Aéromédecine

pour

le P.P.L. (L.A.P.L.)

Tours Aero Club

Dr LEDUC P.A.

Centre d'Expertise de Médecine Aéronautique

Air France – Roissy CDG

2022

TOURS AERO CLUB

PLAN

- Généralités
- Part Med. de la licence
- Aéromédecine
  (environnement, organes des sens)
- conduites addictives
- Facteurs humains
- Exemples par des anales.

Bases physiologiques et médicales

La bonne connaissance de ses propres limites est une condition indispensable à :

- **Une bonne adaptation de l'Homme à l'environnement aéronautique,**
- **Aidés par les différents organes des sens,**
- **Une bonne performance dans l'exécution des tâches en vol**

Le Facteur Humain…

- **I . Environnement**
- II . Organes des sens
- III. Les incapacités
- III . Activités particulières
- IV . Conclusion

L’altitude
sur le plan physiologique

- **Définie par l’hypobarie** : Diminution de la pression barométrique
- Composition constante jusqu’à 30 km d’altitude.
- Loi de Dalton : dans un mélange chaque gaz se comporte comme s’il était seul
- Variation de la température (- 1° pour 500 ft)
- Mais aussi variation de l’hygrométrie et de la charge radiante

Courbe Pression-Altitude

Altitude
(mètres) *(pieds)*

10 300 *33 800*

8 350 *27 500*

5 500 *18 000*

2 500 *8 000*

1 500 *5 000*

P_B

$P_{B0}/4$

$P_{B0}/3$

$P_{B0}/2$

P_{B0}-25%

P_{B0}-15%

P_{B0} = 1013 hPa
760 mmHg

Retenir :
jusqu'à environ 3000 m,
- 1% de P_B pour chaque 100 m d'élévation.

Donc : - 1% de P O_2 / 100 m

Composition gazeuse de l'atmosphère terrestre

« Dans toute la zone d'altitude utilisée par l'aéronautique (jusqu'à 30 000 m – 100 000 ft), l'air contient 21 % d'oxygène. »

Gaz	Symbole	Fraction	Remarques
Azote	N_2	0,78101	constant
Oxygène	O_2	0,20946	constant
Vapeur d'eau	H_20	$2 . 10^{-2}$	très variable
Argon	Ar	$9,17 . 10^{-3}$	constant
Dioxyde de carbone	CO_2	$3,30 . 10^{-4}$	variable
Néon	Ne	$1,82 . 10^{-4}$	constant
Hélium	He	$5,24 . 10^{-6}$	constant
Méthane	CH_4	$1,50 . 10^{-6}$	constant
Krypton	Kr	$1,14 . 10^{-6}$	constant
Ozone	O_3	10^{-7}	très variable

Adaptation à l'environnement : **l'altitude**

3 risques physiologiques majeurs liés à la variation de l'altitude :

- L'hypoxie
- La maladie de décompression ou aéroembolisme
- Les barotraumatismes
- L'ébullisme
- Le froid

Adaptation à l'environnement : **l'altitude**

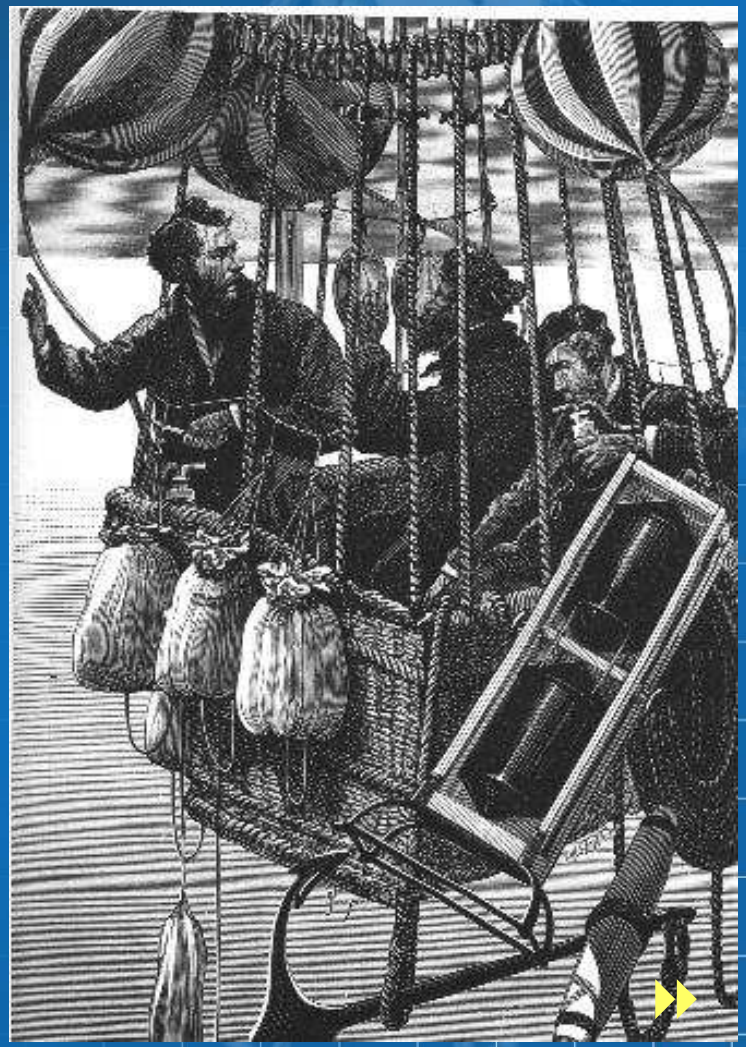
3 risques physiologiques majeurs liés
à la variation de l'altitude :

- **L'hypoxie**
- La maladie de décompression ou aéroembolisme
- Les barotraumatismes
- L'ébullisme
- Le froid

Effets physiologiques de l'hypoxie aiguë d'altitude: historique

L'accident *princeps* :

15 Avril 1875 : accident du ballon « *Le Zénith* »
Mort de Théodore Sivel et de Joseph Crocé-Spinelli.
Gaston Tissandier survécut.



Effets physiologiques de l'hypoxie aiguë d'altitude: historique

11 juillet 1989, 22 décembre 1993 : accidents aériens en France, avec mort d'hommes, dus à l'hypoxie.

octobre 1999 : accident aérien aux États-Unis, avec mort d'hommes, dû à l'hypoxie.

septembre 2000 : accident aérien en Australie, avec mort d'hommes, dû à l'hypoxie.

14 août 2005 : accident d'un B737 à proximité d'Athènes.

Effets physiologiques de l'hypoxie aiguë d'altitude: historique

2009 : publication d'une série statistique à l'Aerospace Medical Association (aviation générale) :

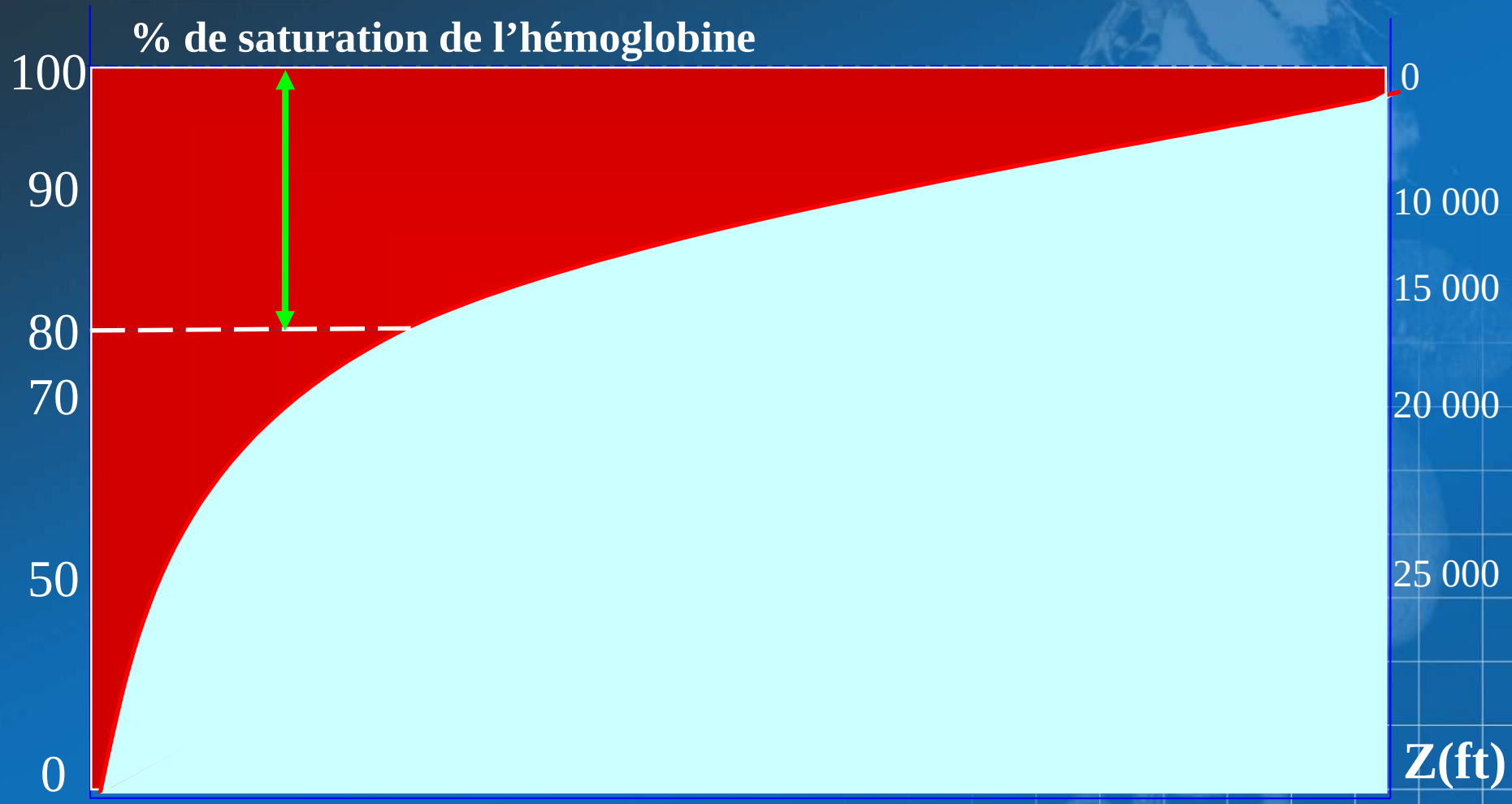
Entre 1985 et 2006: 21 accidents imputables (au moins en partie) à l'hypoxie.

- **62%: avions de masse < 2 t.**
- **76% des accidents en croisière, 24% approche ou atterrissage**
- **90% des pilotes n'ont pas reconnu l'hypoxie en vol.**
- **62% des aéronefs détruits, 26 morts.**

Répartition selon l'âge des pilotes: banale.

Dambier *et al.*, AsMA meeting, Los Angeles, CA, 4-7 mai 2009

Saturation de Hb en 0_2 en fonction de Po_2



Pas (peu) d'adaptation possible…

Pas (peu) d'adaptation possible…
Contrairement à l'avion.
POMPE ELECT
B-M MKR
COM NAV
ADF
ATC
1 COM 2 COM 3 COM 4
1 NAV 2
DME
MKR
1 ADF 2
119.05
119.20
115.20
116.50
VERTICAL SPEED
100 FEET PER MINUTE
ALT
IDENT
OFF ADF ANT BFO
ADF
295
KR 85 TSO
VOL
TAB
DEMARREUR

En pratique et de façon générale: Plusieurs zones d'altitude

- **Zone indifférente: 0 à 1 500 m**
- **Compensation complète: 1 500 à 3 500 m**
- **Compensation incomplète: 3 500 à 5 500 m**
- **Zone critique: au dessus de 5500 – 6000 m (12 000 ft)**

Quand survient l'hypoxie ?

