espace lointain peuvent être étendus dans la limite de 5 mètres.

La plongée subaquatique autonome à l'air est limitée à 60 mètres.

Un dépassement accidentel de cette profondeur de 60 mètres est autorisé dans la limite de 5 mètres.

En cas de réimmersion, tout plongeur en difficulté est accompagné d'un plongeur chargé de l'assister.

Les annexes III-16-a et III-16-b fixent les conditions d'évolution des plongeurs en fonction de leur niveau.

Art. A. 322-82. - Une palanquée constituée de débutants ne peut évoluer que dans l'espace proche. En fin de formation technique conduisant au niveau 1 de plongeur, celle-ci peut évoluer dans l'espace médian sous la responsabilité d'un guide de palanquée.

Art. A. 322-83. - Une palanquée constituée de plongeurs de niveau 1 ne peut évoluer que dans l'espace médian et sous la responsabilité d'un guide de palanquée. En fin de formation technique conduisant au niveau 2, celle-ci peut évoluer dans l'espace lointain, sous la responsabilité d'un enseignant qualifié.

Art. A. 322-84. - A l'issue d'une formation adaptée, le directeur de plongée peut autoriser les plongeurs majeurs de niveau 1 à plonger en équipe dans une zone n'excédant pas 10 mètres, dans les conditions suivantes:

- cette zone de plongée est dépourvue de courant et présente une visibilité verticale égale à la profondeur;
- aucun point de cette zone ne doit être éloigné de plus de 30 mètres d'un point fixe d'appui;
- cette zone est surveillée, en surface, par deux personnes possédant au minimum, l'une, le niveau 3 d'encadrement et, l'autre, le niveau 4 de plongeur, prêtes à intervenir à tout moment à l'aide d'une embarcation;
- l'un des surveillants se tient en permanence prêt à plonger;
- l'obligation d'embarcation n'est pas applicable aux fosses de plongée;
- un même groupe de deux surveillants ne peut prendre en charge plus de cinq équipes.

Art. A. 322-85. - Les plongeurs majeurs de niveau 2 sont, sur décision du directeur de plongée, autorisés à plonger entre eux dans l'espace médian.

Si la palanquée est constituée de plongeurs majeurs de niveaux 2 et 3, celle-ci n'est autorisée à évoluer que dans l'espace médian.

Art. A. 322-86. - Les plongeurs de niveau égal ou supérieur au niveau 2 sont, sur décision du directeur de plongée, autorisés à plonger en autonomie.

En l'absence du directeur de plongée, les plongeurs de niveaux 3 et supérieurs peuvent plonger entre eux et choisir le lieu, l'organisation et les paramètres de leur plongée.

Paragraphe 6

Dispositions générales

Art. A. 322-87. - Les dispositions de la présente sous-section ne sont pas applicables à l'apnée, à la plongée archéologique, souterraine ainsi qu'aux parcours balisés d'entraînement et de compétition d'orientation subaquatique.

ANNEXE III-14
(Art. A. 322-72 et A. 322-81 du code du sport)

**NIVEAUX DE PRATIQUE DES PLONGEURS
ET ÉQUIVALENCES DE PRÉROGATIVES**

Cette annexe concerne les niveaux de pratique des plongeurs et équivalences de prérogatives entre les différents brevets de plongeur délivrés par la FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins) et la FSGT (Fédération sportive et gymnique du travail), les attestations de niveaux délivrés par l'ANMP (Association nationale des moniteurs de plongée) et le SNMP (Syndicat national des moniteurs de plongée) et les brevets CMAS (Confédération mondiale des activités subaquatiques).

Les attestations de niveaux et brevets doivent comporter des mentions permettant de démontrer que leurs titulaires ont un niveau technique au moins équivalent à celui des brevets de même niveau de la FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins) et qu'ils ont été obtenus dans des conditions similaires de certification et de jury.

Les moniteurs titulaires du niveau 3 d'encadrement référencé au tableau figurant à l'annexe III-15 du code du sport peuvent établir un certificat de compétence à l'issue d'une ou de plusieurs plongées d'évaluation organisées dans le respect du présent code. Les plongeurs bénéficiaires de ce certificat obtiennent des prérogatives identiques à celles référencées dans le tableau figurant à la présente annexe, mais ne dépassant pas celles du niveau 3 (P 3).

Ce certificat reste la propriété du moniteur, il n'est pas remis au plongeur et n'est valable que dans le cadre de l'établissement qui l'a délivré.

