

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA DE BEJAIA

Faculté des Sciences Humaine et Sociales

Département des Sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS)

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de master en STAPS

Filière : entraînement sportif

Spécialité : entraînement sportif d'élite

**ETUDE COMPARATIVE DES QUALITÉS PHYSIQUES CHEZ DES
ATHLÈTES HABITANT EN MOYENNE ALTITUDE ET CEUX
HABITANT EN BASSE ALTITUDE CAS DE LA WILAYA DE
BEJAIA**

Réalisé par :

MEZAL Yougarithen

IKHLEF Mourad

Encadré par :

Mr : OURABAH.B

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadreur de mémoire Mr, Brahim OURABAH enseignant à l'université de Bejaia, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je ne saurai omettre de remercier très sincèrement tous les enseignants de la faculté des sciences humain et social département des STAPS de l'Université de Abderahmane Mira de Bejaia, que j'ai eu l'honneur d'avoir durant mon cursus universitaire.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance et mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie mon travail à :

Mes très chers parents pour leurs sacrifices, leurs soutient, leurs amours et tout de qu'ils m'ont offert durant toutes mes années d'études et que dieu les protègent.

Mon frère Messi et ma petite sœur Ines

Mes oncles et tantes, cousins et cousines et toute la famille Mezal.

Mes tous chers amis, Nabil, Zahir, Bihmane Aimad, Athmane, Laameri, Fahem, Sofiane, Siffedine, Layachi, Hicham, Haroune ...ect et à mon binôme Mourad.

MEZAL Yougarithen

Dédicace

Je dédie mon travail à :

Mes très chers parents pour leurs sacrifices, leurs soutient, leurs amours et tout de qu'ils m'ont offert durant toutes mes années d'études et que dieu les protègent.

Mon frère Layachi et mes sœurs Naima, Samra, et ma chère sœur Malika qui ma soutenu durant mon parcours scolaires.

Mes oncles et tantes, cousins et cousines et à toute la famille Ikhlef.

Mes tous chers amis, Nabil, Nassim, Bilal, Siffedine, Layachi, Yanis, Fafou, faycel, Hicham...ect et à mon chère binôme Yougarithen.

IKHLEF Mourad

Sommaire

Sommaire

Introduction

Chapitre 1 L'entraînement en altitude

Introduction	6
1. L'entraînement en altitude	7
2. Définitions de L'entraînement en altitude.....	8
3. Le sport en altitude	8
3.1 S'entraîner en altitude	8
3.2 Les saisons et le climat	10
4. Les Types de l'altitude	11
5. Les méthodes d'entraînement de l'altitude	11
5.1 La méthode live high train high	11
5.2 La méthode Live High Train Low	11
5.3 La méthode Live Low Train High	12
5.4 Varier les techniques d'entraînement en hypoxie	13
6. Les méthodes pour optimiser	14
7. Impact de l'altitude sur l'entraînement	16
8. Bénéfices psychologique de l'entraînement en altitude	17
8.1 Effets positifs de l'altitude	19
8.2 Effets négatifs de l'altitude	19
9. Les changements physiologiques de l'entraînement en altitude	20
10. Réponses à court terme à l'hypoxie d'altitude.....	21

Sommaire

10.1 Réponses ventilatoire et réponse cardiaque.....	21
10.1.1 Réponse ventilatoire.....	21
10.1.2 Réponse cardiaque.....	21
10.2 Adaptations à long terme	22
10.2.1 Adaptation hématologiques.....	22
10.2.2 Adaptations tissulaires	23
10.2.3 Adaptation métaboliques	24
11. Effets de l'entraînement en altitude sur la capacité aérobie.....	25
12. Le besoin hydrique et l'entraînement en altitude	27
13. Variabilité des effets de l'entraînement en altitude.....	29
14. L'altitude et le Dopage avec transfusion sanguine (sang saturé en hémoglobine en altitude).....	32
14.1 Introduction.....	32
14.2 La Transfusion Sanguine	34
14.3 La technique.....	34
14.4 Effets des transfusions sanguines sur la performance	35
14.5 Effets secondaires de la transfusion sanguine.....	36
Conclusion	38
Chapitre 2 les qualités physiques	39
Introduction.....	39
1. Définition des qualités physiques	39
2. Les types de qualités physiques	39

Sommaire

2.1 L'Endurance	39
2.2 La Vitesse	41
2.3 La force	43
2.4 La souplesse.....	44
2.5 La coordination.....	45
3. La préparation physique.....	46
3.1 Définition	46
3.2 La les principes D'entraînement.....	46
3.3 Développement des qualités physique	47
3.3.1 L'endurance	47
3.3.2 La vitesse	51
3.3.3 La force.....	52
3.4 Conseils d'entraînement	54
3.5 La récupération	55
4. Les filières énergétiques	56
4.1 Définition.....	57
4.2 Les types de filières énergétiques	57
4.2.1 La filière aérobie	57
4.2.2 La filière anaérobie lactique.....	58
4.2.3 La filière anaérobie alactique.....	59
Partie méthodologique et pratique.....	61
1. Objectif de la recherche	61

Sommaire

2. Tache.....	61
3. L'échantillon.....	61
4. Méthodes de la recherche.....	61
5. Matériels/ outils	61
6. Déroulement de la recherche.	61
6.1 Test de 60m vitesse.....	62
6.2 Test de 600m Endurance.....	62
7. Calculs Statistiques.....	62
Chapitre 2 Analyse et discussion des résultats	63
Chapitre 3 Discussion des résultats	71
Conclusion	73
Références Bibliographiques..	75

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1	Représente La corrélation pour le test de 60 m vitesse
Tableau 2	Représente La corrélation pour le test de saut horizontal
Tableau 3	Représente La corrélation pour le test de 600 m
Tableau 4	Représente Les Comparaisons pour le test de 60 m vitesse
Tableau 5	représente Les Comparaisons pour le test de saut horizontal
Tableau 6	Représente Les Comparaisons pour le test de 600 m

Les Abréviations

Liste des abréviations

Abréviations	Significations
Epo	Erythropoïétine
Hb	Hémoglobine
L'ATP	Adénosine Triphosphate
CP	Créatine Phosphate
VO ₂ max	Consommation maximale de l'oxygène
VMA	Vitesse maximale aérobie
EPS	EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE
PAL	Puissance Anaérobie Lactique
CAL	Capacité Anaérobie Lactique
PCr	Phosphocréatine
O ₂	L'oxygène

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1	Histogramme qui représente le test de 60M et les moyennes des deux clubs.
Figure 2	Histogramme qui représente le test du saut horizontal et les moyennes des deux clubs
Figure 3	Histogramme qui représente le test du saut horizontal et les moyennes des deux clubs

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction

Le développement des qualités physiques chez les athlètes représente une nécessité car cela aide les athlètes à s'améliorer sur le plan technique et tactique. Une bonne formation des qualités physiques assure à un certain degré une perfection technique et une bonne application tactique (en respectant les caractéristiques morphologiques liées à cette catégorie d'âge).

Selon R.MANNO (1992) « les capacités motrices ou qualités physiques constituent le présupposé ou pré requis moteur de base, sur lequel l'homme et l'athlète construisent leurs propres habilités techniques »

Traditionnellement,

Les qualités physiques sont définies selon cinq termes qui sont : la vitesse, endurance, la coordination, la souplesse et la force.

Le développement de ces qualités physique améliore les performances des athlètes à partir de quelque recommandation qui sont représenté par la pratique régulière de l'activité physique, la bonne préparation qui nécessite des prises de position, des options à prendre des convections a défendre et des choix de fonctionnement à faire et suivre les différents types d'entraînement des qualités physiques parmi cela l'entraînement en altitude.

Le choix de venir s'entraîner en altitude ne relève pas seulement du phénomène de mode. il s'explique par les bénéfices d'ordre physiologique générés. « En altitude, on augmente la masse totale d'hémoglobine (c'est-à-dire de globules rouges), ce qui permet d'augmenter sa capacité à transporter l'oxygène dans le sang. Bref on peut produire davantage d'énergie, ce qui est crucial pour les coureurs à pied ou les cyclistes », explique Jean-Claude Banfi, ancien professeur d'EPS devenu coach sportif. « Il y a aussi un gain de force et d'hypertrophie (augmentation de la taille du muscle), qui est intéressant par exemple pour les skieurs.

Nous allons chercher à comprendre l'existence ou non d'une différence significative des qualités physiques entre les athlètes qui s'entraîne en haute altitude et ceux qui s'entraîne au niveau de la mer ?

Notre étude est portée sur un échantillon de 18 athlètes dont 08 issus du club d'Amizour ville de Bejaia et de 08 athlètes issus du club Taskariout, Afin de réaliser notre

Introduction

comparaison, notre choix est porté sur les tests de terrain suivants : le test de vitesse sur 60m, et pour l'endurance le test sur 600m pour la comparaison de la VMA ; et le test de force détente horizontale (saut longueur).

Ce travail sera charpenté comme suite, nous aurons dans un premier temps L'introduction, en deuxième temps, qui aura une présentation Du premier chapitre qui se déroule sur l'entraînement en altitude, en suite le deuxième chapitre sera consacré pour les qualités physique, Suivra ensuite notre organisation de la recherche en troisième temps dans cette partie nous allons présenter notre partie pratique, les grandes lignes de ce travail, nous présentons les outils de recueil des données, outils et teste statistique qui seront utilisés, les procédures de passation et méthodes de recherche optés, nous présentons aussi notre échantillon.

Problématique :

Durant tout notre cursus universitaire ainsi que notre expérience acquise durant les stages pratiques et dans les clubs sportifs amateurs de dont nous avions étaients entraîneurs des jeunes catégories, nous avons remarqué qu'il existe une différence dans les qualités physiques entre les athlètes qui s'entraînent en niveau de la mer et grâce a notre recherche mener et les expériences acquis de notre stage et test que on a fait avec les athlètes qui s'entraînent en altitude nous avons arriver a La question qu'on peut se poser, est la question de notre travail de recherche, est la suivante :

Existe-t-il une différence entre les qualités Physiques des athlètes qui s'entraînent en altitude et ceux qui s'entraînent au niveau de la mer ?

Hypothèse :

L'entraînement en altitude influe sur la qualité physique endurance des athlètes par contre cela n'influe pas sur les qualités physiques force et vitesse chez ces athlètes.

