

Zeitschrift: Jeunesse et sport : revue d'éducation physique de l'École fédérale de gymnastique et de sport Macolin
Herausgeber: École fédérale de gymnastique et de sport Macolin
Band: 35 (1978)
Heft: 7

Rubrik: Recherche, entraînement, compétition

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: 04.05.2025

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



L'athlète et l'altitude

Par le Dr Ch. Gobelet

S'il est un domaine où les avis divergent, c'est bien celui de savoir si l'altitude a un effet favorable sur la préparation de l'athlète. Nous avons tenté, en nous basant sur diverses études, de résumer l'état actuel des connaissances en la matière. Beaucoup de travaux ont été réalisés dans le cadre des J.O. de Mexico, d'où la référence fréquente à ce lieu.

Nous envisagerons successivement et de manière succincte:

- Quelques données techniques sur l'altitude
- Le mal des montagnes
- La dette d'oxygène en altitude
- Le transport de l'oxygène en altitude
- Les diverses pathologies cardiaques et respiratoires liées à l'altitude
- L'effet de l'altitude sur la performance
- L'acclimatation avec ses divers éléments:
 - équilibre acide-base
 - hémoglobine
 - volume circulant
 - adaptation tissulaire
- Entraînement en altitude
- Recommandations générales

Quelques données techniques sur l'altitude

Pression atmosphérique

100 pour cent au niveau de la mer, 50 pour cent à 5500 m et 33 pour cent à 8500 m. La pression partielle d'oxygène (donc l'oxygène contenu dans l'air respiré) diminue dans la même proportion.

Température

Elle s'abaisse avec l'altitude de $0,56^\circ$ par 100 m (différence entre Chamonix et Mont Blanc N: $22,4^\circ$). Le degré d'hygrométrie (humidité de l'air) baisse rapidement pour atteindre la moitié de sa valeur à 2000 m (100 pour cent au niveau de la mer) et le quart à 4000 m. La conséquence en est une augmentation du rayonnement ultraviolet avec les atteintes de la peau, des lèvres et des conjonctives.

Tolérance en fonction de l'âge

Le «stress» provoqué par l'altitude implique une certaine prudence dans la pratique des sports.

Chez les enfants

Il y a bien sûr des exceptions mais pour des sujets vivants en-dessous de 1000 m on devrait être intransigeant et fixer les limites d'altitude suivantes:

10 ans	2000 m
14 ans	2500 m
16 ans	3000 m
18 ans	4000 m

Ces données s'appliquent bien entendu à des sujets non acclimatés.

Chez les cardio-vasculaires

Une certaine prudence doit être de rigueur.

Résistance de l'air

Sans entrer dans les détails, au niveau de la mer, l'énergie nécessaire à vaincre la résistance de l'air au cours de 3 miles (1 mile = 1609 m) est de 11 pour cent de la dépense totale d'énergie durant la course. A l'altitude de Mexico, ce chiffre tombe à 8 pour cent. Pour les sprinters, les cyclistes, ce gain est encore plus grand.

Mal des montagnes

On a beaucoup parlé des risques encourus par l'athlète en altitude. En fait cette maladie des montagnes est une entité bien particulière que l'on peut subdiviser en:

Mal des montagnes propre

Ce mal est caractérisé par céphalées, nausées, troubles du sommeil, discrète dyspnée, faiblesse. Rare au-dessous de 2000 m. Surtout chez les personnes dépassant 3000 m sans acclimatation. Sensibilité particulière de chaque sujet.

OAP = oedème aigu du poumon

Le mécanisme physiopathologique en est inconnu. Rare au-dessous de 2500 m. Survient 24 à 60 heures après l'arrivée en altitude: toux sèche, faiblesse, céphalées, tachycardie, dyspnée.

Oedème cérébral

Moins courant mais plus dangereux. Peut déjà survenir à 2500 m, bien que rare au-dessous de 3500 m. Céphalées très graves, confusion, labilité émotive, hallucinations, ataxie, parfois amblyopie, dysarthrie, asymétrie faciale. Evolution vers le coma puis vers la mort s'il n'y a pas de traitement.



Cette maladie des montagnes s'accompagne d'hémorragie rétinienne chez 20 à 30 pour cent des personnes allant au-dessus de 4500 m et qui récupère en quelques mois. L'oedème du poumon est présent chez 6 pour cent des moins de 21 ans, allant de 0 à 2500 m et chez 0,4 pour cent des plus de 21 ans.

Dans une étude sur les soldats hindous transportés rapidement de 0 à 4000 m, Singh a montré une fréquence d'OAP de 0,1 pour cent à 8,3 pour cent. A remarquer que le risque d'en faire un second n'est pas augmenté par rapport à la population normale témoin.

