

# NOTIONS DE MEDECINE AERONAUTIQUE

## 1. Le mal de l'air

### 1.1. Introduction

Depuis sa naissance, nous apprenons à évoluer dans un univers à deux dimensions, subissant constamment le poids de la pesanteur. Notre cerveau s'est habitué à cet environnement en intégrant ses caractéristiques grâce à ces capteurs : oreille interne, voûte plantaire, œil. L'évolution nouvelle dans un milieu en 3 dimensions procuré par le vol constitue pour le cerveau une découverte d'un nouvel environnement où la pesanteur varie avec les mouvements de l'avion.

Pour le cerveau, il y a discordance entre le vécu (le vol) et l'acquis (depuis la naissance) Cette discordance crée un conflit source de malaise.

### 1.2. les différentes informations utiles à l'équilibre

- L'oreille interne : elle constitue le principal organe de l'équilibre. Elle est sensible aux accélérations linéaires et angulaires, donnant ainsi des informations sur toute mise en mouvement de la tête. Les capteurs de l'oreille interne ne sont pas sensibles à la vitesse de déplacement.

- Les yeux : Lorsque le pilote est entouré de références visuelles (horizon), sa vision est capable de le recalibrer sa position dans l'espace. En cas de vol IFR, cette possibilité de recalage disparaît.

- Les récepteurs proprioceptifs : muscles du cou et sole plantaire sont dotés des récepteurs les plus efficaces. Ils sont sensibles à la pression et à l'étirement, ils contribuent à l'analyse du mouvement

Dans certaines phases de vols, la situation génère un conflit entre tous ces récepteurs et les informations qui parviennent au cerveau ne sont plus concordantes. Cette succession de conflits induit la crise neurovégétative.

### 1.3. Les symptômes

Le mal de l'air évolue dans le temps en trois phases successives :

- 1) Assoupissement, malaise indéfini, diminution de la vigilance, angoisse, immobilité du regard.
- 2) Sueur, pâleur extrême, augmentation de la salivation, le rythme cardiaque ralentit et la tension baisse.
- 3) Nausées de plus en plus violentes aboutissant au vomissement libérateur (pour un temps limité à quelque quinze minutes).

En effet, le mal de l'air ne s'arrêtera pas tant que sa victime restera dans l'avion. Les vomissements se succèdent et conduisent à un certain degré d'épuisement.

#### 1.4. facteurs aggravants

Les enfants et les femmes y sont plus sensibles

Les mauvaises odeurs, en particulier celles des vomissements, kérosène

La chaleur confinée

L'alimentation : café au lait, boissons gazeuses, copieuse et alcoolisée

#### 1.5. Le mal de l'espace

L'expérience de l'homme se trouvant placé en apesanteur est révolutionnaire pour l'ensemble de ses capteurs sensoriels et bien sûr pour le cerveau. Il en résulte un temps d'adaptations d'environ trois jours, au cours desquels l'individu souffre des mêmes symptômes que le classique mal de l'air. Il n'est pratiquement pas possible de prévoir lors de l'entraînement au sol, lequel parmi les spationautes qui sera victime du mal de l'espace.

#### 1.6. le mal des simulateurs

Avec le développement des simulateurs de vols et de combats aériens, les pilotes ont découvert de nouvelles souffrances liées à une confrontation nouvelle entre informations visuelles et celles données par l'oreille interne. Les pilotes débutants sont moins sensibles que les pilotes chevronnés car ils sont acquis moins d'expérience aéronautique. Le conflit d'intégration se fait en sens inverse, le pilote voit défiler des images sans ressentir les sensations fournies par l'oreille interne. Ce conflit est à l'origine de maux de tête, nausées, vertiges et tension oculaire. En cas de séance d'entraînement relativement longue, il faut éviter le vrai vol pendant quelques heures afin de déshabituer l'organisme à la cabine de simulation. Des sensations vertigineuses peuvent en effet apparaître.

