

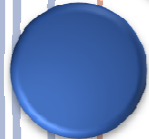
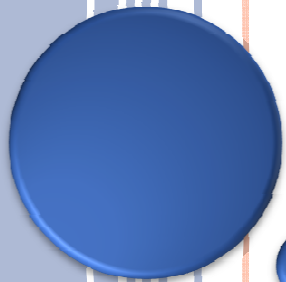
A photograph of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a bright orange-gold color. The background is the dark void of space with a bright sun or star in the upper left, creating a lens flare. The Earth's horizon is visible at the bottom of the frame.

**Navigation Sécurité
Réglementation**

*Notions de médecine
aéronautique*

A photograph of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a distorted view of the surroundings. The background is a bright, hazy white, suggesting the sun or a bright light source. The astronaut is holding onto a piece of equipment or a structure.

L'ÉQUILIBRE ET L'ORIENTATION SPATIALE





L'ÉQUILIBRE ET L'ORIENTATION SPATIALE

- Depuis la naissance, nous apprenons à évoluer dans un univers à deux dimensions, en subissant constamment le poids de la pesanteur.
- Notre cerveau s'est habitué à cet environnement en intégrant ses caractéristiques grâce à ces capteurs :
 - L'oreille interne,
 - La voûte plantaire,
 - Les muscles,
 - Les yeux,
 - ...

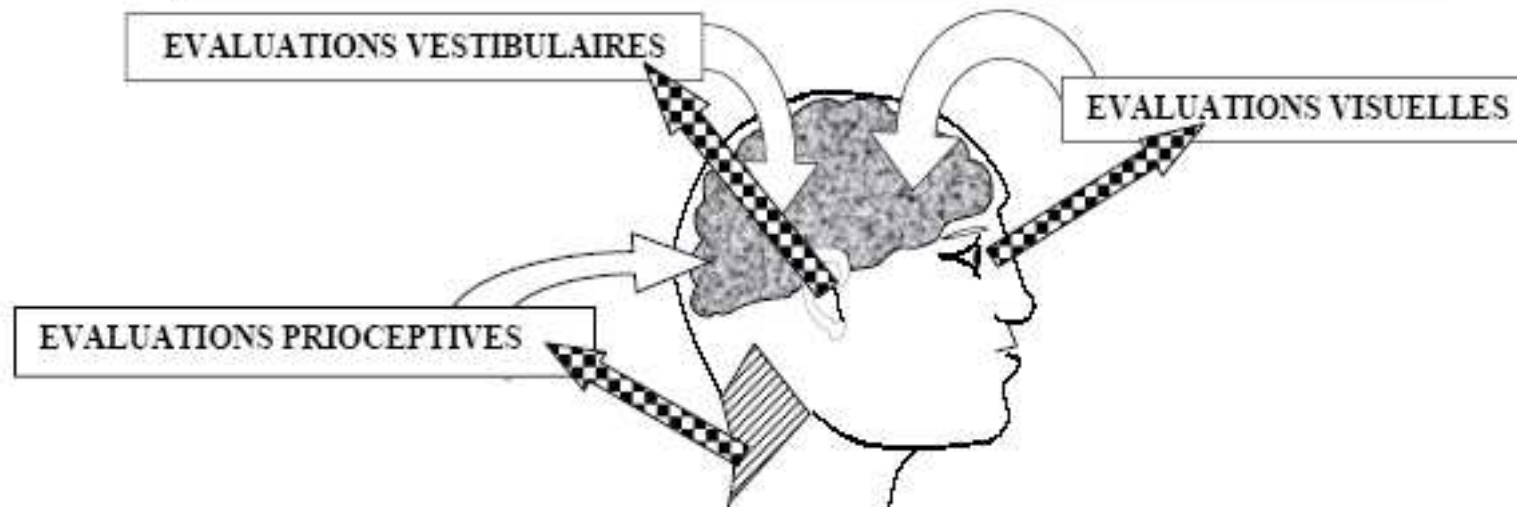




L'ÉQUILIBRE ET L'ORIENTATION SPATIALE

- On distingue :
 - Les évaluations vestibulaires grâce à l'oreille interne
 - Les évaluations visuelles grâce aux yeux
 - Les évaluations proprioceptives grâce aux muscles du cou, sole plantaire.

