

UNIVERSITE DE NANTES

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année : 2010

N° : 4

PRISE EN CHARGE ODONTOSTOMATOLOGIQUE DES  
PATIENTS PRATIQUANT LA PLONGEE SOUS-MARINE

-----

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée  
et soutenue publiquement par

**DAHERON Aude-Marie**  
épouse **BIAUELLE**

Née le 3 septembre 1984

*Le 2 Février 2010 devant le jury ci-dessous*

<i>Président</i>	Madame le Professeur Christine FRAYSSE
<i>Assesseur</i>	Monsieur le Docteur Philippe BOISSONNET
<i>Assesseur</i>	Monsieur le Docteur Sylvain LEBORGNE
<i>Assesseur</i>	Monsieur le Docteur Christophe MARGOTTIN

Directeur de thèse :      Mademoiselle le Docteur Elisabeth ROY

Par délibération en date du 6 décembre 1972, le conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

# Sommaire

Introduction .....	7
1-Principes physiques régissant la plongée .....	8
1.1-Généralités sur la pression .....	8
1.1.1-Définition .....	8
1.1.2-Pression atmosphérique .....	10
1.1.3-Pression hydrostatique ou relative .....	10
1.1.4-Pression absolue .....	11
1.2-Principe d'Archimède .....	12
1.2.1-Enoncé.....	12
1.2.2-Mise en évidence.....	12
1.2.3-Applications et conséquences .....	13
1.2.3.1-Applications .....	13
1.2.3.2-Conséquences.....	17
1.3-Loi de Boyle Mariotte .....	17
1.3.1-Enoncé.....	17
1.3.2-Mise en évidence.....	18
1.3.3-Applications et conséquences .....	19
1.3.3.1-Applications .....	19
1.3.3.1.1-Chargement des blocs de plongée.....	19
1.3.3.1.2-Amélioration de la flottabilité.....	20
1.3.3.1.3-Profondimètres mécaniques .....	20
1.3.3.1.4-Levage, bouée... ..	20
1.3.3.2-Conséquences.....	20
1.3.3.2.1-Barotraumatismes .....	20
1.3.3.2.2-Accident de décompression .....	21
1.3.3.2.3-Variation de la consommation d'air en fonction de la pression.....	21
1.3.3.2.4-Variation de la pression dans un bloc en fonction de la température .....	22
1.4-Loi de Dalton .....	22
1.4.1-Enoncé.....	22
1.4.2-Mise en évidence.....	22
1.4.3-Notion de pression partielle .....	23
1.4.4-Applications et conséquences .....	25
1.4.4.1-Applications .....	25
1.4.4.1.1-Utilisation de mélanges différents de l'air .....	25
1.4.4.1.2-Calcul des tables de plongée .....	26
1.4.4.2-Conséquences.....	27
1.4.4.2.1-Accidents biochimiques .....	27
1.4.4.2.2-Mécanisme de l'accident de décompression.....	27
1.5-Loi de Henry .....	28
1.5.1-Enoncé.....	28
1.5.2-Mise en évidence.....	28
1.5.3-Applications et conséquences .....	32
1.5.3.1-Applications .....	32
1.5.3.2-Conséquences.....	32
2-Barotraumatismes dentaires .....	33
2.1-Définition .....	34

2.2-Fréquence .....	34
2.3-Etiologies .....	35
2.3.1-Odontalgies barogéniques .....	35
2.3.1.1-Mécanisme .....	35
2.3.1.2-Fréquence .....	36
2.3.1.3-Circonstances de survenue .....	36
2.3.1.4-Origines .....	36
2.3.2-Odontalgies aéroemboliques .....	37
2.3.2.1-Circonstances de survenue et fréquence .....	37
2.3.2.2-Mécanisme .....	37
2.3.2.3-Prévention .....	38
2.3.3-Odontalgies vasculaires .....	39
2.3.4-Odontalgies nerveuses .....	39
2.3.5-Odontalgies liées à la perméabilité dentinaire .....	40
2.4-Physiopathologie et symptomatologie .....	40
2.4.1-Caries amélo-dentinaires .....	41
2.4.1.1-Symptomatologie .....	41
2.4.1.2-Evolution .....	41
2.4.1.3-Exemple .....	42
2.4.2-Reprises carieuses .....	42
2.4.2.1-Symptomatologie .....	42
2.4.2.2-Exemple .....	43
2.4.3-Pulpites aiguës .....	43
2.4.3.1-Symptomatologie .....	43
2.4.3.2-Evolution .....	43
2.4.4-Pulpites chroniques .....	44
2.4.4.1-Ouvertes .....	44
2.4.4.2-Fermées .....	44
2.4.5-Dents nécrosées ou en cours de nécrose .....	44
2.4.5.1-Canal radiculaire ouvert .....	45
2.4.5.1.1-Symptomatologie .....	45
2.4.5.1.2-Evolution .....	45
2.4.5.2-Dent fermée .....	45
2.4.6-Pathologies périapicales .....	46
2.5-Conduite à tenir .....	47
2.5.1-Prise en charge curative .....	47
2.5.1.1-Recommandations de la FDI .....	47
2.5.1.2-Types d'actes .....	48
2.5.1.2.1-Obturations coronaires .....	49
2.5.1.2.1.1-Amalgames .....	49
2.5.1.2.1.2-Composites .....	49
2.5.1.2.1.3-Inlays onlays .....	50
2.5.1.2.1.4-Fonds de cavité .....	50
2.5.1.2.1.5-Coiffages pulpaire .....	51
2.5.1.2.1.6-Obturations récentes .....	51
2.5.1.2.1.7-Ciments de scellement .....	52
2.5.1.2.2-Obturations canalaires .....	53
2.5.1.2.2.1-Provisoires .....	53
2.5.1.2.2.2-Définitives .....	53
2.5.1.2.3-Actes chirurgicaux .....	54

2.5.1.2.4-Prothèses amovibles.....	55
2.5.2-Prise en charge préventive .....	56
2.6-Diagnostic différentiel .....	57
2.6.1-Sinusite maxillaire barotraumatique .....	57
2.6.1.1-Définition .....	57
2.6.1.2-Epidémiologie .....	57
2.6.1.3-Rappels anatomiques .....	57
2.6.1.4-Etiologies .....	58
2.6.1.5-Physiopathologie.....	60
2.6.1.6-Symptomatologie .....	61
2.6.1.7-Complications .....	62
2.6.1.8-Conduite à tenir.....	62
2.6.1.9-Prévention .....	63
2.6.1.10-Conclusion .....	64
2.6.2-Algies vasculaires de la face .....	64
2.6.3-Barotraumatisme de l'oreille moyenne.....	64
2.6.3.1-Définition .....	64
2.6.3.2-Epidémiologie .....	65
2.6.3.3-Rappels anatomiques .....	65
2.6.3.4-Etiologies .....	71
2.6.3.5-Physiopathologie.....	71
2.6.3.6-Symptomatologie .....	71
2.6.3.7-Complications .....	72
2.6.3.8-Conduite à tenir.....	72
2.6.3.9-Prévention .....	73
3-Les différents types d'embouts de plongée et leurs conséquences bucco-dentaires.....	75
3.1-Rappels anatomiques de la région temporo-mandibulaire.....	75
3.1.1-Au niveau articulaire.....	75
3.1.2-Au niveau musculaire.....	76
3.1.3-Au niveau vascularisation .....	78
3.2-Troubles dus aux embouts .....	79
3.2.1-Troubles articulaires.....	80
3.2.2-Troubles musculaires .....	81
3.2.3-Troubles alvéolo-dentaires .....	81
3.2.3.1-Refroidissement dentaire .....	81
3.2.3.2-Traumatismes occlusaux et parodontaux .....	82
3.2.3.3-Lésions gingivales.....	83
3.2.3.4-Difficultés rencontrées chez les patients porteurs d'appareils amovibles.....	84
3.2.3.5-Difficultés rencontrées chez les patients porteurs d'appareillages fixes orthodontiques .....	84
3.2.4-Troubles auriculaires.....	84
3.3-Les différents types d'embouts .....	85
3.3.1-Les embouts standards .....	85
3.3.1.1-Caractéristiques.....	85
3.3.1.2-Difficultés et inconvénients rencontrés.....	86
3.3.2-La personnalisation d'embouts standards .....	87
3.3.2.1-Les différents types .....	87
3.3.2.1.1-La gouttière bimaxillaire avec emboîtement.....	87
3.3.2.1.1.1-Description.....	87
3.3.2.1.1.2-Inconvénients .....	90

3.3.2.1.2-L'adjonction de gouttières latérales .....	90
3.3.2.1.2.1-Description .....	90
3.3.2.1.2.2-Avantages.....	93
3.3.2.1.2.3-Inconvénients .....	93
3.3.2.1.3-Le système JAX® .....	94
3.3.2.1.3.1-Description .....	94
3.3.2.1.3.2-Avantages.....	97
3.3.2.1.3.3-Inconvénients .....	98
3.3.3-Les embouts personnalisés (individuels sur mesure).....	98
3.3.3.1-Conception .....	99
3.3.3.1.1-Par thermoformage.....	99
3.3.3.1.2-Après réalisation d'une maquette en cire.....	103
3.3.3.2-Avantages.....	112
3.3.3.2.1-Par thermoformage.....	112
3.3.3.2.2-Après réalisation d'une maquette en cire.....	113
3.3.3.3-Inconvénients .....	114
3.3.3.3.1-Par thermoformage.....	114
3.3.3.3.2-Après réalisation d'une maquette en cire.....	115
3.3.4-La comparaison des différents types d'embouts .....	115
Conclusion.....	118
Table des illustrations.....	121
Références bibliographiques .....	124

# Introduction

Tout chirurgien-dentiste peut être amené à recevoir en consultation un patient qui pratique la plongée sous-marine. Cette activité nécessite une prise en charge bucco-dentaire spécifique.

C'est pourquoi il convient de comprendre le milieu hostile dans lequel le plongeur évolue et les contraintes qu'exerce ce milieu sur lui. En effet lors d'une plongée avec scaphandre, l'individu est confronté à un environnement sous-marin, obéissant à des lois physiques différentes de celles auxquelles il est soumis sur la terre ferme.

Contrairement à de nombreux sports où les pathologies sont consécutives à des traumatismes par chutes ou contacts, l'origine de la plupart des accidents de plongée découle de situations physiopathologiques spécifiques. Certains de ces accidents peuvent être graves, voire mortels, ou laisser d'importantes séquelles. D'autres, plus bénins mais néanmoins réels, touchent la cavité buccale.

Par ailleurs, apparenté aux mammifères, l'Homo sapiens ne peut se transformer en « Homo aquaticus » qu'en ayant recours à des artifices respiratoires tels que le scaphandre avec détendeur. Le raccordement de ce système à l'appareil respiratoire humain est réalisé au niveau intrabuccal par un embout. Le sportif subaquatique évoluant alors dans un milieu physiologiquement hostile, la conception de l'embout doit lui permettre un maintien en bouche facile et confortable.

Le rôle du chirurgien-dentiste est primordial dans la prise en charge des patients qui pratiquent la plongée sous-marine. Il joue un rôle clé dans l'information du patient, la prévention des pathologies odonto-stomatologiques liées à cette activité, et dans leurs traitements le cas échéant. Etant donné le danger que représente l'apparition de ces douleurs lors d'une plongée, il est important pour le chirurgien-dentiste de pouvoir comprendre, prévenir et traiter ces problèmes.

# 1-Principes physiques régissant la plongée

Afin de bien comprendre les causes des divers accidents auxquels un plongeur est susceptible d'être confronté, il est indispensable d'effectuer un rappel de quelques notions de physique.

Nous les étudierons en examinant attentivement leur application à la plongée (Molle et Rey, 1997).

## 1.1-Généralités sur la pression

### 1.1.1-Définition

Une pression est le résultat d'une force appliquée sur une surface (Molle et Rey, 1997).

$$P = F/S$$

Si : P est la pression en Pascal,  
F la force en Newton,  
S la surface en mètre carré.

Dans le système international (SI), l'unité de mesure est le Pascal (Pa).

Le Pascal est la pression exercée par une force de 1 Newton (N) répartie sur une surface de 1 mètre carré (m<sup>2</sup>) (Fig. 1). Cela correspond à une pression très faible, c'est pourquoi un multiple du Pascal lui est préféré : le bar (bar), qui vaut 100 000 Pascals.

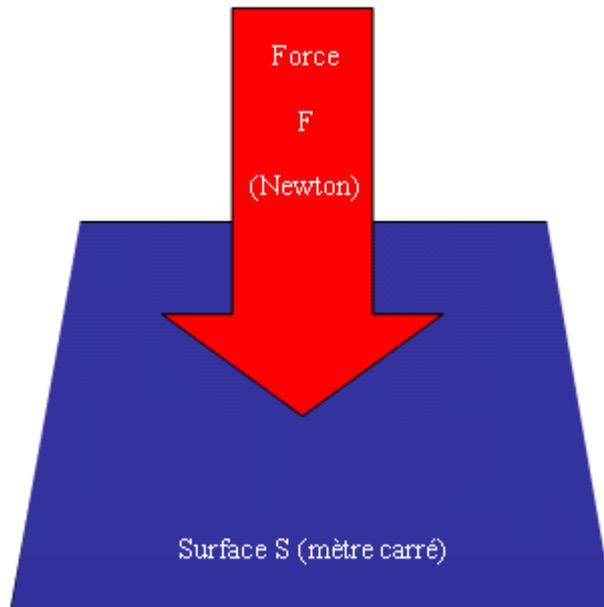
La pression peut aussi être exprimée en kilogrammes par centimètre carré (kg/cm<sup>2</sup>), unité encore utilisée dans les manuels de plongée.

Parfois, les valeurs de pression sont encore exprimées en atmosphères (atm, et il faut savoir que 1 atm = 1,033 kg/cm<sup>2</sup>) (Molle et Rey, 1997).

Donc :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/1 m}^2$$
$$1 \text{ bar} = 1 \text{ N/1 cm}^2 = 1 \text{ kg/1 cm}^2 \approx 1 \text{ atm}$$

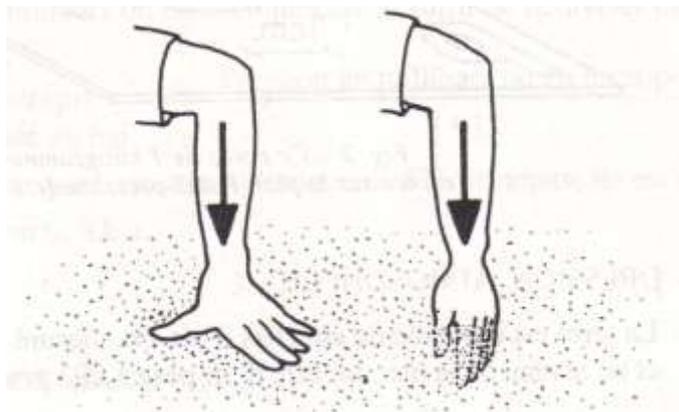
$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} \approx 1 \text{ atm}$$



**Figure 1: Schéma de représentation de la pression.**

Mise en évidence pratique :

Pour bien comprendre la notion de pression, il suffit d'essayer d'enfoncer dans le sable une main à plat. Elle ne pénètre pas. Puis recommencer avec la main à la verticale de façon à pénétrer dans le sable par le bout des doigts. La main s'enfonce facilement (Fig. 2). Dans les deux cas, la même force est développée. Dans le 1<sup>er</sup>, la surface d'appui étant grande, la pression se révèle faible. Dans le second, pour la même force exercée mais sur une surface réduite, la pression se révèle plus importante (Molle et Rey, 1997).



**Figure 2: La main à plat ne s'enfonce pas dans le sable, la main tendue s'y enfonce d'après Molle et Rey, 1997.**

### **1.1.2-Pression atmosphérique**

La terre est entourée de couches d'air. Un litre (L) d'air, mesuré par rapport au vide et au niveau de la mer, pèse 1, 293 grammes (g). Le poids de cet air exerce une pression sur tout corps à la surface de la terre. Celle-ci est appelée pression atmosphérique. Elle varie suivant l'altitude. En effet, plus un corps s'élève, moins la couche d'air située au-dessus de lui est épaisse, donc plus la pression atmosphérique est faible (Molle et Rey, 1997).

La pression atmosphérique a été longtemps mesurée en millimètres de mercure (mmHg) en raison de l'utilisation courante de baromètre à colonne de mercure (<http://fr.wikipedia.org>).

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est de 760 millimètres (mm) de mercure, c'est-à-dire qu'elle correspond à la pression exercée par une colonne de mercure de 760 millimètres de haut.

Cette pression est égale à 1,013 bars (Molle et Rey, 1997).

Par convention et par volonté de simplification, il a été décidé que pour exprimer en bars une pression atmosphérique en altitude donnée en millimètres de mercure, il suffit de la diviser par 760 (Molle et Rey, 1997).

$$\text{Pression atmosphérique en altitude en bar} = \frac{\text{Pression en mmHg}}{760}$$

Par exemple, une pression atmosphérique de 673 millimètres de mercure est égale à :  
 $\frac{673}{760}$  soit 0,88 bar.

Afin de simplifier les calculs, il faut considérer qu'au niveau de la mer :

$$\text{Pression atmosphérique} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

### **1.1.3-Pression hydrostatique ou relative**

Un corps plongé dans l'eau va subir une pression égale au poids de la colonne d'eau située au-dessus de lui. Cette pression est appelée pression relative. Elle varie avec la profondeur. Si le corps s'enfonce, la quantité d'eau situé au-dessus de lui augmente, et la pression relative est de plus en plus importante (Molle et Rey, 1997).

La pression relative d'un corps plongé à 10 mètres (m) de profondeur sera de 1 bar ou 1 kilogramme par centimètre carré. Cette pression augmente de 1 bar tous les 10 mètres. Elle sera donc de 2 bars à 20 mètres et de 3 bars à 30 mètres (Molle et Rey, 1997).

### **1.1.4-Pression absolue**

La pression relative n'est pas la seule pression à laquelle le corps immergé est soumis. En effet, il subit également la pression qu'exerce l'atmosphère sur cette eau, soit 1 bar de plus.

Le total de la pression relative et de la pression atmosphérique s'appelle pression absolue (Fig. 3) (Molle et Rey, 1997).

$$\text{Pression absolue} = \text{Pression atmosphérique} + \text{Pression relative}$$

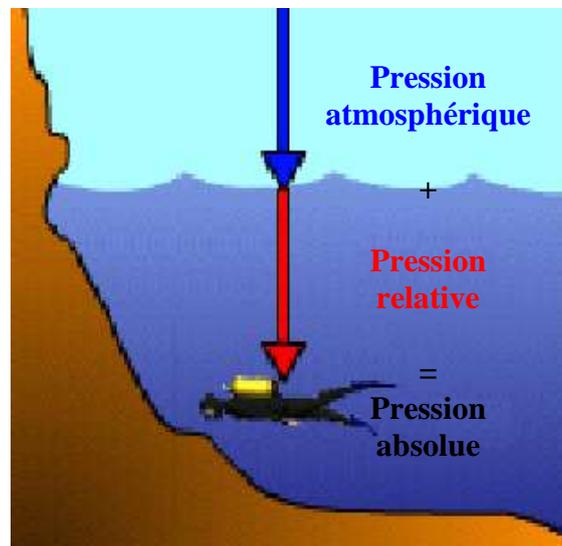


Figure 3: La pression absolue, emprunté à <http://www.cdp-plongee.com>.

Des exemples sont donnés dans le tableau ci-dessous (Fig. 4).

Profondeur en mètres	Pression atmosphérique en bars		Pression relative en bars		Pression absolue en bars
0	1	+	0	=	1
10	1	+	1	=	2
20	1	+	2	=	3
30	1	+	3	=	4
40	1	+	4	=	5
45	1	+	4,5	=	5,5
50	1	+	5	=	6

**Figure 4: Evolution des pressions selon la profondeur.**

## **1.2-Principe d'Archimède**

### **1.2.1-Enoncé**

« Tout corps plongé dans un liquide reçoit, de la part de celui-ci, une force verticale, dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume du liquide déplacé » (Molle et Rey, 1997).

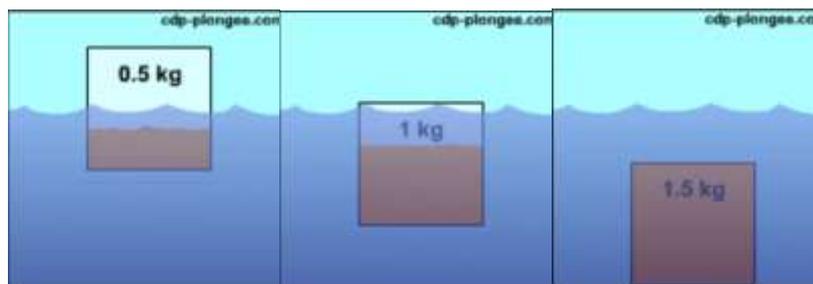
Cette force est appelée poussée d'Archimède (Molle et Rey, 1997).

### **1.2.2-Mise en évidence**

Il suffit de prendre un cube indéformable ayant un volume de 1 décimètre cube ( $\text{dm}^3=1 \text{ L}$ ) et pesant 500 grammes. Le plonger dans l'eau : il flotte. Ajouter dans le cube un poids de 500 grammes et le plonger à nouveau dans l'eau. Il est en équilibre, quelle que soit la profondeur. Ajouter encore dans ce cube un poids de 500 grammes. Il coule. En effet, un décimètre cube, c'est le volume qu'occupe un litre d'eau. Or un litre d'eau pèse un kilogramme (kg) (Molle et Rey, 1997).

Il est possible d'observer que :

- si le cube est plus léger que la quantité d'eau ayant le même volume que lui, il flotte ;
- s'il pèse le même poids, il est en équilibre ;
- s'il est plus lourd, il coule (Fig. 5) (Molle et Rey, 1997).



**Figure 5: Un cube de 1dm<sup>3</sup> flotte s'il pèse 500 g, est équilibré s'il pèse 1 kg, et coule s'il pèse 1,5 kg, emprunté à <http://www.cdp-plongee.com>.**

Ce principe est vrai pour tout corps immergé (Molle et Rey,1997).

Cependant dans l'eau la notion de poids se trouve remplacée par la notion de poids apparent, définie comme le poids de l'objet diminué de la poussée exercée par l'eau (Villevieille, 1995).

$$\text{Poids apparent} = \text{Poids réel} - \text{Poussée d'Archimède}$$

## **1.2.3-Applications et conséquences**

### **1.2.3.1-Applications**

Le principe d'Archimède a de nombreuses applications à la plongée.

La plus caractéristique est la flottabilité (Foret et Torres, 2008). Elle correspond à la poussée verticale, dirigée de bas en haut, qu'un fluide exerce sur un objet immergé. La flottabilité agit toujours dans la direction opposée à la gravité (<http://fr.wikipedia.org>). Elle est donc déterminée par le rapport poids/volume (Foret et Torres, 2008).

L'Homme est naturellement doté de poumons qui lui permettent de s'équilibrer dans l'eau. La quantité d'air contenue dans les poumons du plongeur est donc le premier facteur agissant sur sa flottabilité. Ceci peut être facilement constaté lors de la baignade. Si l'Homme gonfle ses poumons, il flotte, alors que s'il les vide, il a tendance à couler. En agissant de la sorte, il modifie son volume et donc sa flottabilité (Foret et Torres, 2008). C'est ce qui est appelé le poumon ballast (Villevieille, 1995). Avec une ventilation « normale », c'est-à-dire sans exagérer l'expiration ou l'inspiration, le plongeur est correctement équilibré. Cet équilibre naturel va être perturbé par l'équipement de plongée et il faudra trouver les moyens de le restaurer (Foret et Torres, 2008).

Sont illustrés ci-dessous les éléments essentiels de l'équipement du plongeur qui ont un impact sur sa flottabilité (Fig. 6) à savoir :

- la combinaison,
- le lestage,
- le gilet,
- la bouteille,
- le parachute de relevage.



**Figure 6: Facteurs influençant la flottabilité d'après Foret et Torres, 2005.**

Le premier équipement indispensable au plongeur et qui a un impact non négligeable sur sa flottabilité est la combinaison isothermique qu'il revêt (Fig. 7).



**Figure 7: Une combinaison de plongée.**

Cette combinaison, constituée de caoutchouc alvéolaire plus léger que l'eau, augmente son volume et la poussée d'Archimède est nettement plus forte que s'il n'en portait pas (Molle et Rey, 1997). Ainsi le plongeur flotte et le terme de flottabilité positive est alors utilisé (Foret et Torres, 2008).

Pour compenser la flottabilité positive précédemment décrite, qui attire donc l'Homme vers la surface, le plongeur doit placer à sa ceinture des plombs qui ont un poids important pour un faible volume (Fig. 8) (Molle et Rey, 1997).



**Figure 8: Une ceinture de plomb.**

Cependant, il faut bien comprendre que le lest ne sert pas à couler, il permet uniquement de compenser l'excès de flottabilité donné par la combinaison (Foret et Torres 2008).

Le nombre de ces plombs doit équilibrer exactement la poussée d'Archimède, l'objectif étant de retrouver l'équilibre naturel que l'Homme a dans l'eau, lorsqu'il est en maillot de bain (Foret et Torres, 2008 ; Molle et Rey, 1997).

Il existe différents types de plombs, allant de 500 grammes à 1, 2 ou 3 kilogrammes (Foret et Torres, 2008).

Cependant l'exactitude de ce lestage est impossible à obtenir. En effet, le plongeur effectue son lestage à la surface où il est correctement équilibré. Mais lorsqu'il descend, tous les gaz se compriment : ceux de l'estomac, des intestins, mais aussi l'air contenu dans les alvéoles du néoprène de la combinaison. Le volume diminue, donc la poussée d'Archimède est moins grande, et il a tendance à couler. C'est ainsi que, bien équilibré à la surface, il est beaucoup trop lourd à 40 mètres. C'est pourquoi, pour être bien équilibré à cette profondeur, le plongeur doit introduire de l'air dans son gilet de stabilisation (Fig. 9) (Molle et Rey, 1997).



**Figure 9: Un gilet stabilisateur.**

Le plongeur peut, à l'aide du gonflage de son gilet stabilisateur, faire varier son volume et ainsi être équilibré à toutes les profondeurs (Villevieille, 1995).

La flottabilité positive de la combinaison est compensée également en partie, par le poids de la bouteille de plongée (Fig. 10) (<http://www.cdp-plongee.com>).



**Figure 10: Une bouteille de plongée aussi appelée « bloc ».**

Le poids de la bouteille va dépendre de son volume (12 ou 15 litres par exemple) et du matériau utilisé (acier ou aluminium). Il faut rappeler qu'une bouteille qui pèse 15 à 20 kilogrammes en surface n'en pèse plus que 2 ou 3 dans l'eau (Foret et Torres, 2008). Il faut

noter aussi que le poids réel de la bouteille diminue au cours de la plongée par consommation de l'air par le plongeur (<http://www.cdp-plongee.com>).

Enfin le parachute de relevage (Fig. 11).



**Figure 11: Un parachute de relevage, emprunté à <http://www.scubaland.fr>.**

Ce dernier permet de remonter de lourds objets du fond et sans effort en introduisant de l'air à l'intérieur (<http://www.cdp-plongee.com>).

### **1.2.3.2-Conséquences**

Cette loi, précédemment énoncée, a deux conséquences :

- la flottabilité diminue si la profondeur augmente par diminution du volume d'air de la combinaison, du gilet...

- la flottabilité augmente en cours de plongée, par consommation de l'air contenu dans la bouteille (Villevieille, 1995). En fin de plongée la bouteille est plus légère d'environ 3 kilogrammes. Il faut donc en tenir compte lors du lestage (<http://www.cdp-plongee.com>).

## **1.3-Loi de Boyle Mariotte**

### **1.3.1-Enoncé**

« A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit » (Villevieille, 1995).

Autrement dit :

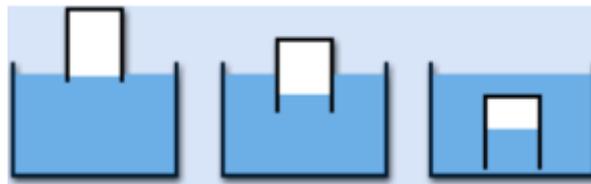
$$\frac{P \times V}{T} = \text{Constante}$$

### 1.3.2-Mise en évidence

Les corps solides et les liquides sont pratiquement incompressibles. Par contre, les gaz sont aisément compressibles. La pression exercée par l'eau va donc comprimer les gaz (Molle et Rey,1997).

Il est facile de le vérifier à l'aide d'un récipient rempli d'eau et d'un verre vide. Le verre vide est retourné à la surface de l'eau, puis il est enfoncé progressivement dans l'eau (Fig. 12).

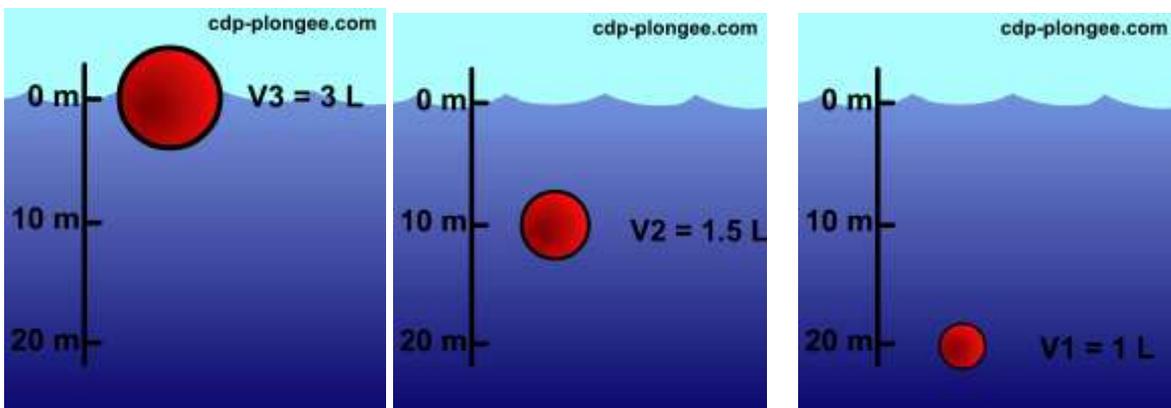
Plus le verre s'enfoncé dans le récipient, plus l'eau remonte à l'intérieur du verre. Or l'air ne s'échappant pas du verre au fur et à mesure de l'enfoncement, cela signifie donc que le volume d'air diminue avec la profondeur, et par conséquent, avec l'augmentation de la pression (Molle et Rey,1997).



**Figure 12: L'air est comprimé. Son volume est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit, emprunté à <http://www.sous-la-mer.com>.**

Il est possible de vérifier cette loi en gonflant un ballon de caoutchouc avec 3 litres d'air (Fig. 13) :

$P_3 = 1 \text{ bar}$	$V_3 = 3 \text{ litres}$	donc $P \times V = 3$ .
Quand le ballon est immergé à 10 mètres, le ballon diminue de moitié :		
$P_2 = 2 \text{ bars}$	$V_2 = 1,5 \text{ litre}$	donc $P_2 \times V_2 = 3$ .
A 20 mètres :		
$P_1 = 3 \text{ bars}$	$V_1 = 1 \text{ litre}$	donc $P_1 \times V_1 = 3$ .



**Figure 13: Influence de la pression sur les volumes d'air fermés, emprunté à <http://www.cdp-plongee.com>.**

A la remontée, le volume du ballon est vérifié aux différents paliers (un palier est un arrêt à une certaine profondeur pendant un temps donné, de manière à évacuer l'azote en excès dans le corps du plongeur, avant de poursuivre la remontée) de 20, 10 et 0 mètres. Il est observé que le volume mesuré coïncide avec celui constaté, à profondeur égale, lors de la descente (Molle et Rey, 1997 ; Foret et Torres, 2008).

Cette expérience permet de vérifier la loi de Boyle Mariotte, et aussi de mettre en évidence que, dans les dix premiers mètres, les variations relatives de volume et de pression sont proportionnellement plus importantes qu'en profondeur. En effet de 0 à 10 mètres, la pression double, et le volume diminue de moitié (Molle et Rey, 1997).

Ci-dessous, un tableau de rappel des variations de pressions absolues et de volumes en fonction de la profondeur (Fig. 14) :

Profondeur en mètres	Pression absolue en bars	Volume en litres
0	1	3
10	2	1,5
20	3	1
30	4	0,75
40	5	0,6
45	5,5	0,55
50	6	0,5

**Figure 14: Evolution de la pression absolue et du volume en fonction de la profondeur.**

### **1.3.3-Applications et conséquences**

#### **1.3.3.1-Applications**

Cette loi a de nombreuses applications en plongée notamment dans :

- le chargement des blocs de plongée,
- l'amélioration de la flottabilité,
- les profondimètres mécaniques,
- le levage, la bouée, etc... (Villevieille, 1995).

##### **1.3.3.1.1-Chargement des blocs de plongée**

Il a été mis en évidence précédemment que le produit de la pression par le volume est constant. Ainsi lorsque la pression augmente, le volume diminue et inversement. Cependant, des bouteilles remplies à 200 bars à l'issue du gonflage semblent « perdre » de la pression sans fuite apparente, pour se retrouver à 180 bars peu de temps après. En fait le rapport constant entre la pression et le volume d'un gaz ne se vérifie que si la température est

constante. Lorsque la température s'élève, la pression augmente. Négligeable lors de faibles variations de températures, ce phénomène prend toute son importance pendant les phase de gonflage où la température peut varier de plusieurs dizaines de degrés. Ainsi, il est fortement conseillé :

- de ne pas gonfler trop rapidement les bouteilles pour éviter un échauffement important,

- de ne jamais entreposer un bloc au soleil (Foret et Torres, 2007).

### **1.3.3.1.2-Amélioration de la flottabilité**

Grâce au gilet stabilisateur, le plongeur peut faire varier son volume d'air et de cette façon modifier sa flottabilité (Foret Torres, 2008).

### **1.3.3.1.3-Profondimètres mécaniques**

Ils sont aussi appelés bathymètres à capillaire. Ils indiquent la profondeur exacte à laquelle le plongeur se trouve. Ils sont en général composés d'un tuyau circulaire contenant de l'air, et ouvert à une extrémité. L'eau, en y pénétrant, exerce alors une pression sur cet air, qui diminue de volume au fur et à mesure que la profondeur augmente. Son fonctionnement est donc une application directe de la loi de Boyle-Mariotte (Molle et Rey, 1997).

### **1.3.3.1.4-Levage, bouée...**

Le parachute de levage exige une formation spécifique avant son utilisation. En effet lors du déploiement, le parachute de levage ajoute de la flottabilité spontanée au plongeur qui risque d'être entraîné vers la surface (Molle et Rey, 1997).

## **1.3.3.2-Conséquences**

Elle a pour conséquences :

- les barotraumatismes,
- l'accident de décompression,
- la variation de la consommation d'air en fonction de la pression,
- la variation de la pression dans un bloc en fonction de la température (Villevieille, 1995).

### **1.3.3.2.1-Barotraumatismes**

Dès les premières études concernant les troubles barotraumatiques subis par l'organisme, les auteurs ont mis en relief les effets de cette loi sur les gaz contenus dans les cavités aériques de l'organisme (telles que les sinus par exemple ou les oreilles) comme cause possible des barotraumatismes.

La compression ou la décompression de l'air dans l'organisme peut entraîner des accidents (<http://cdp-plongee.com>). Par exemple, lors de la remontée, la diminution de pression entraîne une augmentation de volume du gaz qui, enfermé dans une cavité anatomique, pourra être responsable d'un barotraumatisme s'il n'existe pas de porte de sortie pour l'expansion du gaz (<http://letortjm.free.fr>).

### **1.3.3.2.2-Accident de décompression**

Au cours d'une plongée, un plongeur respire de l'air ambiant comprimé et donc un mélange de plusieurs gaz dont il est important de connaître la composition. L'air contient : 79,00% d'azote (N<sub>2</sub>), 20,90% d'oxygène (O<sub>2</sub>) et 0,03% de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Les 0,07% restant sont un mélange de gaz rares (Néon, Crypton, Argon...). Le plongeur va consommer l'oxygène mais l'azote, quant à lui ne le sera pas. Il sera donc retrouvé sous forme dissoute dans les tissus (Molle et Rey, 1997).

L'accident de décompression survient chez des plongeurs descendus trop profondément ou trop longtemps, qui remontent trop vite ou sans faire de paliers de décompression. Il est lié à une baisse de la pression ambiante subie par le corps (à la suite d'une forte compression antérieure pendant la plongée). C'est une des applications directes de la loi de Henry qui sera décrite plus loin (<http://fr.wikipedia.org>). Les accidents de décompression sont liés à une libération anarchique de l'azote accumulé dans les tissus, au cours, ou à l'issue d'une plongée. Durant la remontée, l'azote dissout pendant la plongée reprend sa forme gazeuse sous forme de micro-bulles évacuées par la respiration au fur et à mesure de leur apparition. Si l'une de ces bulles atteint un diamètre suffisant pour boucher un vaisseau sanguin, la circulation est bloquée localement (embolie gazeuse) et la zone non irriguée se nécrose progressivement. En plus du blocage de la circulation, il se produit un agrégat plaquettaire en amont de la bulle d'azote, qui finit par créer un thrombus. Les bulles peuvent également se développer hors du système sanguin et provoquer des gênes fonctionnelles, des paralysies ou de fortes douleurs. Un dégazage excessif entraîne, outre les phénomènes pré-cités, des perturbations biologiques. Les bulles agissent de façon mécanique en abrasant la face interne des vaisseaux sanguins, elles entraînent également une augmentation du nombre de plaquettes. Les micro-blessures, les plaquettes, l'activation des facteurs coagulants, concourent à un épaississement du sang (appelé « sludge » qui signifie boue). Cela a pour conséquence une circulation difficile par diminution de la masse sanguine ainsi qu'une aggravation de l'hypoxie cellulaire. Ces phénomènes portent le nom de « maladie de la décompression » par opposition au terme « d'accident de décompression » qui n'évoque pas les conséquences à longue échéance (<http://www.sous-la-mer.com>).

### **1.3.3.2.3-Variation de la consommation d'air en fonction de la pression**

Selon la profondeur à laquelle se trouve le plongeur, il respire de l'air à la pression ambiante (<http://letortjm.free.fr>). Ainsi, l'air étant comprimé en profondeur, pour un même volume d'air inspiré la quantité d'air consommée augmente avec la profondeur (<http://cdp-plongee.com>).

### 1.3.3.2.4-Variation de la pression dans un bloc en fonction de la température

En effet cette donnée obéit à la loi de Boyle-Mariotte ( $P.V/T = \text{Constante}$ ), qui trouve son application lors du gonflage des bouteilles. Un bloc qui vient d'être gonflé est chaud, et sa pression est plus élevée qu'après refroidissement (<http://mf1.hendaye2002.free.fr>).

## 1.4-Loi de Dalton

La loi de Dalton établit une série de règles qui régissent le mélange gazeux que respire le plongeur. Ces règles sont essentielles car à partir d'une certaine profondeur, chacun des gaz qui compose l'air devient toxique pour l'organisme et peut entraîner des accidents biochimiques (<http://www.cdp-plongee.com>).

### 1.4.1-Enoncé

« 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 » (Molle et Rey, 1997).