## 2. L'hypoxie d'altitude

Sous l'effet de la montée en altitude, la quantité d'oxygène dans le sang, diminue progressivement et donne lieu à des troubles dont l'aboutissement est la perte de connaissance. L'ensemble de ces manifestations est appelé hypoxie d'altitude.

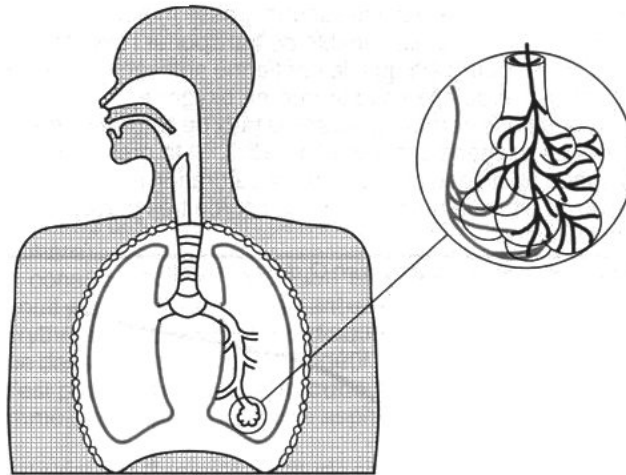
une des premières observations sur ce thème a été rédigée par Tissandier en 1875 d'après un vol expérimental en ballon :

Vers 7500 mètres, l'état d'engourdissement où l'on se trouve est extraordinaire. Le corps et l'esprit s'affaiblissent peu à peu graduellement, insensiblement, sans qu'on en ait conscience. On éprouve une joie intérieure, et comme un effet de rayonnement de lumière qui vous inonde. On devient indifférent, on en pense plus à la situation périlleuse ni au danger, on monte et on est heureux de monter.... Je veux m'écrier « nous sommes à 8000 mètres » mais ma langue est comme paralysée. Tout à coup, je ferme les yeux et je tombe inerte, perdant absolument le souvenir. Deux autres aéronautes l'accompagnaient, ils seront retrouvés morts dans la nacelle.

Le potentiel énergétique du corps humain dépend de l'apport en oxygène assuré par la respiration. Si cet apport diminue ou vient à manquer, l'organisme souffre aussitôt et notamment le cerveau car il ne possède aucune réserve d'énergie.

### 1.1. Les échanges gazeux d'oxygène et de gaz carbonique

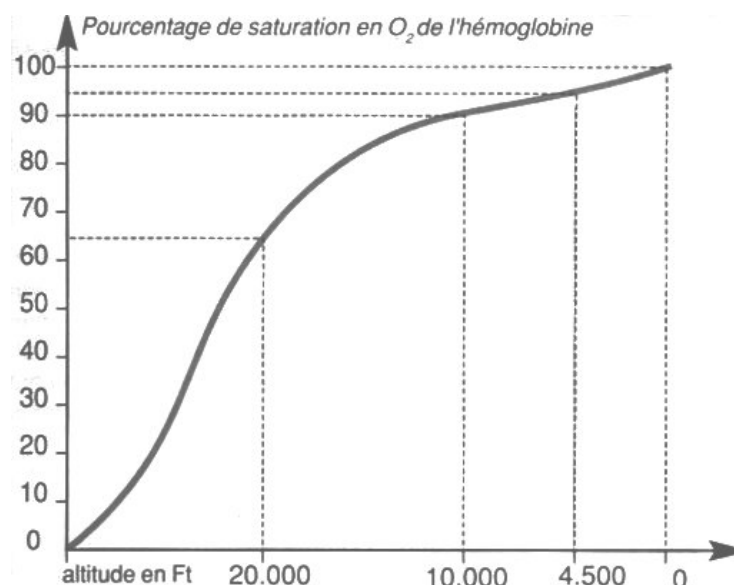
L'organisme puise son oxygène dans l'atmosphère, à la pression barométrique environnante. L'enrichissement du sang en oxygène se fait au niveau de l'interface sang-poumons. En même temps, le gaz carbonique est rejeté du sang vers les poumons, puis dans l'air ambiant. Lorsque la pression partielle de l'oxygène dans l'air ambiant diminue, la quantité d'oxygène échangée au niveau des poumons diminue et le sang s'appauvrit en oxygène.