ANNEXE III-14
(Art. A. 322-72 et A. 322-81 du code du sport)

| NIVEAU de prérogative des plongeurs | BREVETS | | | ATTESTATION DE NIVEAU | |
|--|--|---|---|---|--|
| | FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins) | CMAS (Confédération mondiale des activités subaquatiques) | FSGT (Fédération sportive et gymnique du travail) | ANMP (Association nationale des moniteurs de plongée) | SNMP (Syndicat nationale des moniteurs de plongée) |
| Niveau 1 (P1) | Plongeur N1 | Plongeur 1 étoile | Plongeur N1 | Plongeur | Plongeur |
| Niveau 2 (P2) | Plongeur N2 | Plongeur 2 étoiles | Plongeur N2 | Equipier | Plongeur confirmé |
| Niveau 3 (P3) | Plongeur N3 | Plongeur 3 étoiles | Plongeur N3 | Autonome | Plongeur autonome |
| Niveau 4 (P4) | Plongeur N4 Capacitaire | Plongeur 3 étoiles (*) | Guide de palanquée | Guide de palanquée | Guide de palanquée |
| Niveau 5 (P5) | Qualification de directeur de plongée (**) | | Qualification de directeur de plongée (**) | | Directeur de plongée (**) |
| (*) Certifié à l'étranger (**) La qualification directeur de plongée (niveau 5) ne pourra être exercée qu'à titre bénévole. | | | | | |

ANNEXE III-15

(Art. A. 322-77 du code du sport)

| NIVEAU de l'encadrement | ENSEIGNEMENT BÉNÉVOLE | | | ENSEIGNEMENT RÉMUNÉRÉ |
|----------------------------|--|---|---|--|
| | FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins) | CMAS (Confédération mondiale des activités subaquatiques) | FSGT (Fédération sportive et gymnique du travail) | Brevets d'Etat |
| Niveau 1 (E1) | Initiateur | | Initiateur | |
| Niveau 2 (E2) | Initiateur + P4 ou P4 stagiaire pédagogique (*) | Moniteur 1 étoile | Aspirant fédéral | Stagiaire pédagogique (**) |
| Niveau 3 (E3) | Fédéral 1er degré | Moniteur 2 étoiles | Fédéral 1er degré | Brevet d'Etat d'éducateur sportif du 1er degré (BEES 1) |
| Niveau 4 (E4) | Fédéral 2ème degré | Moniteur 3 étoiles | Fédéral 1er degré | Brevet d'Etat d'éducateur sportif du 2ème degré (BEES 2) |
| Niveau 5 (E5) | | | | Brevet d'Etat d'éducateur sportif du 3ème degré (BEES 3) |

(*) Pour obtenir les prérogatives attachées au niveau 2 d'encadrement (E2), le P4 en formation pédagogique est assujéti à la présence sur le site de plongée d'un cadre formateur E3 minimum.

(**) Stagiaire pédagogique dans le cadre d'une formation reconnue par le ministre de la jeunesse et des sports conduisant au BEES 1 de plongée subaquatique.

A N N E X E S III-16 a et III-16 b
(Art. A. 322-77 du code du sport)

ANNEXE III-16 a - CONDITIONS DE PRATIQUE DE LA PLONGÉE EN MILIEU NATUREL "EN ENSEIGNEMENT"

| ESPACE DÉVOLUTION | NIVEAUX DE PRATIQUE des plongeurs | COMPÉTENCE MINIMUM de l'encadrement de palanquée | EFFECTIF MAXIMUM de la palanquée encadrement non compris |
|---|-----------------------------------|--|--|
| Espace proche : 0 - 6 mètres | Baptême | E1 | 1 |
| | Débutant | E1 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| Espace médian (*) : 6 - 20 mètres | Débutant en fin de formation | E2 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| | Niveau P1 | E2 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| | Niveau P2 | E2 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| Espace lointain (*) : 20 - 40 mètres | Niveau P1 en fin de formation | E3 | 2 + 1 P4 éventuellement |
| | Niveau P2 | E3 | 2 + 1 P4 éventuellement |
| Au-delà de 40 mètres et dans la limite de 60 mètres | Niveaux P3, P4 et P5 | E4 | 3 + 1 E4 éventuellement |

(*) Dans des conditions favorables, les espaces médian et lointain peuvent être étendus dans la limite de 5 mètres. La plongée est limitée à 60 mètres avec possibilité de dépassement accidentel de 5 mètres.