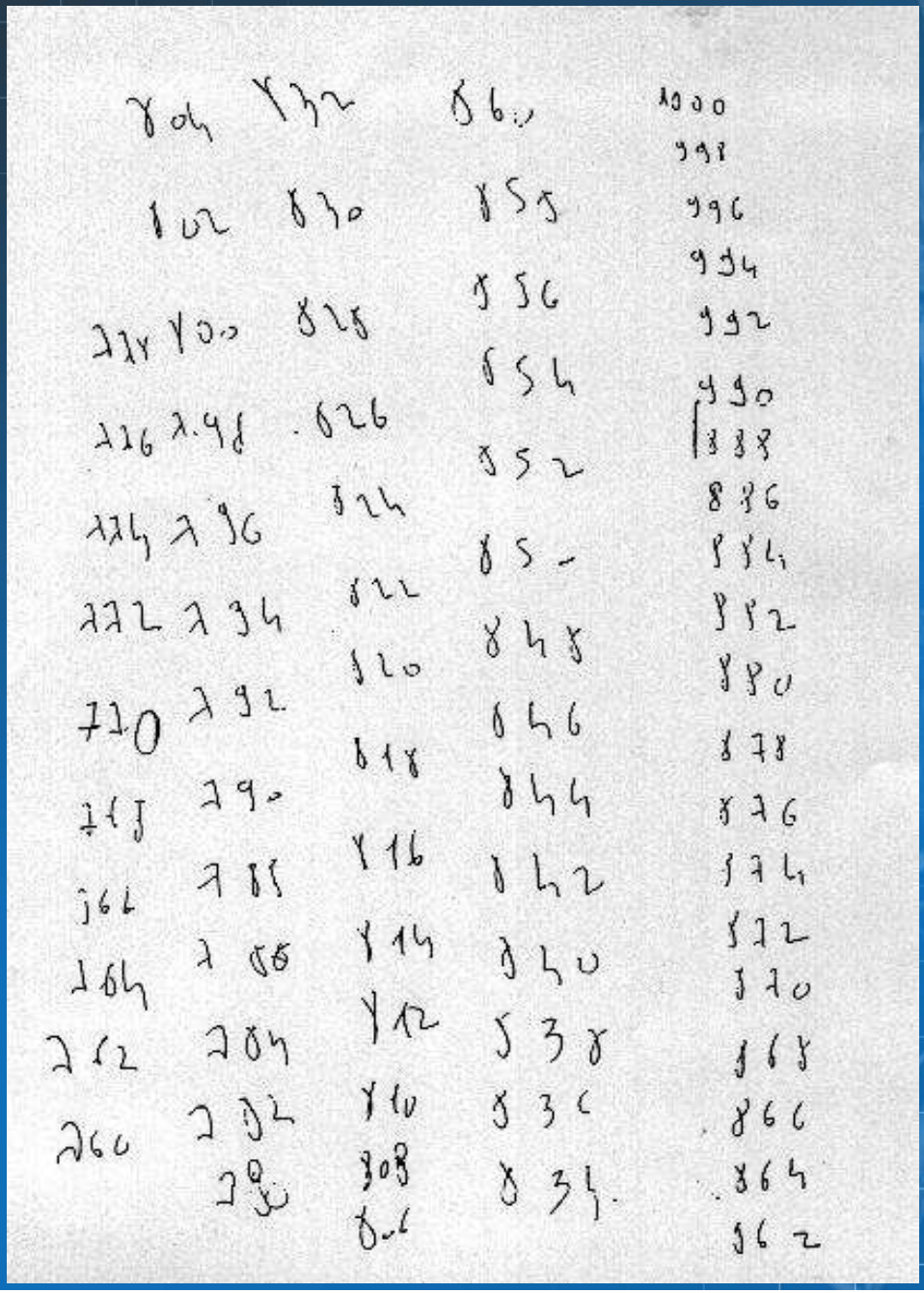
- Vol en hypobarie (Altitude)
  - Vol prolongée à haute altitude
    apparition insidieuse…

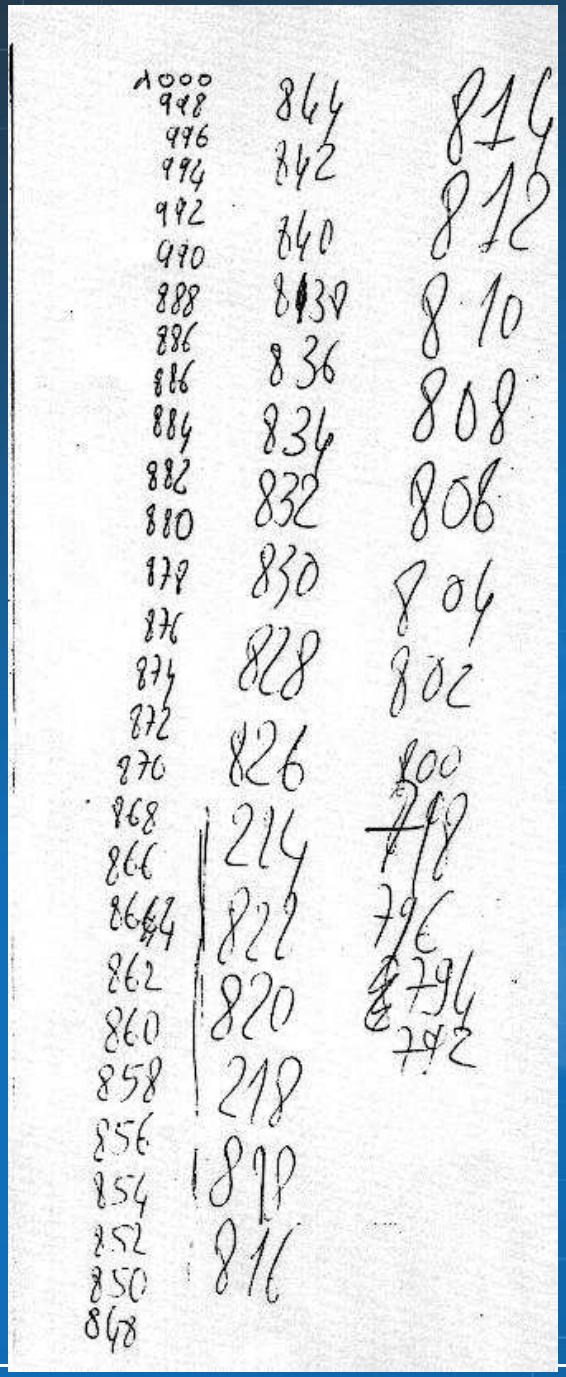
- Décompression rapide
  - Les premiers signes sont neurologiques et/ou cardiaques

Dépend de la vitesse de montée, de la durée du vol, de l'état de santé et de la fatigue du pilote…

L'Hypoxie d'Altitude, que se passe t'il ?

- Un certain degré d'hypoxie existe chez tous les individus en bonne santé à partir de 3000 ft.
- La performance en vision nocturne chute de 10% dès 5000 ft.
- A 8000 ft, les temps de réaction sont plus longs, la performance mentale diminue




1000
998
996
994
992
990
888
886
884
882
880
878
876
874
872
870
868
866
864
862
860
858
856
854
852
850
848
864
842
840
838
836
834
832
830
828
826
824
822
820
818
816
816
812
810
808
806
804
802
800
798
796
794
792

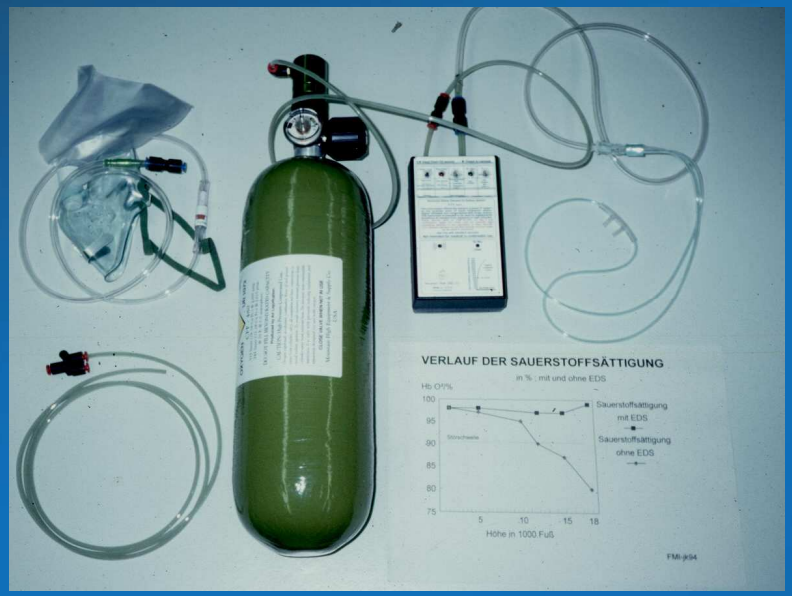
Grand caisson d’altitude du LAMAS - Brétigny

Tolérance à l’hypoxie

- La forme physique
- L’état de fatigue
- Habitus de vie: Alcool et tabac
- L’adaptation à l’altitude
- la durée du vol
- La température ambiante

La solution : apport d'oxygène à bord selon type de vol

Quand faut-il mettre le masque à oxygène ?
En fonction de l'altitude et au moindre doute…



Réglementation
UE n°965/2012

Le pilote doit utiliser l'oxygène dès qu'une altitude de vol dépasse 10 000 ft sauf pendant les 30 premières minutes et sans dépasser 13 000 ft

Pour tous et durant toute la durée du vol au dessus de 13 000 ft

Le plus important : Connaissance des limites

- Les systèmes actuels sont efficaces jusqu'à des altitudes > FL 195
- Les pilotes pensent connaître et maîtriser les signes d'hypoxie
- Ils n'ont souvent pas conscience des effets sournois de l'hypoxie
- « Ils n'ont pas la notion » que la fatigue entraîne un risque de suraccident

Adaptation à l'environnement : **l'altitude**

3 risques physiologiques majeurs liés
à la variation de l'altitude :

- L'hypoxie
- **La maladie de décompression ou aéroembolisme**
- Les barotraumatismes
- L'ébullisme
- Le froid

II - Maladie de décompression d'altitude

- Liée aux gaz dissouts dans le sang (Azote,….)
- Pas chez les sujets sains > 5500 m
- Facteurs de risque :
  - > 40 ans
  - Obésité
  - Régime alimentaire très protéiné
  - **Plongée sous-marine préalable au vol !**

Adaptation à l'environnement : **l'altitude**

3 risques physiologiques majeurs
liés à la variation de l'altitude :