### 1.2. Le transport de l'oxygène dans les cellules des tissus de l'organisme

Dans le sang, l'oxygène est fixé sur une grosse molécule : l'hémoglobine. Elle seule est capable de transporter l'oxygène vers les tissus. Il faut pour cela qu'elle contienne suffisamment d'oxygène ou autrement, qu'elle soit saturée en O<sub>2</sub>

Au sol, le taux de saturation en O<sub>2</sub> de l'hémoglobine est d'environ 95%. Ce taux diminue avec la diminution de la pression en O<sub>2</sub> dans les poumons, autrement dit avec une prise d'altitude. La saturation varie suivant la courbe suivante :



Lorsqu'on est victime d'une asphyxie, l'organisme cherche par tous les moyens à augmenter les échanges pulmonaires. Les mouvements respiratoires deviennent plus amples et plus rapides, l'angoisse fait que le sujet fait participer tous ses muscles respiratoires. Ce phénomène est dû à une augmentation anormale du taux de gaz carbonique dans le sang.

### 1.3. effet de l'altitude sur la pression de l'oxygène et le taux de CO<sub>2</sub>

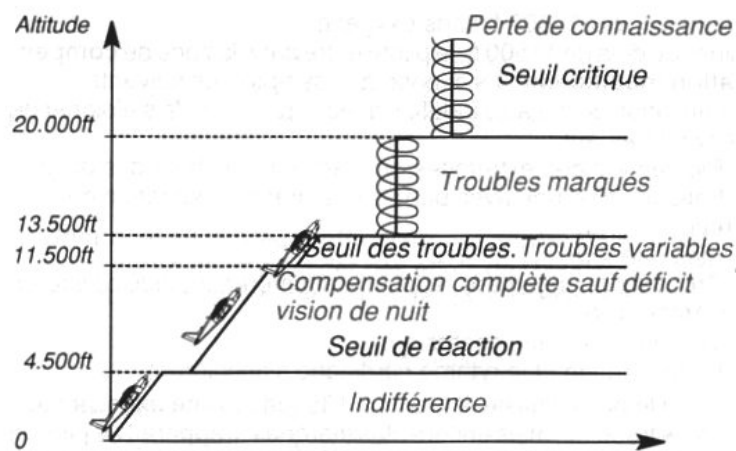
La concentration en oxygène reste constante dans l'atmosphère quelle que soit l'altitude. La concentration en CO<sub>2</sub> est quasiment nulle sauf à proximité immédiate du sol.

En altitude, la pression barométrique diminue, la pression partielle de l'oxygène diminue également. En conséquence, la saturation en O<sub>2</sub> de l'hémoglobine diminue entraînant une augmentation du rythme cardiaque et respiratoire. Le taux de gaz carbonique reste inchangé et c'est pourquoi il n'y a aucune réponse alarmant le pilote.

L'hypoxie d'altitude est particulièrement sournoise car elle s'installe à l'insu du pilote.

### 1.4. Manifestation de l'hypoxie d'altitude

Les effets de l'hypoxie sont directement liés au niveau de vol atteint par le pilote. Trois seuils permettent de classer par ordre croissant la nature des symptômes apparaissant.



De 0 à 4500 ft : zone d'indifférence

La saturation en oxygène de l'hémoglobine reste proche de la normale, il ne se produit aucun trouble.

A partir de 4500 ft : seuil de réaction

Le pilote entre dans la zone de compensation complète, l'augmentation du rythme cardiaque et respiratoire suffit à compenser la baisse de la saturation en oxygène de l'hémoglobine.

A partir de 11500 ft : seuil des troubles, zone de compensation incomplète

Le pilote s'expose aux symptômes suivants :

- sensation de malaise indéfini

- picotement des extrémités (bout des doigts)
- Fatigue lassitude avec parfois une grande inspiration qui surprend.
- Maux de tête
- Trouble du jugement, euphorie, indifférence, dépression
- La respiration et le rythme cardiaque s'accélèrent.

