

**Mémoire dans le cadre de la candidature
à la fonction d'Instructeur National de la FFESSM**

janvier 2000 par Frédéric DI MEGLIO.

“LES VERTIGES EN PLONGEE SPORTIVE”

Un sujet dont certains aspects sont mieux élucidés et mieux explorés depuis ces dernières années. De nombreuses situations en plongée sportive subaquatique (en libre, en scaphandre) peuvent engendrer des vertiges incidents ou des vertiges accidents. La grande prévalence actuelle de certains de ces accidents et la gravité potentielle de leurs séquelles nécessitent une meilleure reconnaissance de la part des moniteurs, et une conduite informative préventive de leur part à l'égard des plongeurs.

Ce sujet d'actualité a été choisi d'autant plus que lors des stages pédagogiques ou des séminaires de moniteurs de 1er et 2ème degré, nous avons pu noter une réelle demande de contenu et un grand intérêt pour ces dossiers, de la part des cadres en formation ou en recyclage.

*MF 2^e degré 1983, BEES1, Instructeur Régional FFESSM,
Médecin ORL, Médecin Hyperbare, Médecin du sport, Maîtrise de Biologie humaine.*

Les Vertiges en plongée sportive

TABLE DES MATIERES:

1- L'équilibre et la plongée.

1-1-l'équilibration du corps dans l'espace.

- .le système vestibulaire.**
- .le système visuel.**
- .le système postural proprioceptif.**
- .l'intégration centrale (noyaux du T.C, cervelet).**
- .schéma de l'équilibration (syst. pluri-modal).**

1-2-l'équilibre en plongée.

- .situations nouvelles.**
- .modifications en plongée (références visuelles, références proprioceptives, références vestibulaires)**

1-3-définition du vertige.

- .le vertige.**
- .le nystagmus.**

2- Les incidents vestibulaires en plongée sportive.

2-1-la stimulation calorique unilatérale des oreilles.

2-2-la cinétose.

- .mal de mer.**
- .cinétose en plongée.**
- .prise en charge et prévention.**

2-3-le vertige alerno-barique.

- .mécanisme.**
- .description.**
- .diagnostic différentiel.**
- .prise en charge et prévention.**

3- Les accidents vestibulaires en plongée sportive.

3-1-les barotraumatismes d'oreille interne.

- .généralités et facteurs de risque;**
- .mécanisme et physiopathologie.**
- .description clinique et bilan.**
- .prise en charge et prévention.**

- 3-2- les accidents de décompression d'oreille interne.
 - .généralités et facteurs de risque.
 - .mécanisme et physiopathologie.
 - .description clinique et bilan (problème F.O.P).
 - .prise en charge et prévention.

4- Les manifestations chroniques vestibulaires du “vieux plongeur”.

- 4-1-cadre de ces manifestations.
- 4-2-anomalies cliniques et explorations.

5- Mesures de prévention et d'information.

- 5-1-prévention générale.
 - .avant,
 - .pendant,
 - .après la plongée.
- 5-2-la trompe d'Eustache du plongeur.
 - .facteurs de perméabilité.
 - .exploration de la trompe.
 - .fonction équipressive.
 - .prise en charge des problèmes de perméabilité.
- 5.3-prévention spécifique.
 - .manoeuvres tubaires actives et passives.
 - .exercices de gymnastique tubaire.
 - .gestion des remontées en plongée scaphandre.
 - .les dix commandements de l'oreille du plongeur.

+ Références de Bibliographie.

1- L'EQUILIBRE ET LA PLONGEE:

1-1- L'EQUILIBRE DU CORPS DANS L'ESPACE:

La fonction d'équilibration est celle qui vise à assurer la posture et les mouvements dans les meilleures conditions d'efficacité. Fonction préétablie qui se développe par l'apprentissage, qui s'entretient et qui se perfectionne. L'équilibre du corps est géré par un système plurimodal de stabilisation statique et dynamique. Ce système dispose :

- de *trois informateurs-récepteurs périphériques* étroitement intriqués et interdépendants : **le vestibule, la vision, et la proprioception**.

- d'*un centre* situé au niveau du système nerveux central, analysant, comparant et intégrant les informations sensorielles. **Le cervelet** est un coordinateur et un organisateur.

- et de *deux systèmes effecteurs*, **l'oculomotricité et la motricité posturale**, permettant une réponse réflexe quasi-instantanée des yeux et du corps.

1-1-1-Le système vestibulaire, au coeur des problèmes de vertiges, révèle son extraordinaire complexité. Les labyrinthes assurent deux fonctions distinctes en renseignant les structures centrales nerveuses:

* d'une part sur les déplacements de la tête dans l'espace (et sur la vitesse de ce déplacement)

*et d'autre part sur la position de la tête par rapport à l'axe de gravité.

Le système vestibulaire, en informant ainsi en permanence les centres sur la position exacte de la tête dans l'espace et sur son déplacement participe en priorité aux réactions d'adaptation qui maintiennent l'équilibre du corps.

Cet appareil vestibulaire est composé au niveau de chaque labyrinthe de 3 canaux semi-circulaires, du saccule et de l'utricule. Il forme à droite et à gauche un organe de mécanorécepteurs spécialisés:

- **les 3 canaux semi-circulaires** (supérieur, postérieur, externe) sont au niveau de chaque oreille interne disposés à angle droit l'un par rapport à l'autre (frontal, saggital et horizontal couvrant les 3 plans de l'espace). Ils possèdent chacun à leur extrémité une zone renflée contenant **la crête ampullaire**. Elle est formée de cellules sensorielles ciliées et à son sommet se trouve une masse gélatineuse dénommée la cupule.

Les crêtes ampullaires renseignent ainsi sur les mouvements et sur l'accélération de la tête dans l'espace. On parle de stimulation angulaire.

- **les macules otolithiques** de chaque **utricule** et **saccule** sont aussi composés d'une multitude de cellules sensorielles ciliées. Ces cellules sont recouvertes d'une substance gélatineuse dans laquelle sont disposés de nombreux cristaux de carbonate de calcium, qui se dénomment les otoconies ou otolithes (chez les poissons cette zone est constituée d'un seul et volumineux otolithe permettant de préciser l'âge du poisson et son type, par ex. chez le corb chacun des 2 otolithes a un volume de 1/2cm³). Les macules, sensibles à l'action de la gravité, renseignent sur la position absolue de la tête dans l'espace. On parle de stimulation linéaire. En position verticale, un individu sain est capable de déterminer la

Les Vertiges en plongée sportive

position de sa tête au demi-degré près.

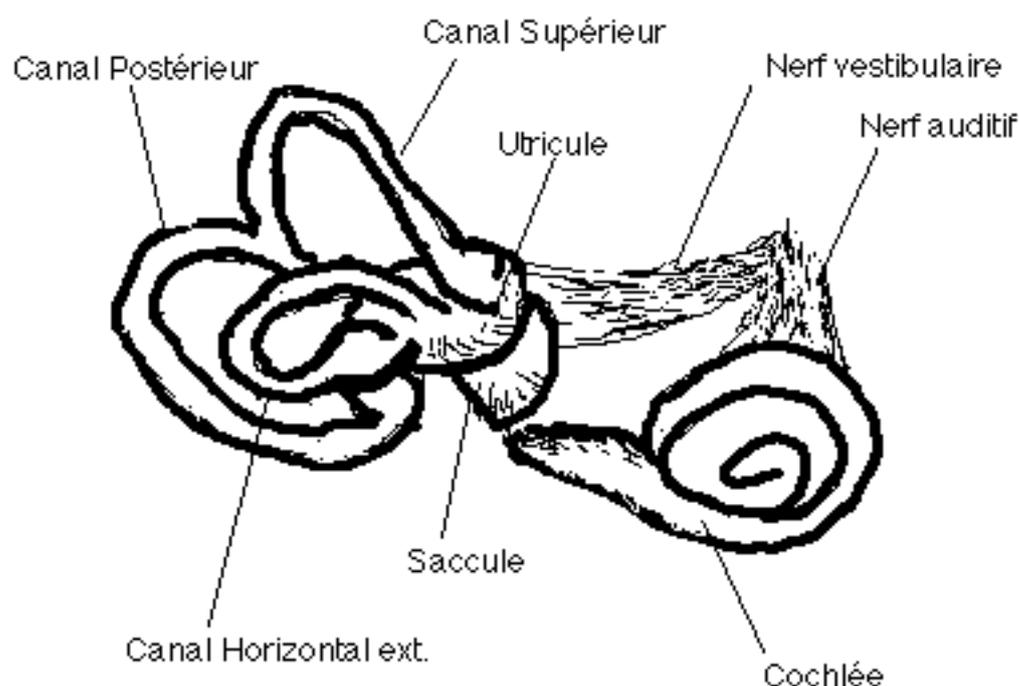


Schéma d'un labyrinthe membraneux

avec l'appareil cochléo-vestibulaire d'une oreille interne.

sur le plan vestibulaire :

Chaque labyrinthe comprend 2 types de structures : trois canaux semi-circulaires et deux organes otolithiques.

OTOLITHES:

Les otoconies sont des cristaux de carbonate de calcium qui sont enchâssés dans une substance gélatineuse inerte pour former les otolithes.

Ces cristaux vont connaître un turn over pendant toute la vie avec libération et réincorporation à la surface des macules otolithiques du saccule et de l'utricule de chaque labyrinthe. La gravité de ces cristaux est près de trois fois supérieure à celle du liquide endolymphatique.

LES MACULES OTOLITHIQUES:

sensibles à l'action de la gravité au repos, vont renseigner sur la position de la tête par rapport à la verticale et sur les mouvements linéaires.

LES CRETES AMPULLAIRES DES CANAUX SEMI-CIRCUL

au niveau des 2 labyrinthes vont renseigner sur les divers mouvements angulaires dans les 3 plans de l'espace, et sur l'accélération de la tête dans l'espace.

A chaque structure vestibulaire une spécificité fonctionnelle...

1-1-2-Le système visuel joue aussi un rôle primordial d'information. Il peut engendrer une confusion en cas de trouble d'adaptation ou au contraire pallier les déficiences du système vestibulaire en informant les centres sur la situation réelle du corps dans l'espace.

Grâce à la **vision périphérique** qui permet de se situer dans l'environnement, grâce à la **vision centrale** qui permet la reconnaissance, et grâce à l'existence de nos 2 yeux qui permettent d'obtenir une **vision binoculaire** du relief, il nous est possible d'évaluer les distances et de nous situer dans l'espace par rapport au monde qui nous entoure. Ainsi par exemple, on peut noter que la fixation visuelle d'une part abolit le nystagmus, et d'autre part est un moyen efficace pour limiter la survenue d'une sensation vertigineuse.

Il existe d'étroites relations entre le système vestibulaire et le système visuel. Il importe de souligner que le regard est sous la dépendance des labyrinthes. En effet grâce à cette fonctionnalité, la fixation visuelle demeure possible même lorsque la tête subit un mouvement.

1-1-3-Le système postural proprioceptif est la troisième source d'information pour les centres. Il permet de savoir comment notre corps prend contact avec le sol par la voûte plantaire en particulier, et de savoir si nous sommes en mesure de conserver notre équilibre grâce au jeu musculaire et articulaire.

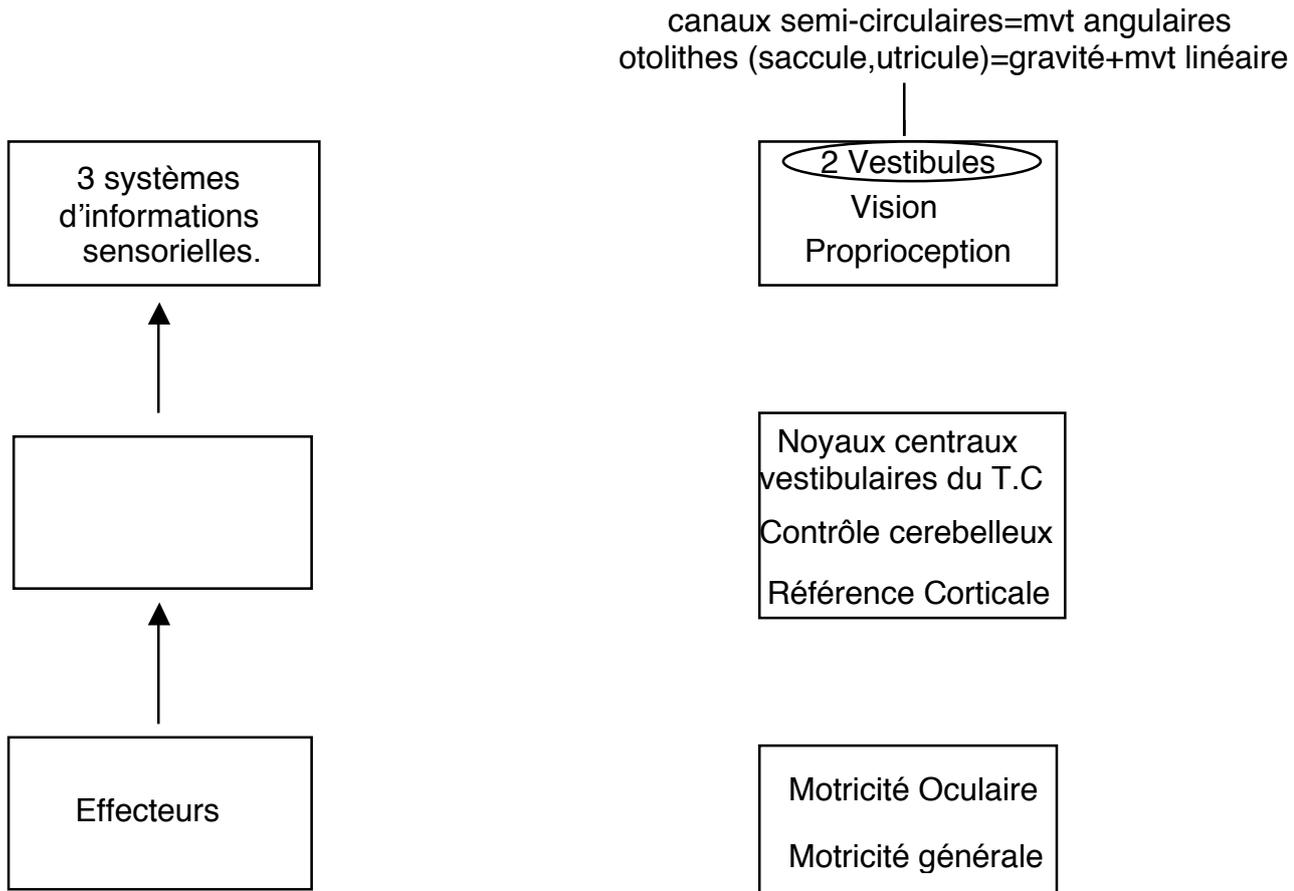
La sensibilité profonde ou proprioception dépend des multiples **mécanorécepteurs musculaires, tendineux, ligamentaires et articulaires**. Au niveau des centres, ce système permet d'apporter en permanence une représentation du corps dans l'espace. Il existe une complémentarité étroite qui unit les fonctions visuelles aux fonctions proprioceptives.