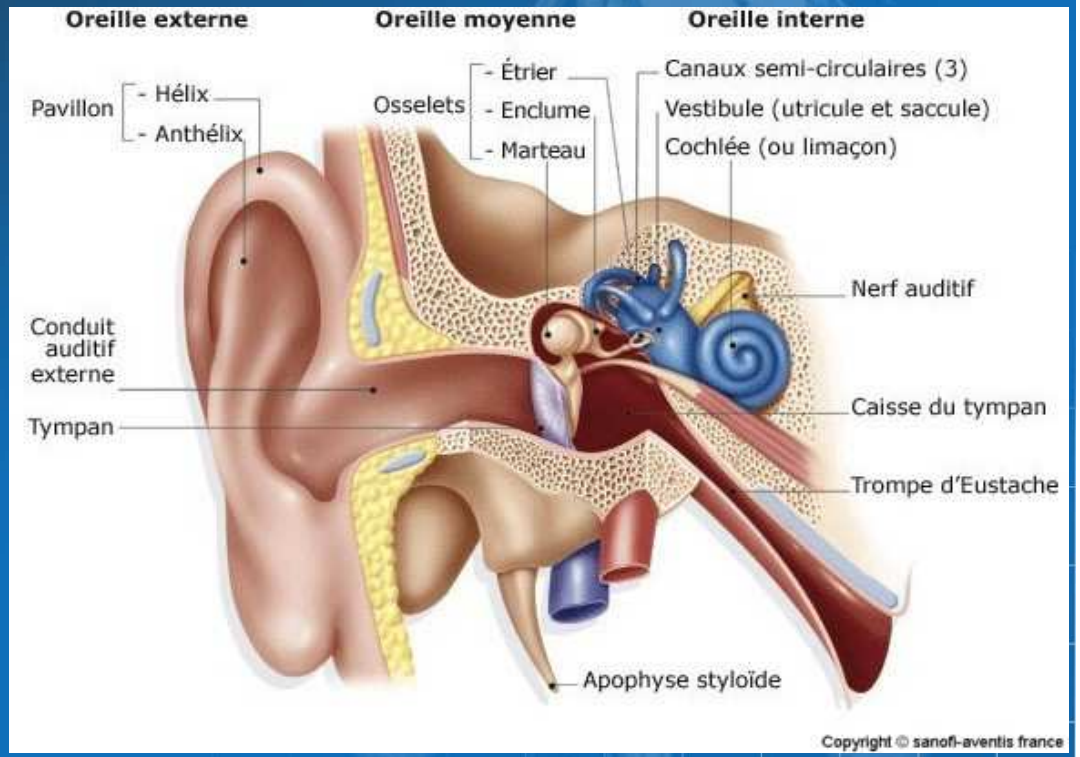
- L'hypoxie
- La maladie de décompression ou aéroembolisme
- **Les barotraumatismes**
- L'ébullisme
- Le froid

III - Les Barotraumatismes

- Loi de Boyle-Mariotte : Pression * Volume = cste
- Ils peuvent survenir à la montée ou à la descente
- Ils atteignent des cavités naturelles remplies de gaz : sphère ORL, le tube digestif, les poumons, les dents (aérodontalgies…)
- En particulier l'oreilles moyennes (**otite barotraumatiques**) et les sinus (**Sinusites**)

L’oreille, rappels anatomiques

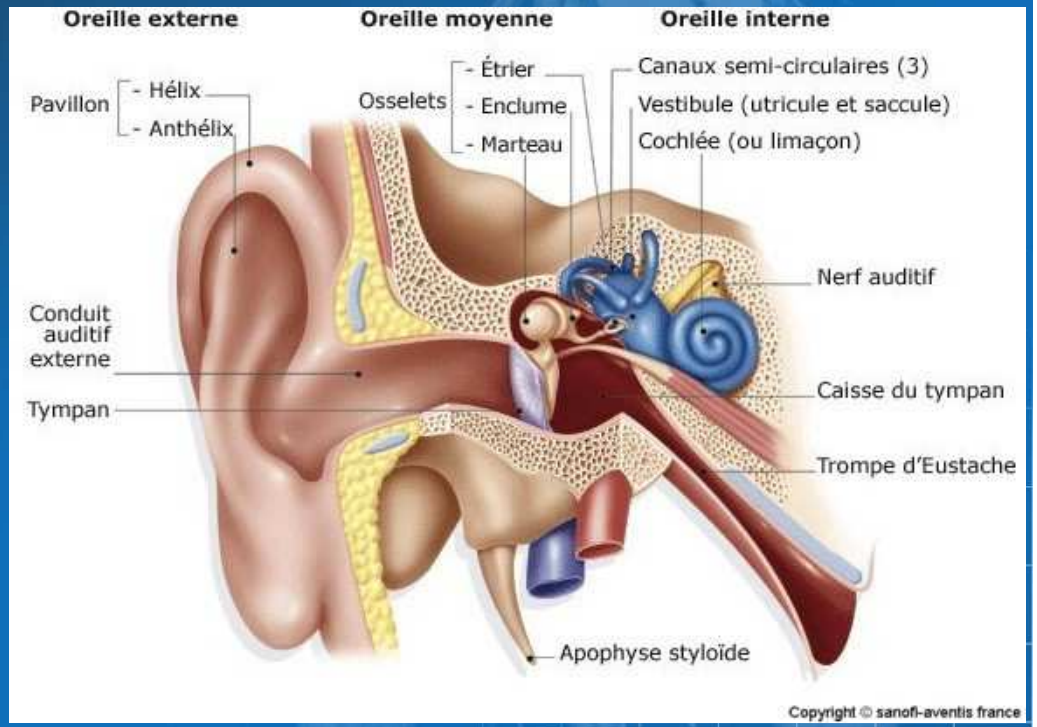
- 3 parties :
  - L’oreille externe
  - L’oreille moyenne
  - L’oreille interne



- Le tympan sépare la partie externe de la partie interne

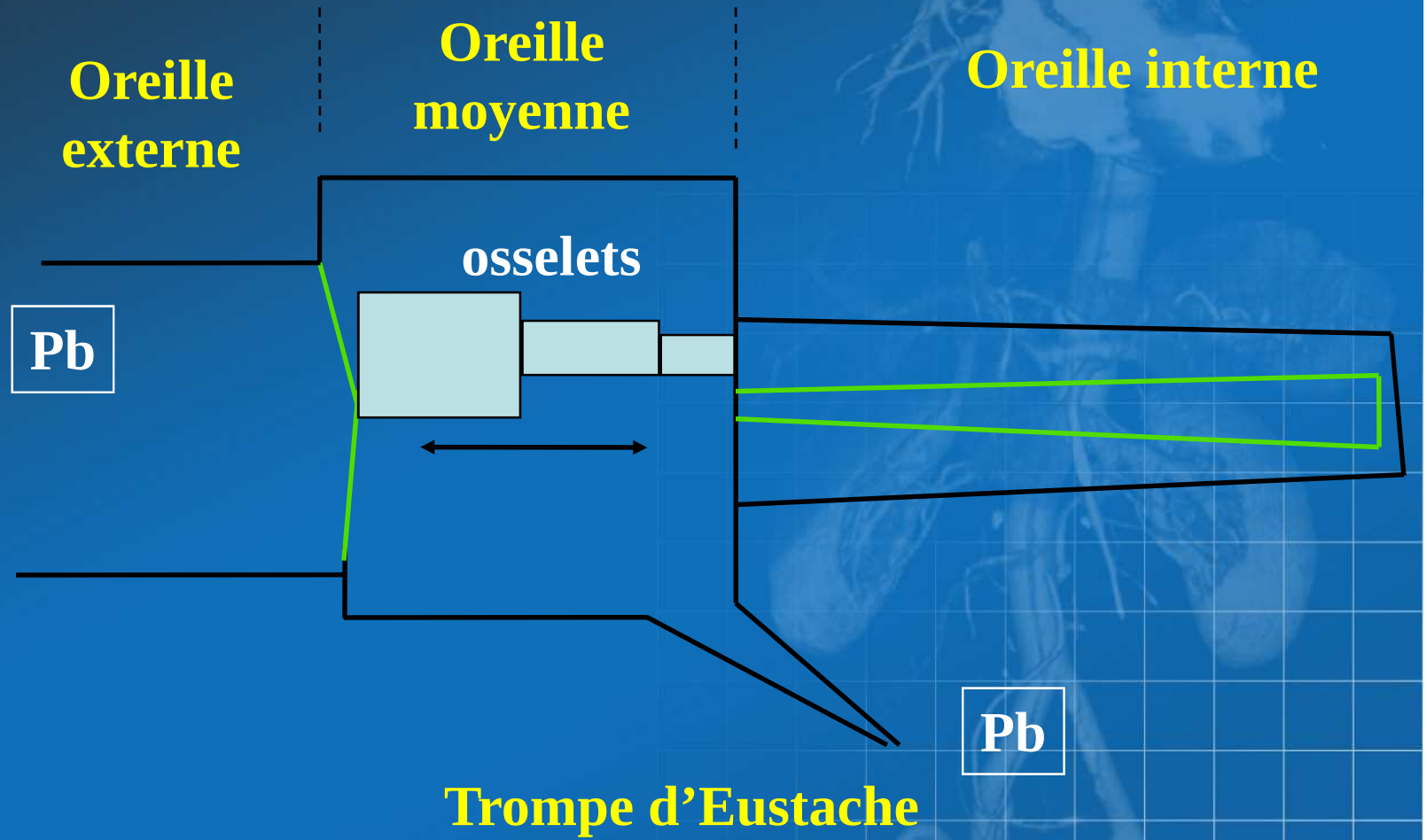
L’oreille, rappels anatomiques

- La chaînes des **osselets** se trouve dans l’oreille moyenne
- La **trompe d’Eustache** relie l’oreille moyenne au nez et permet **l’équilibre des pressions de l’air de part et d’autre du tympan**



- L’oreille interne contient 2 organes
  - La cochlée (perception des sons)
  - L’appareil vestibulaire (organe de l’équilibre)

