

féminines et masculines cyclistes après 70 nuits passées à 2650m alternées avec des entraînements à 600m. En outre, ces sportifs qui avaient déjà des $\dot{V}O_2\text{max}$ moyennes très élevées au départ (68 ml.min⁻¹.kg⁻¹ pour les femmes et 81 ml.min⁻¹.kg⁻¹ pour les hommes) n'ont amélioré ni leurs $\dot{V}O_2\text{max}$ ni leurs performances. L'entraînement en altitude (2315m) stimule davantage les sportifs de niveau moyen (Burtschler et al., 1996). Cette formule d'entraînement à basse altitude (au niveau de la mer) et de vie en moyenne altitude (12 heures par jours à 1980m) a cependant montré des effets positifs sur la fonction cardiaque puisqu'une échographie a mis en évidence, dans cette étude, une meilleure vidange systolique par une augmentation de la contractilité ventriculaire chez 10 triathlètes (Burtschler et al., 1996). Le volume d'éjection systolique était donc augmenté et la fréquence cardiaque pour une intensité donnée était abaissée. Le groupe témoin de même niveau ne présentait pas ces adaptations qui sont très proches de celles qu'il est possible d'obtenir par un entraînement en plaine bien conduit. Des chercheurs suédois (Svedenhag et al., 1997) ont également démontré que l'entraînement en altitude (1 mois à 1900m) de l'équipe nationale de ski de fond, induisait une augmentation de la masse ventriculaire gauche avec les mêmes conséquences sur la fréquence cardiaque sous maximale que nous avons citées précédemment.

Toutefois, une des (rares) études réalisées avec des sportifs de bon niveau (cyclistes) a montré que l'entraînement en altitude (2300m en chambre hypoxique hypobarique 574 mmHg) à raison de 5 séances hebdomadaires d'entraînement continu (intensité inférieure au seuil lactique) et intermittent (à $v\dot{V}O_2\text{max}$), permettait une amélioration significativement supérieure à l'entraînement en plaine concernant : le seuil lactique (diminution de l'activité enzymatique PFK), la densité capillaire des muscles vastes externes (Terrados et al., 1988 ; Terrados, 1992 ; Hoppeler et Desplanches, 1992 ; Desplanches et al., 1993 ; Green, 1992 ; Ingjer et Myhre, 1992). Cependant une étude toute récente de Melissa et al. (1997) a montré que 8 semaines d'entraînement en hypoxie (13,5% soit une altitude équivalente de 3500m) augmente davantage l'activité maximale de l'enzyme citrate synthase, témoin de l'activité mitochondriale de la cellule qu'un entraînement similaire réalisé en normoxie mais diminue la concentration en de l'enzyme ATPase et des concentrations musculaires en sodium et potassium (indispensables à la contraction musculaire).

En conclusion, cette diversité expérimentale a pour conséquence une méconnaissance des possibili-

tés réelles d'améliorer la performance des sports d'endurance (dont la durée est supérieure à 3 minutes) qui dépend principalement du métabolisme aérobie. Le tableau 15 résume les principales études concernant l'effet de l'entraînement en altitude sur la performance sportive et les capacités physiques. Il faut noter que le délai de mesure post exposition à l'entraînement et/ou la vie en hypoxie est également très disparate d'une étude à l'autre et semble être un facteur déterminant de la variation de la performance et des réponses physiologiques.

2. Application : altitude et performances sportives

L'altitude est synonyme de baisse de la pression atmosphérique (tableau 16) et donc de la pression partielle en oxygène, ce qui implique une moindre résistance à l'air et nous avons vu son importance pour le cyclisme dans le premier chapitre de cet ouvrage traitant de la performance sportive. Cela peut donc être un avantage pour tous les sports de vitesse jusqu'au 200m en course à pied, ou encore le saut en longueur, pour lequel la vitesse atteinte lors de la course d'élan est fondamentale.

Le saut (en longueur) de légende de Beamon, datant précisément des Jeux Olympiques de Mexico, en témoigne puisqu'il a tenu plus d'un quart de siècle. Une étude de Howley (1980) souligne que les performances olympiques se sont détériorées entre Tokyo (1964) et Mexico (1968). Il est intéressant de constater que les performances se sont altérées à partir du 3000 m, et ce malgré l'élévation du niveau mondial, puisque à cette époque, les athlètes commençaient à se préparer en parcourant davantage de kilomètres et de façon plus intensive.

Ainsi, la perte de vitesse sur 3000 m steeple, 5000, 10 000 m et marathon était respectivement de -3,9; -1,9; -3,7; -6,2% des temps records. Plus la distance s'allonge, plus la perte de vitesse est importante. Le 3000 m steeple est une exception dans la mesure où la composante technique (franchissement des barrières et de 7 rivières) entre en ligne de compte. On peut donc énoncer que, plus la discipline a une forte composante énergétique dans la performance (le geste sportif et la tactique étant secondaires), plus cette composante énergétique est aérobie et plus la baisse de performance (de la vitesse) sera marquée en altitude. Cela vient directement de la baisse de la pression partielle en oxygène qui diminue de moitié, par exemple, à 5000 m d'altitude. On considère la basse altitude à 1000 m,