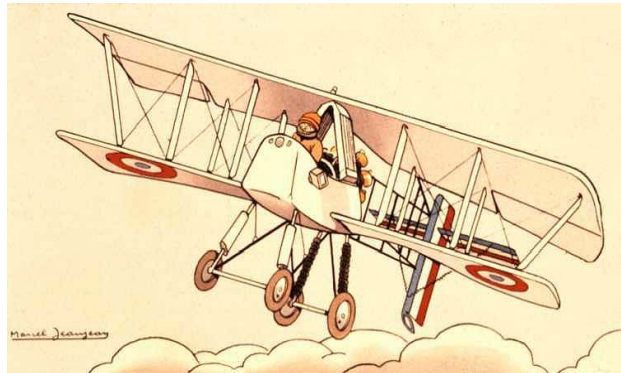


PHYSIOLOGIE HUMAINE ET FACTEURS HUMAINS EN AVIATION

La **physiologie** tente de comprendre le mécanisme de fonctionnement de nos organes. Les **facteurs mécaniques** sont les causes d'incidents aéronautiques en rapport avec un dysfonctionnement de la machine, qu'il soit d'origine cellule ou groupe motopropulseur. Les **facteurs humains** sont les causes d'incidents aéronautiques en rapport avec une action erronée de pilotage, une erreur de jugement, une imprudence, un manque de vigilance ou une mauvaise interprétation d'une sensation physiologique perçue par son corps dans un espace à trois dimensions. C'est ce dernier point qui sera traité ici car il relève de la médecine aéronautique, les autres points relevant plus de l'instruction. Il peut également s'agir d'une erreur humaine dans le domaine de la maintenance ou du contrôle aérien.



LA FONCTION EQUILIBRE ET LA DESORIENTATION SPATIALE

Lorsque, dans un vol en formation, l'équipier a les yeux rivés sur son leader, il lui reste peu de temps pour focaliser son regard sur ses instruments et ses repères extérieurs. Il n'alimente pas son cerveau en informations visuelles actualisées et, s'il n'y prend garde, l'ordinateur sophistiqué qu'est son cerveau va rapidement manquer de l'un de ses canaux principaux de la régulation de l'équilibre et commettre un bug. L'avion du leader ne se comporte en aucun cas comme un indicateur d'assiette et lorsqu'on le perd des yeux, il faut un certain temps et un réel effort de volonté pour se réorienter à partir de ses instruments et de ses repères – sol. Un environnement de petits nuages, la proximité du relief et l'alternance de zones visuelles claires ou sombres qui défilent à grande vitesse peuvent créer des sensations puissantes de mouvements relatifs qui, en réalité, n'existent pas.

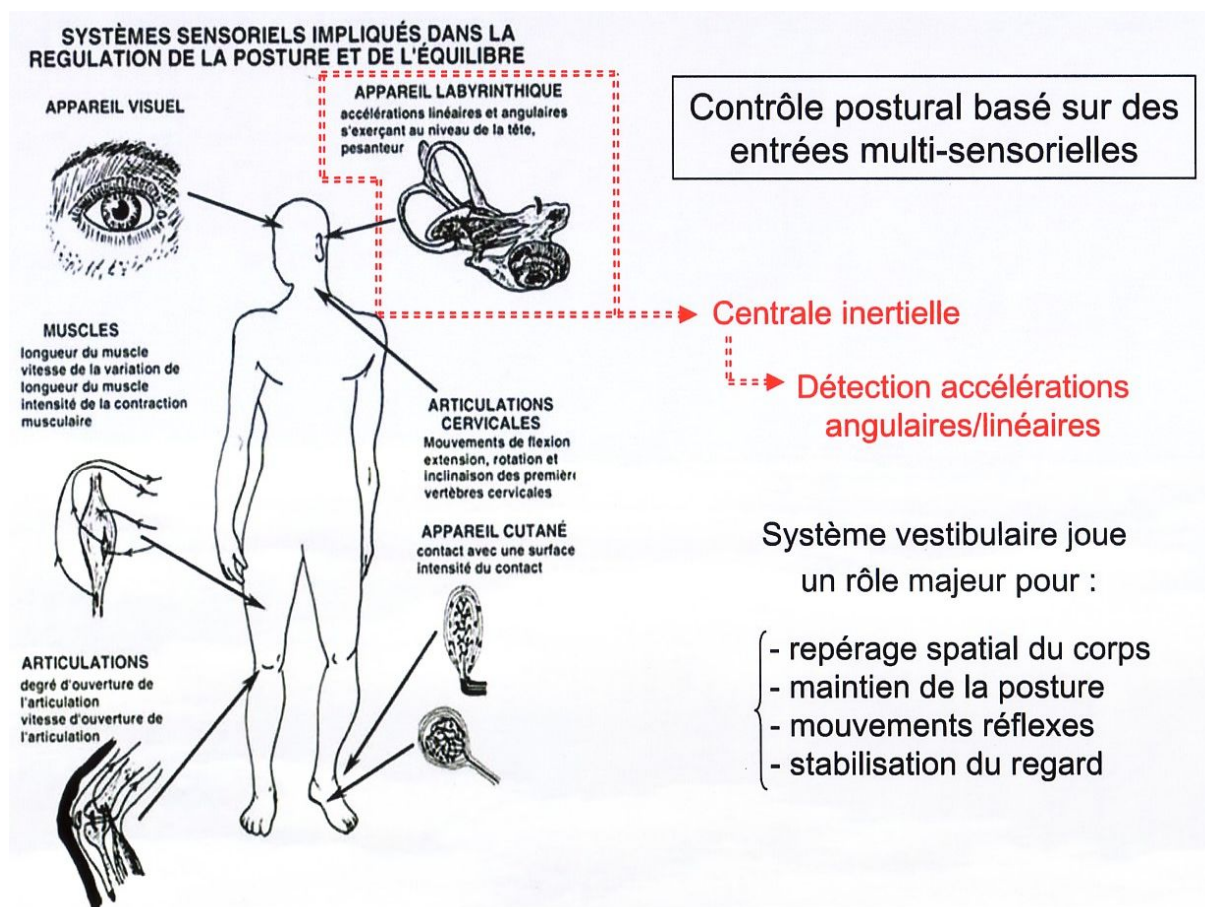
La coutume veut qu'il y ait cinq sens. Avec l'équilibre, il y en a six. Nous l'avons tous expérimenté tout au long de notre vie. Dès les premiers pas mal assurés du bambin qui utilise ses bras comme des balanciers pour se stabiliser dans l'acquisition de la marche élémentaire à la position du tronc jeté en avant dans les premières compétitions d'athlétisme scolaire jusqu'à l'inquiétude qui s'empare du plongeur lorsque la flaque de lumière de la surface s'estompe lui faisant perdre son dernier repère de mammifère bipède.