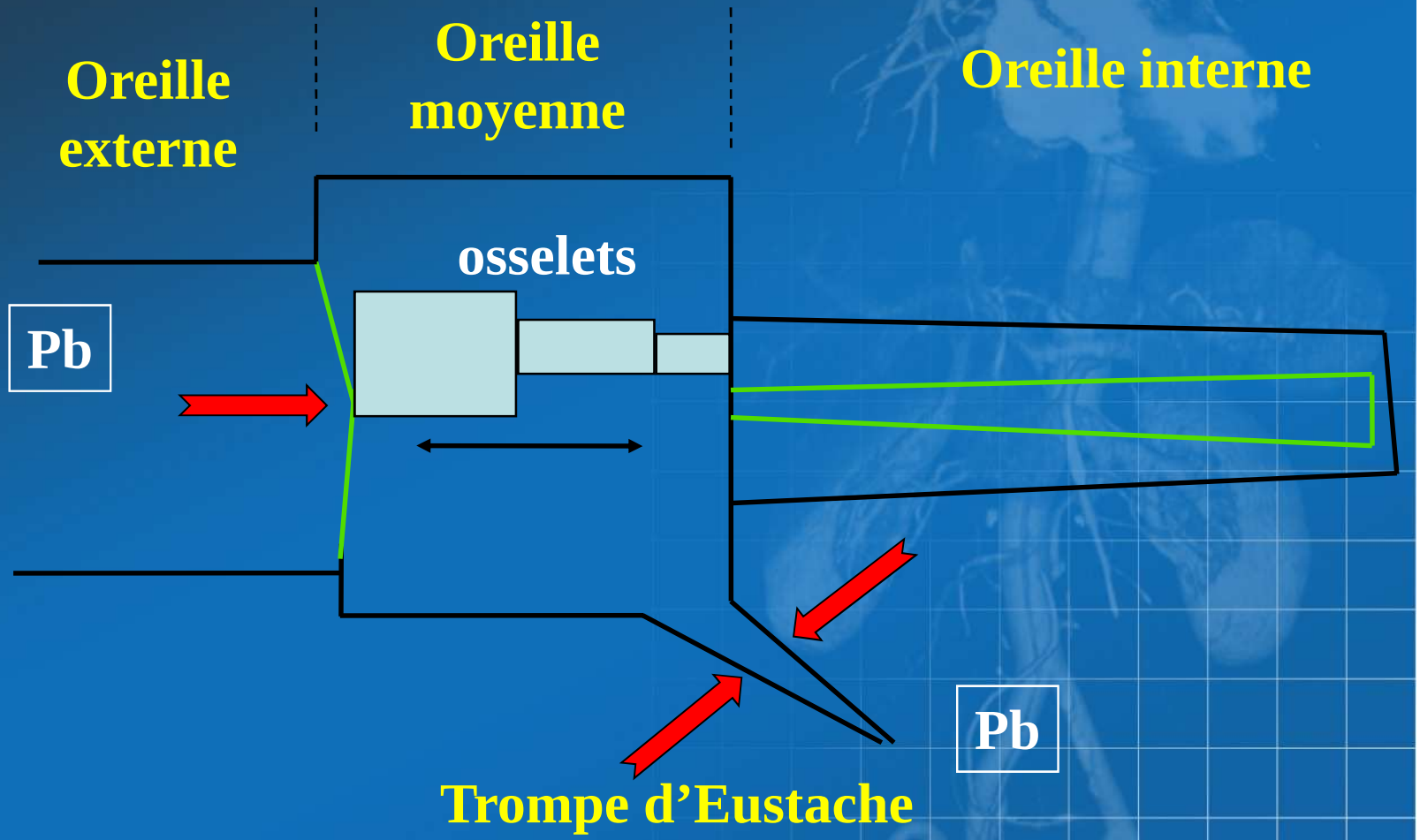
Otites barotraumatiques



Effets de la variation d'altitude sur l'oreille

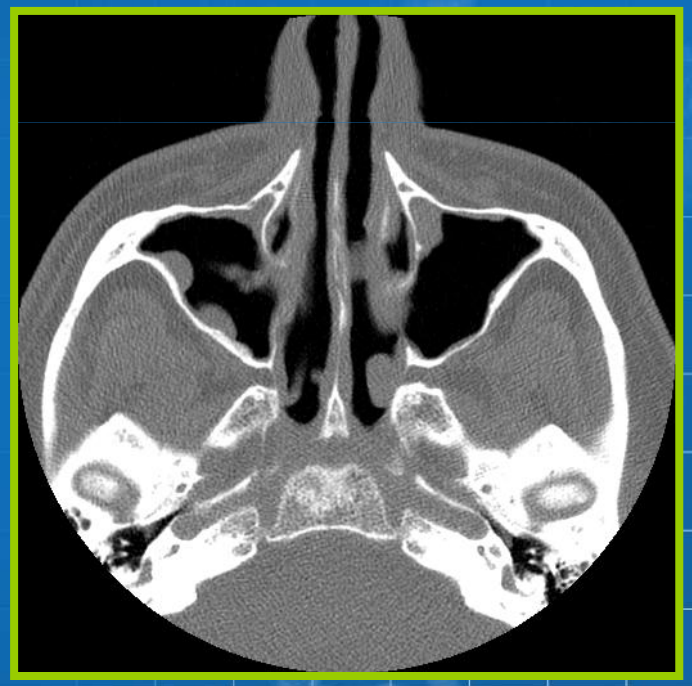
- **Montée :**
  - L'expansion des gaz entraîne une pression sur le tympan et l'ouverture de la trompe d'Eustache
  - Sensation d'oreille « pleine » ou bouchée
  - Pas de problème particulier
- **Descente :**
  - L'augmentation de la pression déforme le tympan qui bombe dans l'oreille moyenne
  - Si la trompe d'Eustache reste fermée, pas d'équilibre des pressions : **risque d'otite barotraumatique** et **douleurs +**

Otites barotraumatiques



Sinusites barotraumatiques

- Douleurs au niveau des sinus



Conduite à tenir

- En montée :
  - Les problèmes intestinaux et dentaires ne peuvent être réglés que préventivement…
- En descente
  - L'otite barotraumatique et sinus :
  - rester au sol en « période de rhume »
  - A bord : bâillements, mastication, déglutition, manœuvre de Valsalva…
  - Vario cabine adapté (< 500 ft/mn)

= Savoir différer un vol…

Adaptation à l'environnement : **l'altitude**

Risques physiologiques accessoires liés
à la variation de l'altitude :

- L'hypoxie
- La maladie de décompression ou aéroembolisme
- Les barotraumatismes
- **L'ébullisme**
- Le froid

IV - L'ébullisme

- La température d'ébullition de l'eau est fonction de la pression:
  l'eau bout à 100 °C sous une pression de 1 013 hPa
  Si P_B = 63 hPa l'eau bout à 37°C
  càd quand l'altitude > **19 200 m** (63 000 ft)

- Ne concerne pas les avions non préssurisés….

- Avion pressurisés civils : Concorde…

- Soyouz 11 le 28 juin 1971 (3 morts/3)

Adaptation à l'environnement : **l'altitude**

Risques physiologiques accessoires liés
à la variation de l'altitude :

- L'hypoxie
- La maladie de décompression ou aéroembolisme
- Les barotraumatismes
- L'ébullisme
- **Le froid**

V - Le froid

- Échanges thermiques par conduction (K): transferts de chaleur par contact avec un solide

- Conductivité thermique: très élevée pour les métaux, élevée pour l'eau, très faible pour le bois ou l'air

V - Le froid
Diminution température :

- **Diminution de 6,5°C / 1 000 m**
  ou 2°C / 1 000 ft

15°C au niveau de la mer (atm. standard)

0°C à 2 000 m

- 10°C à 4 000 m

- 25°C à 6 000 m

- 56°C à 11 000 m

Et surtout…

Diminution de la température dans le milieu…le survol maritime

- Le but du canot de sauvetage n’est pas d’empêcher le naufragé de se noyer (c’est le rôle du gilet de sauvetage), c’est de le sortir de l’eau pour l’empêcher de mourir de froid.

- Pratiquement aucune chance de survie au-delà de 2 heures à 5°C et de 4 heures à 10°C

- I . Environnement
- II . **Organes des sens**
- III. Les incapacités
- IV . Activités particulières
- V . Conclusion

II . Organes des sens

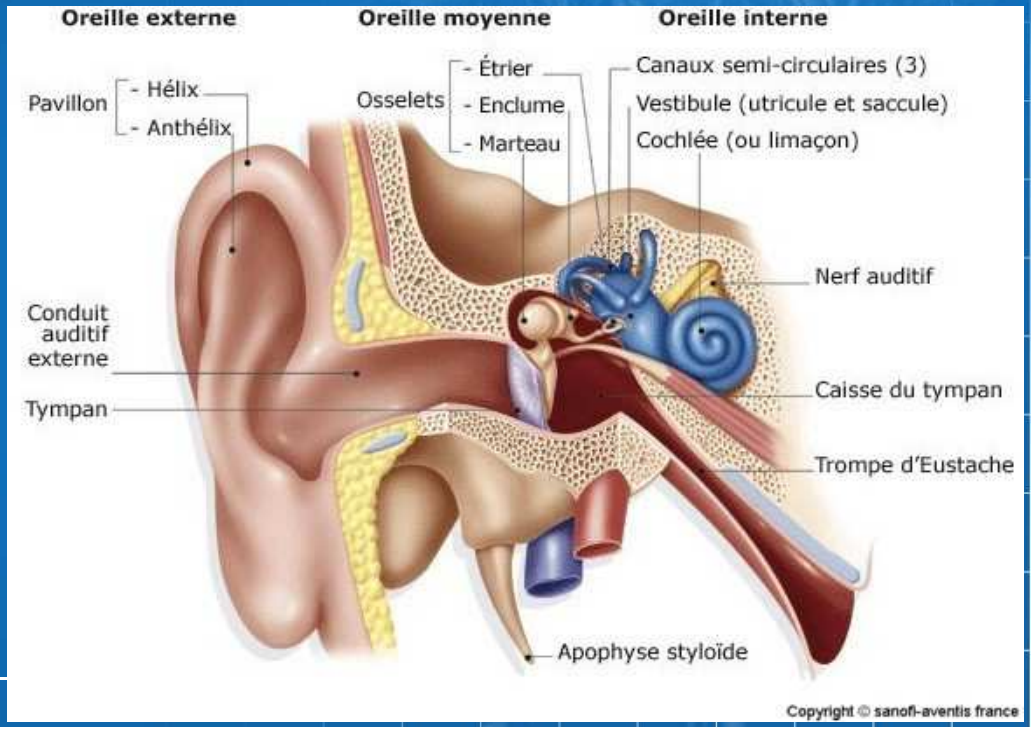
1. **L’Audition**
2. L’Orientation
3. La Vision
4. L’Odorat

L'Audition

Les sons véhiculés par l'oreille externe mettent le tympan en vibration

Ils sont transmis à l'oreille interne par la chaîne des osselets

Dans l'oreille interne, la cochlée transforme les sons en influx nerveux par le nerf auditif



L’Audition

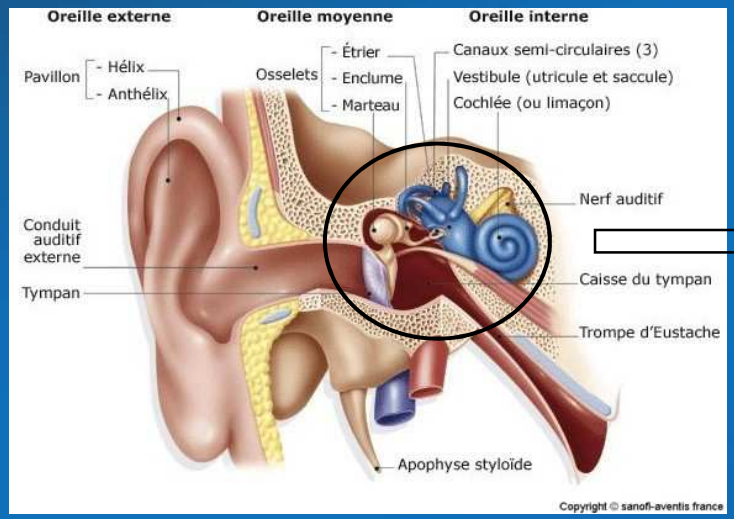
- Par l’oreille externe et moyenne
- Sert à détecter un bruit anormal
- Utiliser pour estimer le régime moteur
- Permet d’estimer sa vitesse
- Indispensable pour la radio

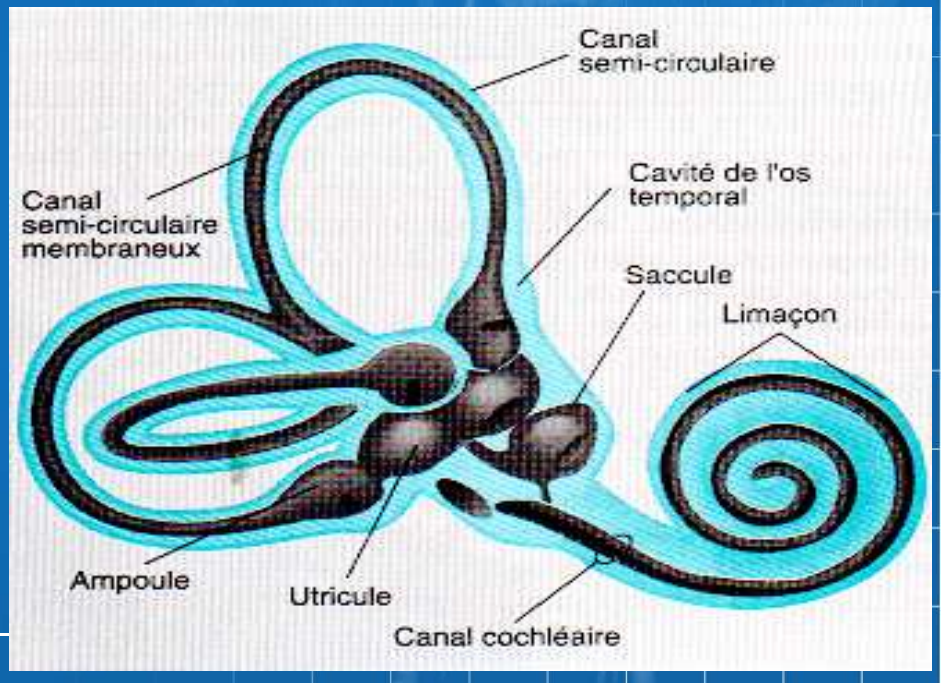
II . Organes des sens

1. L’Audition
2. **L’Orientation**
3. La Vision
4. L’Odorat

Equilibre et orientation dans l'espace

- Seconde fonction de l'oreille, l'orientation dans l'espace
- Par l'oreille interne
- L'appareil vestibulaire : véritable gyroscope, support essentiel de l'orientation spatiale.