### 1.4.2-Mise en évidence

L'expérience de Berthollet consiste à prendre 2 compartiments de 1 litre contenant chacun un gaz (dans notre exemple de l'hydrogène  $H_2$  et du dioxyde de carbone  $CO_2$ ) à la pression de 1 bar. Ces 2 compartiments peuvent être mis en communication en ouvrant un robinet (<http://www.cdp-plongee.com>).

Au stade T1, le robinet est fermé, les deux gaz sont donc isolés l'un de l'autre (Fig. 15) (<http://www.cdp-plongee.com>).

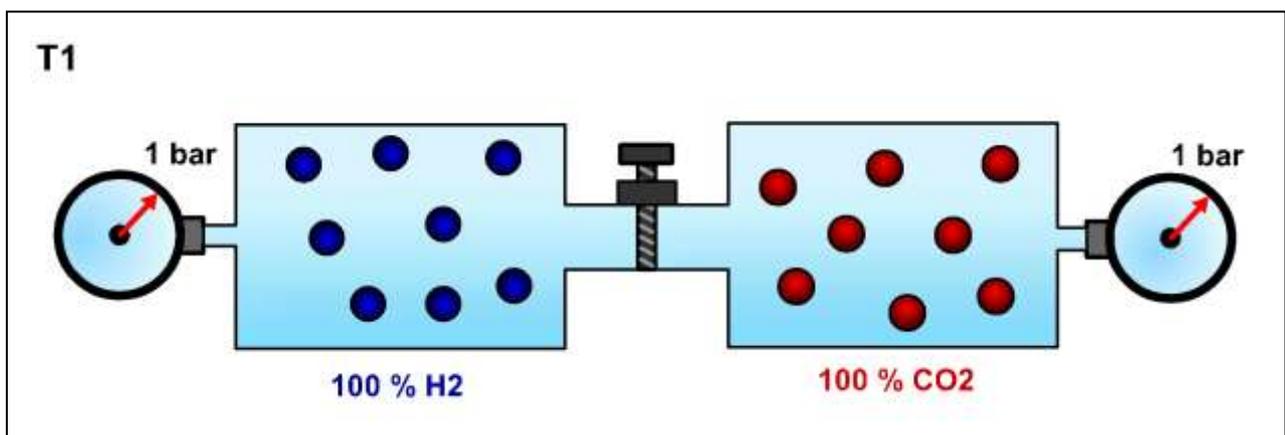
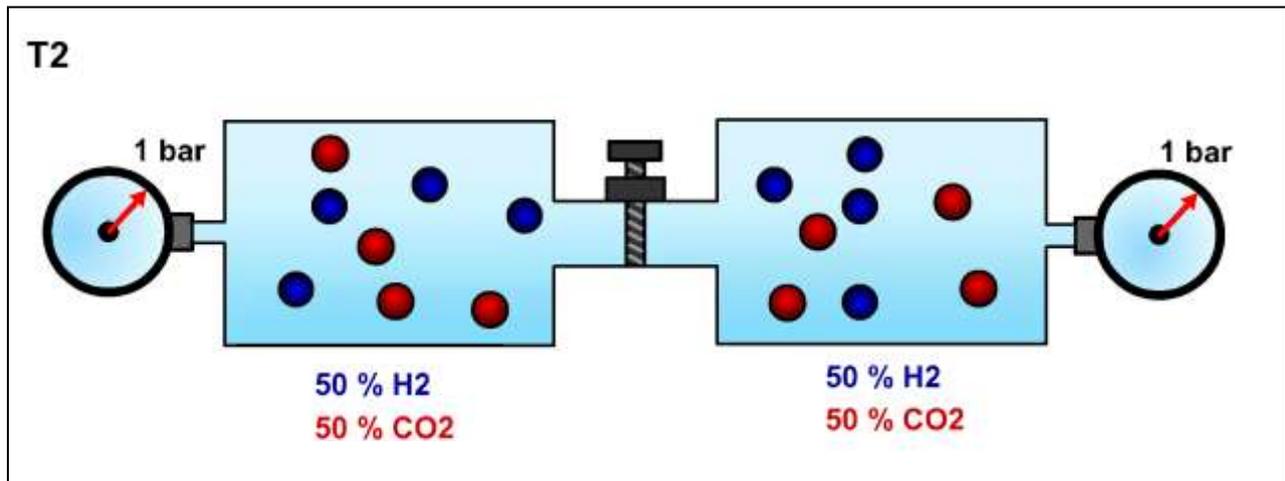


Figure 15: Au stade T1 les gaz sont isolés l'un de l'autre, emprunté à <http://www.cdp-plongee.fr>.

Le robinet est ensuite ouvert. La pression de l'ensemble formé par les deux compartiments ne varie pas et reste égale à 1 bar (<http://www.cdp-plongee.com>).

Au stade T2, le robinet est refermé (Fig. 16). Chaque compartiment contient alors un mélange gazeux composé de 50% d'hydrogène et de 50% de dioxyde de carbone. Ces mélanges étant toujours à la pression de 1 bar. Dans un compartiment, chacun des deux gaz occupe donc la moitié du volume et est responsable de la moitié de la pression totale (<http://www.cdp-plongee.com>).



**Figure 16: Au stade T2, chaque compartiment comprend un mélange constitué de 50% de H2 et de 50% de CO2, mais la pression reste constante, emprunté à <http://www.cdp-plongee.fr>.**

### 1.4.3-Notion de pression partielle

La loi de Dalton amène donc naturellement à parler de la notion de pression partielle d'un gaz dans un mélange.

$$\text{Pression absolue} = \text{Pression Partielle (gaz 1)} + \text{Pression Partielle (gaz 2)} \dots$$

La pression partielle d'un gaz dans un mélange est égale au pourcentage de ce gaz dans le mélange multiplié par la pression absolue (Molle et Rey, 1997).

$$\text{Pression Partielle} = \text{Pression Absolue} \times \% \text{ Gaz}$$

Ce phénomène peut être illustré par un exemple : un plongeur respire à 40 mètres de l'air comprimé. Grâce à son détendeur il respire l'air à la pression à laquelle il se trouve (Molle et Rey, 1997).

Un détendeur est un mécanisme utilisé pour faire passer un gaz stocké dans la bouteille à une certaine pression, vers l'embout où la pression est plus faible (Fig. 17). Il permet ainsi au plongeur de respirer l'air contenu dans son bloc à la pression à laquelle il se trouve. Sachant que sa bouteille de plongée contient de l'air comprimé à 200 bars et que le plongeur évolue à une profondeur où la pression varie entre 1 et 7 bars, il est nécessaire de ramener l'air comprimé à la pression ambiante avant de le fournir aux poumons. C'est ce qui est appelé « la détente » de l'air. Ceci car les poumons sont très sensibles aux différences de pression et peuvent subir des lésions alvéolaires dès 0,25 bar de surpression, ou de sous-pression (<http://www.divazur.com>).



**Figure 17: Un détendeur à deux étages.**

Cette détente se fait généralement en deux étapes. La première étape transforme l'air à haute pression en pression intermédiaire, aussi appelée moyenne pression, c'est le rôle du premier étage du détendeur, celui qui est fixé à la bouteille. La seconde transforme l'air à la pression intermédiaire en air à la pression ambiante, respirable par le plongeur. C'est le rôle du deuxième étage, celui qui se trouve devant la bouche (Foret et Torres, 2008).

Reprenons l'exemple dans lequel un plongeur respire à 40 mètres de l'air à la pression ambiante. A cette profondeur, la pression étant de 5 bars, l'air est soumis à la même pression. Cet air est composé de 21% d'oxygène et de 79% d'azote. Si l'oxygène était seul, il occuperait toute la place et aurait une pression de 5 bars. Comme il n'occupe que 21% du

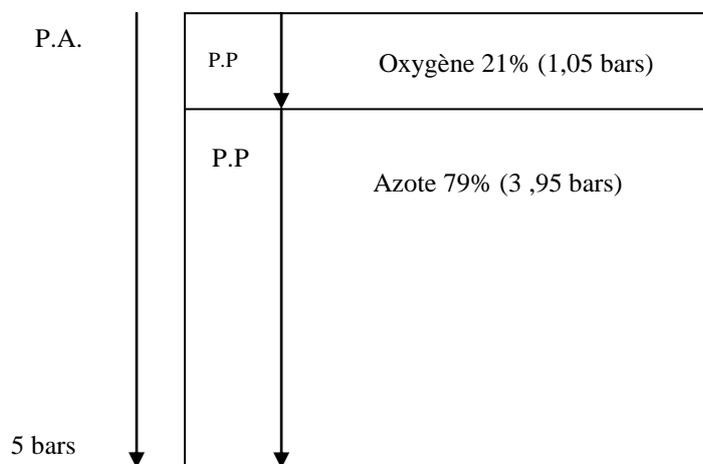
volume total, sa pression est de 21/100 de la pression du mélange. Cette pression que l'on appelle pression partielle (PP) est donc de :

$$PPO_2 = (21/100) \times 5 \quad \text{soit } PPO_2 = 1,05 \text{ bars.}$$

De même, si l'azote était seul, il occuperait toute la place et aurait une pression de 5 bars. Mais, comme il n'occupe que 79% du volume, sa pression est de 79/100 de la pression du mélange, à savoir :

$$PPN_2 = (79/100) \times 5 \quad \text{soit } PPN_2 = 3,95 \text{ bars.}$$

La somme de ces deux pressions partielles (1,05 + 3,95) est bien égale à 5 bars, qui est la pression absolue du mélange (Fig. 18) (Molle et Rey, 1997).



**Figure 18: La pression absolue (5 bars) est égale à la somme des pressions partielles d'après Molle et Rey, 1997.**

## **1.4.4-Applications et conséquences**

### **1.4.4.1-Applications**

La loi de Dalton présente de nombreuses applications en plongée, notamment concernant :

- l'utilisation de mélanges différents de l'air,
- le calcul des tables de plongée (Villevieille, 1995).

#### **1.4.4.1.1-Utilisation de mélanges différents de l'air**

L'utilisation de mélanges différents de l'air, est aussi appelée plus couramment « plongée aux mélanges ». Il s'agit de plongées dont le mélange respirable est composé des

mêmes constituants principaux que l'air mais avec des proportions différentes (Villevieille, 1995).

Plusieurs types de mélanges sont utilisés. Les plus connus sont le Nitrox et le Trimix.

Le terme Nitrox vient de la contraction des mots NITROgen (azote en anglais) et OXYgen. Une plongée au Nitrox est réalisée avec de l'air enrichi en oxygène (O<sub>2</sub>) et donc appauvri en azote (N<sub>2</sub>), noté également EAN pour Enriched Air Nitrox. L'intérêt de telles plongées est de réduire la charge en azote, afin de :

- accroître la sécurité des plongées en réduisant les risques d'accidents de désaturation,
- diminuer la fatigue de fin de plongée, due en grande partie à l'élimination de l'azote en excès (Foret et Torres, 2008).

Depuis de nombreuses années, les militaires et les professionnels remplacent tout (Héliox : hélium/oxygène) ou partie (Trimix : azote/hélium/oxygène) de l'azote de l'air par de l'hélium pour repousser le seuil de narcose (car l'hélium a un moindre pouvoir narcotique que l'azote) et pouvoir ainsi plonger plus profond et en toute sécurité (Foret et Torres, 2008).

La narcose ou « ivresse des profondeurs » est un trouble du système nerveux provoqué par l'azote au delà d'une certaine profondeur (Foret et Torres, 2008).

Les troubles, allant de la simple extase à la perte de conscience, apparaissent à des profondeurs variables suivant les individus et, pour un même individu, suivant les jours. Avec de l'air comprimé, les sujets les plus sensibles perçoivent des troubles à partir de 30 mètres. Au-delà de 60 mètres, tous les individus sont plus ou moins narcosés (Molle et Rey, 1997). Etant donné que les risques ne peuvent plus être gérés au-delà de 60 mètres, c'est donc la limite de plongée à l'air (Foret et Torres, 2008).

Cependant, si l'utilisation de Nitrox réduit les risques d'accidents de décompression, il faut être vigilant quant au risque de crise d'hyperoxie (Foret et Torres, 2008).

#### **1.4.4.1.2-Calcul des tables de plongée**

Une table de plongée est un recueil de différents paramètres de plongée, lesquels sont pris en compte dans un calcul, afin de permettre de remonter d'une plongée en sécurité et de garantir la bonne santé du plongeur. Le respect et une connaissance sans faille de l'utilisation des tables sont absolument indispensables pour quiconque plonge en autonome ou en encadré (<http://www.sous-la-mer.com>).

Les tables sont élaborées à partir d'un algorithme mathématique et d'expérimentations en conditions réelles. Elles ont évolué au cours du temps et sont devenues de plus en plus fiables grâce à l'expérience accumulée. Il en existe un grand nombre dans chaque pays. Les plus connues sont :

- les G.E.R.S. 65 qui ont précédé les MN90 actuelles,
- les COMEXPRO qui sont des tables de travail,
- les USNAVY qui sont des tables américaines,
- les MN 90 (Marine Nat.) utilisées en plongée sportive (Annexe) (<http://www.sous-la-mer.com>).

En France ce sont les tables MN 90 de la Marine Nationale qui sont approuvées par la FFESSM et qui sont donc utilisées pour tous les examens de plongeurs et de moniteurs depuis 1991 (Molle et Rey, 1997).

Les tables de plongée sont conçues pour être utilisées au niveau de la mer et à saturation à ce niveau. Tout autre utilisation demande d'effectuer des corrections (<http://www.sous-la-mer.com>).

### **1.4.4.2-Conséquences**

La loi de Dalton a pour conséquences :

- la toxicité des gaz : les accidents biochimiques,
- le mécanisme de l'accident de décompression (Villeveille, 1995).

#### **1.4.4.2.1-Accidents biochimiques**

La loi de Dalton permet d'expliquer les accidents biochimiques liés à la toxicité des gaz pour l'organisme. En effet la tolérance de l'organisme à divers gaz varie selon la nature des gaz et la pression à laquelle ils sont respirés (<http://www.cdp-plongee.com>).

Les principaux accidents biochimiques sont décrits dans le tableau suivant (Fig. 19). Les valeurs données sont des valeurs moyennes théoriques, les valeurs réelles variant en fonction de l'individu (<http://www.cdp-plongee.com>).

Gaz impliqué	Nom	Pression partielle seuil
Oxygène	Hyperoxie	$P_p > 1,6$ bar
Azote	Narcose ou ivresse des profondeurs	$P_p > 3,2$ bars
CO <sub>2</sub>	Essoufflement	$P_p > 0,02$ bar

**Figure 19: Principaux accidents biochimiques, emprunté à <http://www.cdp-plongee.com>.**

#### **1.4.4.2.2-Mécanisme de l'accident de décompression**

Le mécanisme de l'accident de décompression a été décrit précédemment (Partie 1.3.3.2.2) (Villeveille, 1995).

## 1.5-Loi de Henry

Lorsqu'un gaz est mis en contact avec un liquide, une partie de ce gaz se dissout dans le liquide. Différents facteurs influencent le degré de cette dissolution, en particulier la température et la pression (<http://www.cdp-plongee.com>).

La loi de Henry définit le comportement d'un gaz lorsqu'il est mis en contact avec un liquide en fonction de la pression exercée par ce gaz sur le liquide (<http://www.cdp-plongee.com>).

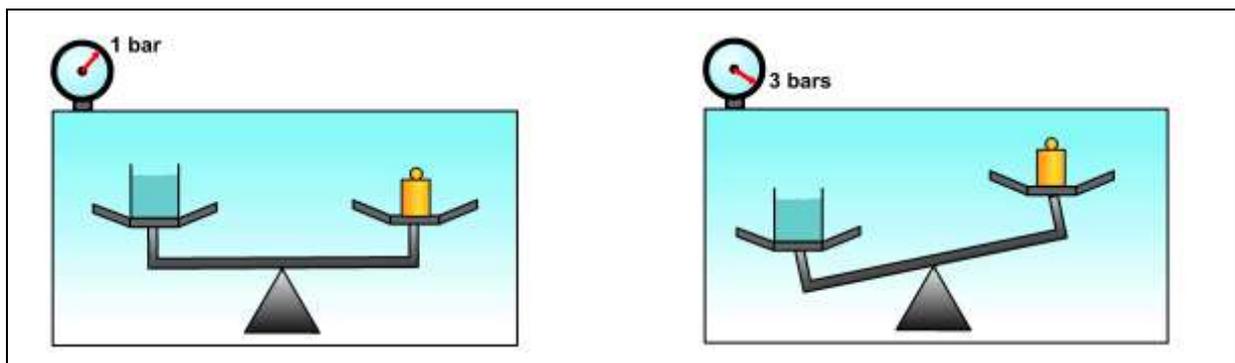
### 1.5.1-Enoncé

« A température donnée, la quantité de gaz dissoute à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus de ce liquide » (Molle et Rey, 1997).

### 1.5.2-Mise en évidence

Une balance est placée dans une enceinte close dans laquelle la pression est de 1 bar. Un récipient contenant de l'eau et un poids sont placés en équilibre sur cette balance. La pression au sein de l'enceinte est augmentée et placée à 3 bars. Au bout d'un certain temps, la balance n'est plus en équilibre : le récipient contenant l'eau est plus lourd que le poids. Ce déséquilibre est dû au gaz qui s'est dissout dans l'eau à cause de l'augmentation de la pression (Fig. 20).

Si la pression de l'enceinte est redescendue à 1 bar, la balance se rééquilibre. L'échange gazeux se fait donc dans les deux sens (<http://www.cdp-plongee.com>).



**Figure 20: L'augmentation de pression dans l'enceinte entraîne un déséquilibre de la balance dû au gaz qui s'est dissout dans l'eau, emprunté à <http://www.cdp-plongee.com>.**

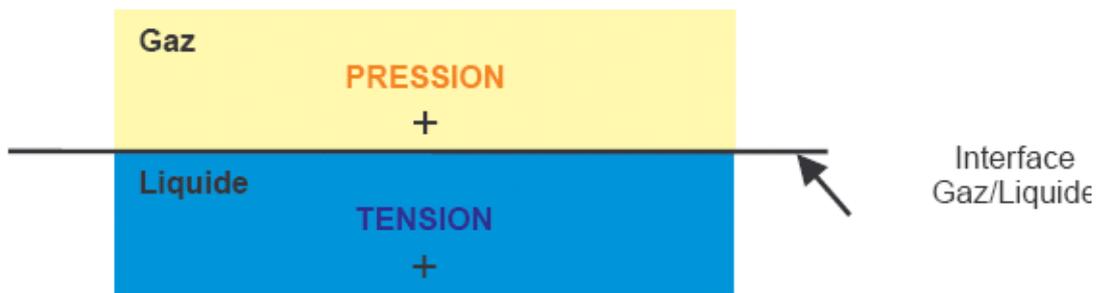
Lorsque le gaz est en phase dissoute le terme de tension d'un gaz est utilisé alors qu'il sera préférable d'utiliser le terme de pression partielle d'un gaz lorsque celui-ci est en phase gazeuse (Villevieille, 1995).

Il faut savoir que les échanges entre un gaz et la surface d'un liquide se font en permanence, donc si les conditions extérieures restent stables, il s'établit entre la pression du

gaz au dessus du liquide et la tension du gaz dans ce liquide un équilibre. Le liquide est alors dit à saturation (Villevieille, 1995).

### La saturation

La saturation est donc l'état où la pression du gaz au-dessus du liquide est égale à la tension du gaz dissout (Fig. 21) (<http://plongee.amiral.free.fr>).



**Figure 21: Schéma représentant l'état de saturation, emprunté à <http://pacsubaquatique.free.fr>.**

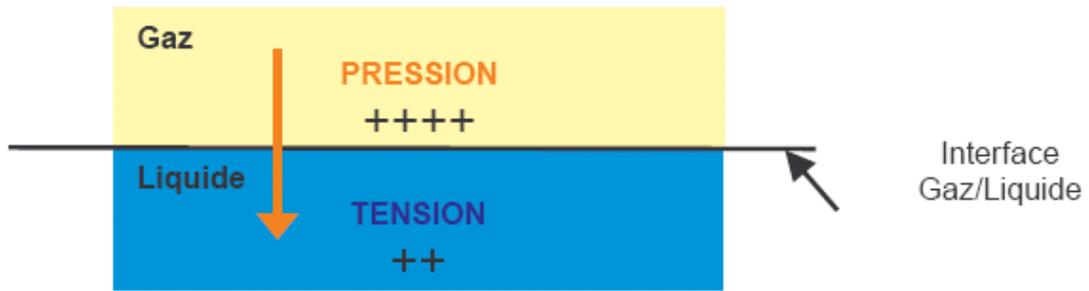
C'est un état stable qui n'évolue pas (<http://plongee.amiral.free.fr>). C'est un état d'équilibre (Villevieille, 1995).

Saturation : Pression = Tension

### La sous-saturation

Si la pression du gaz augmente, alors le liquide passe à un état de sous-saturation. Des molécules de gaz passent alors dans le liquide jusqu'à atteindre à nouveau la saturation (<http://www.cdp-plongee.com>).

La sous-saturation est donc l'état où la pression au-dessus du liquide est supérieure à la tension du gaz dissout (Fig. 22) (<http://plongee.amiral.free.fr>).



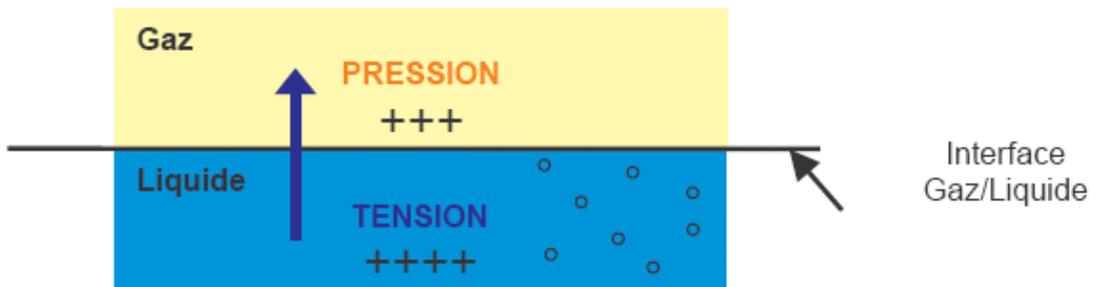
**Figure 22: Schéma représentant l'état de sous-saturation, emprunté à <http://pacsubaquatique.free.fr>.**

Il y a déséquilibre, la pression est supérieure à la tension (<http://pacsubaquatique.free.fr>). Le liquide va recommencer à dissoudre du gaz pour tendre vers un nouvel état de saturation (<http://plongee.amiral.free.fr>). C'est l'étape au cours de laquelle le liquide absorbe le gaz en le dissolvant (Villevieille, 1995). C'est un état instable qui évolue vers la saturation (<http://plongee.amiral.free.fr>).

Sous-saturation : Pression > Tension

**La sur-saturation**

Si la pression du gaz diminue, le liquide passe en sur-saturation. Des molécules de gaz vont alors s'échapper du liquide jusqu'à retrouver l'état de saturation. Si la pression baisse rapidement, il peut se former dans le liquide des bulles (<http://www.cdp-plongee.com>). Le terme de sur-saturation est utilisé lorsqu'il y a déséquilibre, c'est-à-dire que la pression est supérieure à la tension (Fig. 23) (<http://pacsubaquatique.free.fr>).



**Figure 23: Schéma représentant l'état de sur-saturation, emprunté à <http://pacsubaquatique.free.fr>.**

C'est l'étape au cours de laquelle le liquide restitue le gaz dissout préalablement pour tendre vers une nouvelle valeur de saturation (Villevieille, 1995). C'est l'état où la pression du gaz dissout est supérieure à la pression du gaz libre. Le liquide va éliminer du gaz pour tendre vers un nouvel état de saturation. C'est un état instable qui évolue vers la saturation (<http://plongee.amiral.free.fr>).

Sur-saturation : Pression < Tension

### La sur-saturation critique

Le terme de sursaturation critique est utilisé lorsque la différence entre la pression du gaz et la quantité de gaz dissout dans le liquide est trop importante. Non seulement le gaz dissout s'échappe du liquide, mais en plus, il se dégage sous forme de bulles au sein de ce liquide et ce sont ces bulles qui, entraînées dans la circulation sanguine vont provoquer les accidents de décompression (<http://plongee.amiral.free.fr>).

Sur-saturation critique : Pression >> Tension

Cependant il faut noter que la dissolution d'un gaz dans un liquide n'est pas instantanée. Si la pression augmente, la tension augmente progressivement. Si la pression diminue, la tension diminue progressivement. Au bout d'un certain temps, il se forme un état d'équilibre où la tension est devenue égale à la pression. Cet état de saturation est différent suivant la pression et varie dans le même sens que la pression (<http://plongee.amiral.free.fr>).

La quantité de gaz qu'un volume donné de liquide peut absorber dépend essentiellement de la pression absolue exercée par le gaz sur le liquide (<http://plongee.amiral.free.fr>).

### Tableau récapitulatif (Fig. 24)

Pression	P augmente	P fixe		P diminue	P diminue	P diminue
Etat	Sous-saturation	Saturation		Sur-saturation	Sur-saturation critique	Au delà de la sur-saturation critique
Gaz	Se dissout	Equilibre	Elimination	Formation de	Dégazage incontrôlé	

	dans le liquide		du gaz	petites bulles	
--	-----------------	--	--------	----------------	--

**Figure 24: Les différents états de saturation, emprunté à <http://plongee.amiral.free.fr>.**

## **1.5.3-Applications et conséquences**

### **1.5.3.1-Applications**

Le calcul des tables de plongée est détaillé dans la partie intitulée « applications de la loi de Dalton » (Partie 1.4.4.1.2) (Villevieille, 1995).

### **1.5.3.2-Conséquences**

L'accident de décompression fait partie des conséquences majeures de la loi de Henry décrit précédemment (Partie 1.3.3.2.2) (Villevieille, 1995).

L'air que l'homme respire est mis en contact avec le sang au niveau des alvéoles pulmonaires, où se font les échanges gazeux. Le sang se débarrasse du gaz carbonique et s'enrichit en oxygène. Puis venant des poumons, il irrigue les tissus grâce au système cardiovasculaire. A leurs contacts, il donne son oxygène et se charge en gaz carbonique ; puis il retourne aux poumons, et le cycle recommence. L'azote, lui, n'a qu'un rôle de diluant (Molle et Rey, 1997).

A la pression atmosphérique, le sang et tous les tissus du corps sont saturés en azote. Le plongeur en immersion, lui, respire de l'air à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Le sang et les tissus absorbent donc d'avantage d'azote (puisque sa pression partielle est supérieure à la normale), et ce jusqu'à une nouvelle saturation, proportionnelle à la pression, c'est à dire à la profondeur atteinte. Puis, lorsque le plongeur remonte, la pression diminue. Ses tissus sont en état de sursaturation et l'azote en excédent reprend sa forme gazeuse (Molle et Rey, 1997).

Si le plongeur remonte suffisamment lentement, cet azote peut être éliminé à chaque expiration. Par contre s'il remonte trop vite, l'azote ne peut s'échapper totalement par les poumons. Des bulles d'azote se forment dans le sang et les tissus. Et comme la pression diminue, le volume de ces bulles augmente, provoquant ainsi des accidents graves, pouvant même être mortels (Molle et Rey, 1997).

La saturation ne se fait pas immédiatement. Un liquide est saturé par un gaz d'autant plus rapidement que la surface de contact entre le gaz et le liquide est grande, et que l'agitation du liquide est forte. Réciproquement, le gaz dissout ne reprend pas en totalité sa forme gazeuse dès que la pression diminue. Ce temps est le même que celui qui a été nécessaire à la saturation (Molle et Rey, 1997).

C'est pourquoi les paliers que le plongeur doit respecter en remontant dépendent non seulement de la profondeur (donc de la pression), mais aussi du temps qu'il a passé à cette profondeur. Les paliers sont des arrêts obligatoires qui permettent au plongeur d'éliminer l'azote qui s'est dissout dans ses tissus pendant la plongée. Ils se font à des profondeurs précises (3 mètres, 6 mètres, 9 mètres, 12 mètres, etc.) et pendant des temps calculés à l'aide des tables de plongée. Mais ces tables ne peuvent être utilisées que pour un effort normal. Tout effort musculaire augmente le débit sanguin, donc l'agitation et les transports de gaz. C'est pourquoi il existe des tables spéciales pour le travail en plongée (Molle et Rey, 1997).

## **2-Barotraumatismes dentaires**

Les barotraumatismes sont des accidents fréquemment rencontrés en plongée avec scaphandre, en particulier dans les premiers mètres de la descente ou les derniers mètres de la remontée, lorsque les variations de pression sont les plus élevées (Bonnin et coll., 1999).

En effet le corps humain est constitué de solides (les os), de liquides (le sang et les tissus), et de cavités remplies de gaz (oreilles, sinus, tube digestif, poumons...). Alors que les solides et les liquides sont pratiquement incompressibles, les gaz suivent la loi de Boyle-Mariotte, c'est à dire qu'ils se compriment quand le plongeur descend et se détendent quand il remonte. Ce sont des variations de volume de ces gaz qui peuvent être la cause des accidents barotraumatiques (Molle et Rey, 1997).

Il est donc de toute première importance que ces volumes puissent circuler librement afin d'éviter toute différence de pression entre l'intérieur de ces cavités et la pression ambiante. Si cette équipression n'est plus réalisée, il y a situation de traumatisme dont les symptômes et les effets varient selon la cavité considérée (Villevieille, 1995).

Toutes les cavités aériennes de l'organisme sont intéressées par ces phénomènes, aussi bien :

- artificielles ( masque de plongée...),
- naturelles (oreille moyenne, sinus, poumon...),
- pathologiques (carie dentaire, emphysème pulmonaire...) (Grenaud et Coulange, 2008 ; Bonnin et coll., 1999).

Les dents peuvent réagir aux variations de pression si à leur niveau existe une cavité pathologique. A la décompression, le volume d'air présent dans la cavité augmente, et la surpression ainsi générée provoque douleurs et incidents (Bonnin et coll., 1999).

Dans la littérature, de nombreux termes sont retrouvés pour nommer les barotraumatismes dentaires :

- barodontalgies,
- aérodontagies,
- odontalgies barotraumatiques,
- odontalgies barogéniques
- odontalgies barogénésiques.

## **2.1-Définition**

Les barodontalgies, ou mieux odontalgies barogénésiques, sont des douleurs dentaires ou paradentaires survenant lors des variations de pression du milieu ambiant et/ou en rapport avec celles-ci (Broussolle et coll., 2006).

Ces phénomènes surviennent au sein d'une cavité située dans la dent, organe minéralisé inextensible. En plongée les variations de pressions entraînent des variations de volume à l'intérieur d'une carie, d'un kyste ou d'un granulome (Grenaud et Coulange, 2008).

Les barodontalgies vont de la simple gêne à des douleurs intolérables, qui peuvent entraîner un arrêt prématuré de la plongée voire une panique ou une perte de connaissance. Le barotraumatisme peut être à l'origine d'une remontée rapide sans palier et ainsi s'associer à un accident de décompression (Grenaud et Coulange, 2008).

## **2.2-Fréquence**

En 1958, Chenevee publie « l'odontalgie pneumatogénique des plongeurs ». Cet article, dans lequel il expose les résultats de son étude menée sur un millier de plongeurs, a été réalisée à l'Ecole de plongée créée par le Centre d'Etudes Sous Marines à Saint Florent en Corse. Chenevee constate que le pourcentage de cas est d'environ 6% et que cette fréquence est sensiblement plus grande aux pressions peu élevées :

- de 0 à 10 mètres : 3%
- de 10 à 20 mètres : 2%
- au delà de 30 mètres : 1% (Chenevee, 1958).

En 1968, Workman porte son étude sur l'ensemble des phénomènes douloureux concernant 100 cas d'accidents dans l'US Navy. Ses résultats placent la barodontalgie au 1<sup>er</sup> rang des accidents observés avec une fréquence de 40% (Workman, 1968).

En 1974 : Sénard trouve une fréquence de 7,3% lors de son étude sur 96 plongeurs (7 cas de barodontalgies). Selon l'auteur : « La fréquence des gens ayant souffert ou souffrant de petites gênes à l'occasion de la plongée est beaucoup plus importante. Il est difficile de donner des chiffres précis, mais d'après nous, environ 20% des sujets sont victimes de ces phénomènes. 7% seulement, soit 1/3, les ressentent avec suffisamment d'intensité pour les motiver à consulter. Beaucoup nous a-t-il semblé, s'accommodent de petites gênes ou de petites douleurs, plutôt que de consulter chirurgiens-dentistes ou stomatologistes (ce qui n'est pas particulier aux adeptes de la plongée sous marine) » (Sénard, 1974).

En 1989, dans leur étude Goethe et coll. ont tenté d'identifier les traumatismes précoces et tardifs dus aux barodontalgies sur une population de plongeurs, hommes grenouilles et sous-mariniens. Neuf ans après le bilan bucco-dentaire initial, ils mettent en évidence que la détérioration de l'état de santé dentaire des hommes grenouilles et des plongeurs est plus importante que celle des sous-mariniens : les dents absentes et les dents couronnées sont plus nombreuses. Il est possible de conclure en disant que bien que les hommes grenouilles aient au départ des dents plus saines, après 9 ans de plongée à raison de 200 à 300 heures par an, leur état de santé dentaire est plus mauvais que les autres. Ceci

suggère donc qu'il existe une corrélation entre la dégradation de l'état de santé dentaire et l'augmentation de l'exposition à un stress barométrique (Goethe et coll., 1989).

Les études réalisées montrent que la douleur survient principalement à la descente et surtout dans les 10 premiers mètres, là où la variation de pression est la plus importante (Serres, 2006).

Cependant il faut noter que ces accidents ont pratiquement disparu depuis qu'une consultation annuelle chez le dentiste est fortement conseillée (Grenaud et Coulangue, 2008).

## **2.3-Etiologies**

La cause des barodontalgies est étudiée depuis de nombreuses années. Il existe de nombreuses hypothèses pour les expliquer, plus ou moins soumises à controverse (Serres, 2006).

On peut distinguer :

- les odontalgies barogéniques et pneumatiques, c'est à dire dues à la pression proprement dite et relevant des variations des volumes gazeux,
- les odontalgies aéroemboliques,
- les odontalgies circulatoires ou vasculaires, surtout influencées par la circulation terminale pulpaire,
- les odontalgies nerveuses,
- la perméabilité dentinaire, cause possible de barodontalgie (Broussolle et coll., 2006 ; Sametzky et coll., 1999)

### **2.3.1-Odontalgies barogéniques**

#### **2.3.1.1-Mécanisme**

Celles-ci reposent sur une base physique concernant les gaz et énoncée dans la 1<sup>ère</sup> partie, à savoir la loi de Boyle-Mariotte. Pour rappel cette dernière établit qu'« à une température donnée, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression ambiante ».

Ainsi, un gaz emprisonné dans une dent peut subir l'effet de la pression et provoquer une douleur par augmentation ou diminution de son volume (Serres, 2006).

Si la bulle d'air est emprisonnée dans une cavité parfaitement hermétique et rigide, son comportement peut varier selon la résistance de la cavité dans laquelle elle se trouve. Tant que les forces de rétraction ou d'expansion de la bulle d'air sont inférieures aux forces de résistance de la cavité, il ne se passe rien. En revanche, si les forces dépassent le seuil de résistance de la cavité, des phénomènes d'implosion ou d'explosion peuvent être observés (Serres, 2006).

Cependant, il faut noter que ce n'est pas la pression elle-même qui est traumatisante, mais ses variations si elles sont rapides (Delbar, 1983).

### **2.3.1.2-Fréquence**

Les odontalgies barogéniques sont les barodontalgies les plus connues et les plus répandues. C'est le phénomène de « la bulle sous le plombage » décrit dans la plupart des manuels de plongée.

### **2.3.1.3-Circonstances de survenue**

Ces barodontalgies sont partiellement prévisibles, car si elles touchent parfois des dents réputées saines, elles se produisent surtout sur des dents déjà affectées par une pathologie : infection périapicale aiguë ou chronique, carie, restauration juxtapulpaire, kyste résiduel d'origine dentaire, sinusite, ou chirurgie récente (Rauch, 1985).

Calder et Ramsey ont testé si un changement de pression important et rapide pouvait créer des dommages détectables visuellement à des dents extraites restaurées ou non. Sur les 86 dents extraites soumises au test, seulement 5 ont montré des signes de traumatisme évident. Cependant, les 5 dents étaient porteuses de restaurations de moindre qualité : infiltration, manque d'étanchéité, restauration détériorée... Aucune des dents non restaurée (cariée ou non) n'a montré de signes de traumatisme, ce qui suggère que les restaurations défectueuses jouent un rôle important dans l'apparition de ces dommages (Calder et Ramsey, 1983).

En voyant que les symptômes apparaissent sur des dents atteintes d'une ou plusieurs pathologies, les chercheurs ont conclu que le gradient de pression est un facteur contribuant, mais pas la cause réelle du problème (Serres, 2006).

### **2.3.1.4-Origines**

Il est possible de définir différentes causes de présence de gaz au sein de la dent :

- Formation d'une bulle sous une obturation coronaire : Le plus souvent l'air est emprisonné à l'intérieur de la dent lorsque le matériau de restauration est foulé. Au moment où la pression absolue décroît lors de la remontée, les gaz emprisonnés peuvent entrer à l'intérieur des tubulis dentinaires et ainsi stimuler des nocicepteurs de la pulpe,
- Défaut d'obturation d'un canal radicaire,
- Inclusion d'une bulle d'air au sein même du matériau d'obturation,
- Production gazeuse au sein d'une pulpe en cours de dégénérescence (nécrose pulpaire),
- Affections péri-apicales de type kystique, abcès (Serres, 2006).

Le mélange gazeux utilisé lors de la plongée en mer peut contribuer aux barodontalgies. Dans les bouteilles d'air comprimé, l'azote naturellement présent dans la

composition de l'air peut être remplacé par de l'hélium qui a une viscosité inférieure. Ce gaz peut pénétrer les tissus y compris les dents et peut parfois rester piégé dans les espaces clos tels que la chambre pulpaire ou la pulpe radiculaire (Serres, 2006).

Il existe deux mécanismes par lesquels le gaz peut s'infiltrer :

- s'il y a un espace entre la dent et la restauration, le gaz peut s'infiltrer lorsqu'il y a une augmentation de pression,
- les gaz dissous peuvent diffuser à travers les tissus lorsque la pression diminue (Serres, 2006).

## **2.3.2-Odontalgies aéroemboliques**

### **2.3.2.1-Circonstances de survenue et fréquence**

C'est un phénomène exceptionnel survenant après le non-respect de paliers de décompression. Le plus souvent, il accompagnera le syndrome général classique de l'accident de décompression, à savoir :

- une immense fatigue,
- une violente douleur dorsale,
- un malaise général,
- des picotements (Foret et Torres, 2008 ; Sametzky et coll.,1999).