L'équilibre de notre corps dans l'espace n'est pas inné. Il s'acquiert expérience après expérience, années après années. Chaque position de notre individu dans l'espace tridimensionnel qui est le nôtre, déclenche des stimulations spécifiques qui sont enregistrées sur la carte mémoire de notre cerveau pour correspondre à des attitudes connues et répertoriées. Lorsque les informations parvenues à notre poste de pilotage cérébral ne correspondent pas à un schéma référencé, il y a déclenchement d'un vertige.



L'ÉQUILIBRE STATURO-PONDERAL, COMMENT CA FONCTIONNE ?

Le mécanisme est assez complexe car il associe des organes spécifiquement équilibrateurs à des capteurs sensoriels. Un capteur – un moyen de transport – un centre de traitement de l'information.



A) Des entrées multi sensorielles participent au contrôle postural : le système proprioceptif.

- Les **yeux** informent en permanence notre cerveau sur la position de notre tête par rapport à des objets fixes ou en mouvement ou par rapport à la distance au sol, à la longueur de piste restante ou au changement de couleur d'un voyant de sécurité.
- La **peau** de notre corps est couverte de **récepteurs** sensibles à la pression qui sont stimulés par la simple influence des modifications de la gravité. Lors du décollage, l'accélération de la machine stimule ceux qui sont placés dans le dos et, lorsqu'on tire le manche, ce sont les fesses qui enregistrent une augmentation du poids relatif.
- Les **articulations de la colonne cervicale** encaissent les résultantes des forces qui s'exercent sur la tête laquelle a tendance à être rétro pulsée.

Toutes ces informations sont véhiculées au cerveau en temps réel et traitées sans qu'on ait besoin d'y prêter attention. C'est la fonction du système nerveux végétatif. La pratique régulière de l'aviation de loisir permet de donner au cerveau un complément de bases de données sensorielles - issues de la pratique d'un déplacement en 3 D - qu'il aura apprivoisées et considérées alors comme connues, intégrées dans un schéma normal et ne devant donc générer aucune angoisse.

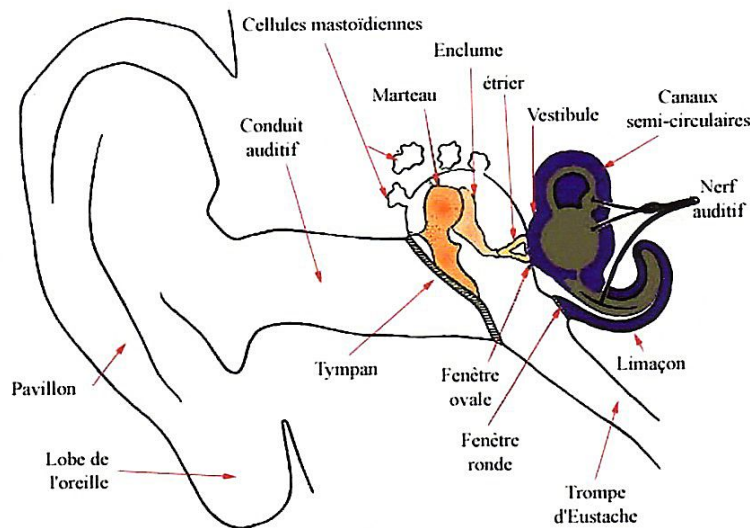
Ces sensations sont répertoriées dans son cerveau à la manière d'un programme logiciel auquel le cerveau se réfère comme d'une situation connue.