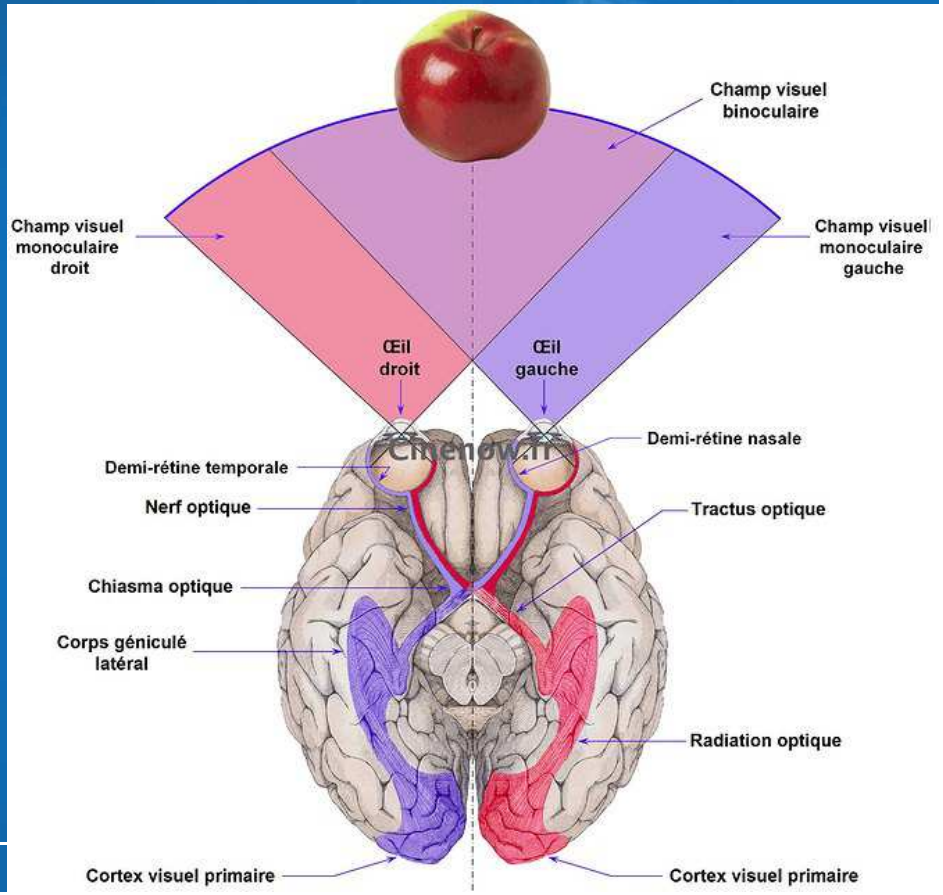
II . Organes des sens

1. L’Audition
2. L’Orientation
3. La Vision
4. L’Odorat

Le système visuel

✈ > 70 % de l'information traitée par l'homme entre par le canal visuel

Les voies visuelles relient les 2 yeux au cortex en un point (le chiasma).



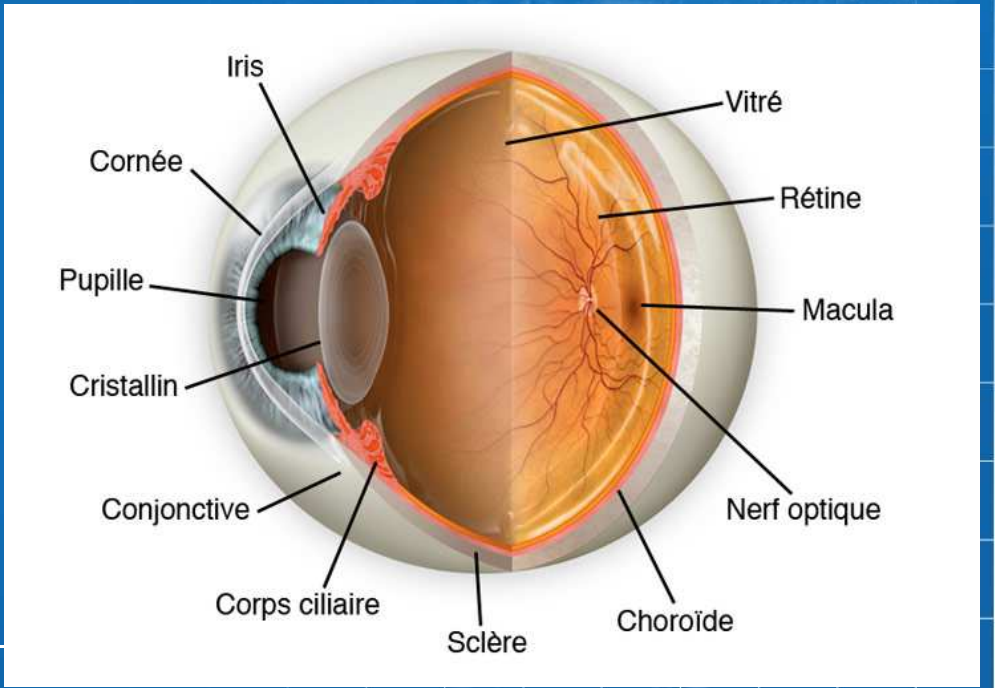
Rappel anatomique de l'œil

- Se comporte comme **un appareil photo**
- Il se compose de :

- La cornée (objectif de l'appareil)
- L'iris (le diaphragme)
- Le vitré

  (la chambre de l'appareil)
- La rétine

  (le capteur électronique)



La Vision

- Acuité visuelle
- Vision des reliefs
- Vision des couleurs
- Vision de nuit

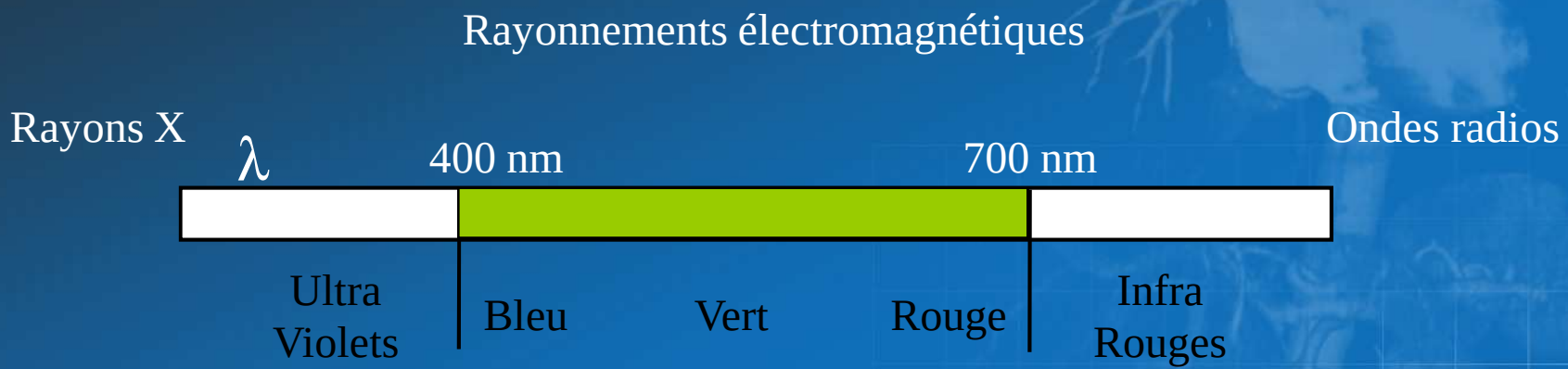
Acuité visuelle par : Vision centrale et vision périphérique

VISION CENTRALE (Cônes)	VISION PERIPHERIQUE (Bâtonnets)
Les détails	Les formes
Les couleurs	Les niveaux de gris
Les textures	Les mouvements
Identification des objets	Détection des objets
Vision diurne / photopique	Vision nocturne / scotopique…

Vision diurne et nocturne

- Les **Cônes** de la rétine qui permettent la vision des détails deviennent inactifs en vision nocturne
- Les **Bâtonnets** sont moins précis pour la perception des détails, mais permettent la vision nocturne
- Environ **25 mn** d'adaptation

L’œil est sensible à une lumière



L’œil n’est sensible qu’à une petite fenêtre
de l’ensemble des rayonnements électromagnétiques

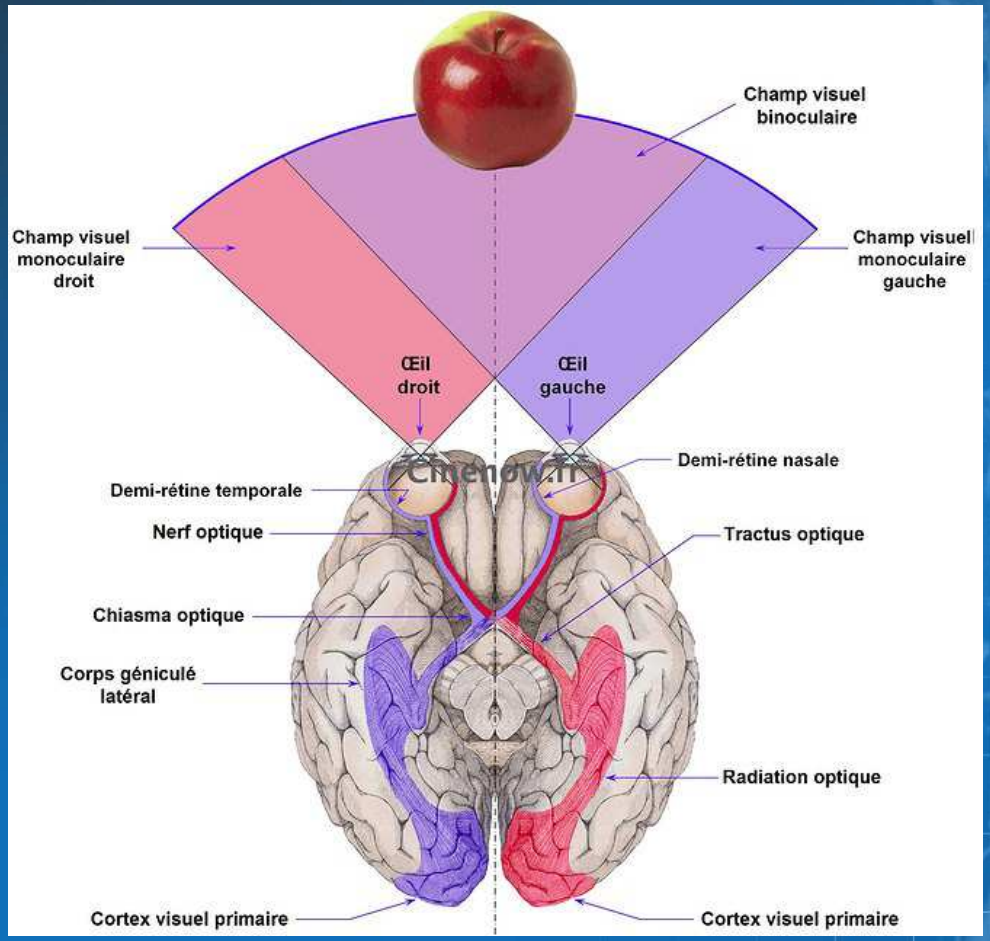
Le monde visible n’est qu’une partie du monde réel.