En fait, les symptômes les plus fréquemment incriminés chez les athlètes entraînés en altitude furent céphalées, troubles digestifs et troubles du sommeil.

Etiologie:

- Pour certains auteurs c'est l'alcalose respiratoire non compensée qui influence le travail mitochondrial de façon défavorable.
- Pour d'autres elle est plus complexe faisant intervenir un mécanisme de blocage de la pompe à sodium avec accumulation de Na intracellulaire et oedème subséquent. Ce blocage serait provoqué par l'hypoxie.
- Une dernière théorie enfin, et qui semble actuellement prévaloir, est celle qui préconise l'augmentation de la pression pulmonaire et de la perméabilité capillaire avec transsudation secondaire de liquide dans les alvéoles. Ce mécanisme est encore inexpliqué.

Dette d'oxygène en altitude

Dans une course de 400 à 800 m, 50 pour cent de l'énergie dépensé est fourni par la voie anaérobie. Ce pourcentage est inchangé en altitude en début de séjour. Mais avec l'acclimatation, il se produit une perte de bicarbonates corporels avec diminution conséquente de la tolérance à l'augmentation de l'acide lactique (bicarbonates = effets tampons sur la production d'acide lactique au cours d'un travail musculaire).

De ceci, on peut déduire 3 attitudes:

a) Démarrage plus lent, car « asphyxie musculaire » plus facilement présente en altitude

b) Réétudier un nouvel équilibre respiratoire – foulée en fonction de l'altitude (car augmentation de ventilation)

c) Récupération entre des séries de sprints qui sont 85 à 90 pour cent plus lente qu'en plaine. Ergo, augmentation de la pause et diminution du volume total de l'entraînement.

Transport d'oxygène en altitude

Le principal facteur de résultats dans les courses durant jusqu'à 60' est la consommation maximale d'oxygène par minute (VO_2 max.). En 1967 ce paramètre a été étudié par *Buskirk* et coll. à diverses altitudes. Ils ont ainsi calculé une perte de la VO_2 max. de 3,2 pour cent pour chaque fraction de 330 m de dénivellation au-dessus de 1650 m. Selon *Faulkner* en 1971, cette perte de la VO_2 max. serait de 7 pour cent pour chaque tranche de 1000 m au-dessus du niveau de la mer. Il semble en fait que les premiers résultats mentionnés soient plus près de la réalité, d'autres facteurs annexes semblant intervenir dans les résultats de *Faulkner*.

La ventilation maximale en altitude est augmentée et peut atteindre des valeurs supérieures à 200 l/min. (diminution de la densité de l'air et diminution des résistances).

Pathologie cardiaque et respiratoire

Quel est le risque d'un infarctus ou d'un oedème aigu du poumon en altitude?

En fait minime pour un athlète entraîné. Il faut cependant signaler qu'en raison de la raréfaction de l'oxygène avec l'altitude, lors d'un effort violent, l'ischémie myocardique est plus marquée qu'en plaine. *Pugh* en 1967 a pu mettre en évidence des troubles du rythme cardiaque chez 3% des coureurs anglais faisant un camp d'entraînement en altitude.

Performance en altitude

Certains auteurs avaient fait des prévisions sur les résultats qui seraient obtenus à Mexico sur la base des connaissances physiologiques que l'on avait alors. En fait, ces résultats furent nettement meilleurs que ceux prédits comme le montrèrent *Faulkner* en 1971 et *Craig* en 1969. On attendait en natation des résultats moyens inférieurs de 2,9 pour cent au record mondial. En fait, ils ne furent que de 0,9 pour cent. On avait prévu des temps supérieurs de 6,7 pour cent sur 5000 et 10 000 m et de 17 pour cent à 20 pour cent sur le marathon. En fait, ces pertes de temps n'excédèrent pas 6 à 8 pour cent même pour les efforts d'endurance pure. Sur les petites distances, on constata l'amélioration attendue. La perte de temps moyenne fut de 3 pour cent sur 4' de course et de 8 pour cent environ sur une heure. Certains athlètes rési-

dant en altitude semblèrent cependant mieux supporter l'effort en altitude. (Kéino: résidant en permanence en altitude.)

Acclimatation

Période vitale pour chaque athlète; elle porte en fait sur plusieurs facteurs.