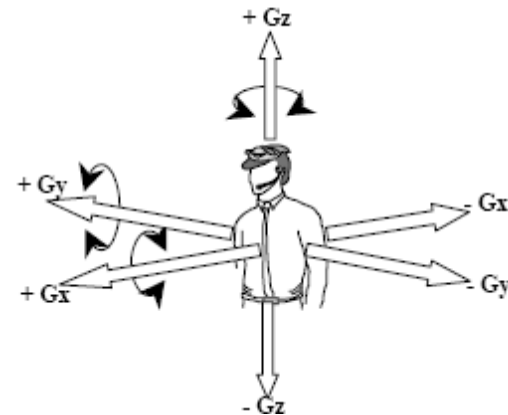
L'ÉQUILIBRE ET L'ORIENTATION SPATIALE





ÉVALUATIONS VESTIBULAIRES

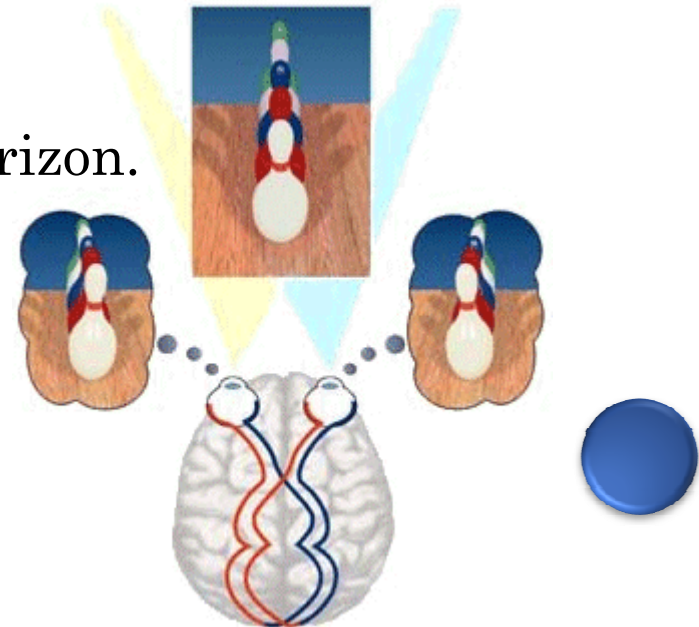
- L'oreille interne : elle constitue le principal organe de l'équilibre.
 - Elle est sensible aux accélérations linaires et angulaires, donnant ainsi des informations sur toute mise en mouvement de la tête.
 - Les capteurs de l'oreille interne ne sont pas sensibles à la vitesse de déplacement.
- Les évaluations vestibulaires permettent donc :
 - D'évaluer la pesanteur,
 - De contrôler l'équilibre.





ÉVALUATIONS VISUELLES

- Les yeux : Lorsque le pilote est entouré de références visuelles (horizon), sa vision est capable de le recaler sa position dans l'espace.
- Les évaluations visuelles, en particulier avec la vision binoculaire permettent l'évaluation :
 - Des distances et du relief,
 - Des vitesses,
 - De l'orientation par rapport à l'horizon.





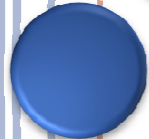
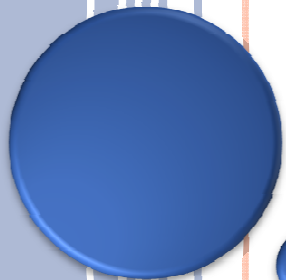
ÉVALUATIONS PROPRIOCEPTIVES

- Les récepteurs proprioceptifs : muscles du cou et sole plantaire sont dotés des récepteurs les plus efficaces.
- Les évaluations proprioceptives :
 - sont sensibles à la pression et à l'étirement, ils contribuent à l'analyse du mouvement,
 - Permettent d'évaluer grossièrement l'orientation du corps et de ses membres.



A photograph of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a distorted view of the surroundings. The background is a bright, hazy white, suggesting a high-altitude or space environment. The astronaut is holding a tool or piece of equipment in their right hand.

