



FORUM EUROPÉEN, CŒUR, EXERCICE & PRÉVENTION



Cœur et altitude

François LHUISSIER

Médecine de l'exercice et du sport, Hôpital Jean Verdier, AP-HP, Bondy

UMR 1272 INSERM USPN Hypoxie et Poumon, Bobigny

www.forumeuropeen.com

Conflits d'intérêts

Aucun



Cardiovascular physiology and pathophysiology at high altitude

Jean-Paul Richalet¹✉, Eric Hermand² & François J. Lhuissier¹

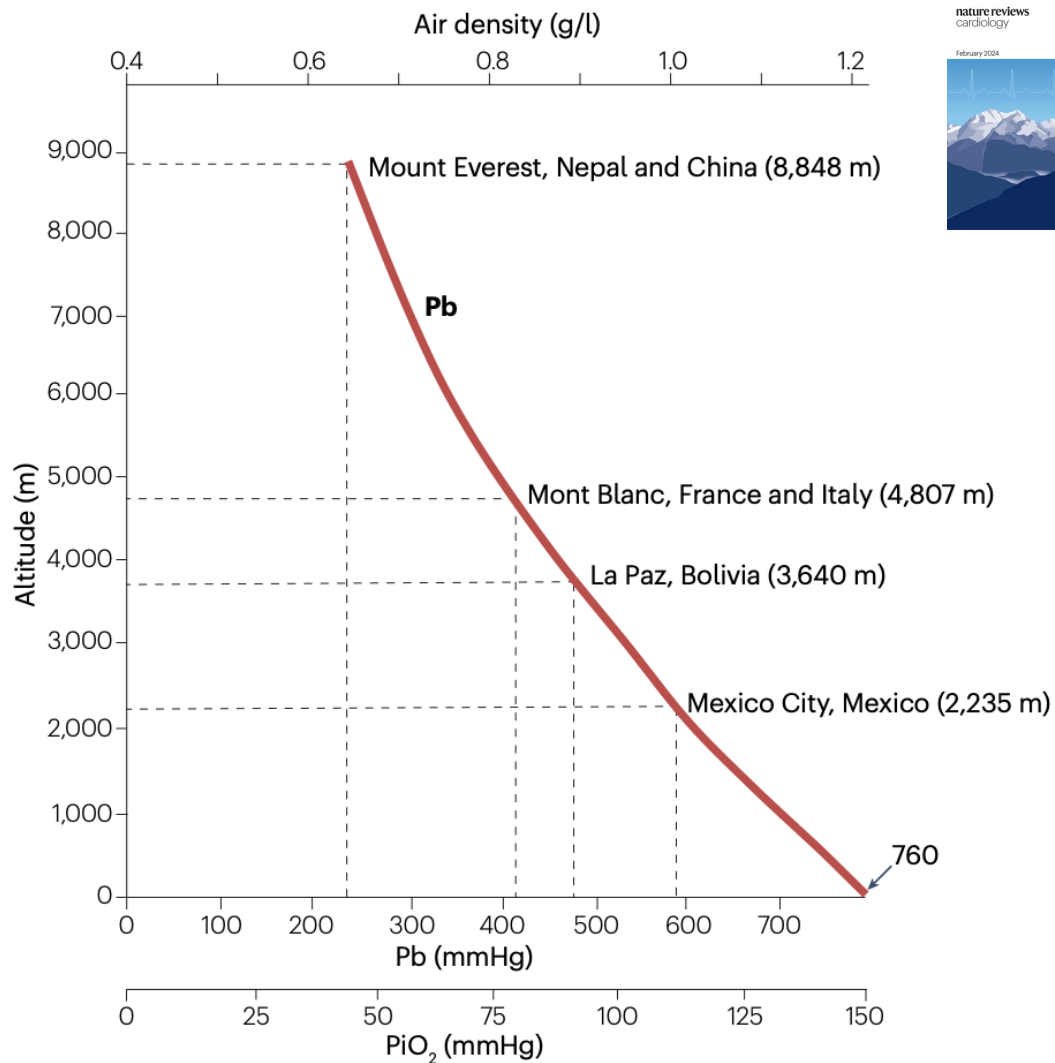
DEFINITION BIOLOGIQUE DE L'ALTITUDE

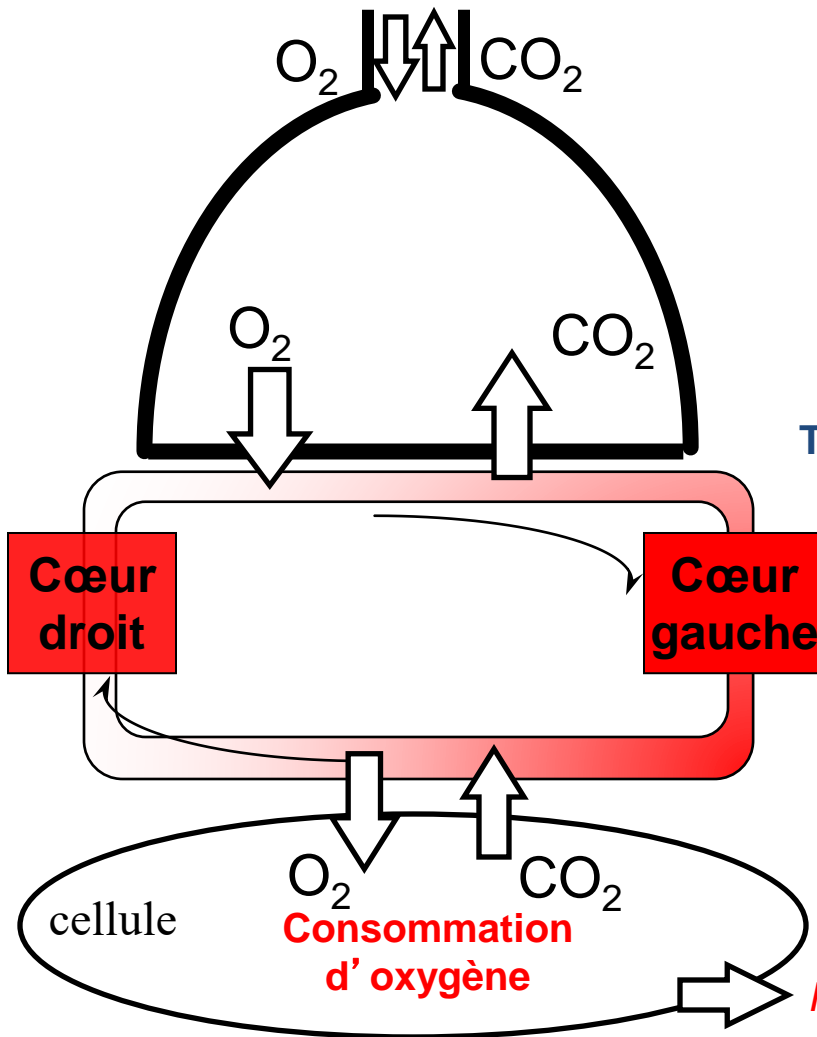


Baisse de la pression barométrique et de la densité de l'air en fonction de l'altitude