L'épaisseur des pages, bien remplies, d'un carnet de vol ne présente d'intérêt, en dehors de bonheurs répétés, que par la somme des situations de vols rencontrés qui ont déclenché des mécanismes physiologiques d'adaptation aux situations inusuelles. Beaucoup de vieux pilotes n'ont pas besoin de consulter leur Badin pour savoir s'ils peuvent décoller ; ils le sentent « aux fesses ».

A côté de ces milliers de capteurs sensoriels qui renseignent en permanence notre cerveau sur la position de notre corps dans l'espace – le **système proprioceptif** – il existe un appareil spécifiquement postural qui renseigne notre cerveau sur la position de la tête et de ses mouvements dans l'espace

B : le système vestibulaire.

1. *L'oreille interne contient notre gyroscope ; c'est le système vestibulaire, « tour de contrôle » de notre système d'équilibre*



a) Anatomo-physiologie...

Nous avons en fait deux oreilles de chaque côté de la tête !

« L'oreille qui entend » ou **cochlée** encode les stimulations vibratoires des sons pour les transformer en un message électrique et « l'oreille qui équilibre » ou **vestibule**, comme une centrale inertielle, va détecter les positions statiques et les accélérations linéaires et angulaires. Anatomiquement, ces deux appareils sensoriels aux fonctions très distinctes, sont logés dans le même espace, le labyrinthe et les nerfs qui en

sortent sont unis dans le même faisceau, le nerf auditif.

Le labyrinthe est un joyau de technologie de pointe, miniaturisé au point qu'il a fallu les miracles du microscope électronique pour tenter d'en comprendre le mécanisme et qu'il reste beaucoup à découvrir.

Morphologiquement, il se compose de deux parties :

- Trois canaux semi circulaires,
- L'utricule et le saccule.

Les **trois canaux semi circulaires** peuvent être comparés à trois tubes en U disposés dans les trois plans de l'espace et disposant d'une ampoule à l'un de leurs ancrages. Une fine membrane, dans l'ampoule, va enregistrer les accélérations mais plus le mouvement une fois stabilisé. Le mécanisme paraît simple...

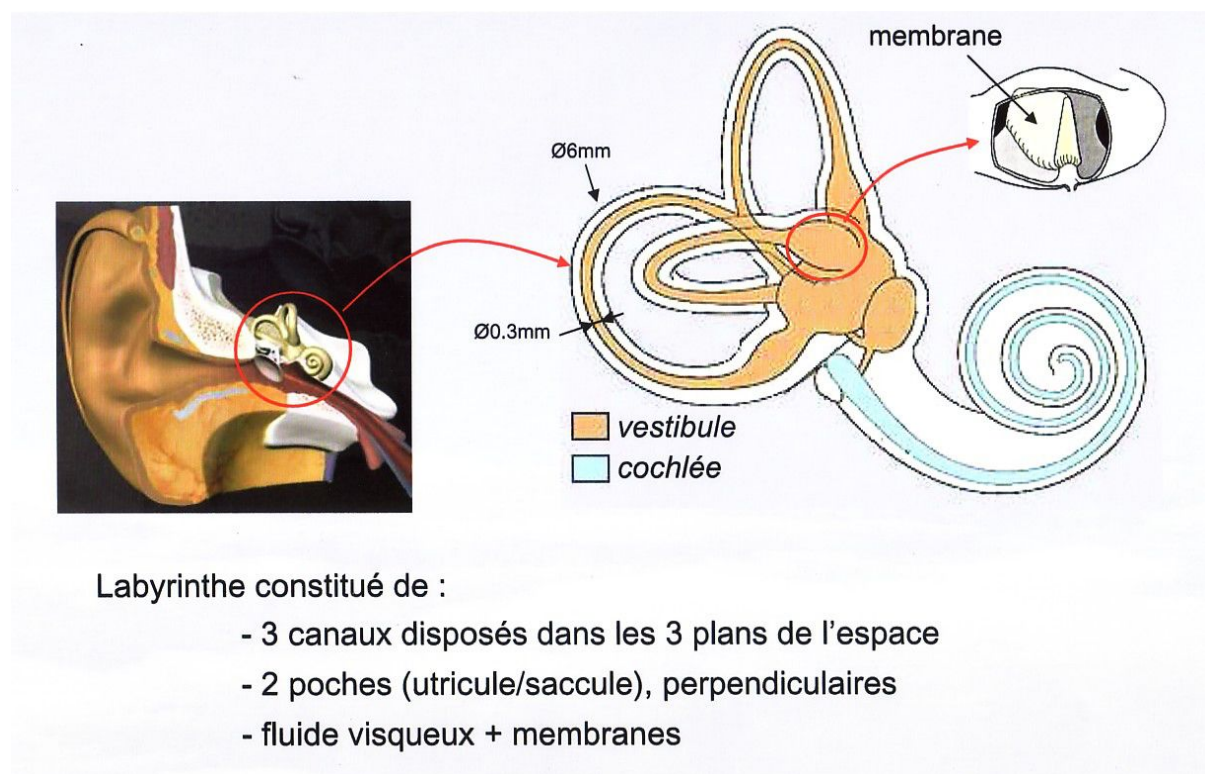
Si on met un fluide huileux dans une chambre à air et qu'on la fait tourner sur son axe, le liquide va avoir tendance à s'écouler dans le sens inverse de la rotation. Si on met une membrane partiellement obturatrice dans le tuyau, celle-ci sera déviée au maximum en début de mouvement puis, l'accélération stoppée et le mouvement stable, retrouvera une position de base. L'importance de la déflexion de la membrane témoigne de l'intensité de l'accélération. La résultante électrique de la stimulation des trois canaux semi circulaires – donc des trois plans de l'espace – est transmise au cerveau par voie nerveuse. Si l'on tient compte de l'existence de l'oreille interne controlatérale, il y a information « double » ou « en miroir » des centres nerveux supérieurs. Le déséquilibre qui proviendrait de messages nerveux non symétrique produit le vertige.

