

Zeitschrift: Physiotherapeut : Zeitschrift des Schweizerischen
Physiotherapeutenverbandes = Physiothérapeute : bulletin de la
Fédération Suisse des Physiothérapeutes = Fisioterapista : bollettino
della Federazione Svizzera dei Fisioterapisti

Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband

Band: - (1975)

Heft: 262

Artikel: Adaptation de l'organisme humain à l'altitude

Autor: Berger, J.P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-930640>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Adaptation de l'organisme humain à l'altitude

Introduction

L'âge moderne voit l'homme explorer de plus près l'univers; il descend dans les mers, il gravit les sommets les plus élevés, il explore le cosmos; il sera soumis par conséquent à des ambiances nouvelles auxquelles son organisme va réagir. Sauf pour les natifs des régions élevées, l'altitude représente aussi pour la majorité des hommes une ambiance de vie nouvelle à laquelle ils vont devoir s'adapter.

Pour connaître le «pourquoi» et le «comment» de cette adaptation, suivons la voie qui fut celle des physiologistes depuis la fin du siècle dernier; voyons d'abord en quoi le milieu extérieur d'altitude diffère de celui du bord de mer et puis, en quoi cette modification du milieu extérieur modifie le milieu intérieur. Afin de faciliter l'étude de ces variables, nous nous placerons d'emblée à des altitudes élevées où les phénomènes biologiques apparaissent de façon nette.

Définition de l'altitude

Le physicien la définit par rapport au bord de la mer: altitude 0 où les couches atmosphériques exercent une pression de 1 atm., soit 760 mmHg ou Torr par cm². De là, plus on s'élève et plus décroît cette pression barométrique qui ne représente plus que 460 mmHg à 4000 m et 265 mmHg à 8000 m.

En soi, cette baisse de pression n'aurait guère d'influence (on le sait par les expériences réalisées en chambre: sous pressurisées), si elle n'allait de pair avec une diminution concomitante du nombre de molécules d'oxygène.

En effet l'air atmosphérique est un mélange gazeux (rappel de sa composition cf. tableau no 1).

TABLEAU I

FRACTIONS DES GAZ ET PRESSIONS PARTIELLES
DE L'AIR ATMOSPHERIQUE

		<u>ZERO m.</u>	<u>4000 m.</u>	<u>8000 m.</u>
<u>PRESSION ATMOSPHERIQUE</u>		760 mm Hg	460 mm Hg	265 mm Hg
<u>FRACTIONS GAZEUSES</u>		<u>PRESSIONS PARTIELLES</u>		
O ₂	21 %	160 mm Hg	97 mm Hg	56 mm Hg
N ₂	78 %	592 mm Hg	360 mm Hg	208 mm Hg
CO ₂	} 1 %	8 mm Hg	5 mm Hg	3 mm Hg
H ₂ O				
GAZ RARES				

Abréviations : O₂ : oxygène N₂ : azote CO₂ : gaz carbonique
 H₂O : eau
 PA O₂ : pression partielle alvéolaire d'O₂
 pa O₂ : pression partielle artérielle d'O₂
 pV O₂ : pression partielle veineuse d'O₂

Il faut remarquer que la teneur en vapeur d'eau varie grandement non seulement en fonction de l'altitude mais aussi et surtout en fonction de la latitude, des variations saisonnières et atmosphériques. Dans ce mélange, l'azote est responsable de 78 % de la pression barométrique, l'oxygène de 21 %, etc. On appelle *pression partielle* cette part de la pression totale dont chaque gaz du mélange est responsable. Ainsi la pression partielle d'oxygène au bord de la mer vaudra: 21 % de 760 mmHg = environ 160 mmHg. Cette pression partielle du gaz est en relation directe avec le nombre de molécules de gaz présentes.

A 4000 m, le mélange des gaz atmosphériques restant le même (à l'exception de la vapeur d'eau), la pression partielle d'oxygène atmosphérique ne vaut plus que 21 % de 462 mmHg = 97 mmHg. 8000 m: 21 % de 267 mmHg = 56 mmHg.

Cette raréfaction en oxygène est pour l'homme, le facteur le plus important; nous nous y attarderons, car il explique à lui seul nombre de phénomènes d'adaptation.