### **2.3.2.2-Mécanisme**

Le corps humain permet les échanges gazeux par l'intermédiaire des poumons et du sang, que le coeur propulse au travers de tout l'organisme. Cet échange s'effectue toujours depuis la plus forte concentration vers la plus faible. Les poumons amènent de l'oxygène (O<sub>2</sub>) au sang qui le transporte aux cellules. En contrepartie, elles rejettent du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), évacué lors de l'expiration, avec l'oxygène non consommé. Si l'azote (N<sub>2</sub>), gaz inerte, diluant de l'oxygène de l'air, intervient peu dans cet échange en surface, il en est autrement en plongée, où l'Homme respire de l'air comprimé. L'azote subit alors les effets de la physique des gaz en solution en suivant la loi de Henry décrite à la 1<sup>ère</sup> partie. Cela fait naître un déséquilibre entre la quantité d'azote dans l'air des poumons et la concentration en azote dans le sang. A chaque cycle respiratoire, une petite partie de cet azote passe vers l'organisme du plongeur où il est stocké. Par conséquent de l'azote est dissout tout au long de la plongée, d'abord rapidement, puis lentement au fur et à mesure que la saturation approche. Lors de la remontée, le déséquilibre s'inverse. Le sang contient plus d'azote que l'air des poumons et cet azote passe alors peu à peu dans les poumons où il est évacué par l'expiration, comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). A partir d'une certaine quantité d'azote dissout (qui dépend principalement de la profondeur et du temps de plongée), il n'est plus possible de remonter directement en surface. Les tissus sont alors dans un état de sur-saturation. Il faut faire des paliers pour que l'organisme ait le temps d'évacuer l'azote en excès. Dans tous les cas, une remontée lente s'impose (Foret et Torres, 2008).

De retour en surface, l'élimination complète de l'azote stocké au cours d'une plongée s'effectue en 12 à 24 heures, parfois plus. Cependant, si la remontée est trop rapide ou les paliers mal effectués, l'azote dissout risque de reprendre sa forme gazeuse directement dans le sang et les tissus, sans avoir le temps d'être évacué (Foret et Torres, 2008). Ce phénomène est appelé « débit de bulles ». Ces bulles risquent alors d'entraver la circulation sanguine, et donc d'entraîner l'hypoxie de certains organes et notamment des dents (Serres, 2006). De plus ces micro-bulles seront soumises à la loi de Boyle-Mariotte ce qui aura pour conséquence une augmentation de leur taille au fur et à mesure de la diminution de pression du gaz. Ce phénomène sera amplifié par la possibilité qu'ont ces bulles de s'amalgamer entre-elles. (Villevieille, 1995).

Cependant, le respect des paliers ne permet pas toujours d'éviter le problème car les tables de plongée sont établies pour des conditions moyennes. Ainsi, un effort trop intense, une perturbation circulatoire, une remontée trop rapide (plus de 18 mètres par minute) peuvent entraîner un accident malgré le respect des paliers de décompression (Serres, 2006).

Il peut en découler une inflammation tissulaire qui contribue elle aussi à la compression des filets nerveux et à l'apparition d'une douleur (Serres, 2006).

Bien que toutes les dents puissent être concernées par ce phénomène, le caractère lipophile de l'azote en solution prédispose les dents à pulpes pathologiques aux accidents aéroemboliques. Ainsi les auteurs ont noté que les dents présentant une hyperhémie pulpaire, une dégénérescence graisseuse du parenchyme pulpaire, ou bien encore les dents nécrosées sont plus sujettes à ce type d'accident que les dents saines (Serres, 2006).

Les douleurs peuvent donc s'expliquer ainsi : la cavité pulpaire étant inextensible, les bulles d'azote vont, par surpression intrapulpaire, comprimer les filets nerveux radiculaires. De plus, en entravant le retour veineux, ces bulles vont favoriser la stase sanguine et l'hypoxie du tissu pulpaire (Serres, 2006).

De plus il faut noter que la pulpe est constituée de tissu conjonctif qui désature lentement.

### **2.3.2.3-Prévention**

La prévention de ces accidents repose sur le respect des tables de décompression donnant pour chaque profondeur d'immersion et durée de séjour, les vitesses de remonté, les durées des paliers près de la surface et les coefficients de plongée successives (<http://www.sous-la-mer.com>).

Le but des paliers de décompression est de maintenir le coefficient de sur-saturation au dessous de sa valeur critique par une élimination progressive des gaz dissous durant la descente et le séjour au fond. Tous les gaz neutres subissent ce phénomène mais seul l'azote est en quantité suffisamment importante dans les tissus, du fait de sa non-consommation par le corps humain, pour lui prêter une attention particulière (<http://pacsubaquatique.free.fr>).

De plus, les plongeurs doivent être soumis à un examen de contrôle chaque année, suivi de soins si nécessaire et dans tous les cas d'une information sur les risques de barodontalgies par leurs chirurgiens-dentistes (Serres, 2006).

### **2.3.3-Odontalgies vasculaires**

Cette étiologie vasculaire repose sur le fait que la variation de pression environnante peut créer des perturbations de la vascularisation intrapulpaire, notamment une hypoxie qui peut être à l'origine de barodontalgies (Broussolle, 2006).

Elle trouve ses fondements sur les spécificités de la vascularisation de l'organe dentaire, à savoir que :

- la pulpe est en circulation terminale,
- l'anatomie du foramen apical est étroite,
- il n'existe pas de circulation collatérale,
- le paquet vasculo-nerveux est situé dans un contexte anatomique rigide et inextensible (Broussolle, 2006).

Les douleurs dentaires proviennent de la compression des filets nerveux par la congestion intrapulpaire engendrée (Broussolle, 2006).

Elles sont rares et ne concernent que des dents saines des plongeurs profonds. Le syndrome dentaire des hautes pressions qu'elles traduisent est caractérisé par une hyperémie pulpaire, voire des micro-hémorragies et évolue vers des lésions nécrotiques discrètes comparables aux ostéonécroses dysbariques aseptiques. Il n'existe souvent qu'une congestion chronique tolérée. La circulation terminale pulpaire fait de la dent un piège à bulles et les subalgies qui en découlent, difficilement détectables par la clinique, ne nécessitent qu'une pharmacopée antalgique usuelle (Broussolle, 2006).

Certaines dents présentent un apex juxta- ou intrasinusien (dents maxillaires : prémolaires, molaires, canines). La compression du sinus peut modifier le débit sanguin pulpaire (compression au niveau du foramen apical) entraînant une douleur pulpaire (Bonnin et coll., 1999).

### **2.3.4-Odontalgies nerveuses**

C'est une étiologie qui a été étudiée par Hutchins et Reynolds. Elle a été élaborée pour expliquer les aéroodontalgies, mais on peut l'étendre aux problèmes dus à la plongée.

Chez 14 personnes présentant des pathologies dentaires importantes, Reynolds a constaté que le nombre des aéroodontalgies n'était pas en rapport avec la fréquence des atteintes pathologiques dentaires. Ces sujets ont été soumis à des tests en chambre de décompression. Ils ont réalisé que l'initiation de la douleur était étroitement liée à des pathologies du sinus maxillaire. Ils ont fait alors une nouvelle expérience dont ils ont conclu que les dents antrales étaient sujettes à ce type de douleur. Ces dents avaient été récemment traitées. Ils en ont déduit qu'après la stimulation de la fraise, après un traumatisme ou après une exposition pulpaire, il subsiste un degré d'excitation subliminal du nerf afférent. Si le sinus provoque une excitation accrue de la zone, cette paroi richement innervée provoque une odontalgie dès le seuil de la douleur passée. Cependant cette hypothèse ne peut expliquer des douleurs sur dents saines à la mandibule. De plus il est difficile au niveau des dents antrales de déterminer précisément l'étiologie de l'odontalgie : nerveuse ou sinusienne (Hutchins et Reynolds, 1946).

### **2.3.5-Odontalgies liées à la perméabilité dentinaire**

Carlson, Halverson et Triplett ont étudié cette hypothèse en 1981. Pour ce faire ils ont utilisé 22 rats auxquels ils ont effectué une petite cavité n'atteignant pas la pulpe sur leurs incisives centrales. Puis ils ont mis dans cette cavité du bleu de méthylène. Ensuite, les rats ont été répartis en 4 groupes :

- groupe I : 8 rats à pression ambiante pendant 20 minutes ;
- groupe II : 6 rats à 2,73 atmosphères pendant 20 minutes ;
- groupe III : 5 rats soumis à la pression ambiante mais la cavité est obturée avec de l'amalgame ;

groupe IV : 3 rats soumis à une pression de 2,73 atmosphères pendant 20 minutes avec la cavité obturée à l'amalgame (Carlson et coll., 1983).

A l'issue de cela les incisives ont été examinées. Il est apparu que la pénétration du bleu de méthylène était significativement plus importante sous les conditions hyperbariques que ambiantes, et ce, que la cavité soit vide ou remplie avec de l'amalgame (Carlson et coll., 1983).

Il en a été conclu que la douleur dentaire aiguë et bien localisée peut être expliquée par le déplacement des fluides dentinaires vers la pulpe dentaire quand elle est exposée à des pressions hyperbares. Cette douleur disparaît après le retour à la pression ambiante (Carlson et coll., 1983).

Selon ces auteurs, ces douleurs peuvent être éliminées en déposant les restaurations existantes et en appliquant un « liner » pour sceller les tubulis dentinaires avant de refaire une restauration coronaire (Carlson et coll., 1983).

#### **Conclusion**

*La controverse existe toujours quant à l'étiologie exacte des barodontalgies, et des mécanismes de la douleur. Cependant les auteurs s'entendent pour dire que deux facteurs sont nécessaires à l'apparition de barodontalgies : l'influence d'un gradient de pression, et certaines pathologies affectant les tissus oraux (dents, parodonte, sinus...) (Serres, 2006).*

*Le rôle du chirurgien-dentiste est de prévenir l'apparition de ces douleurs, de fournir un diagnostic efficace et de soigner (Serres, 2006).*

### **2.4-Physiopathologie et symptomatologie**

Les barotraumatismes subis en plongée sont presque toujours liés à un état dentaire défectueux et les statistiques montrent que les dents saines ne sont presque jamais source de douleurs (Serres, 2006).

La pression peut provoquer :

- le réveil douloureux d'une carie, jusqu'alors indolore non détectée, ou déjà soignée : les manifestations douloureuses sont dues à la compression des

- prolongements odontoplastiques et dans l'amalgame ou dans des fissures par mauvaise jonction de la restauration coronaire à la dent en question ;
- des douleurs pulpaires en cas d'apex juxta- et intrasinusien : la compression du sinus peut modifier le débit sanguin pulpaire et provoquer une douleur pulpaire. Les dents concernées sont souvent les prémolaires ou les canines (Bonnin et coll., 1999).

## **2.4.1-Caries amélo-dentaires**

Les lésions carieuses représentent la cause la plus fréquente de douleurs chez le plongeur : 43% (Serres, 2006).

### **2.4.1.1-Symptomatologie**

A la descente l'augmentation de pression provoque l'apparition de symptômes comparables à ceux rencontrés lors de la pression masticatoire ou au contact du froid. Le patient arrive à identifier la dent causale (Broussolle, 2006).

C'est l'hypothèse mécanique qui expliquerait les odontalgies qui apparaissent à la descente (Serres, 2006).

Ces douleurs seraient liées à la compression des prolongements odontoplastiques dans les tubulis dentinaires (Serres, 2006). Ce serait la variation de pression trop importante, autrement dit la vitesse de descente qui en serait la cause. En effet, la descente va favoriser la pénétration de bulles d'air au sein du tissu carieux (Bonnin et coll., 1999).

Ces douleurs au froid sont d'autant plus fréquentes et importantes que les dents vitales présentent une récession gingivale importante (Bonnin et coll., 1999).

En revanche c'est l'hypothèse barogénique qui expliquerait les douleurs ressenties à la remontée (Serres, 2006).

En effet, si elle est trop rapide, l'air piégé ne pouvant s'échapper de cette cavité carieuse, va subir une expansion de son volume proportionnelle à la diminution de la pression. Cette expansion gazeuse peut alors créer des tensions sur les parois, voire même l'expulsion du tissu carieux et entraîner une vive douleur (Serres, 2006).

### **2.4.1.2-Evolution**

Pour une personne qui plonge régulièrement 2 à 3 fois par jour, il y a accélération du processus inflammatoire. Ce qui aura pour conséquence une dent plus rapidement en hyperémie pulpaire (Broussolle, 2006).

### **2.4.1.3-Exemple**

Holowatyj rapporte le cas d'un patient qui se plaint de douleurs modérées sur 2 dents maxillaires qui surviennent lors de la décompression dans un caisson hyperbare. Suite à l'examen clinique 11 et 22 présentent des lésions carieuses. Ces dernières ont été curetées puis restaurées (Holowatyj, 1996).

## **2.4.2-Reprises carieuses**

### **2.4.2.1-Symptomatologie**

La récurrence carieuse sous une obturation crée un fond de cavité constitué de dentine ramollie, donc instable. Cette situation entraîne un défaut d'étanchéité à l'interface dent-matériau (Broussolle et coll., 2006).

Ainsi, lors de la descente, l'action directe de la pression peut créer un enfoncement du matériau d'obturation.

Les douleurs engendrées, d'intensité moyenne à violente mais persistantes, peuvent être causées par la rupture d'un pan dentaire ou par l'effraction du plafond pulpaire et l'irruption d'air froid dans la chambre pulpaire (Broussolle et coll., 2006).

De l'air sous pression peut également venir se loger au niveau du hiatus dent-matériau. Cet air peut entrer dans la dent par deux voies. Il peut s'insinuer sous l'effet de la pression dans la dent via la cavité carieuse ou via une altération de l'interface dent-restauration (Jagger et coll., 1997).

Une remontée trop rapide peut entraîner une dilatation de ces bulles de gaz qui peuvent être à l'origine d'une mobilisation de l'obturation, ou même de l'expulsion de l'obturation, ou encore d'une compression du volume pulpaire, ou d'une fracture des parois dentaires (Broussolle et coll., 2006).

Cette dernière est décrite par les anglo-saxons sous le terme « d'odontocrexis ». Ce phénomène peut également être retrouvé sur des dents présentant des fêlures.

Les douleurs sont alors d'apparition brutale, d'intensité violente pouvant aller jusqu'à la syncope et pouvant entraîner une détresse vitale du plongeur par inhalation ou ingestion des débris expulsés (Calder et Ramsey, 1983).

La douleur résulte de l'air piégé qui s'expande pendant la remontée, forçant ainsi sur les tubulis dentinaires, stimulant ainsi les fibres nociceptives de la pulpe, ou en déplaçant le contenu canalaire à travers l'apex de la dent en question (Jagger et coll., 1997).

Il peut s'agir aussi d'une bulle provenant du milieu ambiant, s'insinuant à l'interface restauration-dent, puis piégée dans une cavité de récurrence carieuse. La remontée provoquera l'expulsion de la restauration prothétique, l'explosion du matériau de reconstitution ou, si la moindre résistance est du côté de la pulpe, l'effondrement du plafond avec irruption de la restauration dans la chambre pulpaire (Broussolle et coll., 2006).

### **2.4.2.2-Exemple**

Pour établir un parallèle avec l'altitude, Holowatyj rapporte le cas d'un patient qui a consulté à la suite de douleurs insupportables survenues à la descente, lors d'un vol en avion, où les variations de pressions étaient très importantes sur un laps de temps très faible. Lors de l'entretien clinique le patient a admis avoir eu des sensibilités aux aliments sucrés sur les dents incriminées. Lors de l'examen clinique le patient présentait des caries multiples et notamment une reprise de carie importante sous une restauration préexistante. Il a été mis en inter-séance de l'oxyde de zinc eugénol (ZOE). Mais il s'est avéré que le patient a eu de violentes douleurs deux semaines après. Le traitement endodontique de cette dent a donc été entrepris (Holowatyj, 1996).

Pour Wingo, un plongeur sur 40 risque d'être atteint de barodontalgie. La majorité des cas sont dus à des lésions carieuses (Wingo, 1981).

### **2.4.3-Pulpites aiguës**

D'un point de vue clinique, une pulpe en état inflammatoire aigu est dite symptomatique, caractérisée par une douleur spontanée en réponse à une augmentation sévère de la pression intrapulpaire (Piette et Goldberg, 2001).

#### **2.4.3.1-Symptomatologie**

Lors de la descente, la pression accrue est transmise à la pulpe dentaire par le fond de dentine ramollie. De vives douleurs révèlent la pulpite aiguë qui empêche toute progression vers le fond (Broussolle et coll., 2006).

La crise débute à la descente d'autant plus rapidement que la lésion pulpaire est avancée (Serres, 2006). Ces douleurs vives et bien localisées, sont exacerbées par le froid délivré par l'air du détendeur (Broussolle et coll., 2006).

Si la remontée est trop rapide, les gaz contenus dans la cavité se dilatent, et cela aboutit à des douleurs intenses qui empêchent la remontée et peuvent déclencher un accident général de décompression ou la noyade par la panique (Serres, 2006).

D'après Delbar « la pression accélère le processus de pulpite » (Delbar, 1983 ).

#### **2.4.3.2-Evolution**

Ces vives douleurs peuvent disparaître provisoirement ou persister après la cessation du stimulus (le froid et/ou la pression) (Broussolle, 2006).

## **2.4.4-Pulpites chroniques**

### **2.4.4.1-Ouvertes**

Elles sont soit ulcéreuses, soit hyperplasiques  
Elles s'accompagnent souvent d'une production de gaz.  
A la remontée, le gaz se détend et si un débris pulpaire ou alimentaire vient obturer la communication pulpe-cavité, de vives algies apparaissent par compression (Piette et Goldberg, 2001).

### **2.4.4.2-Fermées**

Dans le cas d'une dégénérescence graisseuse lente du parenchyme pulpaire, les risques de barodontalgies par aéroembolisme sont augmentés du fait de l'affinité de l'azote pour les tissus graisseux  
En effet l'azote va s'y fixer lors de la descente pouvant provoquer un risque d'aéroembolisme en cas de décompression brutale  
Les douleurs apparaissent par compression des filets nerveux à la remontée (Serres, 1996).

## **2.4.5-Dents nécrosées ou en cours de nécrose**

Le processus de nécrose pulpaire constitue le stade dégénératif le plus avancé de la pathologie pulpaire. La pulpe ayant subi des agressions à répétition n'a plus de potentiel de réparation et finit donc par se mortifier (Piette et Goldberg, 2001).

La pulpe présente une particularité remarquable, puisqu'elle est quasi totalement enfermée au sein de tissus durs fortement minéralisés. Elle est donc logée dans un environnement pratiquement inextensible comme l'est le cerveau dans la boîte crânienne d'un adulte. De plus, la pulpe n'est pas dotée d'un réseau de circulation collatéral et dépend donc entièrement, pour sa vascularisation, des artérioles pénétrant le foramen apical. Dans un tissu mou comme la peau, lorsqu'un liquide d'œdème s'accumule, le gonflement permet de compenser l'augmentation locale du volume du liquide extravasculaire. Comme l'endodonte est inextensible, l'inflammation produit logiquement une augmentation marquée de pression intrapulpaire (Piette et Goldberg, 2001).

La dégénérescence du parenchyme pulpaire s'accompagne d'un dégagement gazeux produit par la prolifération bactérienne. Ce dégagement gazeux va être soumis à la loi de Boyle-Mariotte : à savoir une compression de son volume à la descente et une expansion à la remontée (Serres, 2006).

Il y a alors plusieurs cas de figure. Soit le canal radiculaire est ouvert, soit la dent est fermée (Broussolle et coll., 2006).

Les variations de pression peuvent se répercuter au niveau apical s'il y a communication entre le milieu buccal et l'apex. Sur une dent traitée de longue date ou présentant des canaux secondaires qui n'ont pu être obstrués peut se créer une cavité pathologique qui sera à l'origine de douleurs apicales avec rejet septique au péri-apex et ostéophlegmon, voire de « l'explosion » de la partie coronaire de la dent par suite de l'introduction d'air dans les fissures entre amalgame et dent ou du fait de la porosité du matériau de reconstruction (Bonnin et coll., 1999).

### **2.4.5.1-Canal radiculaire ouvert**

Dans ce cas, il y a communication avec la cavité buccale.

Si l'atteinte pulpaire carieuse a pu évoluer à bas bruit vers une nécrose pulpaire installée, la dent étant ouverte, l'augmentation de la pression va s'appliquer sur le contenu pulpaire corono-canalair gangrené et refouler les éléments septiques vers le périapex. Un processus inflammatoire périapical se déclenche, peut créer un abcès et élever le risque d'une infection focale. Il est aggravé si le refoulement se fait vers un granulome, un épithéliogranulome ou un kyste qu'il surinfecte (Broussolle et coll., 2006).

#### **2.4.5.1.1-Symptomatologie**

A la descente, l'augmentation de pression comprime le contenu pulpaire gangrené et le refoule vers l'apex et le périapex par un phénomène de piston. Il y a alors invasion septique du périapex et une réaction inflammatoire avec un abcès et des douleurs de type desmodontite qui peuvent survenir suivant des délais variables après la plongée. Si l'essaimage n'est pas arrêté par un kyste, il y a risque d'infection locale et de cellulite, voire de septicémie (Serres, 2006)

Les douleurs sont sourdes, à type de gonflement, accusées par la mastication et la chaleur, souvent pulsatiles (Broussolle et coll., 2006).

#### **2.4.5.1.2-Evolution**

Ces douleurs ne cèdent pas avec la diminution de pression (Broussolle et coll., 2006).

### **2.4.5.2-Dent fermée**

Les gaz de compression sont alors contenus dans une cavité inextensible présentant une seule issue : l'apex. Les gaz de fermentation sont soumis à la loi de Boyle-Mariotte (Broussolle et coll., 2006).

### Symptomatologie

Dans le cas d'une gangrène pulpaire fermée, le volume gazeux est en communication avec le milieu organique via les tissus et la circulation sanguine qui, tel un piston, transmettent les variations de pression ambiante : un effet de pompe s'instaure et aspire ou refoule le contenu canalaire infecté. Ces phénomènes indolores ne le restent pas longtemps et la pathologie de nécrose, jusqu'alors silencieuse, déclenche par essaimage microbien des complications périapicales et à distance, très rapidement manifestes (Broussolle et coll., 2006).

A la descente : la compression des gaz de putréfaction crée une dépression dans le canal, il y a arrachement d'éventuels filets pulpaire radiculaires vivants dans les canaux et aspiration d'éléments périapicaux (Wingo, 1981).

Si le foramen apical est perméable et le contenu canalaire liquide, il peut exister un phénomène de piston qui entraîne la diffusion de l'infection dans le périapex (Serres, 2006).

A la remontée, la dilatation des gaz expulse des éléments contenus dans le canal au niveau périapical.

Cette expansion gazeuse transmise aux filets non nécrosés et aux récepteurs parodontaux est à l'origine de douleurs sourdes à intenses (Wingo, 1981).

Ces douleurs apparaissent préférentiellement à la remontée contraignant le plongeur à une remontée plus lente (Serres, 2006).

## **2.4.6-Pathologies périapicales**

La pathologie péri-apicale correspond à la complication de la nécrose pulpaire par inflammation aiguë de la région du périapex (Piette et Goldberg, 2001).

### Symptomatologie

La présence de kystes ou de granulomes implique un équilibre biologique. Cet équilibre peut être rompu en plongée par les variations de pression.

Si la dent ne présente pas d'ouverture, pour un granulome qui n'adhère pas à l'os :

- à la descente : le granulome est aspiré par la dépression,
- à la remontée : avec l'expansion gazeuse, le granulome reprend sa place. Ce phénomène est accompagné de l'expulsion de produits septiques dans le sens canal-périapex. Ce mouvement de passage réactive la virulence des germes et déclenche parfois une cellulite (Wingo, 1981).

Dans le cas d'une pathologie péri-apicale, l'augmentation de pression peut entraîner une diffusion des germes présents dans le granulome ou le kyste et une surinfection ou une réactivation du foyer (Serres, 2006).

Les douleurs sont alors sourdes et intenses, d'apparition tardive car en général après la plongée (Serres, 2006).

Dans tous les cas où se produisent des phénomènes de pompage et où la dent est hermétiquement close en particulier dans les nécroses accompagnées ou non de granulome, à chaque fois à la remontée, les gaz contenus vont reprendre leur volume initial ; ce n'est donc pas l'expansion du volume qui serait source de douleur.

Ce serait les mouvements gazeux eux-mêmes, qui, en redonnant de la virulence aux bactéries anaérobies, déclencheraient un processus inflammatoire douloureux (Broussolle et coll., 2006).

Par contre Wingo explique la douleur par le fait que logée dans un os rigide, la lésion peut contenir des solides, des liquides et des gaz. Quand le plongeur descend, l'augmentation de pression sera transmise à travers les portions liquides des tissus mous, l'os spongieux et les fluides, à l'intérieur desquels il y a une tentative d'équilibration des gaz selon la loi de Boyle-Mariotte. C'est une tentative pour égaliser les pressions. Pour prévenir l'implosion, les nerfs et autres tissus mous s'œdématisent, le sang et autres vaisseaux lymphatiques s'engorgent ; il en résulte une infiltration des tissus et des vaisseaux dilatés. Après l'égalisation complète une douleur subsiste. Quand la décompression commence, le volume gazeux augmente, cependant le volume original de la cavité est réduit à cause de l'œdème et de l'infiltration et ainsi le gaz ne peut pas retrouver son volume original (Wingo, 1981).

## **2.5-Conduite à tenir**

Le chirurgien dentiste a un rôle très important à jouer à différents niveaux dans la prise en charge des barodontalgies (Serres, 2006).

### **2.5.1-Prise en charge curative**

#### **2.5.1.1-Recommandations de la FDI**

La fédération Dentaire Internationale (FDI) réunie à Helsinki le 31 août 1984 a adopté des recommandations concernant le traitement des personnels soumis fréquemment à une pression atmosphérique élevée :

- 1) Dans le cas d'une soudaine douleur aiguë lancinante, qui disparaît spontanément avec le retour à la normale de la pression atmosphérique externe, il est généralement suffisant de remplacer toute obturation existant dans la dent affectée en utilisant un matériau résistant et une base solide.
- 2) Dans le cas d'une douleur sourde et pulsative qui subsiste plusieurs heures après le rétablissement de la pression atmosphérique, le traitement du canal radiculaire est indispensable.
- 3) Une substance pour isolement de cavité ou base devront être utilisées sous les obturations quel que soit le type.

- 4) Le coiffage de la pulpe ne sera en aucun cas utilisé.
- 5) Toutes les dents enclavées seront extraites.
- 6) Si une anesthésie locale ou générale a été pratiquée ou des sédatifs administrés, aucune activité de plongée ou de vol ne sera permise dans les 24 heures qui suivent le traitement.
- 7) Cette restriction sera étendue jusqu'à 7 jours dans le cas où les soins dentaires chirurgicaux ont été donnés et qu'il n'y aura pas de complication (Kandelman, 1984).

En ce qui concerne la suspension des activités de plongée suite à une anesthésie locale ou à un acte chirurgical, Rohweder la justifie par le stress occasionné, ainsi que par les possibles effets adverses engendrés par les soins dentaires (Rohweder, 1992).

Jagger et coll. ont aussi décrit les traitements les plus adaptés aux plongeurs :

- 1) Les plongeurs doivent avoir des examens dentaires et radiographiques réguliers (bite-wing annuel, et orthopantomogramme tous les 5 ans).
- 2) Les pathologies dentaires doivent être traitées tôt et le traitement doit être le plus standard possible.
- 3) Les coiffages pulpaire sont interdits.
- 4) Les traitements canaux doivent être parfaitement réalisés et il ne doit plus y avoir de symptôme avant la prochaine plongée.
- 5) Si le patient se plaint de douleur vive et soudaine qui arrive spontanément à la pression normale, alors toutes les restaurations suspectes doivent être remplacées.
- 6) Lors d'une chirurgie mineure, l'inflammation doit complètement disparaître et toutes les sutures doivent être déposées avant la plongée.
- 7) Il faut signaler aux patients les effets possibles des médicaments prescrits.
- 8) Un embout spécial doit être réalisé chez tous les patients porteurs de prothèse amovible.
- 9) Les plongeurs qui présentent des dysfonctions de l'articulation temporo-mandibulaire pendant ou après la plongée doivent avoir un embout personnalisé.
- 10) Les plongeurs doivent avoir une occlusion qui retient de façon confortable l'embout de plongée.
- 11) Les prothèses amovibles doivent être retirées au cours de la plongée (Jagger et coll., 1997).

### **2.5.1.2-Types d'actes**

Les soins conservateurs comprennent l'élimination du tissu carié et infiltré, le respect des tissus sains, le respect des principes d'aménagement de cavité et l'obturation étanche de celle-ci. Si ces soins sont correctement réalisés, il n'y aura pas de barodontalgie. Tous les matériaux peuvent être utilisés à condition que leur mise en œuvre soit correcte (Serres, 2006).

### **2.5.1.2.1-Obturations coronaires**

#### **2.5.1.2.1.1-Amalgames**

En ce qui concerne les amalgames, il a été décrit dans la littérature une forme de cavité pour amalgame différente, pour les plongeurs, des cavités de Black habituellement utilisées. En effet partant du principe qu'une inclusion d'air sous un amalgame pouvait être à l'origine d'une fracture coronaire, il a été conseillé d'effectuer des cavités divergentes afin que la distension de l'air provoque une expulsion de l'amalgame plutôt qu'une fracture coronaire (Riethe et Günter, 1989).

Cependant les cavités de Black ont été conçues pour garantir une forme rétentive suffisante en toutes circonstances, y compris chez le plongeur.

Il faudra porter une attention toute particulière au foulage afin que l'amalgame possède partout les mêmes propriétés mécaniques, suivi d'un brunissage et d'un polissage rigoureux. Mais ces principes de bases valent pour toute restauration effectuée chez n'importe quel patient (Riethe et Günter, 1989).

Attention, il est préconisé de ne réaliser que des amalgames homogènes, c'est à dire de ne jamais juxtaposer deux amalgames différents (consécutifs dans le temps) lorsqu'il y a reprise de carie (Bonnin et coll., 1999).

Morrow a mené une étude en 1993 sur des dents restaurées et soumises à de hautes pressions. Il en a conclu que les composites se comportent moins bien que les amalgames en bouche, bien qu'ils soient collés et ce probablement pour des raisons d'expansion et de contraction du matériau (Morrow, 1993).

Cependant, la demande croissante de restaurations esthétiques a conduit au développement de l'utilisation des composites (Roulet et coll., 2003).

#### **2.5.1.2.1.2-Composites**

Aujourd'hui, presque tous les matériaux de restauration peuvent incorporer des bulles lors de leur mise en oeuvre. L'amalgame n'est pas le seul à être mis en cause dans les barodontalgies (Serres, 2006).

Théoriquement, il ne doit pas y avoir d'algies si la bulle est incluse dans une cavité ou un matériau parfaitement clos et résistant.

Cependant, c'est rarement le cas dans les reconstitutions coronaires, (exception faite des incrustations d'or, inlay-onlay et à un niveau moindre des amalgames d'argent, qui sont plus ou moins poreuses après durcissement), notamment avec les ciments et les résines composites qui sont constitués de microbilles de verre et de quartz liées par des silanes. Les très nombreuses bulles microscopiques incluses dans ces résines, du fait des tensions internes générées par les variations de pression, fragilisent le matériau, les fracturent ou l'implosent et font encourir le risque d'ingestion ou d'inhalation des bris libérés dans la cavité buccale (Broussolle et coll., 2006).

Il faut alors veiller à déposer le composite couche par couche afin de minimiser la rétraction de prise.

Il est cependant impossible de certifier qu'une restauration est exempte de vacuité lors de sa réalisation (Spreafico, 1995).

D'après Broussolle et coll., il est évident que l'emploi de ces produits est à éviter chez les plongeurs professionnels (Broussolle et coll., 2006).

Une récente étude hollandaise montre que le composite fluide permet cependant d'obtenir une meilleure adaptation de la restauration composite ainsi qu'un minimum de porosités intrinsèques du matériau (Opdam et coll., 2002).

Une étude de Geirsson et coll., menée en 2004 avait pour objectif de comparer les porosités, à savoir la présence de microbulles et de vides entre 4 produits. Partant du principe que plus un matériau contient de microbulles intrinsèques, plus ce matériau sera sensible et fragile aux variations de pression, l'expérience montre que la céramique et le verre ionomère présentent significativement plus de microbulles que l'amalgame et le composite. Il est donc possible d'en conclure que les matériaux de restauration à privilégier chez le plongeur sont l'amalgame et le composite (Geirsson et coll., 2004).

### ***2.5.1.2.1.3-Inlays onlays***

En ce qui concerne les restaurations de gros volume, il a été vu précédemment que quelque soit le matériau employé, obtenir un soin totalement exempt de bulle n'est pas chose facile. Le risque d'imperfection augmente avec la taille de la cavité, c'est pourquoi il est recommandé, pour les restaurations de gros volume, d'utiliser une technique faisant intervenir une phase de laboratoire, comme par exemple l'utilisation des inlays onlays (Noack, 1995).

En effet la parfaite adaptation de l'obturator à la cavité d'obturation alliée à un procédé de collage assure la meilleure solution en terme d'étanchéité et de reconstitution coronaire (Noack, 1995).

L'indication devra être posée en ce qui concerne le matériau, à savoir inlay-onlay en céramique ou en composite. La meilleure longévité, l'esthétique et l'herméticité du collage de la céramique font de l'onlay céramique une solution de choix dans le traitement préventif de la barodontalgie chez les plongeurs (Noack, 1995).

### ***2.5.1.2.1.4-Fonds de cavité***

De nombreuses études ont mis en évidence la présence de bulles au sein des obturations coronaires même effectuées avec le plus grand soin.

Des douleurs peuvent être observées si une bulle sous l'obturation n'est séparée de la pulpe que par une très mince paroi dentinaire et qu'elle est soumise à un gradient de pression important. C'est pourquoi il est fortement recommandé d'utiliser des fonds de cavité sous les obturations. Ils vont permettre d'éviter les sensibilités au froid et de protéger le plafond pulpaire. En effet, outre ses qualités d'isolation thermique et chimique, le fond de cavité assure une parfaite étanchéité, qualité recherchée dans la prévention de la barodontalgie (Bonnin et coll., 1999).

Dans le cas d'obturations à l'amalgame, les fonds de cavité à base d'oxyde de zinc eugénol (ZOE) sont particulièrement efficaces et permettent d'éviter les barodontalgies dans les cas de pulpites réversibles. L'eugénol possède une action sédatrice sur la pulpe et le ZOE favorise la formation de dentine tertiaire (Robichaud et Mac Nally, 2005).

Dans les cas d'obturations au composite, les ciments à l'oxyde de zinc eugénol peuvent nuire à la prise de certaines résines. Les ciments verre ionomères (CVI) sont donc préférés. Ils ont la particularité d'adhérer chimiquement à la dentine et d'être cariostatiques grâce à la libération d'ions fluorures.

L'hydroxyde de calcium (Ca(OH)<sub>2</sub>) est également un très bon fond protecteur. Cependant du fait de ses propriétés mécaniques insuffisantes, il est utilisé de préférence en technique « sandwich », c'est à dire en fond protecteur recouvert d'un CVI qui assure alors la base de collage pour le composite (Serres, 2006).

La pose de fonds de cavité sous une obturation au composite est actuellement soumise à controverse car il est préconisé dernièrement de ne plus mettre de fond de cavité sous les composites, la couche hybride jouant ce rôle. En effet, les systèmes adhésifs ont la capacité de sceller les tubulis dentinaires, et par conséquent, d'offrir une protection efficace au complexe dentino-pulpaire (Roulet et coll., 2003).

Cependant un fond de cavité de composite fluide peut être préconisé pour ses qualités d'étalement et d'adaptation cités ci-dessus (Opdam et coll., 2002).

Holowatyj, dans son étude sur 7 cas de barodontalgies, rapporte 2 cas où des douleurs ont été rapportées sur des dents obturées à l'amalgame sans fond de cavité. La pose d'un fond de cavité (ZOE) a permis de faire céder les douleurs dans les 2 cas. Il souligne donc l'intérêt de mettre un fond de cavité, qui semblerait jouer un rôle d'isolant mécanique en plus du rôle d'isolant thermique (Holowatyj, 1996).

#### ***2.5.1.2.1.5-Coiffages pulpaire***

Le coiffage pulpaire est proscrit (Jagger et coll., 1997 ; Robichaud et Mac Nally, 2005).

#### ***2.5.1.2.1.6-Obturations récentes***

Plus l'obturation d'une dent est récente, plus elle est à risque de barodontalgie (Serres, 2006).

En effet, le curetage dentinaire et la taille de la cavité provoquent une agression à la fois physique et thermique lors du fraisage à l'aide de la turbine et du contre-angle. L'ouverture des tubulis dentinaires ainsi que la dépression au niveau de la turbine entraînent une aspiration des prolongements cellulaires odontoblastiques. Combinées au traumatisme thermique provoqué par l'échauffement, ces agressions se répercutent au niveau pulpaire. L'augmentation de la pression lors de la plongée peut alors être le stimulus déclencheur de douleurs (Riethe et Günter, 1989).

C'est pourquoi il est conseillé de laisser passer une nuit de sommeil entre le soin et la prochaine plongée (Rohweder, 1992).

Il faut prendre soin des reconstitutions des prémolaires car elles servent d'appui à l'embout. C'est pourquoi le recours à la prothèse fixée est parfois indispensable (Serres, 2006).

Les prothèses fixes ne posent pas de problèmes particuliers sauf peut-être pour les bridges collés pour lesquels existe toujours le risque de formation de microbulles gazeuses et donc de décollements (Bonnin et coll., 1999).

#### ***2.5.1.2.1.7-Ciments de scellement***

Un groupe de chercheurs a effectué deux expériences visant à évaluer l'influence de la plongée sous-marine sur les différents ciments de scellement (Lyons et coll., 1999).

La 1<sup>ère</sup> expérience avait pour but de rechercher des micro-infiltrations avec 3 types de ciments de scellement soumis à de hautes pressions. Parmi les 3 ciments de scellement testés (ciment verre ionomère, phosphate de zinc, et ciments résine), des micro-infiltrations ont été détectées avec les ciments verre ionomère et le phosphate de zinc, tandis que les ciments résine semblent épargnés. De plus ces micro-infiltrations ont été plus importantes et sont apparues plus tôt dans le ciment à base de phosphate de zinc que dans le ciment verre ionomère (Lyons et coll., 1997).

Il existe plusieurs explications à ces infiltrations lors de leur exposition à des gradients de pression : les ciments soumis à des contractions de volume, un stress interne au matériau, ou des porosités incluses dans le matériau lors de son mélange pouvant se contracter lors des différents cycles de pression. Il semblerait que ces micro-infiltrations ne surviennent pas quand de la résine est utilisée car les tubulis dentinaires sont obstrués par les terminaisons des chaînes polymères ou parce que le matériau est plus élastique (Serres, 2006).

La 2<sup>nd</sup>e expérience avait pour but d'évaluer pour les 3 mêmes types de ciments de scellement, la rétention des couronnes après passage à haute pression. Finalement il en est ressorti que la force de rétention des couronnes scellées au phosphate de zinc et au verre ionomère a été significativement moindre dans le groupe soumis à haute pression que dans celui qui est resté à pression atmosphérique. Tandis qu'aucune différence n'a été décelée en ce qui concerne la rétention des couronnes scellées avec des ciments résine (Lyons et coll., 1999).

Une autre expérience, effectuée par Musajo et coll. en 1992 a abouti à des résultats similaires (Musajo et coll., 1992).

Finalement, il en ressort qu'il est préférable de sceller les prothèses fixées avec des ciments résine plutôt qu'avec des ciments à base de phosphate de zinc ou des ciments verre ionomère.

De plus Lamendin recommande de s'abstenir de plonger dans les 48 heures suivant le scellement définitif des éléments prothétiques conjoints (Serres, 2006).