Les canaux semi-circulaires sont donc des capteurs dynamiques ou du mouvement.

L'**utricule** et le **saccul**e sont deux poches perpendiculaires l'une par rapport à l'autre que l'on pourrait comparer à deux œufs. En position verticale et statique, le « jaune » repose sur la base de la coquille et stimule les récepteurs qui tapissent la paroi interne du « fondement » de « l'œuf ». En position verticale dynamique, lors d'un mouvement de translation horizontal stabilisé, le « jaune » se retrouve collé à l'un des « flancs » de la coquille. En « marche arrière », il se retrouve à l'avant de son réceptacle. Comme l'utricule et le saccul ont des positions à 90° les informations qu'ils fournissent sont complémentaires. Là aussi, un nerf appelé le nerf auditif – car il véhicule également le message sonore transmet la dépolarisation électrique correspondante vers une aire cérébrale spécifique. Celle-ci est nerveusement reliée aux autres postes de commandement neurovégétatifs.

L'utricule et le saccul sont des capteurs statiques ou de position.

Ces deux systèmes, canaux semi-circulaires et utricule et saccul, statiques et dynamiques, renseignent en permanence notre cerveau sur la **position et les mouvements de notre tête** dans l'espace. La vie d'un individu normal se déroule, d'ordinaire, en deux dimensions et rares sont ceux qui évoluent de façon fréquente en 3D. C'est la raison pour laquelle la prise en compte de ce paramètre n'a été que peu stimulée durant les phases d'acquisition primitives de l'enfance.



Labyrinthe constitué de :

- 3 canaux disposés dans les 3 plans de l'espace
- 2 poches (utricule/saccul), perpendiculaires
- fluide visqueux + membranes

Au cours d'un vol, l'organisme est soumis, lors des mouvements de l'avion, à des fortes accélérations, d'inertie ou de pesanteur dont la résultante est changeante en direction et en intensité par rapport au vecteur de la pesanteur terrestre. Cette variation apparente du champ de pesanteur terrestre au cours des mouvements de l'appareil peut entraîner :

- Une mauvaise perception de la position du corps dans l'espace,
- Le déclenchement de réflexes vestibulo-oculaires (les yeux partent dans tous les sens dans un nystagmus incontrôlable...)
- Le déclenchement de réflexes posturaux (crispations ou contractures...)
- Et si la stimulation est intense et de longue durée, mal des transports ou **cinétose**.

La meilleure façon de se prémunir de ces complications est l'entraînement, un bon état de l'attention dans ces phases de vols difficiles et quelques heures de VSV. Sinon, gare aux illusions sensorielles d'origine vestibulaires.

b) Les illusions sensorielles d'origine vestibulaire : petite revue de ce qui peut nous arriver....

Ces pathologies sont susceptibles de se manifester en l'absence de repères visuels stables identifiés. Cette liste n'est pas exhaustive : elle ne demande qu'à être complétée...

Les illusions d'inclinaisons se produisent lorsque l'appareil se met lentement en inclinaison et que le pilote redresse brutalement son assiette de roulis. Revenu brutalement à 0° d'inclinaison, il aura l'impression de pencher du côté inverse. Il en va de même après une reprise lente de l'assiette qui fait suite à une forte turbulence ayant mis l'avion en inclinaison. Le pilote aura alors l'impression de ne pas avoir repris suffisamment son horizontalité.

Les illusions somatograviques surviennent lors des accélérations linéaires ou radiale à l'occasion d'un virage correctement incliné et à vitesse constante. Il n'y a plus de stimulation des canaux semi circulaires et le pilote n'a plus la sensation consciente d'être en rotation. Lors d'un virage à plat ou en glissade, la résultante des forces n'est plus perpendiculaire au plancher de l'avion et le pilote a l'impression d'être penché dans le sens inverse de l'inclinaison attendue.