A partir de 13500 ft : aggravation des troubles ressentis

- obscurcissement de la vision
- rétrécissement du champ visuel
- assourdissement des bruits
- couleur bleue des lèvres et des ongles

A partir de 20000 ft : seuil critique

La perte de connaissance est imminente, les mouvements respiratoires deviennent irréguliers, le rythme cardiaque ralentit. La phase ultime est marquée par un arrêt respiratoire qui entraîne la mort...

### 1.5. Protection contre l'hypoxie

La seule façon de se protéger des effets de l'hypoxie consiste à augmenter la pression partielle d'oxygène inhalé dans les poumons.

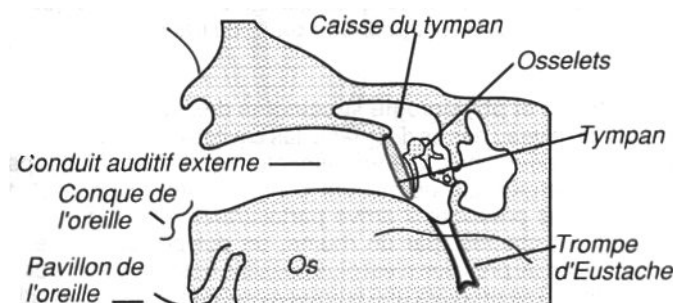
Trois possibilités :

- o augmenter partiellement la pression dans la cabine ou dans un vêtement adapté (stratosphérique)
- o augmenter artificiellement la concentration en oxygène dans l'air inhalé en faisant respirer au pilote un mélange enrichi en oxygène (au moyen d'un inhalateur)
- o combiner les deux méthodes lorsque l'on veut garder une faible pressurisation cabine et voler très haut (avion de chasse)

## 3. Les effets des variations de pressions sur l'organisme

### 3.1. anatomie de l'oreille

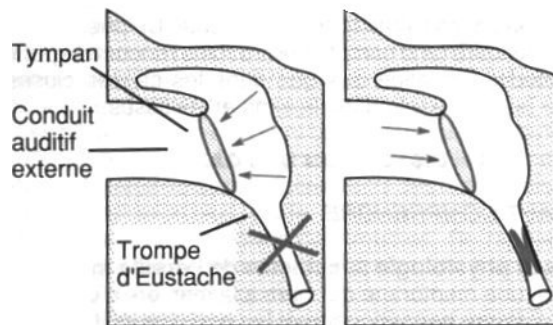
Le tympan ferme hermétiquement le conduit auditif externe. Il se présente comme une membrane qui vibre à la manière d'une peau de tambour. La vibration du tympan est reprise par les osselets chargés de transmettre les vibrations sonores. Les osselets sont situés dans la caisse de tympan qui est relié aux fosses nasales par l'intermédiaire de la trompe d'eustache.



Cette trompe d'eustache relie donc la cavité du tympan avec l'extérieur par l'intermédiaire du nez.

Cette communication permet d'équilibrer en permanence les pressions entre l'intérieur et l'extérieur du tympan.

Cette mise à l'air libre créée par cette trompe peut toutefois être altérée voir bouchée (rhume) et ne peut plus permettre une égalisation des pressions. Néanmoins, cette trompe a la particularité d'offrir une meilleure perméabilité dans le sens tympan fosses nasales.



Si la trompe est complètement bouchée (croquis de gauche), lors de la montée de l'avion, la pression reste constante à l'intérieur de la caisse de tympan alors qu'elle diminue à l'extérieur. Une surpression s'exerce donc sur le tympan par l'intérieur. Lors de la descente, la pression augmente dans la cabine mais pas dans la caisse du tympan, une surpression s'exerce donc sur le tympan par l'extérieur qui cesse lorsqu'il se perce !

