

MEDECINE AÉRONAUTIQUE

DOCTEUR CHRISTIAN GOMEZ
Spécialiste en Médecine Aéronautique
Médecin agréé

HYPOXIE D'ALTITUDE

La pression d'oxygène (PO₂) diminue avec l'altitude en raison de la diminution de la pression atmosphérique (dite pression barométrique P_B) et, quelque soit l'altitude, de la constance de concentration en oxygène (21%). Ainsi et en raison de la constance de saturation intra-pulmonaire en vapeur d'eau (47 mmHg), la PO₂ de l'air inspiré (dans les poumons) peut se calculer grâce à la relation $PO_2 = 0,21 (P_B - 47)$ et, par formule dérivée, le pourcentage de diminution de la PO₂ avec l'altitude peut se calculer grâce à la relation : % de diminution de PO₂ = $107 - P_B \times 0,14$

ALTITUDE	P _B (mmHg)	PO ₂ (mmHg)	diminution de PO ₂ (par rapport à l'altitude 0)
3300 ft (1000 m)	674	132	12,6 %
6600 ft (2000 m)	596	115	23,5 %
9800 ft (3000 m)	525	100	33,5 %
13100 ft (4000 m)	462	87	42,3 %
16400 ft (5000 m)	405	75	50,3 %

**TOUTE MALTOLÉRANCE A UNE DIMINUTION DE LA PO₂
SE MANIFESTE PAR UNE HYPOXIE D'ALTITUDE**

La **PRESSURISATION DES AVIONS** permet l'obtention artificielle d'une altitude cabine de l'ordre de **6600 ft (2000 m)** :

- souvent inférieure à 6600 ft pour les avions dont l'altitude de croisière est peu élevée
- 7000 à 8000 ft pour les avions pouvant évoluer à plus de 32800 ft (10000 m)

FACTEURS FAVORISANTS

FACTEURS AERONAUTIQUES

IL EST NECESSAIRE D'UTILISER UN COMPLEMENT D'O2 dès 11500 ft (3500 m) et, en cas de vol prolongé, dès 9800ft (3000 m)

Tout sujet prédisposé à l'hypoxie doit utiliser un complément d'O2 dès 8200 ft (2500 m), à fortiori, en cas de vol prolongé

Vitesse d'ascension et durée du vol

L'hypoxie d'altitude est **d'autant moins bien tolérée que la vitesse ascensionnelle est rapide** : l'hypoxie commence à être significative à 9800 ft (3000 m) pour les vitesses ascensionnelles habituelles en aéronautique de loisir (de l'ordre de 500 ft / mn).

L'hypoxie d'altitude est **d'autant moins bien tolérée que la durée du vol est prolongée** : selon la durée du vol (une à plusieurs heures) et selon la tolérance individuelle, la prudence impose, de ne pas dépasser 8200 à 11200 ft (2500 à 3500 m).

Température de cabine

Toute température inconfortable, principalement si elle est insuffisante, peut être un facteur favorisant d'hypoxie d'altitude. Une température est considérée physiologiquement comme excessive ou insuffisante lorsqu'elle est responsable respectivement de sudation ou de frisson :

- un important rayonnement solaire sur la verrière peut rendre la température de cabine excessive (le rayonnement solaire augmente avec l'altitude)
- lorsque la température au sol est de 16 à 18°, la température à 9800 ft (3000 m) est de l'ordre de 0° (la diminution de la température avec l'altitude est de l'ordre de 6,5° par 1000 m)

En outre et en raison d'une diminution de l'hygrométrie avec l'altitude (diminution de 50% à 1500 m et de 90% à 5000 m), une température excessive peut être rapidement responsable d'une **déshydratation**. Il est évident que **le cumul des troubles hypoxiques et des troubles induits par une déshydratation est responsable d'une importante dangerosité** : les troubles neuro-psychiques induits par une déshydratation surviennent dès 2 à 3% de perte hydrique, c'est-à-dire en moins de 2 heures pour une température de cabine de 35°!