Définition des concepts

concepts	Définitions
Hypoxique	Qui concerne l'hypoxie, la diminution de la quantité d'oxygène que le sang distribue aux tissus ; qui est dû à l'hypoxie
Hypobarique	L'hypoxie hypobarique entraîne une hypoxémie cérébrale, qui a comme conséquence une augmentation du débit sanguin cérébral et donc du volume sanguin cérébral ainsi qu'une altération de l'autorégulation
Polyglobulie	L'hypoxie hypobarique entraîne une hypoxémie cérébrale, qui a comme conséquence une augmentation du débit sanguin cérébral et donc du volume sanguin cérébral ainsi qu'une altération de l'autorégulation
Myoglobine	Protéine du tissu musculaire qui en assure l'oxygénation
Métabolique	C'est-à-dire l'ensemble des transferts d'énergie ou de molécules qui ont lieu au sein de l'organisme vivant. Qui se rapporte au changement, que ce soit en médecine, en musique ou tout autre domaine
Epo	Erythropoïétine Hormone (produite naturellement ou par synthèse) qui stimule la formation des érythrocytes en réponse à une carence en oxygène
Réticulocytes	Les réticulocytes sont de jeunes globules rouges immatures, qui viennent d'être relâchés dans la circulation sanguine après leur production par la moelle osseuse
(Hb)Hémoglobine	Protéine contenue dans les hématies, qui donne au sang sa couleur rouge
Catecholamine	Les catécholamines sont des composés organiques synthétisés à partir de la tyrosine et jouant le rôle d'hormone ou de neurotransmetteur
Dpg	Diphosphoglycerate est un ligand de l'hémoglobine. ... Elle décroît lorsque la concentration d'hémoglobine augmente, en présence d'oxygène ou de gaz carbonique. La liaison 2,3-DPG ↔ hémoglobine favorise le passage de l'hémoglobine à la forme désoxygénée
Vegf	(Vascular endothelial growth factor) facteur de croissance endothélial vasculaire 13 (EPO) L'érythropoïétine est une hormone de nature glycoprotéique (protéine portant un glucide). Cette hormone est une cytokine pour les précurseurs des érythrocytes dans la moelle osseuse (c'est un facteur de croissance). Elle entraîne ainsi une augmentation du

Définition des concepts

	nombre de globules rouges dans le sang
Hémolyse	L' hémolyse consiste en la destruction des globules rouges présents dans le sang. L'hémoglobine libérée lors de cette destruction colore le sérum ou le plasma, plus ou moins fortement selon son degré, en rouge orangé. On parle alors de prélèvement hémolysé

Partie théorique

Chapitre 1

*L'entraînement en
altitude*

Introduction

L'entraînement sportif est l'ensemble des méthodes et exercices physiques visant l'entretien et l'amélioration des performances sportives, chez le sportif amateur ou professionnel ; cet entraînement comprend notamment la préparation physique, technique, tactique et mentale.

Des méthodes d'entraînement ont été élaborées et perfectionnées de manière empirique, depuis l'entraînement des athlètes des Jeux olympiques antiques. Elles se sont affinées à partir du XX^e siècle avec l'émergence du sport moderne. Plus récemment, les recherches scientifiques et les progrès technologiques (physiologie et médecine, appareils d'analyse...) ont permis de comprendre l'efficacité de ces méthodes et même affiner les paramètres d'entraînement.

La multiplication, ces dernières années, des tentes hypoxiques à des prix abordables a permis à la communauté sportive d'accéder à une technique jusque là très onéreuse. Ainsi, les entraîneurs et les athlètes y ont vu un moyen d'améliorer la performance tout en minimisant les déplacements en altitude. Par contre, quelques interrogations subsistent quant à l'efficacité de ce procédé.

Après les Jeux Olympiques de Mexico en 1968, plusieurs athlètes et entraîneurs ont cherché à améliorer les performances au niveau de la mer par des stages en altitude. Si plusieurs auteurs ont montré des effets marqués de l'exposition à des conditions hypoxiques hypobariques sur la polyglobulie (facteurs hématologiques), sur l'angiogénèse, sur la concentration de la myoglobine, d'autres auteurs ont aussi rapporté des complications respiratoires et gastro-intestinales. Il est rapidement devenu évident que les conditions d'exposition à l'altitude déterminent l'amplitude des adaptations métaboliques et respiratoires. De l'importance pour les entraîneurs et les sportifs de haut niveau de trouver le bon compromis. Dans cette perspective, plusieurs chercheurs ont tenté de déterminer quel était le meilleur protocole à suivre pour induire les adaptations métaboliques et respiratoires nécessaires à l'expression de l'optimum sportif

Dans sa recension sur le sujet, Wilber (2001) conclut qu'indépendamment des modifications des facteurs hématologiques, l'exposition aux conditions d'hypoxie hypobarique n'engendre pas d'amélioration des performances aérobies. Pourtant quelques auteurs ont rapporté des améliorations significatives de la consommation maximale

d'oxygène ($V\dot{O}_2\text{max}$) chez les athlètes à la suite d'un séjour en altitude. D'autres auteurs ont aussi montré un effet significatif d'un séjour en altitude sur les performances anaérobies (alactique et lactique). Ce résultat a été associé à une modification du métabolisme du lactate et un changement de l'équilibre acido-basique. Cependant, les quelques auteurs ayant mesuré les paramètres biochimiques du muscle squelettique n'ont pas obtenu de résultats concluants. Les mécanismes physiologiques susceptibles d'expliquer l'amélioration des performances à la suite d'un séjour en altitude restent donc mal connus

Parmi les mécanismes d'acclimatation à l'altitude, l'augmentation de l'érythropoïétine (EPO) plasmatique observée par plusieurs auteurs¹, a été associée à la prolifération des réticulocytes, précurseurs des érythrocytes. En conséquence, il semblait logique d'y associer une amélioration de la capacité de transport de l'oxygène (O_2). Ce processus, qui peut subsister quelques temps après un séjour en altitude, est susceptible d'améliorer temporairement la $V\dot{O}_2\text{max}$ et par ricochet la performance au niveau de la mer. Toutefois, aucune étude n'a rapporté d'amélioration de la $V\dot{O}_2\text{max}$ supérieures à 4% après un séjour en altitude.

1. L'entraînement en altitude

Selon Grégoire Millet (1968) :

L'entraînement en altitude est utilisé depuis 40 ans dans les sports d'endurance. Les sports collectifs ont essayé avec plus ou moins de succès.

L'entraînement en altitude (ou hypoxique) est apparu avec les Jeux olympiques de Mexico(1968) et a depuis connu un intérêt grandissant dans le but d'augmenter la performance au niveau de la mer ou pour permettre une acclimatation efficace en vue d'une compétition organisée en altitude. L'utilisation de ce type d'entraînement a notamment été partie prenante du programme de préparation des athlètes des deux premières nations (les États-Unis et la Grande-Bretagne)des derniers Jeux olympiques de Rio 2016.

2. Définitions de L'entraînement en altitude

Il s'agit d'un entraînement effectué à une altitude réelle ou simulée d'environ 2 000 m au-dessus du niveau de la mer. Avec la faible pression atmosphérique des hauteurs, tu consommes, à chaque inspiration, moins d'oxygène que lorsque tu es en plaine. C'est pourquoi, à partir de 2 000 m d'altitude, toutes les cellules de ton organisme et toi-même êtes exposés à un léger manque d'oxygène. Cet état s'appelle l'hypoxie. L'entraînement en hypoxie est un autre nom donné à l'entraînement en altitude.¹

3. Le sport en altitude.

Les athlètes de nombreux sports ont utilisé l'entraînement en altitude pour se préparer à un grand match ou à un événement, et pas seulement lorsque l'événement se déroulera en altitude. Ils le font parce que l'air se fait plus rare en haute altitude, ce qui signifie qu'il y a moins de molécules d'oxygène par volume d'air. Chaque respiration prise à haute altitude délivre moins de ce que les muscles en fonctionnement exigent.

Prendre un « bol d'air pur ». Qui n'a jamais prononcé cette expression au cours de vacances montagnardes. La propreté de l'air en altitude est une réalité biologique. C'est l'une des raisons pour lesquelles les sportifs séjournent une ou deux semaines dans les hauteurs avant une grande épreuve. Ils profitent surtout du fait que l'altitude augmente la production de globules rouges (résultat de la moindre concentration de l'air en oxygène). Au moment de la compétition, la quantité d'oxygène transportée par le sang vers les muscles est ainsi augmentée. Ainsi la performance et endurance se trouvent-elles favorisées.²

3.1 S'entraîner en altitude :

Vue de loin, la formule est séduisante. De partout et depuis de nombreuses années, on entend dire que les plus grands champions doivent en grande partie leurs médailles à des séjours prolongés. En altitude, le sang se chargeant beaucoup plus en oxygène. Mais dans la réalité, rien n'est simple pour s'entraîner la haut entre 1500 et 2500 mètres.

¹ - Millet, G., Brocherie, F., Faiss, R. and Girard, O. (2015) *Entraînement en altitude dans les sports collectifs: Aptitude aérobie et répétition de sprints*. De Boeck.

² - SOURCE. Association des médecins de montagne.

Alors comment préparer si on a le temps et des moyens financiers d'aller séjourner en altitude ?

Au préalable, consulter un spécialiste connaissant à fond des problèmes de l'entraînement en altitude [Médecin du sport, préparateur physique ...] entraînement]. Le médecin devra vous suivre par la suite afin de juger des résultats [Bénéfiques, espérant- le] du stage en altitude.

Un bilan sanguin, en particulier en ce qui concerne le fer est conseillé afin de ne pas débiter un stage avec une carence.

- Vous devez être une coureuse ou un coureur confirmé(e).
- Un stage profitable doit durer ou moins trois semaines.
- Il faut de trois à cinq jours afin de s'habituer à l'altitude : au début, la course sera donc à petite vitesse ou remplacée par de la marche rapide, augmenter les temps de récupération.

• Entraînez-vous de façon très progressive, surtout lors des séances au seul anaérobie et en VMA.

- Vous risquez de devoir courir moins vite qu'en plaine (souvent 2km/h).
- Vous évitez de courir en fin de journée ; risque d'insomnie.
- A 100 mètres et un peu dessus, pas de problème.

Au dessus de 1200 mètres, la température n'est pas élevée (souvent 20 degré au maximum) il faut tout de même se protéger des mesures du soleil.

En principe, il ne devait pas y avoir de pollution, mais il est prouvé qu'en certain endroit, poussé par le vent, celle des agglomération industrielles proche peut parfois s'élever à 1000 mètres ou plus.

Habituez vous progressivement en tenant compte des vertiges possibles du mal à la tête voire de vomissements c'est le mal des montagnes, mais il va disparaître avec l'accoutumance.

N'arrivez pas fatigué par un stage en altitude ; soyez en forme afin de pouvoir en profiter dès le début.

La d'hydratation est importante. L'air étant très sec : courez (ou marchez) avec en permanence votre ceinture porte-Bidan ou porte-flacons, ou alors placez une boisson à proximité de votre circuit. L'utilisation d'un cardio fréquencemètre est donc recommandée afin de ne pas se mettre rapidement « dans le rouge ».

Cet effet est surtout intéressant pour les athlètes qui ont un volume d'entraînement particulièrement élevé. Grâce à l'augmentation automatique de l'efficacité de l'entraînement, les volumes d'entraînement peuvent être réduits. Et cela préserve l'ensemble de l'appareil locomoteur.

La durée d'un entraînement en altitude dépend des adaptations de chacun aux conditions d'hypoxie et des objectifs d'entraînement visés. À titre indicatif, il est recommandé de s'entraîner pendant 3 semaines, à raison de 5 heures par semaine.

Par ailleurs, on différencie diverses formes d'entraînement en altitude. Ton coach déterminera avec toi celui qui te correspond le mieux en fonction de tes objectifs.

3-2 Les saisons et le climat :

Le passage de l'hiver ou le printemps est une période difficile pour beaucoup à cause de l'apparition des premières chaleurs, avec de grosses variations de températures au cours de la matinée et la possibilité d'un brusque retour au froid avant de nuit.

À la fin de l'été, on accueille avec soulagement la fin de la canicule et l'arrivée de températures plus clémentes, donc plus agréables.

Ces périodes d'intersaison peuvent se révéler fatigantes: raison de plus à ce moment là, pour ne pas en rajouter en matière d'entraînement.