Equilibre acide-base:

L'arrivée en altitude s'accompagne, en raison de la diminution d'oxygène dans l'air respiré, d'une hyperventilation et par conséquent d'une diminution de la teneur sanguine en gaz carbonique. Ainsi disparaît l'un des stimuli essentiels de la respiration. Mais l'altitude provoque aussi une augmentation de la pression artérielle avec augmentation du travail cardiaque, ainsi qu'une diminution du débit sanguin cérébral. Cette hypoperfusion sanguine cérébrale s'accompagne d'une acidose du liquide céphalo-rachidien en quelques heures. Cette acidose tend à compenser le déficit respiratoire créé par l'hyperventilation, la diminution de pH agissant comme facteur stimulant sur le centre respiratoire: cette acidose aboutit d'autre part à une diminution des bicarbonates, ceux-ci étant utilisés pour compenser l'acidose. L'hyperventilation due à l'altitude créant une alcalose va aussi s'accompagner d'une rétention réactionnelle discrète en chlorure et surtout en lactate compensatoire, augmentant ainsi la lactacidémie de base et provoquant en conséquence une diminution de tolérance à l'effort. Le stimulus respiratoire en altitude est, en fait, constitué par une diminution de la PO_2 de l'air et par l'acidose du LCR, l'état idéal étant la réalisation d'un compromis physiologique entre la nécessité d'assurer un apport d' O_2 suffisant et celle de modifier aussi peu que possible l'équilibre acide-base.

Durant les premiers jours de l'exposition à une diminution de PO_2 , la ventilation pulmonaire pour un exercice donné augmente encore plus qu'en cas d'une exposition aiguë. L'alcalose provoquée par la diminution de la PO_2 de l'air avec hyperventilation et hypocapnie, et qui intervient de façon centrale pour réduire l'action du stimulus hypoxique, est à peu près compensée par la diminution de concentration des bicarbonates sanguins, et le pH redevient normal chez l'acclimaté (réponse rénale à la modification de PCO_2).

Mais la réponse rénale est lente, et durant les premiers jours la correction se fait par l'intermédiaire du LCR où la diminution des bicarbonates provoque une acidose et, par conséquent, une stimulation du centre respiratoire.

La diminution de la réserve alcaline qui caractérise le sujet adapté à la haute altitude diminue



sa capacité à combattre une acidose lactique due à l'effort. L'hyperventilation créée par l'altitude, s'accompagne d'un état de déshydratation qui peut être dangereux s'il est maintenu, sans correction, durant plusieurs heures.

Hémoglobine:

Une augmentation de la concentration d'hémoglobine est le 2^e mécanisme d'adaptation. A l'altitude de Mexico, celle-ci augmente de 20 pour cent environ, de même que les globules rouges. Cependant, ces changements se produisent en un mois ou plus selon *Reynafarje*. Certains auteurs prétendent que cette augmentation du taux d'hémoglobine, de même que la polyglobulie, est en fait secondaire à la réduction du volume circulant.

Volume circulant:

Dès les premières semaines en altitude, il se produit une réduction du volume plasmatique et du débit cardiaque. Le mécanisme en est compliqué et partiellement non encore résolu. Ces modifications se font progressivement durant les premières semaines sans effet cumulatif. La diminution du débit cardiaque se fait de préférence vers la 3^e semaine en altitude. A moins que l'athlète ne reste en altitude pour quelques mois, il doit prendre garde à effectuer ses compétitions avant le déclenchement de ces mécanismes d'adaptation.

La diminution du débit cardiaque est due à une diminution du volume systolique, irrégulièrement de la fréquence cardiaque maximale. Peut-être y a-t-il une action débilante de l'hypoxie sur le myocarde? Buskirk, en 1967, a observé, lors des premiers jours en altitude, une augmentation de la concentration d'hémoglobine par diminution du volume plasmatique. Pour certains auteurs, ce mécanisme est relayé par une augmentation de l'érythropoïèse qui augmente la concentration sanguine d'hémoglobine, le contenu en O₂ du sang artériel par unité de volume serait donc identique en altitude et au niveau de la mer.

Adaptation tissulaire:

Se fait en une à deux semaines avec augmentation du taux de myoglobine et augmentation du système enzymatique.

Entraînement en altitude

On a beaucoup parlé des camps d'entraînement en altitude. Qu'en est-il au juste de leur utilité? Partant du principe que les résidents en altitude montrent une amélioration de leur performance au niveau de la mer, on a postulé qu'on améliorerait le résultat des athlètes en les faisant

s'entraîner en altitude, la compétition en plaine devant se faire lorsque la polycythémie est encore présente et que les bases sanguines sont revenues à leur valeur au niveau de la mer. Malheureusement pour cette hypothèse, la polycythémie développée durant un camp de 3 semaines semble être secondaire à une hémoc concentration et même s'il survenait une polycythémie vraie, le bénéfice en est transitoire. Lors du retour en plaine, une érytholyse accrue, une diminution de la production de globules rouges et une augmentation du plasma sanguin détruisent en 2 à 3 semaines le gain de plusieurs années.