Il faut cependant dire un mot de deux autres variables physiques:

a) *la teneur en vapeur d'eau*: elle est plus forte au bord de la mer. Dans son chemin aux alvéoles pulmonaires, l'air inspiré s'humidifie aux dépens, bien sûr, de l'eau des muqueuses nasales puis trachéobronchiques, donc de l'organisme; dans les alvéoles, à environ 37 °, la vapeur d'eau sature le mélange gazeux à une pression, non négligeable de 47 mmHg (soit environ le 6 % de la pression totale). Rappel: la pression qui règne dans l'alvéole en fin d'expiration normale est égale à la pression qui règne à l'extérieur donc à la pression barométrique ambiante. Il en résulte deux conséquences: la première est que, plus l'air inspiré est sec, plus l'organisme va perdre de l'eau à l'humidifier; la seconde: du seul fait de l'apparition de ce nouveau gaz dans le mélange en quantité non négligeable, la fraction des autres diminuera d'autant; cette tendance est encore accusée par l'apparition en quantité élevée d'un autre gaz dans l'alvéole: le CO₂.

b) *la température* elle aussi décroît avec l'altitude; pour 15 °C au bord de la mer

on aura -11 °C à 4000 m et -37 °C à 8000 m. C'est un fait qui, à lui seul, justifie pleinement un changement de mode vestimentaire!

En conclusion

Les principales variations des milieux extérieurs sont:

- une diminution de la pression atmosphérique entraînant, ce qui est essentiel, une diminution de la pression partielle d'oxygène,
- une sécheresse relative de l'air,
- des variations thermiques importantes.

Répercussions sur l'organisme des modifications du milieu extérieur

Elles sont particulièrement visibles chez le sujet sain qui monte par exemple chez les Indiens des Andes Péruviennes (beaucoup d'études s'étant faites dans ces régions du fait de conditions climatiques plus favorables qu'ailleurs). L'altitude y voisine 4000 m. Le nouvel arrivant présente une hyperventilation obligatoire. Sa fréquence ventilatoire de 14 à 18 par minute au repos en plaine, augmente à 30 et plus. Son pouls est rapide, sa tension artérielle s'élève. Au moindre effort il est à bout de souffle. Dans ce triste état, il contemple avec envie les gosses du pays qui se bousculent et se poursuivent autour d'un ballon de football, sans plus de difficulté apparente qu'en plaine! Au bout de quelques jours, les performances à l'effort du nouveau venu, sur les plans cardio-respiratoire et circulatoire, s'améliorent, mais après trois mois de séjour, elles ne sont pas encore comparables à celles des indigènes.

Cette phase d'adaptation rapide présente des variations individuelles considérables; elles sont dues principalement à 2 facteurs: l'un est une prédisposition constitutionnelle, l'autre est le degré d'entraînement physique préalable du sujet, qu'il convient de mettre tout particulièrement en évidence. Quant à l'adaptation chronique, l'expérimentation animale a montré qu'il existait une tendance héréditaire à bien ou mal supporter l'altitude (exemple: «brisket disease» du bétail); chez l'homme on a observé que parmi

les indigènes des hauts plateaux des Andes, un certain nombre présentait à la longue une défaillance cardiaque droite; celle-ci est due uniquement en effet aux conséquences de l'hypoxie chronique; ils sont guéris s'ils vont vivre à plus basse altitude ou si on leur fait respirer une atmosphère enrichie en oxygène. Les variations ventilatoires et cardio-circulatoires observées chez le nouvel arrivant sont dues uniquement à la baisse de la pression partielle d'oxygène atmosphérique; elle entraîne une diminution de la pression partielle dans l'alvéole, dans le sang, puis finalement dans les tissus. On peut représenter ces phénomènes de la manière suivante: (cf. tableau 3 et 4).