1-1-4-L'intégration centrale commence en particulier **au niveau du tronc cérébral et des noyaux vestibulaires** qui s'y trouvent. Leur rôle est majeur en centralisant, comparant et synthétisant toutes les informations sensorielles intervenant dans la fonction d'équilibration. Ces noyaux vont en effet faire l'analyse des données de la vision, des 2 labyrinthes, et du système proprioceptif. Ces informations vont être comparées aux situations vécues et apprises (expérience du sujet = **référence corticale**) pour entraîner la mise en action de programmes de réponses.

C'est en quelque sorte la clef de voûte des systèmes d'informations, véritable appareil régulateur et gare de triage de la masse des informations sensorielles.

Le cervelet joue un rôle de modulateur de l'équilibre. C'est un coordinateur entre les informations qui rentrent et les effectuations qui sortent. "Il est en quelque sorte le contre-maître qui surveille la bonne exécution des ordres du patron-cerveau pour les ouvriers muscles"! Mais pour agir, il a besoin d'être renseigné en permanence par des services d'informations du tronc cérébral. Les inter-relations sont anatomiques et fonctionnelles. Les relations vestibulo-cerebelleuses sont par ailleurs compliquées par l'importance du contrôle qu'exerce le cervelet sur la motricité, en particulier l'oculomotricité, que celle-ci soit volontaire ou réflexe. Enfin, le cervelet joue en outre un rôle important dans la mise en jeu de la compensation vestibulaire centrale (suite à une lésion d'un des systèmes vestibulaires périphériques).

1-1-5- Schéma de l'équilibration (système pluri-modal):



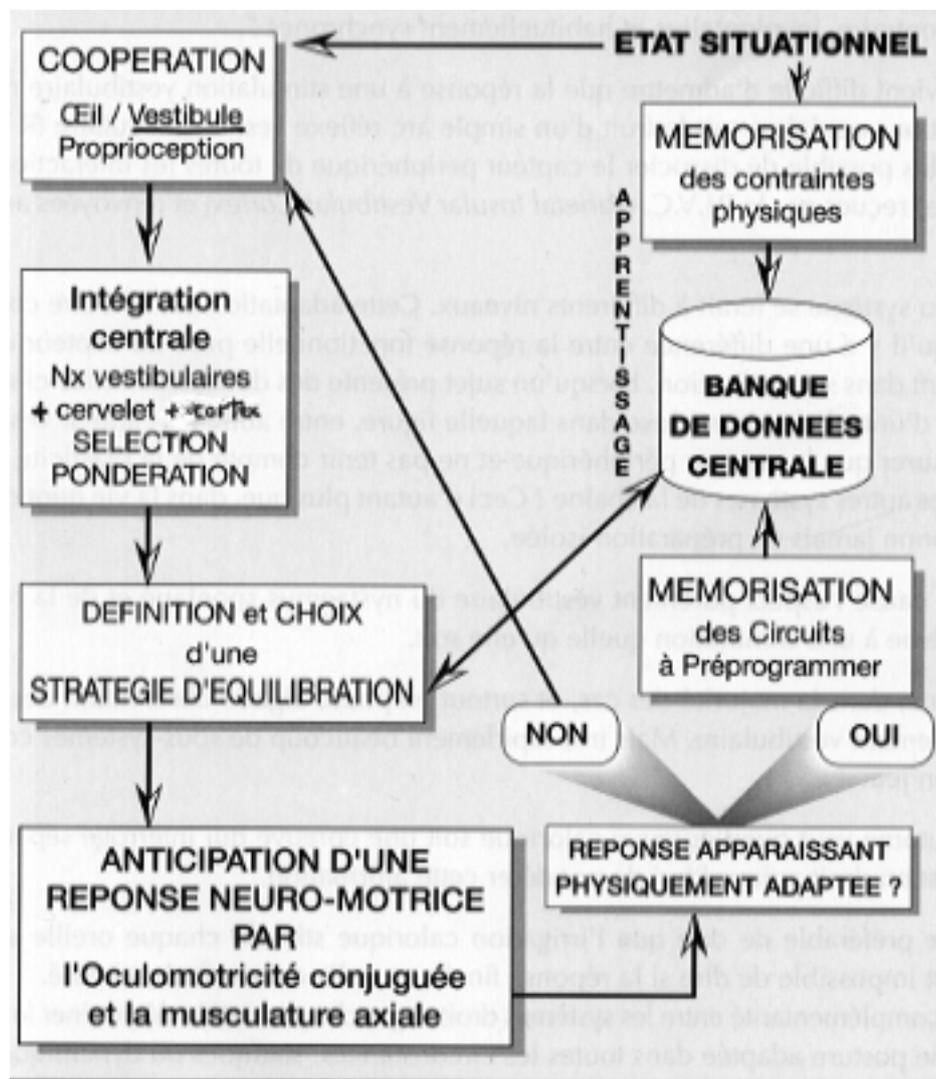
Nous avons pu analyser précédemment les trois agences de renseignements qui sont à notre disposition (système vestibulaire, système visuel et système proprioceptif) et qui font converger leurs renseignements vers le tronc cérébral, avec la découverte d'un réseau complexe d'interactions avec le cervelet et avec le cortex. On peut vraiment parler d'un véritable centre fonctionnel interactif de la posture statique et dynamique.

Toute cette cascade d'informations aboutit à une résultante qui est la notion d'équilibre ou de déséquilibre.

Les Vertiges en plongée sportive

L'équilibration peut se définir comme la capacité d'un individu à maintenir son centre de gravité à l'intérieur de son polygone de sustentation. Cette capacité fait appel, comme nous l'avons vu, à une fonction d'acquisition neuro-sensorielle pluri-modale et à une fonction effectrice neuro-motrice. L'adaptation de ce système est permanente, par rapport à une *notion de référentiels*. Elle permet de stabiliser le regard, de contrôler le tonus de la musculature axiale, d'anticiper la direction vers laquelle se fait la locomotion, de stocker en mémoire des informations référentielles (apprentissage). La richesse des inter-relations du système vestibulaire est grande avec les voies de l'oculomotricité, avec les voies du système postural, avec le cervelet, et avec le cortex.

Ainsi le système vestibulaire ne peut pas être isolé de l'ensemble du système global de l'équilibration. La finalité est d'accomplir une tâche avec le minimum de dépense d'énergie. Grâce à l'équilibration, nous sommes en mesure de répondre aux questions: "Où suis-je? Comment mon corps est-il placé? Où vais-je?" Cela implique que la fonction d'équilibration assure à la fois *anticipation, pilotage, navigation et capacité d'interagir avec le milieu environnant*. Conscience et automatismes sont intriqués très étroitement dans cette fonction d'équilibration.



1-2- L'EQUILIBRE EN PLONGEE:

Notre stratégie posturale s'adapte aux contraintes de l'environnement. Toute modification d'information sensorielle peut modifier la justesse du choix d'une stratégie particulière. Le milieu physique dans lequel évolue le plongeur va apporter des informations sensorielles qui ne se complètent plus, voire peuvent s'opposer. Certains individus s'adaptent plus ou moins bien et plus ou moins vite à ces nouvelles situations.

1-2-1- Situations nouvelles : Le mal de mer (qui peut se proroger aussi sous la surface) dénommé aussi cinétose est une des situations nouvelles des plus classiques. Les troubles de coordination qu'ont un certain nombre de débutants plongeurs dans cette nouvelle dimension en immersion, les modifications induites par le masque et par le port d'une combinaison, les besoins d'adaptation progressive dans "le bleu", les particularités du vertige alerno-barique sont bien des réalités quotidiennes auxquelles nous sommes soumis en plongée.

Des auteurs ont proposé l'existence de 2 systèmes coexistants qui président au contrôle des sous-ensembles sensori-moteurs régissant l'équilibration: un système *conservatif*, résistant aux changements de l'environnement et responsable de l'adaptation à plus ou moins long terme, et un système *opératif* de recalibration opérationnelle permettant l'adaptation à court terme. Ainsi notre pratique sportive nécessite une adaptation pour notre fonction d'équilibration pour faire "le bon choix" au sein des entrées sensorielles modifiées que nous recevons.

1-2-2- Modifications induites par la plongée :

Approchons plus en détail les modifications induites par la plongée au niveau de nos 3 agences d'informations citées précédemment:

- les références visuelles:

Les modifications de la vision dans l'eau sont bien connues. Les propriétés physiques et la qualité de l'eau sont le premier facteur d'altération de l'information visuelle. La vision directe dans l'eau étant extrêmement réduite, il est nécessaire d'interposer une vitre entre les yeux et l'eau. Cette interface air-liquide, avec déformation des images du fait de la différence d'indice de réfraction entre les milieux, constitue le second facteur de dégradation de l'image.

La vision directe sans masque:

L'oeil est conçu pour fonctionner en milieu aérien. L'eau annule l'effet optique de la courbure de la cornée. L'image résultante n'est plus focalisée et donc apparaît trouble. L'acuité est très mauvaise, mais une perception des tailles et des distances est en partie possible, malgré cette grande dégradation.

La vision avec masque:

Pour retrouver une meilleure image, il est nécessaire de restituer l'interface aérienne avec la cornée. D'où l'utilisation d'une vitre dans un masque. Nous connaissons bien les inconvénients du système. En les résumant, nous avons une réduction du champ visuel lié au masque, nous avons des avatars liés à la création de cette nouvelle interface air/eau à laquelle l'oeil humain n'est pas accoutumé. L'image de l'objet paraît agrandie, (facteur d'agrandissement sera d'environ 1,33), la perception des distances est faussée (l'image

Les Vertiges en plongée sportive

virtuelle apparaît à une distance égale à environ 3/4 de celle de l'objet réel), les images sont déformées sur les parties périphériques (aberration géométrique par la réfraction). L'erreur sur l'appréciation des distances en plongée provoque une détérioration de la coordination entre les informations visuelles et la main.

A celà, il faut ajouter *les modifications de la lumière sous l'eau* (réfraction, absorption et diffusion de la lumière) qui nous font passer d'une vision de jour à une vision presque nocturne si nous descendons profond ou si les conditions de turbidité de l'eau sont marquées. Enfin les modifications de la vision des couleurs sous l'eau, fonction de leur longueur d'onde, sont un dernier élément qui trompe notre choix informatif.

Les références visuelles si elles peuvent être perturbées par la turbidité de l'eau, peuvent aussi l'être par *l'absence de repères* comme dans le bleu. Cette perte de la perception du détail et cette perte de la perception du relief ont des conséquences importantes dans notre pratique. Cette diminution de notre "béquille visuelle" nous donne des difficultés pour appréhender notre verticale subjective. D'où l'importance de l'apprentissage progressif des descentes dans le bleu dans le cursus de plongeur, afin de développer les autres systèmes informatifs.

- les références proprioceptives:

Ces références sont réduites en plongée de par *le port de la combinaison* qui modifie notre sensibilité superficielle et profonde, qui limite les mouvements de notre appareil musculo-squelettique, et qui modifie les informations proprioceptives de certains groupes musculaires comme ceux de la nuque.

Notre position tête en hyperextension quand nous remontons vers la surface peut créer certaines tensions cervicales. Le froid limite nos perceptions proprioceptives et nous connaissons la sensibilité au froid dans notre pratique de plongeur.

L'absence du référentiel stable connu (l'axe gravitaire) par l'intermédiaire de *notre sole plantaire* est un manque important, voire majeur, pour notre régulation posturale. Tout notre système gravi-récepteurs ne reçoit plus les informations habituelles.

Enfin par le biais de la pression hydrostatique, notre corps est soumis à des actions mécaniques de l'eau (poussée d'Archimède, plaquage des habits, résistances aux déplacements) qui modifient notre perception environnementale.

- les références vestibulaires:

C'est surtout *la fonction otolithique* du système vestibulaire qui est perturbée et limitée car la poussée d'Archimède s'oppose à la force de gravité.

Nous avons vu que les récepteurs otolithiques utriculaires et sacculaires offrent respectivement une sensibilité préférentielles aux mouvements linéaires horizontaux et verticaux. La verticale subjective d'un sujet est la résultante des forces liées aux accélérations dans le plan du système otolithique (à savoir le vecteur gravité et le vecteur d'accélération linéaire).

Certains auteurs ont modélisés ce système otolithique, comme étant une masse pouvant se déplacer sur un rail et retenue à l'une de ses extrémités par un ressort.

La modification de l'action gravitaire habituelle est une tromperie pour cette partie du

Les Vertiges en plongée sportive

système vestibulaire :

Le plongeur a donc **l'impression d'être en impesanteur relative**.

Ainsi en immersion, nos centres nerveux perdent en grande partie leurs béquilles visuelles et proprioceptives, et ont leur béquille otolithique vestibulaire diminuée.

C'est dire toute l'importance en plongée du récepteur vestibulaire représenté par les canaux semi-circulaires.

Toute perturbation discrète et brève de ce dernier récepteur vestibulaire peut entraîner des troubles de l'équilibre sévères mais heureusement brefs, aboutissant à la perte totale de la notion du haut et du bas lors de la plongée. Seule la vision de ses bulles et l'aiguille de son profondimètre peuvent alors indiquer au plongeur la direction. Nous expliciterons plus loin les problèmes du vertige alerno-barique dont l'intensité est expliquée par cet état.

1-3- DEFINITION DU VERTIGE:

1-3-1-Le vertige:

Avant d'aborder les chapitres suivants sur les incidents et les accidents vestibulaires dans le domaine de la plongée loisir, il importe de définir ce que l'on entend par la dénomination de "vertige".

Le vertige ou plus généralement un trouble de l'équilibre tel qu'une instabilité ou une sensation ébrieuse, peut se définir comme une sensation erronée de déplacement du sujet ou de son environnement.

Le vertige résulte ainsi d'un conflit entre les informations sensorielles (vestibulaires, visuelles ou proprioceptives) transmises aux centres. Lorsque surgit *l'incohérence par dysfonctionnement labyrinthique*, les centres inventent le vertige et donnent des ordres inadaptés à leurs effecteurs visuels oculo-moteurs (nystagmus), locomoteurs (déviation et tendance à chuter), neurovégétatifs (nausées, vomissements, sueurs).

1-3-2-Le nystagmus:

Les signes vestibulaires spontanés en cas de souffrance vestibulaire sont de 2 types:

-ceux qui traduisent l'atteinte de l'arc réflexe vestibulo-oculaire (*rôle dans la stabilisation du regard*): c'est **le nystagmus**. Il se définit comme un mouvement conjugué et rythmique des 2 yeux, avec une déviation lente non visible et une secousse rapide de rappel visible qui définit le sens du nystagmus. Le nystagmus bat du côté opposé à l'oreille atteinte. Il est mis en évidence en particulier avec des lunettes de Frenzel qui suppriment l'effet de fixation oculaire.