### **2.5.1.2.2-Obturations canalaires**

#### **2.5.1.2.2.1-Provisoires**

Lors d'un traitement endodontique, il n'est pas rare d'avoir recours à une inter-séance à l'aide d'une boulette de coton exprimée d'un produit antiseptique ou autre. Bien que la plupart du tissu pulpaire soit enlevée, les filets résiduels peuvent être arrachés et déplacés provoquant ainsi une douleur vive (Wingo, 1981).

Holowatyj rapporte le cas d'un patient présentant des douleurs modérées lors d'un exercice où il a été soumis à un fort gradient de pression. Puis la douleur à la fin de la plongée a disparu. Deux semaines auparavant un traitement endodontique avait été commencé sur une molaire maxillaire. Déjà 1 semaine après le patient avait ressenti des douleurs modérées sur cette même dent. En fait il s'agit de quelques résidus pulpaires dans la partie apicale qui subsistaient suite à la 1<sup>ère</sup> séance (Holowatyj, 1996).

Une autre explication possible de douleurs post-traitement endodontique, est que ce type de traitement provoque une légère inflammation. Il peut donc en résulter quelques fois une sensibilité de la dent en question dans les jours qui suivent le traitement. Si une pression est appliquée sur les tissus inflammatoires, les gaz formés suite au processus inflammatoire sont comprimés et l'augmentation de pression dans la cavité pulpaire provoque une douleur. C'est la raison pour laquelle il est recommandé de ne pas plonger aussitôt après la mise en place d'une nouvelle restauration, et surtout ne pas faire de plongée profonde (Goossens et Van Heerden, 2000).

Donc lorsqu'une dent est en cours de traitement, il ne faut absolument pas plonger, a fortiori avec une obturation provisoire en bouche (Rohweder, 1992).

#### **2.5.1.2.2.2-Définitives**

Des complications peuvent avoir lieu lors de la plongée si :

- des bulles d'air sont incluses dans l'obturation canalair, que cette dernière soit molle ou solidifiée,
- l'obturation ne respecte pas la longueur opératoire,
- ou si l'apex n'est pas scellé (Broussolle et coll., 2006).

A la descente le volume non obturé est contaminé par l'aspiration des tissus périapicaux (Broussolle et coll., 2006).

L'augmentation de la pression refoule la partie terminale de l'obturation vers la portion camérale, la conicité canalair jouant en faveur de la mobilisation et l'herméticité apicale perdue renvoie au cas d'un volume gazeux en relation avec le milieu ambiant (Broussolle et coll., 2006).

A la remontée, il y a risque d'expulsion de pâte au niveau du périapex, ce qui peut provoquer des douleurs intenses de type desmodontite. Il y a essaimage microbien de tissus nécrosés en présence de germes (Broussolle et coll., 2006).

La nécessaire reprise du traitement canalaire impose alors d'empêcher au mieux toute vacuité.

Elle permettra de retrouver l'étanchéité de l'apex et d'éviter tous ces problèmes (Broussolle et coll., 2006).

C'est pourquoi il est impératif de réaliser une obturation étanche permettant d'éliminer et d'éviter tout foyer infectieux. Les techniques de compactage de la gutta percha limitent la formation de bulles. Le champ opératoire est indiqué pour la réalisation du traitement, et il est préférable de réaliser une biopulpectomie avec obturation immédiate (Serres, 2006).

Les traitements canalaires ne correspondant pas à ces recommandations doivent être repris (Serres, 2006).

En cas de traitement canalaire impossible il faut recourir à la résection apicale, voire à l'extraction de la dent si la résection ne permet pas d'obtenir une étanchéité canalaire parfaite du traitement (Serres, 2006).

Aucune plongée n'est possible avant l'obturation définitive de la dent (Serres, 2006).

Le traitement canalaire doit être complet et le patient doit attendre une période asymptomatique avant de reprendre la plongée (Jagger et coll., 1997).

### **2.5.1.2.3-Actes chirurgicaux**

Il convient d'extraire les dents de sagesse en désinclusion : elles sont susceptibles de phénomènes douloureux au cours des plongées (Bonnin et coll., 1999).

Il faut attendre au moins 48 heures après un acte chirurgical avant de reprendre la plongée. Effectivement il est préférable d'attendre la fermeture des plans muqueux, et de prendre au moins une nuit de repos après les soins dentaires avant la reprise des activités de plongée (Serres, 2006).

Selon Bonnin et coll. il est même conseillé de ne pas plonger pendant les 10 jours qui suivent une extraction simple ou un curetage apical (Bonnin et coll., 1999).

Dans le cas de communication bucco-sinusienne (CBS), il faut attendre la fermeture complète de la brèche, en raison du risque de communication bucco-sinusienne permanente (Bonnin et coll., 1999).

#### 2.5.1.2.4-Prothèses amovibles

Dans ces recommandations les conduites à tenir face aux porteurs de prothèses amovibles sont juste évoquées.

Il faut savoir que les prothèses adjointes sont interdites en plongée (Serres, 2006). Elles doivent donc être retirées, c'est pourquoi il est indispensable d'avoir conservé l'intégrité de ses canines, incisives et prémolaires pour tenir un embout standard (Bonnin et coll., 1999).

Les prothèses complètes constituent une contre-indication relative, car il faut les retirer. Mais pour l'édenté total, il est possible de réaliser des gouttières souples solidaires de l'embout, permettant une tenue correcte de celui-ci. Dans le domaine de la législation du travail, l'absence des incisives, canines, prémolaires ou un appareil mobile en remplacement de celles-ci, détermine une incapacité permanente (Bonnin et coll., 1999).

Un tableau a été réalisé, proposant une classification des barodontalgies. Ce tableau suggère un diagnostic et un traitement approprié en fonction des symptômes et des signes cliniques (Fig. 25) (Ferjenstik et Aker, 1982).

Classes	Symptômes	Signes Cliniques	Diagnostic	Traitement
Classe I	Douleur vive pendant la remontée (décompression), asymptomatique à la descente (compression) et après la plongée	Caries ou reprises de caries Dent vitale La radio ne montre pas de pathologie périapicale	Pulpite aiguë	ZOE laissé pendant 2 semaines puis une obturation permanente est faite en laissant un fond de cavité si la dent est asymptomatique Si la dent reste symptomatique le traitement endodontique sera réalisé
Classe II	Douleur lancinante pendant la remontée (décompression), asymptomatique lors de la descente (compression) et après la plongée	Caries profondes ou dents restaurées La dent est vitale ou non vitale La radio ne montre pas de pathologie périapicale	Pulpite chronique	Traitement endodontique Ou Extraction si la dent est trop délabrée
Classe III	Douleur lancinante pendant la remontée (décompression), asymptomatique	Caries ou dents restaurées La dent n'est pas vitale La radio montre	Nécrose pulpaire	Traitement endodontique Ou Extraction si la dent est trop

	lors de la descente (compression) et après la plongée	la présence d'une pathologie périapicale		délabrée
Classe IV	Douleur sévère et persistante après la remontée (décompression) ou la descente (compression)	Caries ou dents restaurées La dent n'est pas vitale La radio montre la présence d'une pathologie périapicale bien définie	Abcès périapical ou kyste	Traitement endodontique et/ou chirurgie endodontique Ou Extraction si la dent est trop délabrée

**Figure 25: Classification des barodontalgies d'après Ferjentsik et Aker, 1982.**

### **2.5.2-Prise en charge préventive**

Le chirurgien dentiste a un rôle très important à jouer à différents niveaux de la prise en charge des barodontalgies : la prévention est primordiale pour éviter au maximum ce type d'accidents. La survenue de ce type de douleurs engendre un risque très important. C'est d'abord au médecin d'informer son patient futur plongeur ou plongeur confirmé de l'existence de ce type de risques et de l'orienter vers son chirurgien-dentiste lors de la visite d'aptitude annuelle (Serres, 2006).

Les plongeurs doivent être soumis à un examen de contrôle chaque année, suivi de soins si nécessaire et dans tous les cas d'une information sur les risques de barodontalgies par son chirurgien-dentiste (Serres, 2006).

Il existe quelques études permettant d'adapter l'attitude thérapeutique du praticien. Les résultats de l'étude de Lyons et coll. suggèrent qu'il est préférable d'utiliser un ciment de scellement à base de résine lorsque le patient risque d'être exposé à des variations de pressions significatives. Ce type d'étude peut être très intéressant dans le cadre de la prévention des risques de barodontalgie (Serres, 2006).

La fédération Dentaire Internationale (FDI) réunie à Helsinki le 31 août 1984 a adopté des recommandations concernant la prévention des personnels soumis fréquemment à une pression atmosphérique élevée (Kandelman, 1984).

1) Des examens dentaires obligatoires du personnel de plongée, sous-marin et navigant, devront être effectués annuellement. Ces examens seront faits par des chirurgiens-dentistes spécialement formés, et comporteront quatre radiographies « bite-wing » ou orthopantomographies (Kandelman, 1984).

2) Tous les cinq ans, l'examen comprendra une étude radiographique complète de toute la denture (Kandelman, 1984).

3) Un enseignement en matière de soins personnels à domicile sera assuré annuellement par un chirurgien-dentiste ou hygiéniste dentaire (Kandelman, 1984).

## **2.6-Diagnostic différentiel**

### **2.6.1-Sinusite maxillaire barotraumatique**

#### **2.6.1.1-Définition**

C'est une manifestation pathologique qui résulte d'une différence de pression entre les gaz contenus dans les sinus maxillaires et le milieu ambiant (De Rotalier et coll., 2004).

#### **2.6.1.2-Epidémiologie**

Rares, ces accidents sont trois fois moins fréquents que les barotraumatismes de l'oreille moyenne et sont responsables de douleurs faciales très violentes, pouvant aller jusqu'à perturber le bon déroulement d'une plongée, voire sa sécurité (Broussolle et coll., 2006).

En France, ces cinq dernières années, aucun barotraumatisme sinusien n'a été porté à la connaissance de la Commission médicale et de prévention nationale de la Fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM).

En revanche, entre 1992 et 2002, à l'Ecole de plongée de la Marine nationale française, Pény, dans une statistique non publiée, dénombre 9 barotraumatismes sinusiens, soit 1/26000 plongées. Ces 9 accidents sont survenus chez des élèves et non pas des moniteurs. On peut en déduire qu'il s'agit d'une pathologie peu fréquente, du moins dans une forme grave, et qui conduit rarement à une inaptitude définitive.

Le tiers des accidents relatés intéresse les sinus maxillaire les 2/3 restant concernent les sinus frontaux (De Rotalier et coll., 2004).

#### **2.6.1.3-Rappels anatomiques**

Deux éléments sont en présence : les sinus et le milieu ambiant.

**Les sinus** sont des cavités aériennes incompressibles, annexées aux fosses nasales et communiquant avec elles par un ostium ou un canal. Elles subissent comme telles les conséquences de la loi de Boyle-Mariotte. La perméabilité de l'ostium conditionne la ventilation sinusienne et donc l'équipression nez-sinus (Bonnin et coll., 1999).

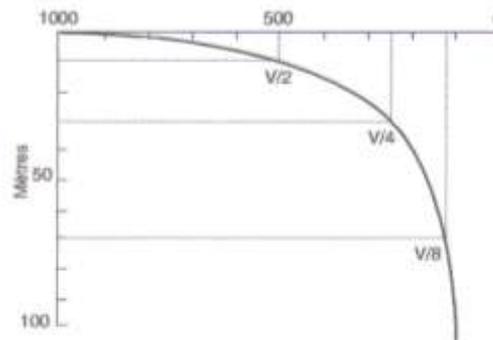
L'ostium osseux du sinus maxillaire est très court, et d'un diamètre le plus souvent de 1 à 3 millimètres. Il s'ouvre dans le méat moyen, lequel peut être rétréci par une déviation septale ou une concha bullosa (Fig. 30). Il peut exister des variations anatomiques (De Rotalier et coll., 2004).

La muqueuse nasosinusienne est constituée d'un épithélium respiratoire, cylindrique cilié, richement vascularisé. Elle est moins adhérente au plan osseux dans les sinus que dans les fosses nasales. La muqueuse est plus fine dans le sinus (De Rotalier et coll., 2004).

La température optimale pour le bon fonctionnement du mouvement ciliaire est de 33°C ; au dessous de 18°C, la fréquence du mouvement ciliaire diminue fortement pour s'arrêter complètement entre 12 et 7°C : le risque d'hypoventilation sinusienne et de mauvais drainage serait donc majoré en eau froide (De Rotalier et coll., 2004).

L'influence du milieu ambiant sur le mouvement ciliaire : pour certains, l'hypertonie du milieu (eau de mer) serait excitatrice du mouvement ciliaire, pour d'autres, elle serait sans conséquence, voire inhibitrice (De Rotalier et coll., 2004).

**Le milieu ambiant :** les variations relatives de volume sont plus importantes au voisinage de la surface (Fig. 26). Il en résulte une plus grande fréquence des accidents pressionnels au début de la descente et en fin de remontée (De Rotalier et coll., 2004).



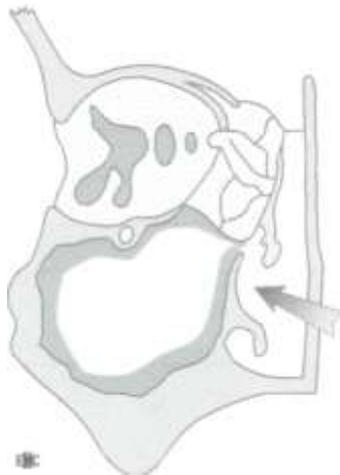
**Figure 26: Variation d'un volume gazeux en fonction de la profondeur d'après De Rotalier et coll., 2004.**

#### **2.6.1.4-Etiologies**

L'équilibration pressionnelle d'une cavité semi-close avec le milieu extérieur nécessite le libre passage aérien entre cette cavité et le milieu extérieur, sous peine de barotraumatisme.

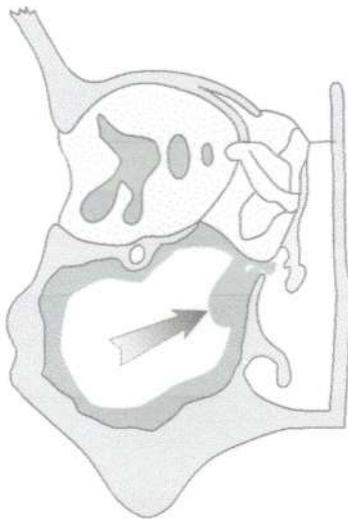
Toute cause d'obstruction du méat ou de l'ostium peut être incriminée :

- toute hyperplasie muqueuse (Fig. 27), aiguë ou chronique,



**Figure 27: Hyperplasie muqueuse d'après De Rotalier et coll., 2004.**

- les polypes intracavitaires (Fig. 28), empêchant la fuite de gaz en montée, ou les polypes du méat moyen (Fig. 29) interdisant la rentrée de gaz en descente,

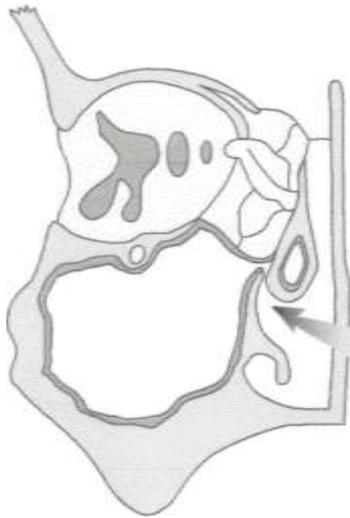


**Figure 28 : Polypes intracavitaires d'après De Rotalier et coll., 2004.**

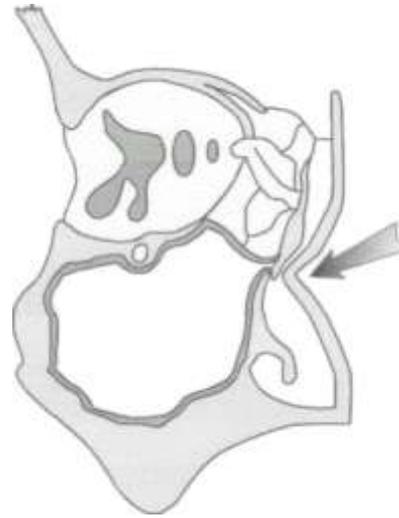


**Figure 29: Polypes du méat moyen d'après De Rotalier et coll., 2004.**

- les malformations peuvent être latentes en l'absence de variation pressionnelle (Fig. 30 et 31). Lors des variations lentes de cette pression, mais en réduisant significativement le calibre de l'ostium, elles le rendent incapables de réguler les sollicitations supraphysiologiques,



**Figure 30 : Concha bullosa**  
d'après De Rotalier et coll., 2004.



**Figure 31: Eperon de cloison**  
d'après De Rotalier et coll., 2004.

- il en va de même pour des affections acquises et bien tolérées en l'absence de variations rapides de pression : un mucocele (formation d'allure kystique, développée dans le septum cellulaire paranasal, occupant un compartiment ou la totalité d'un sinus), un ostéome de l'infundibulum... peuvent jouer le même rôle défavorable (De Rotalier et coll., 2004 ; Parris et Frenkiel, 1995).

### **2.6.1.5-Physiopathologie**

L'absence de mise en équipression entre les sinus de la face et l'air ambiant présent dans les fosses nasales va entraîner le barotraumatisme sinusien.

Il survient lorsque se combinent :

- une variation brutale de la pression ambiante, plus souvent à la descente qu'à la remontée. En effet en cas d'inflammation nasale, la muqueuse nasale va s'hypertrophier, un bourrelet péri-ostial va se former et jouer un rôle de valve unidirectionnelle empêchant l'équilibre des pressions de se réaliser au niveau sinusien. Ainsi, à la descente, les cavités sinusiennes vont se trouver en dépression relative, expliquant la symptomatologie observée. A la remontée, l'air intrasinusien sera en surpression relative et s'échappera passivement vers les fosses nasales sans problème;

- une obstruction de l'ostium sinusien par un obstacle anatomique (déviation de cloison), inflammatoire, ou tumoral (polype du méat moyen) (Legent et coll., 1999 ; Marsot et coll., 2005 ; Broussolle et coll., 2006).

De plus ces cavités sont tapissées d'une muqueuse. S'il y a une différence de pression (positive à la remontée ou négative à la descente) entre les sinus et les fosses nasales il y aura alors soit écrasement de la muqueuse sur la cavité osseuse du sinus, soit aspiration de cette muqueuse jusqu'au décollement. Dans les deux cas, les capillaires sanguins irrigant cette muqueuse peuvent être déchirés et provoquer des saignements extériorisés (Villevieille, 1995).

### **2.6.1.6-Symptomatologie**

**L'interrogatoire** recherche des antécédents rhino-sinusiens à type d'allergie, de polyposé nasosinusienne, de rhinite ou de sinusite chronique dans près de 2/3 des cas. Lors de l'accident, plus de la moitié des sujets présente une pathologie rhinosinusienne aiguë négligée ou un réchauffement d'une affection chronique. Très souvent le patient a un passé d'activités hyper- ou hypobariques émaillé de petites douleurs sinusiennes négligées; la consultation est motivée par l'intensité anormale ou exceptionnelle de signes cliniques connus du patient (De Rotalier et coll., 2004).

**Les signes fonctionnels** sont univoques :

- o la douleur est variable en intensité, son siège est sous-orbitaire avec irradiation dentaire (Broussolle et coll., 2006).

Tous les types de douleurs ont été décrits : sensation de choc d'une balle, douleur punctiforme, de clou, d'aiguille ou de piqûre, sensation de broiement, de bouchon qui saute. Il peut également s'agir de sensations de sinus plein, de pesanteur, de gonflement...

Le type de douleur n'est donc pas spécifique. La douleur peut disparaître à la fin de la plongée ou persister (De Rotalier et coll., 2004).

- o l'épistaxis est fréquente, avec du sang dans le masque, signe que le plongeur doit signaler à son médecin (Broussolle et coll., 2006).

L'épistaxis, présente dans 58% des cas pour Bove, est en règle générale peu abondante (De Rotalier et coll., 2004).

Ces deux signes (la douleur et l'épistaxis) sont pathognomoniques dès lors qu'ils surviennent dans le contexte de variation rapide de pression du milieu (De Rotalier et coll., 2004).

**Des signes d'accompagnement** doivent être recherchés : larmoiement, nausées... (Broussolle et coll., 2006),

**L'examen** peut retrouver :

- un œdème maxillaire,
- une douleur provoquée à la pression,
- rarement une anesthésie du nerf sous-orbitaire,

- la rhinoscopie antérieure après pulvérisation de vasoconstricteurs peut retrouver un coagulum hématique au niveau du méat moyen, témoin d'une éventuelle cause locale,
- les explorations radiologiques prennent ici toutes leurs indications et leurs valeurs (Broussolle et coll., 2006).

Il peut alors y avoir **confusion avec une douleur dentaire aiguë** (Foret et Torres, 2007).

**Un examen rhinoscopique** clinique s'attache à dépister une pathologie aiguë (rhinite) ou chronique (polypose, malformation mineure) (De Rotalier et coll., 2004).

La rhinoscopie antérieure montre la congestion du méat moyen avec suintement sérosanguinolent (De Rotalier et coll., 2004).

**L'imagerie** si elle est nécessaire, fait appel aux radiographies standards, ou mieux, au scanner. Elle peut objectiver un sinus plein, une opacité en cadre, un ou des polypes, un niveau liquide, un sinus flou, la présence de corps étranger dans le sinus (pâte dentaire) (De Rotalier et coll., 2004).

**Mais attention un cliché de sinus normal n'écarte pas le diagnostic** (De Rotalier et coll., 2004).

### **2.6.1.7-Complications**

Elles sont de moins en moins fréquentes actuellement, du fait de meilleurs diagnostics et de traitements plus adaptés et plus rapidement mis en route. Ces complications sont essentiellement d'ordre infectieux ou mécanique, en rapport avec des mouchages intempestifs violents (Broussolle et coll., 2006).

### **2.6.1.8-Conduite à tenir**

En plongée, il faut alors **remonter de quelques mètres** et tenter des manœuvres de Valsalva (cette méthode consiste à pincer son nez puis à souffler) douces puis essayer de descendre. Si ces manœuvres ne débloquent pas l'ostium, il est plus sage de ne pas forcer et de remettre à plus tard sa plongée. Si aucun mécanisme compensatoire ne rétablit l'équipression, il y a décollement de la muqueuse, inflammation et hémorragie, selon l'importance de la pression de succion. Le mécanisme primitif est l'obstruction ostiale. Les lésions de la muqueuse sont classées en trois stades :

- hyperémie de la muqueuse pituitaire,
- œdème,
- hématome sous-muqueux avec déchirure et hémorragie intrasinusienne (Bonnin et coll., 1999).

A la remontée, le barotraumatisme est plus rare mais plus grave. Au début de la remontée tout va bien, puis la différence de pression de part et d'autre de l'ostium, bloqué par un phénomène de clapet, va s'accroître à mesure que l'on approche de la surface, la variation de pression étant surtout importante dans les 10 premiers mètres. Le plongeur reste bloqué vers 6 mètres par une douleur très violente qui s'exacerbe dès qu'il remonte. Pour la calmer, il

**redescend de quelques mètres** mais malgré des manœuvres d'oscillation latérale de la tête associées à des manœuvres de Toynbee (cette méthode consiste à, bouche fermée et nez pincé, déglutir et aspirer par le nez qui reste fermé. C'est l'inverse de la manœuvre de Valsalva), il ne peut dépasser un certain plafond, du fait d'une douleur très aiguë (quelques fois syncopale) : l'air qui se dilate ne peut pas s'échapper des sinus. Ses coéquipiers devront alors le pousser pour franchir le passage difficile (Bonnin et coll., 1999).

**Rincer les fosses nasales** en enlevant le masque et en faisant pénétrer l'eau de mer, après avoir stoppé la descente ou la remontée ( Villevieille, 1995).

En cas de douleurs persistantes ou répétitives, la plongée doit être interrompue : il faut **consulter un médecin ORL** (Foret et Torres, 2007 ; Molle et Rey, 1997).

**Le traitement va être symptomatique** : dans les stades de faible gravité, le traitement symptomatique associe antalgiques, vasoconstricteurs locaux, aérosols soniques et éventuellement attouchement de liquide de Bonain® (cocaïne, menthol, phénol) dans le méat moyen. En cas de stades plus graves, une antibio-corticothérapie par voie générale peut y être associée pendant une dizaine de jours. En absence de réponse au traitement médical, ou en cas de surinfection, une ponction du sinus maxillaire sera effectuée (Broussolle et coll., 2006).

La chirurgie n'intervient qu'après un échec du traitement médical :

- reperméabilisation d'un ostium,
- trépanoponction du sinus pour évacuer une sinusite rebelle (Bonnin et coll., 1999).

**Le traitement étiologique** : il correspond au traitement médical des dysfonctionnements de la muqueuse naso-sinusienne ou au traitement chirurgical de lésions stabilisées nasales et/ou sinusiennes (Broussolle et coll., 2006).

**L'autorisation de replonger** ne sera accordée qu'après :

- une radiographie de contrôle ou mieux un scanner avec reconstitution endoscopique virtuelle qui cherchera une éventuelle lésion (à traiter chirurgicalement si cela est anatomiquement possible),
- et une plongée test à 10 mètres effectuée sans problème (Bonnin et coll., 1999).

### **2.6.1.9-Prévention**

L'état rhino-sinusien fait partie des éléments de sélection des plongeurs (Legent et coll., 1999).

Le coryza doit faire interdire la plongée pendant la période aiguë (Legent et coll., 1999).

Il faut s'abstenir de plonger en cas de rhume ou de sinusite (Molle et Rey, 1997).

Rincer, dès la mise à l'eau, les fosses nasales (Villevieille, 1995).

A titre préventif, il ne faut pas plonger avec une sinusite, ne jamais insister en cas de douleur et éviter les décongestifs locaux, dont l'action est limitée dans le temps (Foret et Torres, 2007).

La prévention s'exerce par une sélection soigneuse des candidats à la pratique de la plongée lors des visites d'aptitude (De Rotalier et coll., 2004). Mais aussi par le contrôle d'aptitude, l'entraînement et l'application des règles de prudence à la plongée sous-marine et l'information des plongeurs (Broussolle et coll., 2006).

### **2.6.1.10-Conclusion**

Même rares, les barotraumatismes sinusiens ne doivent pas être négligés. Une bonne information des plongeurs doit éviter la survenue de tels incidents (Broussolle et coll., 2006).

### **2.6.2-Algies vasculaires de la face**

Elles se traduisent par une douleur sous-orbitaire ou rétro-orbitaire unilatérale, avec irradiation à toute l'hémiface. La survenue de ce type de douleur est brutale sans prodromes. La douleur est à type de brûlure, de broiement, d'arrachement, lancinante, pulsatile. L'intensité maximale de la douleur est atteinte en quelques minutes (Marsot et coll., 2005).

A cette douleur sont associés des troubles vasomoteurs et sécrétoires, comme un larmolement, une rhinorrhée, une hypersialorrhée, une rougeur de toute l'hémiface, une sudation anormale, une photophobie. Ces signes cliniques peuvent aussi être accompagnés du syndrome de Claude Bernard Horner qui comprend un myosis, un ptosis et une enophtalmie. L'intensité douloureuse est telle qu'elle induit souvent une agitation. Ainsi, des troubles du rythme cardiaque et de la tension artérielle peuvent être mis en évidence (Clergeau, 2006).

Sur le plan physiopathologique, c'est le système artériel de la face qui est en cause. Les branches de division de l'artère carotide externe se vasodilataent. Il y a alors libération de sérotonine et d'histamine. Le ganglion sphéno-palatinal joue sans doute aussi un rôle important dans la survenue de ce type d'algies. Enfin il en est de même pour le sommeil paradoxal car les crises surviennent souvent dans la nuit pendant ce sommeil (Clergeau, 2006).

La douleur est calmée par l'inhalation d'oxygène (Marsot et coll., 2005).

### **2.6.3-Barotraumatisme de l'oreille moyenne**

#### **2.6.3.1-Définition**

Tout le monde ou presque a déjà ressenti cette gêne, voire cette douleur faible aux oreilles lors d'une descente en apnée dans le grand bassin d'une piscine : il s'agit bien d'un barotraumatisme bénin de l'oreille. En plongée les profondeurs atteintes étant bien supérieures qu'en piscine, il est indispensable de faire très attention à ses oreilles et de bien penser à pratiquer ce que l'on appelle une manœuvre d'équilibrage des oreilles (<http://www.cdp-pongee.com>).

### **2.6.3.2-Epidémiologie**

Les lésions les plus classiques en plongée sont les atteintes barotraumatiques de la sphère ORL et plus particulièrement auriculaires, improprement appelées « otites barotraumatiques » (Broussolle et coll., 2006 ; Grenaud et Coulange, 2008).

Elles surviennent chez le plongeur débutant qui ne maîtrise pas sa vitesse de descente ou qui effectue des manœuvres de Valsalva intempestives à la remontée (Grenaud et Coulange, 2008).

Elles sont facilitées par un épisode infectieux ORL qui gêne l'ouverture de la trompe d'Eustache (Grenaud et Coulange, 2008).

Elles sont rapportées dans 1 à 2 % des plongées. Fréquentes, elles sont en général peu graves, mais ne doivent pas être négligées (Broussolle et coll., 2006).

### **2.6.3.3-Rappels anatomiques**

L'oreille est un organe essentiel pour l'audition et l'équilibre. Elle est constituée de trois parties :

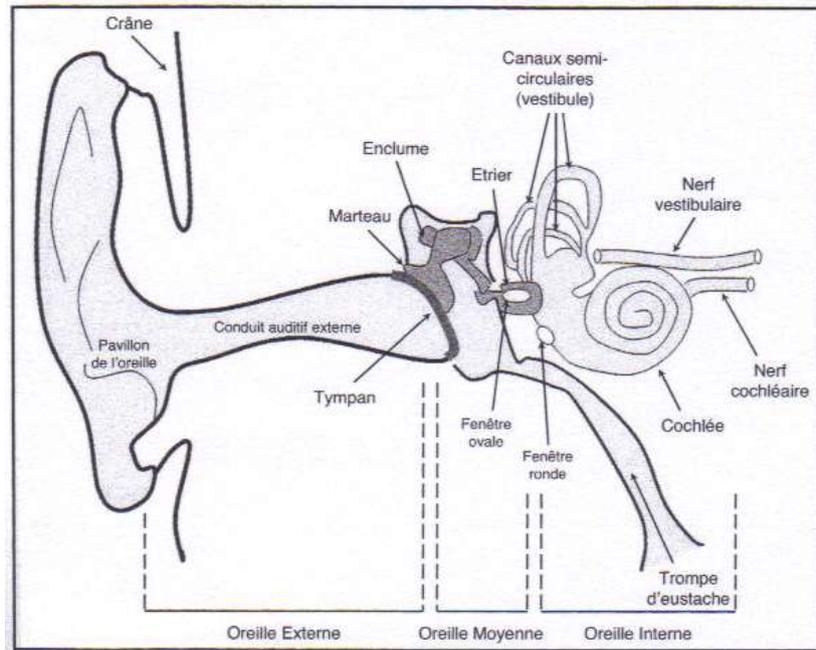
- l'oreille externe,
- l'oreille moyenne,
- et l'oreille interne (Fig. 32) (Grenaud et Coulange, 2008).

L'oreille externe comprend :

- le pavillon,
- et le conduit auditif externe.

Elle est séparée de l'oreille moyenne par une membrane translucide : le tympan (Grenaud et Coulange, 2008).

L'oreille moyenne est une caisse de résonance peu déformable, dans laquelle s'articule la chaîne des osselets (le marteau, l'enclume et l'étrier). Elle est reliée à la gorge par un tuyau appelé trompe d'Eustache (fin canal de quelques centimètres de long) (Grenaud et Coulange, 2008).



**Figure 32: Anatomie de l'oreille d'après Grenaud et Coulange, 2008.**

Lorsqu'un son est émis, les vibrations sonores traversent le conduit auditif externe et percutent le tympan. Elles sont ensuite amplifiées dans l'oreille moyenne et transmises par la chaîne ossiculaire à la cochlée. La cochlée ou limaçon, organe de l'oreille interne, est constituée d'une multitude de cellules sensorielles ciliées qui vibrent en réponse aux stimulations sonores et ainsi génèrent un message électrique adressé au cerveau par l'intermédiaire du nerf auditif. L'oreille interne est également composée d'un appareil vestibulaire, constitué de trois canaux semi-circulaires, disposés dans les trois directions de l'espace. Un mouvement de la tête entraîne un déplacement du liquide contenu dans les canaux semi-circulaires qui stimule des cellules ciliées et ainsi informe le cerveau du changement de position (Grenaud et Coulange, 2008).

Ainsi donc l'oreille en immersion peut être représentée schématiquement par 3 compartiments :

- deux compartiments liquidiens :
  - o l'oreille externe soumise à la pression ambiante,
  - o l'oreille interne contenant le liquide labyrinthique avec :
    - en avant : la cochlée, organe de l'audition,
    - et en arrière : le vestibule, organe de l'équilibre ;
- et un compartiment aérien entre les deux, comprenant l'oreille moyenne avec :
  - o une paroi externe déformable : le tympan,
  - o et deux points faibles internes : les fenêtres ovales et rondes.

Entre ces 3 compartiments, l'équipression est assurée par la trompe d'Eustache (Bonnin et coll., 1999).

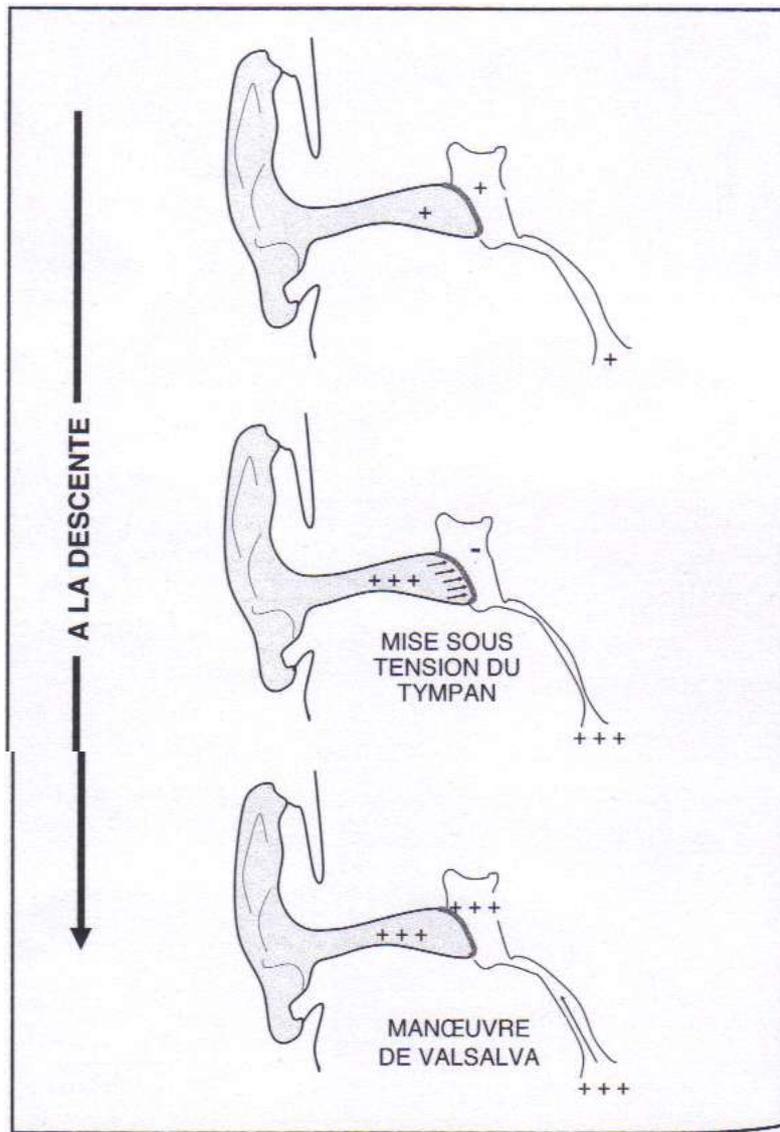
La trompe d'Eustache est un conduit ostéo-cartilagineux qui joue un rôle capital en laissant passer l'air du rhinopharynx dans l'oreille moyenne, permettant ainsi l'équilibre du tympan (Bonnin et coll., 1999).

Normalement fermée, elle s'ouvre spontanément toutes les 2 à 3 minutes (Foret et Torres, 2008).

Lorsque le plongeur s'immerge, l'augmentation de pression entraîne une diminution du volume d'air contenu dans l'oreille moyenne. Il ressent alors une sensation désagréable consécutive à la mise sous tension du tympan. La réalisation de manœuvres type :

- Béance Tubaire Volontaire (B.T.V.) (cette manœuvre consiste à plonger « trompes ouvertes »),
- Frenzel (cette méthode consiste, nez pincé, à contracter la base de la langue puis à la refouler vers le haut et l'arrière du voile du palais pour amener l'air du pharynx vers la trompe d'Eustache, et faciliter ainsi son ouverture),
- Toynbee (pour rappel, cette manœuvre consiste, bouche fermée et nez pincé, à déglutir et aspirer par le nez qui reste fermé),
- Valsalva (manœuvre qui consiste à pincer son nez puis à souffler, à l'inverse de Toynbee)

permet de perméabiliser la trompe d'Eustache et ainsi de rééquilibrer les pressions en laissant pénétrer de l'air dans l'oreille moyenne (Fig. 33 et 34) (Grenaud et Coulange, 2008).