La nuit : capacités visuelles dégradées

- Cécité centrale. Il faut regarder à côté.
- Faible résolution spatiale. Les détails fins sont gommés.
- Nécessité d'un temps d'adaptation. Attention aux lumières.
- Perte des couleurs. La nuit tous les chats sont gris.

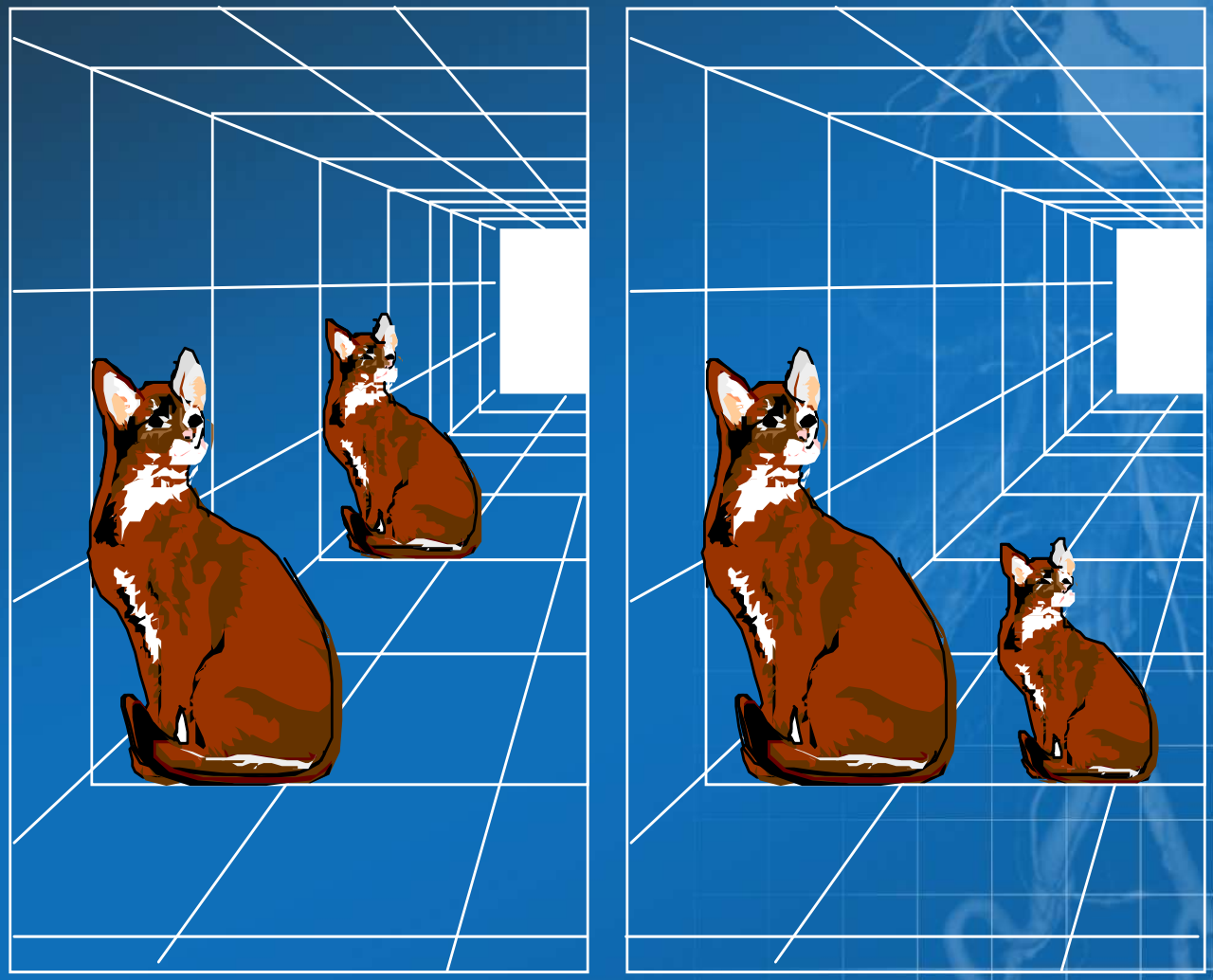
Des performances visuelles très dégradées la nuit…