-ceux qui traduisent l'atteinte de l'arc réflexe vestibulo-spinal (*rôle dans la stabilisation de la posture locomotrice*): c'est **la déviation segmentaire du corps** avec tendance à la chute du côté de l'oreille atteinte.

Ainsi un accident vestibulaire de l'oreille droite se traduira par une tendance à tomber vers

Les Vertiges en plongée sportive

la droite et par l'observation d'un nystagmus battant vers la gauche.

2- LES INCIDENTS VESTIBULAIRES EN PLONGEE SPORTIVE:

Ce sont seulement des incidents par la génèse de leur mécanisme, mais ils peuvent entraîner des problèmes graves en raison du milieu dans lequel ils se produisent.

2-1- LA STIMULATION CALORIQUE UNILATERALE DES OREILLES:

La température de l'eau stimule généralement les 2 oreilles de façon symétrique et n'a en principe aucune action. Par contre en cas de perforation ou beaucoup plus fréquent *en cas de bouchon de cerumen* important, la stimulation calorique sera asymétrique.

Ainsi du côté du conduit auditif externe obstrué par le bouchon la stimulation calorique est limitée, alors que de l'autre côté elle existe. L'on sait que tout stimulus calorique unilatéral (l'eau froide en immersion, en est un excellent) entraine un vertige et une réaction nystagmique liés à l'excitabilité du système vestibulaire de façon asymétrique au niveau des canaux semi-circulaires. C'est le conflit d'informations qui crée le vertige.

L'épreuve calorique (au cours de la vidéonystagmographie) est d'ailleurs un des examens médicaux paracliniques classiques quand on veut tester unilatéralement la bonne réflectivité du système vestibulaire. Cette épreuve repose sur l'instillation d'eau dans le conduit auditif externe, ce qui provoque par transfert thermique au niveau de la capsule otitique de l'oreille stimulée un déplacement du liquide endolymphatique du canal semi-circulaire externe (d'où déplacement des stéréocils du tissu neuro-sensoriel).

2-2- LE MAL DE MER OU CINETOSE:

2-2-1- Le mal de mer est l'une des cin toses les plus répandues, susceptible de frapper les sujets les mieux amarin s. C'est une pathologie invalidante qui diminue les capacités mentales et physiques des sujets qui en sont victimes. Il résulte d'une part d'un conflit entre les différentes informations sensorielles contribuant à l'équilibrage (le vestibule y jouant le rôle le plus important) , et d'autre part d'un désaccord entre ces informations et le schéma physiologique de référence bati sur l'expérience par les centres (schéma qui a pour référence la gravité terrestre et un sol stable).

Certains auteurs incriminent en outre actuellement une perturbation directe des noyaux vestibulaires centraux pour mieux comprendre l'intensité du vomissement (*centre du vomissement   proximité?*) et mieux appréhender l'action de divers médicaments utilisés dans la prévention du mal de mer.

Ces éléments expliquent la génèse du mal de mer, les récepteurs vestibulaires étant excités par des mouvements complexes et désordonnés selon plusieurs axes:

-transversal pour le tangage, -sagittal pour le roulis, -vertical pour les embardées.

2-2-2- Cin tose en plongée: les effets d'une cinétose débutée en surface sur le bateau peuvent se poursuivre en immersion. D'autant plus que des *facteurs favorisants* s'y

Les Vertiges en plongée sportive

ajoutent tels fatigue, manque de sommeil, faim ou excès alimentaire, froid, accrochage ventilatoire à l'effort, goût d'huile...

Les mouvements de houle sur le fond, le flux et le reflux du ressac avec les oscillations des laminaires en Atlantique ou des herbiers de posidonies en Méditerranée sont des facteurs déclenchants pour générer un conflit d'informations chez certains sujets.

Des plongeurs peuvent ainsi être amenés à vomir dans l'eau. Non seulement les manifestations neuro-végétatives liées à ce phénomène peuvent entraîner un malaise lipothymique ou une panique qui peuvent transformer un incident en accident !

Mais en outre, ces vomissements en immersion peuvent créer un blocage du détenteur par des débris alimentaires, ou un problème majeur vital sur reprise inspiratoire pouvant être responsable d'une inhalation bronchique de liquide gastrique, voire de débris par fausse route. Ceci d'autant qu'en plongée, la position tête en bas et les effets de la pression hydrostatique favorisent un reflux gastro-oesophagien par non fonctionnalité du sphincter physiologique du bas oesophage.

2-2-3- Prise en charge et traitement préventif:

L'amarinage demeure un des meilleurs moyens, mais pas toujours suffisant. L'hygiène de vie et la limitation des facteurs favorisants sont importants.

L'acupuncture par le biais de bracelets au niveau des poignets, l'homéopathie avec la prescription de *Cocculus indicus* 7CH (4 granules par 24h) peuvent apporter une aide.

Dans la pharmacopée, les antihistaminiques sont largement représentés:

- soit seuls (*Dramamine**, *Nausicalm**, *Marzine**, *Nautamine**),
- soit associés à de l'atropine (*Mercalm**).

La Scopolamine connaît un nouvel essor avec la mise au point d'un dispositif transdermique adhésif qui se place derrière l'oreille sur la mastoïde (*Transderm TTS**, *Scopoderm TTS**) et qui permet de prolonger dans le temps son efficacité (72 h) tout en diminuant ses effets secondaires. Avis médical indispensable.

Tous ces médicaments ont des contre indications telles glaucome et troubles prostatiques. La consommation d'alcool est fortement déconseillée. Ils présentent un certain nombre d'inconvénients en particulier la sécheresse buccale et surtout la somnolence qui pose un problème sécuritaire en plongée...

* Enfin, existence d'un dispositif intéressant non médicamenteux, à base d'aimants, lesquels se placent avec un sparadrap au niveau de chaque mastoïde, et dénommés *Magnautic* *. Ces aimants en créant un champ magnétique vont polariser les cristaux otolithiques de carbonate de calcium et par la même limiter l'excitabilité labyrinthique en stabilisant ces derniers dans leurs mouvements. Ce dispositif peut être gardé pendant la plongée et laissé en place en croisière.

2-3- LE VERTIGE ALTERNO-BARIQUE:

Ce vertige alterno-barique, cher à l'école scandinave, a été décrit par LUNDGREN en 1965 pour la première fois. Il est pourtant encore mal connu des plongeurs et des médecins, même ORL, alors qu'il est très fréquent en interrogatoire de médecine du sport spécialisée en plongée. Dans notre pratique nous l'avons retrouvé de façon occasionnelle sur 10 ans chez plus de 10% des plongeurs (26% dans l'enquête de LUNDGREN en

Les Vertiges en plongée sportive

1965, 5% dans celle de MERVILLE et DUVALLET en 1985).

Il représente une entité médicale, celle d'**un syndrome vestibulaire périphérique de type irritatif**. Il survient plus souvent à la remontée, aussi bien en apnée qu'en scaphandre. Il est en relation avec une *asymétrie pressionnelle* brutale entre les deux oreilles moyennes, en rapport avec une dysperméabilité tubaire.

Ce vertige est un incident, mais il représente une menace réelle pour le plongeur en cas de panique avec risque de noyade.

2-3-1- Mécanisme:

Nous avons mis en évidence précédemment la particulière importance de notre système vestibulaire en immersion, en raison des perturbations de nos diverses références sensorielles visuelles et proprioceptives.

La trompe d'Eustache joue un rôle de soupape à la remontée, en permettant physiologiquement de vider la caisse de l'oreille moyenne de façon passive vers le rhino-pharynx. Il a été mesuré la pression moyenne d'ouverture passive dans le sens oreille/rhino-pharynx (pression d'environ 15cm d'eau), et il a été mesuré que la pression de forçage de la trompe pouvait atteindre plus de 60cm d'eau. Il a été démontré que si une telle élévation de pression se produit d'un seul côté, cette asymétrie d'information pressionnelle peut stimuler les vestibules de façon différente et engendrer un vertige avec nystagmus identifiable.

Si le sujet a le nez vers le haut, la stimulation labyrinthique sera maximale, car il se retrouve en position n°1 de BRUNING, tête inclinée à 60° en arrière par rapport à la verticale. C'est la position que nous utilisons pour nos patients dans les explorations fonctionnelles ORL lors de l'examen calorique vestibulaire de l'ENG ou VNG (électro ou vidéo-nystagmographie). Et ceci est la position d'un chasseur ou d'un plongeur qui remonte vers la surface!... Ceci explique l'intensité et la brièveté du vertige alternobarique.

Des manoeuvres de Vasalva répétées au cours d'allers-retours, des forçages suite à des Vasalva violents, un encombrement nasal fréquent après un certain de plongée (en particulier en apnée-pêche sous-marine) sont divers éléments qui vont favoriser une congestion de l'orifice tubaire et de la trompe d'Eustache. Ceci conduit à une dysfonction tubaire créant une surpression dans la caisse d'oreille moyenne d'un seul côté. Cette asymétrie de la pression d'ouverture d'une trompe par rapport à l'autre crée une stimulation asymétrique des labyrinthes siégeant à proximité, et va se traduire par un syndrome irritatif vestibulaire.

2-3-2- Description clinique:

Dans l'eau, il va apparaître un vertige vrai, isolé, transitoire et régressif, avec une désorientation spatiale totale. Il existe une perte de la notion de verticalité, c'est à dire de la notion du haut et du bas. Le risque majeur étant une prise de panique avec un danger de noyade ou de suraccident.

La durée de ce vertige peut aller de quelques secondes à de nombreuses minutes. Avec une conduite simple que nous verrons plus loin, cet incident qui peut se répéter au cours de diverses plongées, ne devient pas accident mais une simple anecdote.

Ce vertige isolé survient le plus souvent lors de la remontée (2/3 cas) chez un plongeur en scaphandre ou chez un apnéiste. Il peut survenir aussi lors de la descente ou au fond

Les Vertiges en plongée sportive

suite à un Vasalva qui insuffle asymétriquement les oreilles, parfois lors d'une manoeuvre de retournement.

Il se produit le plus fréquemment à faible profondeur (pour des raisons évidentes d'importance de variations pression-volume).

Dans l'entité décrite ici, tout est régressif en totalité et rapidement, car *il s'agit d'un simple syndrome irritatif vestibulaire*, comme on le crée au cours d'une stimulation labyrinthique.

L'exploration de la perméabilité tubaire est fondamentale. Elle se réalise par l'examen classique et très répandu de *l'impédancemétrie*, cet examen mesure la souplesse de l'ensemble du système tympano-ossiculaire (*tympanogramme*), élasticité qui dépend de l'équipression. Elle nous renseigne donc indirectement sur cette perméabilité.

Cette exploration peut montrer dans ce cadre du vertige alerno-barique, au décours, lors d'une manoeuvre de Vasalva un retour à la pression de repos lent et difficile, voire impossible en l'absence d'un mouvement de déglutition.

Un examen ORL du nez et des fosses nasales permet souvent de retrouver à ce niveau un facteur congestif. En effet il nous semble exister une recrudescence de ce type de vertiges, à relier à des facteurs de rhinite vaso-motrice (hypertrophie congestive de la muqueuse des cornets du nez, en rapport avec les pollutions atmosphériques, et abus éventuel de vaso constricteurs locaux) qui sont responsables de difficultés tubaires.

2-3-3-Diagnostic différentiel:

A notre avis, pour être classé dans le cadre d'un simple vertige alerno-barique qui représente une entité précise, le tableau doit être celui d'un vertige isolé et transitoire, et totalement régressif à la sortie de l'eau. Au décours de l'incident, aucun signe de souffrance vestibulaire ne doit persister, et aucun signe d'atteinte auditive ne doit exister. Si cela était le cas, il s'agit alors non plus d'un incident mais d'un *accident d'oreille interne (barotraumatisme ou accident de décompression)*, dont le mécanisme et le pronostic sont très différents!

Il est consternant de constater dans la littérature qu'il existe souvent un mélange des genres qui engendre des confusions malheureuses...

A part comme diagnostic différentiel, il faut mettre la possibilité d'une "*cupulolithiase*", c'est une pathologie ORL fréquente liée à l'expression d'un vertige paroxystique de prise de position (lors de l'extension et rotation de la tête d'un côté) en rapport à un problème de corps flottants endolymphatiques au niveau des canaux semi-circulaires. Mais dans ce cas, le vertige bref est itératif dans la vie courante, et survient souvent lors de la mise en décubitus dans le lit et aux changements de position.

2-3-4- Prise en charge et Prévention:

-S'il se produit à la remontée:

Au moment de l'incident dans l'eau, il faut stopper la remontée, qui ne ferait qu'aggraver le problème. Il faut pratiquer des déglutitions ou éventuellement *la manoeuvre de Toynee* (inspiration nasale, nez pincé, avec déglutition), et surtout pas de Vasalva ce qui aggraverait la situation. Le plongeur peut être amené à redescendre d'un mètre ou deux pour réduire la différence pressionnelle dont nous parlions dans le mécanisme.

-S'il se produit à la descente:

Si le vertige alerno-barique se produit à la descente, ne pas oublier que plus on force la trompe d'Eustache, plus elle devient récalcitrante. Les manoeuvres dites passives, précédées d'un mouchage du nez en surface peuvent aider à reprendre la progression. En tout cas, c'est pas le moment de faire des exercices, et surtout pas des ascenseurs.

Cela permet de comprendre que la prévention passe avant tout par une prise de conscience des facteurs de dysperméabilité tubaire chronique ou temporaire, et donc une sensibilisation accrue des plongeurs en libre ou en bouteille sur la physiologie tubaire.

On n'insistera jamais assez sur l'enseignement des techniques d'équipression dites passives, voire sur la gymnastique tubaire à laquelle devrait être sensibilisée tout

moniteur... Nous renvoyons le lecteur sur ce sujet au chapitre 5 de ce mémoire.

3- LES ACCIDENTS VESTIBULAIRES EN PLONGÉE SPORTIVE:

La plongée sous-marine en apnée ou en scaphandre peut être dangereuse pour l'oreille interne. Si les accidents cochléo-vestibulaires sont nettement plus rares que les accidents d'oreille moyenne, ils sont plus graves dans leurs séquelles et moins familiers. De mieux en mieux connus dans leurs mécanismes favorisants et dans leurs descriptions, ils présentent encore fréquemment un retard de diagnostic.

Ces accidents forment un cadre précis. Ils se divisent en *barotraumatismes d'oreille interne* et en *accidents de décompression d'oreille interne*. Certains utilisent le terme d'accidents labyrinthiques pour mieux insister sur l'entité indissociable cochléo-vestibulaire au niveau de ces accidents.

3-1- LES BAROTRAUMATISMES D'OREILLE INTERNE:

3-1-1-Généralités et Facteurs de risque:

Si les barotraumatismes d'oreille moyenne sont signalés dans 1% à 2% des plongées, ceux d'oreille interne sont dix fois moins fréquents que les premiers, mais beaucoup plus redoutables par leurs séquelles potentielles. Il est intéressant de noter qu'un dysfonctionnement d'origine tubaire est retrouvé au décours de toute plongée chez 30% des plongeurs débutants et chez 10% des plongeurs confirmés !