FACTEURS HUMAINS

Nutrition

Tout état de jeûne (risque d'hypoglycémie) et toute alimentation trop riche en graisse diminue la tolérance à l'hypoxie d'altitude. Il peut en être de même lorsque le repas précédant le vol est trop riche en sucre : le sucre ainsi trop majoritaire est éliminé très rapidement et, de ce fait, peut être responsable d'un état de jeûne prématuré pendant le vol (risque d'hypoglycémie).

Etat de santé

Certaines pathologies (principalement anémie, carence en fer, certains troubles cardiaques et/ou respiratoires, certains troubles circulatoires) peuvent être responsable d'une importante diminution de tolérance à l'hypoxie d'altitude.

Alcool, drogues, médicaments (voir chapitre suivant)

Toute consommation d'alcool à jeun ou la consommation de plus d'un verre pendant un repas diminue la tolérance à l'hypoxie d'altitude. Il en est de même pour toutes les substances médicamenteuses ou non ayant une activité neuro-psychique. Le cumul des troubles hypoxiques et des troubles neuro-psychiques d'origine toxique (alcool, drogues) ou médicamenteuse est responsable d'une importante dangerosité.

Tabac

Un fumeur de 20 cigarettes par jour diminue sa tolérance à l'hypoxie d'altitude de 1000 m à 1500 m : un vol à 2500 m "correspond", chez le fumeur, à un vol à 3500 à 4000 m !

Il est évident que les passagers ne doivent pas fumer (à fortiori le pilote!).

Fatigue, appréhension, anxiété, mal de l'air

La fatigue, l'appréhension, l'anxiété et surtout le mal de l'air peuvent être responsables d'une importante diminution de tolérance à l'hypoxie d'altitude.

Entraînement

La tolérance à l'hypoxie est d'autant moins bonne que le sujet est insuffisamment entraîné aux vols en altitude : **l'entraînement permet d'améliorer l'adaptation à l'hypoxie d'altitude (adaptation principalement cardio-respiratoire).**

Age

En règle générale, la tolérance à l'hypoxie d'altitude augmente jusqu'à 40 ans puis diminue après 55ans.

SYMPTOMATOLOGIE

TROUBLES VISUELS

Diminution de l'acuité visuelle nocturne

- **10%** à 5900ft (1800 m), **20%** à 9800 ft (3000 m)
- **30%** à 13100 ft (4000 m), **40%** à 16400 ft (5000 m)

Vision des couleurs

- **début de perturbation** possible dès 4900 ft (1500 m)
- **le blanc paraît jaune-gris et le noir paraît gris** à plus de 11500 ft (3500 m)
- **difficulté de distinguer le bleu du vert** à plus de 16400 ft (5000 m)

Autres troubles visuels

- **rétrécissement du champs de la vision périphérique** à 13100 ft (4000 m)
 - **diminution de la sensibilité aux contrastes**
 - **diminution de l'acuité visuelle de jour**
 - **diminution de l'accommodation**
- plus de 15000 ft (4500 m)

TROUBLES NEURO - PSYCHIQUES

Fatigue et diminution de la vigilance

- **lenteur et/ou imprécision des réponses décisionnelles** dès 8200 ft (2500 m)
- **somnolence** à plus de 11500 ft (3500 m)

Difficulté de concentration et diminution de la mémoire

- **le travail mental diminue** de 20% lors d'un vol de 4 heures à 9800 ft (3000 m) et de 40% lors d'un vol de 1 heure à 15000 ft (4500 m)

Troubles du jugement

- **perturbation du jugement** à plus de 11500 ft (3500 m)
- **perte du jugement** à plus de 15000 ft (4500 m)

Céphalée à plus de 11500 ft (3500 m)

Vertige et/ou acouphène

diminution de l'acuité auditive

plus de 15000 ft (4500 m)