Ces illusions somatograviques peuvent également se produire en vol rectiligne lors des accélérations intenses du catapultage (illusion à cabrer) ou de décélérations brutales lors de la sortie d'aérofreins (illusions à piquer). Il apparaît une confusion entre la verticale perçue et la verticale vraie. La résultante gravito-inertielle située vers l'arrière, le bas, le haut ou l'avant peut donner l'impression de faire face à des axes plus marqués qu'en réalité. Ainsi, lors de la mise en virage – même à plat – se déclenche une sensation de monter alors que la sortie de virage procure une impression de descente.

Il existe également des illusions dues à des mouvements de tête sous facteur de charge : le **G Excess illusion** qui se produisent en inclinaison sous facteurs de charge élevés et entraînent une stimulation accrue des otolithes donnant la sensation d'être plus incliné que l'on est.

Les illusions somatogyres peuvent survenir lors des accélérations angulaires lors d'une vrille à vitesse constante et en l'absence de références visuelles. C'est la classique vrille à mort ou Graveyard Spin des anglo-saxons. Le nystagmus provoqué par la rotation empêche de fixer le tableau de bord. La vrille étant stabilisée, les canaux semi circulaires ne stimulent plus. La sensation de rotation par la stimulation vestibulaire est faible et le pilote a l'impression d'être sorti de sa vrille alors que rien n'a changé C'est l'illusion de rotation contraire à l'arrêt d'un mouvement.

L'effet de Coriolis est une sensation vertigineuse complexe survenant lors à l'arrêt d'une rotation de la tête lorsqu'on la penche brutalement. Les 2 canaux semi-circulaires fonctionnent encore alors que le troisième démarre. Les trois canaux stimulent en même temps déclenchant un tableau de non maîtrise de la situation.

Le pilote sort de sa vrille par les manœuvres adéquates mais déclenche au niveau vestibulaire une sensation de démarrage d'une vrille inverse par le début, en sens opposé, de la stimulation de ses canaux semi circulaires. En exécutant les manœuvres de sortie de cette vrille imaginaire, il reprend la vrille interrompue...

Cela peut également se produire dans un virage à vitesse constante. La conscience vestibulaire d'être en virage, s'estompe puisque la pente et le rayon sont stabilisés. Lorsque le pilote se rend compte de la baisse d'altitude, il est tenté de ramener le manche et de mettre les gaz à fond. Cette manœuvre n'aboutit qu'à resserrer la spirale car il faut d'abord mettre les ailes à l'horizontale.

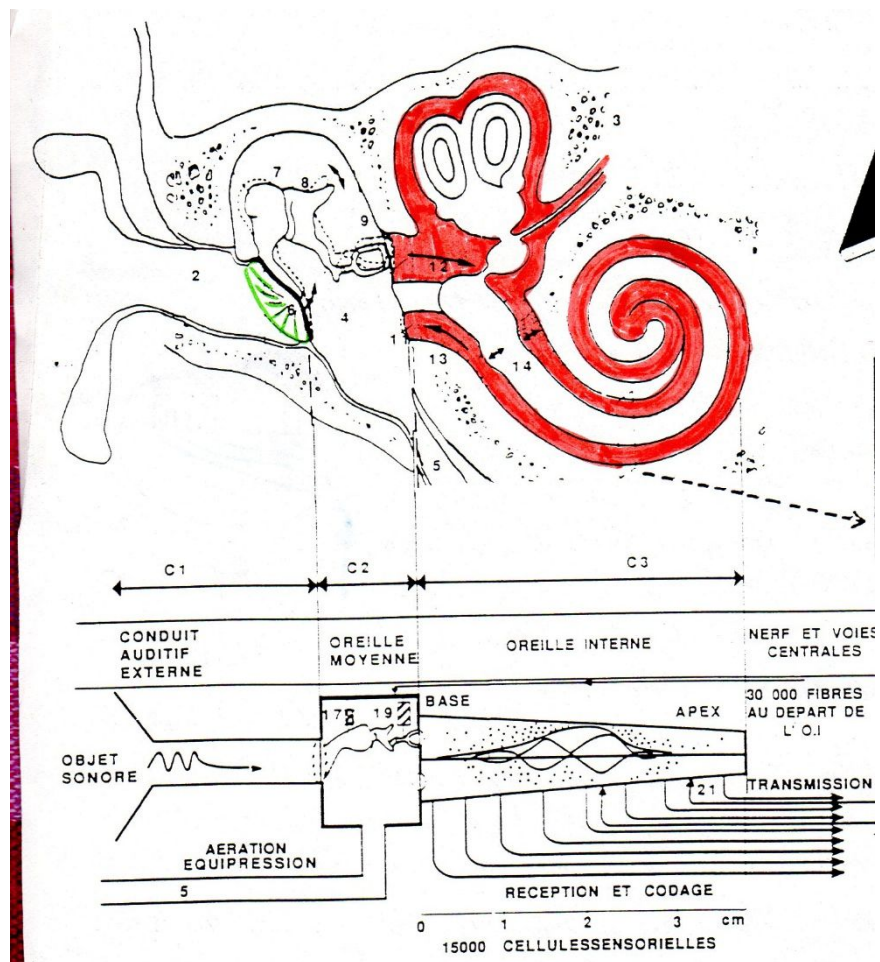
Il existe une notion de stimulation « infraliminaire ». Une rotation avec des délais lents ne sera pas perçue ; Si l'avion s'incline de façon infraliminaire, la remise à l'horizontal peut être perçue comme une inclinaison de l'autre côté.