Autre problème, un déplacement en vue d'une compétition dans une région où un pays au climat très différent de celui où vous habitez. Comme vous ne pourrez pas toujours arriver plusieurs jours avant sur les lieux où celle-ci va se dérouler [seuls les coureurs à pied professionnels disposent à la fois du temps et des moyens financiers pour se permettre], essayez de vous préparer au mieux là où vous résidez.

Passer du temps chaud au temps froid vous posera, en principe, moins de problèmes d'acclimatations que l'inverse (aller courir dans un pays très chaud). En

principe, une personne en grande forme passe assez facilement du froid au chaud et certains me disent " la chaleur, c'est seulement un problème de gobelets et de bidons d'eau", c'est -à- dire en avoir suffisamment à disposition et vite.

Je pose au cas précis de marathoniens devant se préparer en vue d'une épreuve dans le sud de l'Europe à la fin du printemps voire carrément en été. Leur seule solution est d'aller s'entraîner en milieu de journée ou par temps chaud et ensoleillé : on souffre un peu au début, mais il à été prouvé que le résultat final est excellent. Ce type d'entraînement ne convient pas à tout le monde et doit demeurer une exception au cours de la saison.³

4. Les Types de l'altitude

Dans l'étude des effets physiologiques de l'altitude, trois zones sont prises en compte :

- haute altitude : de 2 000 à 4 000 m ;
- très haute altitude : de 4 000 à 6 000 m ;
- altitude extrêmement élevée : au-delà de 6 000 m.

5. Les méthodes d'entraînement de l'altitude

5.1 La méthode live high train high

La méthode Live High Train High consiste à vivre et à s'entraîner en altitude. L'athlète est en permanence soumis au grand air des hauteurs. L'intensité d'entraînement doit donc être réduite et les périodes de récupération doivent être planifiées avec soin.

5.2 La méthode Live High Train Low

L'entraînement en altitude selon la méthode Live High Train Low est réputé parmi de nombreux coaches et médecins pour être la forme d'entraînement en hypoxie la plus prometteuse. Lorsque le sportif vit en altitude, il s'habitue alors aux conditions atmosphériques. C'est pourquoi l'athlète doit passer au moins 12 heures par jour, sans interruption, en altitude. Les séances d'entraînement ont lieu en plaine, selon un volume normal et avec une intensité maximale.

³ - Michel DELORE, éditions Amphara, octobre 2012

Cette limite des stages d'entraînement classiques en altitude (encore appelés « Living high, training high » ou en français « Vivre et s'entraîner en haut ») a conduit certains experts (en particulier un chercheur américain, le Dr. Levine à la fin des années 1990⁽¹⁾) à proposer une utilisation alternative de l'exposition hypoxique dans le domaine de l'entraînement sportif avec la méthode dite « Living high, training low » (en français « Vivre en haut, s'entraîner en bas »).

Cette méthode d'entraînement a reçu un intérêt important dans la communauté sportive à travers le monde et consiste à faire dormir les athlètes en conditions d'altitude réelle ou simulée et à réaliser leur entraînement en conditions normoxiques (en plaine ou faible altitude). L'idée est de profiter des effets positifs de l'exposition à l'hypoxie (pendant le sommeil et le repos) tout en minimisant ses effets délétères évoqués précédemment sur l'entraînement sportif en lui-même (puisque'il est réalisé dans cette méthode en normoxie).

Cette alternance entre phase d'exposition hypoxique pendant le sommeil et phase d'entraînement en normoxie a d'abord été réalisé par transport des athlètes en fin de journée en altitude (via un téléphérique en direction d'un hébergement d'altitude par exemple) et retour le lendemain matin en plaine ou fond de vallée afin dans la journée de réaliser leur entraînement. Cette organisation ayant le désavantage d'être d'un point de vue logistique relativement lourde, l'utilisation d'installations hypoxiques hypobariques (de type tente hypoxique ou chambre hypoxique) s'est développée à travers le monde (par exemple les chambres hypoxiques du centre d'entraînement de Prémamanon dans le Jura français) de façon à permettre aux athlètes de dormir en condition d'altitude simulée et de s'entraîner en condition de plaine ou de basse altitude

. Grâce à ce type d'installation hypoxique, les athlètes n'ont pas de problématique de transport entre un lieu d'hébergement en altitude et un lieu d'entraînement en plaine et, de plus, le niveau d'hypoxie au cours de la nuit peut-être ajusté précisément.

5.3 La méthode Live Low Train High

Vivre en plaine et s'entraîner en altitude a quelque chose de confortable. La simulation d'entraînement en altitude dans une salle hypoxique spéciale rendrait ce type d'entraînement facilement accessible dans le monde entier. Toutefois, selon les études

réalisées jusqu'ici, cette méthode serait la moins efficace. Simuler un entraînement en altitude semble par ailleurs moins prometteur qu'un entraînement en conditions réelles.

Puis en situation d'efforts réduits, aux modifications des conditions-cadres.

Selon l'objectif visé, il faudrait s'entraîner entre 1 900 et 2 500 m au-dessus du niveau de la mer. Plus haut, les effets négatifs de la pression atmosphérique réduite prévaudraient sur le gain de performances.

5.4 Varier les techniques d'entraînement en hypoxie

D'autres méthodes d'entraînement faisant appel à l'hypoxie se sont également développées ces dernières années au-delà de la seule méthode « Living high, training low ». Il est par exemple proposé pour des athlètes résidant en plaine ou à basse altitude de réaliser certaines séances d'entraînement en condition hypoxique (en inhalant un mélange gazeux hypoxique via un masque ou en réalisant la séance d'entraînement dans une salle hypoxique, méthode dite « Living low, training high ») alors que les autres séances continuent d'être réalisées en air ambiant normoxique.

L'association des différentes techniques d'entraînement en hypoxie peut donner lieu à une véritable programmation tout au long de l'année avec selon les périodes d'entraînement, l'appel à l'une ou l'autre des techniques (stages en altitude de type « Living high, training high », phases de « Living high, training low and high », phases de « Living low, training high and low », etc ;).

Par ailleurs, alors que l'entraînement en hypoxie a longtemps été l'apanage des athlètes et entraîneurs de sports d'endurance, des études récentes ont proposé que la réalisation de séances d'entraînement consistant en des sprints répétés en condition hypoxique (séances réalisées en inhalant un mélange gazeux hypoxique ou dans une salle hypoxique) puisse induire des bénéfices accrues en termes de performances sportives caractéristiques des sports collectifs en particulier, telles la capacité à répéter des sprints à intensité maximale, bien que là encore des débats persistent dans la communauté scientifique quant au gain réel apporté par de telles méthodes d'entraînement ⁽¹¹⁾.

Au total, l'utilisation de l'hypoxie fait partie des techniques d'entraînement modernes en plein développement. Leur efficacité fait encore l'objet de recherches spécifiques et de débats dans la communauté scientifique, la démonstration de l'impact de

telles méthodes sur la performance de l'athlète de haut-niveau (qui est toujours une individualité très spécifique) restant un exercice difficile du point de vue de la recherche scientifique.

L'expérience des athlètes, de leurs entraîneurs et de leur encadrement médical continuent de fournir des éléments de connaissances et des innovations quant à l'utilisation du stimulus hypoxique dans l'entraînement moderne non plus seulement dans le domaine des sports d'endurance mais également dans le domaine des sports d'équipe par exemple. L'utilisation appropriée des différentes méthodes d'entraînement en hypoxie selon la période de l'année sportive et en fonction du profil de l'athlète reste des questions délicates tant du point de vue sportif que scientifique.

6. Méthode pour optimiser

Le consensus actuel est que la meilleure méthode d'entraînement en altitude est celle qui est basée sur le principe de «live high-train low» : vivre en hauteur, s'entraîner plus bas. Selon ce principe et pour obtenir une dose suffisante d'hypoxie pour enclencher les processus adaptatifs du corps, le sujet doit demeurer 3-4 semaines à une altitude de plus de 2500 mètres, pour une durée d'environ 20-22 heures par jour.

Ensuite l'athlète doit descendre à environ 1500 mètres et moins pour effectuer ses entraînements, particulièrement ceux visant à travailler l'endurance. En effet, comme nous l'avons vu, il existe certains bénéfices à faire des séances d'intervalles intenses en altitude. Comme nous ne pouvons pas tous déménager à Salt-Lake City ou Boulder, certains seront tentés par les tentes hypoxiques. Encore une fois, avec ce type de méthode, les résultats sont mitigés et dépendent probablement d'une dose d'exposition suffisante.

Espérant que ces informations vous permettront de mieux planifier votre camp d'entraînement afin d'entirer le maximum

Avec l'altitude, la densité de l'air diminue, la teneur en eau de l'air (l'hygrométrie) diminue aussi et la teneur en oxygène également. La baisse de la densité de l'air ne présente qu'un faible intérêt pour le coureur de fond. Elle favorise la pénétration du corps dans l'air, et ce sont en revanche les performances des sprinters qui s'en trouvent améliorées. La baisse de l'hygrométrie favorisant l'évaporation et donc la déshydratation, il est impératif de bien s'hydrater lors des séjours et entraînements en altitude.

La baisse de la teneur en oxygène de l'air crée un manque d'oxygène (hypoxie) qui va induire au niveau du rein la sécrétion d'une hormone (l'érythropoïétine ou EPO) qui

stimulera la fabrication par la moelle osseuse d'une plus grande quantité de globules rouges (érythrocytes) afin de compenser le manque d'O₂ apporté aux tissus. Or, c'est bien cet effet majeur qui est recherché par les sportifs afin de pouvoir fournir plus d'oxygène aux muscles lorsque l'organisme redescend à l'altitude habituelle.

Ces modifications physiologiques sont observées à partir de 1800, 2 000 m. Plus l'altitude est élevée au-dessus de 2 000 m plus la réaction d'activation de l'EPO est sensible. Le pic de sécrétion est obtenu en 48 heures puis décroît progressivement sur 3 semaines.

L'effet maximal est donc obtenu en 3 semaines, et le nombre de globules rouges n'augmente plus après ce délai, même si le séjour en altitude se prolonge. Et si le taux d'hématocrite (rapport du nombre des cellules sanguines sur le volume sanguin) augmente légèrement au-dessus de 50 % (52 à 54 %) il n'atteint jamais les pourcentages que peuvent entraîner les injections d'EPO effectuées au titre du dopage (supérieurs à 60 %).

Lors du retour à des altitudes inférieures les modifications physiologiques induites par un séjour au-dessus de 1800 m ne persistent que 10 à 15 jours. Ce qui permet néanmoins d'en tirer un bénéfice en vue d'une compétition bien programmée. Ce qu'il faut comprendre c'est que l'entraînement en altitude, plus difficile, renforce les capacités de l'organisme et sa musculature. Il s'intègre alors très bien dans un plan d'entraînement spécifique en améliorant la préparation générale. D'autre part, les effets physiologiques vont permettre d'améliorer son entraînement lors du retour à l'altitude habituelle.

Mais comme l'altitude impose des contraintes climatiques et d'hypoxie à l'organisme, les capacités physiques doivent être normales. Un examen médical à la recherche de toute pathologie cardio-pulmonaire, mais aussi neurologique pour les séjours en très haute altitude (au-dessus de 3000 m) est donc nécessaire. L'altitude en elle-même et plus encore l'entraînement risque de révéler une pathologie jusque-là silencieuse, car équilibrée dans des conditions d'altitude « normale ».