HYPOXIE =
Manque d'oxygène

$$PiO_2 = FiO_2 \times (PB - PH_2O)$$





Ventilation pulmonaire :
CONVECTION

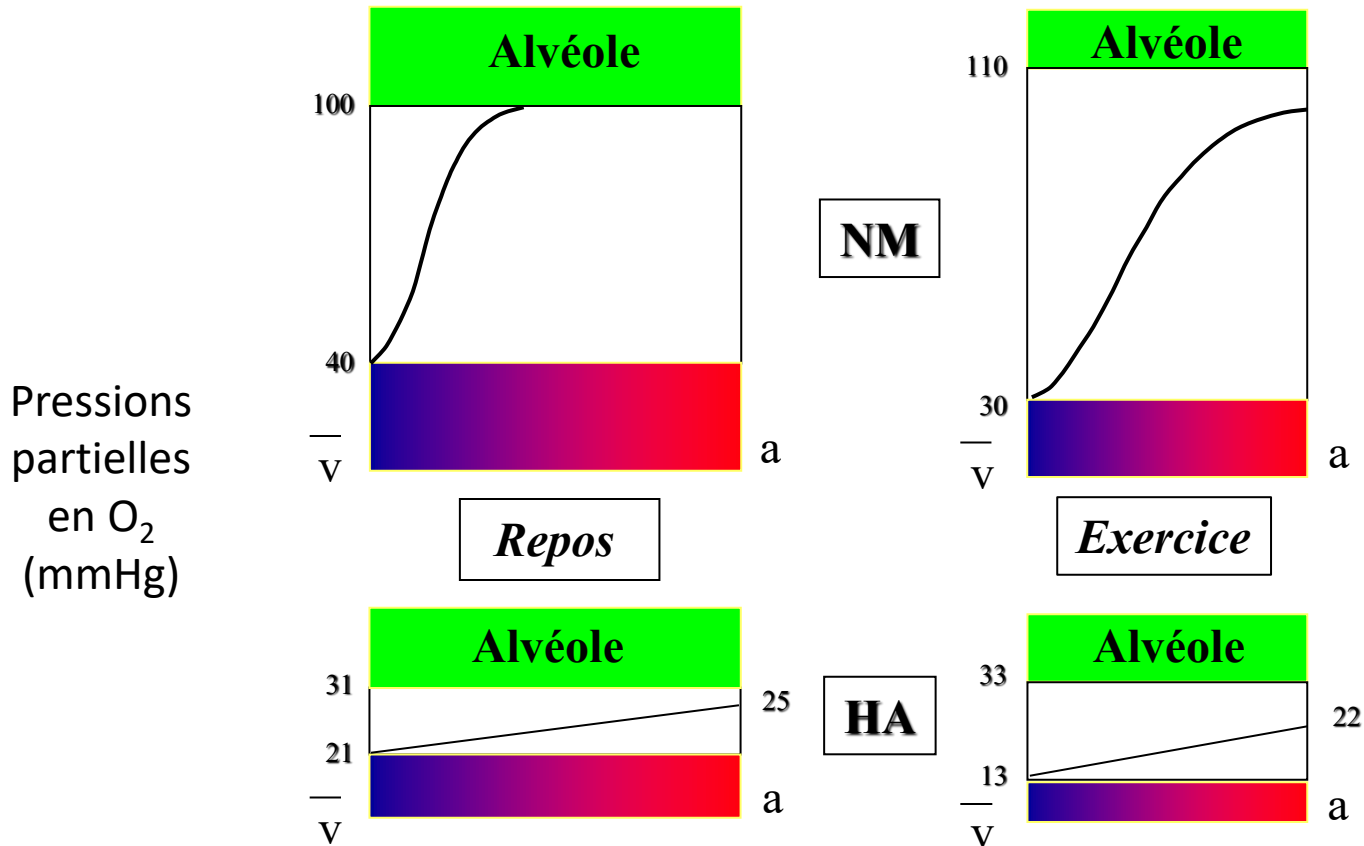
Transfert alvéolo-capillaire en oxygène :
DIFFUSION

Transport de l'oxygène par le sang :
CONVECTION

Diffusion de l'oxygène vers les tissus :
DIFFUSION

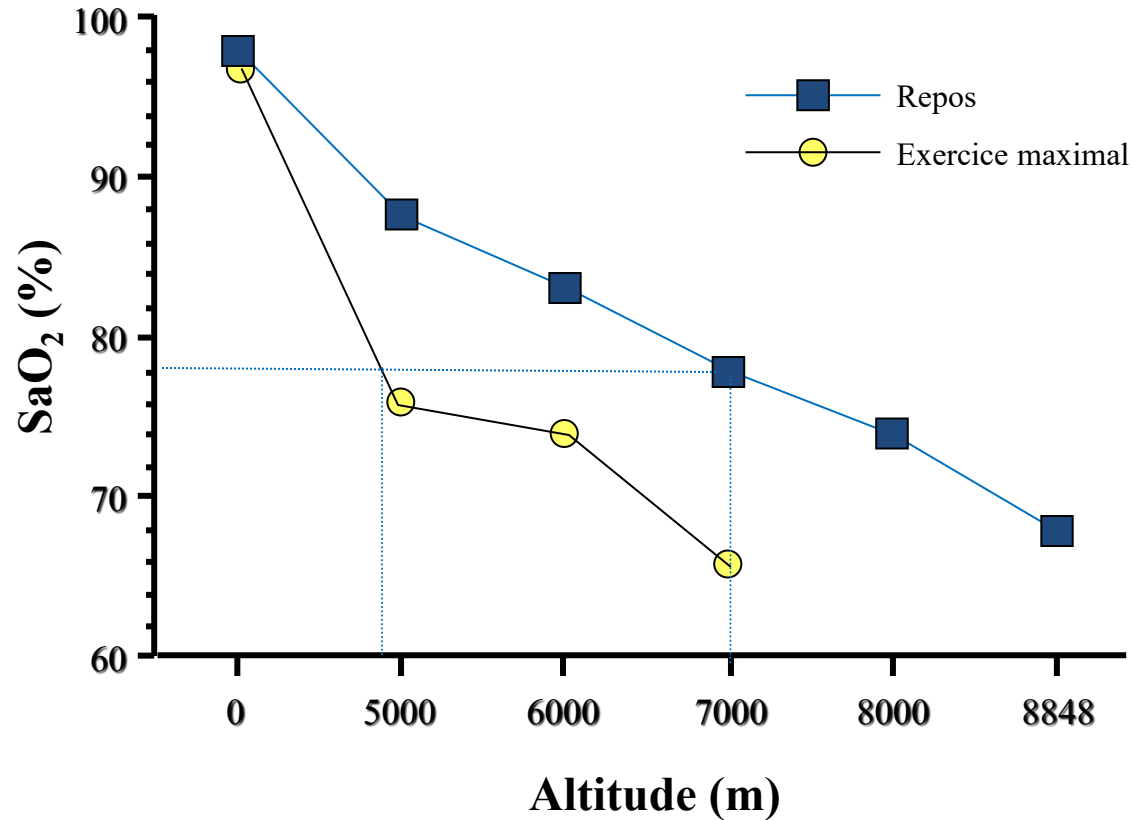
Production d'énergie aérobie

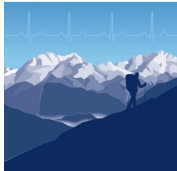
Transfert alvéolo-capillaire de l'oxygène en altitude