**Figure 33: Mécanisme d'équilibration des pressions au niveau de l'oreille moyenne grâce à une entrée d'air provoquée par une manoeuvre de Valsalva d'après Grenaud et Coulange, 2008.**

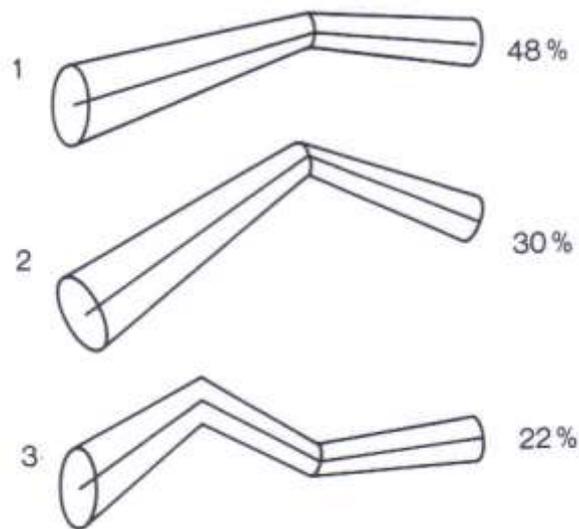
	Méthode	Commentaires	Facilité	Sécurité
ACTIVES À LA DESCENTE	<b>Valsalva</b>	Cette méthode, qui consiste à pincer son nez puis à souffler, est la plus simple. C'est aussi la plus risquée, par les mises en surpression du thorax qu'elle occasionne : risque de barotraumatisme des oreilles et de passage de bulles dans le circuit artériel dans certains cas (accident de désaturation). Un bon Valsalva est non violent.	★★★★	★
	<b>Lowry</b>	Nez pincé, souffler doucement par le nez tout en déglutissant.	★★★	★★★
	<b>Souffler</b>	Souffler dans le masque, narines plaquées sur la jupe. Cette variante du Valsalva, moins violente, est très pratique lorsque les mains sont prises (descente le long d'un mouillage, aide d'un plongeur ayant des difficultés à descendre, etc.)	★★	★★
	<b>Frenzel</b>	Utilisée initialement par les pilotes de chasse, cette manœuvre consiste, nez pincé, à contracter la base de la langue puis à la refouler vers le haut et l'arrière du voile du palais pour amener l'air du pharynx vers la trompe d'Eustache, et faciliter ainsi son ouverture. Cette manœuvre est moins violente qu'un Valsalva, mais elle est aussi plus difficile à réaliser pour certaines personnes, en particulier avec un détendeur en bouche.	★	★★
	<b>Edmonds</b>	Avancer la mâchoire en avant tout en pratiquant une manœuvre de Valsalva ou de Frenzel. Méthode plus douce qu'un simple Valsalva.	★★	★★
PASSIVES À LA DESCENTE	<b>Déglutition</b>	Pour certains individus aux trompes d'Eustache bien droites, une simple déglutition suffit à les ouvrir.	★	★★★
	<b>BTV</b>	Décrite par G. Delonca, la B.T.V. consiste à plonger « trompes ouvertes », grâce au contrôle volontaire des muscles qui participent à leur ouverture, comme lors du bâillement, par exemple. Cela élimine tout risque barotraumatique. Pour aider à la réalisation de la B.T.V., Fructus et Sciarli <sup>[8]</sup> conseillent : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. d'effectuer préalablement une manœuvre de type Valsalva ou Frenzel ;</li> <li>2. « de prendre conscience de la position des muscles du voile du palais et du pharynx au moment de la sensation de plénitude de l'oreille » ;</li> <li>3. « de conserver ainsi cette posture d'ouverture tubaire en relâchant progressivement toute surpression » ;</li> <li>4. de se concentrer pour retrouver cette posture, sans l'aide d'aucune surpression. Il s'agit de parvenir, spontanément, à replacer les muscles dans la position qui assure l'ouverture des trompes.</li> </ol>	★	★★★
REMONTÉE	<b>Toynbee</b>	Bouche fermée et nez pincé, déglutir et aspirer par le nez qui reste fermé (inverse du Valsalva). A n'utiliser qu'à la remontée en cas de difficultés.	★★★	★★

**Figure 34: Méthodes d'équilibrage d'après Foret et Torres, 2007.**

A la descente, l'ouverture est active, par contraction réflexe des muscles péristaphylins externes et internes assurant la déglutition et le bâillement (Bonnin et coll., 1999).

Il faut noter que la capacité de chacun à réaliser l'équilibre des pressions dans l'oreille moyenne dépend en grande partie de la forme des trompes d'Eustache. Une classification de

la forme anatomique de la trompe d'Eustache est reprise ici en précisant ses incidences sur les manœuvres d'équilibrage des pressions (Fig. 35). Statistiquement, 48% des individus auraient des trompes d'Eustache de type 1, 30% de type 2 et 22% de type 3. De plus, il faut noter que pour une même personne, les trompes d'Eustache gauche et droite peuvent être d'un type différent, ce qui explique parfois des difficultés à équilibrer l'une des deux oreilles (Foret et Torres, 2007).



**Figure 35: Influence de l'anatomie de la trompe d'Eustache sur la manœuvre de Delonca, aussi appelée Béance Tubaire Volontaire (Type 1 : manœuvre de Delonca possible ; Type 2 : manœuvre difficile ; Type 3 : manœuvre de Delonca impossible et difficultés avec celle de Valsalva) d'après Bonnin et coll., 1999.**

A la remontée, le phénomène s'inverse et le tympan est repoussé vers l'extérieur (Grenaud et Coulange, 2008).

Alors, la surpression relative dans l'oreille moyenne est suffisante pour permettre à elle seule l'ouverture de la trompe d'Eustache : c'est une ouverture passive (Bonnin et coll., 1999).

Les manœuvres de Valsalva sont alors strictement interdites (Grenaud et Coulange, 2008).

Toute variation brutale de pression associée à une manœuvre d'équilibration inadaptée peut léser le tympan mais également la cochlée et/ou le vestibule voire le nerf facial (très proche anatomiquement de l'oreille moyenne chez certains individus). De façon exceptionnelle, des lésions du conduit auditif externe peuvent être consécutives à un barotraumatisme de l'oreille externe lorsque l'eau ne pénètre pas dans le conduit auditif externe à cause d'une combinaison trop étanche. Le volume d'air séquestré diminue brutalement et peut alors provoquer un phénomène de « squeeze » au niveau des parois (Grenaud et Coulange, 2008).

Le terme « squeeze » qui signifie pression en anglais.

#### **2.6.3.4-Etiologies**

Quand le plongeur descend, la pression croît et agit sur le tympan en le poussant vers l'intérieur. Le tympan se déforme puis, si l'augmentation de pression continue, il se rompt et l'eau pénètre dans l'oreille moyenne (Molle et Rey, 1997).

Deux types de phénomènes sont observés:

- obturation totale ou partielle de la trompe d'Eustache due à des mucosités encombrant les fosses nasales ;
- manœuvre d'équilibrage mal faite ou trop tardivement (Villevieille, 1995).

#### **2.6.3.5-Physiopathologie**

Il existe deux types de traumatismes :

- déséquilibre de pression entre l'oreille moyenne et la pression ambiante (en majorité à la descente) ; d'où déformation du tympan jusqu'à sa limite d'élasticité, puis fissuration ou rupture ;
- différence de pression entre les oreilles moyennes gauche et droite, d'où perturbation de la sensation d'équilibre, nausées (à la descente ou à la remontée) (Villevieille, 1995).

Ils ont toujours lieu à la descente : soit une descente trop rapide, soit un dysfonctionnement de la fonction équipressive de la trompe d'Eustache. La loi de Boyle-Mariotte démontre que les variations de pression sont les plus fortes au voisinage de la surface. Les plongeurs les plus exposés à ce type de problèmes sont donc naturellement :

- les plongeurs en apnée. Au cours de ce type de plongée et surtout en cas de dysperméabilité tubaire, la répétition des « forçages tubaires » peut entraîner une congestion de l'isthme tubaire, pouvant aboutir rapidement au barotraumatisme,
- les plongeurs autonomes entraînés, qui souvent descendent trop rapidement, et particulièrement les moniteurs de plongée qui ne cessent de monter et descendre afin de garder un œil attentif sur l'ensemble du groupe (Broussolle et coll., 2006).

#### **2.6.3.6-Symptomatologie**

Les premiers signes sont concomitants de l'incident (Grenaud et Coulange, 2008).

Généralement le plongeur se plaint d'une douleur (otalgie) plus ou moins intense qui peut être à l'origine de l'interruption de la plongée (Grenaud et Coulange, 2008).

Au début, une légère gêne, puis une douleur vive insupportable sont ressenties. Si le plongeur continue à descendre la rupture du tympan est perçue comme un coup de poignard, douleur si intense qu'elle peut entraîner une syncope (Molle et Rey, 1997).

Il peut également y avoir, dans de rares cas, un saignement au niveau du conduit auditif en rapport avec la perforation du tympan (Grenaud et Coulange, 2008).

A la sortie, une sensation d'eau dans l'oreille peut être ressentie, de plénitude de l'oreille ou une véritable hypoacousie accompagnée ou non d'acouphènes, en rapport avec une atteinte de transmission (Broussolle et coll., 2006 ; Grenaud et Coulangue, 2008).

Enfin cette rupture, suivie d'une irruption d'eau dans l'oreille, peut provoquer des lésions aux canaux semi-circulaires situés dans l'oreille interne. Le plongeur ressent alors des vertiges latéralisés du côté lésé, ne distinguant plus le fond de la surface (Molle et Rey, 1997 ; Grenaud et Coulangue, 2008).

La syncope et les vertiges peuvent conduire à la noyade (Molle et Rey, 1997).

C'est pourquoi l'existence de vertiges et/ou de troubles de l'équilibre doivent faire suspecter un barotraumatisme mixte avec atteinte de l'oreille interne associée. Il faut y penser systématiquement car un barotraumatisme peut en cacher un autre (Broussolle et coll., 2006).

De façon exceptionnelle, le barotraumatisme de l'oreille moyenne provoque une paralysie faciale périphérique. Elle se traduit par un effacement des rides du front, une fermeture incomplète de l'œil, un effacement du pli nasogénien, une chute de la commissure labiale, une impossibilité de siffler ou de gonfler la joue et une attraction de la bouche du côté sain lors du sourire (Grenaud et Coulangue, 2008).

Les paralysies faciales dues à la plongée sont rares, bénignes, et toujours réversibles spontanément (Broussolle et coll., 2006).

Le bilan fonctionnel s'appuie sur la recherche étiologique d'une obstruction tubaire par un examen ORL systématique; la réalisation d'une audiométrie tonale avec impédancemétrie est indiquée en cas de troubles de l'audition (Broussolle et coll., 2006).

### **2.6.3.7-Complications**

L'otite barotraumatique peut se compliquer de lésions de l'oreille interne qui sont redoutées devant l'apparition de vertiges ou de troubles de l'équilibre. Parfois ces lésions résultent de l'importance du gradient de variation pressionnelle. Mais le plus souvent ces lésions sont les conséquences de la réalisation des manœuvres d'équilibration pressionnelle :

- Valsalva intempestif avec ouverture brutale de la trompe entraînant une rupture de la fenêtre cochléaire (voie implosive de Goohill),

- hyperpression des liquides périlymphatiques par Valsalva soutenu, pouvant rompre la fenêtre cochléaire (voie explosive de Goohill).

Il peut en résulter une fistule périlymphatique, imposant une exploration chirurgicale selon la pérennité des symptômes (Marsot et coll., 2005).

Le barotraumatisme de l'oreille moyenne peut également être compliqué par une surinfection avec otorrhée, résultant de l'introduction d'eau à travers une perforation soit au décours de l'accident en plongée, soit secondairement accidentellement (Marsot et coll., 2005).

### **2.6.3.8-Conduite à tenir**

Il est préférable de **cesser la descente** ou la remontée et de se placer à la profondeur où les symptômes disparaissent (Villevieille, 1995).

**Le rinçage** abondant à l'eau de mer des fosses nasales est conseillé (masque ôté, bascule de la tête en arrière) (Villevieille, 1995).

Pour une légère douleur dont la cause est connue (équilibre tardif par exemple), il est simplement **déconseillé de continuer à plonger**. De plus il faut éviter d'aggraver l'inflammation : rincer les oreilles à l'eau douce, sécher, ne pas toucher et protéger du vent (Foret et Torres, 2007).

Dans tous les cas : l'auto-médication ou l'échange de gouttes sont déconseillés (Villevieille, 1995).

Qu'il y ait rupture du tympan ou simplement une douleur persistante, une baisse auditive après la plongée, **la consultation d'un médecin** s'impose et si possible d'un spécialiste O.R.L. (Molle et Rey, 1997 ; Foret et Torres, 2007).

Le barotraumatisme de l'oreille moyenne nécessite une **interruption de la plongée pendant 7 à 10 jours** (Grenaud et Coulange, 2008). Sa durée varie en fonction de l'importance de l'atteinte tympanique (Broussolle et coll., 2006).

L'évolution est le plus souvent favorable en quelques jours avec un traitement local.

En cas d'hématome rétrotympanique, une antibiothérapie per os et un suivi spécialisé doivent être discutés.

La perforation tympanique met plusieurs semaines pour cicatriser spontanément. Elle contre-indique la plupart des traitements locaux (**pas d'automédication avec des gouttes auriculaires !!!**) ainsi que l'immersion de la tête. Elle nécessite parfois une chirurgie avec greffe tympanique.

La paralysie faciale cède généralement spontanément.

En cas d'atteinte cochléaire, l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) doit être discutée.

Au moindre doute avec un accident de désaturation (ADD), le patient doit être recomprimé sans délai (Grenaud et Coulange, 2008).

En cas de perforation, il est nécessaire d'attendre la cicatrisation totale du tympan (Grenaud et Coulange, 2008).

**La reprise de la plongée** ne sera autorisée qu'après normalisation de l'aspect de la membrane tympanique à l'otoscopie et normalisation de sa mobilité à la manoeuvre de Valsalva ou mieux à l'impédancemétrie (Broussolle et coll., 2006).

La reprise doit se discuter en fonction des résultats de la tympanométrie (Grenaud et Coulange, 2008).

En cas d'atteinte de l'oreille interne ou de paralysie faciale, la reprise de la plongée n'est possible qu'après récupération quasi-complète (Grenaud et Coulange, 2008).

Tout ceci suppose le traitement efficace de la cause de la dysperméabilité tubaire et de l'état naso-sinusal (Broussolle et coll., 2006).

En cas de troubles de l'équilibre et d'instabilité en sortant de la plongée, suspecter un accident de désaturation et déclencher la procédure de secours (Foret et Torres, 2007).

### **2.6.3.9-Prévention**

Le simple rinçage préventif des fosses nasales dès la mise à l'eau est conseillé (Villevieille, 1995).

Afin d'éviter la déformation du tympan, le plongeur doit insuffler de l'air dans l'oreille moyenne par l'intermédiaire de la trompe d'Eustache. Cet air équilibre la pression

interne avec la pression externe. Pour cela, il faut avaler sa salive, soit, si la déglutition n'est pas suffisante, ce qui est le cas pour la majorité des individus, pratiquer la manœuvre de Valsalva. Les bossages du masque permettent de se pincer le nez avec deux doigts. En soufflant par le nez comme pour se moucher, l'augmentation de pression fait pénétrer l'air dans l'oreille moyenne. Au cours de la descente, le plongeur exécute cette manœuvre régulièrement (et surtout dans les 10 premiers mètres) sans attendre de percevoir une douleur. Si, malgré cela, elle se produit, remonter aussitôt d'un mètre ou deux, et recommencer cette manœuvre. Si après trois tentatives, l'équilibrage n'est pas obtenu, prévenir le moniteur et remonter. Il ne faut jamais vouloir descendre à tout prix. Si cette impossibilité d'équilibrer persiste deux ou trois jours de suite, consulter un médecin ORL (Molle et Rey, 1997).

A noter aussi que la manœuvre de Valsalva doit être effectuée doucement, sans excès de pression intra-thoracique (risque de luxation des ligaments supportant la chaîne de osselets). Si une oreille « ne passe pas », une manœuvre de Valsalva forcée risque de traumatiser l'autre oreille (hyperpression) (Villeveille, 1995).

Il ne faut jamais obturer le conduit auditif avec un obstacle quelconque (coton, caoutchouc...). En effet, si un bouchon obture le conduit auditif, la pression externe ne s'exerce plus sur le tympan pendant la descente, mais de l'air sous pression peut pénétrer dans l'oreille moyenne par la trompe d'Eustache. La pression est alors plus forte à l'intérieur qu'à l'extérieur et le tympan se rompt sous l'effet de cette poussée. Dans le cas de plongées en eaux froides, il est même conseillé de percer d'un petit trou la cagoule au niveau de l'oreille, afin que le tympan soit en contact direct avec l'eau. Il ne faut jamais, non plus, effectuer la manœuvre de Valsalva en remontant puisque l'air contenu dans l'oreille moyenne doit s'en échapper. Si l'on ressent une douleur à une oreille en remontant, il faut redescendre un peu puis remonter très lentement (Molle et Rey, 1997).

Des règles élémentaires de prudence doivent être rappelées au plongeur :

- ne jamais plonger enrhumé même en cas d'utilisation d'un médicament qui débouche temporairement le nez et ne jamais forcer lors des manœuvres d'équipression, ni insister trop longtemps ;
- si possible pratiquer une autre manœuvre d'équilibrage que le Valsalva à la descente. Sinon la faire en douceur et avec anticipation. S'entraîner à la béance tubaire volontaire (BTV) ;
- ne jamais pratiquer des manœuvres d'équilibrage brusques ou tardives ;
- se soumettre à un examen otorhinolaryngologique régulier au début de chaque saison de plongée et consulter au moindre doute l'ORL ou le médecin de la plongée (Broussolle et coll., 2006 ; Foret et Torres, 2005).

### Conclusion

***La plongée sous-marine est une activité qui s'est vulgarisée depuis quelques années et il n'est plus rare de rencontrer dans un cabinet dentaire, un patient qui la pratique. Or, la pratique occasionnelle ou régulière de ce sport nécessite une attention particulière de la part du chirurgien-dentiste. Aujourd'hui certains plongeurs sont limités dans leur passion à cause de gênes ou de douleurs dentaires et/ou articulaires et auxquelles aucune solution n'a été apporté par manque de connaissance.***

***Il semble donc important que l'omnipraticien moderne soit convenablement formé et informé afin de prendre en charge ce patient.***

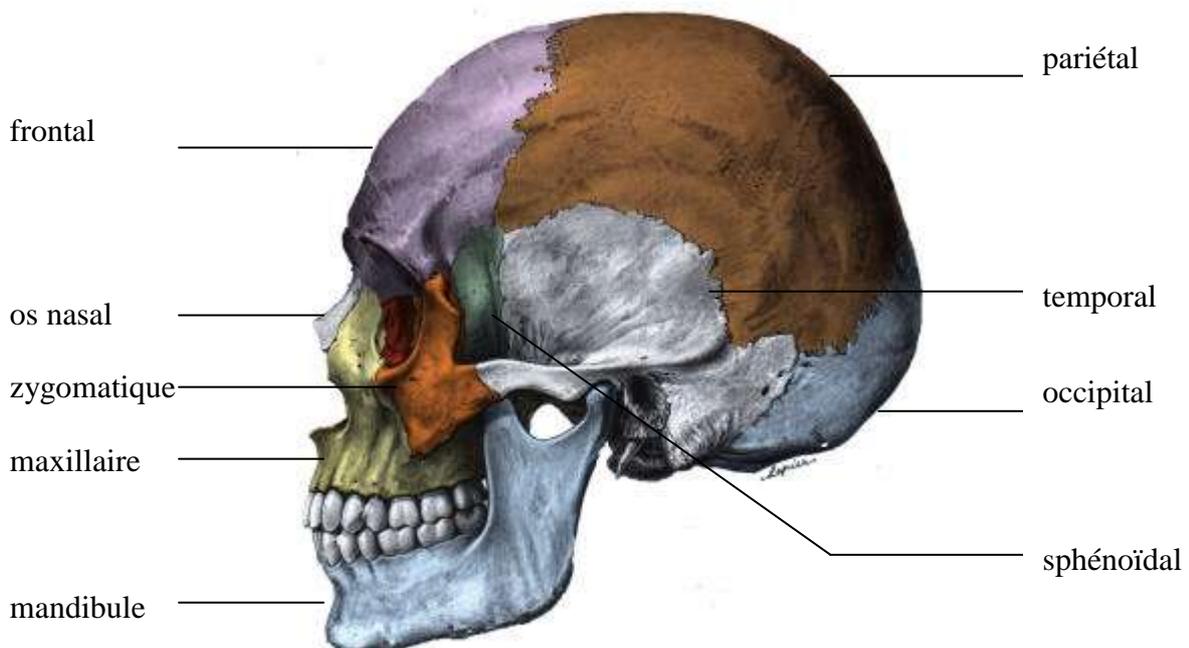
## **3-Les différents types d'embouts de plongée et leurs conséquences bucco-dentaires**

### **3.1-Rappels anatomiques de la région temporo-mandibulaire**

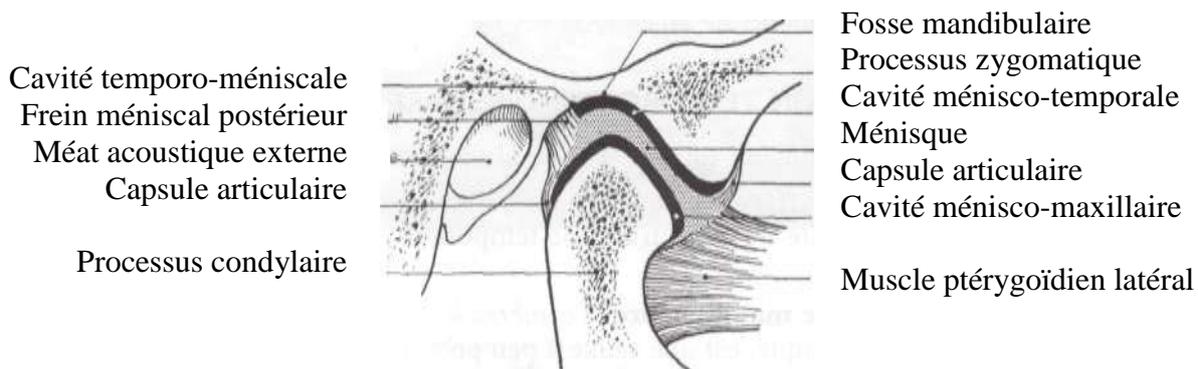
L'objectif de cette partie n'est pas de faire une description anatomique précise mais de restituer brièvement les éléments anatomiques articulaires, musculaires et vasculaires intervenant dans les mouvements de préhension de l'embout intra buccal et pouvant devenir pathologiques.

#### **3.1.1-Au niveau articulaire**

L'articulation temporo-mandibulaire est une articulation paire qui unit le condyle de la mandibule à la cavité glénoïde de l'os temporal (Fig. 36 et 37) (Kamina, 2002).



**Figure 36: Vue de profil du crâne d'après Kamina, 2002.**



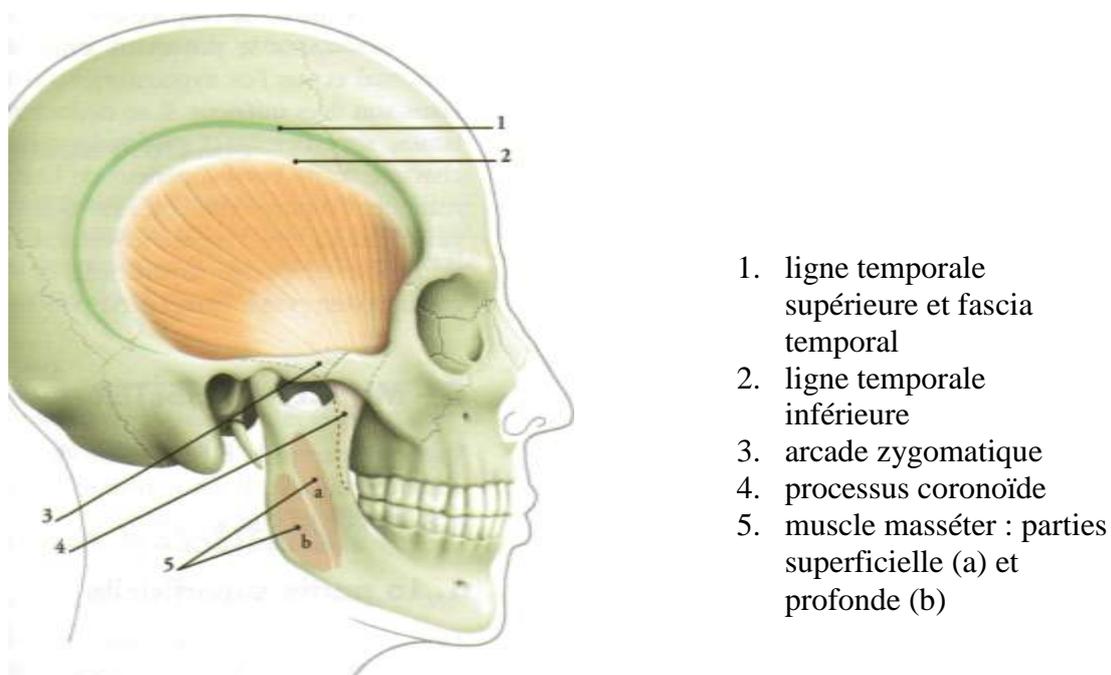
**Figure 37: Coupe verticale et antéro-postérieure de l'articulation temporo-mandibulaire d'après Rouvière et Delmas, 2002.**

### **3.1.2-Au niveau musculaire**

Les muscles qui mobilisent l'articulation temporo-mandibulaire sont les muscles manducateurs.

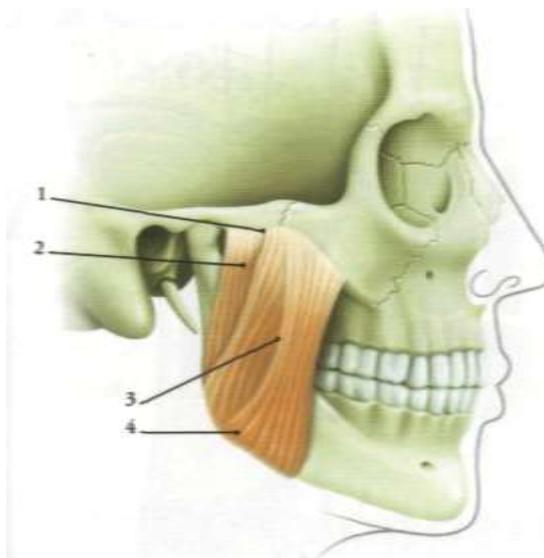
Les principaux sont :

- le muscle temporal : prend son origine dans la fosse temporale et se termine sur l'apex et la face médiale du processus coronoïde, et sur le bord antérieur de la branche de la mandibule. Il est principalement élévateur de la mandibule par ses fibres antérieures, et rétropulseur par ses fibres postérieures. Il entraîne la fermeture de la bouche (Fig. 38) (Kamina, 2002);



**Figure 38: Muscle temporal d'après Kamina, 2002.**

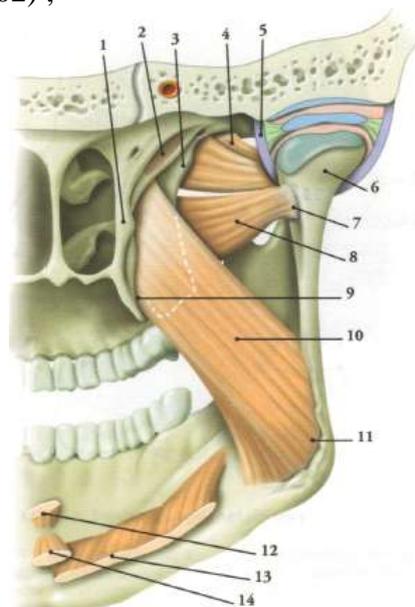
- le muscle masséter : prend son origine sur l'arcade zygomatique et se termine sur la face latérale de la branche montante mandibulaire et au niveau de l'angle de la mandibule. Il est constitué de trois faisceaux : superficiel, moyen et profond. Il permet l'élévation de la mandibule, et donc la fermeture de la bouche (Fig. 39) (Kamina, 2002) ;



1. arcade zygomatique
2. partie profonde
3. partie superficielle
4. angle de la mandibule

**Figure 39: Muscle masséter d'après Kamina, 2002.**

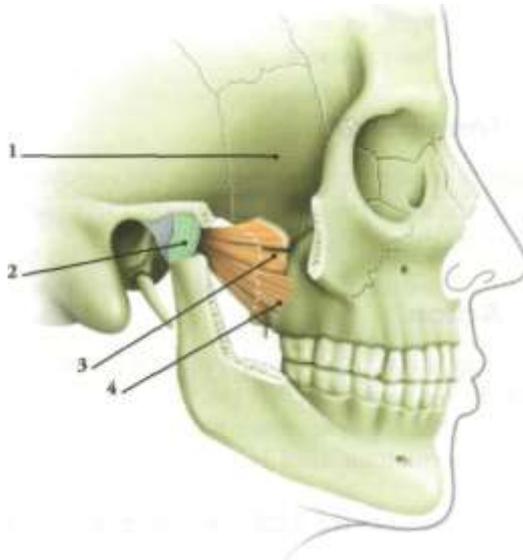
- le muscle ptérygoïdien médial : part de la surface médiale de la lame latérale du processus ptérygoïde de l'os sphénoïde, du processus pyramidal de l'os palatin et de la tubérosité du maxillaire pour se terminer sur la surface médiale de l'angle mandibulaire. Sa contraction bilatérale provoque l'élévation de la mandibule ; sa contraction unilatérale provoque des mouvements de diduction (Fig. 40) (Kamina, 2002) ;



1. aile médiale du processus ptérygoïde
2. muscle tenseur du voile du palais
3. aile latérale du processus ptérygoïde
4. face maxillaire de la grande aile du sphénoïde
5. capsule articulaire
6. condyle de la mandibule
7. fossette ptérygoïdienne
8. muscle ptérygoïdien latéral
9. processus pyramidal du palatin
10. muscle ptérygoïdien médial
11. angle de la mandibule
12. muscle génio-glosse
13. muscle mylo-hyoïdien
14. muscle génio-hyoïdien

**Figure 40: Muscle ptérygoïdien médial d'après Kamina, 2002.**

- le muscle ptérygoïdien latéral : prend son origine sur la lame latérale du processus ptérygoïde, de la grande aile du sphénoïde et de la tubérosité maxillaire. Il se termine au niveau du condyle mandibulaire et de la capsule articulaire. Sa contraction bilatérale provoque l'ouverture de la bouche ; sa contraction unilatérale provoque comme pour son homologue médial, la diduction et les mouvements de broyage (Fig. 41) (Kamina, 2002).



1. grande aile du sphénoïde
2. articulation temporo-mandibulaire
3. processus ptérygoïde
4. tubérosité maxillaire

**Figure 41: Muscle ptérygoïdien latéral d'après Kamina, 2002.**

Il ne faut pas oublier que les muscles sus-hyoïdiens ainsi que l'orbiculaire des lèvres sont mobilisés pour la préhension de l'embout.

### **3.1.3-Au niveau vascularisation**

La vascularisation de l'articulation est essentiellement amenée par l'artère maxillaire (dans sa variété superficielle ou profonde) et ses différentes collatérales (Fig. 42) (Kamina, 2002).

Les collatérales principalement impliquées étant :

- les artères temporales profondes antérieures et postérieures,
- l'artère massétérique,
- les rameaux ptérygoïdiens,
- l'artère auriculaire profonde,
- l'artère faciale dans les rameaux qu'elle abandonne au muscle masséter pour participer aussi à la vascularisation de cette articulation (Kamina, 2002).

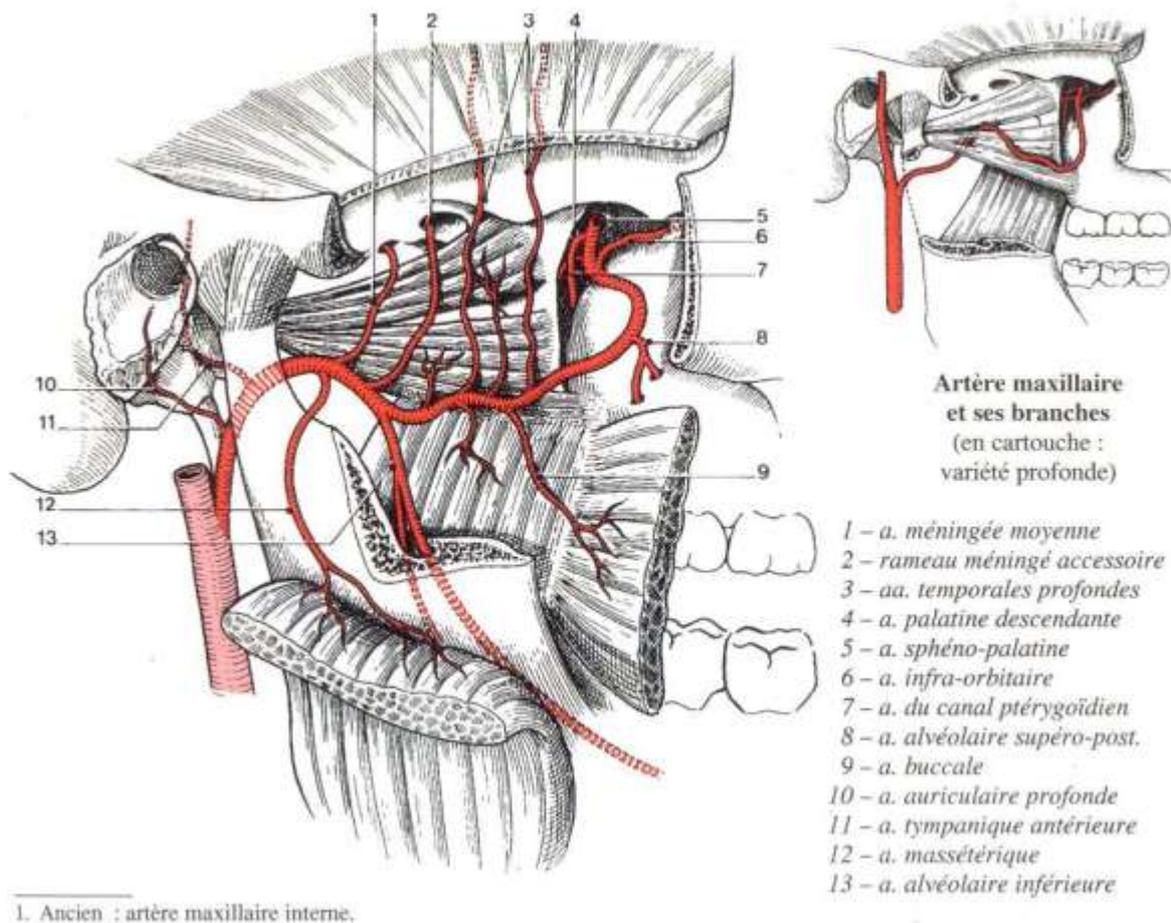


Figure 42: Artère maxillaire et ses branches d'après Kamina, 2002.

### 3.2-Troubles dus aux embouts

Les embouts standards peuvent blesser les gencives dans la partie haute des procès alvéolaires et au niveau des brides et des freins.

De plus, leur configuration oblige à une propulsion mandibulaire en surélévation fatigante et traumatisante pour les ATM.

La fatigue et le froid peuvent provoquer un trismus dont l'intensité douloureuse peut déclencher une ouverture brutale des mâchoires.

La forte pression occlusale sur des plateformes de morsure inadaptées peut provoquer des arthrites traumatiques, des délabrements de dents fragiles, des fractures de bridges et couronnes, des déplacements et des fractures de prothèse adjointe.

Le passage dans l'oropharynx et l'inhalation d'un fragment détaché peut menacer la vie du plongeur.

### **3.2.1-Troubles articulaires**

Le port de l'embout standard provoque une attitude inhabituelle entraînant des dysfonctions (Fig. 43) (Lamendin, 2002).

Concrètement, cela se traduit par une occlusion dentaire soutenue sur un plan de morsure inadapté avec une absence de calage postérieur (Bruy et coll., 2006).

Par ailleurs, l'utilisation d'un embout standard nécessite une position mandibulaire avancée (ou protruse). Ceci de façon à couvrir avec sa lèvre inférieure la partie basse de l'écran buccal et à assurer une bonne étanchéité (Delbar et Lamendin, 1990).

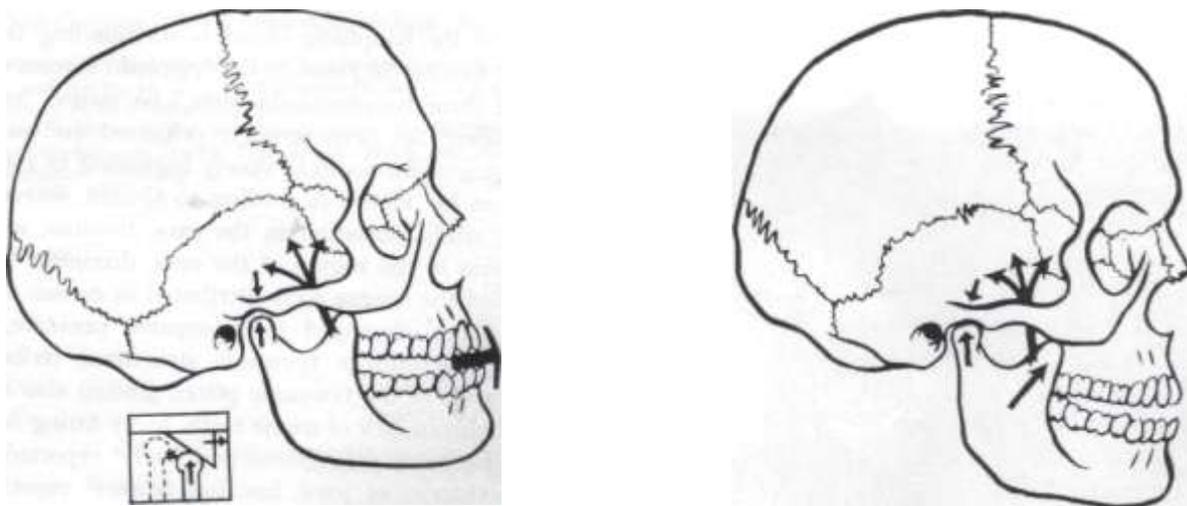
Cette promandibulie peut encore être accentuée par des dysmorphoses ou divers types d'occlusion (par exemple pour un plongeur en classe II d'Angle, la propulsion nécessaire à la bonne étanchéité devra être encore plus importante) (Delbar, 1987 ; Delbar et Lamendin, 1990).

Lors de plongée de longue durée ou de plongées fréquentes, le risque lié à ces embouts du commerce est de provoquer une pathologie de type DAM (dysfonction de l'appareil manducateur) (Bruy et coll., 2006).

Tous ces facteurs auxquels s'ajoutent la tension psychique inhérente à la plongée, sont à l'origine de troubles des articulations temporo-mandibulaires, se traduisant par une agression, dont la réponse est inflammatoire (Lamendin, 2002).

La grande souplesse du système manducateur permet d'abord une adaptation sans signe pathologique. Cependant les atteintes tissulaires peuvent occasionner des algies, d'ailleurs accrues par le froid (Lamendin, 2002).

A l'examen, on peut alors détecter des « craquements » des ATM, parfois accompagnés de trismus (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).



**Figure 43: Surcharge mécanique au niveau de l'ATM à la suite de quoi il en découle une pression anormale sur le disque articulaire d'après Pinto 1966.**

Goldstein et Katz ont constaté que les patients plongeurs se plaignent souvent après la plongée « de ne plus savoir comment serrer les dents » (Goldstein et Katz, 1982).

Sur la figure ci-dessus il est possible de voir ce qui se passe suite à une plongée de longue durée ou des sorties rapprochées dans le temps : l'embout génère, de par ses plans de morsure qui empêchent un engrènement correct des dents, une instabilité mandibulaire, exacerbée par l'absence de calage postérieur. Cette instabilité est compensée par une augmentation du travail des fibres postérieures du temporal ce qui augmente la pression intra-articulaire et la compression du disque. Afin de soulager l'articulation, le plongeur réalise de manière inconsciente, sous l'effet du système nerveux central, une rotation mandibulaire dans le sens sagittal à la recherche d'un calage postérieur. Dans cette position, l'équilibration du disque sur le condyle ne peut être maintenue. Il se produit une luxation du disque, antérieure le plus souvent, se traduisant par des douleurs articulaires et des claquements, qui se manifestent plus ou moins tard, lors de l'ouverture buccale, en fonction de l'importance du dérangement intra-articulaire : on parle alors de DAM (Pinto et coll., 1966).

### **3.2.2-Troubles musculaires**

En immersion, l'étanchéité requise au niveau de la cavité buccale, associée à l'augmentation du niveau de stress, conduit généralement le plongeur à une contraction prolongée de la musculature oro-faciale. Cela se traduit par une occlusion dentaire soutenue sur un plan de morsure inadapté afin de contrebalancer les composantes de désinsertion, forces inconsciemment augmentées par la vigueur que donne l'instinct de conservation (Delbar et Lamendin, 1999 ; Delbar, 1983 ; Bruy et coll., 2006).