2) L'oreille interne contient également la cochlée, ou organe de l'audition

Il est chargé de transmettre les sons perçus dans des zones cérébrales précises.

a) Anatomo-physiologie

Le son est capté par le pavillon de l'oreille véritable antenne parabolique qui conduit la vibration hertzienne au tympan lequel mobilise les trois osselets qui se trouvent dans l'oreille moyenne. Le socle de l'étrier, coincé dans la fenêtre ovale va transmettre à la rampe vestibulaire l'énergie vibratoire créée par la mobilisation des osselets. Cela entraîne un mouvement de la rampe cochléaire identique à celui d'un ruban qu'on agite. Sur ce ruban sont placés, par rangées de quatre, des cellules ciliées au nombre d'environ 15000.



Un son aigu entraînera un mouvement ondulatoire d'amplitude maximale vers l'étrier, un son grave sera perçu à l'apex, c'est-à-dire au sommet.

Les cellules ciliées détectrices sont reliées à des fibres nerveuses qui transmettent l'influx nerveux au cerveau, lequel « déchiffre » et intègre les sons. Plusieurs endroits de ce ruban peuvent se mettre en vibration simultanément, ce qui explique la perception des sons les plus complexes.

b) Problèmes médicaux liés à l'appareil auditif.

Il ne s'agit pas de troubles liés à une déconnection des acquis.

Surdités dues au bruit

La décharge électrique des cellules sensorielles dépend de la mobilisation du cil ; or une stimulation trop importante, répétitive, violente, risque d'entraîner sa cassure. Tout cil brisé entraîne son inefficacité définitive et, par la même, une surdité sur la fréquence correspondante. Cela explique les surdités professionnelles apparaissant pour la fréquence spécifique des 4.000 Hz. Tout ceci est bien technique mais destiné à expliquer le caractère inexorable de la baisse de l'audition après traumatismes sonores violents ou répétitifs. Des études assez complètes menées sur l'audition des lycéens et collégiens, adeptes acharnés de Walkman réglés trop forts, a montré un début de surdité inexorable.

Barotraumatismes tubaires

Comme visible sur le schéma anatomique, à la base de la caisse du tympan (là où se trouvent les osselets) part un canal en direction du rhino-pharynx (arrière gorge) : c'est la trompe d'Eustache. Or, s'il n'y avait pas cette trompe d'Eustache, la caisse du tympan serait un volume clos. La **loi de Boyle Mariotte stipule que $P \times V = cte$** : elle explique la raison pour laquelle un peu de repos digestif est nécessaire avant de passer le Massif Central lorsqu'on a dégusté un cassoulet de Castelnaudary à midi !

Lorsque la pression baisse, le volume augmente. Petite digression, il en va de même pour les sinus maxillaires et frontaux normalement en communication libre avec les voies nasales mais pouvant être obstruées par des pathologies infectieuses ou des polypes. Il en va de même pour les aërodontalgies résultant de plombages mal faits car ayant emprisonné une petite bulle d'air. En ce qui concerne le tube digestif, on peut considérer qu'il contient normalement 1,5 litre de gaz. Lorsque la pression atmosphérique baisse, le volume se dilate et les gaz sont éliminés par les voies naturelles...