Apparition d'une différence alvéolo-artérielle en O₂ en altitude, majorée à l'exercice

Saturation artérielle en O₂ en haute altitude





Effets physiologiques de l'hypoxie aiguë

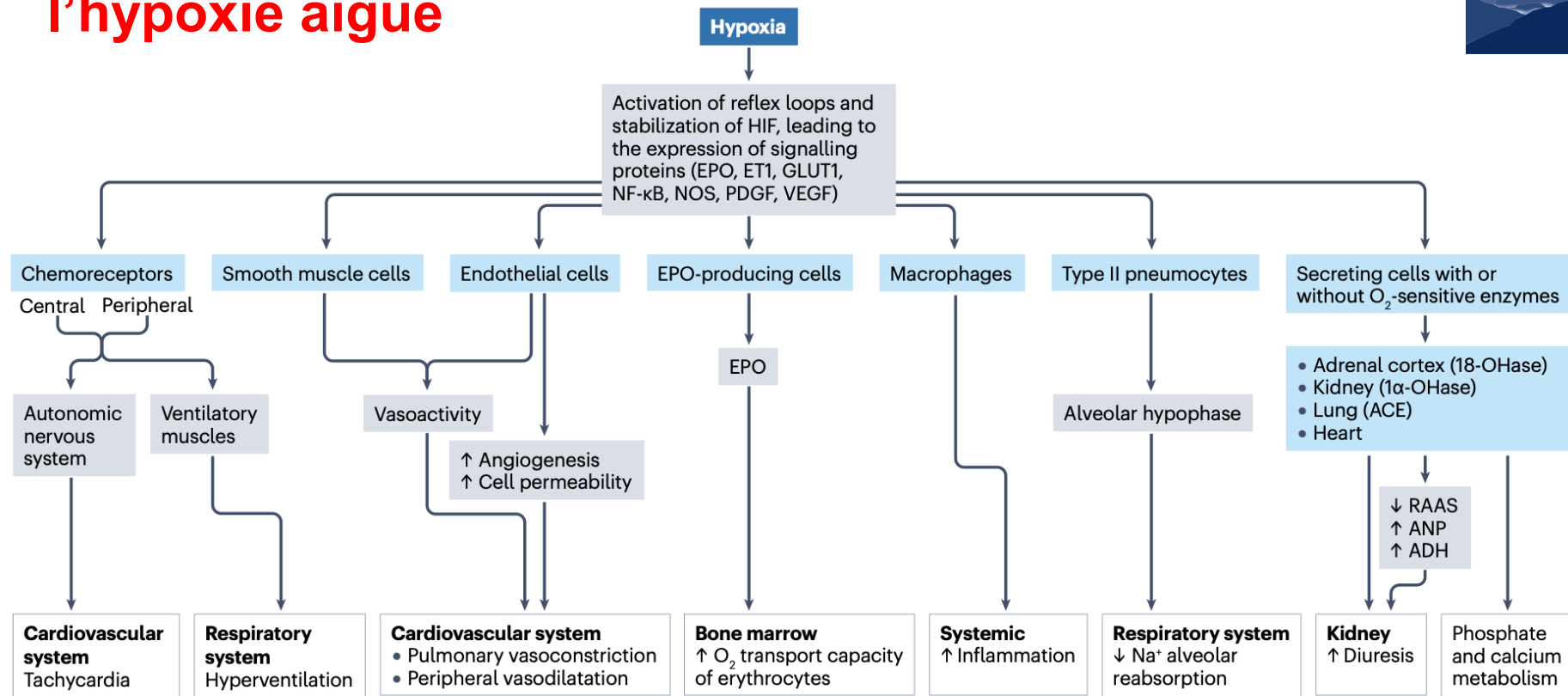
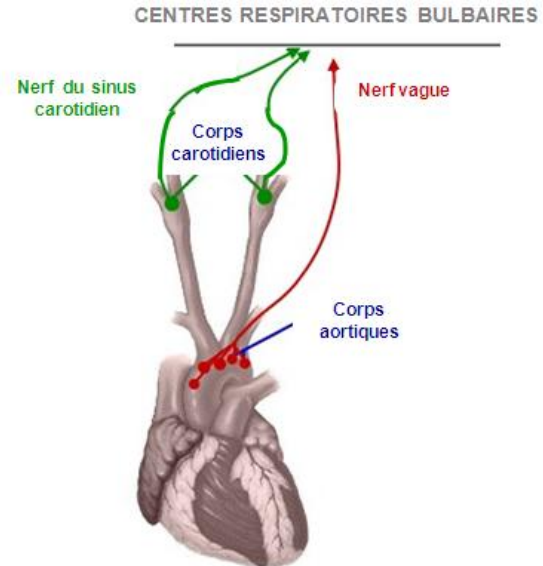
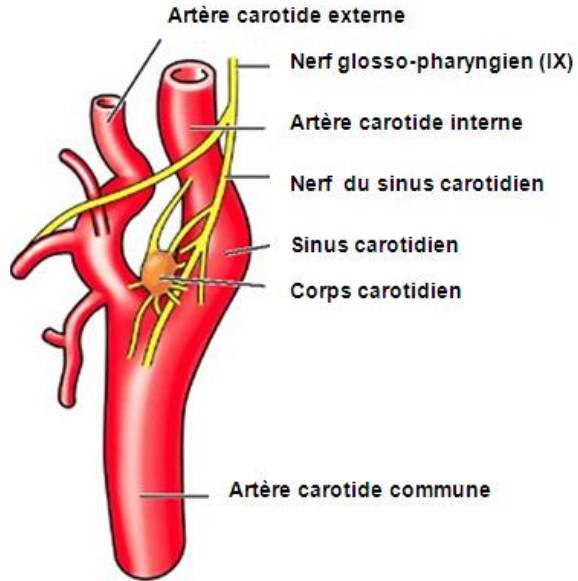


Fig. 2 | Physiological effects of acute hypoxia.