Vision du relief, Vision 3D



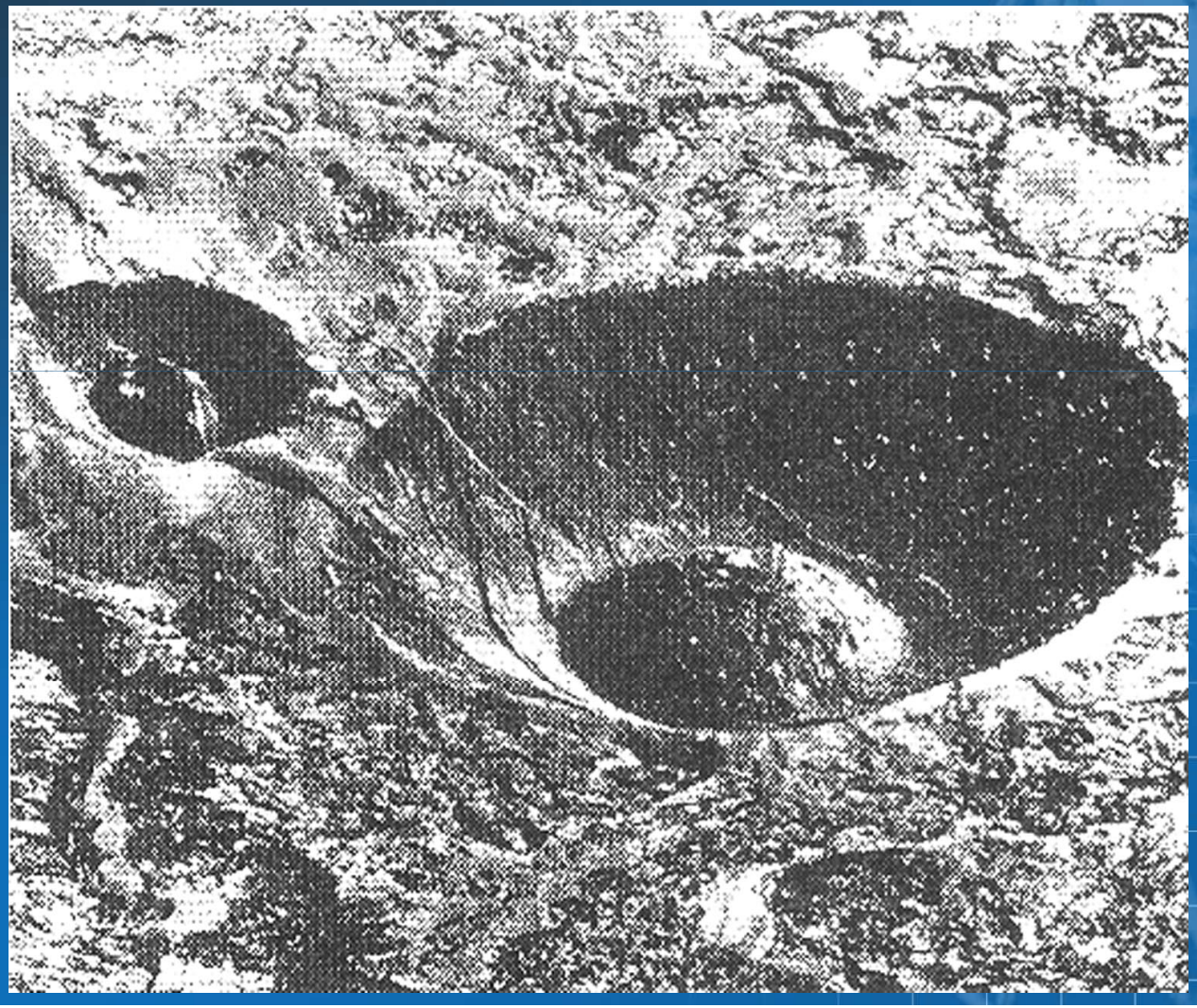
La 3D est une construction du cerveau

Vision des reliefs
Perspective - Taille relative

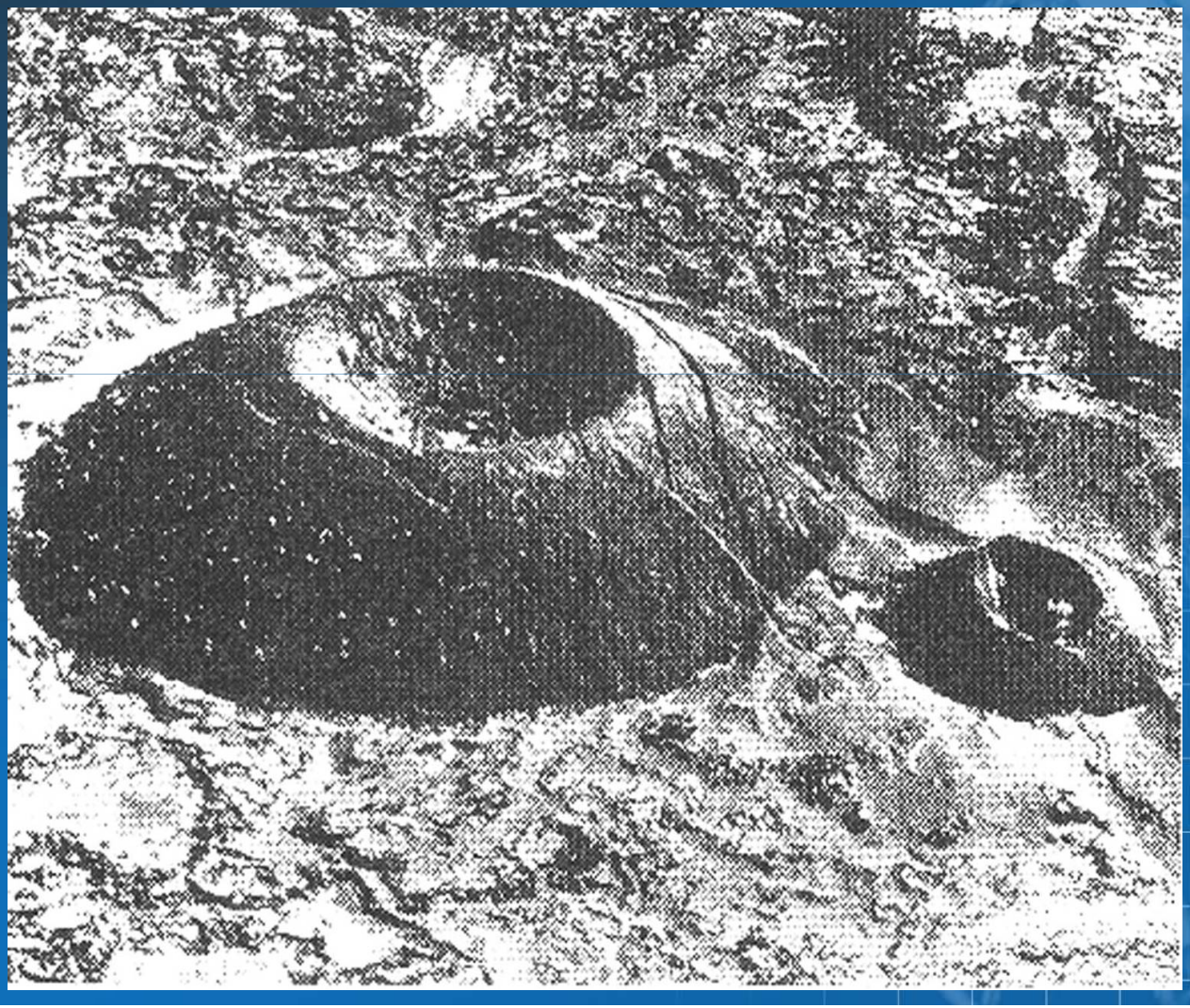


Ombres

Ombres



Inversion des ombres

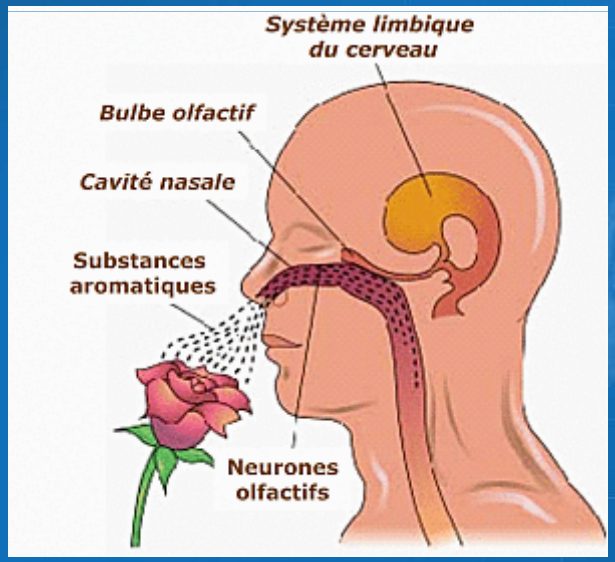


II . Organes des sens

1. L’Audition
2. L’Orientation
3. La Vision
4. **L’Odorat**

L’Odorat

- **Sert à détecter une odeur anormale : début d’incendie, fuite essence …**



II . Organes des sens

1. L'Audition
2. L'Orientation
3. La Vision
4. L'Odorat

+ Synthèse : les illusions sensorielles

Pb de l'équilibre et d'orientation dans l'espace

- L'homme utilise des informations fournies par **l'œil**, **l'oreille interne** et des récepteurs près des articulations.
- Ces infos sont transmises au cerveau qui construit une représentation de la position du corps dans l'espace.

Mise en jeux de l'ensemble
des organes des sens
= Nécessite leur intégrité…

Les illusions sensorielles

- 4 origines :
  - Les mécanismes visuels
  - Les mécanismes vestibulaires
  - Les **conflits d'information entre l'oreille interne et le système visuel et la proprioception.**
  - Des interprétations cognitives erronées

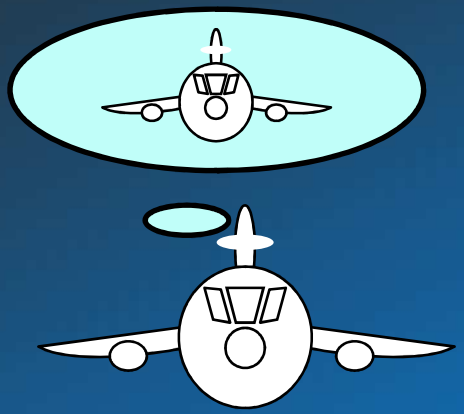
Les illusions visuelles

- Liées à la perception du mouvement
  - Manœuvres d'évitement inutiles voire dangereuses
- Liées aux contrastes d'éclairage
  - erreur du pilote dans l'estimation de la hauteur (relation luminosité / distance)

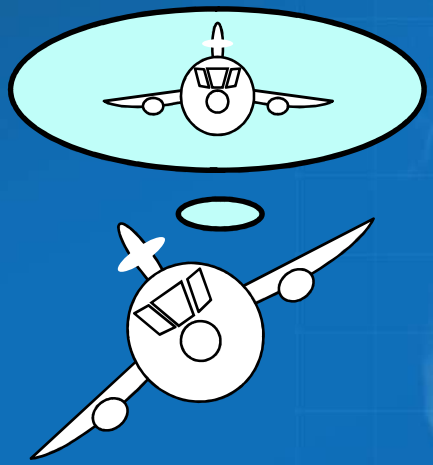
Les illusions d’origines vestibulaires

- Stimulation isolée de l’oreille interne en l’absence d’information visuelle.
- Responsables d’une mauvaise représentation de l’orientation de l’avion dans l’espace.
- Peuvent survenir même pour des accélérations faibles.

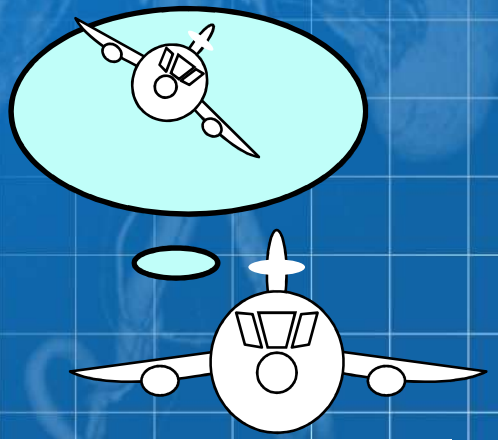
Conséquence des seuils vestibulaires



Inclinaison
infra-liminaire



Correction
supra-liminaire



Les illusions par interactions vestibulo-visuelles

- Conflit sensoriel entre perception de la verticale et de l'horizontale par le système visuel et l'appareil vestibulaire
  - Virages prolongés
  - Sorties de virage

= Pb du vol sans visibilité : VSV

- Qualification IFR (Instrumental Flight Rules) + avion IFR + pilote entraîné !!!

- Risque de désorientation temporo-spatiale, due à une discordance entre les informations:
  - visuelles
  - vestibulaires
  - proprioceptives

Retenons

- Le cerveau n’est véritablement sensible qu’aux changements de situation (stimulation)

- **L’absence de stimulus, ou un stimulus de faible intensité peut abuser les sens, à amener l’avion à une situation dangereuses en quelques secondes**

- I . Environnement
- II . Organes des sens
- **III. Les incapacités**
- IV . Activités particulières
- V . Conclusion

Incapacités du pilotes

- Les indigestions viennent au premier plan
- « check-list physiologique » avant le vol et ne pas hésiter à l'annuler en cas de moindre doute

L’alimentation

- **En vol :** dilatation des gaz, réductions des contractions gastriques et intestinales, réduction des sécrétions

- **Avant le vol :**
  - **EVITER :** les légumes secs, les légumes feuilles, les épices, les fromages à pâte molle, les viandes dures, trop de fibres, les boissons gazeuses, l’ALCOOL (- de 8 heures avant le vol).

Manger léger…

Mais penser à s’hydrater…

Le mal du transport

- **1er temps** :
  - Altération des performances
  - Malaise avec nausée, sueur froide, pâleur.
- **2nd temps :**
  - Salivation, sensation de chaleur, perturbations gastro-intestinales, vomissements.
- **3ème temps :**
  - Les symptômes imposent l'arrêt immédiat de l'activité : hyperventilation, maux de tête, somnolence, apathie

Danger

Donc, avant un vol…

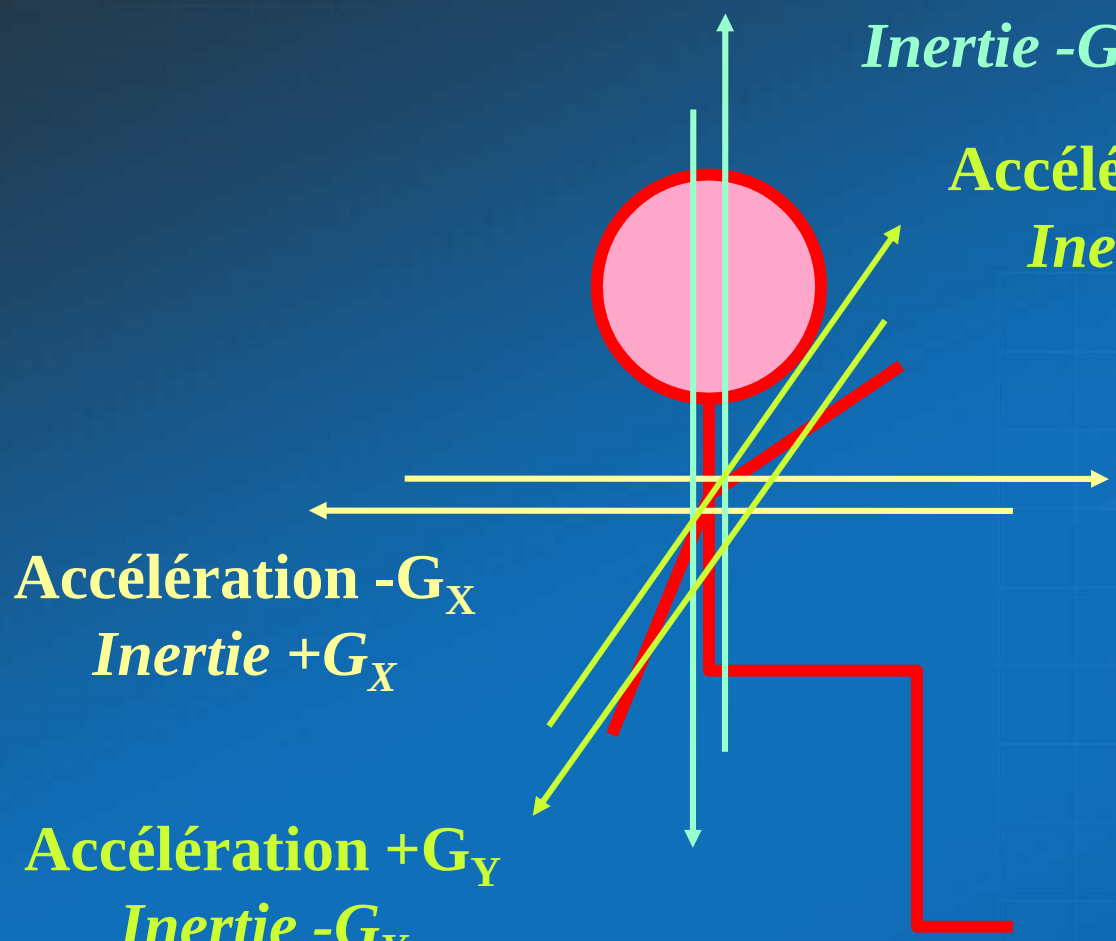
- **Auto-surveillance régulière :**
  - Fatigue,
  - L'hypovigilance,
  - L'incapacitation temporaire,
  - Le stress,
  - L'alimentation