Ces barotraumatismes d'oreille interne peuvent être isolés ou associés dans plus de la moitié des cas à un barotraumatisme d'oreille moyenne.

Ils sont plus fréquemment rencontrés à la descente, profil de plongées ascenseurs ou yoyos, avec forçage tubaire, et plus souvent en plongée libre qu'en plongée scaphandre, de par leur mécanisme de survenue.

Ils ont **une symptomatologie surtout cochléaire**. Très rarement, l'on peut retrouver un élément vestibulaire fugace au moment de l'accident, ou résiduel.

Ils échappent souvent aux statistiques des accidents de plongée. Le danger principal est bien le retard de diagnostic, aussi bien par le plongeur qui évoque une simple oreille bouchée ou par le médecin qui peut méconnaître un barotraumatisme d'oreille interne derrière un banal barotraumatisme d'oreille moyenne. **“Un accident peut en cacher un autre”** L'avis de l'ORL est fondamental pour faire le diagnostic.

3-1-2- Mécanisme:

Ce sont des accidents physiques mécaniques, directement en rapport avec des variations de pression, conséquences de la loi de Boyle Mariotte. Plusieurs circonstances étiopathogéniques peuvent se rencontrer, essentiellement à la descente, avec toujours un contexte de Vasalva inopérant ou de forçage tubaire par Vasalva violent.

-Soit barotraumatisme mixte d'oreille moyenne transmis à l'oreille interne (cas d'un néophyte qui descend sans compenser, ou d'allers-retours chez un plongeur avec difficultés tubaires).

-Soit barotraumatisme direct d'oreille interne (sans atteinte tympanique), plusieurs

possibilités :

@par coup de piston de l'étrier dans la fenêtre ovale (au maximum entorse stapédo-vestibulaire par enfoncement de la platine).

@par coup de pression au niveau de la fenêtre ronde.

un mécanisme "d'*implosive route*" (hyperpression au niveau de l'oreille moyenne retentissant sur le labyrinthe voisin) nous semble beaucoup plus à mettre en cause qu'un mécanisme "d'*explosive route*" de GOODHILL (hyperpression endocrânienne du LCR se transmettant aux liquides labyrinthiques par le biais d'un aqueduc cochléaire perméable). Au maximum, *une fistule périlymphatique* peut être créée au niveau des fenêtres par ce dysbarisme mécanique. A noter une grande différence statistique entre les publications américaines et européennes pour ce type de lésion. Peut-être les praticiens ORL, considérant que ces oreilles internes ont été fragilisées par l'accident barotraumatique sont-ils moins interventionnistes chirurgicalement ici qu'outre-Atlantique, donc en Europe l'on a moins de fistules mises en évidence en raison de cette attitude moins interventionniste.

Dans la plupart des cas que nous avons étudié ou rencontré, est mis en évidence une dysperméabilité temporaire tubaire souvent induite par des allers-retours (moniteurs de plongée, plongeurs scaphandre en exercice, chasseurs sous-marins) avec parfois un tympan hyperlaxe qui informe tardivement sur le besoin de compenser, mais associé toujours à des manoeuvres de Vasalva violentes ou intempestives pendant ces ascenseurs.

3-1-3- Description Clinique et bilan :

En cas d'atteinte mixte, oreille moyenne et oreille interne, une otalgie accompagne alors la *baisse auditive (hypoacousie)*, laquelle est ressentie au sortir de l'eau.

L'aspect otoscopique du tympan correspond classiquement au décours immédiat à un des 5 stades de HAINES et HARRIS, en cas d'atteinte d'oreille moyenne:

stade 1: congestion du manche du marteau

stade 2: congestion diffuse de l'ensemble du tympan

stade 3: épanchement séreux rétro tympanique

stade 4: hémotympan

stade 5: perforation tympanique.

Quelques remarques:

L'on peut avoir une mini perforation sur tympan cicatriciel pour un faible dysbarisme, et au contraire avoir un hémotympan sévère sans perforation sur un dysbarisme marqué en raison d'un tympan élastique et résistant, dans ce dernier cas le risque d'atteinte d'oreille interne associée est important (avec un réel risque de passer inaperçu derrière les signes trop visibles de l'atteinte tympanique).

De même se souvenir qu'une discrète réaction type stade 1 est fréquente en plongée et sans grande valeur; avoir une sensation d'oreille bouchée et un simple stade 1 nécessite un contrôle audiolgique!

Quand l'hypoacousie s'associe à des *acouphènes* (sensations auditives subjectives à type de sifflements, bourdonnements), cela est très évocateur d'une atteinte cochléaire d'oreille interne associée. Nous ne redirons jamais assez que le risque est de méconnaître cette atteinte cochléaire sous-jacente, aussi bien par le plongeur qui retarde le diagnostic que

Les Vertiges en plongée sportive

par le médecin qui méconnaît ce diagnostic.

Seul l'audiogramme réalisé en urgence permettra de faire ce diagnostic, avec mise en évidence d'une perte auditive mixte (si atteinte mixte) ou seulement perceptive (si atteinte d'oreille interne isolée), avec prédominance fréquente de la perte sur les aïgus.

Très rarement peut s'associer un élément vertigineux , soit un simple vertige alternobarique pendant la plongée, bref et régressif (classique sur un contexte de problèmes tubaires) , soit un élément d'instabilité résiduel traduisant une souffrance vestibulaire irritative surajoutée à l'atteinte cochléaire.

*A part, il faut mettre le problème de vertiges épisodiques paroxystiques déclenchés en particulier au mouchage, à la toux, associés à une hypoacousie fluctuante, ceci après une notion de barotraumatisme otologique, il faut évoquer alors la possibilité d'une *fistule périlymphatique au niveau de la fenêtre ronde ou ovale*.

Schématiquement, dans le cadre des barotraumatismes d'oreille interne, l'atteinte est essentiellement cochléaire (labyrinthe antérieur). Cette atteinte est souvent méconnue ou du moins retardée dans son diagnostic. Il existe une sous-estimation statistique certaine. Il faut chercher par l'interrogatoire les facteurs d'insufflation trop actifs (Vasalva violent) responsables souvent de cet accident.

3-1-4- Prise en charge et Prévention:

C'est une urgence.

C'est le traitement d'une surdité brusque par l'ORL pour lutter contre cette souffrance de l'organe sensoriel cochléaire de Corti, si fragile.

Corticoïdes et vaso-actifs à hautes doses, en injectable ou en perfusion.

Si la perte auditive est importante et si la trompe d'Eustache est perméable, l'oxygénothérapie hyperbare (séances quotidiennes d'OHB en O₂ pur à 2 ou 2,2 ATA pendant au moins 8 jours) est souhaitable comme pour toute surdité brusque. Sinon en cas de dysperméabilité tubaire, des inhalations de carbogène (95% O₂ et 5% CO₂) voire une hémodilution peuvent s'envisager en hospitalisation.

Une prise en charge dans les 24 heures permet une récupération auditive quasi constante. Une prise en charge retardée au delà d'une semaine réduit les chances de récupération à un quart des cas! Mais cela ne doit pas inciter au pessimisme car des récupérations partielles à distance demeurent possible.

Sequelles, Reprise de la plongée?

En règle générale, il faut constater une récupération complète auditive pour réautoriser la plongée chez un accidenté. Il faut attendre un délai minimum de 2 mois à 3 mois, selon l'atteinte initiale, davantage chez le chasseur soumis aux allers-retours.

En cas de sequelles auditives, faut-il interdire? Le niveau de plongée du sujet, son expérience, son état tubaire habituel, son activité (chasse, apnée simple, scaphandre) sont des éléments multiples à prendre en considération, une restriction pour la plongée libre sera plus marquée que vis à vis de la plongée bouteille, en raison du risque des ascenseurs. En cas de sequelles, une interdiction définitive se posera plus facilement

Les Vertiges en plongée sportive

chez un débutant que chez un confirmé.

La Prévention de ce type d'accident

passer par l'enseignement des manoeuvres tubo-tympaniques dites passives au niveau des débutants et par la gymnastique tubaire chez les moniteurs.

Un Vasalva bien fait est un non-violent ! Cette sensibilisation incombe aux moniteurs.

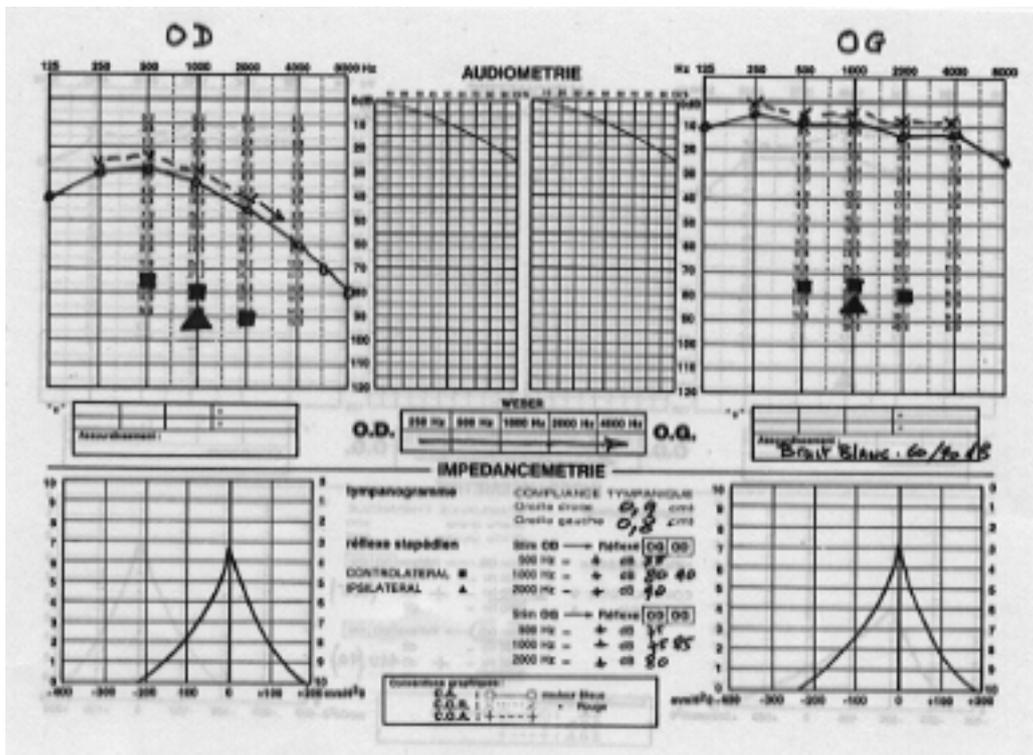
La gymnastique tubaire peut aider certains à pratiquer la béance tubaire volontaire ou du moins à permettre à la plupart de mieux appréhender leur fonction tubaire. Nous verrons dans le chapitre n°5 de ce mémoire les conseils indispensables à enseigner.

Audiogramme: sur accident barotraumatique direct d'oreille interne chez un chasseur sous-marin suite à Vasalva intempestifs, épisode bref à 2 reprises de vertige alerno-barique pendant sa séance de pêche (ayant duré 4 heures).

Présence d'un acouphène au sortir de l'eau, avec sensation d'oreille droite bouchée apparue pendant sa chasse. Aspect tympan normal. Pas d'atteinte vestibulaire. Consultation ORL au 3ème jour !... Audiogramme montrant une hypoacousie perceptive droite en pente.

Institution 10 séances d'OHB à 2,2 ATA en ambulatoire et TRT par perfusion de corticoïde et vaso-actif pendant les séances. TRT de relai per os de vaso-actifs pendant 3 mois. Récupération auditive en grande partie à la fin des séances de caisson, consolidation secondaire. Interdiction plongée et apnée pendant 6 mois. Protocole préventif de gymnastique tubaire pour l'avenir.

*Accident barotraumatique cochléaire droit isolé, suite à dysbarisme tubaire par Vasalva .
Perte auditive perceptive du côté droit, prédominant sur les aigus à l'audiométrie,
l'impédancemétrie montre l'intégrité des deux oreilles moyennes, recrutement des seuils
stapédiens à droite par rapport aux seuils auditifs témoignant de l'atteinte de type
endo-cochléaire droite.
Audiogramme à l'entrée, au 3ème jour, avant OHB.*



3-2- LES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION D'OREILLE INTERNE :

3-2-1- Généralités et Facteurs de risque:

C'est ce que l'on appelle les vrais *accidents vestibulaires*. Ce sont des accidents de décompression de type II (au même titre que les accidents neurologiques).

Ils touchent bien sûr essentiellement les plongeurs en scaphandre, mais l'on voit apparaître maintenant ce type d'accident chez des pêcheurs-apneistes professionnels profonds de haut niveau utilisant le locoplongeur dans leur pratique de chasse (similitude de facteurs avec le "Taravana" neurologique des pêcheurs de perles).

Le fréquence de cet accident est en croissance constante dans le cadre des accidents de décompression de plongée sportive de loisir (15 à 20% des ADD), en partie par une meilleure information et prise de conscience de ce type d'accident.

Il survient au sortir de la remontée ou après la plongée (moins d'une heure le plus souvent).

La symptomatologie est ici essentiellement vestibulaire, ou, du moins c'est ce type de signes qui prédomine dans le tableau initial (on parle d'accident vestibulaire pur ou d'accident cochléo-vestibulaire si associé à une atteinte auditive).

En cas d'accident dit immerité, les facteurs de risque maintenant mieux connus et les petites accélérations en vitesse de remontée (dans les yoyo en particulier) sont à rechercher avec tenacité. Un dépistage de Foramen ovale est souhaitable au décours de ce type d'accident, si immerité.

3-2-2- Mécanisme:

Ce sont des accidents biophysiques dûs aux conséquences de la dissolution des gaz inertes dans les tissus de l'organisme avec formation de bulles pathogènes.

L'explication de ces accidents n'est pas univoque. Il n'y a pas encore de consensus à ce sujet, et le débat est loin d'être clos sur le mécanisme intime des lésions de cette maladie de décompression d'oreille interne.

Bulles in situ ou à distance? Périphérique ou central ?

@*Microbulles des tissus et liquides intralabyrinthiques* avec phénomène comprimant ou dilacérant les structures neuro-sensorielles. Cette hypothèse de dégazage dans un tissu "court" comme les liquides de l'endolymphe et de la périlymphe est séduisante, d'autant que certaines constatations expérimentales vont dans ce sens.

-au niveau de la périlymphe: il se produit une compression du labyrinthe membraneux, avec une souffrance bruyante type "hydrops" mais sans lésion destructrice du labyrinthe.

-au niveau de l'endolymphe: il se produit une dilacération du labyrinthe membraneux avec destruction locale du tissu neuro-sensoriel, et donc séquelle définitive (en dehors d'une compensation dite centrale secondaire).