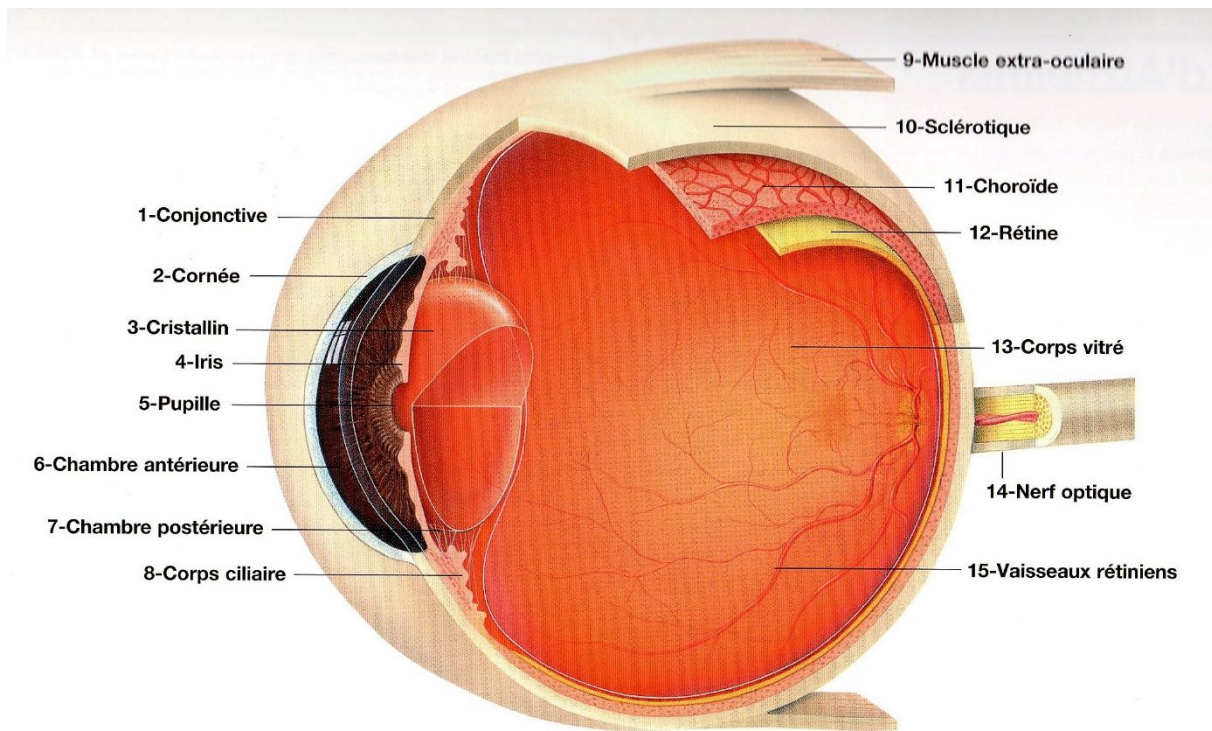
Avec la montée en altitude, la caisse du tympan a tendance à se « gonfler » au niveau des tympans ce qui perturbe le mouvement des osselets mais comme la trompe d'Eustache se comporte comme une valve à dépression, on ne ressent qu'un Pet Tubaire...

A l'inverse, lorsque l'on redescend, le volume de la caisse du tympan a tendance à devenir dépressif et il faut que de l'air fasse le trajet inverse pour revenir dans la caisse. Si la vitesse de descente est faible, la déglutition suffit mais en cas de rhume ou de chute d'altitude trop rapide, il faut rapidement interrompre la descente et tenter une manœuvre de Valsalva ou Frenzel. Si le gradient est déjà trop élevé aucune manœuvre ne peut plus lever le blocage. **L'otite barotraumatique** se transforme en **Otopathie Dysbarique**. Près de 40 % des PNC et PN en sont atteints. Les barotraumatismes répétés ont une action péjorative sur l'audition et au stade III de la maladie, l'atteinte est définitive avec une perte de 40 db.

L'ŒIL, ORGANE DE LA VISION

A) Anatomo-physiologie

L'organe de la vision est un organe des sens et, à ce titre - comme les autres organes de ce type – comporte un récepteur périphérique de l'information, **l'œil**, un câble de transfert de l'information, **le nerf optique** et un ordinateur effectuant le traitement et l'intégration de l'information, **l'aire 17 du cerveau**. Il peut être comparé à un appareil photographique avec une chambre, l'œil, une optique, le cristallin et un capteur d'image, la rétine. Mais son fonctionnement est beaucoup plus compliqué.



L'image est reçue au niveau de la rétine, véritable plaque photographique sensible à la lumière, à la couleur et au noir et blanc. En situation de lumière diurne, le message lumineux est lu, en couleur, par des cellules hautement différenciées nommées **cellules à cônes** et en lumière nocturne, l'intensité sera déchiffrée par d'autres cellules, en noir et blanc, les **cellules à bâtonnets**. Les cellules à cônes se localisent principalement au foyer où se focalise le point net de notre vision ; elles sont plus dispersées en périphérie alors que les cellules à bâtonnets sont réparties sur l'ensemble de la rétine et beaucoup plus nombreuses.

La rétine est formée de trois couches :

- Cellules à cônes et à bâtonnets,
- Cellules bipolaires en charge d'une sélection fine du type de message (fixe ou en mouvement),
- Cellules ganglionnaires qui se poursuivent dans le nerf optique en véhiculant sur deux canaux différents les images ou volumes fixes ou mobiles.

Les matériaux qui nous entourent émettent ou réfléchissent des ondes électromagnétiques et c'est la longueur d'onde de ces dernières qui nous fera percevoir telle ou telle chose de telle ou telle couleur. La rétine normale est trichromate, c'est à dire qu'elle perçoit 3 couleurs : le rouge, le vert et le bleu. Il existe donc trois types de cellules à cônes, une pour chaque couleur de base.

Au niveau du nerf optique, ce sont quatre canaux d'analyse spécifique et indépendante qui vont véhiculer formes, couleur, déplacement spatial et intensité lumineuse. La stimulation simultanée de ces cellules très différenciées entraîne une dépolarisation spécifique et l'influx nerveux électrique sera véhiculée par le nerf optique jusqu'à sa zone de déchiffrement et d'intégration : l'aire occipitale du cortex cérébral. De là, un réseau de connexion nerveux se fait vers les autres centres de la vie végétative.

B) Illusions visuelles. Variétés de ce qui peut nous arriver

Les **illusions oculograviques** font appel à la perturbation de traitement des références visuelles extérieures. Illusion d'ascenseur par abaissement des globes oculaires lors de la montée et inversement.