Cette hyperactivité musculaire génère des troubles transitoires de l'occlusion dentaire et parfois des douleurs des articulations temporo-mandibulaires (ATM) et de la musculature faciale (Bruy et coll., 2006).

Les sensations de fatigue sont principalement ressenties au niveau des masséters et ptérygoïdiens latéraux (stabilisateurs de l'ensemble musculo-condylien) et des temporaux. Elles disparaissent lorsque le sujet revient en position de repos, mais peuvent réapparaître à l'occasion de la mastication. Le travail demandé à ces muscles pendant de longues durées et dans le froid engendre souvent la douleur et l'augmentation d'acide lactique l'entretient (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

L'algie masséterine se manifeste surtout à l'angle goniale, mais peut irradier vers la région cervicale, alors que celle venant des ptérygoïdiens latéraux le fait plutôt vers la région auriculaire et le maxillaire. La persistance du stress peut accroître cette sensation de douleur. (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

### **3.2.3-Troubles alvéolo-dentaires**

#### **3.2.3.1-Refroidissement dentaire**

L'inspiration d'air par le détendeur en plongée profonde refroidit les dents antérieures. Des dents présentant des récessions, porteuses de caries ou d'obturations profondes comme

par exemple des obturations métalliques de bonne conductibilité thermique, telles que les amalgames d'argent, sans fond de cavité pour jouer le rôle d'isolant peuvent être rendues douloureuses (Sametzky et coll., 1999 ; Broussolle et coll., 2006).

Il faut noter que cet état de souffrance local ou diffus perturbe la vascularisation pulpaire et peut entraîner à long terme des dégénérescences pulpaires puis des nécroses, accroissant la réceptivité dentaire aux chocs thermiques (Broussolle et coll., 2006).

Cette agression thermique va être plus ou moins ressentie suivant l'intégrité de la dent et de sa protection amélaire. Cependant il faut noter que la pression accélère le processus de pulpite, ce qui a été démontré par Carlsson (Delbar et Lamendin, 1990).

De plus un refroidissement intense et prolongé de la face, par des conditions hivernales, associé à la détente de l'air comprimé, peut réveiller un foyer infectieux chronique (Sametzky et coll., 1999).

Il faut noter que le froid au niveau de la bouche et des dents est important avec les détenteurs à deux étages puisque la deuxième détente se fait à leur niveau. L'usage des appareils à circuits fermés ou semi fermés, les recycleurs militaires et sportifs, dans lesquels le gaz est réchauffé et humidifié par passage dans le sac, en limite l'incidence (Broussolle et coll., 2006).

Les thérapeutiques endodontiques classiques sont les remèdes à ces pathologies dentaires (Delbar et Lamendin, 1990).

### **3.2.3.2-Traumatismes occlusaux et parodontaux**

Les plateformes de morsure des embouts standards reposent principalement sur les prémolaires, créant ainsi une surcharge bien localisée (Delbar, 1983).

S'ajoutent à cela le stress, le froid, la fatigue (majorant la nocivité des surcharges occlusales qui s'exercent suivant des axes arbitraires) occasionnée par le port long ou très rapproché de ces embouts (Sametzky et coll., 1999).

Le traumatisme occlusal peut ainsi créer une lyse osseuse responsable d'une mobilité dentaire. Si le parodonte est sain, un phénomène d'adaptation survient qui stabilise ou fait régresser la mobilité ; aucune migration apicale de l'attache n'est observée. Si une parodontopathie existe, cette surcharge est un facteur aggravant, favorisant le passage de l'inflammation vers le parodonte profond, d'autant que les pressions anormales créent une perturbation de la circulation sanguine parodontale qui subsiste un certain temps après la cessation du traumatisme (Delbar, 1983).

Il est aussi possible d'observer des fractures et des descellements de reconstitutions prothétiques (Sametzky et coll., 1999).

### **3.2.3.3-Lésions gingivales**

Au cours des déplacements, l'embout standard est soumis à la résistance de l'eau ce qui entraîne des frottements incessants de la collerette sur la muqueuse gingivale, notamment au niveau incisivo-canin, région de tangence entre l'arcade et l'écran buccal (Delbar et Lamendin, 1990 ; Delbar, 1983). On peut alors observer des gingivorragies et des récessions gingivales, des gingivites, et des dénudations radiculaires au niveau des collets (Delbar, 1983 ; Delbar et Lamendin, 1990).

De plus un embout instable ou présentant des interférences entre le volet vestibulaire et les insertions basses de freins ou de brides peut entraîner des ulcérations gingivales (Sametzky et coll., 1999).

L'élimination de certains facteurs aggravants que sont le tartre, le tabagisme, les obturations iatrogènes, la mauvaise hygiène, améliorent en partie ce tableau clinique, mais c'est la modification de l'écran buccal qui va faire disparaître cette pathologie (Delbar et Lamendin, 1990).

Il faut savoir aussi que les transmissions de pathologies virales par échange d'embouts sont possibles pour le HIV et les hépatites dès lors que l'on est en présence de gingivorragies (Sametzky et coll., 1999).

Or l'échange d'embouts entre plongeurs, qui faisait partie des exercices de sécurité est toujours enseigné théoriquement, mais l'exercice pratique est supprimé en raison des risques de transmission d'affections virales (Sametzky et coll., 1999).

Cependant, il est bien connu que l'emploi et l'échange par plusieurs personnes d'embouts de plongée subaquatique existe toujours. C'est pourquoi des précautions de désinfection adéquates sont obligatoires, règlementairement (Lamendin, 1999).

La première des recommandations à respecter est la désinfection de l'embout buccal (de façon générale de toutes les pièces pouvant être contaminées par la salive) en particulier lorsqu'il vient juste d'être utilisé ; elle doit se faire avec un produit :

- à action rapide,
- non toxique pour l'homme,
- non agressif pour le matériel,
- non polluant pour l'environnement,
- si possible bon marché (<http://medicale.ffessm.fr>).

Cette désinfection doit se faire par trempage pendant 15 minutes (ce temps de trempage maximum garantit l'action désinfectante) avec des produits à base d'ammonium quaternaire tel que :

- Esculase® du laboratoire Rivadis dilué à 0,70% : 2 sachets de 35 grammes dans 10 litres d'eau (pH après dilution : 10,5+/- 0,5),
- Hexanios® du laboratoire Anios dilué à 0,5% : 1 dose de 50 millilitres dans 10 litres d'eau. L'avantage de ce produit est que, après dilution, le pH de la solution obtenue est neutre (7 +/- 0,5) ce qui en fait un produit non corrosif (<http://medicale.ffessm.fr>).

Cette liste est indicative et non exhaustive. D'autres spécialités existent, fabriquées par d'autres laboratoires. Dans tous les cas, il faut respecter le mode d'emploi.

Même si les produits cités ci-dessus ne sont pas toxiques pour l'homme, il est recommandé de rincer le matériel à l'eau claire après trempage (<http://medicale.ffesm.fr>).

### **3.2.3.4-Difficultés rencontrées chez les patients porteurs d'appareils amovibles**

Pour la plongée sous-marine, comme cela a été évoqué dans les recommandations de Jagger et coll. en 1997, les prothèses amovibles doivent être règlementairement déposées. De ce fait, les patients présentant une édentation prémolaire ou ceux qui sont totalement édentés ne peuvent pas pratiquer la plongée de façon confortable du fait de l'inadaptation des embouts disponibles dans le commerce (Lamendin, 2002).

### **3.2.3.5-Difficultés rencontrées chez les patients porteurs d'appareillages fixes orthodontiques**

Le port d'un appareil fixe orthodontique est incompatible avec celui d'un embout standard du commerce. Des décollement à répétition des brackets sont observés. Seule, la fabrication sur mesure d'un embout de plongée rend accessible cette activité aux porteurs d'appareils fixes orthodontiques (Jones et Graham, 1990).

## **3.2.4-Troubles auriculaires**

Des sensations d'oreille bouchée peuvent découler des dysfonctions arthromusculaires. Elles sont ressenties unilatéralement le plus souvent et sont généralement consécutives à une mauvaise pressurisation auriculaire.

La trompe d'Eustache est un organe essentiel pour l'équilibration intra-auriculaire chez le sportif subaquatique. Elle autorise le passage de l'air dans le sens cavum-caisse du tympan à la descente et dans le sens inverse, à la remontée. Elle sert de « soupape d'échappement » lors d'une surpression intratympanique à la remontée (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

Pour annuler la différence de pression entre le milieu extérieur et la caisse tympanique, le plongeur envoie de l'air, qui, dans la cavité buccale, est à la pression ambiante grâce au détendeur, par la trompe d'Eustache pour redonner au tympan une bonne position (Delbar, 1983).

Pour réaliser les manœuvres d'équilibration, il faut provoquer l'ouverture des trompes d'Eustache par contraction des muscles péristaphylins, muscles élévateurs du voile du palais. La déglutition à vide simple est un des moyens d'obtenir ce résultat. Mais cette dernière s'exécute en OIM, laquelle est entravée par l'interposition des plateformes de morsure de l'embout entre les arcades, d'autant plus que celles-ci sont très épaisses. De plus une inflammation des ATM, découlant de la posture, peut provoquer un dysfonctionnement de ces conduits (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

Du fait de la proximité de l'ATM avec la cochlée et le vestibule, une inflammation de cette articulation peut provoquer une perturbation de l'équilibre avec des vertiges et des sensations d'entraînement latéral, ainsi qu'une perturbation de l'audition avec des acouphènes ou des bourdonnements (Delbar et Lamendin, 1999).

### **3.3-Les différents types d'embouts**

#### **3.3.1-Les embouts standards**

Les détendeurs à deux étages se terminent par un dispositif situé devant la bouche, renfermant valves et clapets pour équilibrer la pression de l'air respiré avec celle du milieu ambiant, auquel est solidarisé l'embout intra-buccal (Fig. 44) (Delbar, 1983).



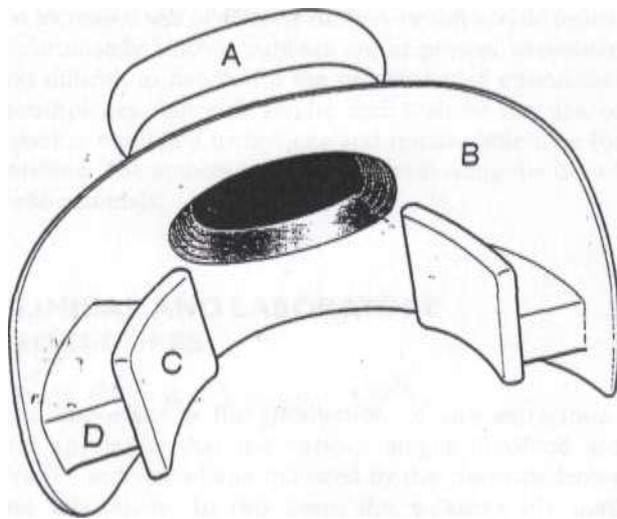
**Figure 44: Un exemple d'embout standard.**

##### **3.3.1.1-Caractéristiques**

Les embouts standards du commerce présentent tous les mêmes caractéristiques. Ils se composent :

- d'un écran buccal qui est placé dans le vestibule entre les dents et les lèvres. Celui-ci est percé d'un orifice en son milieu permettant la libre circulation de l'air ;
- de deux plans de morsure au niveau des canines et des prémolaires permettant le maintien de l'embout ;
- d'un écran lingual ou palatin afin d'améliorer le maintien ;
- et d'un connecteur permettant la fixation de l'embout au détendeur (Fig. 45) (Newton et coll., 1995 ; Delbar, 1983 ; Hobson et Newton, 2001).

Tous présentent un volet vestibulaire dont les parties maxillaires et mandibulaires sont dans un même plan (Sametzky et coll., 1999).



- A. connecteur
- B. écran buccal
- C. écran lingual ou palatin
- D. plan de morsure

**Figure 45: Schéma descriptif des différentes parties composants un embout standard d'après Hobson et Newton, 2001.**

Les embouts standards sont fabriqués industriellement par injection en caoutchouc néoprène ou en caoutchouc de silicone. Ces derniers sont plus souples et plus confortables mais ils ont comme inconvénient d'induire une mastication spontanée (Sametzky et coll., 1999).

### **3.3.1.2-Difficultés et inconvénients rencontrés**

Le port de l'embout provoque une posture inhabituelle qui peut déclencher des dysfonctions aux niveaux dentaire, musculaire, articulaire, auriculaire et gingival (Delbar, 1983).

L'intégration clinique de l'embout est donc délicate et les pathologies qu'elle peut entraîner nombreuses.

Goldstein et Katz ont décrit cet ensemble de pathologies liées au port d'un embout intrabuccal chez les plongeurs et l'ont nommé « Diver's mouth syndrome » (Goldstein et Katz, 1982).

Les embouts standards ne peuvent pas convenir à tout le monde. Il faut souvent les ajuster, les modifier par adjonction ou encore mieux réaliser des embouts personnels. Ainsi la personnalisation de l'embout intra-buccal remédie et prévient ces pathologies (Delbar et Lamendin, 1985).

### **3.3.2-La personnalisation d'embouts standards**

L'adaptation des embouts standards aux procès alvéolaires est souvent très imparfaite : la forme convient à un sujet en normocclusion ou en classe III bout à bout ayant une arcade moyenne. Elle impose une surélévation importante et des pressions occlusales souvent inconfortables. Un sujet en classe III ne pourra plaquer le bandeau sur ses procès alvéolaires maxillaires; un sujet en classe II devra faire une propulsion mandibulaire égale à son overjet. Toute vestibuloversion rendra impossible le plaquage du bandeau sur les procès alvéolaires. Une édentation prémolaire interdit le blocage occlusal; un porteur de prothèse adjointe totale fera basculer sa prothèse. Même dans les cas favorables, l'immobilisation de l'ensemble embout-détendeur est relative : le système stomatognatique s'adaptera mais sa capacité d'adaptation est limitée. L'inconfort et le risque de troubles neuromusculaires sont d'autant plus importants que l'on s'éloigne de la normocclusion. Les perturbations de la déglutition, qui devrait se faire sans propulsion ni surélévation, peuvent troubler l'ouverture des trompes d'Eustache dont dépend la compensation barométrique de l'oreille interne (Sametzky et coll., 1999).

La personnalisation des embouts intra-buccaux de plongée sub-aquatique est un acte prothétique à objectif thérapeutique ou préventif, pour des troubles spécifiques des ATM et des algies musculaires (contractures), notamment (Lamendin, 1985).

Ces embouts standards personnalisés portent aussi le nom d'embouts anatomiques ou d'embouts semi-adaptés.

#### **3.3.2.1-Les différents types**

Ils sont de trois types :

- la gouttière bimaxillaire avec emboîtement,
- l'adjonction de gouttières latérales,
- le système JAX®.

Ces différents types d'embouts seront détaillés ci-après.

##### **3.3.2.1.1-La gouttière bimaxillaire avec emboîtement**

###### ***3.3.2.1.1.1-Description***

Il faut commencer par adapter l'embout intra-buccal classique du plongeur à sa morphologie. Ceci afin de faire disparaître les pathologies qui découlent de son emploi et d'apporter un plus grand confort au plongeur (Delbar et Lamendin, 1999 ; Lamendin, 2002).

Pour cela :

1. l'écran buccal doit être ajusté afin de dégager le fond des vestibules et les freins,
2. les plateformes de morsure désépaissies jusqu'à 2-3 mm,

3. puis ces plateformes doivent être prolongées par des plans d'occlusion bilatéraux comportant les empreintes dentaires (indentations) du sujet (Delbar et Lamendin, 1999 ; Lamendin, 2002).

Ainsi, la répartition des forces sur les segments postérieurs des arcades, de façon bilatérale et égale, réduit l'intensité des forces d'occlusion nécessaires au maintien du système respiratoire et soulage ainsi les muscles élévateurs (Delbar et Lamendin, 1999 ; Lamendin, 2002).

Une pression est maintenue au niveau des ATM, mais les interférences occlusales sont éliminées et les muscles « décontractés ». Il n'existe plus de forces traumatogènes pour les prémolaires et, si une mobilité est présente ou persiste, les dents sont stabilisées (Delbar et Lamendin, 1999 ; Lamendin, 2002).

De plus une édentation prémolaire ne peut plus être un facteur défavorable à la pratique, cette adaptation autorisant une parfaite tenue en bouche. L'adjonction des plans d'occlusion permet également d'écarter l'écran buccal de la muqueuse gingivale, évitant ainsi les frottements, cependant déjà amoindris par une meilleure stabilité de l'ensemble (Delbar et Lamendin, 1999 ; Lamendin, 2002).

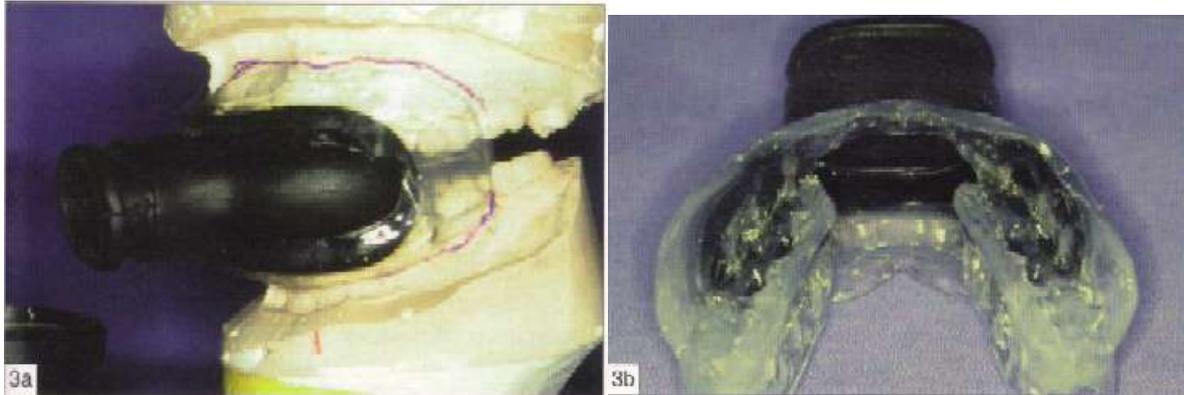
En 1984, Dunand préconise la réalisation de gouttières maxillaire et mandibulaire en polychlorure de vinyle par thermoformage (Erkoflex®, Erkodent). Ces gouttières sont réunies par collage à chaud (Bruy et coll., 2006).

Une première étape clinique consiste en la prise des empreintes maxillaire et mandibulaire, l'enregistrement de l'occlusion dans un rapport antéropostérieur respectant l'équilibre musculaire (Fig. 46). Puis le tout est transféré sur articulateur (Bruy et coll., 2006).



**Figure 46: Enregistrement de l'inocclusion avec un embout du commerce pour apprécier « l'espace vertical de respiration » et le degré de propulsion nécessaire pour maintenir l'herméticité d'après Bruy et coll., 2006.**

Puis, une étape de laboratoire est nécessaire. Elle consiste à effectuer un moulage de chacune des deux arcades en confectionnant des gouttières en polychlorure de vinyle. Celles-ci s'étendent jusqu'aux premières molaires ; puis ces gouttières sont réunies avec l'embout standard (Fig. 47) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 47: L'écran lingual préfabriqué est déposé. L'écran buccal est plaqué sur le vestibule maxillaire. Le plan de morsure préfabriqué est inclus dans le polychlorure de vinyle qui s'étend jusqu'aux premières molaires d'après Bruy et coll., 2006.**

Enfin une dernière étape clinique est nécessaire. L'adaptation en bouche est vérifiée puis l'embout ainsi confectionné est solidarisé au détendeur (Fig. 48) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 48: L'espace de ventilation est respecté (bien que sa dimension soit peu importante : il est toujours plus grand qu'avec les embouts standard). Noter l'absence de contracture des lèvres sur l'écran buccal d'après Bruy et coll., 2006.**

### **3.3.2.1.1.2-Inconvénients**

La principale critique de cette technique est le risque de décollement des matériaux, car l'embout du commerce est inclus dans l'embout personnalisé (Bruy et coll., 2006).

### **3.3.2.1.2-L'adjonction de gouttières latérales**

#### **3.3.2.1.2.1-Description**

La réalisation commence par des **modifications de l'embout intrabuccal standard** utilisé couramment par le patient (comme vues dans le paragraphe précédent avec la gouttière bimaxillaire avec emboîtement) (Delbar,1987).

La collerette est découpée de façon à dégager le fond des vestibules, les freins, brides et autres zones sensibles (Delbar,1987).

Les plateformes de morsure sont ramenés à une épaisseur moins traumatogène de 2 à 3 millimètres en coupant les barres du T si celles-ci ne se trouvent pas en position linguale par rapport aux dents lors de l'occlusion (Delbar,1987).

Après avoir réalisé quelques **réentions** (perforations des plateformes de morsure), un **plan occlusal** est mis en place et l'embout positionné convenablement en bouche avec le détenteur.

Le plan occlusal doit apporter tout confort, abaisser l'intensité musculaire de serrage et combler les édentations éventuelles (les prothèses amovibles étant à proscrire dans les activités subaquatiques).

Lors d'édentations totales, l'embout semi-adapté comporte deux gouttières solidarisées respectant la dimension verticale.

La cire ou un élastomère de silicone est employé pour cette prise d'occlusion (Delbar,1987).

Un positionnement sur modèles en plâtre permet ensuite **d'éliminer les débordements**, les détails trop fins, les contre-dépouilles et de délimiter les bords de ce plan bimaxillaire sur les faces vestibulaires et linguales à 3 mm au dessus de la limite gingivale. La limite postérieure du plan se situe à la face distale de la seconde molaire ou en cas de réflexe nauséux de la première molaire. L'utilisation d'un élastomère de silicone peut permettre le port de l'embout semi-adapté lors d'activités subaquatiques afin de parfaire le confort et la tenue en bouche dans des conditions réelles (Delbar,1987).

**Deux gouttières latérales** en silicone ou caoutchouc sont ajoutées au plan de morsure, préalablement aplani, d'un embout standard (Fig. 49). Les gouttières sont réalisées directement en bouche ou au laboratoire sur modèles transférés sur articulateur (Bruy et coll., 2006).



**Figure 49: Embout standard                      Embout semi-adapté  
vus dans le plan horizontal d'après Delbar, 1987.**

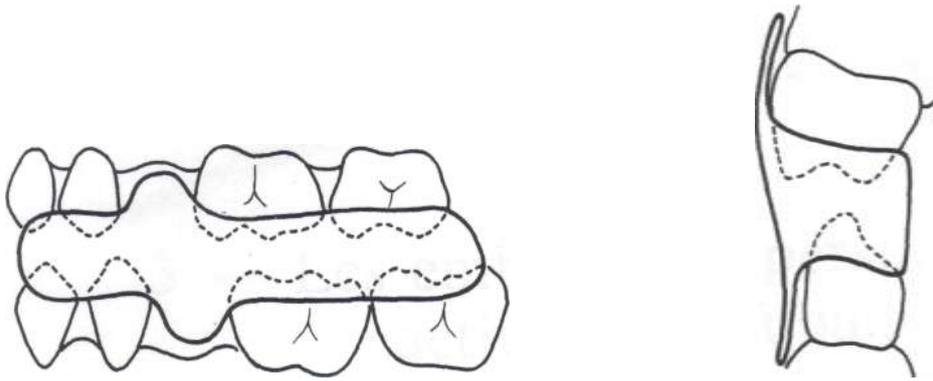
La réalisation technique consiste en la réduction de l'épaisseur des plateformes de morsure. Une perforation de la plateforme à l'aide d'une grosse fraise boule assure une meilleure rétention du matériau utilisé (Delbar, 1983).

Dans un premier temps, ces gouttières ont été fabriquées en élastomère de silicone (Réprosil putty) sur modèles montés en articulateur après enregistrement d'occlusion avec embout et cires adjointes. A noter que cette technique peut être employée directement en bouche, permettant d'obtenir une personnalisation quasi-immédiate, mais de longévité limitée (Fig. 50) (Lamendin, 1985).



**Figure 50: Personnalisation d'un embout standard par adjonction de gouttières latérales en silicone d'après Lamendin, 1985.**

Pour les sujets ne présentant pas d'édentation ou une édentation d'une dent, des inserts thermoformables sont employés. Le sujet est invité à serrer sans force excessive (Fig. 51). Ensuite, le plan d'occlusion est terminé sur les modèles en plâtre de façon à ce qu'il recouvre les faces vestibulaires et palatines sur 2 à 3 millimètres puis les détails trop fins et les contre-dépouilles sont éliminés (Delbar, 1983).



**Figure 51: Plan occlusal de l'embout semi-adapté dans le plan sagittal, dans le plan frontal d'après Delbar, 1987.**

Dans les cas d'édentations, la préparation des plateformes est identique. Le même processus est suivi pour faire des bourrelets en cire, terminés sur des modèles mis en articulateur (Delbar, 1983).

Le plan d'occlusion est alors réalisé en résine souple résiliente. L'embout en caoutchouc supporte très bien la mise en moufle et les diverses opérations de coulée (Delbar, 1983).

Actuellement, l'emploi d'élastomères de silicones par addition semble donner de bons résultats pour un coût moins élevé. Leur résistance à l'eau de mer et à l'eau de piscine est satisfaisante et celle à la mastication s'avère bonne. Leur confection est semblable à celle des bourrelets de cire (Delbar, 1983).

Dans un deuxième temps, le silicone a été remplacé par du caoutchouc, ce qui a nécessité une mise en moufle. Ce dernier s'est montré très coalescent de l'écran buccal, contrairement au silicone (Fig. 52) (Lamendin, 1985).



**Figure 52: Adaptation d'un embout standard par adjonction de gouttières latérales en caoutchouc d'après Lamendin, 1985.**

### **3.3.2.1.2.2-Avantages**

Cette adaptation consiste à diminuer la hauteur des plateformes de morsure et à leur adapter un plan occlusal bilatéral. La répartition des forces sur l'arcade de façon bilatérale et égale ramène le travail musculaire à un niveau moins élevé et plus favorable. L'engrènement intime de l'embout adapté avec les surfaces occlusales réduit considérablement l'intensité des forces d'occlusion nécessaires au maintien du système respiratoire et soulage ce levier dont le point d'appui est la contraction des muscles. La pression est maintenue au niveau de l'ATM, mais les interférences occlusales néfastes sont éliminées et les muscles décontractés. Les douleurs sont supprimées. La surcharge étant répartie, il n'y a pas de force traumatogène au niveau prémolaire, et si une mobilité dentaire subsiste, ces dents sont stabilisées (Delbar, 1983).

Ainsi, en résumé, les observations, après port d'un embout de ce type, ont été les suivantes :

- disparition des épisodes douloureux (ATM),
- diminution des algies et de la fatigue musculaire (relaxation),
- plus grand confort,
- bonne étanchéité
- isolation thermique appréciable (Delbar et Lamendin, 1985).

Lors d'une édentation partielle prémolaire, l'adaptation de l'embout standard autorise une parfaite stabilité de celui-ci (Delbar, 1983).

La réalisation de ce plan d'occlusion permet également d'écarter l'écran buccal de la muqueuse gingivale évitant ainsi les frottements déjà diminués par la meilleure stabilité de l'ensemble (Delbar, 1983).

### **3.3.2.1.2.3-Inconvénients**

Après port des embouts semi-adaptés précédemment décrits, les remarques suivantes ont été faites :

- quelques réactions nauséuses ou gêne à la déglutition, qui ont disparu soit par accoutumance, soit après avoir ramené l'extension postérieure des gouttières latérales de la deuxième à la première molaire,
- fragilité, déchirement pour les adjonctions des plans de morsure en élastomère de silicone,
- goût désagréable pour les essais en caoutchouc, lequel avait par contre l'avantage d'être parfaitement coalescent avec la collerette,
- difficulté de mise en bouche, à cause de leur volume, pour certains modèles expérimentaux d'adaptation d'embouts pour détenteurs,
- nécessité de diminuer les collerettes pouvant devenir irritantes après diminution de la hauteur des plateformes de morsure, ce qui doit être fait simultanément à l'adjonction des plans occlusaux, en dégageant les freins et brides et le fond du vestibule,
- enfin l'inconvénient potentiel le plus souvent cité est celui de la crainte de ne pouvoir fournir de l'air à un plongeur en difficulté (Delbar et Lamendin, 1985).

Il ne s'agit là que d'une ébauche très imparfaite d'individualisation tant le risque pour le plongeur est réel. Ainsi, même si les idées suggérées par ce modèle ont permis d'évoluer dans la conception des embouts, ils ne doivent rester que de l'ordre de l'expérimentation de laboratoire et, en l'état actuel des connaissances, être en aucun cas considérés comme opérationnels (Bruy et coll., 2006).  
C'est pourquoi ils ne sont pas utilisés.

Voici un tableau permettant de comparer les embouts semi-adaptés confectionnés suivant les deux méthodes précédemment décrites (Fig. 53).

<b>Modèles- Caractéristiques</b>	<b>Gouttière bimaxillaire avec emboîtement</b>	<b>Adjonction de gouttières latérales</b>
<b>Matériaux utilisés</b>	PCVP (Erkoflex, Erkodent)	Silicone par addition
<b>Propriétés du matériau</b>	Résistance aux forces masticatrices	Rigidité, risque de déchirement
<b>Principes</b>	Solidariser l'embout standard à : Un protège dent Un tooth-positionner	Stabiliser le plan de morsure en augmentant ses extensions postérieures et la congruence entre les faces occlusales et le plan de morsure
<b>Morphologie</b>	Recouvrement complet des arcades	Adjonction de matériaux dans les secteurs latéraux uniquement
<b>Stabilité de l'embout en bouche</b>	+	-
<b>Sécurité du plongeur</b>	-	-
<b>Risques spécifiques</b>	Impossibilité après une perte d'embout de le reprendre	Inhalation de débris plus que probable
<b>Coût</b>	+	-

**Figure 53: Tableau comparatif entre la gouttière bimaxillaire avec emboîtement et l'adjonction de gouttières latérales d'après Bruy et coll., 2006.**

### **3.3.2.1.3-Le système JAX®**

#### ***3.3.2.1.3.1-Description***

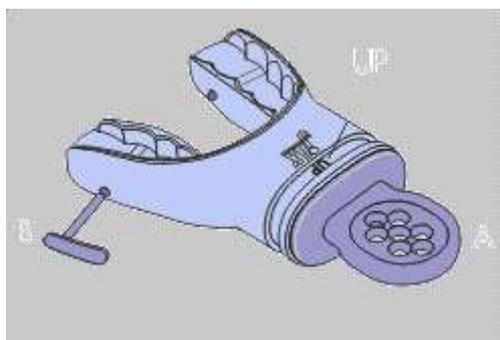
Face à la demande croissante des personnes pratiquant la plongée, la marque JAX a développé un système permettant au plongeur d'avoir un embout standard semi-personnalisé sans avoir à passer par le chirurgien-dentiste (Fig. 54).



**Figure 54: Un embout du système JAX®, emprunté à <http://www.myjaxdive.com>.**

Le système JAX® est composé :

- d'un dispositif de préhension qui rend plus aisée la phase de personnalisation et prévient d'éventuelles déformations de la partie extra-orale de l'embout ;
- de stops obstructifs qui assurent une épaisseur minimale et suffisante de matériau entre les dents maxillaire et mandibulaire ;
- enfin le symbole « up » indique le sens d'introduction de l'embout dans la bouche (Fig. 55) (<http://www.myjaxdive.com>).

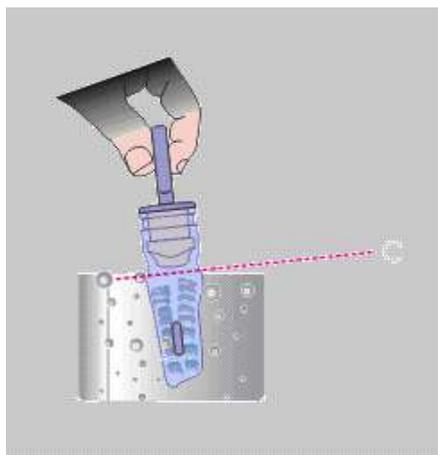


- A. dispositif de préhension de l'embout
- B. stops obstructifs
- UP symbole indiquant le sens d'introduction

**Figure 55: Schématisation d'un embout JAX emprunté à <http://www.myjaxdive.com>.**

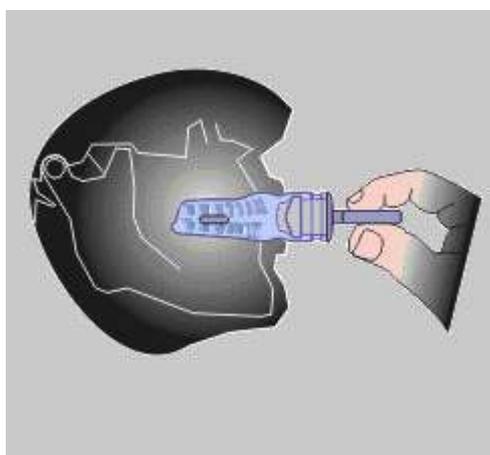
Avant de donner suite à la personnalisation de JAX®, s'assurer que les dispositifs A et B soient introduits correctement. Puis essayer d'introduire l'embout dans la bouche (inscription up tournée vers les dents supérieures), afin de prendre confiance avec les manoeuvres successives (<http://www.myjaxdive.com>).

En saisissant le dispositif A, plonger JAX® dans l'eau bouillante pendant 15 secondes comme illustré ci-dessous. Attention ne pas plonger l'embout au-delà de la ligne indiquée (C) et ne pas dépasser le temps car, autrement, JAX® pourrait se déformer de manière irréparable (Fig. 56) (<http://www.myjaxdive.com>).



**Figure 56: Plonger l'embout dans l'eau bouillante emprunté à <http://www.myjaxdive.com>.**

Introduire immédiatement dans la bouche l'embout qui sera chaud mais ne brûlera pas. Serrer les dents et fermer les lèvres. Dans cette position aspirer tout l'air et l'eau pendant quelques secondes pour faciliter l'adhésion autour des dents. Dans le même temps avec les doigts masser les joues en pressant légèrement (Fig. 57) (<http://www.myjaxdive.com>).



**Figure 57: Introduire l'embout dans la bouche emprunté à <http://www.myjaxdive.com>.**

Après environ 2 minutes sortir JAX® et le plonger dans un récipient d'eau froide pendant au moins 3 minutes. Enfin, l'ayant sorti de l'eau, ôter de l'embout les dispositifs de personnalisation (<http://www.myjaxdive.com>).

Introduire de nouveau JAX® dans la bouche et au cas où il serait peu adhérent, la procédure peut être répétée en repartant du début (<http://www.myjaxdive.com>).

Ayant terminé la personnalisation, introduire JAX® sur le détenteur et assurer l'étanchéité avec le collier fourni (Fig. 58) (<http://www.myjaxdive.com>).



**Figure 58: Embout personnalisable ainsi que le collier de raccordement au détenteur emprunté à <http://www.myjaxdive.com>.**

Le poids net de ce type d'embout est de 18 grammes. Il est à base d'éthylène vinyle acétate, copolymère thermoplastique à basse cristallinité (<http://www.myjaxdive.com>).

Ce produit est commercialisé en France dans les magasins « Aquasport » pour la somme de 19 euros environ.

Un autre produit assez ressemblant : « SeaCure » Custom Mouthpieces, qui n'est pas commercialisé en France par contre, à 30\$ (Fig. 59) (Taddey, 1993).



**Figure 59: Embouts de la marque SeaCure emprunté à <http://www.seacure1.com>.**

### **3.3.2.1.3.2-Avantages**

Une étude a été menée sur 8 plongeurs appartenant au corps italien des sapeurs pompiers et membres de l'équipe Pelizzari par Massimo et Giudicelli (Massimo et Giudicelli, 1998).

Il a été noté par les utilisateurs une excellente stabilité de l'embout de par l'extension depuis les canines jusqu'aux molaires et par l'adhérence spécifique à leurs dentures. Ainsi il

s'en suit une contraction moindre des mâchoires et donc une fatigue musculaire bien plus faible (Massimo et Giudicelli, 1998).

De plus la meilleure distribution des forces et des charges occlusales diminue les traumatismes occlusaux (Massimo et Giudicelli, 1998).

On peut également noter moins de forces de frottement sur la gencive de par sa stabilité augmentée par rapport à un embout traditionnel (Massimo et Giudicelli, 1998).

Enfin lors de cette étude où plus de 300 plongées ont été effectuées, aucune rupture ou déchirement n'ont été mis en évidence (Massimo et Giudicelli, 1998).

### ***3.3.2.1.3.3-Inconvénients***

Ce système ne permet pas de répondre à la demande des édentés partiels, notamment en secteurs prémolaires, ou des édentés totaux.

### **Conclusion des systèmes semi-adaptables**

*L'ensemble de ces systèmes permet de palier à un certain nombre de désagréments occasionnés par le port des embouts standards. Cependant leurs indications sont limitées et ils ne permettent pas de répondre à toutes les demandes, notamment concernant les édentés totaux ou partiels, et leur longévité est limitée dans le temps en raison des matériaux utilisés.*

### **3.3.3-Les embouts personnalisés (individuels sur mesure)**

Les embouts de plongée personnalisés, aussi appelés « anatomiques », sont confectionnés sur mesure à partir d'empreintes des arcades dentaires. De par leur plan de morsure personnalisé, ces embouts permettent une meilleure répartition des forces occlusales, une disparition des surcharges sur les prémolaires et une relaxation musculaire (Bruy et coll., 2006).

Dès lors que l'anatomie du plongeur est différente d'une normocclusion ou d'une occlusion de classe III bout à bout, que le plongeur présente une édentation importante non compensée, une édentation totale ou que l'on cherche à optimiser ses performances, l'embout personnel est la seule solution satisfaisante (Sametzky et coll., 1999). C'est pourquoi il est à conseiller à tous.

Ces embouts personnalisés peuvent être fabriqués :

- par thermoformage,
- après réalisation d'une maquette en cire.

Après plusieurs essais plus ou moins fructueux pour adjoindre un plan occlusal plus étendu à un embout standard, la tendance actuelle est de confectionner un nouvel embout

monopïèce avec collerette et deux plans occlusaux remplaçant les plans de morsure latéraux (Delbar, 1987).

### **3.3.3.1-Conception**

L'embout « personnel » est une « orthèse » relevant, ainsi que la « personnalisation » d'embout standard classique, de la capacité professionnelle des chirurgiens-dentistes ou médecins stomatologistes (Lamendin, 2002).

Un véritable embout « personnel » avec plans d'occlusions bilatéraux [d'une seule pièce et d'un seul matériau, tel que « Thermoform® » (chutes de gouttières thermoformées habituellement utilisées pour l'application de gel fluoré), le polychlorure de vinyle plastifié, le polyéthylène acétate de vinyle...] peut être réalisé et est la solution idéale (Delbar et Lamendin, 1999 ; Lamendin, 2002). Celui-ci est fait à partir d'empreintes des arcades dentaires, prises au cabinet dentaire et d'un « enregistrement d'inocclusion contrôlée », aussi appelée « occlusion corrigée », permettant le réglage de l'occluseur au laboratoire de prothèse (Delbar et Lamendin, 1999). L'utilisation de l'embout semi-adapté, c'est-à-dire d'un embout standard adapté, pour cet enregistrement est préférable, si un tel embout a d'abord été confectionné. Sinon, après avoir diminué la hauteur des plateformes de morsure (car étant trop épaisses, elles entraînent un effort musculaire pour sa tenue en bouche), afin de permettre l'enregistrement dans une position de convenance (de quasi-repos et de confort), celles-ci se font avec des boudins de cire adjoints latéralement, de telle façon qu'elles répondent bien à un « maintien sans presque serrer les dents », donc avec « un minimum de contraction musculaire ». Ce temps est assez difficile à réaliser et demande l'acquisition d'une certaine expérience. Evidemment cet enregistrement ne doit pas être effectué en hyperextension cervicale ni appui rétroccipital. (Lamendin, 2002).