Les entraînements en altitude doivent-ils être intensifs ? Plus pénibles, ils risquent d'affecter la musculature et imposent un travail cardiaque supplémentaire en raison de l'hypoxie et de l'augmentation de la viscosité sanguine. L'endurance sera donc privilégiée. L'idéal semble être de séjourner en altitude et de descendre s'entraîner plus bas. Réalisable pour des athlètes de haut niveau cette possibilité l'est beaucoup moins pour la majorité des coureurs.

Finalement, deux situations peuvent se présenter : inclure un séjour en altitude en vue d'en tirer un maximum d'intérêt le jour de la compétition ou inclure un séjour en

altitude en vue d'optimiser son plan d'entraînement pour une compétition. Dans le premier cas, les effets bénéfiques obtenus n'étant que de courte durée, ce séjour ne devra pas être programmé plus de 15 jours avant la compétition choisie pour établir sa performance. Il peut même ne se clore que 2 ou 3 jours avant la compétition, car aucune adaptation particulière n'est requise pour un retour à une altitude inférieure. Dans le second cas, un séjour d'au moins une semaine aura des effets positifs sur la préparation d'une compétition courue dans les deux ou trois mois suivants.

En conclusion, la programmation d'un séjour en altitude dans la préparation d'une compétition est toujours bénéfique, à condition d'avoir fait vérifier sa condition physique. Un tel séjour est en effet salutaire car il stimule les capacités d'adaptation de l'organisme à l'altitude, le soustrait à la pollution et lui vaut de bénéficier d'un environnement naturel attrayant

L'objectif de l'entraînement en altitude est désormais clair. Mais comment cela fonctionne-t-il ? Les modifications qui ont lieu dans ton corps en condition d'hypoxie sont complexes et font en permanence l'objet d'études médico-sportives. Il semblerait que l'ampleur et la durée de l'amélioration de l'endurance après un entraînement en altitude soient propres à chaque athlète

7. Impact de l'altitude sur l'entraînement

Si l'exposition hypoxique est susceptible d'induire des adaptations bénéfiques à la performance sportive, elle a également un impact potentiellement délétère sur le déroulement de l'entraînement.

Du fait de la réduction de la $VO_2\text{max}$ induite par l'exposition à l'hypoxie (la $VO_2\text{max}$ diminue d'environ 0.5-1.5% par 100 m d'élévation au-dessus de 1000 m d'altitude), l'intensité absolue de l'entraînement (par exemple la vitesse de course à pied) doit être diminuée de façon à maintenir une intensité relative d'entraînement (% de la $VO_2\text{max}$ en condition hypoxique) comparable à celle de l'entraînement en plaine. Une telle réduction de la puissance absolue d'entraînement (et donc de la sollicitation physiologique par exemple en termes de puissance ou de production énergétique musculaires) peut induire un risque de dés entraînement.

Ceci est un des principaux aspects négatifs rattachés aux classiques stages d'entraînement en altitude qui du fait de la réduction de la charge d'entraînement (nécessaire de par la diminution de la $VO_2\text{max}$ en altitude) ou du risque de

surentraînement si cette charge n'est pas diminuée par rapport au niveau de la mer, pourraient ne pas induire les effets positifs attendus sur la performance sportive lors du retour en plaine.

8. Bénéfices psychologique de l'entraînement en altitude

Nous avons programmé des tests physiques et sanguins à la fin du stage. Dans le cas de l'équipe des Etats-Unis et du stage en altitude, tous les joueurs, sans exception, avaient augmenté leur taux d'hémoglobine. Tous se retrouvaient avec des valeurs cliniques dans la norme (entre 38% et 50%), bien que huit d'entre eux aient de très hauts taux. Le taux de globules rouges pour certains joueurs avait augmenté de manière spectaculaire.

L'équipe médicale et scientifique du comité olympique américain en charge de l'analyse des tests sanguins en a conclu que chacun des joueurs apparaissait en mesure de jouer à Mexico sans que leur santé ne soit à risque. Cela ne voulait pas dire qu'ils seraient physiquement au trop, mais qu'ils devraient tous pouvoir éviter un énorme coup de pompe tôt dans le match. Ce genre d'information est vital pour un entraînement au moment de choisir son onze de départ. Avec seulement trois changements possibles, il vaut mieux s'assurer que ces changements soient dictés par des choix tactiques et non par la conséquence de déficiences physiques ou de blessures.

Contre le Mexique, les Etats-Unis ont perdu sur un score de 2 à 1, tout en sachant que neuf joueurs titulaires sur onze étaient passés en Europe, et donc ils n'avaient passé que cinq jours en altitude avant le match. Or, comme nous l'avons vu précédemment. Aucun entraînement intense ne peut être effectué durant la période initiale de cinq jours. Tout n'était pas négatif pendant ce match. Menés 2-0 à la mi-temps, les Etats-Unis ont « gagné la deuxième mi-temps » en marquant le premier but américain au stade Aztèque en 22 ans. Les trois remplaçants nord-américains sortaient tous de stage en altitude et le niveau de jeu de l'équipe était bien meilleur en deuxième mi-temps (surtout si nous nous référons au nombre d'occasions de but).

Cependant, ce stage en altitude avait été planifié non seulement en préparation pour le match à Mexico mais aussi pour le match de qualification qui suivait trois jours plus tard, en Alabama et donc au niveau de la mer, contre le Guatemala.

Le stage en altitude avait pour objectif d'accélérer la récupération après le match au Mexique et d'aider les joueurs à évoluer à un tempo très élevé pour le match suivant. Tout cela est dû au fait que l'amélioration de la composition sanguin et le nombre croissant de globules rouges devaient perdurer pendant quelque temps après le retour au niveau de la mer. Si nous nous référons aux différentes recherches sur le sujet, comme celle de Gore et al. (2001), les effets de l'entraînement en altitude peuvent perdurer jusqu'à trois semaines après le retour au niveau de la mer.

Comme nous avons pu le voir, pour bien faire les choses, il faut sacrifier l'intensité des entraînements en altitude ; cette baisse de régime peut gêner un entraîneur et avoir des conséquences sur la performance sportive, surtout dans le cadre de stages de courte durée. C'est pourquoi, à moins de pouvoir passer trois semaines, nous recommandons une stratégie de planification appelée *live high/train low* ou « vivre en haut, s'entraîner en bas ». Cela permet de combiner tous les avantages de l'altitude avec le minimum d'inconvénients concrètement, cela signifie se loger en montagne et descendre s'entraîner au niveau de la mer pour ensuite remonter s'oxygéner en montagne le reste de la journée ; et de cette façon, ne pas sacrifier l'intensité de l'entraînement au nom de l'accoutumance à l'altitude.

Prenons l'exemple d'un stage qui serait organisé aux Arcs 2000 (qui, comme le nom l'indique, est situé à 2000m d'altitude), la topographie est telle que nous pourrions en moins d'une demi-heure être à Bourg Saint-Maurice, à 800 mètres au-dessus du niveau de la mer (bien en deçà de la barrière physiologique) pour l'entraînement du jour ; et remonter en station juste après. Toutes autres activités, aérobies, adaptation pourront toujours prendre place en altitude pendant le reste de la journée. Il faudrait juste un tout petit peu plus de temps pour atteindre le terrain d'entraînement de Tignes à 2100 m d'altitude.

Il existe encore d'autres solutions. Si on ne peut pas aller en montagne, il est possible d'utiliser des chambres hyperbariques. De telles machines reproduisent les conditions atmosphériques rencontrées en altitude. Sous la conduite d'Alberto Salazar (enceins recordman du monde du marathon), la compagnie Nike est en train d'expérimenter le Nike Oregon Project pour lequel douze coureurs de longue distance vivent dans une maison

hyperbarique... au niveau de la mer, et n'en sortent que pour s'entraîner!⁴
Les effets de l'entraînement en altitude.

9.1 Effets positifs de l'altitude

D'abord, l'entraînement en altitude (et non la résidence) en situation dite hypoxique peut être bénéfique pour l'athlète. Il semble en effet que ce type d'exercice augmente le stimulus et amènerais des changements bénéfiques au niveau des cellules musculaires face à l'utilisation de l'énergie et la capacité à tolérer l'effort.

Toutefois, son effet sur la performance serait plus prononcé pour des épreuves tenues elles aussi en altitude.

Une adaptation à l'altitude qui ne fait plus aucun doute est l'augmentation du taux de globules rouges dans le sang. Ce qui ne fait aucun doute également c'est l'effet de cette augmentation sur la performance Sportive aéraulique

9.2 Effets négatifs de l'altitude :

L'arrivé en altitude déclenche une cascade de réactions d'adaptation dès les premières semaines. Ces changements entraînent pour la plupart une diminution de la performance et de la capacité d'entraînement.

On parle ici de :

- Fatigue et difficulté à dormir
- Diminution des échanges gazeux (moins d'oxygène au muscle)
- Diminution du VO2Max
- Diminution du volume sanguin
- Diminution de la capacité du cœur à pomper le sang.

Par conséquent, le fait de s'entraîner et de vivre en altitude amène une diminution de l'intensité de l'effort.

C'est donc dire que les intervalles et l'entraînement en endurance sont réalisés à une intensité moindre. Chez l'athlète de haut niveau ceci peut avoir pour effet un déentraînement significatif qui aura pour conséquence d'annuler tout effet positif de l'acclimatation à l'altitude. Perdra rapidement sa vitesse de pointe et même son endurance

⁴ - Alexcendre dellal 2008

bien que ce dernier paramètre sera majoritairement compensé par l'augmentation du taux d'hématocrite (conséquemment du VO₂Max) comme en témoigne une étude comparative

9. Les changements physiologiques de l'entraînement en altitude

Depuis les Jeux olympiques de Mexico, il y a 40 ans, l'entraînement en altitude suscite un grand intérêt scientifique et pratique. De nombreux travaux ont été conduits pour évaluer l'effet sur la performance de l'entraînement en plaine ou en altitude. Certaines conclusions sont indiscutables, d'autres restent encore débattues, notamment parce que les études réalisées montrent une forte variabilité interindividuelle de l'amélioration des performances sous l'effet de l'entraînement en altitude (parmi les facteurs invoqués, on peut par exemple retenir l'importance de la récupération au sein des séances d'entraînement et entre ces séances.

En effet, il est bien établi que l'ensemble des systèmes de transport des gaz (depuis l'air ambiant jusqu'à la cellule musculaire) s'adapte pour augmenter l'apport d'oxygène aux différents tissus. La montée en altitude provoque une diminution progressive de la pression barométrique qui a pour conséquence une diminution de la pression partielle de l'oxygène dans l'air ambiant.

Cependant, on a pu observer une réduction de la consommation maximale d'oxygène chez des athlètes très entraînés à partir de 600 m. Ce type de sportifs est aussi susceptible de développer des hypoxémies correspondant à la haute altitude lors d'efforts intenses au-dessous de 2 500 m (Gore *et al.* 1996 ; Anselme *et al.* 1992 ; Durand et Est ripecau 2011).

Dans la mesure où, pour la plupart, les centres d'entraînement en altitude se situent entre 1 600 et 2 400 m, on peut donc considérer que le stress physiologique créé par l'hypoxie est important pour rendre plus intense la charge interne lors d'entraînements en moyenne altitude et peut ainsi correspondre aux contraintes physiologiques de l'exposition à la haute altitude. Dans la mesure où le fonctionnement de l'ensemble des systèmes cellulaires de l'organisme est dépendant de l'apport en oxygène, on peut s'attendre à ce que la réponse physiologique à l'hypoxie mette en jeu des mécanismes qui tendent à diminuer de façon importante l'apport tissulaire en oxygène. Nous allons distinguer deux types de réponses : les réponses à court terme (qui sont des réactions immédiates à l'hypoxie et qui ne nécessitent pas d'adaptation préalable) et les réactions à long terme (qui induisent des modifications des systèmes impliqués dans le transport et l'utilisation

périphérique de l'oxygène, et qui correspondent à la mise en jeu de mécanismes adaptatifs au long cours).