ECHANGES ALVEOLO - CAPILLAIRES

ALTITUDE ZERO

(PRESSION ATMOSPHERIQUE : 760 mm Hg)

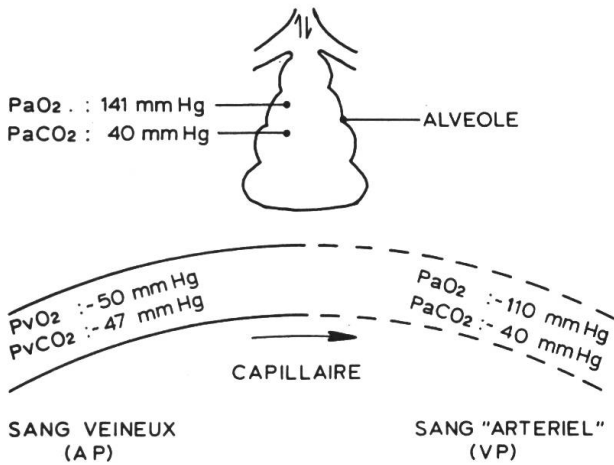


Tableau 3

Aux altitudes de 3000/4000 m, on voit donc la paO_2 baisser nettement. Elle s'abaisse suffisamment pour que l'on puisse parler d'hypoxémie vraie donc de diminution de la quantité d'oxygène transportée par ml de sang. Là intervient l'hémoglobine. Cette molécule extraordinaire a la faculté de se charger d'un nombre considérable de molécules d'oxygène à disposition, suivant une fonction qui graphiquement a une forme de S.

ECHANGES ALVEOLO - CAPILLAIRES

ALTITUDE 8000 m

(PRESSION ATMOSPHERIQUE : 265 mm Hg)