LE MAL DE L'AIR





LE MAL DE L'AIR

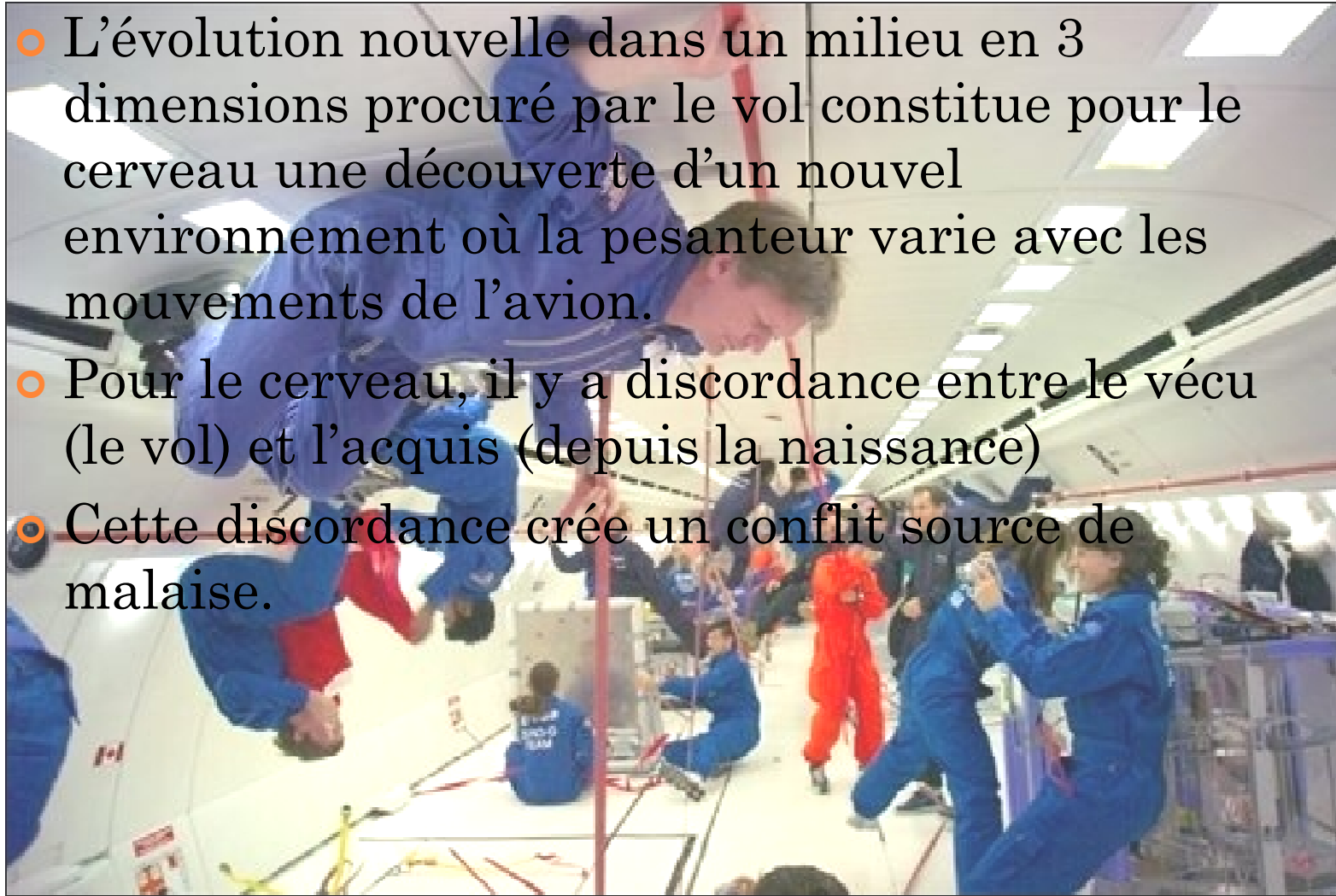
- La cinétose, ou mal des transports, est un trouble multifactoriel ayant un grand nombre de symptômes.
- Le mal de l'air évolue dans le temps en trois phases successives :
 - 1) Assoupissement, malaise indéfini, diminution de la vigilance, angoisse, immobilité du regard.
 - 2) Sueur, pâleur extrême, 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).





L'ORIGINE DU MAL DE L'AIR

- 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.





LES 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





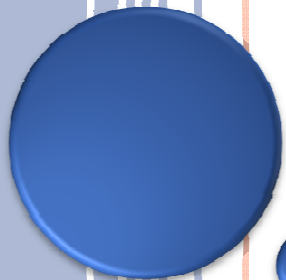
CINETOSES DIVERSES

- Le mal de l'espace
 - 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.
- Le mal des simulateurs
 - Les pilotes débutants sont moins sensibles que les pilotes chevronnés car ils ont 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.