Les **illusions oculogyres** surviennent lors d'évolutions brutales et soutenues lorsque la stimulation des canaux semi-circulaires entraîne un réflexe oculomoteur qui va déclencher un nystagmus. Situation hyper dangereuse.

Mais il existe d'autres formes de désorientations spatiales nées d'illusions visuelles.

- Illusions optiques autocinétiques dans le cadre d'un champ visuel avec un unique point lumineux. Au bout de quelque temps, on a l'impression qu'il bouge.
- Erreurs d'appréciation de la hauteur. Plus on est près du sol et plus on a du mal à apprécier sa hauteur. Pentes d'approche ascendantes ou descendantes etc...
- Erreurs d'appréciation de l'horizontalité nées d'une barre de nuages horizontaux.
- Erreurs d'interprétation des lumières en vol de nuit lorsque la lune est en dessous du niveau de vol.

LES HYPOXIES

Les hypoxies sont les conséquences de baisses de la pression partielle d'oxygène dans l'air inhalé. La composition de l'air est identique à toutes les altitudes de la troposphère (8 à 16 800 m). Mais plus on monte en altitude et plus la pression barométrique descend et plus « l'air est dilué ». Ainsi, on retrouve moins de molécules d'oxygène à 5 000 pieds qu'au niveau de la mer. Actuellement, les altitudes-cabine sont basses mais les hypoxémies peuvent survenir accidentellement en cas d'explosions ou, insidieusement, en aviation légère.

L'hypoxémie entraîne une **réponse ventilatoire** variable selon les individus au-delà de 3 500 mètres d'altitude. En dessous, il n'y a pas de réponse ventilatoire mesurable, nous sommes en zone de compensation complète avec parfois, une vision scotopique. Au-delà de 3 500 mètres, seuil des troubles, nous entrons dans une zone de compensation incomplète jusqu'au seuil critique à 6 000 mètres. La réponse ventilatoire se fait par une accélération de la fréquence des respirations. La syncope imminente apparaît à 7 000 mètres et est précédée par un rythme ventilatoire qui devient désordonné.

L'hypoxémie entraîne une **réponse cardiaque** avec accélération du rythme sans hypertension à partir de 2 500 mètres. Au-delà, le système nerveux central va protéger certains territoires (cerveau, cœur, yeux...) aux dépens des autres puis, sa défaillance va entraîner des troubles rythmiques terminaux.

L'hypoxémie entraîne un **ralentissement des fonctions digestives** avec constipation, une augmentation des sécrétions d'insuline et de glucagon. On note également une diminution de la diurèse en dessous de 2 000 mètres et une augmentation au-delà.

L'hypoxémie entraîne une **diminution de la vision binoculaire et de la convergence** avec diplopie pouvant se poursuivre bien après le retour à la surface. La diminution de la lumière en ciel couvert peut entraîner une vision scotopique avec un champ de vision rétréci au-delà de 4 500 mètres. La discrimination des couleurs est difficile au-delà de 6 000 mètres.

L'hypoxémie **n'a pas d'action sur l'audition** même si, pour des hypoxémies importantes, l'intelligibilité commence à se dégrader. L'appareil vestibulaire, lui, est perturbé avec une difficulté dans la poursuite oculaire et une situation nauséogène.

L'hypoxémie a des actions graves sur les fonctions corticales car le sujet en hypoxie ne se rend pas compte du danger.

1. **Modifications psycho-comportementales** variables selon les individus mais d'apparition insidieuse évoluant rapidement vers une détérioration rapide.
 - Entre 2 500 et 4 000 mètres : désagrégation du vernis social « il est content », logorrhée, ébriété douce, hilarité, autosatisfaction, euphorie, sentiment de dominer les choses...
 - Entre 4 et 6 000 mètres : dépression agressive, querelleur, refus d'obéir...
 - Au-delà de 6 000 mètres : lassitude, exagération de l'émotivité, abattement, diminution de la volonté puis syncope brutale accompagnée de mouvements cloniques.
2. **Modifications psychomotrices** avec dégradation des capacités de jugement et d'attention, le calcul mental élémentaire devient difficile, perte de la mémoire récente mais pas ancienne, tests d'écritures perturbés. Parallèlement s'installent des picotements dans les doigts, une respiration rapide, des maux de tête, une augmentation du temps nécessaire à de nouvelles acquisitions.

Plus la vitesse ascensionnelle est grande et moins l'organisme a le temps de s'habituer.

Le temps de conscience utile est le temps dont dispose un sujet exposé à une hypoxie aigüe pour effectuer les actions destinées à le soustraire de l'hypoxie. Il ne se réduit pas en dessous de 12 secondes. L'hypoxie modérée prolongée est une situation fréquente. 1 heure à 4 500 mètres réduit de 40% les capacités. 1 heure à 4 000 mètres à 20 % et 4 heures entre 2 500 et 3 000 de 20%. La tolérance à l'hypoxie augmenterait avec l'âge jusqu'à 50 ans avant de baisser.