#### **3.3.3.1.1-Par thermoformage**

Lamendin décrit en 1985 une méthode de fabrication d'embout personnalisé. Pour ce faire des chutes de gouttières thermoformées telles que le Thermoform® sont utilisées pour confectionner un embout personnalisé en une seule pièce et donc avec un seul matériau. La maquette en cire est confectionnée sur modèles montés sur occluseur ou sur articulateur (Lamendin, 2002 ; Lamendin, 1985).

La partie permettant la jonction avec le tuba est modelée sur un tube rond chromé du diamètre voulu, écrasé du côté bouche pour éviter une trop grande ouverture des lèvres et permettre une bonne ventilation par la béance inter-incisivo-canine (Lamendin, 1985).

Pour l'utilisation d'un détendeur, un moulage mâle de son orifice doit être réalisé, pour permettre la fixation de l'embout sur celui-ci (Lamendin, 2002).

Puis après mise en moufle et élimination de la cire, un matériau thermoplastique, les chutes de Thermoform®, sont bourrées à chaud de la même façon que l'indique Sametzky pour le Major Plast® (Lamendin, 1985 ; Lamendin, 2002).

Le moufle est ensuite placé sous presse jusqu'à refroidissement complet (Lamendin, 1985 ; Lamendin, 2002).

Matsui et coll. ont déterminé une technique de réalisation d'embout personnalisé par thermoformage. Il ne s'agit en fait que d'une évolution de la technique de Dunand. L'embout

n'est plus réalisé par soudage de deux gouttières, mais directement en technique monobloc par adjonction de la pièce intermédiaire (Bruy et coll., 2006).

Les étapes de fabrication d'un embout personnalisé sont détaillées ci-dessous :

1-Réaliser des empreintes maxillaire et mandibulaire à l'alginat, puis couler les modèles en plâtre dur. Enregistrer la Relation Centrée (RC) du patient à la Dimension Verticale de Repos (DVR) avec de la cire.

2-Se procurer le détendeur qu'utilise le plongeur ainsi qu'un collier afin d'avoir une parfaite congruence entre l'embout et le détendeur (Fig. 60).



**Figure 60 : Embout commercial et collier en plastique utilisé pour relier l'embout au détendeur d'après Matsui et coll., 2004.**

3-Verser du plâtre dur dans la partie extra-orale de l'embouchure afin d'avoir sa réplique en plâtre.

4-Retirer avec précaution le moulage en plâtre (Fig. 61).



**Figure 61 : Enlever l'empreinte de la partie extra-orale de l'embout d'après Matsui et coll., 2004.**

5-Mettre en forme la feuille thermoplastique préfigurant l'extrémité de l'embout personnalisé en utilisant une machine de thermoformage. Enlever les excès de matériau.

- 6-Mettre les moulages maxillaire et mandibulaire dans une position verticale stable avec la face labiale des moulages vers le haut avec l'extrémité de l'embout en place.
- 7-Monter les modèles sur articulateur avec des valeurs moyennes en utilisant la méthode des modèles fractionnés. Utiliser la cire de RC pour positionner le modèle mandibulaire.
- 8-Marquer l'extension voulue de l'embout sur les moulages, depuis la face distale de la première molaire, ainsi que le joint labial et buccal et le joint palatin.
- 9-Mettre en forme une feuille de matériau autour du moulage maxillaire à l'aide de la machine à thermoformer. Mettre le matériau aux limites désirées.
- 10-S'assurer de la répartition des contacts de l'embout avec l'ensemble des dents mandibulaires.
- 11-Faire fondre la partie extra-orale de l'embout et sa partie intra-orale à l'aide d'un pistolet chauffant (Fig. 62).



**Figure 62 : La partie extra-orale de l'embout est fusionnée à la partie intra-orale à l'aide d'un pistolet chauffant d'après Matsui et coll., 2004.**

- 12-A l'aide de silicone, immobiliser les moulages entre eux ainsi que l'embout pour assurer un positionnement correct avant d'effectuer le vide.
- 13-Enlever les composants immobiles de l'articulateur. A l'aide de silicone, remplir l'espace créé entre la portion extra-orale de l'embout et la portion antérieure du moulage mandibulaire pour éviter que des feuilles thermoplastiques ne soient piégées dans les espaces vides durant la mise en forme par le vide décrite à l'étape 14 (Fig. 63).



**Figure 63 : Le hiatus entre la partie extra-orale de l'embout et le moulage mandibulaire est comblé par du silicone d'après Matsui et coll., 2004.**

14- Placer les composants immobiles dans une position stable et droite, avec la surface labiale des moulages au dessus. Faire le vide. Le vide ainsi formé déforme la feuille thermoplastique autour des dents, les recouvrant (Fig. 64).



**Figure 64 : La feuille thermoplastique est mise en forme par le vide d'après Matsui et coll., 2004.**

15- Chauffer la partie extra-orale de l'embout avec un pistolet chauffant et faire une empreinte du côté lisse du collier en plastique pendant que le matériau est encore chaud (Fig. 65).



**Figure 65 : L'empreinte du collier en plastique sur le matériau thermoplastique est faite pendant qu'il est encore chaud d'après Matsui et coll., 2004.**

16- Equilibrer l'embout comme décrit à l'étape 8 et enlever le plâtre de l'extrémité extra-orale de l'embout. Procéder à la finition et au polissage (Fig. 66) (Matsui et coll., 2004).



**Figure 66 : Embout terminé d'après Matsui et coll., 2004.**

Actuellement, on emploie plutôt une méthode par injection (Lamendin, 2002).

### **3.3.3.1.2-Après réalisation d'une maquette en cire**

Succinctement, cela nécessite une prise d'empreintes, un enregistrement d'occlusion corrigée, une mise en articulateur, la confection d'une maquette en cire préfigurant la forme et le volume exact du futur embout, la mise en moufle et l'injection (Sametzky et coll., 1999).

A partir de modèles montés sur articulateur, l'embout est préalablement confectionné en cire avant d'être mis en moufle (Bruy et coll., 2006).

Ces dispositifs monoblocs sont généralement en élastomère (Bruy et coll., 2006).

Le matériau actuel le plus performant est le méthylmétacrylate souple. L'utilisation de caoutchoucs de silicone thermovulcanisables est possible mais d'une technologie plus complexe (Sametzky et coll., 1999).

### **Les empreintes**

Les empreintes des deux arcades sont réalisées à l'aide de porte-empreintes classiques peu perforés, relativement larges et garnis d'un hydrocolloïde irréversible (alginate de classe A). Elles doivent reproduire parfaitement toute la hauteur des vestibules et donner une image parfaite des freins et des insertions musculaires (Bruy et coll., 2006).

L'alginate préparé est de consistance épaisse, supérieure à la consistance recommandée habituellement par le fabricant, en augmentant le rapport poudre/eau (3 mesures au lieu de 2). Le porte-empreinte est chargé dans sa globalité avec une surcharge périphérique. Les vestibules particulièrement développés sont garnis d'alginate déposé avec le doigt avant le centrage en bouche du porte-empreinte. Le sujet est alors invité à mobiliser ses lèvres et ses joues; celles-ci sont tapotées sur tout le pourtour du porte-empreinte. La lèvre

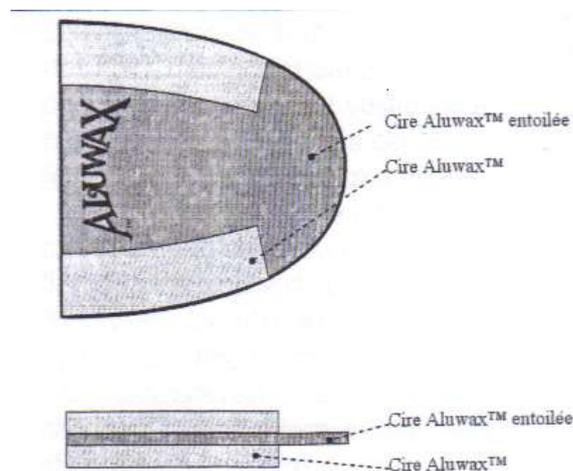
supérieure est finalement tirée vers l'avant pour enregistrer l'action du frein médian (Bruy et coll., 2006).

L'empreinte est désinsérée, rincée, vérifiée et décontaminée. Les modèles de travail sont coulés en plâtre dur (Bruy et coll., 2006).

### L'enregistrement du rapport maxillo-mandibulaire

Au cabinet, le point délicat (qui demande de l'expérience) est l'enregistrement d'inocclusion (ou occlusion corrigée) qui doit être fait en position adéquate et relâchée, en laissant une béance suffisante pour la ventilation en fonction de l'activité pratiquée, mais cependant pas trop importante, afin de ne pas induire de contractures musculaires (Lamendin, 2002).

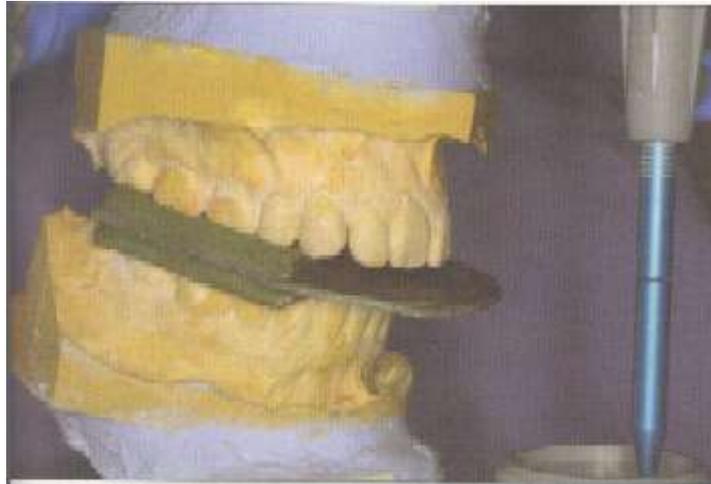
Le rapport maxillo-mandibulaire est enregistré selon la technique décrite par Sametzky. Une plaque de cire Aluwax® (Dental Product Co) entoillée est positionnée en bouche sur l'arcade maxillaire et recoupée si nécessaire pour que son débordement vestibulaire n'excède pas 3 à 4 millimètres. Le sujet est invité à fermer légèrement, sans pression excessive, de façon à obtenir le contact des canines mandibulaires sur la plaque. Les points d'occlusion correspondants sont marqués sur la plaque. Quatre bandes de cire Aluwax® non entoillée de 15 millimètres de largeur sont collées de part et d'autre de la plaque d'Aluwax® entoillée, de la région canine à la partie postérieure, côté droit et côté gauche (Fig. 67) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 67 : Vue supérieure et latérale de la cire d'enregistrement du rapport maxillo-mandibulaire d'après Bruy et coll., 2006.**

L'ensemble est ramolli par immersion dans une eau à 49°C (20 secondes). La plaque est alors positionnée sur le maxillaire et le sujet est invité à fermer légèrement et progressivement jusqu'à l'obtention de la distance interarcades désirée (4 millimètres environ). La cire est refroidie à la seringue à air, dents serrées, puis bouche ouverte avant

d'être immergée dans l'eau glacée. Un contrôle final est effectué en bouche. Les moulages sont transférés sur l'articulateur (Fig. 68) (Bruy et coll., 2006).



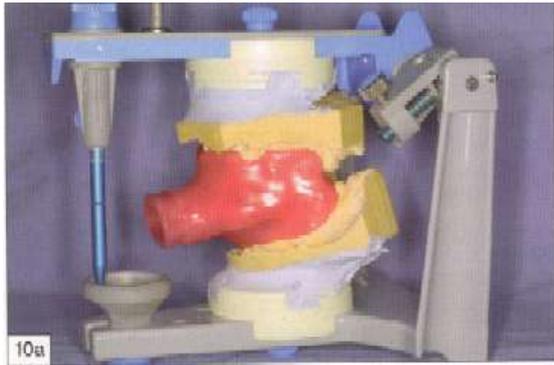
**Figure 68 : Cire d'enregistrement lors du montage sur articulateur d'après Bruy et coll., 2006.**

### **La réalisation des maquettes**

Pour un embout « personnel », la maquette en cire est confectionnée sur les moulages montés sur occluseur ou sur articulateur (Fig. 69 et 70) (Lamendin, 2002).



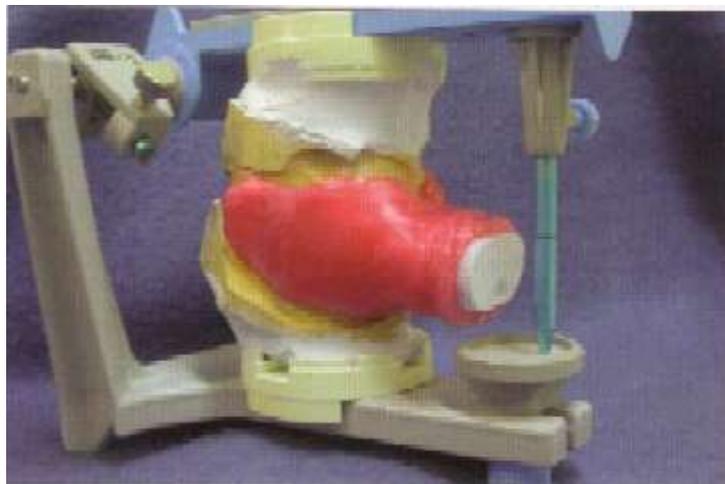
**Figure 69 : Maquette en cire d'après Bruy et coll., 2006.**



**Figure 70 : Maquette en cire d'après Bruy et coll., 2006.**

Leur élaboration rejoint celle des protections dento-maxillaires de type Sametzky (Bruy et coll., 2006).

Il faut veiller à réaliser préalablement une empreinte de la partie du détendeur qui maintient l'embout afin d'obtenir une congruence parfaite entre l'embout et le détendeur. Cette empreinte, réalisée avec un silicone par addition de consistance « putty », est coulée en plâtre. Le moulage obtenu du détendeur est incrusté dans la partie antérieure de la maquette en cire pour créer l'élément de jonction (Fig. 71) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 71 : Moulage en plâtre du détendeur incrusté au niveau de l'élément de jonction en cire d'après Bruy et coll., 2006.**

En effet, l'élastomère SR Ivocap® (Ivoclar-Vivadent) choisi pour la mise en moufle est plus rigide que les silicones des embouts standards. Il est donc nécessaire de déterminer sur quel détendeur sera utilisé l'embout avant la réalisation de ce dernier (Bruy et coll., 2006).

Après mise en moufle et élimination de la cire, un matériau thermoplastique est bourré à chaud. Le moufle est ensuite placé sous presse jusqu'à refroidissement complet. Actuellement, on emploie plutôt une méthode par injection (Lamendin, 2002).

### Le cahier des charges de la maquette

Les écrans vestibulaires doivent respecter l'anatomie du parodonte ; il convient donc de décharger les zones des freins médians et latéraux. Pour ne pas léser la muqueuse vestibulaire, il paraît judicieux de ne pas dépasser la ligne muco-gingivale de plus de 2 millimètres.

La zone de la papille rétro-incisive peut être englobée ou non, en fonction de la nécessité d'obtenir un appui lingual rétro-incisif plus ou moins important. Cette détermination est réalisée par le praticien en fonction de la capacité du patient à effectuer une déglutition bouche ouverte (Bruy et coll., 2006).

Pour éviter un inconfort musculaire et articulaire, le plan de morsure doit atteindre la première molaire et avoir une épaisseur de 3 à 6 millimètres. En fait, seul Hobson en 1996 a essayé d'évaluer l'épaisseur optimale par détermination du débit expiratoire de pointe (DEP); il a estimé cette épaisseur à 4 millimètres. L'écran buccal doit aller le plus loin possible au fond du vestibule pour l'étanchéité et la stabilisation (Bruy et coll., 2006).

### La mise en moufle, l'injection de la résine et la polymérisation

Il est indispensable à cette étape d'utiliser une résine souple qui confèrera à l'embout toute sa souplesse (comme par exemple la résine Ivocap® de chez Ivoclar-Vivadent (Bruy et coll., 2006).

### La mise en moufle et l'injection de l'élastomère

La mise en moufle directe de la maquette se fait classiquement dans le moufle du système Ivocap® (Fig. 72).



**Figure 72 : Système d'injection SR-Ivocap® et capsules SR-Ivocap® « Plus » High Impact (Ivoclar-Vivadent) et maquette dans la première partie du moufle du système Ivocap® (Ivoclar-Vivadent) d'après Bruy et coll., 2006.**

La seule différence par rapport à une mise en moufle traditionnelle est l'aménagement d'un canal d'injection pour l'élastomère (Bruy et coll., 2006).

Les recommandations à respecter sont les suivantes :

- immerger le moufle pendant 5 minutes dans de l'eau très chaude, puis l'ouvrir et ébouillanter aussitôt ;
- isoler le moufle encore chaud en appliquant 2 couches successives de Separating-Fluid® (Ivoclar-Vivadent) et mettre le moufle en bride ;
- verser le monomère dans la cartouche ; pousser la membrane-piston vers l'avant jusqu'à ce que le réservoir de monomère vide puisse être mis en place à l'arrière de la cartouche et, reboucher la cartouche ;
- temps de malaxage au Cap Vibrator® de Ivoclar-Vivadent (malaxage mécanisé) : 5 minutes ;
- les résidus de pâte desséchée qui pourraient se trouver à l'intérieur de la cartouche n'ont aucune influence sur la qualité du travail achevé ; évacuer à l'aide du poussoir la poche d'air subsistant entre matériau et piston ;
- injecter le contenu de la cartouche ainsi préparé dans le moufle. Deux cartouches d'élastomère SR-Ivocap® malaxées sont nécessaires à la confection d'un embout. Si cela est souhaité, ce même élastomère peut être coloré (dans ce cas des poudres intensives sont ajoutées au monomère avant le malaxage) comme cela se fait pour les protège-dents ;
- laisser le moufle à la pression de 6 bars pendant 10 minutes, pour que le matériau fuse dans le moufle (Bruy et coll., 2006).

### **La polymérisation**

Elle se fait selon la méthode SR-Ivocap® : le moufle est plongé, sans débrancher l'air comprimé, dans un bain d'eau bouillante. Le temps de polymérisation nécessaire est de 45 minutes à 100°C. Au terme de la polymérisation, l'ensemble est retiré et plongé directement dans l'eau froide pendant 20 minutes, tout en laissant sous pression (Bruy et coll., 2006).

### **La finition et la vérification sur l'articulateur**

L'état de surface de la résine peut être amélioré (Fig. 73) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 73 : Embout individuel en élastomère d'après Bruy et coll., 2006.**

Ceci à l'aide du monomère de la résine qui permettra une re-polymérisation de surface et augmentera l'aspect brillant, réalisant en quelque sorte un glaçage de la surface de la résine (Fig. 74).



**Figure 74 : Vue de  $\frac{3}{4}$  supérieure de l'embout polymérisé d'après Bruy et coll., 2006.**

La vérification finale est faite sur articulateur pour contrôler la parfaite adaptation du dispositif ; on procède enfin à son nettoyage (Fig. 75) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 75 : Essayage sur les moulages montés sur articulateur pour vérifier la qualité de l'injection et l'absence de déformation d'après Bruy et coll., 2006.**

Voici un autre exemple d'embout personnalisé réalisé par le Dr Boissonnet avec l'aide de son prothésiste, M. David Emile (Fig. 76, 77 et 78).



**Figure76: Essayage de l'embout personnalisé sur les moulages d'après un travail réalisé par le Dr Boissonnet avec l'aide de M. David Emile (Technicien de laboratoire).**



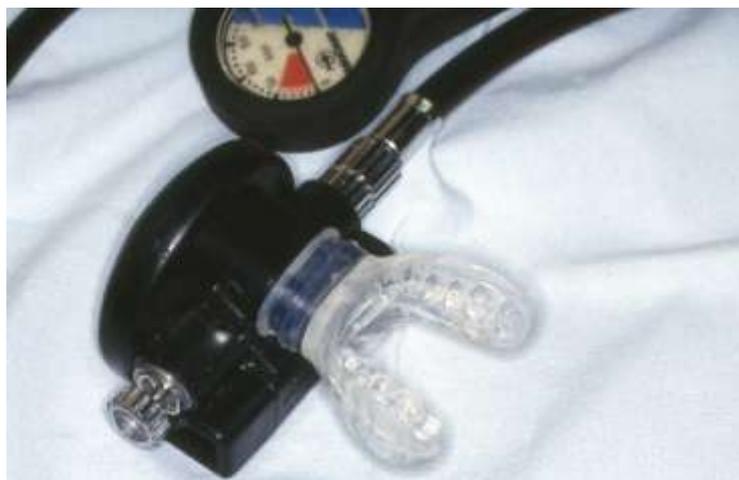
**Figure 77 : Extension de l'embout jusqu'aux deuxièmes molaires d'après un cas réalisé par le Dr Boissonnet et M. David Emile.**



**Figure 78 : Espace d'inocclusion d'après un cas réalisé par le Dr Boissonnet et M. David Emile.**

**L'essayage en bouche et la remise au plongeur**

Après vérification en bouche du libre jeu des freins et des brides, l'embout est remis au plongeur qui le fixera sur son détendeur dont l'empreinte a préalablement été réalisée pour la confection de l'élément de jonction (Fig. 79).



**Figure 79 : Embout fixé au détendeur d'après un cas réalisé par le Dr Boissonnet et M. David Emile.**

Pour cette dernière étape, il est préférable d'utiliser un collier même si celui-ci reste optionnel du fait de la parfaite adaptation de l'embout sur le détendeur et de la forte résistance de la résine Ivocap® (Bruy et coll., 2006).

Ce collier assurera le sertissage de l'embout au détendeur et limitera ainsi les risques d'infiltration d'eau ou pire d'arrachage (Fig. 80) (Bruy et coll., 2006).



**Figure 80 : Embout solidarisé au détendeur par un collier d'après Bruy et coll., 2006.**

Au laboratoire, la fabrication d'embout « personnel » est très simple et ne présente pas aucune difficulté technique, quelle que soit la méthode employée (bourrage ou injection) (Lamendin, 2002).

Dans le cas d'un édentement partiel, Delbar et Sametzky et coll. insistent sur la nécessité de compenser les édentations comme cela est réalisé pour les protections dento-maxillaires personnalisées (Bruy et coll., 2006).

Chez le sujet totalement édenté, l'embout doit être conçu comme une prothèse amovible complète tant au niveau de la technique des empreintes secondaires que de l'enregistrement de la relation maxillo-mandibulaire (Bruy et coll., 2006).

Dans tous les cas il est nécessaire de procéder à la vérification de la réalisation sur l'articulateur avant remise au patient. En effet, ce type d'embout est véritablement une orthèse qui doit être vérifiée et délivrée par un praticien (Bruy et coll., 2006).

### **3.3.3.2-Avantages**

#### **3.3.3.2.1-Par thermoformage**

Les avantages constatés par les plongeurs sont les suivants :

- disparition des épisodes douloureux (ATM),
- diminution des algies et de la fatigue musculaire (relaxation),
- plus grand confort,
- bonne étanchéité
- isolation thermique appréciable (Delbar et Lamendin, 1985).

Cette méthode élimine les inconvénients décrits dans la personnalisation des embouts standards par adjonction de gouttières latérales bi-maxillaires, que ce soit en élastomère ou en silicone de caoutchouc, à savoir :

- la fragilité du matériau,

- le risque d'arrachement de l'embout,
- une saveur très désagréable (Lamendin, 1985).

De plus l'utilisation de ce matériau est pratique et économique (Lamendin, 1985).

Il est possible d'ajouter que malgré son individualisation, la souplesse du matériau permet le transfert de l'embout à un autre plongeur en cas de besoin (Lamendin, 1985).

### **3.3.3.2.2-Après réalisation d'une maquette en cire**

Les bénéfices de la fabrication d'embouts individuels sont multiples :

- meilleure répartition des forces occlusales, sur un nombre plus important de dents, donc disparition de surcharge au niveau prémolaire ;
- meilleure tenue en bouche, avec une moindre intensité de serrage grâce à l'engrènement, d'où relaxation musculaire, avec abolition des algies ;
- maintien de l'embout en cas d'édentation ;
- disparition des DAM ;
- cessation du frottement de l'écran buccal sur la gencive et par conséquent des irritations parodontales et des gingivorragies ;
- meilleure équilibration auriculaire par facilitation de l'ouverture tubaire ;
- « protection thermique » lors de parodontopathie ;
- échange d'embouts entre plongeurs impossible, ce qui évite le risque de transmission d'infection virale [VIH, HVB, HVC, VHS (Virus Herpes Simples)].

*En plongée les saignements gingivaux ne sont pas exceptionnels. Des risques de contamination par échange d'embouts (ce qui se produit couramment dans les clubs) existent donc, malgré leur nettoyage et leur désinfection (souvent relative). Posséder un embout « personnel » est donc, à cet égard, le moyen le plus sûr de faire face à ces risques, ce qui constitue un avantage supplémentaire, justifiant d'autant plus son indication et son institution (évidemment, cette recommandation concerne l'hépatite B, le virus HIV pour lesquels, on le sait, le sang est un agent effectif de transmission) (Lamendin, 2002).*

*En matière de prévention, pour un tout autre aspect, un article très opportun, a attiré l'attention des médecins du sport sur l'existence de risques de contamination « par échanges de matériel intra-buccal ». C'est ce qui se passe, entre autres, dans les clubs de plongée subaquatiques. C'est pourquoi des précautions de désinfection adéquates sont obligatoires, « réglementairement ». Mais, à l'évidence, des embouts personnels, cela ne s'échange pas. Ils constituent donc le plus sûr moyen de prévention contre la transmission de l'infection à HIV, sachant que des saignements gingivaux sont assez fréquents en plongée. Dans ce souci, il y a là une indication préventive supplémentaire, très importante, pour la réalisation de tels embouts personnels par les praticiens (Delbar et Lamendin, 1999).*

- plus grand confort ;
- plus grande sécurité ;
- modification de la position de la nuque, donc de la position corporelle dans l'eau, ce qui favorise l'aisance gestuelle, et par conséquent, les performances (Lamendin, 2002 ; Bruy et coll., 2006 ; Delbar, 1987).

A noter que les utilisateurs de ce type d'orthèse ont non seulement vu leurs surcharges parodontales et leurs symptômes pathologiques disparaître (notamment craquements et douleurs des articulations temporo-mandibulaires, contractures musculaires, irradiations algiques cervicales, etc.), mais ont aussi ressenti un plus grand confort, une plus grande

sécurité qui sont des facteurs de meilleure pratique. De plus une meilleure protection thermique contre les agressions directes du froid a été constatée parce que les embouts « personnels » s'appliquent évidemment mieux sur les dents et les gencives (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

L'emploi d'embout « personnel » est donc tout à fait indiqué, en particulier lorsque les troubles arthro-musculaires ou parodontaux atteignent une certaine chronicité (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

Les embouts personnels comblent les espaces édentés et ainsi tiennent d'autant mieux en bouche, sans aucun effort. Cependant, les embouts personnels ne concernent pas les jeunes en période de dentition mixte. Ceux-ci peuvent employer un nouveau modèle (enfant) d'embout standard avec plans occlusaux, apparu sur le marché ces dernières années (Lamendin, 2002).

L'usage d'un embout « personnel » n'est pas réservé à la seule thérapeutique. Il est aussi préconisé, bien entendu, à titre préventif.

Par ailleurs, chez le nageur avec palmes, il a été constaté que le port d'un embout « personnel » modifiait la position nucale, donc corporelle dans l'eau, ce, favorablement pour l'aisance gestuelle donc, et aussi, les performances. Cette observation mérite réflexion et souligne l'importance, même en milieu aquatique, du positionnement occlusal dentaire dans le domaine de la posture. Mais également en matière de syncinésie, suite à une « économie », au niveau des muscles manducateurs que permet le bon maintien en bouche de l'embout sans avoir besoin, pratiquement de serrer les dents. Ce type d'embout évite une contraction involontaire des muscles manducateurs (Lamendin, 2002).

### **Conclusion**

*Afin de limiter le risque de survenue d'un SADAM, ou pour certains plongeurs atteints de DAM, il est recommandé de réaliser des embouts de plongée, dits « anatomiques » (Bruy et coll., 2006).*

### **3.3.3.3-Inconvénients**

#### **3.3.3.3.1-Par thermoformage**

A l'époque de la confection par Lamendin et Bougrat (son technicien de laboratoire) il n'y avait pas de recul sur la longévité du matériau utilisé en cas d'usage prolongé (Lamendin,1985).

### **3.3.3.3.2-Après réalisation d'une maquette en cire**

L'usage d'un tel embout (ne pouvant en principe servir avec une suffisante sécurité à quelqu'un d'autre, puisque personnel) requiert l'adjonction d'un second détenteur, non personnalisé, avec embout standard, par souci d'assistance et de sécurité à un autre plongeur en difficulté (Lamendin, 2002 ; Delbar et Lamendin, 1999).

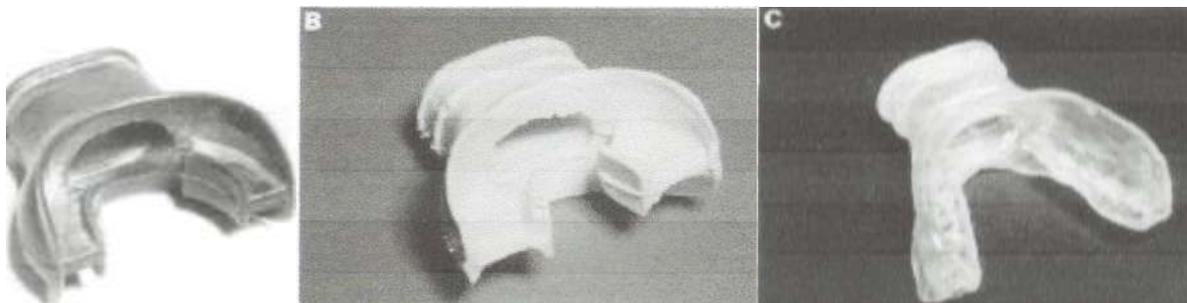
Les conditions d'hygiène, à prendre actuellement en compte, rendent nécessaires ce second détenteur (Delbar et Lamendin, 1999).

### **3.3.4-La comparaison des différents types d'embouts**

Hobson et Newton ont effectué une étude en 2005 pour comparer les différents types d'embouts.

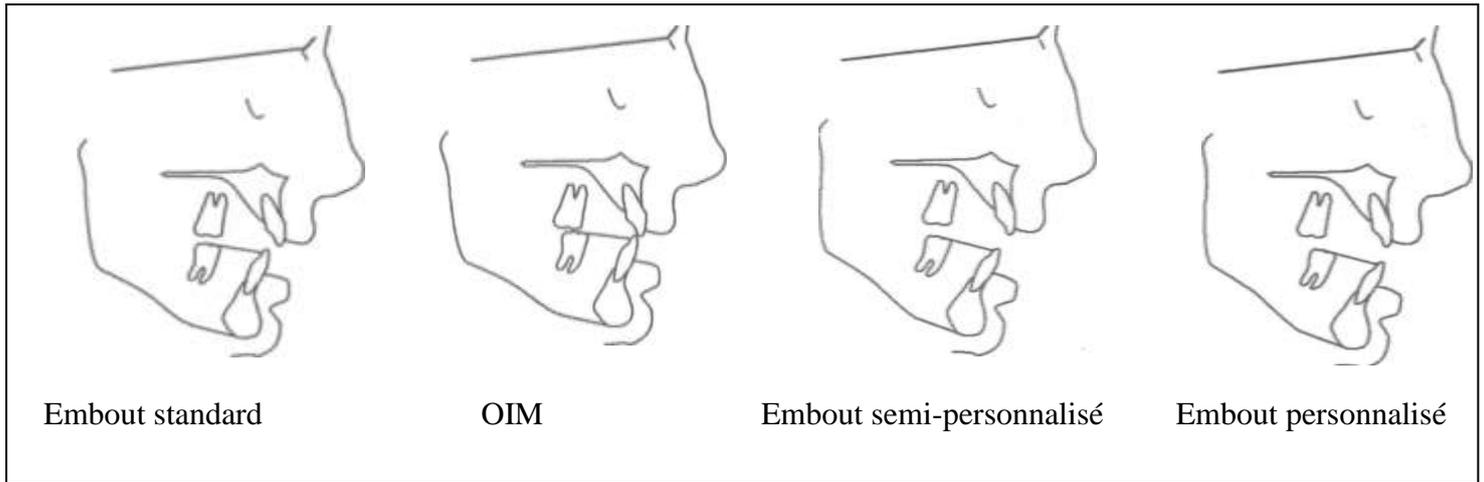
Ils ont estimé l'effort requis, la douleur musculaire, la fatigue musculaire, l'inconfort facial, l'inconfort dentaire, l'engourdissement de la lèvre inférieure à l'aide d'une échelle visuelle analogique et de radiographies afin d'analyser la position articulaire.

On a demandé aux 6 hommes participant à l'étude d'évaluer les différents paramètres énoncés ci-dessus avec 3 embouts différents : le premier est standard (A), retrouvé dans le commerce, le second est semi-personnalisé (B), et enfin le dernier est personnalisé (C) (Fig. 81) (Hobson et Newton, 2005).



**Figure 81 : Les trois embouts utilisés pour l'étude (A : embout standard ; B : embout semi-personnalisé ; C : embout personnalisé) d'après Hobson et Newton,2005.**

Au final, c'est l'embout personnalisé qui est le plus confortable, qui demande le moins d'effort, et qui provoque le moins de déplacement mandibulaire (Fig. 82) (Hobson et Newton, 2005).



**Figure 82 : Représentation des différentes position mandibulaires lors de l'utilisation des embouts. Pour comparaison la position d'OIM a été schématisée d'après Hobson et Newton, 2005.**

Ainsi donc les plongeurs qui ont eu des antécédents de dysfonctionnements au niveau des ATM devraient avoir recours à ce type d'embout qui sollicite moins toute la sphère orofaciale (Hobson et Newton, 2005).

Finalement, apporter une thérapeutique à ces pathologies et les prévenir ont été les buts recherchés par la mise au point d'embouts personnalisés. La personnalisation doit amener confort et sécurité accrues à l'utilisateur. Elle consiste en l'adaptation de l'embout aux caractéristiques buccales du sujet, alors qu'avec un embout standard, c'est la sphère orale qui tente de s'adapter.

Après plusieurs essais plus ou moins fructueux pour adjoindre un plan occlusal plus étendu à un embout standard, la tendance actuelle est de confectionner un nouvel embout monopiece avec collerette et deux plans occlusaux remplaçant les plateformes de morsure (Delbar, 1987).

Cependant, à cet égard, il y a lieu de rappeler qu'un nouveau modèle d'embout standard est apparu sur le marché ces dernières années. Il constitue un indéniable progrès. Cet embout présente, en effet, une collerette moins haute que les embouts classiques, diminuant, de ce fait, l'agression gingivale et, de plus, il facilite l'étanchéité, donc réduit la nécessité de propulsion mandibulaire. Les tétons sont remplacés par des plans occlusaux (standards et non personnels, bien entendu) de l'incisive latérale à la seconde prémolaire, répartissant ainsi la charge occlusale et donc l'épaisseur est ramenée à 3-4 mm, ce qui diminue les risques de contractures et améliore le fonctionnement des muscles élévateurs de la mandibule. Une extension palatine rétro-incisive et des volets linguaux obliques vers l'intérieur assurent une bonne rétention de l'embout, donc un bon confort pour le sportif (Delbar et Lamendin, 1999).

Pour la pratique de la plongée par les enfants (lesquels sont en période de denture mixte), le modèle standard (de la Spirotechnique© par exemple) avec plans occlusaux répartissant bien les charges (il existe un modèle enfant) est spécifiquement préconisé. Ce afin de ne pas provoquer de surcharge éventuelle sur des prémolaires en égressions ou des gencives pouvant être douloureuses à ce niveau comme cela se produit avec l'emploi d'embouts standards

classiques avec tétons. Car si une surcharge portait sur des molaires lactéales (déciduales) en stade III, le risque serait encore plus grand, leur expulsion pouvant en découler. Cette expulsion est d'autant plus dangereuse pour les voies aériennes, que la ventilation, en plongée, est très importante (Delbar et Lamendin, 1999).

Mais en principe, quel que soit le type d'embout utilisé, cela ne devrait jamais arriver car l'avulsion de dents temporaires trop mobiles s'impose avant toute saison de plongée pour des enfants. Faut-il encore, pour que le nécessaire soit fait, que le chirurgien-dentiste ou médecin-stomatologiste traitant soit alerté à cet effet, soit par la famille, soit par le médecin du sport chargé du suivi (Delbar et Lamendin, 1999).

# Conclusion

Dès qu'il se crée un différentiel de pression entre les cavités aériques de l'organisme et le milieu extérieur, un processus d'adaptation doit se mettre en place afin d'équilibrer les pressions. Or, lors de brusques changements de pression liés à une remontée trop rapide, en plongée par exemple, l'équilibration n'a pas le temps de se réaliser créant ainsi un gradient de pression à l'origine des troubles physiologiques importants. Ce sont les barotraumatismes.

Classiquement la médecine a décrit les otites barotraumatiques, les barotraumatismes sinusiens, les barotraumatismes digestifs et la surpression pulmonaire en relation avec les cavités de l'organisme contenant de l'air comme des accidents généraux de la médecine hyperbare.

Les barotraumatismes dentaires ou barodontalgies sont la plupart du temps seulement cités, voire même négligés. Peut-être est-ce dû à l'incertitude des mécanismes étiophysiologiques, comme en témoignent les différentes hypothèses proposées afin d'expliquer la pathologie. Pourtant chacune d'entre elles apporte des éléments de réponse et contribue à conforter l'idée d'une hypothèse mixte où l'aspect multifactoriel des étiologies est mis en avant.

Cette méconnaissance de la barodontalgie ne doit pas pour autant faire oublier les risques qu'elle peut engendrer.

Il incombe donc au chirurgien-dentiste de savoir diagnostiquer la barodontalgie.

La prise en charge thérapeutique ne diffère en rien des traitements classiques des pathologies dentaires en pratique courante. L'accent devra être mis cependant sur la qualité des soins.

Outre ses qualifications de soignant spécialisé, le chirurgien-dentiste doit prendre une part essentielle dans l'équipe médicale en charge d'assurer l'évaluation médicale des personnes pratiquant ces activités à risque. Il est le seul professionnel apte à définir si l'état bucco-dentaire du patient est en adéquation avec les conditions particulières de la plongée afin d'éviter tout trouble susceptible de constituer un facteur de risque de mise en danger du patient. Bien qu'il ne délivre pas les certificats d'aptitude que requièrent ces activités, son intervention dans le bilan médical ne doit pas être minimisée mais au contraire fortement préconisée.

La plongée sous-marine de loisir a ouvert le milieu sous-marin à de nouveaux pratiquants s'ajoutant aux plongeurs professionnels et aux sportifs.