A photograph of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a distorted view of the surroundings. The background is a bright, hazy white, suggesting the sun or a bright light source. The astronaut is holding a tool or piece of equipment in their right hand. The overall scene is set against a dark blue background, likely the Earth's atmosphere or space.

L'HYPOXIE D'ALTITUDE





DÉFINITION

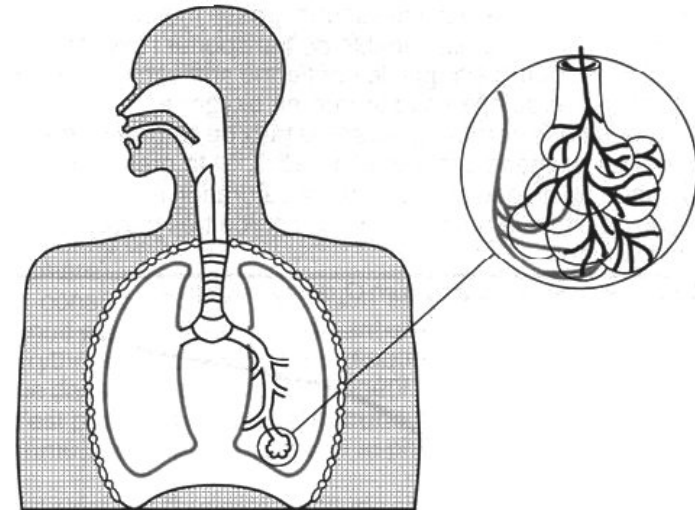
- L'hypoxie consiste en une diminution de la concentration d'oxygène dans le sang suffisante pour amener des signes et symptômes d'une oxygénation inadéquate des tissus.
- Sous l'effet de la montée en altitude, la quantité d'oxygène dans le sang, diminue progressivement et donne lieu à des troubles dont l'aboutissement est la perte de connaissance.
- L'ensemble de ces manifestations est appelé hypoxie d'altitude.





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.





LES ÉCHANGES GAZEUX D'OXYGÈNE ET DE GAZ CARBONIQUE

- 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 on dit qu'elle est saturée en O₂
- Au sol, le taux de saturation en O₂ de l'hémoglobine est d'environ 95%.
- Ce taux diminue avec la diminution de la pression en O₂ dans les poumons, autrement dit avec une prise d'altitude.





LES ÉCHANGES GAZEUX D'OXYGÈNE ET DE GAZ CARBONIQUE

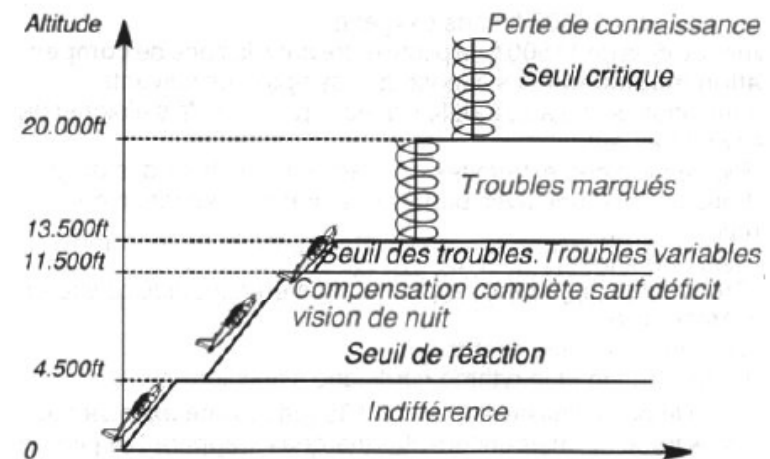
- La concentration en oxygène reste constante dans l'atmosphère quelle que soit l'altitude.
- La concentration en CO₂ est quasiment nulle sauf à proximité immédiate du sol.
- En altitude, la pression barométrique diminue, la pression partielle de l'oxygène diminue également. En conséquence, la saturation en O₂ 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.