Voies physiologiques des réponses à l'hypoxie



L'action immédiate de l'hypoxie d'altitude :

La stimulation des chémorécepteurs carotidiens

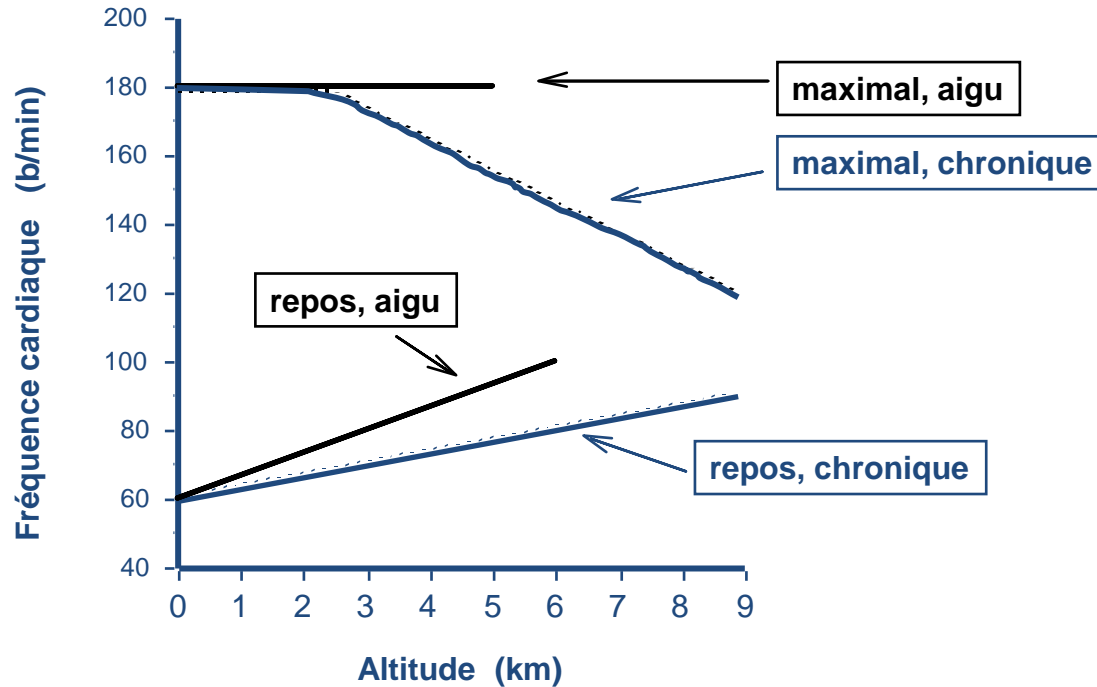
L'action immédiate de l'hypoxie d'altitude :

La stimulation des chémorécepteurs carotidiens

avec deux conséquences :

- l'hyperventilation
- l'activation du système adrénergique

Fréquence cardiaque au repos et à l'exercice en hypoxie aiguë et chronique



L'exposition à l'hypoxie d'altitude...

- **Court terme :**

augmente l'activité adrénergique

- Catécholamines

- activité dans les fibres nerveuses adrénergiques

(Cunningham et al., 1965; Escourrou et al., 1984; Richalet, 1990)

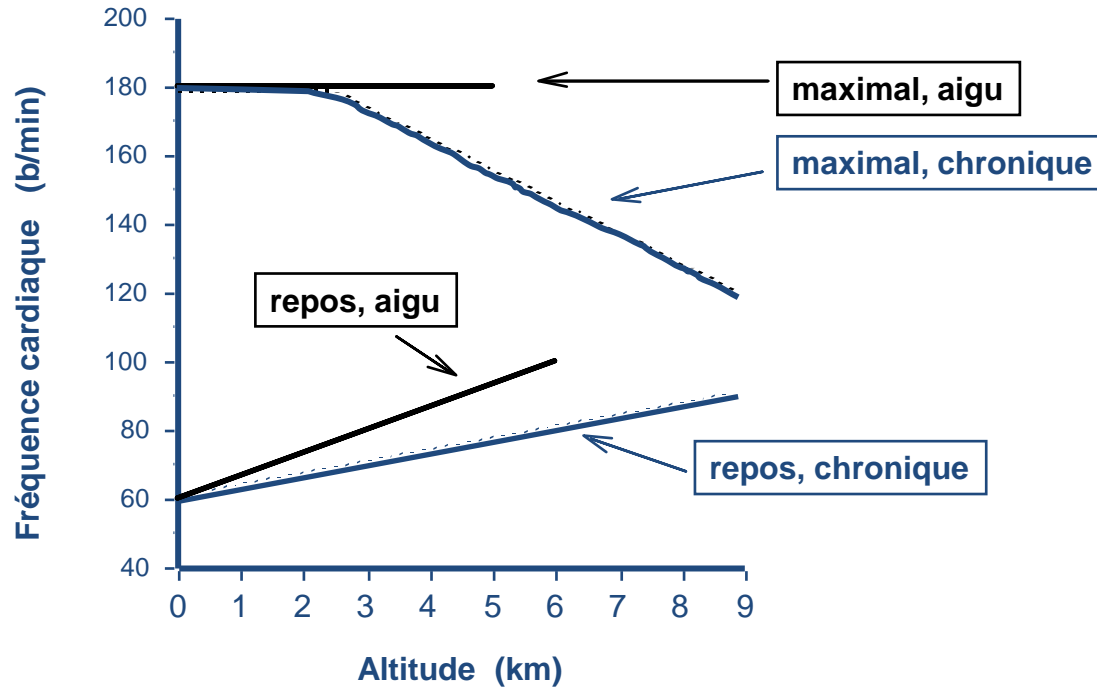
Le cœur normal en altitude...

La tachycardie induite par l'augmentation de l'activité adrénérgique constitue l'un des **mécanismes d'acclimatation** à l'hypoxie d'altitude.

$$\dot{V}O_2 = FC.VES.(Ca-Cv)$$

Le cœur **se protège** contre un déséquilibre énergétique risquant d'induire une hypoxie myocardique.

Fréquence cardiaque au repos et à l'exercice en hypoxie aiguë et chronique



L'exposition à l'hypoxie d'altitude...