La perméabilité de la trompe permet une lente mais possible égalisation des pressions lors de la montée (croquis de droite) mais la descente peut être pénible voir douloureuse.

Remarque : la variation de pression étant plus rapide et plus importante dans les basses couches, les troubles peuvent apparaître dans les tranches de vols des avions légers.

### 3.2. L'otite barotraumatique

\_ les symptômes :

- La douleur : elle siège dans l'oreille et son intensité varie avec la différence de pression atteinte et l'état d'ouverture de la trompe d'eustache. Cette douleur peut être insidieuse, simplement gênante, ou extrêmement intense et capable de provoquer une syncope.
- La sensation d'oreille bouchée : elle correspond à un certain degré de surdité, conséquence de l'épanchement de liquide et de sang derrière l'oreille.
- Les bourdonnements : ils aggravent la surdité partielle
- Un vertige ou sensation de vertige
- Un écoulement de sang à l'oreille : il reste exceptionnel et peut traduire la perforation du tympan. L'égalisation des pressions entraîne l'atténuation voir la disparition des douleurs.

- Conduite à tenir en cas d'otite :

En vol : si les troubles apparaissent lors de la montée, pour le pilote ou le passager, il faut redescendre et reporter le vol. En descente : au début, il est possible de réaliser avec succès deux types de manœuvres :

- Bâillements, mouvement de déglutition, ouverture de la mâchoire avec mouvement de translation pour ouvrir la trompe d'eustache.
- Manœuvre de Valsalva : qui consiste à souffler fortement par le nez soigneusement bougé par deux doigts, la bouche étant fermée. L'air est ainsi projeté sous pression vers la caisse du tympan et permet dans certains cas d'égaliser les pressions.

### 3.3. la distension intestinale

Elle produit essentiellement des manifestations douloureuses calmées par l'évacuation des gaz en excès. Exceptionnelle jusqu'à 12000 ft, elle peut survenir plus bas lorsque le régime alimentaire est inadéquat ou bien lorsqu'un sujet est victime de gastro-entérite. Les aliments à éviter relèvent de différentes catégories

- haricots, pois secs, navets
- choux, choux-fleurs, choux de Bruxelles
- céleri, concombres, son
- pommes crues
- boissons gazeuses

A très haute altitude, la distension intestinale refoule le diaphragme, gêne la respiration et peut devenir invalidante.

### 3.4. L'aéroembolisme (maladie de décompression)

Sous l'effet de la pression barométrique au sol, le gaz azote se dissout dans le sang et les tissus sous formes de micro-bulles. Si la pression diminue d'au moins la moitié de sa valeur au sol (hauteur de 5500 m) en un temps très bref, les micro-bulles subissent une détente rapide et se transforment en vraies bulles capables de gêner la circulation et d'engendrer des douleurs.

Cette maladie ne concerne pas le pilote d'aéro-club sauf s'il lui vient l'idée d'associer plongée sous-marine et vol en altitude. Elle peut par contre atteindre le vélivole averti de performance ainsi que les pilotes d'avions pressurisés.

En pratique, la maladie d'aéroembolisme n'apparaît pas en dessous de 7000 m, quatre critères peuvent toutefois aggraver le risque :

- la vitesse de montée
- le temps passé en altitude
- la température ambiante
- l'état de saturation en azote dans l'organisme avant le départ

Les symptômes :

- a) Les douleurs articulaires : genoux épaules poignets
- b) Les manifestations cutanées : envie de se gratter, plaques d'urticaire
- c) Manifestations nerveuses : maux de tête, amputation du champ visuel
- d) troubles respiratoires

La prédisposition :

- a) plongée sous-marine préalable
- b) L'âge : dès 40 ans, le risque augmente nettement
- c) L'obésité : l'azote dissout dans la graisse met beaucoup de temps à s'éliminer
- d) Le régime alimentaire : riche en sucre, il le diminue, riche en protéines : il l'aggrave.