EFFETS DE L'HYPOXIE D'ALTITUDE

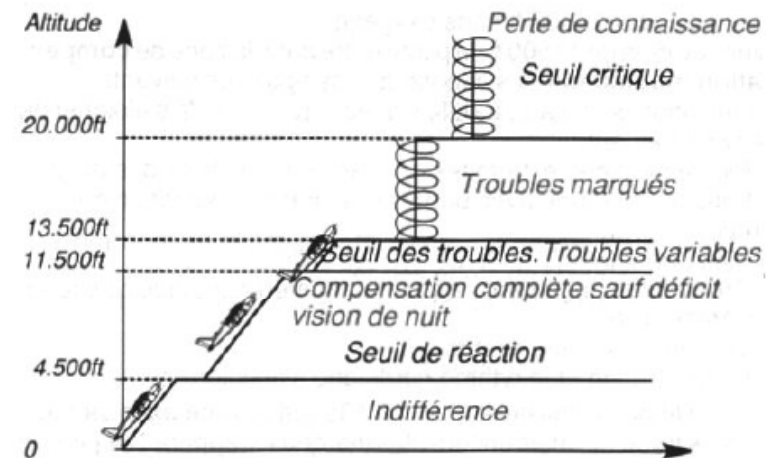
- De 0 à 4500 ft : zone d'indifférence
 - La saturation en oxygène de l'hémoglobine reste proche de la normale, il ne se produit aucun trouble.
- A partir de 4500 ft : seuil de réaction
 - Le pilote entre dans la zone de compensation complète, l'augmentation du rythme cardiaque et respiratoire suffit à compenser la baisse de la saturation en oxygène de l'hémoglobine.





EFFETS DE L'HYPOXIE D'ALTITUDE

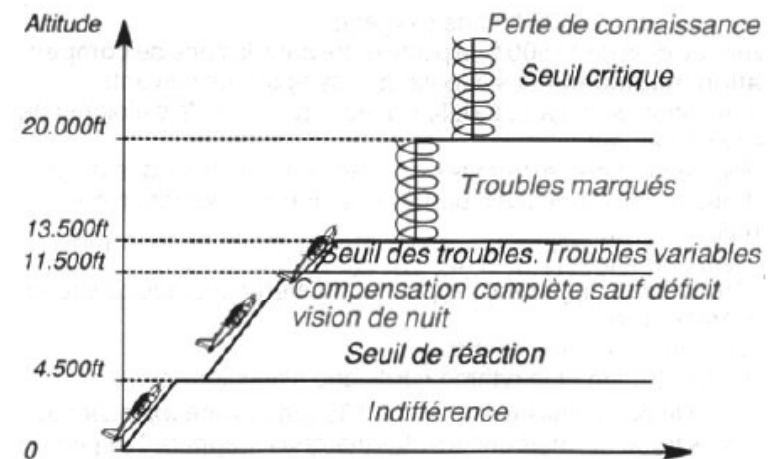
- A partir de 11500 ft : seuil des troubles, zone de compensation incomplète
 - Le pilote s'expose aux symptômes suivants :
 - sensation de malaise indéfini
 - picotement des extrémités (bout des doigts)
 - fatigue lassitude avec parfois une grande inspiration qui surprend.
 - maux de tête
 - trouble du jugement, euphorie, indifférence, dépression
 - la respiration et le rythme cardiaque s'accélèrent.





EFFETS DE L'HYPOXIE D'ALTITUDE

- 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...





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 :
 - augmenter partiellement la pression dans la cabine ou dans un vêtement adapté (stratosphérique)
 - 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)
 - combiner les deux méthodes lorsque l'on veut garder une faible pressurisation cabine et voler très haut (avion de chasse)





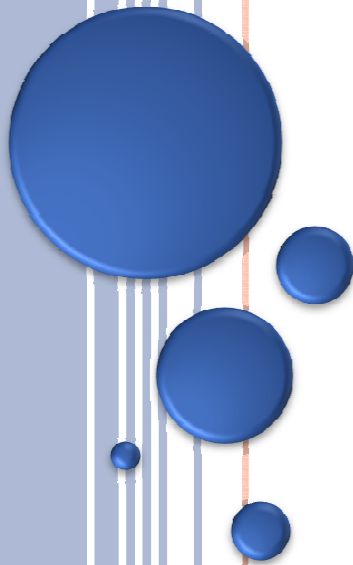
RÉGLEMENTATION

- Sur un aéronef non pressurisé, l'emport d'un équipement respiratoire alimenté en oxygène est nécessaire pour :
 - tout vol d'une durée supérieure à 30 minutes au dessus de 3800 m (FL 125)
 - tout vol, quelle que soit la durée, au dessus de 4400 m (FL 145).