- **Court terme :**

augmente l'activité adrénargique

- Catécholamines

- activité dans les fibres nerveuses adrénargiques

(Cunningham et al., 1965; Escourrou et al., 1984; Richalet, 1990)

- **Moyen et long terme :**

diminue la réponse cardiaque à la stimulation adrénargique endogène ou exogène

- endogène, exercice : FC max diminue

- exogène, perfusion d'isoprénaline : réponse FC diminuée

(Richalet et al., 1988; 1989; Antezana et al., 1994)

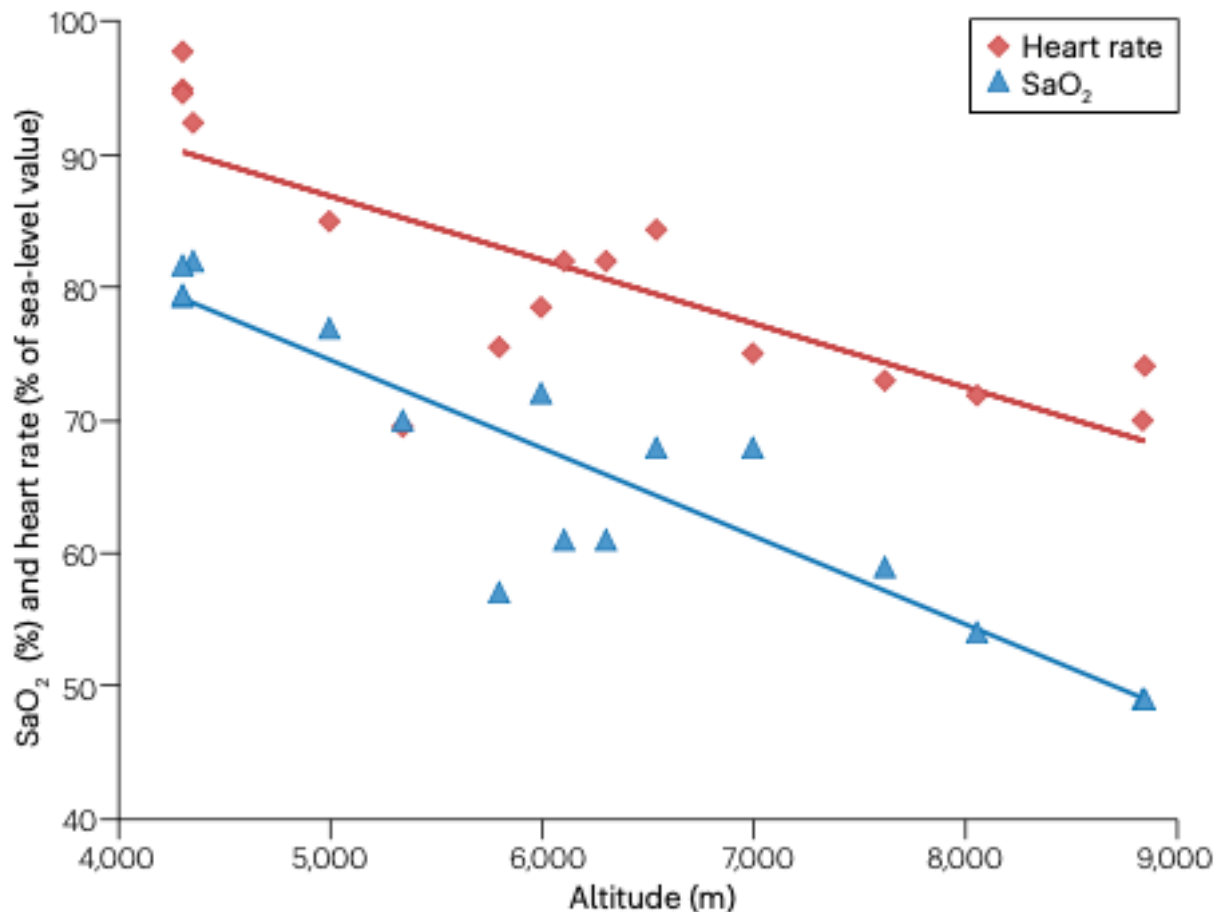
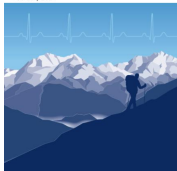


Fig. 5 | Parallel linear decrease in arterial oxygen saturation and heart rate at maximal exercise as a function of altitude.

Implications de cette désensibilisation adrénergique dans les processus de contrôle de la fonction cardiaque ?

Hypothèse 1 :

Protection du myocarde en limitant sa consommation d'O₂ ?

Hypothèse 2 :

Limitation de la désaturation en O₂ à l'exercice, par l'augmentation du temps de transit pulmonaire ?