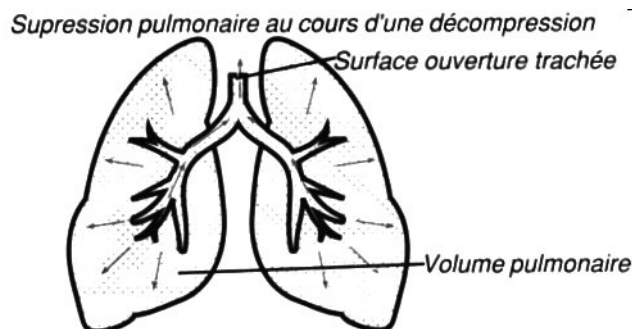
#### 4. Principes de pressurisation des cabines

##### 4.1. la décompression explosive

La pressurisation des cabines a permis d'éliminer en grande partie les risques d'hypoxie et de maladie d'aéroembolisme. Néanmoins, des accidents de dépressurisation de la cabine peuvent survenir avec des conséquences dramatiques.

Le principe de pressurisation des cabines répond à un principe fort simple : un compresseur prélève de l'air à l'extérieur pour l'envoyer en cabine. La valeur de pression désirée est obtenue en jouant sur le débit de fuite par une ouverture réglable qui rejette l'air à l'extérieur. En cas d'ouverture accidentel et donc augmentation brutal du débit de fuite, la pression interne chute très rapidement : Ce phénomène s'appelle décompression explosive.

L'arbre pulmonaire supporte très mal cette décompression. En effet le volume d'air contenu dans les poumons est d'environ 5 litres, ce volume ne peut s'évacuer que par la trachée dont la section de passage n'est que de 2 cm<sup>2</sup>. Lorsque la pression s'effondre rapidement en cabine, l'air contenu dans les poumons se trouve alors en surpression, Il ne peut s'évacuer que par la trachée en un temps d'autant plus court que la décompression est violente. Les alvéoles pulmonaires risquent alors d'éclater entraînant une détresse respiratoire suraiguë.





#### 4.2. Diminuer la différence de pressions

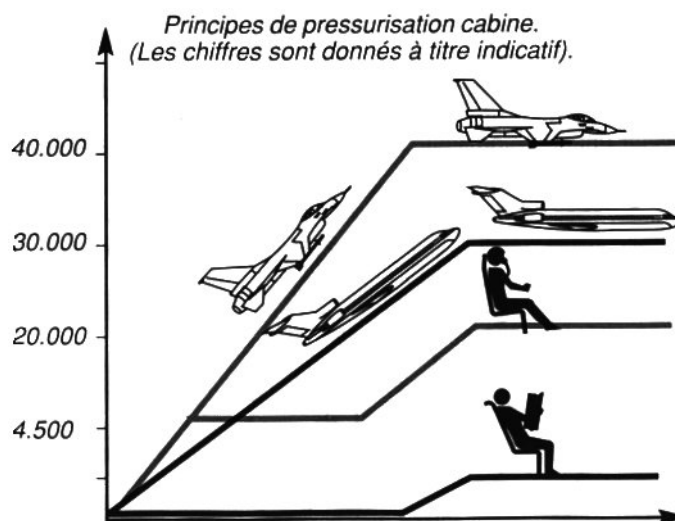
Il règne dans la cabine une pression supérieure à la pression barométrique environnante. En fonction du rétablissement d'altitude souhaité dans la cabine, cette différence de pression ( $dp$ ) est plus ou moins importante. A niveau de vol égal :

- Sur un avion de transport, il est impossible de diminuer la  $dp$  ; car cela revient à augmenter l'altitude cabine, or il faut tenir compte de hypoxie qui survient des 4500 ft, susceptible de gêner des passagers âgés ou malades.
- Sur un avion de chasse en revanche, cette solution est adoptée car les pilotes sont généralement en pleine santé et porteurs d'inhalateurs d'oxygène ;

#### 4.3. Diminuer le coefficient de fuite

On appelle le coefficient de fuite le rapport de la surface d'ouverture accidentelle au volume de la cabine : ce rapport ne doit pas dépasser une certaine limite afin d'éliminer tout risque de rupture pulmonaire.