A photograph of an astronaut in a white space suit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a distorted view of the surroundings. The background is a bright, hazy blue and white, suggesting the Earth's atmosphere or a bright light source. The astronaut is holding onto a piece of equipment or a structure.

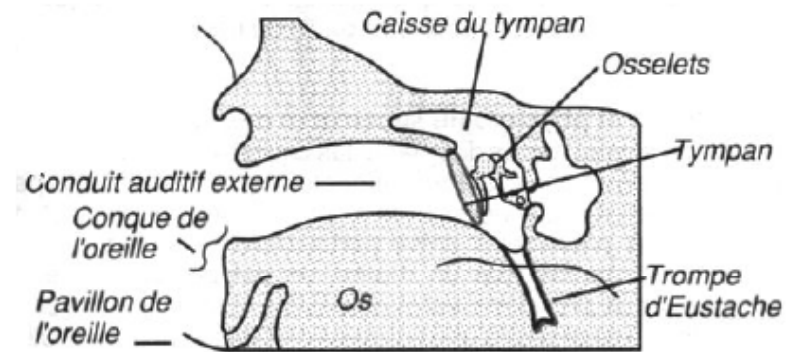
**LES EFFETS DES VARIATIONS DE
PRESSIONS SUR L'ORGANISME**





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.





ANATOMIE DE L'OREILLE

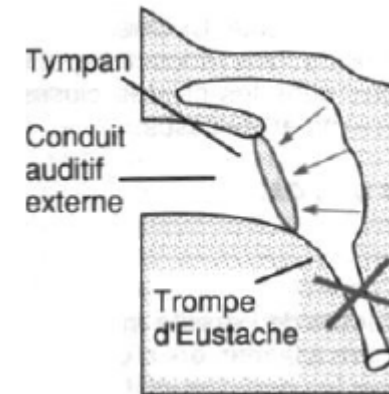
- Cette trompe d'eustache relie donc la cavité du tympan avec l'extérieur par l'intermédiaire du nez.
- Cette communication permet d'équilibrer en permanence les pressions entre l'intérieur et
- l'extérieur du tympan.
- Cette mise à l'air libre créée par cette trompe peut toutefois être altérée voir 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.





ANATOMIE DE L'OREILLE

- Si la trompe est complètement bouchée, 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 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.





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.





L'OTITE BAROTRAUMATIQUE

- 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.





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.





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 plongées sous-marine et vol en altitude.
- Elle peut par contre atteindre le vélivole avide de performance ainsi que les pilotes d'avions pressurisés.





L'AÉROEMBOLISME (MALADIE DE DÉCOMPRESSION)

- 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





L'AÉROEMBOLISME (MALADIE DE DÉCOMPRESSION)

- 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.





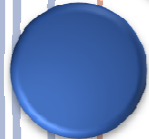
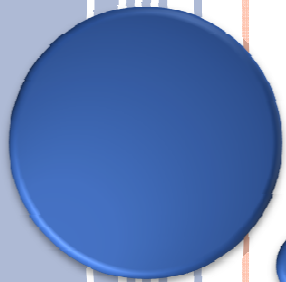
RÉGLEMENTATION & SÉCURITÉ

- Après une plongée sous-marine avec paliers de décompression à la remontée, il faut attendre 24h avant de prendre l'avion.



A photograph of an astronaut in a white space suit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a distorted view of the surroundings. The background is a bright, hazy white, suggesting the sun or a bright light source. The astronaut is holding a large cylindrical object, possibly a tank or a piece of equipment.

LA PRESSURISATION DES CABINES





PRESSURISATION DES CABINES

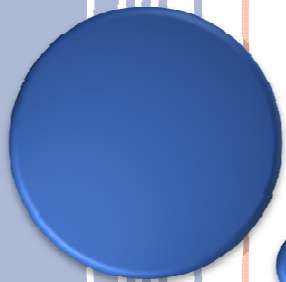
- La pressurisation des cabines a permis d'éliminer en grande partie les risques d'hypoxie et de maladie d'aéroembolisme.
- Le principe de pressurisation des cabines : un compresseur prélève de l'air à l'extérieur pour l'envoyer en cabine.
- Il règne dans la cabine une pression supérieure à la pression 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 ;





A photograph of an astronaut in a white spacesuit floating in space. The astronaut's helmet is highly reflective, showing a distorted view of the surroundings. The background is a bright, hazy white, suggesting the sun or a bright light source. The astronaut is holding onto a structure, possibly part of a space station or shuttle.