Faulkner, dans une étude assez peu précise, a montré un bénéfice de 0 à 2 pour cent pour un camp en altitude. L'étude de *William C. Adams*, par contre, nous semble plus intéressante. Elle a été effectuée en 1974 et a porté sur 2 groupes de coureurs ayant séjournés, les uns 3 semaines en plaine (Davis: 16 mètres: P barométrique 760) puis 3 semaines à 2300 m (P barométrique 586) et les autres d'abord en altitude puis en plaine aux mêmes lieux (PB Lausanne environ 720 mm Hg). La conclusion de cet auteur fut qu'un camp en altitude avec un entraînement dur n'avait pas d'effet favorable par rapport au même programme exécuté en plaine par des coureurs de demi-fond entraînés. Les valeurs de référence utilisées furent la VO₂ max/min. et la performance sur 2 miles. Cette étude est en contradiction avec les résultats obtenus par *Asmussen* en 1965, *Astrand* en 1967 et *Dill* en 1971.

En fait, la question n'est pas encore tranchée de façon définitive. Peut-être divers facteurs interviennent-ils tels un seuil d'altitude, des retours périodiques en plaine, le temps écoulé après le retour en plaine jusqu'au jour de la compétition, l'intensité de l'entraînement en altitude et les capacités aérobiques des sujets étudiés.

De toute façon, il est certain que le camp d'entraînement en altitude n'a pas donné les résultats escomptés, et qu'une préparation de même intensité en plaine permet d'obtenir en moyenne des résultats équivalents.

Recommandations générales

Mach en 1968, a résumé quelques recommandations sur la période idéale d'adaptation. La majorité des physiologistes conseillent 3 à 4 semaines. Ceci est valable pour une altitude moyenne de 2200 à 2300 m à laquelle la diminution du débit cardiaque est très peu marquée. A une altitude entre 2600 et 3000 m, l'athlète sera au plus mal de sa condition entre la 3^e et la 4^e semaine et, à moins que l'on puisse se per-

mettre un séjour prolongé de plusieurs mois, il faut tâcher de faire la compétition avant que survienne la réduction du volume plasmatique. Pour ce faire, l'idéal semble être un séjour en altitude de 48 à 72 heures avant l'épreuve et en général à l'altitude où se déroulera la compétition. Ce temps permettra la récupération des fatigues du voyage et le rétablissement de l'équilibre acide-base du liquide céphalo-rachidien. A ce moment, les effets négatifs dus à l'altitude (maladie des montagnes) seront dissipés, tant la diminution des bases sanguines que celle du débit cardiaque sont encore minimes.

En conclusion, disons que ces considérations qui résultent de diverses lectures sont incomplètes et passibles d'être modifiées à tout moment par de nouvelles découvertes physiologiques.

Bibliographie

- ¹ Adams William C., Bernauer Edmond M., Dill D.B. and Bomar John B. J.R. Effects of equivalent sea-level and altitude training on VO₂ and running performance. Journal of applied physiology. Vol. 39 No 2 August 1975
- ² Astrand P.O. et Rodahl K. Manuel de physiologie de l'exercice musculaire p. 522-543. Edité par Masson
- ³ Buskirk E.R., Kollias J., Akers R.F., Prokop E.K. and Reatequi EP. Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners J. Appl. Physiol. 23; 259-266; 1967
- ⁴ Craig AB: Olympics 1968: a post-mortem Med. sci. Sports 1: 177; 1969
- ⁵ Faulkner J.A. Training for maximum performance at altitude, in The effects of altitude on athletic performance edited by Goddard R. Chicago, Athletic Institut, 1967, p. 88
- ⁶ Faulkner J.A. Maximum exercise at medium altitude in frontiers of Fitness edited by Shephard R.J., 1971, p. 360
- ⁷ Guillet R. et Genety J. Abrégé de Médecine du sport édité par Masson
- ⁸ Houston Charles S. M.D. High altitude illness disease with protean manifestations Jour. Am. med. ass., Nov. 8., 1976 Vol. 236, No 19
- ⁹ Pugh L.G.: athletes at altitude J. Physiol. (Lond) 192: 619-646; 1967
- ¹⁰ Raynaud J., Martineaud J.P. Bordachar J. Tillous M.C. and Durand J. Oxygen deficit and debt in submaximal exercise at sea-level and high altitude Journal of applied physiology Vol 37, No 1, July 1974
- ¹¹ Reynafarje B. Hématologie changes during rest and physical activity in man at high altitude in Ibid
- ¹² Shephard Roy J. M.D. The athlete at high altitude C.M.A. Journal/August 4; 1973, vol. 109