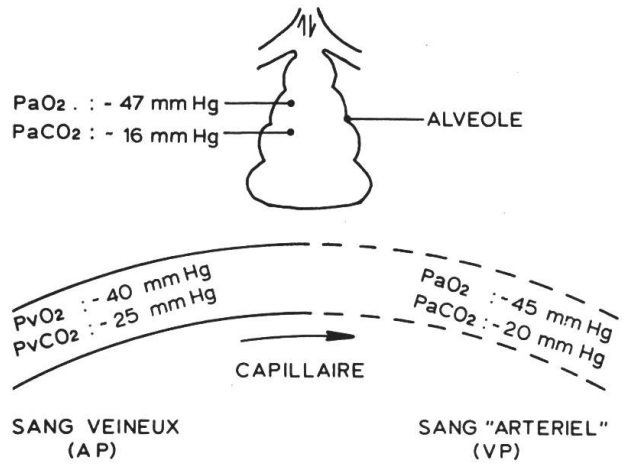


Tableau 4

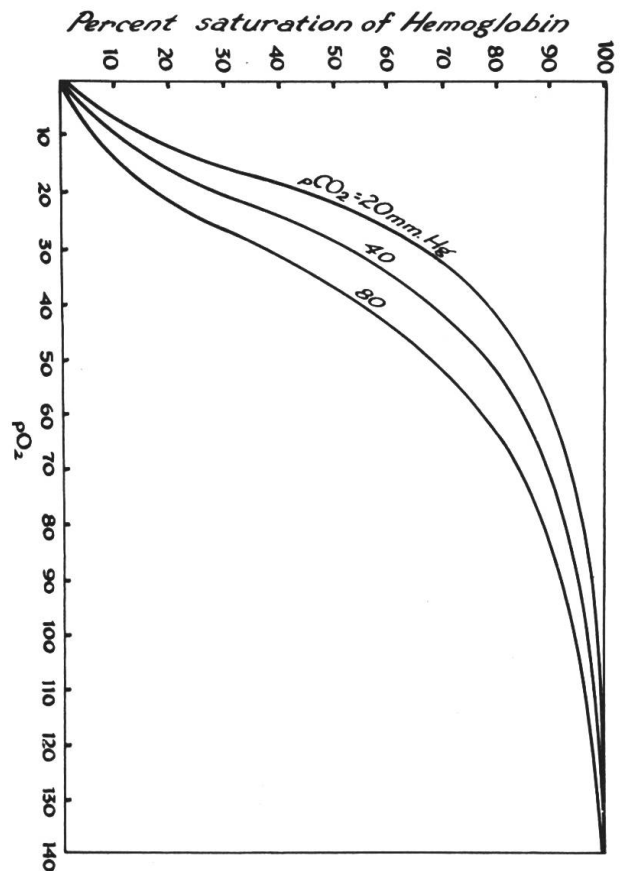


Tableau 5

Lorsque la molécule d'hémoglobine est totalement chargée et ne peut plus accepter d'oxygène, on dit qu'elle est saturée en oxygène. Si le sang n'était fait que de plasma, il ne pourrait transporter qu'un nombre minime de molécules d'oxygène. 1 g d'hémoglobine peut transporter 1,34 ml O₂. Si le sang compte un nombre normal d'érythrocytes contenant chacun une quantité normale d'hémoglobine (environ 15 g d'hémoglobine pour 100 ml de sang chez un adulte), 100 ml de sang peuvent transporter environ 20 ml d'oxygène.

Lorsque la pO₂ atmosphérique baisse assez, la paO₂ baisse suffisamment pour que la quantité d'oxygène transportée par ml de sang diminue de façon sensible; s'il n'y avait pas d'adaptation, les tissus recevraient moins d'oxygène, ce qui entraînerait rapidement un enchaînement de catastrophes métaboliques telles que le sujet finirait par succomber.

C'est là qu'interviennent *les mécanismes d'adaptation rapide*.

Les mécanismes d'adaptation rapide

L'hyperventilation apparaît dès que sont stimulés les récepteurs spécialisés (cellules particulièrement sensibles à l'hypoxie, situées sur la crosse aortique et la bifurcation des carotides, glomus carotidien). Aussitôt, la fréquence ventilatoire augmente. Le renouvellement rapide de l'air alvéolaire permet une légère augmentation de la pAO₂, puis de la paO₂; ceci améliore la saturation de l'hémoglobine en O₂. Sur le plan circulatoire, du seul fait de l'hyperventilation (qui représente en soi un travail musculaire non négligeable) la fréquence cardiaque augmente. Ainsi, même si la charge en oxygène de chaque érythrocyte est plus faible, la vitesse de circulation a augmenté assez pour que le débit d'oxygène aux tissus (qui est impératif) reste constant. A quel prix? Il est évident que le travail ventilatoire et cardio-circulatoire est augmenté. *Même au repos, l'organisme se trouve pratiquement en condition d'effort*. Cependant, à la différence d'un effort physique banal en plaine, le stimulus est ici la diminution de la paO₂ (et non l'augmentation de la pCO₂ comme c'est le cas dans l'exercice muscu-

laire). Au contraire, la pCO₂ décroît ce qui peut entraîner des effets fâcheux. Le cœur droit est proportionnellement plus sollicité que le gauche, car une diminution de la paO₂ entraîne une résistance circulatoire dans le territoire pulmonaire et par conséquent le travail du cœur droit. Une hyperventilation apparaît donc. Elle entraîne une baisse de la pCO₂. Celle-ci exerce un effet de stimulation directe du système nerveux central qui s'ajoute à celui de l'hypoxie; cette baisse de la paCO₂ peut en elle-même faire naître tout un cortège de manifestations «neurovégétatives»: angoisse, nausées, vomissements, malaises, syncopes, etc. Sans aller jusque là, les troubles du sommeil sont fréquents. Ils sont à mettre en parallèle avec une sécrétion accrue d'amines sympathicomimétiques telles l'adrénaline et la noradrénaline; l'effet «doping» de ces molécules est bien connu (cf. certains coureurs cyclistes et candidats aux examens!). Elles jouent un rôle prépondérant dans les systèmes de la vigilance et du sommeil, au niveau du système nerveux central.

En résumé:

Les dangers de l'altitude qui guettent le sujet sain mais non entraîné physiquement, sont donc de deux ordres: l'insuffisance cardio-circulatoire, qui sera prévenue par un entraînement physique sérieux et contrôlé et une gradation dans l'effort exécuté en altitude.

— l'effet «doping», très variable avec les individus, qui peut amener à présumer de ses possibilités et favoriser un état d'épuisement physique et psychique,

— les effets de l'hypocapnie due à l'hyperventilation, ayant comme corollaire, des manifestations neuro-végétatives diversement désagréables mais en général non dangereuses, qu'on englobe sous le terme de «mal des montagnes».