EFFETS DE L'ACCÉLÉRATION





NOTIONS DE PHYSIOLOGIE

- Les effets dus au facteur de charge :
 - 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.
- 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.
 - 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.





LES DIFFÉRENTES ACCÉLÉRATIONS

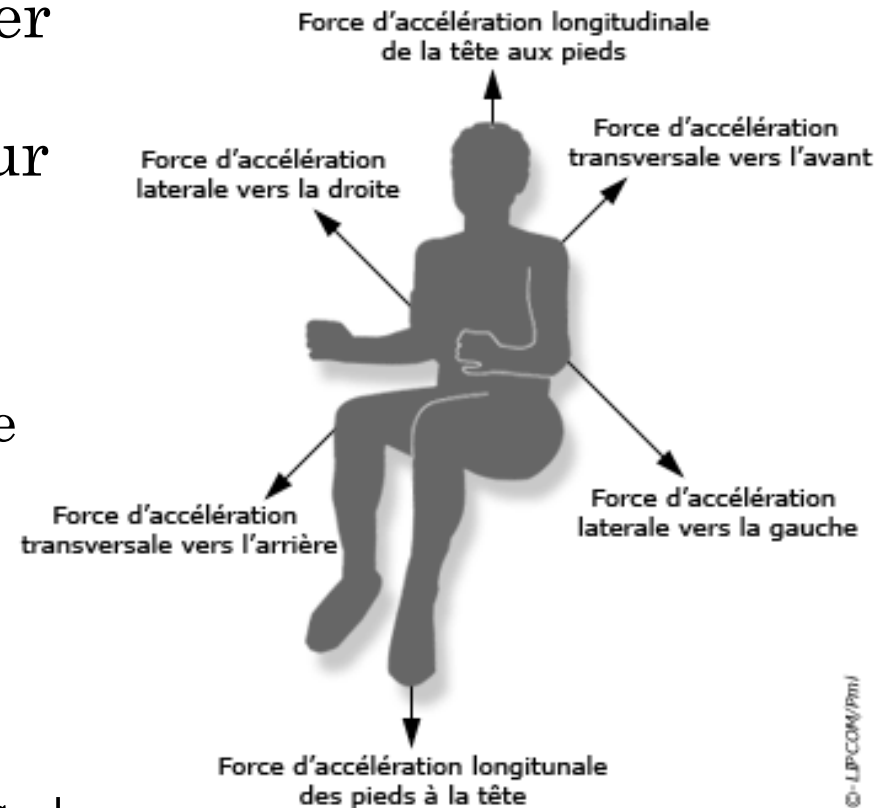
- les différents cas d'accélération :
 - Les accélérations linéaires (m/s^2) où il n'y a que variation de la vitesse, la direction du déplacement reste constante (cas de l'atterrissage et du décollage)
 - Les accélérations radiales où la vitesse reste constante mais où la direction varie dans les :
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





LES DIFFÉRENTES ACCÉLÉRATIONS

- 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





EFFETS DES ACCÉLÉRATIONS POSITIVES

- Effets à :
 - 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





TOLÉRANCES AUX ACCÉLÉRATIONS POSITIVES

- Certains facteurs peuvent toutefois engendrer une moindre résistance aux G_z :
 - Sujets longilignes (long cou)
 - Hypotension artérielle
 - Hypoglycémie
 - Varices
 - Repas copieux





MOYEN DE PROTECTION AUX ACCÉLÉRATIONS POSITIVES

- 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
 - Prendre des inspirations rapides et superficielles toutes les 3 à 4 secondes. Expirer en forçant (en grognant).
- Autres moyens
 - Inclinaison du siège.
 - Combinaison anti-g.





- Combinaison anti g





- Siège incliné (F16)





EFFETS DES ACCÉLÉRATIONS NÉGATIVES

- Effets à :
 - 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.





TOLÉRANCE AUX ACCÉLÉRATIONS NÉGATIVES

- 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
- Les pilotes de voltige semblent les accepter mais elles sont de courte durée.