ANNEXE III-16 b - CONDITIONS DE PRATIQUE DE LA PLONGÉE EN MILIEU NATUREL "EN EXPLORATION"

| ESPACE DÉVOLUTION | NIVEAUX DE PRATIQUE des plongeurs | COMPÉTENCE MINIMUM de l'encadrement de palanquée | EFFECTIF MAXIMUM de la palanquée encadrement non compris |
|---|-----------------------------------|---|--|
| Espace proche : 0 - 6 mètres | Débutant | P4 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| Espace médian : 6 - 20 mètres | Débutant en fin de formation | P4 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| | Niveau P1 | P4 | 4 + 1 P4 éventuellement |
| | Niveau P1 | En surface : E3 + P4 autonomie dans la zone des 10 mètres | 5 équipes |
| | Niveau P2 | Autonomie | 3 |
| Espace lointain (*) : 20 - 40 mètres | Niveau P2 | P4 | 4 |
| Au-delà de 40 mètres et dans la limite de 60 mètres (*) | Niveaux P3, P4 et P5 | Autonomie | 3 |

E1, E2, E3, et E4 = niveaux d'encadrement.
P1, P2, P3, P4 et P5 = niveaux de pratique.
(*) Dans des conditions favorables, les espaces médian et lointain peuvent être étendus dans la limite de 5 mètres. La plongée est limitée à 60 mètres avec possibilité de dépassement accidentel de 5 mètres.

ANNEXE III -17**(Art. A. 322-72 et A. 322-78 du code du sport)****CONTENU DE LA TROUSSE DE SECOURS**

La trousse de secours comprend au minimum:

- des pansements compressifs tout préparés (grands et petits modèle: 1 boîte de chaque);
- un antiseptique local de type amonium quaternaire (1 tube);
- une crème antiactinique (1 tube);
- une bande de type Velpeau de 5 centimètres de large;
- de l'aspirine en poudre non effervescente.

RESUME DU MEMOIRE

AUDITION ET PLONGEE :

MOYENS DE COMMUNICATION DES PLONGEURS,

EFFETS AUDITIFS LIES A LA PRATIQUE DE LA PLONGEE

L'objectif de mon mémoire est d'étudier :

- ✓ l'audition en pression et en plongée,
- ✓ les différents moyens de communication utilisés en plongée,
- ✓ la physiologie de l'oreille et ses différentes pathologies rencontrées en ambiance hyperbare,
- ✓ les répercussions à court et long terme de la plongée sur l'audition,
- ✓ les règles de sécurité et de prévention primordiales dans cette activité.

Pour effectuer ce mémoire, j'ai réalisé mon dernier stage de fin d'études à la Mutuelle d'Aviation Marine de Toulon afin de pouvoir rencontrer facilement des plongeurs et des professionnels dans ce domaine.

Après avoir étudié l'audition de 25 plongeurs de tous niveaux, avant et après une seule plongée, on n'observe aucune différence au niveau de la conduction osseuse et une légère baisse d'audition en conduction aérienne plus marquée chez les plongeurs loisirs que professionnels. Cette étude permet ainsi de prouver l'absence de perte auditive au niveau de l'oreille interne et révèle une légère baisse non systématique de l'audition due soit à l'oreille externe, soit à l'oreille moyenne chez certains plongeurs.

De même, les études bibliographiques révèlent également que la plongée sous marine réalisée sans accidents et sans traumatismes sonores n'entraîne pas de perte auditive dans le temps.

Cependant, comme nous l'avons vu dans le dernier chapitre, de nombreuses règles de sécurité sont à respecter pour éviter tous risques d'accidents susceptibles d'avoir des impacts irréversibles sur les organes du corps humain y compris le système auditif.

Notamment, lorsque l'on sait que 80% des accidents de plongée se situent dans la sphère ORL et que 72% d'entre eux sont des accidents touchant les oreilles.

De même, il est important que chaque plongeur soit sensibilisé à ces accidents pour qu'il les repère mieux et consulte plus rapidement. En effet plus la prise en charge sera rapide, moins le risque de séquelles sera important, en particulier lors d'accidents affectant l'oreille interne.

MOTS CLES :

Accidents barotraumatiques

Accidents de décompression

Consultation ORL de non contre indication

Courbe de sécurité

Equilibration des pressions

Examen médical de non contre indication

Loi de Dalton

Loi de Henry

Loi de Mariotte

Manœuvres d'équilibration : Valsalva, Frenzel, Toynbee

Paliers de décompression

Perméabilité tubaire

Physiologie de l'oreille

Pression, pression absolue, variation de pression

Règles de sécurité à respecter en plongée

Tables de plongée

Trompe d'Eustache