1.1 Réponses à court terme à l'hypoxie d'altitude

10.1.1 Réponse ventilatoire

L'augmentation de la ventilation est la première réponse (Schoene 1997). Cette réponse, très rapide dès le début d'une hypoxie d'altitude, est due pour 2/3 environ à l'augmentation du volume courant et pour 1/3 environ à l'augmentation de la fréquence ventilatoire. L'hyperventilation hypoxique accroît le rejet du dioxyde de carbone, sans augmentation de sa production métabolique.

Il en résulte une diminution de la pression alvéolaire en dioxyde de carbone, ce qui permet une augmentation de la pression alvéolaire d'oxygène. Ce changement de composition du gaz alvéolaire est l'une des plus importantes réactions de l'organisme lors de l'hypoxie d'altitude. Pour une même puissance de travail qu'au niveau de la mer, le débit ventilatoire est donc plus élevé en altitude. En outre, cette hyperventilation persiste pendant la récupération. Signalons qu'elle présente un aspect bénéfique dans la mesure où elle accélère l'élimination de la charge acide, mais aussi un inconvénient car elle augmente le travail mécanique ventilatoire et peut ainsi retarder la récupération énergétique.

10.1.2 Réponse cardiaque

L'augmentation du débit cardiaque, qui permet d'améliorer le transport de l'oxygène des poumons vers les tissus périphériques, est la deuxième réaction très rapidement observée lors d'une hypoxie d'altitude (Hainsworth *et al.* 2007). Le mécanisme repose essentiellement sur une stimulation de la fonction cardiaque par le système sympathique, consécutif à une augmentation des catécholamines circulantes et une modification des aspects fréquentiels liés à la variabilité cardiaque (Povea *et al.* 2005).

Pour une même charge de travail, le débit cardiaque est plus élevé en situation d'hypoxie qu'au niveau de la mer. De plus, le débit cardiaque maximal en altitude est atteint pour une consommation d'oxygène absolue moins élevée.

Cette élévation du débit cardiaque en altitude, au repos aussi bien qu'à l'effort, résulte principalement d'une accélération de la fréquence cardiaque d'autant plus importante que l'altitude est élevée. Au total, pour une même charge d'entraînement, le

travail cardiaque à l'exercice est plus élevé en altitude. On peut donc en conclure que le temps de récupération du travail cardiaque pour une même charge relative de travail sera plus long en altitude qu'en plaine. En altitude, l'impact d'une séance de musculation de type force ou puissance sur le système cardioventilatoire est à prendre en considération dans la charge globale de travail. Pour une même charge de travail qu'en plaine, la réponse ventilatoire et circulatoire est augmentée. Ainsi, le travail en force de plus de cinq répétitions maximales participe aux adaptations cardioventilatoires lors d'entraînements en altitude.

10.2 Adaptations à long terme

Elles reposent sur des modifications, d'une part, de la structure même des systèmes de transport de l'oxygène au niveau du sang et, d'autre part, de son utilisation dans les muscles. Les mécanismes régulateurs commencent à être bien identifiés : l'élément déclenchant des adaptations hématologiques et musculaires en réponse à l'hypoxie est en grande partie sous l'influence de l'Hypoxie Inductible Factor (HIF), un facteur de transcription présent dans de nombreux tissus sous la forme d'un hétérodimère. Il est considéré comme le chef d'orchestre de l'ensemble des réactions et adaptations en réponse à l'hypoxie (Hoppeler 2008).

La réponse de l'HIF est proportionnelle à l'altitude et à l'intensité de l'entraînement (Vogt *et al.* 2001) et la stimulation de l'HIF induit des adaptations hématologiques (augmentation de la capacité de transport de l'oxygène dans le sang) et non hématologiques (responsables d'une meilleure utilisation de l'oxygène dans les tissus périphériques, principalement au niveau des muscles squelettiques).

10.2.1 Adaptations hématologiques

L'augmentation de la capacité de transport de l'oxygène dans le sang passe par des modifications qualitatives et quantitatives des concentrations des érythrocytes et de l'hémoglobine. Cette réponse est en grande partie provoquée par une stimulation de la production d'érythropoïétine (EPO). L'hypoxie permet la libération par le rein de l'érythropoïétine, laquelle stimule la prolifération des érythrocytes. Une exposition à une altitude supérieure à 1 600 ou 1 800 m est nécessaire pour stimuler l'érythropoïèse. La réponse est rapide les premiers jours puis plus lente ensuite ; cette évolution peut s'étendre sur plusieurs mois et même plusieurs années (Berglund 1992). L'augmentation de

l'hémoglobine est de 1 % par semaine à 2 500 m et peut donc atteindre 12 % après douze semaines à cette altitude. Les variations du nombre des globules rouges et de l'hémoglobine sont d'autant plus marquées que l'altitude est élevée, mais il existe aussi une variabilité interindividuelle qui explique en partie les différences de réponse à l'entraînement en altitude.

La réponse individuelle de l'EPO est reliée aux augmentations de la $\dot{V}O_2\text{max}$ du nombre de globules rouges, et de la performance chez les bons répondeurs (Friedmann *et al.* 2005). Il existe cependant une disparité entre la réponse hématologique et les effets sur la performance, certaines études rapportant un effet sur la performance sans modifications hématologiques (Katayama *et al.* 2010).

En plus d'une augmentation de la capacité de transport de l'oxygène par l'hémoglobine, l'altitude induit des phénomènes adaptatifs des mécanismes de fixation de l'oxygène à l'étape pulmonaire et lors de la libération à l'étage tissulaire. L'alcalose respiratoire qui survient au début de l'exposition à l'altitude déplace la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine, ce qui favorise la fixation de l'oxygène au niveau des poumons.

Au niveau tissulaire, la production de 2-3 diphosphoglycérate (2-3 DPG) favorise le prélèvement d'oxygène au niveau des tissus. Ce phénomène est très efficace à moyenne altitude. Lors de l'adaptation qui se produit sous l'effet de l'exposition prolongée à l'altitude, les modifications du sang influencent le travail cardiaque à l'exercice musculaire. La polyglobulie liée à la prolongation du séjour en altitude présente un avantage dans la mesure où, en améliorant le transport de l'oxygène, elle permet de diminuer le travail cardiaque. L'augmentation de la capacité de transport de l'oxygène au niveau sanguin facilite l'ensemble des processus de récupération qui deviennent plus efficaces avec la progression de la réponse hématologique.

10.2.2 Adaptations tissulaires

À l'étage musculaire, où se situe la principale utilisation de l'oxygène à l'effort, plusieurs adaptations se produisent en fonction de la durée et de l'intensité de l'exposition à l'altitude. Tout d'abord, elles améliorent l'apport en oxygène tissulaire par le biais d'une densification du réseau capillaire en périphérie du muscle. En effet, la croissance du réseau capillaire, influencée par plusieurs facteurs, dont le Vascular Endothelial Growth Factor

(VEGF), favorise l'extraction de l'oxygène du sang vers les muscles. Le second niveau d'adaptation concerne la cellule et sa machinerie énergétique, puisque la densité mitochondriale augmente et que le couplage entre oxydation et production d'énergie mitochondriale est amélioré (Floppeler *et al.* 2008). Une partie de ces adaptations résulte de la stimulation par le HIF, mais la fonction mitochondriale est également stimulée par l'augmentation de la production de radicaux au niveau des muscles (Flueck 2009).

À haute altitude, on observe une réduction de la masse musculaire et de la surface de section des fibres musculaires, phénomène qui ne semble pas se produire lors de l'entraînement intense en moyenne altitude. Cependant, on a formulé l'hypothèse que la réduction du volume total de travail à haute intensité en moyenne altitude pouvait être responsable d'une diminution de la masse musculaire.

Ce point particulier n'est pas absolument établi, mais proposer des méthodes de préparation physique afin de maintenir les capacités musculaires lors de l'entraînement en moyenne altitude ne semble pas sans intérêt. Le maintien des composantes de force maximale et de puissance lors des séances de préparation physique en altitude permet de limiter le phénomène de fonte musculaire et de conserver les qualités de force et de vitesse indispensables au maintien du schéma moteur.

Il impose de respecter des phases de récupération suffisantes pendant les entraînements en moyenne altitude car il est bien démontré que l'augmentation des synthèses protéiques musculaires intervient surtout dans la phase précoce de la récupération. Une supplémentation protéique lors des entraînements en altitude est à envisager dès la fin des séances de force.

10.2.3 Adaptations métaboliques

L'entraînement en altitude est responsable d'adaptations métaboliques. Le phénomène le plus constant est l'augmentation de la part des hydrates de carbone dans le métabolisme énergétique qui se traduit par une augmentation de l'oxydation du glucose en altitude, pour un même niveau d'exercice, qu'au niveau de la mer (Brooks *et al.* 1991). On pense que cette plus grande oxydation favorise la production d'énergie en hypoxie, dans la mesure où elle permet de produire plus d'ATP par mole d'O₂ consommée (Mc Clelland *et al.* 1998). L'inconvénient de l'altitude est l'épuisement plus précoce des réserves glycogéniques lors d'efforts très prolongés ou d'entraînements intenses (Roberts *et*

al. 1996). Il a en effet été démontré, au niveau cardiaque, que l'exercice physique en hypoxie produit un glissement du métabolisme préférentiellement lipidique vers une utilisation des stocks cardiaques de glycogène (Guezennec *et al.* 1986). Des données récemment obtenues lors de la récupération d'exercices maximaux à 2 000 m montrent que les substrats glucidiques sont les principales sources énergétiques lors de la récupération (Katayama *et al.* 2010).

Sur un plan pratique, l'utilisation accrue des hydrates de carbone lors de l'exercice en moyenne altitude souligne le réel besoin d'augmenter la ration glucidique pendant l'effort et, surtout, lors de la récupération. L'exposition à la haute altitude produit une négativation de la balance azotée, cette orientation métabolique résultant d'une réelle dégradation des protéines musculaires (Chandhary *et al.* 2012). L'analyse globale des voies de synthèses protéiques par les techniques de protéomique révèle que l'ensemble des processus de synthèse des protéines musculaires est diminué lors de l'exposition à des altitudes supérieures à 4 000 m (Flueck 2009).

Il vient d'être récemment démontré que le rebond de synthèse protéique qui survient dans les heures suivant une séance d'entraînement en musculation est fortement atténué lors de l'exposition aiguë à une hypoxie à 4 000 m d'altitude (Etheridge *et al.* 2011). À ce jour, il n'existe pas de données prouvant que l'entraînement en moyenne altitude modifie plus qu'au niveau de la mer les différentes phases du métabolisme protéique pendant et après l'entraînement physique.

Cependant, compte tenu du niveau de désaturation en oxygène important observé chez des athlètes d'endurance (Durand *et al.* 2011), on peut émettre l'hypothèse selon laquelle le rebond de synthèse protéique de la phase de récupération peut être altéré à l'issue de séances très intenses.