@ou *microbulles par aéroembolisme dans la circulation artérielle d'oreille interne de type terminale*, c'est à dire sans suppléances et sans anastomoses fonctionnellement valables. Ceci se produit au niveau d'une des branches de l'artère vestibulaire (issue de l'auditive interne). Cette hypothèse plus traditionnelle est actuellement relancée avec l'engouement

Les Vertiges en plongée sportive

actuel qui tourne autour des shunts en particulier du foramen ovale, pouvant être perméabilisé par la plongée et par l'hyperpression des cavités droites.

@ou *souffrance des noyaux centraux vestibulaires par aéroembolisme...* mais l'on devrait trouver alors des foyers de souffrance à la Résonance Magnétique Nucléaire (IRM cérébrale), ce qui n'est pas le cas....

A ce primum-movens local quelqu'il soit, vont s'associer les phénomènes plus généraux de la M.D.D. Nous savons bien que les micro-bulles se comportent comme des corps étrangers au sein de l'organisme, leur présence entraîne des phénomènes réactionnels locaux et généraux. Hyperagrégabilité plaquettaire locale, activation de facteurs locaux de coagulation et libération d'inducteurs enzymatiques humoraux, phénomène plus général du "sludge". Tout ceci aggravant le dégazage in situ et l'oedème péri-lésionnel. C'est le cercle vicieux de la M.D.D.

Cas particulier en plongée aux mélanges: Ce type de plongée avec des mélanges utilisant l'*Hélium* (trimix, héliox) est en train d'apparaître en plongée dite sportive d'intervention profonde. Les gaz diluants et inertes (Hélium et Azote) utilisés dans la préparation des mélanges ont chacun des propriétés spécifiques propres. Sur le plan de la décompression, chaque gaz diluant doit être considéré de façon appropriée, fonction de ses propriétés de *diffusibilité* et de ses propriétés de *solubilité*. N₂ est un gaz très soluble dans les graisses (coeff. de solubilité dans l'huile 4 fois plus grand que celui de He) et peu diffusible. Alors que He est un gaz moins soluble dans les graisses mais beaucoup plus diffusible (près de 3 fois plus que N₂, pour des raisons de poids moléculaire et selon la loi de Graham sur la vitesse de diffusion).

C'est le problème d'un plongeur respirant un mélange avec de l'hélium et qui en descendant va envoyer de l'hélium dans ses cavités d'oreille moyenne en compensant. A la remontée, s'il reprend de l'air pour ses paliers de décompression, il peut réaliser un accident labyrinthique; en effet il existe au niveau des cavités d'oreille moyenne de l'hélium qui diffuse à travers les fenêtres ronde et ovale (Hélium que le plongeur ne peut "rincer"), et au niveau du labyrinthe il y a apport par la circulation de N₂. Un phénomène local de *contre-diffusion isobarique* peut générer ainsi un accident vestibulaire. Un problème de phénomène osmotique peut aussi être évoqué, pouvant engendrer des mouvements des liquides du labyrinthe (en particulier périlymphe) comme dans "l'hydrops" d'une maladie de Ménières.

Ces divers mécanismes physio-pathologiques, évoqués plus haut, vont se produire directement ou indirectement sur un organe qui est le labyrinthe membraneux, un organe à grande fragilité neuro-sensorielle vis à vis de l'anoxie, de l'ischémie, et de la stase veineuse.

Il n'y a pas de vérité absolue dans le domaine de la physiologie des accidents, et le mécanisme intime de ceux de type vestibulaire reste encore à authentifier de façon unanime...

3-2-3-Description clinique et bilan:

Ces *accidents de décompression* sont de type II et ont une expression essentiellement vestibulaire, parfois associée à une composante cochléaire (mais la gêne auditive est en

Les Vertiges en plongée sportive

arrière plan, le devant de la scène est dominé par les vertiges).

Survenue précoce des signes : Au sortir immédiat de la plongée, ou au plus tard dans la première heure, apparition d'une grande crise vertigineuse vraie.

Vertiges avec nausées, voire vomissements, accompagné d'une déviation segmentaire avec impossibilité à la marche et chute du côté de la lésion. Un nystagmus horizonto-rotatoire bat de façon visible vers le côté sain. C'est le *tableau d'un syndrome vestibulaire harmonieux périphérique*. Le tableau clinique ressemble de très près à une *crise aiguë de maladie de Ménières*, à la manière d'un hydrops labyrinthique (irritatif ou destructif). En cas de forme larvée, une hésitation sur le bateau peut faire croire à un mal de mer et retarder les premiers secours, mais tout continue à l'arrivée au port!...

L'exploration fonctionnelle cochléo-vestibulaire par les tests est faite généralement secondairement, après la mise en route du TRT d'OHB.

Le VNG (vidéo-nystagmographie) qui bilante l'équilibre va montrer une *hypovalence vestibulaire unilatérale à l'épreuve calorique, voire une aréflexie* d'un côté traduisant la souffrance aiguë voire la destruction lésionnelle d'un vestibule.

L'Audiogramme va montrer une *éventuelle perte auditive perceptive du même côté*, en cas de souffrance cochléaire concomitante (qui pouvait être suspectée si le patient avait une gêne auditive et un acouphène).

Les facteurs favorisants d'un ADD doivent être recherchés. Les facteurs bien connus de fatigue, de plongées itératives, de plongées à profil ascenseur répétitif avec des "delta" de vitesse de remontée un peu rapides près de la surface sont des facteurs de risque classiques dans la genèse de ces accidents de décompression d'oreille interne.

En cas d'accident dit immérité, il nous paraît nécessaire de rechercher un *Foramen Ovale*. L'on connaît la fréquence de ce type d'anomalie : 1/3 de la population générale et donc près d'1/3 des plongeurs possède ce shunt potentiel coeur droit-coeur gauche. Le dépister ne signifie pas qu'il est obligatoirement la cause de l'accident, mais cela permet de mieux réfléchir à la prévention chez des sujets à risque. Pour ce dépistage, voir encadré sur le F.O. qui suit.

Schématiquement dans le cadre des accidents de décompression d'oreille interne, l'atteinte est essentiellement vestibulaire (labyrinthe postérieur) ou du moins les signes vertigineux sont au premier plan initialement. Ce diagnostic est maintenant mieux connu dans le domaine de la plongée ce qui explique la prise en charge plus précoce qu'auparavant. Si les mécanismes intimes étio-pathogéniques ne sont pas encore unanimement codifiés, les facteurs favorisants le sont. Mais la notion d'accident apparemment immérité n'est pas rare dans ce tableau. Recherche de F.O.

Inconnues à méditer dans les accidents de décompression vestibulaires:

*Une inconnue reste en grande partie inexplicée, celle de *la faible composante cochléaire* de ces accidents de décompression, avec une expression essentiellement vestibulaire (ainsi plus de 2/3 cas d'atteinte vestibulaire exclusive) .

*D'autre part il existe une *notion de récurrence possible* ... (quelqu'un qui a eu un ADD vestibulaire a ainsi deux fois plus de chances de récidiver). Existe-t'il une prédisposition

Les Vertiges en plongée sportive

anatomo-physiologique qui se dévoile avec l'âge, chez des plongeurs ayant pourtant un long passé de plongée sans problèmes?

*Il est important de noter que ces ADD vestibulaires sont en général isolés, et *rarement intégrés dans un autre accident de décompression neurologique*, ceci dans le cadre de notre domaine de plongée loisir.

Foramen Ovale Perméable (FOP) et plongée:

La perméabilité du Foramen Ovale fait couler beaucoup d'encre dans le milieu de la plongée. Il s'agit ainsi de la persistance d'une communication inter-auriculaire ou shunt entre les 2 oreillettes.

A la naissance, l'acquisition de la nouvelle fonctionnalité respiratoire aboutit à une modification des gradients de pression qui s'inversent cœur gauche / cœur droit. Ce clapet du trou de Botal va se fermer et se fibroser secondairement. On estime que **+ 25% de la population** (en bonne santé) a une persistance spontanée de cette perméabilité, ou de façon virtuelle, après des manoeuvres qui viseraient à élever les pressions du cœur droit, comme une manoeuvre de Vasalva forcée, un effort violent en fin de plongée, un gonflage à la bouche de la stab. en remontant, une secousse de toux...Y-a t'il avec l'âge un risque de plus grande perméabilité ???

Cette communication inter-auriculaire "intermittente" est peut-être une piste pour **mieux comprendre certains accidents de décompression centraux type neurologiques ou bien vestibulaires dits "immérités"**. Ceci pourrait expliquer un aéroembolisme immérité à partir de bulles circulantes qui du circuit veineux passeraient alors directement dans le circuit artériel, sans passer par le filtre pulmonaire.

La moitié des ADD immérités sévères auraient un F.O. perméable spontanément ou après manoeuvres provocatrices. Et deux tiers des ADD de type II précoces (à savoir survenant en moins de 30mn après la remontée) auraient ce shunt.

Attention cependant de ne pas faire l'amalgam : F.O. perméable = ADD !

La recherche d'un F.O. perméable, à notre avis, fait partie du bilan indispensable chez tout plongeur ayant été victime d'un accident de type II dit immérité.

Par ailleurs, pour ce dépistage l'échographie trans-thoracique est peu sensible. Il faut réaliser l'**échographie trans-oesophagienne** (ETO), avec une épreuve de contraste ou injection d'air, et Vasalva) qui est ainsi de beaucoup plus fiable, mais qui est beaucoup plus contraignante malheureusement ! Plus récente, une nouvelle solution de dépistage avec l'**écho-doppler trans-cranien** (DTC) .

Par contre, en dehors de toute anomalie, lors de l'examen médical de non contre-indication ou d'aptitude, il n'est pas raisonnable de pratiquer systématiquement ce dépistage échographique chez le futur candidat plongeur.

La découverte d'un shunt patent va poser un problème de contre-indication à la plongée ; en cas de shunt intermittent suite à une forte élévation des pressions intra-thoraciques, des précautions seront à envisager pour les plongées futures en particulier plongée "cool", en évitant les Vasalva forcés et les efforts en fin de plongée. Et pourquoi pas le nitrox !

Travaux de Grandjean (1999): (population témoin générale de 25 % de FOP)

-La proportion d'ADD sans faute, pouvant être rattachée au FOP, ajustée sur l'âge, est de 43% dans la population d'ADD avec respect de procédure. Risque relatif d'ADD sans faute : 4,2 fois plus élevé chez plongeurs porteurs d'un FOP que chez les autres.

-Prévalence du FOP chez les plongeurs pratiquant le Vasalva = 55%, significatif !!!

Prévalence du FOP chez ceux pratiquant la BTV = 25% idem groupe témoin.

-Prévalence FOP et ADD cérébral ou labyrinthique = 75%, élévation significative !!!

Prévalence FOP et ADD médullaire = 25%, comparaison identique à groupe témoin.

-3-2-4- Prise en charge et Prévention:

C'est une urgence.

C'est le TRT d'un ADD, l'oxygénothérapie immédiate sur le bateau est indiscutable, c'est une recommandation de premier ordre. La prise d'acide acétylsalicylique (aspirine) est discutée par certains au niveau international (pour sa non utilité)(référence du consensus international d'hyperbarie de 1996), mais n'est pas de nature à aggraver le pronostic. En France, ce traitement est inclus dans les protocoles avec 500mg pour les 24heures.

Le transfert vers un centre hyperbare en urgence, sans arrêt de la chaîne O₂, permet une *oxygénothérapie hyperbare*, avec institution d'un TRT à hautes doses de corticoïdes et de vaso-actifs. La recompression thérapeutique se fait selon divers protocoles, sans qu'il y ait de consensus !!!

Le délai de TRT est un élément fondamental. Quand le temps écoulé entre premiers symptômes et recompression est court, on traite physiquement les bulles de l'ADD, alors que plus tard, on soigne surtout un oedème lésionnel et une MDD.

Certains préconisent une recompression d'emblée à 4 ATA, éventuellement avec utilisation de mélanges héliox (table type Comex 30), d'autres équipes utilisent des tables à 2,8 ATA à l'oxygène pur (type tables WORKMAN et GOODMAN, tables Comex 18), d'autres ont même essayés des protocoles à 2 ATA seulement (mais attitude très décriée dans le milieu hyperbare de plongée !)...

Des séances secondaires d'OHB complémentaire les jours suivants sont en général réalisées à 2,2 ATA. Et un TRT médical vaso-actif de relai pendant quelques mois.

Evolution, Sequelles, Reprise de la plongée?

L'évolution clinique aboutit rarement à une récupération complète totale pendant la recompression. Souvent l'amélioration en phase immédiate n'est que partielle, voire nulle. Dans les jours qui suivent, les signes cliniques vertigineux vont s'amender plus ou moins rapidement, les troubles de l'équilibre ne se produisant qu'aux changements rapides de position ou à l'occlusion des yeux (référence au système physiologique de l'équilibration). Un VNG montrera à distance les séquelles éventuelles: soit une récupération "ad integrum", soit une hyporéflexie résiduelle avec compensation centrale.

De toute façon, il importe de donner à ces patients un protocole de rééducation vestibulaire (malheureusement oublié dans les services hospitaliers !) qui aidera à la *guérison en accélérant la compensation centrale* si besoin. Rééducation visant à développer les référentiels visuels oculo-moteurs, et les référentiels de posture.

Un Audiogramme en cas d'atteinte cochléaire associée peut montrer un séquelles résiduel perceptif sur les aïgus.

La meilleure information sur ce type d'accident a permis une prise en charge plus précoce

Les Vertiges en plongée sportive

(moyenne dans le cadre plongée loisir de 2 heures30mn). De ce fait une minimisation des sequelles existe avec une récupération vestibulaire souvent excellente, même si les explorations fonctionnelles du suivi évolutif montrent des anomalies résiduelles que la compensation centrale masque subjectivement.

Si l'évolution vers la récupération ne se fait pas, se pose alors le problème de l'inaptitude à la plongée. De toute façon, il faut un délai d'au moins 6 mois à mon avis pour une réaptitude, en l'absence de sequelles. Et en cas de sujet "bulleur", une restriction d'aptitude (pour les plongées saturantes) peut s'envisager.

Prévention de ce type d'accident:

Une meilleure prévention passe par une meilleure information sur les facteurs de risque favorisant des accidents de décompression. Ceci fait partie de l'enseignement des plongeurs. Facteurs individuels, Facteurs liés à l'environnement. Pas de vraie polémique tables et ordinateurs. L'avant plongée et l'après plongée ont leur importance!

Les sensibilisations aux vitesses de remontée, aux dangers des yoyo, au respect impératif des vitesses lentes à proximité de la surface sont fondamentales pour ce type d'accident. Il n'y a qu'à regarder l'évolution réglementaire de nos pratiques de plongée concernant les vitesses de remontée.