Mécanismes d'adaptation chronique

Ainsi qu'il en va d'un entraînement physique banal, peu à peu les rendements ventilatoires et cardio-circulatoires s'amélioreront. Le bénéfice le plus grand provient cependant de l'adaptation du système hématologique. Rapidement en effet, la moëlle

osseuse stimulée se met à produire des érythrocytes en plus grand nombre; c'est la stimulation hématopoïétique recherchée dans certains types d'anémie. D'une moyenne de 5 à 6 millions par mm³, ce nombre d'érythrocytes atteindra 7 à 9 millions par mm³ ou plus.

Proportionnellement, la fraction cellulaire du sang augmentera, ce qui malheureusement entraînera une augmentation de la viscosité, donc un élément défavorable d'augmentation de résistance à l'écoulement du sang; chez certains sujets, l'adaptation médullaire dépassera son but et l'augmentation de la viscosité ira jusqu'à l'insuffisance cardiaque (et cela même chez certains natifs des hauts plateaux!). Cette augmentation de viscosité est encore favorisée par la légère tendance à la deshydratation mesurable chez les nouveaux venus en altitude.

Indication et contre-indication en altitude

Comme cela fut précisé plus haut, nous nous sommes placés à des altitudes généreuses, afin de simplifier l'analyse. Mais en fait où commence l'altitude? Du point de vue physiologique, elle commence là où ses premiers effets se font sentir! Pour un natif du bord de mer la limite sera plus basse que pour un Helvète moyen vivant sur le plateau entre 500 et 800 mètres. Jusqu'à une certaine hauteur (2000 mètres environ) il existe en effet une notion de variation relative d'altitude. Au-dessus, des répercussions sont décelables chez tous les sujets, à des degrés variables il est vrai.

Il convient maintenant de mettre l'accent sur un autre plan. Pour la majorité d'entre nous, l'altitude n'est ni synonyme de cabine expérimentale sous pressurisée ni de vol en avion supersonique; elle revêt en général l'aspect d'une montagne, d'une vallée, d'un village perché, d'un pâturage ou d'une arrête, donc d'un environnement qui depuis l'avènement des vacances est teinté par un sentiment de détente, de relaxation psychique! Or il faut bien avouer que le plaisir, la joie, le bonheur, la souffrance ou l'abattement, bref les répercussions psychologiques de la beauté ou de la rudesse de la montagne, sont des grandeurs difficilement mesurables! Ces sentiments de «vécu

psychologique» viendront se surajouter bien évidemment aux répercussions de l'altitude elle-même sur l'organisme. De cela, il faut tenir compte, lorsque l'on conseille ou déconseille l'altitude à une malade.

An un dépressif anémique ne pouvant souffrir la silhouette d'un sapin ou le bruit d'un torrent, on risque, en l'envoyant à 1400 mètres, d'améliorer son anémie en désolant son âme! Au cardiaque de 65 ans, discrètement hypertendu, on risque d'ôter le sel de la vie en lui interdisant son chalet de 1500 m dont il rêve depuis 30 ans!

Un conseil médical ne sera donc jamais une «ukase» barométrique seule! Il tiendra toujours compte de contextes individuels complexes. Pour les bien portants, le plaisir sera goûté avec plus de largesse et moins d'amertume si l'entraînement physique préalable a été proportionné et à l'altitude et à l'effort envisagé si l'on prévoit correctement les variations thermiques que l'on boît en suffisance et que l'apport calorique est adéquat et bien dosé.

Pour terminer en chiffres que l'on se souvienne que faire passer un kilo de poids corporel en trop d'une altitude de 500 m à 1500 m représente un travail supplémentaire de 1000 kg/m!

CABINET de PHYSIOTHÉRAPIE

à remettre.

20 ans d'existence.

S'adresser à **F. Cuttelod**,
Philosophes 17, **1400 Yverdon VD**
Téléphone (024) 21 46 42.

CHERCHONS COLLABORATEUR

PHYSIOTHÉRAPEUTE

Service de physiothérapie
HÔPITAL D'AIGLE
1860 AIGLE VD