- Diminuer le coefficient de fuite est possible sur les avions de transports en réduisant la surface des portes de hublots (zone de moindre résistance).
- Jouer sur cette diminution est impossible sur un avion de chasse qui doit bénéficier d'une verrière panoramique



Que se passe-t-il en cas de décompression explosive ?

Dans la cabine :

- souffle pouvant projeter ou éjecter du matériel et des hommes
- production immédiate d'un intense brouillard, conséquence de la production de vapeur d'eau sous l'effet de la détente
- apparition dans la cabine d'un froid glacé

Sur le corps humain :

- surpression pulmonaire
- aéroembolisme
- hypoxie

## 5. Les effets des accélérations sur l'organisme

On appelle facteur de charge la force qui s'exerce sur le pilote et sur l'avion lorsqu'il est soumis à une accélération. L'avion peut résister jusqu'à une certaine limite où la cellule peut se rompre. Le pilote réagit en modifiant les paramètres de sa circulation sanguine jusqu'au moment où il perd connaissance.

### 5.1. Les différentes accélérations

On peut distinguer :

- les accélérations linéaires ( $m/s^2$ ) où il n'y a que variation de la vitesse, la direction du déplacement reste constante (cas de l'atterrissage et du décollage)
- Les accélérations radiales où la vitesse reste constante mais où la direction varie : rencontrées dans les virages et les ressources.
- Les accélérations angulaires où la direction et la vitesse sont variables (cas de la vrille)

On peut également classer les accélérations en fonction de leurs effets sur le corps humain :

- les accélérations longitudinales + ou -  $G_z$ , appliquées le long de l'axe tête pieds
- les accélérations transversales + ou -  $G_x$ , appliquées d'avant en arrière
- les accélérations latérales, + ou -  $G_y$ , appliquées d'une épaule à l'autre

Le poids du corps correspond à une accélération de 1  $G$ , dans l'espace en apesanteur, un corps subit une accélération nulle de 0  $G$ .

En vol rectiligne à vitesse constante, le pilote ne ressent rien. Lors d'un virage, il faut grâce aux gouvernes, exercer une force centripète sur l'avion qui va modifier la direction du vecteur vitesse en engendrant une accélération centripète.

L'inertie entraîne la création d'une force égale et de sens opposé appelée centrifuge, c'est elle que nous ressentons en vol.

### 5.2. Notions d'anatomie et de physiologie

Le corps humain comporte d'un côté les artères, ces dernières sont entourées de fibres musculaires et sont capables de contenir les à-coups tensionnels (contraction cardiaque) sans se déformer. Il comporte également un réseau veineux qui présente une motricité quasi-nulle et qui peut se déformer dans certaines conditions.

Pour alimenter correctement les vaisseaux (muscles), une certaine pression doit régner dans les artères. Un réseau de capteurs de pression surveille cette pression et régule le rythme cardiaque et la contraction des artères.

Lorsque l'on passe de la position allongée à la position debout, la pression veineuse augmente brutalement dans les membres inférieurs en déformant les veines, le sang veineux ainsi stocké dans les membres inférieurs manque pour remplir correctement le cœur. La pression artérielle diminue légèrement au niveau du cerveau à cause du gain de hauteur par rapport au cœur. Le cœur doit donc immédiatement s'adapter pour renforcer la pression artérielle et le retour veineux.

### 5.3. effets des accélérations positives

Lorsque le pilote encaisse une accélération +  $G_z$ , les phénomènes physiologiques sont simplement amplifiés. La pression artérielle dans le cerveau diminue progressivement pour s'annuler vers 5  $G_z$ . La pression veineuse augmente considérablement au niveau des jambes en empêchant le cœur de se remplir.

- à 2  $G$  : sensation de peser sur son siège
- à 3  $G$  : douleur intense du corps
- à 4  $G$  : apparition du voile gris traduisant une diminution de la luminosité et du champ visuel
- à 5  $G$  : C'est le voile noir, le champ visuel s'est rétréci peu à peu, le pilote ne voit plus rien mais il entend encore bien ;
- à 6  $G$  : Survient la perte de connaissance faisant suite au voile noir, ce dernier est le signal d'alarme qui doit inciter le pilote à rendre la main.