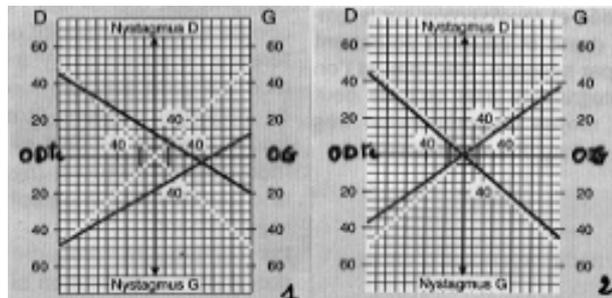
L'utilisation d'alarmes de remontée sur les ordinateurs est d'un très grand intérêt.

Nous verrons chapitre n°5 de ce mémoire les conseils indispensables à enseigner.

Bilan VNG: chez moniteur de plongée en fin de saison estivale, après une journée d'initiation-baptêmes la veille, plongée saturante mais avec respect du protocole ordinateur: 25mn à 35m. Fatigue globale. Possibilité d'erreur au palier (avec dégrafage de la ceinture tombée à 8 mètres sous le bateau, récupération rapide). Grand vertige apparu dans les 30 minutes suivant la plongée avec tendance à chute à gauche. Nystagmus Droit. Pas de signes auditifs. TRT OHB à la 2ème heure après l'installation des signes (table Cx 18). VNG le lendemain de la recompression initiale . Recherche secondaire Foramen Ovale négative. Récupération en quelques jours. TRT de relai médicaments vaso-actif pendant 1 mois, avec protocole de rééducation vestibulaire. Autorisation reprise plongée au 6ème mois.

1- Accident vestibulaire ADD oreille gauche isolé (hyporéflexie modérée vestibulaire gauche), VNG au Jour 2.

2- Récupération totale vestibulaire, VNG au Jour 10.



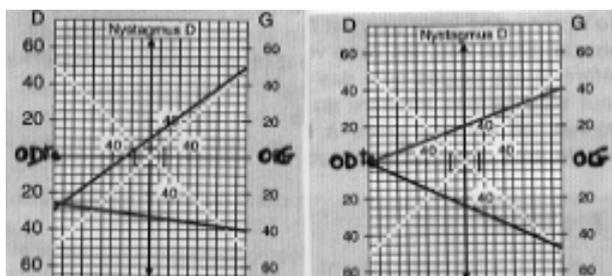
Bilan VNG : photographe sous-marin 48 ans, réalise plongée de 45mn à 22m, pas de problèmes particuliers, notion de quelques yoyos à vitesse contrôlée (classique chez photographe), plongée ordinateur. Dix minutes après la sortie, vertige avec instabilité majeure latéralisation plutôt droite, avec qq vomissements et sensation oreille droite bouchée associée à acouphène de ce côté. Ne sera recomprimé que 24h après! Mise en évidence nystagmus gauche à l'examen à ce moment là. OHB avec table US Navy 18m O2 pur. L'audition récupère en grande partie, persiste discret acouphène sequellaire. L'instabilité va s'atténuer très progressivement en une dizaine de jours. L'aréflexie initiale traduit la destruction vestibulaire, il s'installe progressivement une compensation centrale qui permet de négativer les signes cliniques, mais il existe bien un sequelle important au VNG au 15 ème jour (identique qq mois après).

Recherche positive d'un Foramen Ovale perméable à l'écho-cardio trans oesophagienne.

CI définitive plongée en raison des sequelles vestibulaires.

1- Accident cochléo-vestibulaire ADD oreille droite, pris en charge en retard, (aréflexie vestibulaire totale droite non compensée) , VNG au Jour 3.

2- Persistance Aréflexie vestibulaire totale droite sequellaire, avec bonne compensation centrale, VNG au Jour 15.



4- LES MANIFESTATIONS CHRONIQUES VESTIBULAIRES **DU “VIEUX PLONGEUR”:**

4-1- CADRE DE CES MANIFESTATIONS:

Il s'agit d'analyser les effets au long cours de la plongée sous-marine sur l'appareil vestibulaire.

Ne seront pas abordés les effets de l'hyperbarie sur le compartiment auditif cochléaire mais seulement sur le compartiment vestibulaire, afin de rester dans le cadre de notre exposé (en sachant que les 2 compartiments sont en relation et peuvent être lésés de façon concomitante).

Les discussions concernant les effets de la plongée au long cours sur le vestibule sont moins passionnées que celles sur la cochlée et l'audition, et ont moins fait couler d'encre!...

Par ailleurs ne seront pas traités ici les séquelles des accidents. En effet, nous étudierons dans ce chapitre exclusivement **l'état du vestibule hors accident**, en tant qu'action au long cours de la plongée. En quelque sorte c'est *l'étude du vestibule du “vieux plongeur”*.

Enfin ne seront pas étudiés les problèmes vestibulaires en plongée à saturation qui sont hors cadre de la plongée sportive.

4-2- ANOMALIES CLINIQUES ET EXPLORATIONS:

Il n'y a pas de lésions cliniques de l'appareil vestibulaire, en dehors de tout accident, chez le “vieux plongeur”.

Par contre il existe de façon significative des anomalies infra-cliniques aux tests exploratoires.

Ces tests sont les examens classiques ORL d'exploration fonctionnelle. Ils sont représentés par le ENG ou VNG (*électro ou vidéo-nystagmographie*) avec une épreuve pendulaire rotatoire sur fauteuil tournant, et une épreuve calorique calibrée d'irrigation de chaque oreille (eau froide 30° / eau chaude 44°). Ceci avec un enregistrement sous lunettes spéciales du nystagmus révélé par ces épreuves stimulatoires.

Ces tests classiques explorent surtout l'activité vestibulaire des canaux semi-circulaires. Pour compléter l'exploration de la fonction vestibulaire avec les interactions de ce système avec les autres systèmes visuel et proprioceptif, il existe des tests beaucoup moins courants tel celui de la *posturographie dynamique automatisée* à partir de *l'équitest* qui consiste à étudier (sur une plateforme mobile avec un panorama visuel l'entourant) la capacité d'un sujet à maintenir l'équilibre de son corps dans diverses conditions et à tester les afférences visuelles, proprioceptives et vestibulaires. Mais ce test se heurte à un problème d'accessibilité et à un problème de coût rédhibitoire.

Les visites d'aptitude des plongeurs professionnels et les visites de non contre indication de certains moniteurs de plongée permettent ce type de suivi.

Les anomalies vestibulaires à ces tests d'exploration fonctionnelle sont essentiellement qualitatives, et se retrouvent assez fréquemment.

Dans la mesure où les récepteurs de l'appareil vestibulaire sont soumis de façon symétrique des 2 côtés, à la même pression en plongée, il est logique de ne pas trouver de différence d'une oreille par rapport à l'autre. Il existe par contre une tendance à une

discrète hypoexcitabilité vestibulaire globale des deux labyrinthes.

Les derniers travaux réalisés à la Marine Nationale (RENON) ont permis ces constatations, au demeurant rassurantes. Ces tracés apparaissent au bout de quelques années d'exposition, ils restent stables et non évolutifs (en dehors de tout accident).

Ces anomalies ne traduisent pas de fragilité particulière, ni de risque particulier à faire un éventuel accident vestibulaire. Il faut les considérer comme banales chez le plongeur.

Seule précaution dans ce discours, c'est le problème des micro-traumatismes itératifs infra-cliniques chez les plongeurs à Trompe d'Eustache "limite" qui font des ascenseurs. Ils réalisent ainsi souvent des surpressions répétitives au niveau de l'oreille moyenne (par des insufflations trop actives lors des manoeuvres de Vasalva). Ceci est facteur de stase veineuse génératrice de perturbations dans la vascularisation locale voisine pouvant générer des épisodes d'hypoxie neuro-sensorielle cochléo-vestibulaire.

VIDEO-NYSTAGMOGRAPHIE (VNG)

épreuve vestibulaire calorique calibrée.

Technique:

Le patient est allongé, tronc et tête relevés de 30°, de façon à placer les canaux semi-circulaires externes dans un plan vertical. L'enregistrement des réponses nystagmiques va se faire derrière des lunettes de Frenzel ou mieux par masque vidéo qui va filmer l'oeil et qui reproduit sur un moniteur les mouvements oculo-moteurs. Un système informatique permet l'analyse fine des réponses.

L'épreuve consiste à irriguer successivement de façon calibrée à l'eau chaude, puis froide le conduit auditif externe droit puis gauche.

Principe:

La transmission du stimulus thermique par la masse osseuse du rocher aux canaux semi-circulaires produit un courant de convection du liquide endolymphatique contenu dans le canal considéré.

La stimulation chaude va créer un mouvement liquidien ascendant et un effet d'augmentation de l'activité vestibulaire. Au froid, c'est l'inverse avec une diminution de l'activité. Le déséquilibre entre les activités droite et gauche entraîne un nystagmus du côté opposé à la stimulation froide, et du côté de la stimulation chaude.

Résultats:

La réponse vestibulaire de chaque labyrinthe sera appréciée avec trois paramètres : réflectivité absolue, réflectivité relative, et prépondérance directionnelle, avec une représentation graphique "le vestibulogramme", décrit par FREYSS. Ce test permet d'apprécier la valeur fonctionnelle de chaque labyrinthe.

5 - MESURES DE PREVENTION ET D'INFORMATION :

5-1- PREVENTION GENERALE:

La prévention des incidents et accidents vestibulaires (ou autres) en plongée libre ou en

scaphandre autonome nécessite avant tout des précautions générales concernant la plongée et le matériel, ceci avant, pendant et après la plongée.

5-1-1- Avant la plongée:

Nous ne reviendrons pas sur l'importance des règles générales pour le plongeur telles que la condition physique, l'hygiène de vie, la visite médicale de non contre-indication et le contrôle rigoureux de la sphère ORL pour notre domaine. De même pour les règles générales sur la préparation et l'organisation de la plongée, et la nécessité d'avoir un matériel adapté...

5-1-2- Pendant la plongée:

L'adaptation des plongées au niveau réel et à l'expérience des plongeurs, ainsi qu'en fonction des conditions du milieu (au sens large) demeurent fondamentales, aussi bien en libre qu'en bouteille. Sans revenir sur le respect des tables en plongée bouteille, il faut mettre en exergue le risque des allers-retours itératifs en ce domaine.

Les ascenseurs sont globalement facteurs de problèmes; les moniteurs, les chasseurs, les élèves en exercice sont particulièrement concernés, car ce sont des facteurs de dysbarisme barotraumatique, et en cas de plongée scaphandre ils sont générateurs d'une saga de bulles.

*L'habitué des élèves dès leur initiation (baptême puis niveau 1, ou dans la pratique de l'apnée) à la descente à des manoeuvres d'insufflation tubaire douces est une clef de l'enseignement et de la prévention. *"Un Vasalva bien fait est un non violent!"* avons-nous l'habitude de répéter...

Le développement des manoeuvres passives moins dangereuses que celles dites actives doit faire partie de nos priorités de moniteurs, aussi bien pour nous que pour nos élèves.

*Dans le cadre de la plongée en scaphandre, l'apprentissage du contrôle de la vitesse de remontée demeure capital dès le niveau 1, pour créer un savoir faire et un savoir être instinctifs. Et l'acquisition de l'autonomie au niveau 2 passe bien par cette maîtrise dans des situations de pratique diverses.

Les protocoles préconisés pour cette vitesse de remontée ont considérablement évolué en 20 ans, en particulier dans la zone proche de la surface. Toujours plus lent !

Un certain nombre d'accidents de décompression de type II, jadis étiquetés immérités pouvait prendre naissance dans les comportements anciens de remontée limite.

Une étude récente intéressante (Gardette, Sainty et coll.) comparait l'effet d'une vitesse de remontée même dite normale sur la production de bulles circulantes, avec une analyse statistique (mesure par effet Doppler pulsé et en continu, et par échographie). Ceci *pour des vitesses de 17m/mn et de 9m/mn*. La vitesse pourtant à priori dans les normes (!) aurait un impact significatif sur les groupes d'âge supérieur à 40 ans et de poids supérieur à 75 kg. Profil davantage producteur de bulles, en cas d'utilisation d'une vitesse de 17m/mn. Attention, cependant que cette notion de niveau de bulles plus important ne veut pas dire corrélation forcée avec accident ! Mais cette notion reste très intéressante...

5-1-3- Après la plongée:

Une activité calme et relaxante, en évitant alcool et tabac. Une seule plongée successive par jour en bouteille, et pas d'apnées après le scaphandre. Avec le développement des transports aériens, prendre une marge minimum de 8 heures après la fin de la plongée,

Les Vertiges en plongée sportive

voire même 24 heures selon le profil de la plongée.

Toutes ces recommandations classiques, résumées, sont volontairement non exhaustives car elles sont générales. Notre but est de détailler par contre certaines réflexions et certaines recommandations plus spécifiques du sujet de notre mémoire...

5-2- LA TROMPE D'EUSTACHE DU PLONGEUR :

La Trompe d'Eustache (T.E) est une des principales clefs de la plongée. Ce fin canal en grande partie fibro-cartilagineux et au faible diamètre (de 1mm à 3mm) relie l'oreille moyenne et le rhino-pharynx. Il conditionne l'aération et la ventilation de cette oreille. L'équipression du tympan avec le milieu ambiant est permise grâce au jeu de cette T.E. Compenser consiste pour le plongeur à équilibrer la pression qui régnait à l'intérieur de cette oreille moyenne et celle régnant à l'extérieur. 80% des accidents de plongée loisir sont relatifs à l'oreille, et c'est la trompe d'Eustache qui est au centre de ces conflits !...

5-2-1-Les facteurs de perméabilité de cette trompe:

Ils sont bien connus et importants à connaître.

*Tout d'abord **la rectitude de son axe**, seulement 30% des personnes ont une trompe rectiligne et non sinueuse. L'étroitesse de *son isthme* qui représente la jonction entre portion fibro-cartilagineuse et lit osseux de cette trompe, en est le point délicat.

*Plus important, **la qualité de son appareil musculaire**, *les péristaphyllins* s'insèrent sur le voile du palais, et leur mouvement synergique va permettre ainsi l'ouverture de la trompe. Le Tenseur du voile (péristaphyllin externe) ouvre la trompe, et l'Elévateur du voile (péristaphyllin interne) dilate l'orifice de la trompe (la met en position d'ouverture).

Sur le plan développement et maturation, il existe une rotation de la T.E sur son axe longitudinal vers l'âge de 6 ans, ce qui ramène le bord inférieur de la trompe en contact avec cet Elévateur du voile qui pourra alors participer à l'ouverture tubaire. Ceci explique en grande partie les difficultés tubaires de l'enfant avant 7 ans !!!

*Encore plus important, **sa muqueuse de type respiratoire** au caractère sécrétoire et dont l'inflammation et la congestion favorisent la production de mucus.

*enfin la position de l'**orifice tubaire pharyngien** latéralement en arrière des fosses nasales au niveau du cavum (rhino-pharynx), rend la T.E très sensible à tout ce qui se passe dans le nez ! Ceci est à l'origine de l'insufflation par la manoeuvre classique de Vasalva, mais explique la sensibilité de l'oreille aux rhumes, et les éventuels problèmes en cas de trouble ventilatoire du nez (tels une déviation de cloison nasale ou une hypertrophie des cornets inférieurs de la muqueuse nasale).