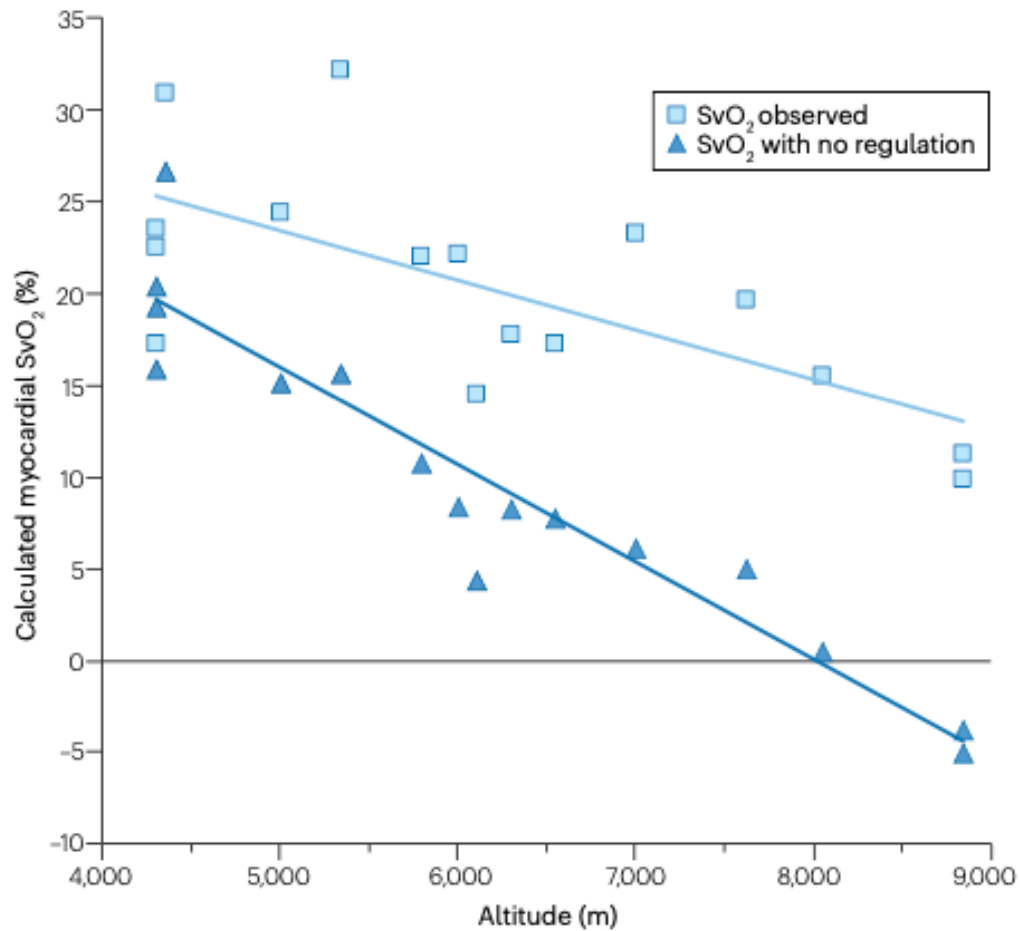
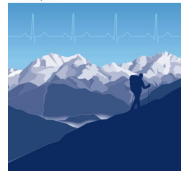
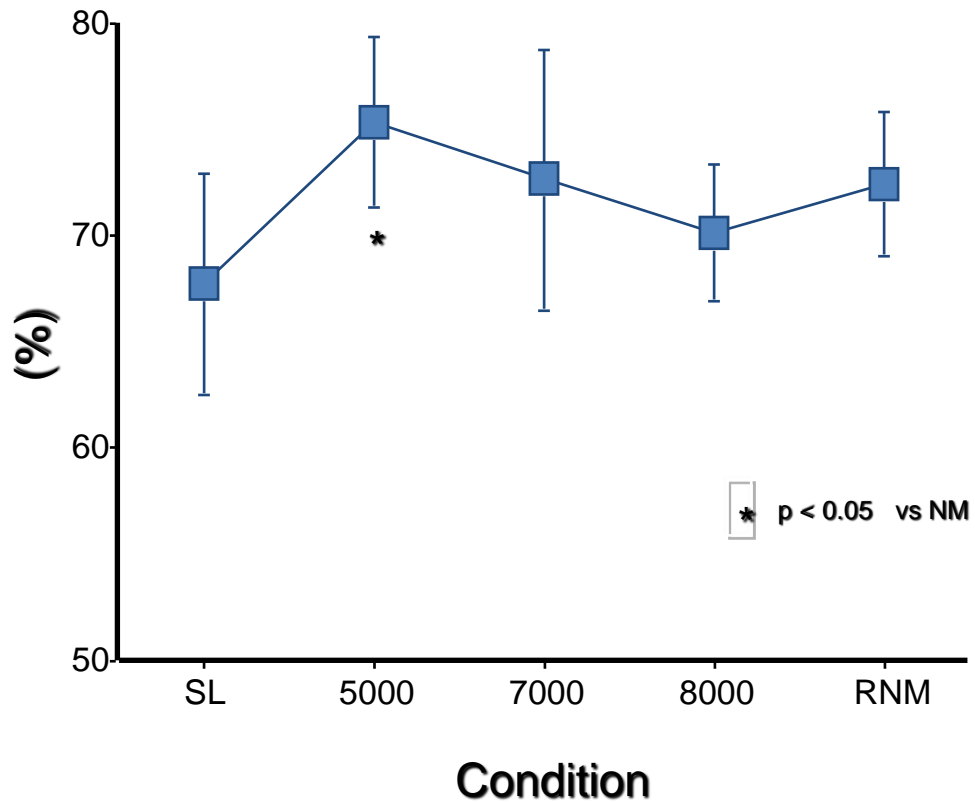


Fig. 6 | Myocardial venous oxygen saturation at maximal exercise with and without autoregulation of maximal heart rate.

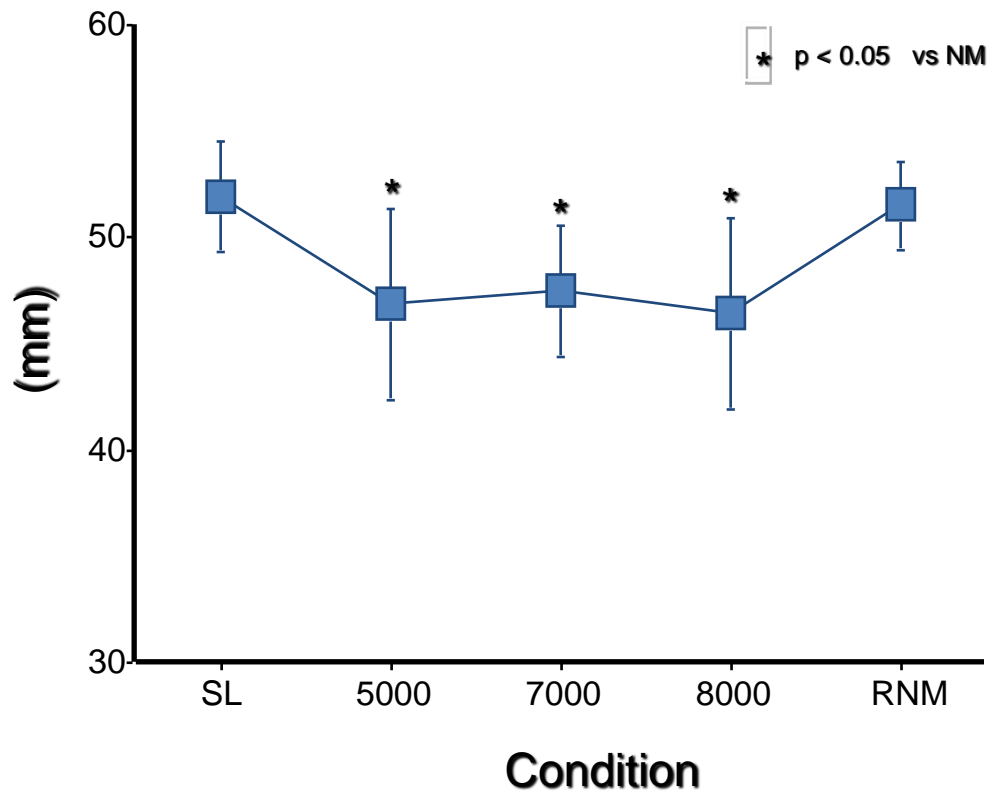


Fraction d'éjection VG (%)





Diamètre télédiastolique VG



L'exposition à l'hypoxie d'altitude...