- I . Environnement
- II . Organes des sens
- III. Les incapacités
- IV . **Activités particulières**
- V . Conclusion

La voltige

- Caractéristique : L'Homme n'est sensible ni au déplacement ni à la vitesse. Il n'est sensible qu'à la variation de la vitesse, c'est-à-dire **l'accélération.**

Classification des accélérations selon l'axe



Accélération $+G_Z$
Inertie $-G_Z$

Accélération $-G_Y$
Inertie $+G_Y$

Accélération $+G_X$
Inertie $-G_X$

Accélération $-G_X$
Inertie $+G_X$

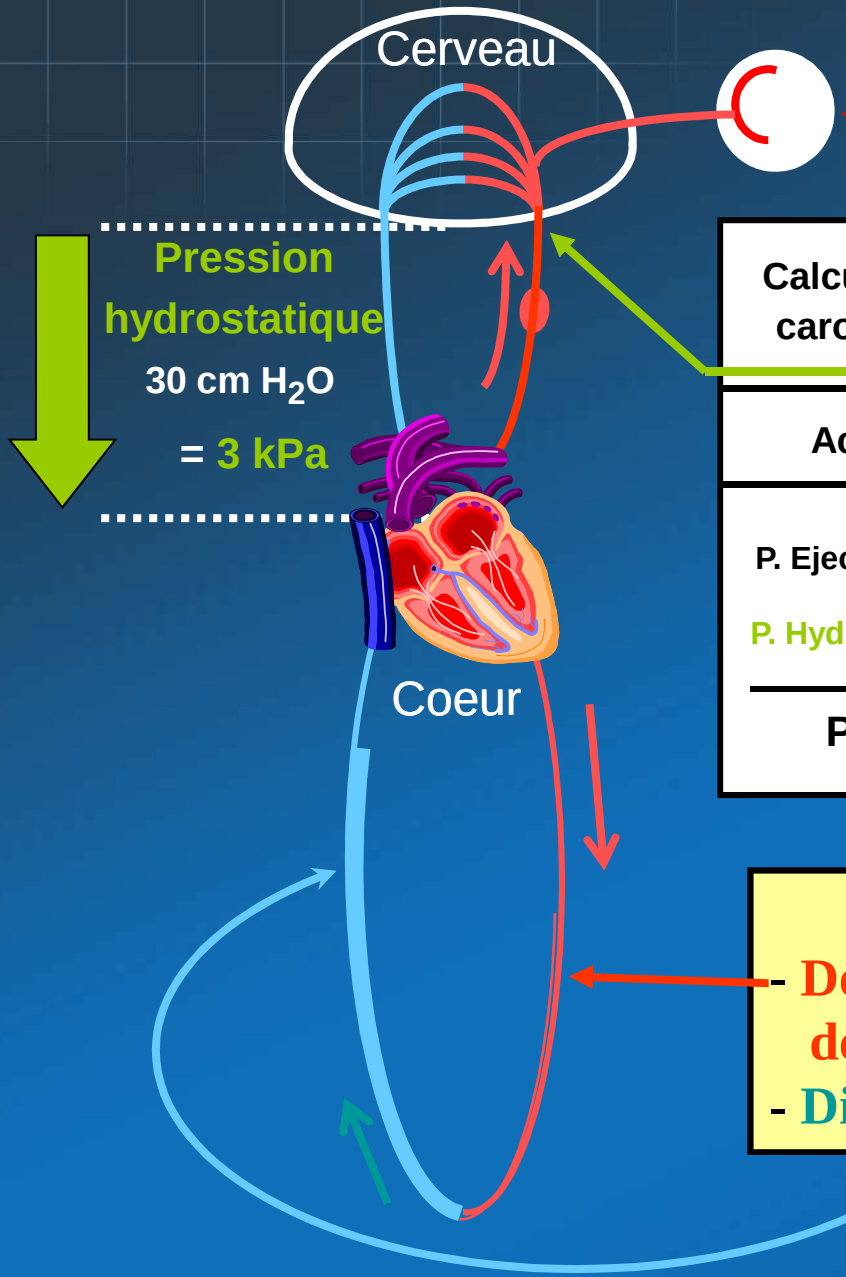
Accélération $+G_Y$
Inertie $-G_Y$

Accélération $-G_Z$
Inertie $+G_Z$

Bien remarquer : l'accélération et la force d'inertie correspondante sont des vecteurs de sens opposé.

La voltige,
Problème des accélérations

- Déplacement des organes mous ou mobiles vers le bas (+Gz)
- Augmentation des pressions sanguines au-dessous du cœur
- Baisse des pressions et débit sanguins au-dessus du cœur
- Modification de la ventilation pulmonaire
- Désaturation du sang en oxygène



Globe oculaire et circulation rétinienne

$P_{Intra\ Oculaire}$ # 3 kPa

Calcul de la pression sanguine moyenne dans l'artère carotide, à l'origine de la circulation cérébrale (kPa)

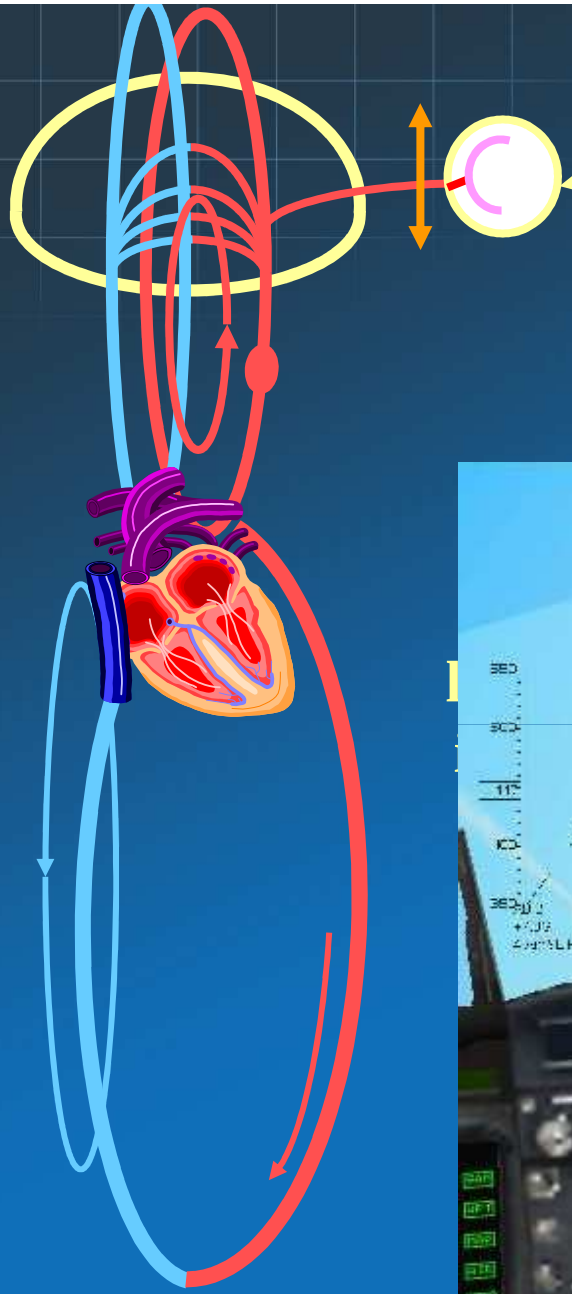
Accélération (G)	1	3	5	7
P. Ejection Ventriculaire	16	16	16	16
P. Hydrostatique	- 3	- 9	- 15	- 21
P. Artérielle	13	7	1	

Sous facteur de charge :

- Déplacement sanguin vers les parties déclives du corps
- Diminution du retour veineux

Effets cardiovasculaires

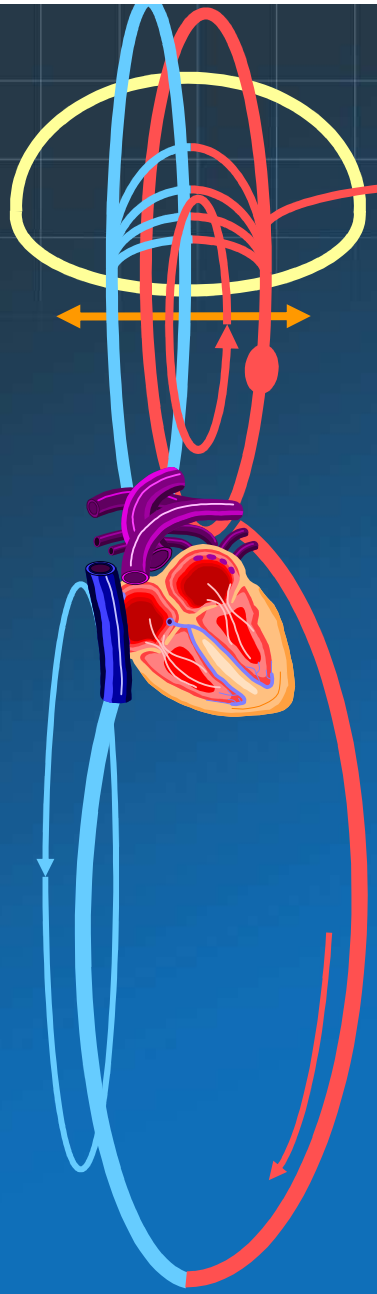
- **+ 2G**
  - Sensation de compression
- **+ 3G**
  - idem + Augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires
- **+ 4G**
  - Perte de la vision périphérique
- **+ 5G**
  - Perte de la vision
  - Vol noir et ….



Globe oculaire et
circulation rétinienne

Voiles gris et noir :

COEUR



Globe oculaire et
circulation rétinienne

Perte de conscience :

<u>Mécanisme</u> :

***Abolition* de la circulation cérébrale**

<u>Symptômes</u> :

- Perte de conscience inaugurale ou après voile gris ou noir

- amnésie totale possible

- souvenirs hallucinatoires possibles (visuels et auditifs)

- mouvements cloniques possibles des membres supérieurs et de la tête

Accélérations de longue durée : risque de perte de conscience

Le risque de perte de conscience sous accélérations +Gz

- Association accélération $+G_Z$ - chaleur - digestion
- Perte de conscience inaugurale
- Perte de conscience au cours des enchaînements $-G_Z/+G_Z$ (effet push-pull)
- Perte de conscience retardée après une accélération brève et intense (G-pulse)
- Quasi-perte de conscience…

Conclusions

- Le pilote doit apprendre à se connaître pour ne jamais dépasser ses limites aux commandes d'un avion, ne pas surestimer ses capacités
- Tenir compte du milieu environnant
- Toujours rester vigilant

Ne pas hésiter à écourter ou annuler un vol

PLAN

- Généralités
- Part Med. de la licence
- Aéromédecine
  (environnement, organes des sens)
- **conduites addictives**
- Facteurs humains
- Exemples par des anales.