On retiendra que 33% des individus seulement ont une fonction tubaire strictement normale, à chaque déglutition se produit une entrée d'air compensatrice.

38% ont une perméabilité moyenne, et 29% une perméabilité médiocre... ces derniers groupes sont des groupes à risque qui ont besoin de bien maîtriser les manoeuvres d'équipression en plongée.

5-2-2-L'exploration de la perméabilité tubaire:

Les Vertiges en plongée sportive

*En dehors de l'examen du tympan, éventuellement au microscope, de sa mobilisation au spéculum de Siegle, et de la réalisation d'une manoeuvre de Vasalva, l'examen fondamental chez le plongeur demeure sans conteste l'impédancemétrie. Cet examen pratiqué en consultation ORL courante apprécie l'élasticité du système tympano-ossiculaire, directement dépendante de l'équipression tubaire. Depuis plus de 20 ans, il est utilisé couramment chez les plongeurs.

Pendant cet examen, on peut mesurer l'impact d'un Vasalva, mais surtout obtenir un tympanogramme. Cette courbe est le résultat des variations d'impédance de l'oreille moyenne lors des variations de pression appliquées dans le conduit auditif externe. Elle donne un reflet indirect de la fonction tubaire, mais n'a pas une exhaustivité totale.

Cet examen est obligatoire chez l'enfant, dans certaines fédérations de plongée, dont la FFESSM, dans le cadre de la première visite de non contre-indication de plongée, afin de dépister certains dysfonctionnements tubaires classiques à cet âge.

La sonomanométrie tubaire serait l'examen idéal, mais c'est une exploration sophistiquée et utilisée en laboratoire expérimental.

*Enfin l'exploration des fosses nasales et des ostiums tubaires au niveau du cavum a grandement bénéficié de la fibroscopie nasale à l'endoscope souple, devenue de pratique courante et banale en consultation ORL.

5-2-3-La fonction équipressive de la trompe:

*Au repos:

Cette fonction équipressive de la T.E agit à pression atmosphérique. *L'absorption continue* par la muqueuse de l'air contenu dans l'oreille moyenne, crée une dépression de 0,3mm d'Hg par minute. Aussi il se produit toutes les 2 à 3 minutes environ un *mouvement de déglutition* qui contribue à rétablir l'équipression. Cette déglutition spontanée permet l'ouverture physiologique de la trompe, par mise en jeu des muscles péristaphyllins insérés sur le voile du palais, ce qui permet une réégalisation rapide des pressions. Nous savons que jusqu'à 7 ans, la contraction synergique de ces muscles demeure peu efficace, ce qui participe aux difficultés médicales ORL de nombreux jeunes enfants.

*En plongée, à la descente:

La compression entraîne une diminution du volume aérien. Il faut avoir recours à des procédés plus ou moins actifs d'ouverture de la trompe pour compenser en insufflant de l'air du rhinopharynx vers l'oreille. Si la descente est trop rapide, ou s'il y a un retard dans les manoeuvres, l'ouverture active de la trompe peut devenir impossible!!! (c'est le cas si le gradient de pression atteint 100mm d'Hg). La trompe tend à se collaber avec un blocage tubaire... mieux vaut remonter d'un mètre que forcer sur une manoeuvre.

Se souvenir qu'une trompe forcée est une trompe qui se vengera en devenant moins perméable.

Nous verrons plus loin les diverses manoeuvres actives et passives à notre disposition pour réaliser l'équipression (Vasalva, Frenzel, variante du Vasalva, Béance Tubaire Volontaire et diverses manoeuvres passives, et gymnastique tubaire).

*En plongée, à la remontée:

Les Vertiges en plongée sportive

Avec la diminution de la pression extérieure, on assiste à l'augmentation du volume des gaz qui sont contenus dans la cavité de l'oreille moyenne. La trompe (avec son protympanum en entonnoir) va s'ouvrir passivement vu sa conformation anatomique, elle fonctionne comme une soupape à la remontée pour évacuer l'air en excès de l'oreille moyenne vers le rhino-pharynx. Et ceci dès que la surpression dépasse 10 à 20 mm d'Hg. Mais si à la descente ou suite à divers allers-retours, la trompe a été forcée, elle aura secrétée du mucus. L'ouverture spontanée peut ne pas se produire et entraîner un barotraumatisme ou un vertige alerno-barique. Il faut alors s'aider de déglutitions pour permettre la béance, ou de la manoeuvre de Toynbee que nous verrons plus loin.

5-2-3-Prise en charge des problèmes tubaires pour la plongée:

*Les traitements médicaux:

Certains facteurs congestifs chroniques ORL peuvent être améliorés par des traitements à base de soufre (Solacy* per os, Actisoufre* en lavage nasal). L'apparition récente d'*aérosols manométriques automatiques* (A.M.S.A) permettant l'insufflation des trompes d'Eustache avec divers produits (corticoïdes locaux, mucolytiques, eau soufrée) est une utilisation très intéressante en cas de facteur de dysperméabilité transitoire.

Enfin l'usage d'un vaso-constricteur nasal peut s'envisager de façon ponctuelle juste avant la plongée en cas de problème, à condition que le sujet connaisse bien le danger de l'auto-médication avec ce type de produit.

*La chirurgie:

Le fonctionnement normal de la T.E est intimement lié à celui des organes de voisinage, en particulier les fosses nasales. Le retentissement d'une déviation de la cloison nasale sur l'oreille a été démontrée, 70% des sujets porteurs d'une déviation ont une trompe hypotonique, avec dépression endo-tympanique du côté de l'obstruction nasale. En effet de ce côté au niveau du rhino-pharynx, il se produit un régime de turbulences de l'air ventilé (régression du flux laminaire) engendrant une dysfonction tubaire du même côté.

La prise en charge par la chirurgie de ces *déviations septales de la cloison*, de même que la prise en charge plus récente des *hypertrophies des cornets inférieurs* du nez par turbinectomie chirurgicale ou par laser permettent d'améliorer un certain nombre de problèmes tubaires. Mais cela ne résout pas tout, car le problème de la muqueuse tubaire "débilitee" en particulier par l'impact des pollutions environnementales n'est pas résolue à coup de bistouri!

*La gymnastique tubaire: (voir exercices de rééducation plus loin).

C'est une véritable kinésithérapie tubaire qui nécessite un certain entrainement et qui sera plus facile chez les sujets dont la morphologie et la fonction de la T.E sont favorables (1/3 de la population) et qui pour eux leur permettra souvent une B.T.V.

Mais c'est chez les autres qu'elle sera particulièrement utile, surtout s'ils sont apnéistes, moniteurs, plongeurs confirmés plongeant dans des conditions difficiles. Ces exercices leur permettront de développer une *prise de conscience de toute la musculature vélo-pharyngée*. Cette rééducation personnelle à base d'exercices de protraction linguale, de diduction mandibulaire, et surtout de mobilisation vélaire permettra ainsi d'améliorer l'ouverture physiologique tubaire.

5-3- PREVENTION SPECIFIQUE :

L'éducation spécifique tubaire du plongeur bouteille et de l'apnéiste, et l'éducation de la maîtrise des profils de remontée en scaphandre sont des priorités.

5-3-1-Gestion des Manoeuvres Tubaires actives et passives:

Nous aborderons tout d'abord les manoeuvres plus ou moins actives, c'est à dire qui insufflent en pression la trompe, puis celles passives, utilisées à la descente.

*La manoeuvre de Vasalva, est la plus connue, facile à enseigner en première intention, elle n'est pas dénuée d'inconvénients pour l'oreille moyenne et interne, voire de risques d'hyperpression thoracique si elle est réalisée à la remontée (pouvant faciliter l'ouverture d'un shunt type F.O perméable), ce qui est non seulement illogique mais totalement aberrant !!! Nous ne reviendrons pas sur sa technique très vulgarisée, si ce n'est pour répéter qu'un Vasalva bien fait est un "non violent" !!!

Des Vasalva répétés favorisent une turgescence et congestion des tissus naso-pharyngés, ce qui induit la nécessité d'une pression de plus en plus grande pour ouvrir la trompe au fur et à mesure de la répétition des manoeuvres.

L'existence d'un shunt type F.O est à notre avis une interdiction à des manoeuvres forcées tubaires, en particulier en deuxième partie de plongée.

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

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

Cette technique a l'avantage de ne pas nécessiter la pince des doigts, ce qui est utile quand les mains sont occupées (comme pour les moniteurs, les photographes, certains scaphandriers), et cette manoeuvre n'entraîne pas d'hyperpression thoracique, et réduit notablement les risques d'hyperpression tubo-tympanique.

Nous enseignons cette méthode depuis 20 ans avec de bons résultats (c'est en raison de problèmes personnels otitiques de l'enfance que nous avons été sensibilisé à ce dossier et que nous avons adopté cette solution).

*Les méthodes dite passives d'équipression suppriment toute surpression active et dangereuse. La finalité idéale (possible seulement pour 1/3 de la population !) étant d'avoir une trompe ouverte sans hyperpression (et donc une béance quasi constante confirmée par la sensation d'autophonie si particulière).

De la déglutition simple, aux contractions isolées du voile, de la protraction de la mandibule au baillement, cette prise de conscience de la musculature vélo-pharyngée conduit à la Béance Tubaire Volontaire initiée par DELONCA. De nombreux plongeurs n'arrivent pas à la pratiquer, et un certain nombre la réalise de façon intuitive.

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

position favorable d'ouverture). Elle va permettre par ailleurs à un plus grand nombre de plongeurs de pratiquer des manoeuvres passives. Ces techniques de rééducation ne sont presque pas connues dans le milieu plongée.

Depuis 10 ans nous utilisons ces techniques de rééducation dans notre pratique médicale ORL et l'enseignons, et nous avons commencé depuis quelques années à les diffuser...

*La manoeuvre de Toynbee, pour la remontée. Elle consiste en une déglutition et une inspiration nasale, nez pincé. Elle crée une dépression au niveau du rhino-pharynx qui favorise l'aspiration de l'air en excès contenu dans l'oreille moyenne. C'est en quelque sorte l'inverse du Vasalva. Cette technique est utile dans certaines situations lors de la remontée tel un vertige alerno-barique, ou pour quelques rares plongeurs.

5-3-2-Exercices de Gymnastique tubaire:

Le but de ces exercices est donc une meilleure prise de conscience des manoeuvres passives d'ouverture tubaire qui en tonifiant les muscles de la trompe d'Eustache vont en faciliter l'ouverture. Et par ailleurs, cela va permettre une meilleure perception proprioceptive de la musculature vélo-pharyngée. Ces exercices sont préconisés chez de nombreux plongeurs aussi bien en libre qu'en bouteille.

Ces exercices se font devant une glace au début, tête un peu relevée, les doigts placés en pince sur la gorge, environ 1 cm au dessus de la pomme d'Adam, au niveau de la *zone de l'os hyoïde*. Ce dernier se mobilise à la déglutition.

1- Exercices de langue:

il s'agit de mobiliser la base de langue. Exercices bouche ouverte puis bouche fermée.

- "Alternativement tirer la langue le plus en avant possible, comme pour toucher le menton, puis la rentrer et la pousser le plus possible en arrière et en bas, en laissant la pointe de la langue sur le plancher de la bouche"

- "Balayer le palais et le voile du palais: pour celà, placer la pointe de la langue derrière les incisives supérieures et racler d'avant en arrière le palais comme pour l'essuyer, en essayant de toucher la luvette".

2- Exercices du voile du palais:

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

On a recours à un mouvement de déglutition incomplet et s'arrêtant au stade de contraction du voile du palais, sans déglutition de salive. Commencer par des exercices exagérément lents pour bien sentir les sensations avant de réaliser des contractions du voile rapides et successives qui sont les plus efficaces pour ouvrir la trompe d'Eustache..

-Donc " ébaucher un mouvement de déglutition sans avaler en essayant de creuser le voile et de relever la luvette".

Le contrôle de l'efficacité se fait en contrôlant le déplacement de l'os hyoïde.

3- Exercices de la Mâchoire inférieure:

Ceci bouche ouverte et puis fermée.

- "Avancer et reculer le plus possible la mandibule".

- "Mettre celle-ci alternativement à droite et à gauche".

Les Vertiges en plongée sportive

4- Exercices Langue + Voile du palais:

D'abord bouche ouverte puis bouche fermée.

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

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

5- Exercices Mâchoire inf. + Langue + Voile du palais:

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

- @ la 1ère semaine, faire chaque jour bouche ouverte puis fermée:
5 fois minimum les exercices 1 et 3 et 10 fois minimum les exercices 2.
- @ la 2ème semaine, faire chaque jour 10 fois min. les exercices 4.
- @ la 3ème semaine, faire chaque jour 10 fois min. les exercices 5.
- @ la 4ème semaine, faire chaque jour 10 fois les exercices 2, 4, et 5.

5-3-3-Gestion des Remontées en plongée scaphandre:

Nous avons déjà insisté sur l'importance de l'apprentissage puis de la maîtrise de ces protocoles de remontée dans les cursus de plongeurs en bouteille.

@Faisons un retour en arrière sur **l'évolution des protocoles de remontée**:

En effet, si on parle souvent de l'évolution des tables, devenues plus conservatrices en particulier pour s'adapter à des populations de plongeurs de plus en plus variées (enfants, individus non sportifs, personnes âgées...), et pour minimiser encore plus les risques (accidents immérités?), il est intéressant de revoir en un coup d'oeil une évolution de plus de 20 ans sur la vitesse de remontée.

*Le protocole préconisé pour cette vitesse a beaucoup été modifié depuis les tables du GERS de 1965, et en particulier modifié près de la surface.

En plongée professionnelle, Ministère du Travail, passage des tables 74 type Comex pro de 15m/mn à celles de M.T 92 avec vitesses entre 9 et 15m/mn (12m/mn dans le calcul des tables).

En plongée sportive passage d'une vitesse conseillée de 17m/mn (20m/mn à ne pas dépasser), à 17m/mn impératif en 1990 avec les MN 90 ou plutôt entre 15 et 17m par mn à partir de 1994. Puis en 1996 ce mode d'emploi a été actualisé, en précisant que cette vitesse ne devait en aucun cas être supérieure à 17m/mn jusqu'au premier palier (et pour les calculs dans le cadre des examens fédéraux la FFESSM a tranché en demandant de choisir 15m/mn), enfin et surtout qu'entre les paliers et jusqu'à la surface la vitesse était de 6m par minute (en clair 30 secondes pour passer d'un palier à l'autre ou à la surface) donc des vitesses très lentes près de la surface.

Les Vertiges en plongée sportive

Le développement des ordinateurs avec vitesses parfois variables dans les procédures de remontée, l'utilisation de vitesses globalement lentes (10m à 12m par mn pour principe BÜHLMANN) à inclure dans le temps de plongée, sont des éléments qui vont dans la même idéologie.