- **Court terme :**

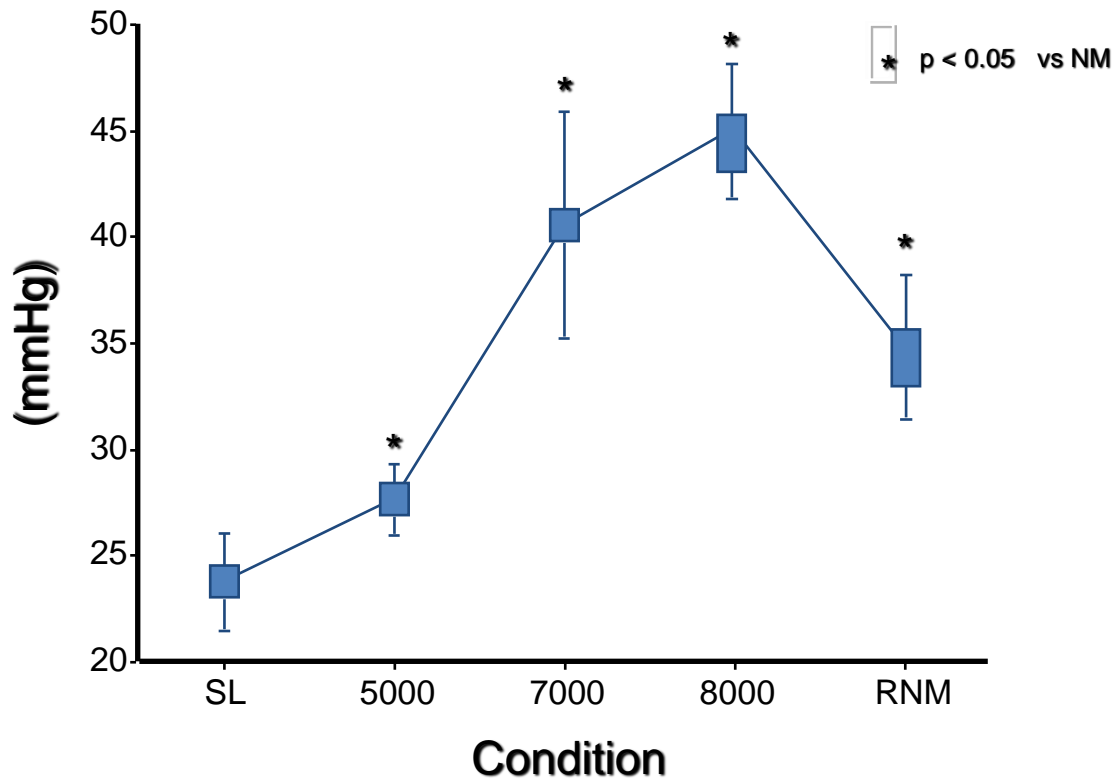
augmente l'activité adrénergique

- **Moyen et long terme :**

diminue la réponse cardiaque à la stimulation adrénergique endogène ou exogène

- N'altère pas la fonction inotrope cardiaque

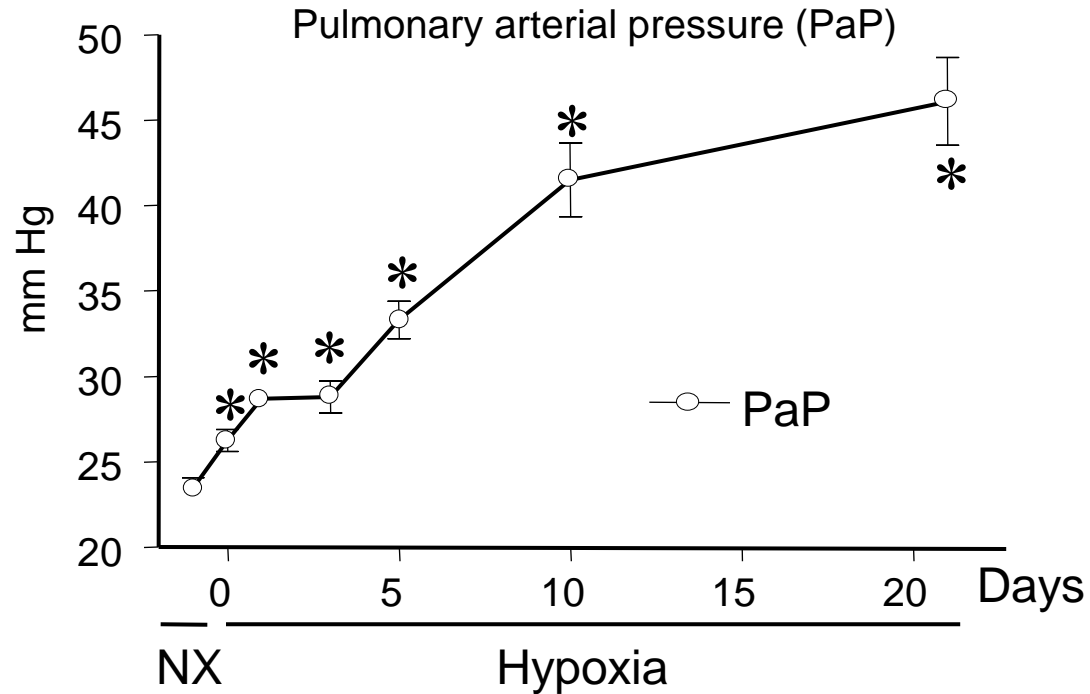
Pression artérielle pulmonaire systolique* en fonction de l'altitude



*: gradient VD-OD + 5 mmHg

Boussuges et al., AJRCCM, 2000

Pression artérielle pulmonaire systolique en fonction du temps



L'exposition à l'hypoxie d'altitude...

- **Court terme :**

augmente l'activité adrénergique

- **Moyen et long terme :**

diminue la réponse cardiaque à la stimulation adrénergique endogène ou exogène

- N'altère pas la fonction inotrope cardiaque

- Induit une vasoconstriction pulmonaire qui retentit sur le ventricule droit

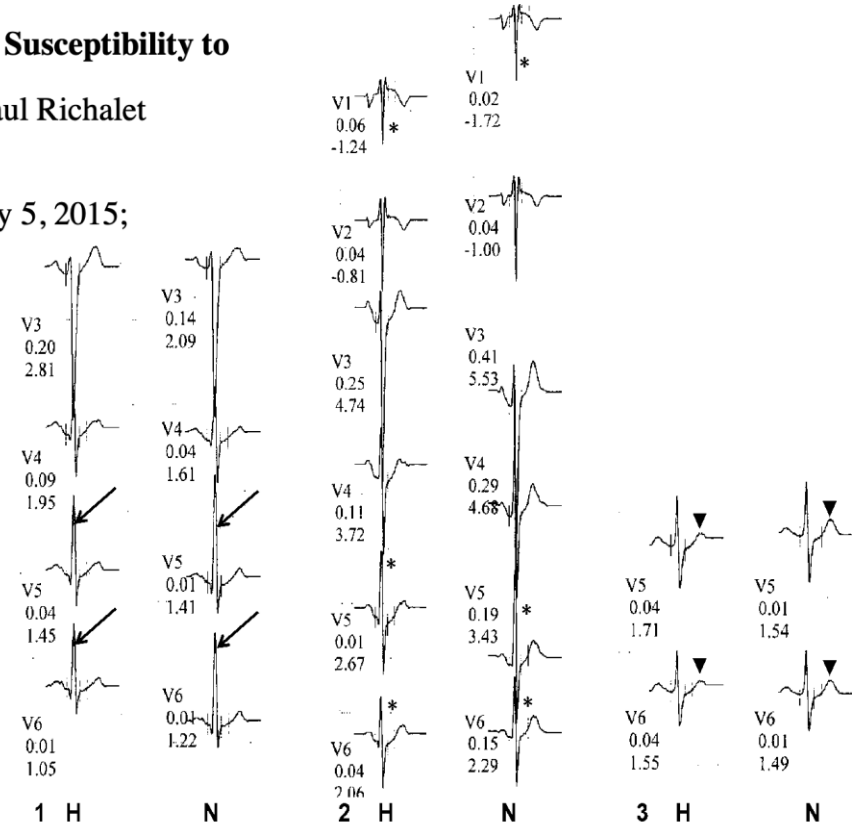
Electrocardiographic Changes During Exercise in Acute Hypoxia and Susceptibility to Severe High-Altitude Illnesses