11. Effets de l'entraînement en altitude sur la capacité aérobie

La limitation de l'adaptation du système d'échanges gazeux a des répercussions sur la consommation maximale d'oxygène. Celle-ci est d'autant plus diminuée que l'altitude est élevée. La réduction de la $\dot{V}O_2\text{max}$ est d'environ 1,5 à 3,5 % par 300 m d'élévation. L'exposition à une altitude modeste est également susceptible de limiter la performance aérobie, même si les variations n'atteignent que quelques pourcents. Une baisse significative de la $\dot{V}O_2\text{max}$ est ainsi mise en évidence dès 600 m d'altitude chez des sujets

très entraînés (Gore *et al.* 1996), alors qu'elle survient au-delà de 1 200 m chez des sujets sédentaires (Terrados 1992). Par conséquent, dès que l'athlète est en altitude, sur un lieu de stage qui se situe généralement à 1 600 m et plus, ses possibilités aérobies sont systématiquement limitées. Il est dès lors très important de tenir compte de cette contrainte dans l'estimation des temps de récupération pendant et à l'issue de la séance d'entraînement.

Il est bien établi que la cinétique de récupération de la dette d'oxygène est ralentie lors de l'exposition à l'altitude (Boutellier *et al.* 1984). Ce phénomène est particulièrement important à l'issue d'exercices maximaux avec une participation importante du métabolisme anaérobie ; dans ce cas, la récupération de la dette d'oxygène qui correspond à la part anaérobie du métabolisme est plus longue en altitude.

La puissance musculaire maximale n'est pas affectée par l'altitude, et les capacités de vitesse peuvent d'ailleurs être améliorées du fait de la diminution de la densité de l'air dès lors que la résistance de l'air joue un rôle important dans la discipline (c'est le cas des sprints ou des lancers). Par contre, lors d'efforts maximaux répétés (de type travail intermittent à haute intensité), la puissance musculaire diminue plus rapidement en altitude (Bogdanis *et al.* 1995 ; Balsom *et al.* 1994).

En pratique, lors de ce type d'entraînement, les temps de récupération doivent être systématiquement augmentés. Par contre, la vitesse d'exécution des gestes doit être conservée, voire augmentée. À l'inverse, il faut réduire la vitesse d'entraînement dans les disciplines d'endurance pour conserver la même puissance relative d'entraînement, ce qui peut provoquer une perte de puissance musculaire, mais aussi une perte du schéma moteur pour maintenir une vitesse élevée lors du retour en plaine.

À lui seul, ce point peut expliquer l'absence d'effets de l'altitude sur la performance lors du retour en plaine en dépit d'améliorations physiologiques perceptibles. Il faut donc optimiser les méthodes d'entraînement en recherchant les meilleurs compromis entre développement des capacités aérobie, maintien de la force/vitesse et temps de récupération. Il a été proposé d'utiliser en altitude des entraînements combinés.

Ce type d'entraînement consiste à associer, lors d'une même séance d'entraînement, des composantes d'endurance et de force/vitesse avec des temps de récupération entre chaque séquence de travail. Le maintien des qualités de force/vitesse et de fréquence

gestuelle permettra, dans ces conditions, un maintien du schéma moteur lors de l'exécution motrice à haute intensité.

12. Le besoin hydrique et l'entraînement en altitude

Plusieurs facteurs contribuent ensemble à augmenter les pertes hydriques en altitude. Le premier est la conséquence des caractéristiques physiques de l'environnement. L'air froid et sec de l'altitude augmente les pertes par évaporation au niveau des échanges respiratoires. L'évaporation sudorale est aussi facilitée.

Les pertes urinaires sont augmentées en raison d'une action spécifique de l'altitude sur les hormones qui règlent les mouvements de l'eau. La réponse du système Rénine-Angiotensine-Aldostérone à l'effort, qui permet de réduire les pertes hydriques par voie rénale, est diminuée en altitude (Zaccaria *et al.* 1998). Il en résulte une augmentation de la diurèse. Cette perte en eau n'est pas directement perçue par le sujet, ce qui en aggrave le risque. Par ailleurs, le froid diminue la sensation de soif.

Compte tenu des conséquences de la déshydratation sur les performances, une attention toute particulière doit être portée aux apports liquidiens, ce d'autant que les conditions pratiques de terrain ne sont pas favorables à la prise spontanée de boissons. Un travail récent de Castellani *et al.* (2010) montre l'effet cumulatif de l'exposition à l'hypoxie et de la déshydratation sur les performances. Ces auteurs ont montré une diminution de performance lors d'un exercice aérobic maximal de type « Time Trial » réalisé en chambre hypobare à une altitude simulée de 3 000 m.

Une déshydratation équivalente à une perte de poids de corps de 4 % était obtenue par la combinaison d'un exercice prolongé et d'une restriction hydrique, ces conditions reproduisant bien les mécanismes de la déshydratation de l'activité physique des sports de montagne. Les résultats montrent en altitude une diminution de 34 % de la performance chez les sujets déshydratés alors qu'elle est seulement de 11 % chez les sujets bien hydratés. Il existe donc un puissant effet cumulatif de la déshydratation et de l'hypoxie sur l'attrition des capacités aérobies.

Cette étude laisse supposer qu'une réduction, même minime, du niveau d'hydratation des sportifs s'entraînant en altitude peut avoir un effet important sur la capacité à répéter des efforts successifs. Compte tenu des conséquences de la déshydratation, il faut veiller à des apports liquidiens abondants et réguliers. On conseille pour l'entraînement en altitude,

dans des conditions climatiques tempérées, de boire d'eau en plus de ce qui est consommé lors de l'entraînement en plaine (Millet et Schmitt 2011). Sur un plan pratique, la pesée régulière avant et immédiatement après chaque entraînement permet de dépister une déshydratation débutante. La perte de poids sur de courtes périodes d'activité physique étant essentiellement due à la perte hydrique, la réhydratation doit être une priorité de la récupération.

L'augmentation du besoin glucidique, déjà évoquée, et celle de l'apport hydrique lors de la récupération en moyenne altitude conduisent à proposer un usage systématique des boissons glucidiques isotoniques. Un travail mené lors d'un stage de ski, pendant quatre jours d'entraînement à une altitude moyenne de 1 800 m, montre que l'apport de boisson glucidique est plus efficace que l'eau pour maintenir le niveau d'hydratation (Yanagisawa *et al*, 2012).

12-1 . Réponse inflammatoire et entraînement en altitude

Il est bien démontré que l'entraînement en altitude accélère l'apparition d'éléments réactifs dérivés de l'oxygène appelés radicaux libres (Pialoux *et al*. 2010). La présence d'un électron célibataire confère à ces molécules une grande instabilité, ce qui signifie qu'elles ont la possibilité de réagir avec de nombreux composés de l'organisme.

Du fait de leur toxicité potentielle à différents niveaux (sur la membrane cellulaire, l'intégrité du message génétique contenu dans l'ADN, les parois endothéliales des vaisseaux sanguins), ces radicaux libres expliqueraient certains effets négatifs de l'entraînement en altitude. La lutte contre ces espèces radicalaires de l'oxygène peut être à long terme assurée par un apport élevé de nutriments à visée antioxydante administrés systématiquement avant et pendant le séjour en altitude.

Il semble donc raisonnable d'améliorer le statut antioxydant naturel par l'apport de nutriments riches en antioxydants tels que jus de fruits, fruits, légumes, mais aussi levure de bière, germe de blé, épices et aromates. L'apport est particulièrement utile dans la période de récupération. La production radicalaire en altitude est susceptible d'augmenter la réponse inflammatoire propre à toute activité physique, ce qui justifie une utilisation presque systématique des méthodes permettant de réduire l'inflammation dans la phase de récupération. Il est donc très utile de pouvoir disposer des différentes méthodes de récupération par le froid. En pratique, les installations des centres d'entraînement en

altitude devraient pouvoir permettre l'application des différentes méthodes de cryothérapie et le traitement d'un nombre important d'athlètes en stage d'altitude, plus particulièrement en fin de journée, dans le double but de favoriser la récupération de l'inflammation et de favoriser le sommeil.

13. Variabilité des effets de l'entraînement en altitude

Les premières données établies sur les effets physiologiques de l'altitude laissaient supposer que les adaptations pouvaient augmenter la capacité aérobie lors du « retour en plaine » et ainsi favoriser la performance dans toutes les disciplines sportives où ce paramètre est un déterminant de la performance. Ce domaine a fait l'objet de nombreux travaux, mais les résultats sont assez souvent contradictoires. Les réponses à l'altitude varient considérablement d'un athlète à l'autre.

Il est donc possible que, pour un individu, ce type de préparation aboutisse à des ajustements optimaux dans la période post-stage, de sorte que la performance aérobie soit transitoirement améliorée. Au contraire, chez un autre athlète, l'adaptation ne sera pas compatible avec une amélioration des capacités aérobies.

L'entraînement en altitude serait donc bénéfique à certains sportifs, mais inefficace, voire préjudiciable, à d'autres. Les données expérimentales et pratiques acquises depuis le début des entraînements en altitude montrent que plusieurs facteurs de mode de vie et de gestion de l'entraînement déterminent la bonne réponse à ce type d'entraînement.

13.1 La nutrition

Nous avons vu que la principale modification métabolique résultant de la vie en altitude est une augmentation de l'utilisation des glucides. Il est donc absolument indispensable d'augmenter la part glucidique dans l'apport énergétique total (AET). Il est bon de rappeler que cet apport doit être au-delà de 50 % de l'AET en situation normale d'entraînement, un apport autour de 55 à 60 % semblant optimum lors d'un stage en altitude.

Une publication récente indique que les coureurs éthiopiens de l'élite qui s'entraînent à 2 400 m consomment autour de 65 % de leur AET sous forme d'hydrate de carbone (Beis *et al.* 2011). Cet apport doit encadrer les séances d'entraînement avec une ration glucidique avant ou pendant (selon la durée) et surtout un apport immédiatement après,

pendant la récupération. Plusieurs études récentes mettent en évidence l'intérêt d'apporter des protéines, surtout pendant la phase de récupération : elles permettent d'optimiser la synthèse protéique qui survient à cette période.

Il semble donc important de fournir une ration glucide-protidique pendant la récupération, ce type d'apport exerçant un effet synergique sur les synthèses protéiques et la récupération des stocks glycogéniques (Levenhagen *et al.* 2002). Par ailleurs, une étude récente met en évidence l'intérêt d'apporter un nutriment riche en nitrate, sous la forme de jus de betterave, lors de l'entraînement en altitude. Ce type d'alimentation permet en effet d'augmenter la synthèse d'oxyde nitrique (NO) au niveau musculaire. Ce composé est un des plus puissants vasodilatateurs artériels.

L'analyse du métabolisme musculaire par spectroscopie de résonance magnétique montre une accélération de la resynthèse de la phosphocréatine (Pcr) chez des sujets réalisant un exercice intense en hypoxie et ayant reçu un complément en nitrate sous la forme de jus de betterave (Vanhatalo *et al.* 2011). Ce type de nutriment pourrait augmenter l'apport tissulaire en oxygène par le biais d'une vasodilatation efficace lors de l'exercice et de la récupération en hypoxie.

13.2 Le sommeil

Il est bien établi que l'hypoxie modifie l'architecture du sommeil. Par ailleurs, l'entraînement intense en altitude peut être responsable de troubles du sommeil (Hoshikawa *et al.* 2007). Des mesures permettant de suivre et de corriger les troubles du sommeil des athlètes permettront d'améliorer les effets de l'entraînement. En effet, ces troubles du sommeil deviennent pour chacun très pénalisants au-dessus de 4 000 m, mais de façon plus individuelle, ces troubles peuvent apparaître à moins de 2 500 m.