Conséquences sur l'organisme :

- Déplacement vers le bas des tissus mous : joues, paupières
- Diminution du débit cardiaque malgré l'accélération du rythme cardiaque.
- Difficulté à bouger ses membres.
- Compression des vertèbres et de leurs disques.
- les fonctions mentales sont altérées tant que dure l'accélération

### 5.4. Tolérances aux accélérations

Chaque individu peut supporter différemment les facteurs de charge, les pilotes de voltige à force d'entraînement peuvent encaisser des accélérations de +/- 8  $G$ . Certains facteurs peuvent toutefois engendrer une moindre résistance aux  $G_z$  :

- sujets longilignes (long cou)
- hypotension artérielle
- hypoglycémie
- varices
- repas copieux

### 5.5. Moyen de protection

Manœuvres exécutables par le pilote :

- rentrer la tête dans les épaules afin de diminuer la distance cœur-cerveau
- contracter les muscles du tronc et des membres pour créer une contre-pression sur les veines
- Expirer en forçant (en grognant) Prendre des inspirations rapides et superficielles toutes les 3 à 4 secondes (ces manœuvres ont pour but de maintenir une pression thoracique élevée pour limiter le retour de sang contenu dans le cerveau)

### Inclinaison du siège :

Intéressante sur les avions de chasse, elle n'est par contre guère possible sur les avions de voltige qui nécessitent l'emploi d'un dossier à angle droit pour une question de repères. L'inclinaison du siège permet de diminuer la distance séparant le cerveau du cœur et de mieux supporter les accélérations. A l'extrême pour un pilote couché, cette distance est nulle et les accélérations  $GZ$  se transforment en  $GX$  qui sont mieux supportées mais l'éjection de l'avion devient impossible et le pilotage peu pratique. En général, on trouve un compromis avec une inclinaison d'environ  $30^\circ$ .

### Combinaison anti-g

Elle se présente sous la forme d'un sur-pantalon équipé de 5 vessies gonflables que l'on retrouve autour des mollets, des cuisses et de l'abdomen. Le système de gonflage est automatique et les différentes vessies se gonflent proportionnellement aux  $G$  ressentis. Il est à noter qu'un développement musculaire satisfaisant constitue une véritable combinaison anti- $G$ .

### 5.6. effets des accélérations négatives

Lorsqu'on met la tête vers le bas, la pression artérielle augmente vers la tête et diminue dans les pieds, il en va de même pour la pression veineuse. Le cerveau dispose d'une protection partielle contre ces surpressions : il s'agit du liquide céphalo-rachidien qui baigne le cerveau et exerce une contre pression sur les vaisseaux cérébraux. Les capteurs de pression au niveau du cou et du crâne influent sur une diminution du rythme cardiaque pour limiter la pression. Le passage alors à une forte accélération  $+Gz$  peut provoquer des défaillances cardiaques.

- à  $-1G$  : sensation du vol dos
- à  $-2G$  : impression de tension dans la tête, la respiration devient difficile
- à  $-3G$  : Le crâne devient douloureux, le pilote ressent l'impression désagréable que les yeux vont sortir de leur orbite. Le voile rouge souvent décrit provient simplement de la paupière inférieure qui vient sous l'effet de l'accélération négative, recouvrir le globe oculaire. On peut également rencontrer de véritables lésions aux niveaux des vaisseaux qui touchent la rétine.

### 5.7. Tolérance

Les accélérations négatives sont mal tolérées par le corps humain surtout lorsqu'elles se prolongent. Les pilotes d'aéro-club ne les subissent pas, les pilotes de chasses les évitent et les pilotes de voltige semblent les accepter mais elles sont de courte durée et la capacité à endurer ces contraintes tient aussi dans la motivation de ces pilotes.