De ce fait la prévention de la barodontalgie doit s'imposer à chacun. Le chirurgien-dentiste a un rôle d'information et de prise en charge du patient. Le patient doit avoir conscience des risques. Il doit être sensibilisé à l'intérêt d'une hygiène bucco-dentaire parfaite comme premier élément de prévention, complétée par des visites régulières chez le dentiste.

La plongée sous-marine est une activité qui s'est vulgarisée depuis quelques années et il n'est plus rare de rencontrer dans un cabinet dentaire, un patient qui la pratique. Or la pratique de ce sport peut occasionner des douleurs paradentaires, comme des douleurs musculaires, articulaires...

Bien que le système bucco-dentaire de l'homme possède un pouvoir de compensation considérable, l'apparition d'algies dans un milieu générateur de stress accroît le caractère anxiogène des troubles oraux touchant de près la fonction indispensable à sa survie. Il faut être attentif à sa symptomatologie assez fréquente, découlant de dysfonctions arthromusculaires à ce niveau et de désordres parodontaux. Soulager le sportif subaquatique soit par adaptation d'un embout standard soit par la réalisation d'un embout intrabuccal « personnel »

est une alternative à laquelle il faut penser avant d'engager tout autre traitement. Soulager certes, mais également prévenir ces troubles.  
L'usage d'un embout « personnalisé » ou d'un embout « personnel » n'est pas réservé à la seule thérapeutique. Il est aussi préconisé, évidemment en prévention.

# Annexe

Tables FFESSM de plongée à l'air

Prof.	Durée	3 m DTR GPS	Durée	3 m DTR GPS	Prof.	Durée	6 m 3m DTR GPS	Durée	9 m 6 m 3 m BTR GPS	Prof.	Durée	12 m 9 m 6 m 3 m DTR GPS	Prof.	Durée	15 m 12 m 9 m 6 m 3 m DTR GPS
6m	15 min	1 A	13m	35 min	2 F	25m	5 min	3 G	20 min	3 G	42m	5 min	52m	30 min	4 35 41 65 M
	30 min	1 B	40 min	2 G	2 C	10 min	6 H	6 9 H	25 min	6 9 H	10 min	10 min	35 min	35 min	6 22 47 80 O
	45 min	1 C	45 min	2 H	2 D	15 min	14 17 I	14 17 I	30 min	14 17 I	15 min	15 min	40 min	40 min	1 10 28 52 92 O
	1h15	1 D	50 min	2 H	2 E	20 min	22 26 K	22 26 K	35 min	22 26 K	20 min	20 min	45 min	45 min	2 15 29 59 119 *
	1h45	1 E	55 min	1 3 I	3 F	25 min	29 33 K	29 33 K	40 min	29 33 K	25 min	25 min	50 min	50 min	5 17 32 64 123 *
	2h15	1 F	60 min	2 4 J	4 G	30 min	4 34 41 L	4 34 41 L	45 min	4 34 41 L	30 min	30 min	55 min	55 min	8 19 36 71 139 *
	3h00	1 G	1h05	8 10 J	5 T	35 min	7 39 49 M	7 39 49 M	50 min	7 39 49 M	35 min	35 min	55 min	55 min	11 37 52 M
	4h00	1 H	1h10	11 13 K	10 12 J	40 min	11 43 57 N	11 43 57 N	55 min	11 43 57 N	40 min	40 min	55 min	55 min	1 5 D
	5h15	1 I	1h15	14 16 K	16 18 J	45 min	15 46 84 N	15 46 84 N	60 min	15 46 84 N	45 min	45 min	55 min	55 min	1 5 11 G
	6h00	1 J	1h20	17 19 L	21 23 K	50 min	19 48 70 O	19 48 70 O	1h05	19 48 70 O	50 min	50 min	55 min	55 min	4 13 22 I
	8m	1 K	1h25	21 23 L	27 29 -	55 min	23 50 76 O	23 50 76 O	1h10	23 50 76 O	55 min	55 min	55 min	55 min	1 5 27 35 K
	15 min	1 L	1h30	23 25 M	32 34 -	60 min	3 3 C	3 C	1h15	3 3 C	60 min	60 min	55 min	55 min	3 11 37 56 M
	30 min	1 C	1h35	36 28 M	37 39 M	1h05	3 3 C	3 C	1h20	3 3 C	55 min	55 min	55 min	55 min	6 18 44 73 N
	45 min	1 D	1h40	41 45 M	41 45 M	1h10	3 3 C	3 C	1h25	3 3 C	45 min	45 min	55 min	55 min	1 9 23 50 88 O
	6h00	1 E	1h45	43 50 N	43 50 N	1h15	2 5 F	2 5 F	1h30	2 5 F	10 min	10 min	40 min	40 min	3 12 29 56 104 P
	8h00	1 F	1h50	45 55 N	45 55 N	1h20	5 8 H	5 8 H	1h35	5 8 H	15 min	15 min	40 min	40 min	5 17 31 62 123 *
	10h00	1 G	1h55	48 60 O	48 60 O	1h25	11 14 I	11 14 I	1h40	11 14 I	20 min	20 min	40 min	40 min	8 19 35 69 138 *
	12h00	1 H	2h00	38 40 O	38 40 O	1h30	11 50 64 O	11 50 64 O	1h45	11 50 64 O	25 min	25 min	40 min	40 min	12 22 37 76 152 *
	15 min	1 I	2h05	41 45 M	41 45 M	1h35	2 27 32 K	2 27 32 K	1h50	2 27 32 K	30 min	30 min	40 min	40 min	2 7 D
	30 min	1 J	2h10	43 50 N	43 50 N	1h40	5 34 42 L	5 34 42 L	1h55	5 34 42 L	35 min	35 min	40 min	40 min	2 5 12 G
	45 min	1 K	2h15	46 52 N	46 52 N	1h45	9 39 51 M	9 39 51 M	2h00	9 39 51 M	40 min	40 min	40 min	40 min	1 4 16 26 J
	6h00	1 L	2h20	48 60 O	48 60 O	1h50	14 43 60 N	14 43 60 N	2h05	14 43 60 N	45 min	45 min	40 min	40 min	2 7 30 42 K
	8h00	1 M	2h25	48 60 O	48 60 O	1h55	18 47 68 N	18 47 68 N	2h10	18 47 68 N	50 min	50 min	40 min	40 min	4 13 40 62 M
	10m	1 N	2h30	48 60 O	48 60 O	2h00	22 50 76 O	22 50 76 O	2h15	22 50 76 O	55 min	55 min	40 min	40 min	7 21 46 81 N
	15 min	1 O	2h35	48 60 O	48 60 O	2h05	2 26 52 84 +	2 26 52 84 +	2h20	2 26 52 84 +	60 min	60 min	40 min	40 min	2 11 26 52 91 O
	30 min	1 P	2h40	48 60 O	48 60 O	2h10	1h05 4 28 57 93 +	1h05 4 28 57 93 +	2h25	1h05 4 28 57 93 +	60 min	60 min	40 min	40 min	8 18 53 66 131 *
	45 min	1 Q	2h45	48 60 O	48 60 O	2h15	3 3 C	3 C	2h30	3 3 C	60 min	60 min	40 min	40 min	11 21 57 74 153 *
	6h00	1 R	2h50	48 60 O	48 60 O	2h20	1 4 E	1 4 E	2h35	1 4 E	60 min	60 min	40 min	40 min	14 23 59 83 168 *
	8h00	1 S	2h55	48 60 O	48 60 O	2h25	4 7 F	4 7 F	2h40	4 7 F	60 min	60 min	40 min	40 min	2 7 15 G
	10h00	1 T	3h00	48 60 O	48 60 O	2h30	8 11 H	8 11 H	2h45	8 11 H	60 min	60 min	40 min	40 min	1 1 19 25 J
	12h00	1 U	3h05	48 60 O	48 60 O	2h35	16 21 J	16 21 J	2h50	16 21 J	60 min	60 min	40 min	40 min	3 3 32 48 L
	15 min	1 V	3h10	48 60 O	48 60 O	2h40	3 24 31 K	3 24 31 K	2h55	3 24 31 K	60 min	60 min	40 min	40 min	5 15 41 66 M
	30 min	1 W	3h15	48 60 O	48 60 O	2h45	5 33 42 L	5 33 42 L	3h00	5 33 42 L	60 min	60 min	40 min	40 min	1 8 22 48 85 O
	45 min	1 X	3h20	48 60 O	48 60 O	2h50	10 38 52 M	10 38 52 M	3h05	10 38 52 M	60 min	60 min	40 min	40 min	4 11 28 54 103 P
	6h00	1 Y	3h25	48 60 O	48 60 O	2h55	15 43 62 N	15 43 62 N	3h10	15 43 62 N	60 min	60 min	40 min	40 min	6 17 30 62 121 P
	8h00	1 Z	3h30	48 60 O	48 60 O	3h00	20 47 71 N	20 47 71 N	3h15	20 47 71 N	60 min	60 min	40 min	40 min	9 19 35 69 139 *
	10h00	1 AA	3h35	48 60 O	48 60 O	3h05	2 22 50 78 O	2 22 50 78 O	3h20	2 22 50 78 O	60 min	60 min	40 min	40 min	13 22 37 78 153 *
	12h00	1 AB	3h40	48 60 O	48 60 O	3h10	5 27 53 89 P	5 27 53 89 P	3h25	5 27 53 89 P	60 min	60 min	40 min	40 min	5 15 24 40 88 173 *
	15 min	1 AC	3h45	48 60 O	48 60 O	3h15	1h05 8 29 58 99 +	1h05 8 29 58 99 +	3h30	1h05 8 29 58 99 +	60 min	60 min	40 min	40 min	2 7 *
	30 min	1 AD	3h50	48 60 O	48 60 O	3h20	1h10 11 31 62 108 +	1h10 11 31 62 108 +	3h35	1h10 11 31 62 108 +	60 min	60 min	40 min	40 min	2 7 14 *
	45 min	1 AE	3h55	48 60 O	48 60 O	3h25	3 C	3 C	3h40	3 C	60 min	60 min	40 min	40 min	1 5 21 35 *
	6h00	1 AF	4h00	48 60 O	48 60 O	3h30	2 5 E	2 5 E	3h45	2 5 E	60 min	60 min	40 min	40 min	3 8 *
	8h00	1 AG	4h05	48 60 O	48 60 O	3h35	9 14 H	9 14 H	3h50	9 14 H	60 min	60 min	40 min	40 min	3 8 16 *
	10h00	1 AH	4h10	48 60 O	48 60 O	3h40	2 19 26 J	2 19 26 J	3h55	2 19 26 J	60 min	60 min	40 min	40 min	2 5 24 31 *
	12h00	1 AI	4h15	48 60 O	48 60 O	3h45	4 28 36 K	4 28 36 K	4h00	4 28 36 K	60 min	60 min	40 min	40 min	
	15 min	1 AJ	4h20	48 60 O	48 60 O	3h50	8 35 47 L	8 35 47 L	4h05	8 35 47 L	60 min	60 min	40 min	40 min	
	30 min	1 AK	4h25	48 60 O	48 60 O	3h55	13 40 57 M	13 40 57 M	4h10	13 40 57 M	60 min	60 min	40 min	40 min	
	45 min	1 AL	4h30	48 60 O	48 60 O	4h00	18 45 68 N	18 45 68 N	4h15	18 45 68 N	60 min	60 min	40 min	40 min	
	6h00	1 AM	4h35	48 60 O	48 60 O	4h05	1 18 45 68 N	1 18 45 68 N	4h20	1 18 45 68 N	60 min	60 min	40 min	40 min	
	8h00	1 AN	4h40	48 60 O	48 60 O	4h10	5 26 53 87 O	5 26 53 87 O	4h25	5 26 53 87 O	60 min	60 min	40 min	40 min	
	10h00	1 AO	4h45	48 60 O	48 60 O	4h15	8 29 57 98 P	8 29 57 98 P	4h30	8 29 57 98 P	60 min	60 min	40 min	40 min	
	12h00	1 AP	4h50	48 60 O	48 60 O	4h20	1h05 12 31 61 108 +	1h05 12 31 61 108 +	4h35	1h05 12 31 61 108 +	60 min	60 min	40 min	40 min	
	15 min	1 AQ	4h55	48 60 O	48 60 O	4h25	1h10 15 33 66 118 +	1h10 15 33 66 118 +	4h40	1h10 15 33 66 118 +	60 min	60 min	40 min	40 min	
	30 min	1 AR	5h00	48 60 O	48 60 O	4h30	3 66 118 +	3 66 118 +	4h45	3 66 118 +	60 min	60 min	40 min	40 min	

Tables FFESSM de plongée à l'air

Prof.	Durée	3 m DTR GPS	Durée	3 m DTR GPS	Prof.	Durée	6 m 3m BTR GPS	Durée	9 m 6 m 3 m BTR GPS	Prof.	Durée	12 m 9 m 6 m 3 m DTR GPS	Prof.	Durée	15 m 12 m 9 m 6 m 3 m DTR GPS
6m	15 min	1 A	13m	35 min	2 F	25m	5 min	3 G	20 min	3 G	42m	5 min	52m	30 min	4 35 41 65 M
	30 min	1 B	40 min	2 G	2 C	10 min	6 H	6 9 H	25 min	6 9 H	10 min	10 min	35 min	35 min	6 22 47 80 O
	45 min	1 C	45 min	2 H	2 D	15 min	14 17 I	14 17 I	30 min	14 17 I	15 min	15 min	40 min	40 min	1 10 28 52 92 O
	1h15	1 D	50 min	2 H	2 E	20 min	22 26 K	22 26 K	35 min	22 26 K	20 min	20 min	45 min	45 min	2 15 29 59 119 *
	1h45	1 E	55 min	1 3 I	3 F	25 min	29 33 K	29 33 K	40 min	29 33 K	25 min	25 min	50 min	50 min	5 17 32 64 123 *
	2h15	1 F	60 min	2 4 J	4 G	30 min	4 34 41 L	4 34 41 L	45 min	4 34 41 L	30 min	30 min	55 min	55 min	8 19 36 71 139 *
	3h00	1 G	1h05	8 10 J	5 T	35 min	7 39 49 M	7 39 49 M	50 min	7 39 49 M	35 min	35 min	55 min	55 min	11 37 52 M
	4h00	1 H	1h10	11 13 K	10 12 J	40 min	11 43 57 N	11 43 57 N	55 min	11 43 57 N	40 min	40 min	55 min	55 min	1 5 D
	5h15	1 I	1h15	14 16 K	16 18 J	45 min	15 46 84 N	15 46 84 N	60 min	15 46 84 N	45 min	45 min	55 min	55 min	1 5 11 G
	6h00	1 J	1h20	17 19 L	21 23 K	50 min	19 48 70 O	19 48 70 O	1h05	19 48 70 O	50 min	50 min	55 min	55 min	4 13 22 I
	8m	1 K	1h25	21 23 L	27 29 -	55 min	23 50 76 O	23 50 76 O	1h10	23 50 76 O	55 min	55 min	55 min	55 min	1 5 27 35 K
	15 min	1 L	1h30	23 25 M	32 34 -	60 min	3 3 C	3 C	1h15	3 3 C	60 min	60 min	55 min	55 min	3 11 37 56 M
	30 min	1 C	1h35	36 28 M	37 39 M	1h05	3 3 C	3 C	1h20	3 3 C	45 min	45 min	55 min	55 min	6 18 44 73 N
	45 min	1 D	1h40	41 45 M	41 45 M	1h10	3 3 C	3 C	1h25	3 3 C	10 min	10 min	4		

# Table des illustrations

Figure 1: Schéma de représentation de la pression. ....	9
Figure 2: La main à plat ne s'enfonce pas dans le sable, la main tendue s'y enfonce d'après Molle et Rey, 1997. ....	9
Figure 3: La pression absolue, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.com">http://www.cdp-plongee.com</a> . ....	11
Figure 4: Evolution des pressions selon la profondeur. ....	12
Figure 5: Un cube de 1dm <sup>3</sup> flotte s'il pèse 500 g, est équilibré s'il pèse 1 kg, et coule s'il pèse 1,5 kg, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.com">http://www.cdp-plongee.com</a> . ....	13
Figure 6: Facteurs influençant la flottabilité d'après Foret et Torres, 2005. ....	14
Figure 7: Une combinaison de plongée. ....	14
Figure 8: Une ceinture de plomb. ....	15
Figure 9: Un gilet stabilisateur. ....	16
Figure 10: Une bouteille de plongée aussi appelée « bloc ». ....	16
Figure 11: Un parachute de relevage, emprunté à <a href="http://www.scubaland.fr">http://www.scubaland.fr</a> . ....	17
Figure 12: L'air est comprimé. Son volume est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit, emprunté à <a href="http://www.sous-la-mer.com">http://www.sous-la-mer.com</a> . ....	18
Figure 13: Influence de la pression sur les volumes d'air fermés, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.com">http://www.cdp-plongee.com</a> . ....	18
Figure 14: Evolution de la pression absolue et du volume en fonction de la profondeur. ....	19
Figure 15: Au stade T1 les gaz sont isolés l'un de l'autre, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.fr">http://www.cdp-plongee.fr</a> . ....	22
Figure 16: Au stade T2, chaque compartiment comprend un mélange constitué de 50% de H <sub>2</sub> et de 50% de CO <sub>2</sub> , mais la pression reste constante, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.fr">http://www.cdp-plongee.fr</a> . ....	23
Figure 17: Un détendeur à deux étages. ....	24
Figure 18: La pression absolue (5 bars) est égale à la somme des pressions partielles d'après Molle et Rey, 1997. ....	25
Figure 19: Principaux accidents biochimiques, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.com">http://www.cdp-plongee.com</a> . ....	27
Figure 20: L'augmentation de pression dans l'enceinte entraîne un déséquilibre de la balance dû au gaz qui s'est dissous dans l'eau, emprunté à <a href="http://www.cdp-plongee.com">http://www.cdp-plongee.com</a> . ....	28
Figure 21: Schéma représentant l'état de saturation, emprunté à <a href="http://pacsubaquatique.free.fr">http://pacsubaquatique.free.fr</a> . ....	29
Figure 22: Schéma représentant l'état de sous-saturation, emprunté à <a href="http://pacsubaquatique.free.fr">http://pacsubaquatique.free.fr</a> . ....	30
Figure 23: Schéma représentant l'état de sur-saturation, emprunté à <a href="http://pacsubaquatique.free.fr">http://pacsubaquatique.free.fr</a> . ....	30
Figure 24: Les différents états de saturation, emprunté à <a href="http://plongee.amiral.free.fr">http://plongee.amiral.free.fr</a> . ....	32
Figure 25: Classification des barodontalgies d'après Ferjentsik et Aker, 1982. ....	56
Figure 26: Variation d'un volume gazeux en fonction de la profondeur d'après De Rotalier et coll., 2004. ....	58
Figure 27: Hyperplasie muqueuse d'après De Rotalier et coll., 2004. ....	59
Figure 28 : Polypes intracavitaires	Figure 29: Polypes du méat moyen ..... 59
Figure 30 : Concha bullosa	Figure 31: Eperon de cloison ..... 60
Figure 32: Anatomie de l'oreille d'après Grenaud et Coulange, 2008. ....	66

Figure 33: Mécanisme d'équilibration des pressions au niveau de l'oreille moyenne grâce à une entrée d'air provoquée par une manoeuvre de Valsalva d'après Grenaud et Coulange, 2008.....	68
Figure 34: Méthodes d'équilibrage d'après Foret et Torres, 2007.....	69
Figure 35: Influence de l'anatomie de la trompe d'Eustache sur la manoeuvre de Delonca, aussi appelée Béance Tubaire Volontaire .....	70
Figure 36: Vue de profil du crâne d'après Kamina, 2002.....	75
Figure 37: Coupe verticale et antéro-postérieure de l'articulation temporo-mandibulaire d'après Rouvière et Delmas, 2002. ....	76
Figure 38: Muscle temporal d'après Kamina, 2002.....	76
Figure 39: Muscle masséter d'après Kamina, 2002.....	77
Figure 40: Muscle ptérygoïdien médial d'après Kamina, 2002.....	77
Figure 41: Muscle ptérygoïdien latéral d'après Kamina, 2002.....	78
Figure 42: Artère maxillaire et ses branches d'après Kamina, 2002.....	79
Figure 43: Surcharge mécanique au niveau de l'ATM à la suite de quoi il en découle une pression anormale sur le disque articulaire d'après Pinto 1966.....	80
Figure 44: Un exemple d'embout standard.....	85
Figure 45: Schéma descriptif des différentes parties composants un embout standard d'après Hobson et Newton, 2001.....	86
Figure 46: Enregistrement de l'inocclusion avec un embout du commerce pour apprécier « l'espace vertical de respiration » et le degré de propulsion nécessaire pour maintenir l'herméticité d'après Bruy et coll., 2006.....	88
Figure 47: L'écran lingual préfabriqué est déposé. L'écran buccal est plaqué sur le vestibule maxillaire. Le plan de morsure préfabriqué est inclus dans le polychlorure de vinyle qui s'étend jusqu'aux premières molaires d'après Bruy et coll., 2006.....	89
Figure 48: L'espace de ventilation est respecté (bien que sa dimension soit peu importante : il est toujours plus grand qu'avec les embouts standard). Noter l'absence de contracture des lèvres sur l'écran buccal d'après Bruy et coll., 2006.....	89
Figure 49: Embout standard                      Embout semi-adapté .....	91
Figure 50: Personnalisation d'un embout standard par adjonction de gouttières latérales en silicone d'après Lamendin, 1985.....	91
Figure 51: Plan occlusal de l'embout semi-adapté dans le plan sagittal, dans le plan frontal d'après Delbar, 1987.....	92
Figure 52: Adaptation d'un embout standard par adjonction de gouttières latérales en caoutchouc d'après Lamendin, 1985.....	92
Figure 53: Tableau comparatif entre la gouttière bimaxillaire avec emboîtement et l'adjonction de gouttières latérales d'après Bruy et coll., 2006.....	94
Figure 54: Un embout du système JAX®, emprunté à <a href="http://www.myjaxdive.com">http://www.myjaxdive.com</a> .....	95
Figure 55: Schématisation d'un embout JAX emprunté à <a href="http://www.myjaxdive.com">http://www.myjaxdive.com</a> .....	95
Figure 56: Plonger l'embout dans l'eau bouillante emprunté à <a href="http://www.myjaxdive.com">http://www.myjaxdive.com</a> .....	96
Figure 57: Introduire l'embout dans la bouche emprunté à <a href="http://www.myjaxdive.com">http://www.myjaxdive.com</a> .....	96
Figure 58: Embout personnalisable ainsi que le collier de raccordement au détenteur emprunté à <a href="http://www.myjaxdive.com">http://www.myjaxdive.com</a> .....	97
Figure 59: Embouts de la marque SeaCure emprunté à <a href="http://www.seacure1.com">http://www.seacure1.com</a> .....	97
Figure 60 : Embout commercial et collier en plastique utilisé pour relier l'embout au détenteur d'après Matsui et coll., 2004.....	100
Figure 61 : Enlever l'empreinte de la partie extra-orale de l'embout d'après Matsui et coll., 2004.....	100
Figure 62 : La partie extra-orale de l'embout est fusionnée à la partie intra-orale à l'aide d'un pistolet chauffant d'après Matsui et coll., 2004.....	101

Figure 63 : Le hiatus entre la partie extra-orale de l'embout et le moulage mandibulaire est comblé par du silicone d'après Matsui et coll., 2004. ....	102
Figure 64 : La feuille thermoplastique est mise en forme par le vide d'après Matsui et coll., 2004. ....	102
Figure 65 : L'empreinte du collier en plastique sur le matériau thermoplastique est faite pendant qu'il est encore chaud d'après Matsui et coll., 2004. ....	102
Figure 66 : Embout terminé d'après Matsui et coll., 2004. ....	103
Figure 67 : Vue supérieure et latérale de la cire d'enregistrement du rapport maxillo-mandibulaire d'après Bruy et coll., 2006. ....	104
Figure 68 : Cire d'enregistrement lors du montage sur articulateur d'après Bruy et coll., 2006. ....	105
Figure 69 : Maquette en cire d'après Bruy et coll., 2006. ....	105
Figure 70 : Maquette en cire d'après Bruy et coll., 2006. ....	106
Figure 71 : Moulage en plâtre du détendeur incrusté au niveau de l'élément de jonction en cire d'après Bruy et coll., 2006. ....	106
Figure 72 : Système d'injection SR-Ivocap® et capsules SR-Ivocap® « Plus » High Impact (Ivoclar-Vivadent) et maquette dans la première partie du moufle du système Ivocap® (Ivoclar-Vivadent) d'après Bruy et coll., 2006. ....	107
Figure 73 : Embout individuel en élastomère d'après Bruy et coll., 2006. ....	109
Figure 74 : Vue de ¾ supérieure de l'embout polymérisé d'après Bruy et coll., 2006. ....	109
Figure 75 : Essayage sur les moulages montés sur articulateur pour vérifier la qualité de l'injection et l'absence de déformation d'après Bruy et coll., 2006. ....	110
Figure 76: Essayage de l'embout personnalisé sur les moulages d'après un travail réalisé par le Dr Boissonnet avec l'aide de M. David Emile (Technicien de laboratoire). ....	110
Figure 77 : Extension de l'embout jusqu'aux deuxièmes molaires d'après un cas réalisé par le Dr Boissonnet et M. David Emile. ....	110
Figure 78 : Espace d'inocclusion d'après un cas réalisé par le Dr Boissonnet et M. David Emile. ....	111
Figure 79 : Embout fixé au détendeur d'après un cas réalisé par le Dr Boissonnet et M. David Emile. ....	111
Figure 80 : Embout solidarisé au détendeur par un collier d'après Bruy et coll., 2006. ....	112
Figure 81 : Les trois embouts utilisés pour l'étude (A : embout standard ; B : embout semi-personnalisé ; C : embout personnalisé) d'après Hobson et Newton,2005. ....	115
Figure 82 : Représentation des différentes position mandibulaires lors de l'utilisation des embouts. Pour comparaison la position d'OIM a été schématisée d'après Hobson et Newton, 2005. ....	116

# Références bibliographiques

## **1-BISBAU X.**

Cours.

<http://mf1.hendaye2002.free.fr>.

## **2-BOGGIA R.**

The ups and downs of barodontalgia.

Br Dent J 1998;**184**(5):209.

## **3-BONNIN JP, GRIMAUD C, HAPPEY JC et coll.**

La plongée sous-marine sportive.

Paris : Masson, 1999.

## **4-BROUSSOLLE B, MELIET JL et COULANGE M.**

Physiologie et médecine de la plongée.

Paris : Ellipses, 2006.

## **5-BRUY J, MILLET C, JAUDOIN P et CIERS JY.**

Réalisation d'embouts individuels anatomiques pour la plongée sous-marine.

Cah Prothèse 2006;136:43-50.

## **6-CALDER IM et RAMSEY JD.**

Odontocrexis: the effects of rapid decompression on restored teeth.

J Dent 1983;**11**(4):318-323.

## **7-CARLSON OG, HALVERSON BA et TRIPLETT RG.**

Dentin permeability under hyperbaric conditions as a possible cause of barodontalgia.

Undersea Biomed Res 1983;**10**(1):23-28.

## **8-CHENEVEE H.**

L'odontalgie pneumatogénique des plongeurs.

Rev Fr Odontostomatol 1958;**5**:1377-1384.

## **9-COURTENS JL et COURTENS JC.**

La théorie.

<http://plongee.amiral.free.fr>.

## **10-DELBAR P.**

Personnalisation des embouts intra-buccaux dans les sports subaquatiques.

Inf Dent 1983;**65**(16):1389-1392.

## **11-DELBAR P.**

Les embouts personnalisés dans les activités subaquatiques.

Prat Dent 1987;**6**:15-17.

**12-DELBAR P.**

Odontostomatologie du sport.  
Paris : Masson, 1993.

**13-DELBAR P et LAMENDIN H.**

Enquête à propos de la personnalisation d'embouts intra-buccaux dans la plongée subaquatique.  
Chir Dent Fr 1985;316:55-57.

**14-DELBAR P et LAMENDIN H.**

Thérapeutiques dento-maxillaires dans les activités subaquatiques.  
Cinésiologie 1990;134(29):351-353.

**15-DELBAR P et LAMENDIN H.**

L'embout intra-buccal personnel : indications thérapeutique et préventive.  
Chir Dent Fr 1999;926:27-31.

**16-DE ROTALIER P, CONESSA C, TALFER S et coll.**

Barotraumatismes sinusiens.  
Encycl Med Chir (Paris), Oto-rhino-laryngologie, 20-466-A-10, 2004, 9.

**17-DIVAZUR.**

Notion de pression partielle.  
<http://www.divazur.com>.

**18-FERJENSTIK E et AKER F.**

Barodontalgia : a system of classification.  
Mil Med 1982;147(4):299, 303-304.

**19-FFESSM.**

Désinfection des embouts de plongée.  
<http://medicale.ffessm.fr>

**20-FORET A et TORRES P.**

Plongée plaisir 2 : premiers pas vers l'autonomie.  
Challes-Les-Eaux: Gap, 2005.

**21-FORET A et TORRES P.**

Plongée plaisir 3 : accès aux plongées profondes et à l'autonomie.  
Challes-Les-Eaux : Gap, 2007.

**22-FORET A et TORRES P.**

Plongée plaisir 1 et 2 : de l'initiation à l'autonomie.  
Challes-Les-Eaux: Gap, 2008.

**23-GEIRSSON J, THOMPSON JY et BAYNE SC.**

Porosity evaluation and pore size distribution of a novel directly placed ceramic restorative material.  
Dent Mater 2004;20:987-995.

**24-GOETHE WH, BATER H et LABAN C.**

Barodontalgia and barotraumas in the human teeth: findings in navy divers, frogmen, and submariners of the Federal Republic of Germany.  
Mil Med 1989;**154**(10):491-495.

**25-GOLDSTEIN G et KATZ W.**

Divers mouth syndrome.  
N Y State Dent J 1982;**48**:523-525.

**26-GOOSSENS IC et VAN HEERDEN WF.**

Interpretation and management of oral symptoms experienced by scuba divers.  
South Afr Dent Assoc 2000;**55**(11):628-631.

**27-GRENAUD JJ et COULANGE M.**

Sécurisez votre plongée : mesures préventives et médecine de plongée.  
Paris: Ellipses, 2008.

**28-HAMMOND J.**

Orthodontic treatment and diving.  
Br J Orthod 1997;**24**(4):346-347.

**29-HASSON A, HESS JC et BROCHERIOU C.**

Les aérodontalgies sur dents saines, modifications pulpaire consécutives à une hypoxie aiguë. Etude expérimentale chez le rat blanc.  
Rev Fr Odontostomatol 1971;**3**:341-350.

**30-HEYMANS O, WUILMART M et GIELEN JL.**

Scuba diving: risks for whom and why?  
Rev Med Liege 2001;**56**(4):248-252.

**31-HOBSON RS.**

Temporomandibular dysfunction syndrome associated with scuba diving mouthpieces.  
Br J Sports Med 1991;**25**(1):49-51.

**32-HOBSON RS.**

Airway efficiency during the use of scuba diving mouthpieces.  
Br J Sports Med 1996;**30**(2):145-147.

**33-HOBSON RS et NEWTON JP.**

Dental evaluation of scuba diving mouthpieces using a subject assessment index and radiological analysis of jaw position.  
Br J Sports Med 2001;**35**(2):84-88.

**34-HOLOWATYJ RE.**

Barodontalgia among flyers: a review of seven cases.  
J Can Dent Assoc 1996;**62**(7):578-584.

**35-HUTCHINS HC et REYNOLDS OE.**

Experimental investigation of the referred pain of aerodontalgia.  
J Dent Res 1946;**26**:3-8.

**36-JAGGER RG, JACKSON SJ et JAGGER DC.**

In at the deep end – an insight into scuba diving and related dental problems for the GDP.  
Br Dent J 1997;**183**(10):380-382.

**37-JONES CM et GRAHAM J.**

Underwater orthodontics.  
Br J Orthod 1990;**17**(4):325-328.

**38-KAMINA P.**

Précis d'anatomie clinique.  
Paris : Maloine, 2002.

**39-KANDELMAN D.**

Congrès de la Fédération dentaire internationale Helsinki, Finlande ; Août 1984.

**40-LAMENDIN H.**

Pour la plongée subaquatique : de la personnalisation d'embout standard à l'embout personnalisé.  
Chir Dent Fr 1985;**312**:45-47.

**41-LAMENDIN H.**

Eviter les risques de transmission du sida par les protections dento-maxillaires ou embouts de plongée.  
Med Sport 1999;**2**(73):41.

**42-LAMENDIN H.**

Embout intrabuccal personnel pour plongée et pour nage avec palmes.  
Cah Prothèse 2002;**118**:49-55.

**43-LEGENT F, FLEURY P et NARCY P.**

ORL Pathologie cervico-faciale.  
Paris: Masson ,1999.

**44-LETORT JM.**

Médecine subaquatique.  
<http://letortjm.free.fr>.

**45-LYONS KM, RODDA JC et HOOD JA.**

Use of a pressure chamber to compare microleakage of three luting agents.  
Int J Prosthodont 1997;**10**(5):426-433.

**46-LYONS KM, RODDA JC et HOOD JA.**

Barodontalgia: a review, and the influence of simulated diving on microleakage and on the retention of full cast crowns.  
Mil Med 1999;**164**(3):221-227.

**47-MARSOT-DUPUCHN K, BOBIN S et LASJAUNIAS P.**

Les urgences en pathologie ORL et maxillo-faciale : de la clinique à l'image, de l'image au traitement.  
Montpellier : Sauramps Médical, 2005.

**48-MASSIMO M et GIUDICELLI G.**

Etude de vérification de comportement en exercice.  
<http://www.myjaxdive.com>.

**49-MATSUI R, UENO T et OHYAMA T.**

Fabrication of a custom diving mouthpiece using a thermoforming material.  
J Prosthet Dent 2004;**92**(4):392-394.

**50-MOLLE P et REY P.**

Nouvelle plongée subaquatique : niveaux 1, 2, 3 et 4.  
Paris: Amphora, 1997.

**51-MOREAU P.**

Théorie: lois physiques, barotraumatismes, incidents biochimiques, procédures de décompression.  
<http://www.cdp-plongee.com>.

**52-MORROW R.**

Barometric etiology of dental problems.  
J Colo Dent Assoc 1993;**71**(2):32-33.

**53-MUSAJO F, PASSI P, GIRARDELLO GB et RUSCA F.**

The influence of environmental pressure on retentiveness of prosthetic crowns: an experimental study.  
Quintessence Int 1992;**23**(5):367-369.

**54-NEWTON JP, HOBSON RS et STURROCK KC.**

The design and construction of customised mouthpieces for subaqua diving.  
Eur J Prosthodont Rest Dent 1995;**3**(5):223-226.

**55-NOACK MJ.**

Le devenir clinique des inlays composites et céramiques collés.  
Rev Fr Odontostomatol 1995;**4**(24):305-316.

**56-OPDAM JM, ROETERS JM, JOOSTEN M et VEEKE O.**

Porosities and voids in Class I restorations placed by six operators using a packable or syringable composite.  
Dent Mater 2002;**18**:58-63.

**57-PARRIS C et FRENKIEL S.**

Effects and management of barometric change on cavities in the head and neck.  
J Otolaryngol 1995;**24**(1):46-50.

**58-PIETTE E et GOLDBERG M.**

La dent normale et pathologique.  
Bruxelles : De Boeck, 2001.

**59-PINTO OF.**

Temporomandibular joint problems in underwater activities.  
J Prosthet Dent 1966;**16**(4):772-781.

**60-RAUCH JW.**

Barodontalgia - Dental pain related to ambient pressure change.  
Gen Dent 1985;**33**(4):313-315.

**61-RIETHE P et GUNTER R.**

Prophylaxie et traitement conservateur des caries dentaires.  
Paris: Flammarion, 1989.

**62-ROBICHAUD R et MC NALLY ME.**

Barodontalgia as a differential diagnosis: symptoms and findings.  
J Can Dent Assoc 2005;**71**(1):39-42.

**63-ROHWEDER H.**

The effects on flying and diving personnel of drugs used in dental practice.  
Int Dent J 1992;**42**(6):460-464.

**64-ROULET JF, WILSON HF et FUZZI M.**

Pratique clinique en dentisterie conservatrice.  
Paris : Quintessence International, 2003.

**65-ROUVIERE H et DELMAS A.**

Anatomie humaine : descriptive, topographique et fonctionnelle. Tome 1 : tête et cou.  
Paris : Masson, 2002.

**66-SAMETZKY S, ALLARD Y, HAGER PE et coll.**

Oontologie du sport.  
Encycl Méd Chir (Paris), Odontologie, 23-394-A-10, 1999, **9**.

**67-SANS AUTEUR.**

Tables de plongée.  
<http://www.sous-la-mer.com>.

**68-SCUBALAND.**

Parachute de relevage.  
<http://www.scubaland.fr>.

**69-SEACURE.**

Description des embouts.  
<http://www.seacure1.com>.

**70-SERRES JP.**

Le point sur la barodontalgie chez le plongeur.  
Chir Dent Fr 2006;1278:47-53.

**71-SPREAFICO R.**

Restaurations au composite des dents postérieures.  
Rev Fr Odontostomatol 1995;**4**(24):273-281.

**72-TADDEY JJ.**

Scuba diving and TMD.  
J Craniomandibul Pract 1993;**11**(1):73-74.

**73-VAILLANT B.**

Les cours en ligne.  
<http://pacsubaquatique.free.fr>.

**74-VILLEVIEILLE P.**

Guide de préparation au niveau 4.  
Challes-Les-Eaux : Gap, 1995.

**75-WIKIPEDIA.**

L'encyclopédie libre en ligne.  
<http://fr.wikipedia.org>.

**76-WINGO HH.**

Barodontalgia : a dental consideration for the scuba diving patient.  
Quintessence Int Dent Dig 1981;**12**(9):978-982.

**77-ZHENG L, PEREIRA PN, SOMPHONE P et coll.**

Effect of hydrostatic pressure on regional bond strengths of compomers to dentine.  
J Dent 2000;**28**(7):501-508.

**DAHERON** épouse BIAUELLE (Aude-Marie) – Prise en charge odontostomatologique des patients pratiquant la plongée sous-marine.  
139 f. ; 77 ref. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2010)

#### RESUME

La pratique de la plongée sous-marine peut occasionner, chez le plongeur, un certain nombre de pathologies bucco-dentaires spécifiques, mal connues du grand public et des chirurgiens-dentistes.

Le plongeur évolue dans un monde subaquatique soumis à la pression. Cette dernière peut occasionner de multiples douleurs bucco-dentaires qui peuvent être à l'origine d'accidents plus graves, pouvant aller jusqu'à la noyade.

L'équipement du plongeur est constitué de multiples éléments dont un directement en contact avec la sphère oro-faciale : l'embout. Celui-ci doit être adapté pour une préhension facile et confortable.

Le chirurgien-dentiste joue un rôle clé dans le diagnostic des pathologies odontostomatologiques liées à la plongée, leur traitement, mais avant tout dans la prévention et l'information des plongeurs.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Odontologie

#### MOTS CLES MESH

Plongée – Barotraumatisme – Protège dents  
Diving – Barotrauma – Mouth Protectors

#### JURY

Président : Professeur Fraysse C.  
Assesseur : Docteur Boissonnet P.  
Assesseur : Docteur Leborgne S.  
Assesseur : Docteur Margottin C.  
Directeur : Docteur Roy E.

#### ADRESSE DE L'AUTEUR

4 place Benjamin Franklin – 86320 Lussac-les-Châteaux