Troubles du comportement

Les troubles du comportement sont d'une **grande variabilité tant en ce qui concerne leurs symptomatologies que l'altitude d'apparition** : possible dès *9800 ft (3000 m)*, parfois "seulement" à plus de *14800 ft (4500 m)*

**L'hypoxie peut être responsable de n'importe quel trouble comportemental ...
sauf d'un comportement normal !**

LES TROUBLES DU COMPORTEMENT LES PLUS FREQUENTS SONT :

- **sensation de bien-être ou état euphorique**
→ risque d'évaluation insuffisante du danger par excès de confiance en soi
- **indifférence, voire apathie**
- **diminution de la capacité d'autocritique**
→ risque de prises de décisions inadaptées
- **moins fréquemment :**
 - état dépressif
 - agressivité et/ou agitation

TROUBLES SENSITIVO - MOTEURS

Syndrome d'hyperventilation excessive

L'hyperventilation (respiration trop rapide et trop ample) est un phénomène adaptatif normal à l'hypoxie d'altitude : la ventilation pulmonaire est augmentée de 4 % à *3000 m* et de 14 % à *4000 m*. **Lorsque l'hyperventilation est excessive** (anxiété, appréhension, mal de l'air, température excessive), elle peut être paradoxalement un facteur favorisant de diminution de tolérance à l'hypoxie d'altitude. Elle peut évoluer vers sa forme majeure : la **CRISE DE TÉTANIE**

- **sensation de malaise** croissant
- **anxiété** importante pouvant être responsable d'une sensation de mort imminente
- **sudation** importante du visage et des extrémités
- **troubles sensitivo-moteurs des lèvres et des extrémités** (CRISE DE TÉTANIE)
→ **risque de contractures des extrémités** pouvant se propager aux membres entiers

troubles de la coordination motrice

- **tremblements et/ou maladresse manuelle** dès *14800 ft (4500 m)*
- **difficulté de réalisation de mouvements adaptés** dès *16400 ft (5000 m)*

**Les troubles de la coordination motrice sont toujours majorés
par une température de cabine insuffisante**

PERTE DE CONNAISSANCE

Lors d'une hyperventilation majeure

Une hyperventilation excessive, **lorsqu'elle devient majeure**, peut évoluer vers une **perte de connaissance** : une importante anxiété ou appréhension, une température excessive et surtout le mal de l'air peuvent multiplier l'hyperventilation normale par un facteur 4 à 5 !

Lors d'un altitude de plus de 19700 ft (6000 m)

- la **SYNCOPE** apparaît plus ou moins brutalement
- la **MORT** survient en quelques minutes

Dans 5% des cas, la syncope peut survenir dès 16400 ft (5000m)

TOUTE PLONGEE SOUS-MARINE PRECEDANT LE VOL DE MOINS DE 12 HEURES peut être responsable d'aéro-embolisme (apparition de micro-embolies gazeuses) dès 4900 ft (1500m) alors que, non précédé de plongée sous-marine, l'aéro-embolisme survient à plus de 75000 m mais peut survenir dès 5000 m lors d'une vitesse d'ascension rapide et d'une durée de vol de plus de 2 heures.

PAR PRUDENCE, IL EST CONSEILLÉ DE S'ABSTENIR DE TOUTE PRATIQUE AERONAUTIQUE DANS LES 24 HEURES SUIVANT UNE PLONGEE SOUS-MARINE

Symptomatologie de l'aéro-embolisme :

- "**puces**" (démangeaisons des poignets, cuisses, ceinture)
- "**bends**" (douleurs articulaires intenses, parfois syncopales)
- "**chokes**" (douleur thoracique avec toux et gêne respiratoire)
- **possibilité de troubles visuels , de migraine, voire de collapsus et de troubles neurologiques** (confusion, convulsion, paralysie)



descente immédiate et rapide
contre-indication de tout vol pendant 3 jours