*Si la procédure concernant une remontée rapide (plus de 15 à 17 m/mn) est bien codifiée depuis longtemps, il faut noter qu' au départ l'esprit de cette procédure était faite pour des situations de vitesse vécue comme rapide (remontée PA mal contrôlée, divers exercices de sauvetage, remontée sur problème technique d'air).

Alors qu'en réalité, il faut bien insister sur l'application de cette procédure pour des situations plus fréquentes que ne le croit la majorité des plongeurs. Une vitesse maximale, c'est une vitesse précise ! De ce fait, nous faisons partie de ceux qui apprécient réellement *les alarmes de vitesse de remontée* (alarmes visuelles et sonores) sur timers ou sur ordinateurs. Elles avertissent immédiatement le plongeur qui stoppe son mouvement. C'est certainement un des grand progrès (pourtant bien banal sur le plan technique) dans la prévention des accidents de décompression, et à notre avis c'est très intéressant pour la prévention des Add vestibulaires. De plus, les modèles adaptatifs d'ordinateurs prennent en compte théoriquement ce type d'anomalie de procédure. Ce qui est intéressant pour des "delta" brefs de vitesse de remontée dépassant la vitesse préconisée.

D'autre part, il est à noter qu'il n'existe pas de protocole actuel officiel en cas de remontée rapide entre paliers ou du dernier palier à la surface (plus de 6m/mn) !!!

Quoique de nombreux plongeurs appliquent dans cette situation la procédure de palier interrompu. Il serait souhaitable que la CTN donne son avis sur ce sujet...

L'on sait par contre que si la remontée globale est trop lente, il faudra majorer la durée de la plongée de la durée de la remontée lente. C'est d'ailleurs la procédure qu'applique systématiquement pour la remontée les divers modèles utilisés par les ordinateurs de plongée.

L'étude citée (chapitre 5-1) sur le parallélisme entre niveau de bulles et vitesse de remontée (même dans les normes à 17m/mn et à 9m/mn) dans certains groupes d'âge et de poids plaide plutôt sur une réflexion à faire sur un ralentissement de ces vitesses pendant la phase finale de remontée (10 à 15 derniers mètres)...

@Réflexions sur **la génèse des bulles et les plongées yoyo:**

Les plongées avec descentes et remontées itératives (dites yoyo) sont à éviter. Les profils en dents de scie sont bien à considérer comme à haut risque, en particulier en deuxième partie de plongée. Ceci est une situation en exercices techniques, et dans certaines activités telles que la photo et la vidéo. Ce qui est maintenant devenu un dogme, a mis du temps à s'imposer. Regardons en arrière sur notre passé de moniteur en situation d'exercices... Que ne faisons nous pas?

Deux notions sont à retenir sur ce type de plongées:

*les allers-retours itératifs vont entraîner la réalisation de manoeuvres souvent type Vasalva à chaque redescente. Nous savons la fatigabilité tubaire qui s'ensuit, et le besoin

Les Vertiges en plongée sportive

qu'ont alors certains plongeurs de forcer réellement , et là on a bien parfois des *facteurs d'hyperpression thoracique sur des Vasalvas forcés* (qui n'existent pas sur un Vasalva banal). Nous avons vu le risque par rapport à un shunt potentiel pulmonaire (quand le filtre pulmonaire est dépassé) ou un shunt cardiaque type Foramen Ovale, en particulier si cela se passe en deuxième partie de plongée, encore plus si la plongée a été fatigante, encore plus si c'est une successive, encore plus après une plongée saturante...

*les allers-retours itératifs sont *générateurs de bulles* . Depuis les travaux de SPENCER et la détection de bulles par effet écho-doppler, nous connaissons cette notion de bulles silencieuses veineuses circulantes, initialement non pathogènes.

Des situations comme les plongées yoyo (d'autant plus s'il s'associe des Vasalva intempestifs !) sont des conditions in vivo faisant que des "germes" peuvent se créer au sein même de la phase gazeuse lors des variations brutales de pression.

Un exemple pour mieux appréhender cet effet est celui bien connu des turbulences d'une hélice dans l'eau. Les amorces de noyaux gazeux se nourrissent alors des gaz dissous pour créer des petites bulles ("engraissement " des noyaux). Ces *phénomènes de nucléation et de cavitation* (travaux de MASUREL et coll.) sont des pistes visant à appréhender les mécanismes intimes qui font que les bulles se créent.

@Réflexions sur l'évolution du modèle Haldanien.

Il n'en reste pas moins et nous le savons bien, qu'aucun modèle mathématique actuel ne peut prétendre représenter parfaitement tous les mécanismes physiologiques de la décompression, et donc l'évolution complexe de la saga du (voire des) gaz inerte dans l'organisme. C'est la validation statistique de tel ou tel profil, ou de tel ou tel algorithme qui fait qu'une procédure est bonne.

Notre vieux modèle Haldanien de début du siècle (avec son modèle par perfusion, ses notions de compartiments, de périodes et de seuils) a toujours de beaux jours devant lui, malgré ses insuffisances, pour modéliser cette fonction de charge et de décharge. "Même si l'on peut dire qu'Haldane s'est trompé", la presque totalité des tables actuelles et des algorithmes des ordinateurs reposent au départ sur ce modèle.

Des regards et des hypothèses complémentaires ont été apportés, avec les travaux d'HEMPLEMAN (avec la notion de modèle par diffusion), de WORKMAN ("M values" avec notion de seuils variables pour un compartiment donné selon la profondeur), de SPENCER (avec cette notion fondamentale de "bulles silencieuses" malgré le respect des protocoles), de CLEMENT (établissement d'équations de stabilité des bulles circulantes à partir modèles perfusion et diffusion), de BÜHLMANN (avec seuils variables coefficient A et B, et tables spécifiques en altitude), de MELIET (proposition d'un modèle type sigmoïde et non plus exponentiel). Ces modifications des bases haldaniennes proposées au cours du temps visent à améliorer les critères de remontée.

Une approche actuelle probabiliste du phénomène est en train de se réaliser à grande échelle dans le cadre de la plongée loisir, pour établir les relations entre les caractéristiques des bulles silencieuses et la vitesse de remontée (DAN international).

Effet Doppler et échographie pour détecter les bulles sanguines circulantes

les bulles sont mises en évidence dans le flux veineux , le plus souvent au niveau du ventricule droit, et les signaux de dégazage sont classés en 5 degrés de niveau (30% de risque d'Add pour un degré 4, et risque quasi nul pour un degré 1). Selon le code de Spencer, on classe:

degré 0 : absence totale de bulles *degré 1* : quelques signaux de bulles
degré 2 : signaux de bulles isolés ou groupés dans moins de la moitié des cycles cardiaques

degré 3 : tous les cycles cardiaques contiennent des signaux de bulles, mais sans couvrir les bruits normaux du coeur

degré 4 : les signaux de bulles couvrent en continu les bruits normaux

Les V

Malgré la grande souplesse du concept Haldanien, même modifié et amélioré, il importe de bien ancrer chez nos plongeurs avec la plus grande vigueur, que certaines profils de plongée, les yoyo répétitifs en particulier, sont en inadéquation avec la modélisation des tables !

5-3-4-Les Dix Commandements de l'oreille du plongeur:

Pour ménager ses oreilles, dix conseils en résumé...

- 1- Tu ne plongeras jamais enrhumé, ceci demeurera une règle.
- 2- Tu commenceras à compenser dès le canard, et ensuite de façon régulière. Et tu apprendras à pratiquer la variante du Vasalva.
- 3- Tu ne forceras jamais en faisant tes manoeuvres d'équipression. Un Vasalva bien fait est un "non violent".
- 4- Tu remonteras d'un mètre plutôt que forcer sur un Vasalva. Une trompe forcée est une trompe qui se venge en devenant moins perméable.
- 5- Tu ne toléreras pas la moindre gêne ou douleur. Apprends à déglutir avant chaque insufflation. Apprends à souffler régulièrement par le nez dans ton masque en descendant.
- 6- Si besoin, tu descendras tête en haut plutôt que tête en bas. Ceci te permettra de limiter la congestion de ta face et donc d'améliorer la perméabilité de ta région tubaire.
- 7- Les gants pourront être ton ennemi, en gênant une pince précise du nez pour tes manoeuvres.
- 8- Tu ne feras de Vasalva qu'à la descente. A la remontée, un arrêt et de simples déglutitions t'aideront en cas de problèmes tubaires.
- 9- Tu penseras à éduquer ta trompe d'Eustache. C'est la clef de la réussite. Encore faut-il s'entraîner.
- 10- Information et entraînement sont les meilleurs garants pour toi afin de pratiquer la plongée en toute quiétude pour tes oreilles.

Janvier 2000.

BIBLIOGRAPHIE :

- BELLIATO R., RENON P., CASANOVA M., PENY C.: L'audition des plongeurs. Méd.Sub.Hyp., 1988, 7, 29-45.
- BIZEAU A. : L'appareil vestibulaire du plongeur sous-marin. Thèse Méd. Lyon, 1988.
- BLANCHARD J.L.: Des idées nouvelles sur la décompression. Rev. Subaqua, 1998, 159, 42-49.
- CALVET H., SERRANO E., PESSEY J., LACOMME Y.: Vertiges et Plongée. Rev.Laryngo., 1992, 113, 15-19.
- CUDENNEC Y.F., TRANNOY P.: Otopathies dysbariques, E.M.C. d'ORL, 1993, vol.2, 180-184.
- DAULY A., BEAUVILLAIN DE MONTREUIL C.: La rééducation tubaire. Collect. d'orthophonie, éd. Masson, 1992.
- DELONCA G., SERRES P., DELONCA P. : Etude de la tympanométrie chez les plongeurs Comm. congrès fr. ORL, éd. Arnette. 1976, 57-63.
- DELONCA P. : La pathologie ORL de la plongée sous-marine; Thèse Méd. Nice, 1984.
- DI MEGLIO F.: Le vertige alterno-barique en plongée. Sport Méd., 1998, 107, 31-32.
- DI MEGLIO F.: Les Accidents d'oreille interne en plongée sportive. Sport Méd. , 1998, 107, 28-30.
- DI MEGLIO F.: La Trompe d'Eustache et la plongée, Exercices de gymnastique tubaire. Communication Sté française de Médecine de plongée SOFRAMEP, 1999 (à paraître).
- DI MEGLIO F.: La Trompe d'Eustache du plongeur. Sport Méd., 1998, 107, 25-27.
- DI MEGLIO F.: Les accidents d'oreille interne en plongée sous-marine. Rapport table ronde internationale médecine de plongée. Congrès océan indien ACOI, Mauritius, 1998, 65-76.
- DUVALLET A., MERVILLE A.: Le syndrome de Ludgren, un vertige trop fréquent chez le plongeur amateur. Méd.Sub.Hyp., 1985, 4, 41-50.
- FLORENTIN J.L., BONETE D., KOSSOWSKI M. : Accidents de décompression d'oreille interne, recherche d'un Foramen Ovale perméable. Journal français d'ORL, 1988, 47, 3, 147-150.
- GARDETTE B., SAINTY J.M et coll.: Ce qui favorise les bulles, Apnea, 1997, 88, 11-13.
- GRANDJEAN B. : Foramen Ovale et Accident de décompression. Communication 1999 congrès Commission Médicale FFESSM, Paris, déc.99.
- JAILLAIS P., LALANNE E., DUCASSE J.L.: Foramen Ovale perméable et plongée sous-marine en scaphandre autonome. Commission médicale FFESSM, Infomed, 1996, n°6, 79-83.
- JUVENSPAN H., THOMAS C.: Plonger aux mélanges. Plongée Technique , éd. Eugen

Ulmer, 1997.

KOVALSKI J.L.: L'oreille interne et la plongée sous-marine. Thèse Méd. Bordeaux, 1982.

KUMAZAWA T., HONJO I., HONDA K. : Aerodynamic pattern of eustachian tube dysfunction. Arch. Oto-Rhino-Laryng., 1977, 215, 317-323.

LUNDGREN C.: Alternobaric vertigo, a diving hazard. British Med. J., 1965, 2, 511-513.

MAGNAN J., FREYSS G. CONRAUX C. et coll. : Troubles de l'équilibre et vertiges. Rapport Congrès société française d'ORL, 1997.

MELIET J.L.: Haldane s'est-il trompé?. Commission médicale FFESSM, Infomed, 1995, n°5, 25-37.

MELIET J.L.: Eléments de Médecine de la plongée (Marine Nationale), MedSubHyp., 1989, 8, 1.

PERRIN C.: L'Homme et ses espaces (limites de l'équilibration). P.U Nancy, 1991.

PERRIN C. : Mal des transports ou cinétose. Rev. Prat., 1994, 44,3, 350-353.

PERRIN C., CONRAUX C, COLLARD C., FREYSS G.: L'équilibre en pesanteur et en impesanteur. Rapport Congrès Société française d'ORL, Arnette, 1987.

SENECHAL G., HERVE S.: Le mal de mer. Rev. sté française d'ORL, 1999, 54,2, 9-14.

RENON P. JACQUIN M., DELONCA G. : Physiologie de l'oreille et plongée. Physiologie et médecine de la plongée (coord. B.BROUSSOLLE), éd. Ellipses, 1992, 219-225.

RENON P., JACQUIN M.: Accidents barotraumatiques de l'oreille. Physiologie et médecine de la plongée (coord. BROUSSOLLES B.), éd. Ellipses, 1992, 277-285.

RENON P., LORY D., BELLIATO R., CASANOVA M.: Les Accidents de décompression de l'oreille interne lors de la plongée sous-marine. Ann.Oto-Laryngo., 1986, 103, 259-264.

RENON P., ANGOT A., SUC B.: Conceptions pratiques des accidents de l'oreille interne chez les plongeurs. Méd. Aéro.Spat., Méd.Sub.Hyp., 1980, 19, 95-100.

RIU R., FLOTTE L., BOUCHE J., et coll. : La physiologie de la trompe d'Eustache. éd. Arnette, 1966.

SEMONT A., COURTAT P. : La nouvelle approche d'un trouble de l'équilibration. Monographie du CCA Wagram, 27, 1999.

SENECHAL G., HERVE S.: Le mal de mer. Rev. sté française d'ORL, 1999, 54,2, 9-14.

SULTAN A., BISS R. : Précis d'impédancemétrie, Sté d'otologie pratique,éd. SOP, 1977.

TOUPET M. : Physiopathologie des vestibulopathies dysbariques de la plongée sous-marine. revue d'Oto-Neuro-Ophtalmo., 1992, 18, 7-9.

TOUPET M., TEPPA H., JACQUIN M.: Récapitulation de la sémiologie, l'exploration fonctionnelle et la thérapeutique des vestibulopathies pressionnelles. Revue d'OTO, 1992, 18, 10-17.

TRAN BA HUY P., de WAELE C.: Les vertiges et le praticien. Collection pathologie-sciences Flammarion; éd. J.L eurotext, 1996.

WOLKIEWIEZ J. : Traitement des accidents de décompression de la plongée de loisir. 2ème conférence européenne de consensus, 1996, 159-172.