Un travail réalisé en chambre hypoxique à l'Institut australien du sport montre que la majorité des athlètes présente des modifications du schéma respiratoire pendant le sommeil lors d'une nuit passée à une altitude de 2 650 m en chambre hypobare. Ils présentent des épisodes d'apnée associée à une respiration paradoxale (Kinsman *et al.* 2005).

Les troubles du sommeil diminuent la capacité de travail physique et augmentent la sensation de pénibilité de l'exercice. La qualité et la durée du sommeil sont des éléments déterminants de la récupération. Il est depuis longtemps établi que les troubles du sommeil

sont impliqués dans les mécanismes du surentraînement (Guezennec 2004). Lors de stages en altitude, il est donc utile de permettre une amélioration de la récupération en facilitant le sommeil. On peut utiliser les principes qui permettent d'améliorer de façon non médicamenteuse la qualité du sommeil (Duforez 2007) :

- La posture allongée : nuque et poitrine sous le niveau du cœur, jambes au-dessus. Une literie adaptée est nécessaire, car une literie standard peut limiter l'efficacité de cette posture, notamment chez les athlètes de grand gabarit.

- La baisse de la température centrale : cette condition nécessite de respecter un délai suffisant entre la dernière séance d'entraînement et l'horaire du sommeil. Elle souligne l'intérêt de toutes les méthodes de récupération par le froid à l'issue de la dernière séance d'entraînement de la journée.

- La relaxation motrice : technique préalable de stretching et de relaxation passive.

- L'abaissement des seuils sensoriels : visuel (pénombre...), auditif (environnement silencieux, son rythmique ou blanc), kinesthésique, tactile, vestibulaire (repos, ambiance confortable).

- Les techniques respiratoires : expiration prolongée.

- La relaxation cognitive : entraînement à une technique de relaxation, biofeedback.

À l'inverse, on peut évoquer les conditions pénalisant l'endormissement :

- La position verticale : qui peut résulter d'une literie mal adaptée.

- La température : trop chaude ou trop froide (il est important d'avoir un bon réglage thermique des chambres d'athlètes dormant en altitude).

- L'activité motrice élevée avant le sommeil : il faut éviter les entraînements intenses tard le soir.

- La lumière à haute intensité en fin de soirée : l'éclairage des salles de relaxation après le repas doit être adapté.

- Le bruit : l'isolement phonique des chambres doit être suffisant pour éviter les contraintes sonores lors de l'endormissement.

- Le stress : les séances de relaxation et de gestion du stress doivent être administrées en priorité le soir.

13.3 La surveillance médicale

Nous avons vu que la réponse à l'entraînement en altitude est individuelle et que des événements intercurrents comme une fatigue excessive, des troubles du sommeil, de même que des infections respiratoires, peuvent supprimer le bénéfice attendu de l'entraînement en moyenne altitude. Ces différents points soulignent la nécessité d'un bilan médical au début de l'entraînement et d'un suivi tout au long de cet entraînement. Ce bilan doit s'appuyer sur les examens déjà proposés dans le cadre du suivi des sportifs de haut niveau, mais il doit être complété par des examens spécifiques permettant de dépister une altération de la récupération entre les séances et au cours d'un stage en altitude.

De façon simple, l'examen clinique associé à l'utilisation d'un questionnaire de fatigue (comme le questionnaire SFMS) permet de dépister une mauvaise récupération. De façon plus élaborée, des paramètres comme l'analyse des paramètres cardiovasculaires, l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque, la recherche d'extrasystoles à l'ECG, la réponse de la tension artérielle à des tests de posture, des paramètres biologiques inflammatoires, permettent de confirmer l'impression clinique de mauvaise récupération. Lors de l'entraînement en altitude, un dialogue étroit entre les responsables du suivi médical et l'entraîneur est indispensable pour adapter individuellement les besoins de récupération.

14. L'altitude et le Dopage avec transfusion sanguine (sang saturé en hémoglobine en altitude)

14-1 Introduction

Dans les sports d'endurance, la performance physique dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la libération d'énergie, la fonction neuromusculaire et les facteurs psychologiques sont les plus importants. Au cours d'un travail musculaire intense impliquant un grand nombre de groupes musculaires (ski de fond, cyclisme, course de fond, aviron et autres sports d'endurance), la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$) est étroitement liée à la performance. Cette $\dot{V}O_{2max}$ est principalement limitée par le contenu en oxygène du sang artériel d'où la supposition qu'une augmentation de la

concentration en oxygène du sang artériel, par élévation de la concentration en hémoglobine (Hb), devrait conduire à une augmentation de la VO et donc à une amélioration de la performance. Différents procédés sont 2max utilisés pour augmenter la concentration en Hb(entraînement en altitude, ii) vie en altitude et entraînement à basse altitude, iii) traitement à l'érythropoïétine recombinante humaine (rhu-Epo) ou à ses analogues, iv) transfusion sanguine.

La méthode la plus ancienne et la plus naturelle consiste à s'entraîner en altitude. La pression partielle en oxygène diminuant en altitude, l'organisme réagit à cette hypoxie en sécrétant de l'Epo. L'évolution de la concentration en Epo est alors biphasique : augmentation initiale rapide puis décroissance progressive pour atteindre des valeurs proches de la normale. La concentration en Hb augmente du fait d'une diminution du volume plasmatique ; ensuite l'élévation de cette concentration reflète une polyglobulie variée dont l'intensité dépend de l'altitude et de la durée du séjour (+ 1 g/l par semaine à 2500 m).

Il existe d'autres variantes non naturelles simulant la composition de l'air en altitude et permettant de reproduire un entraînement en altitude. La technique la plus connue est « dormir haut et s'entraîner bas ». Cette méthode repose sur le concept suivant : vivre en altitude peut augmenter, entre autres, la capacité sanguine de transport de l'oxygène, mais la diminution de la pression partielle en oxygène limite la fréquence, l'intensité et la durée de l'effort lors de l'entraînement.

« Vivre haut » et « s'entraîner bas » permettrait donc de bénéficier à la fois des adaptations physiologiques liées à l'altitude et de maintenir des charges d'entraînement élevées.

Différents dispositifs (chambres hypoxiques ou hypobares) permettent aujourd'hui de pratiquer cette méthode sans résider en altitude, toutefois l'effet sur l'érythropoïèse et en particulier sur l'augmentation de la concentration en Hb est peu important tant que l'altitude simulée reste inférieure à 3000 mètres.

14.2 La Transfusion Sanguine

L'effet ergo génique de la transfusion sanguine a été démontré depuis plus de 50 ans, mais cette technique n'a été étudiée que 25 ans plus tard.

Il est actuellement bien établi que :

— la transfusion sanguine et/ou celle de globules rouges augmentent la VO et la V_{O2max} performance dans les sports d'endurance, — cette VO est indépendante du volume sanguin ; par conséquent l'hémodilution ou l'hémoconcentration n'affectent pas ce paramètre.

Il s'agit là d'un procédé de dopage, avec effets immédiats, utilisé par certains athlètes dans les années 70 et 80. Depuis 1988, la commercialisation de la rhu-Epo avait momentanément mis fin à cette pratique mais, la mise au point en 2000 d'un test permettant de détecter les différentes Epo recombinantes dans les urines a contraint les tricheurs à y recourir à nouveau dans certaines circonstances.

14.3 Technique

Les transfusions sanguines peuvent être autologues ou hétérologues. Entre le prélèvement et la transfusion, le sang peut être conservé à +4° C ou congelé.

Lorsqu'il est conservé à 4° C, le sang doit être utilisé dans les 7 ou 8 semaines après son prélèvement (1 % environ des globules rouges sont détruits chaque jour). Le délai légal de conservation est de 42 jours en France ; il peut s'étendre jusqu'à 56 jours dans certains pays limitrophes.

Le phénomène d'hémolyse peut être considérablement limité en conservant les globules rouges à —80° C après congélation dans du glycérol. Dans ces conditions, le délai de conservation est de plusieurs années mais la re-infusion des globules rouges nécessite une étape de lavage afin de retirer toute trace de glycérol.

Dans le cas de l'autotransfusion, une à quatre unités de sang (450 à 1800 ml) sont prélevées sur l'athlète et centrifugées. Le plasma est immédiatement réinjecté alors que les globules rouges sont stockés (érythraphérèse). Le sang doit être prélevé 8 à 12 semaines avant l'évènement sportif ; ce délai est nécessaire pour que l'organisme reconstitue la masse globulaire qui lui a été retirée.

Les globules rouges sont transfusés la veille ou quelques jours avant la compétition (il faut un séjour minimum de 12 heures des globules rouges dans l'organisme pour rétablir un taux normal de 2,3-diphosphoglycerate dans ces cellules).

Cette façon de procéder présente cependant un inconvénient : le prélèvement sanguin entraîne une diminution de la concentration en Hb (et donc de la VO_{2max}) préjudiciable à la poursuite de bonnes conditions d'entraînement physique. Il peut être surmonté grâce à l'utilisation de rhu-Epo selon une technique utilisée en pratique pré-opératoire : la transfusion autologue programmée qui combine injections de rhu-Epo et prélèvements sanguins selon un calendrier bien défini. Ainsi 2 à 3 unités de sang peuvent être prélevées sur une période de un mois sans provoquer de chute sensible de la concentration en Hb.

14.4 Effets des transfusions sanguines sur la performance

A la différence de l'administration de rhu-Epo qui augmente graduellement le nombre de globules rouges, la transfusion sanguine provoque une augmentation immédiate de la concentration en Hb. L'effet ergo génique qui en résulte est comparable à celui à celui de la rhu-Epo, pourvu que l'augmentation de la concentration en Hb soit la même. Bien que diminuant au cours du temps, cet effet peut persister durant une à trois semaines.

L'augmentation de la VO_{2max} et de la performance a été décrite par plusieurs auteurs. Une élévation de plus de 5 % de la concentration sanguine en Hb est indispensable pour observer un tel effet. La perfusion d'une seule unité de sang (450 ml) ou de concentré de globules rouges (250 ml) peut donc s'avérer insuffisante.

Robertson *et al.* Rapportent une augmentation de 12,8% de la VO_{2max} 24 heures après transfusion de 750 ml de concentré de globules rouges. Spriet *et al.* [16] observent une augmentation de la VO_{2max} de 3,9 % après perfusion de deux unités de sang et de 6,7 % après administration d'une troisième unité. Brien et Simon, dans une étude en double aveugle, décrivent une augmentation importante de la performance sur une course de 10 km après transfusion de 400 ml de concentré de globules rouges.

L'effet majeur de la transfusion sanguine est lié à l'augmentation de la masse des globules rouges : l'augmentation transitoire du volume sanguin et du débit cardiaque sont de trop courte durée pour jouer un rôle.