Baptiste Coustet, François J. Lhuissier, Renaud Vincent and Jean-Paul Richalet

Circulation. 2015;131:786-794; originally published online January 5, 2015;

456 sujets

- Diminution d'amplitude des ondes P, QRS, T en hypoxie
- Modification des échanges ioniques ?



- Très peu de données scientifiques robustes
- **Recommandations d'experts**

Donegani, E. et al. Pre-existing cardiovascular conditions and high altitude travel. Travel Med. Infect. Dis. **12**, 237–252 (2014).

Luks, A. M. & Hackett, P. H. Medical conditions and high-altitude travel. N. Engl. J. Med. **386**, 364–373 (2022).

Parati, G. et al. Clinical recommendations for high altitude exposure of individuals with pre-existing cardiovascular conditions: a joint statement by the European Society of Cardiology, the Council on Hypertension of the European Society of Cardiology, the European Society of Hypertension, the International Society of Mountain Medicine, the Italian Society of Hypertension and the Italian Society of Mountain Medicine. Eur. Heart J. **39**, 1546–1554 (2018).

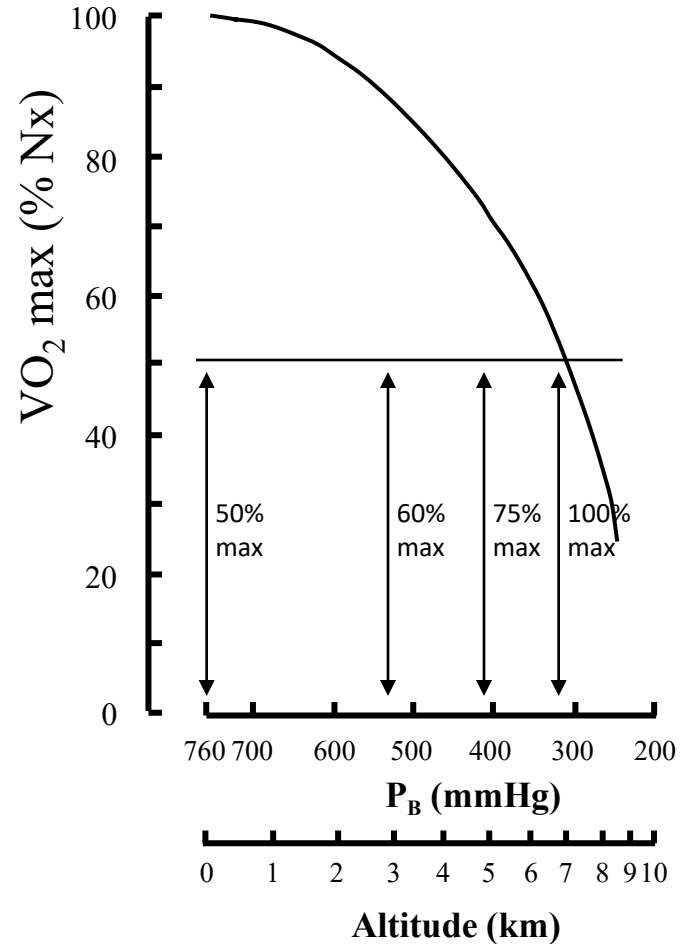
Pour évaluer le risque associé à un séjour en altitude, il faut considérer :

1. Les **risques de complications de la pathologie cardiaque** en altitude
2. Les **comorbidités** (BPCO, anémie, diabète, SAOS...)
3. Les **traitements** pris (β -bloquants)
4. Les structures médicales sont souvent difficiles d'accès

Principes de base

1. Toute pathologie aggravée par une **activation du système adrénergique** sera plus à risque en haute altitude.
2. Toute pathologie aggravée par une **hypertension artérielle pulmonaire** sera plus à risque en haute altitude.
3. Toute pathologie déjà associée à une **hypoxémie au niveau de la mer** sera aggravée en haute altitude.
4. A niveau absolu d'exercice égal, la fréquence cardiaque, donc la **consommation d'oxygène du myocarde augmente en altitude**.

L'intensité
relative
augmente
avec l'altitude



Recommandations – Pour tous les patients

- Penser aux éventuelles **interactions entre traitement habituel et Acetazolamide** s'il est prescrit
- Considérer les **comorbidités**
- Penser à l'accessibilité aux structures médicales

Recommandations – Maladies coronaires

- Altitude non conseillée au cours des **6 mois** suivant un évènement cardiaque
- Altitude possible si **absence d'anomalies ECG à l'exercice**
- Altitude possible si **≤ 4200 m** (ou plus bas si risques CV supplémentaires)
- **Pas d'exercice physique vigoureux** en altitude

Recommandations – Insuffisance cardiaque

- **NYHA I - II** : altitude possible \leq **3500m**
- **NYHA III** : altitude possible \leq **3000m**
- **NYHA IV** : **altitude non conseillée**

Recommandations – Arythmies

- **Arythmies ventriculaires « sérieuses »** : altitude possible \leq **3500m**
- Altitude possible en cas d'autres arythmies

Recommandations – Pathologies cyanosantes, shunt droit-gauche

- **Altitude non conseillée**, sauf si patient traité chirurgicalement

Recommandations – Hypertension artérielle

- Altitude **non conseillée si HTA non contrôlée ou sévère (>180/110 mmHg)**
- Altitude possible si HTA contrôlée

Recommandations – Hypertension pulmonaire

- **Altitude non conseillée si > 2000m**
- Si le séjour ne peut être évité : O₂ nécessaire

Le cœur sain s'adapte à l'hypoxie :

- ↑ FC de repos
- préservation de la fonction systolique
- ↘ FCmax avec l'acclimatation
- Mais ↑ PAP

Au-delà de 3000m (2000m pour HTAP), **attention particulière** en cas de **pathologie pouvant être aggravée** par :

- ↑ **Activité adrénergique**
- ↑ **PAP**
- **Hypoxémie**

Merci pour votre attention

www.forumeuropeen.com