Les études de l'effet de la perfusion de 1000 à 1200 ml de sang ou de 400 à 500 ml de concentré de globules rouges au repos et au cours d'un exercice submaximal ou maximal ont montré que :

- il n'y a pas de différence entre la perfusion de sang total ou celle de globules rouges.
- la concentration en Hb et l'hématocrite augmentent par rapport à leurs valeurs avant la perfusion.
- le volume sanguin est peu modifié.
- la VO et le temps d'épuisement augmentent. La VO augmente parallèlement à la concentration en Hb jusqu'à une valeur de 200 g/l. L'augmentation de la VO par gramme d'Hb (environ 20 ml), est identique pour tous les sujets, quel que soit leur concentration de base en Hb soit de 13 g/l ou 17 g/l
- le débit systolique, la fréquence cardiaque et donc le débit cardiaque au cours de l'exercice ne sont pas modifiés au cours de la transfusion ; ceci explique l'amélioration de la VO après la transfusion
- au cours d'un exercice submaximal, la VO reste inchangée. La transfusion sanguine améliore également la tolérance à la chaleur au cours de l'exercice et entraîne une baisse de la lactatémie.

14-5 Effets secondaires de la transfusion sanguine

La transfusion sanguine augmente la masse des globules rouges donc la concentration en Hb, l'hématocrite et la viscosité sanguine, mais à l'inverse d'un traitement à la rhu-Epo, on n'observe pas d'élévation de la pression sanguine.

Le phénomène d'hémolyse (observé au cours de la conservation du sang ou des globules rouges) peut se poursuivre après la transfusion et entraîner la formation d'un ictère éphémère. Une autre conséquence de la transfusion sanguine est la libération de fer : des transfusions fréquentes peuvent conduire à une surcharge en fer.

Le risque de l'infection bactérienne, provenant de la contamination du sang lors du prélèvement ou des manipulations ou bien encore d'une mauvaise conservation est toujours à craindre en particulier lorsque ces opérations se déroulent en dehors d'établissements hospitaliers.

Lors de transfusions hétérologues, le risque majeur est l'erreur de groupe. Il est indispensable de respecter les groupes A, B, AB et O, mais aussi les groupes Rhésus.

D'autres complications immunologiques telles que celles résultant de l'incompatibilité leuco-plaquettaire peuvent se produire.

La possibilité d'infections virales (hépatites C et B, HIV) ou parasitaires (paludisme) sont aussi à prendre en considération.

Détection de la transfusion sanguine

La détection de transfusions hétérologues semble a priori facile. L'administration d'une unité de sang (450 ml) augmente le nombre d'érythrocytes circulants de 10% environ. Dans ces conditions et si le sujet a été perfusé avec un sang iso-groupe, les méthodes de phénotypage érythrocytaire courantes ne permettent pas de mettre en évidence les globules rouges étrangers. Deux méthodes seulement, permettant le dépistage de transfusions hétérologues ont été publiées. Elles sont basées sur la recherche d'un certain nombre d'antigènes

Le dépistage de la transfusion autologue s'avère plus complexe. Berglund et *al.* [20] annonçaient en 1987 qu'ils étaient capables de détecter 50 % des individus ayant reçu une auto transfusion en se basant sur la concentration de l'Epo sérique qui était abaissée et sur les concentrations de l'Hb, du fer et de la bilirubine qui étaient plus élevés (les deux dernières à cause de la fragilité des globules rouges transfusés).

Des modèles mathématiques conçus pour détecter un dopage à la rhu-Epo dans les semaines suivant l'arrêt du traitement pourraient également être utilisés pour détecter les deux types de transfusion sanguine. Ils sont basés sur une concentration en Hb élevée et un pourcentage de réticulocytes anormalement bas (modèle He) ou une concentration en Hb élevée, un pourcentage en réticulocytes et une concentration sérique en Epo anormalement bas (modèle Hre).

Conclusion

L'augmentation illicite du transport de l'oxygène par le sang reste toujours un problème d'actualité. En l'absence de nouvelles molécules susceptibles de remplacer les rhu-Epo, les tricheurs semblent s'être adaptées aux failles existantes dans le dépistage de l'Epo (liées à la demi-vie du produit ou à la quasi absence de contrôles inopinés) et au besoin, recourent à la vieille méthode de la transfusion sanguine.

Chapitre 2

Les qualités physiques

Introduction

La connaissance de l'évolution motrice permet d'établir des programmes de travail au cours de la formation sportive, en fonction du développement des capacités de l'athlète, en lui proposant des tâches motrices et des charges physiques plus appropriées. Si en plus la modélisation des phases sensibles est opérationnelle, comme on le croit, on peut adapter la meilleure charge au meilleur moment.

1. Définition des qualités physiques

Selon R.Manno (1992) «les capacités motrices ou qualités physiques constituent le présumé ou pré requis moteur de base, sur lequel l'homme et l'athlète construisent leurs propres habiletés techniques ».

2. Les types de qualités physiques

Classification R.Manno(1992) distingue trois grands types de capacités motrices :

- Les capacités conditionnelles se fondent sur l'efficacité métabolique des muscles et des appareils : la force, l'endurance et la vitesse.
- Les capacités de coordination sont déterminées par les mécanismes neuromusculaires permettant d'organiser et de régler le mouvement : l'adresse.

Les capacités intermédiaires : la souplesse et la vitesse de réaction simple.¹

2.1 L'Endurance :

Définition :

L'endurance est la capacité physique et psychique que possède l'athlète pour résister à la fatigue. Cette capacité de maintenir un effort le plus longtemps possible dépend d'un certain nombre de critères mis en jeu, tels que la musculature concernée, le type de contraction musculaire demandé, les qualités physiques sollicitées, les processus énergétiques dominants, la durée et l'intensité de l'effort et la discipline pratiquée. L'endurance correspond à des efforts dynamiques, courir, sauter, nager, ramer, pédaler... en faisant appel au processus énergétique.

¹ - Les bases de l'entraînement sportif, Ed .Revue EPS, Paris, 1992

Elle peut se décomposer en différents types d'endurance, on peut définir l'**endurance** aérobie, l'endurance anaérobie lactique et l'endurance anaérobie alactique. (Énergétiques et les exercices types).²

Endurance Aérobie :

L'endurance aérobie est liée à l'augmentation du VO₂Max (le Volume maximal d'oxygène consommé) c'est à dire que les facteurs limitant sont :

- la ventilation pulmonaire, la capacité de diffusion pulmonaire, le débit cardiaque, la capacité de transport de l'oxygène par le sang, les fibres musculaires sollicitées.
- Les facteurs limitant à l'endurance aérobie sont le VO₂Max et la capacité de son utilisation, ainsi que la hauteur du seuil anaérobie. L'endurance aérobie peut se décomposer en endurance aérobie de longue durée et en endurance aérobie de courte durée :

Endurance Aérobie de longue durée (Capacité) :

C'est l'endurance de base dont les efforts continus se prolongent de 1 heures et 30 minutes à 8 heures. Elle peut se décomposer en Capacité Aérobie - Endurance Fondamentale (I1) durée limite de 8 heures, en Capacité Aérobie - Endurance Moyenne (I2) durée limite de 4 heures et en Capacité Aérobie - Endurance Critique (I3) durée limite de 2 heures et 30 minutes. Elle fait appel au métabolisme aérobie dont l'oxygène, les acides gras et le glucose sont les substrats essentiels.

Endurance Aérobie de courte durée (Puissance) :

C'est l'endurance dont les efforts continus sont d'une durée de 2 minutes à 1 heures et 30 minutes. Elle peut se décomposer en Puissance Aérobie - Résistance Volume (I4) durée limite de 1 heure et 30 minutes, en Puissance Aérobie - Résistance Critique (I5) durée limite de 1 heure et en Puissance Maximale Aérobie - Résistance Maximale (I6) durée limite de 10 minutes. Elle fait appel au métabolisme aérobie (90% à 20%) et anaérobie (10% à 80%), dont

² - Thierry GAULT - Professeur de Cyclisme de la Direction Régionale de la Jeunesse et des Sports -Créé : Novembre 2008, Mise à jour : Avril 2014

l'oxygène, le glucose, mais aussi l'utilisation de l'acide pyruvique avant sa fermentation et son passage dans le sang sous la forme d'acide lactique sont les substrats essentiels.

Endurance Anaérobie Lactique :

Elle correspond à des efforts dynamiques, à des intensités maximales, faisant appel au processus énergétique anaérobie lactique. La durée maximale des exercices varie entre 20 secondes et 2 minutes. Le glucose sans apport d'oxygène est le substrat dominant essentiel. Pour les efforts supérieurs en durée, l'accumulation du lactate devient importante (supérieure à l'élimination) la capacité à supporter cette acidose est un des facteurs limitant. Les facteurs limitant sont le stock de glycogène intramusculaire et la faculté de résister à l'acidose lactique.

Elle peut se décomposer en Capacité Anaérobie Lactique - Endurance Lactique (I7) durée limite de 2 minutes et en Puissance Anaérobie Lactique - Résistance Lactique (I8) durée limite de 45 secondes.

Endurance Anaérobie Alactique :

Elle correspond à des efforts dynamiques, à des intensités maximales, faisant appel au processus énergétique anaérobie alactique. La durée maximale des exercices varie entre 7 secondes et 20 secondes. L'ATP (Adénosine Triphosphate) et la CP (Créatine Phosphate) sans apport d'oxygène sont les substrats dominants essentiels. Les facteurs limitant sont les stocks d'ATP et de CP intramusculaire. Elle peut se décomposer en Capacité Anaérobie Alactique - Accélération (I9) durée limite de 20 secondes et en Puissance Anaérobie Alactique - Vitesse / Force (I10) durée limite de 10 secondes.³

2.2 La Vitesse :

Définition :

La vitesse est la capacité d'accomplir des actions motrices dans un temps minimal. C'est une qualité complexe qui se décompose en trois facteurs essentiels : la vitesse de réaction, la vitesse gestuelle, la fréquence gestuelle.

³ - Thierry GAULT - Professeur de Cyclisme de la Direction Régionale de la Jeunesse et des Sports -Créé : Novembre 2008, Mise à jour : Avril 2014

Vitesse de réaction :

Elle se divise en la réaction simple et la réaction complexe.

Vitesse de réaction simple :

C'est la réponse stéréotypée à un signal. C'est le temps séparant le signal de départ du début de la réaction motrice. Il est étroitement lié à la motivation et à l'attention. Il ne dépend pratiquement pas de l'entraînement, 10 à 15 % d'amélioration possible.

Vitesse de réaction complexe :

Préalablement à la réaction motrice, l'athlète doit prélever l'information déclenchant dans son milieu d'évolution. Plus le décodage est difficile, plus le temps de réaction augmente. L'entraînabilité est de l'ordre de 30 à 40 %.

Vitesse gestuelle :

Elle est l'expression motrice de la mise en action. On peut distinguer une action motrice simple et la vitesse de déplacement.

Action motrice simple :

C'est la vitesse de bras du boxeur qui décroche un uppercut à son adversaire ou la vitesse de frappe d'un footballeur.

Vitesse de déplacement :

C'est la succession rythmée d'actions motrices. Cette vitesse de déplacement est en relation directe avec la coordination et la technique. Elle dépend de: la composition fibrillaire des muscles sollicités, la force musculaire, le niveau du stock énergétique (ATP et CP), l'élasticité des muscles, l'état d'échauffement, la fatigue éventuelle.

Fréquence gestuelle :

C'est le nombre de mouvements exécutés par unité de temps, la vélocité. Elle est liée à la force dynamique. Mais il existe un rapport optimum entre l'amplitude et la fréquence des gestes : privilégier l'une ou l'autre revient à limiter la progression de la vitesse (Exemple : En course à pieds, trop de vélocité peut limiter l'amplitude de la foulée).

2.3 La Force :

Définition :

« La force de l'homme peut se définir comme la faculté de vaincre une résistance extérieure ou d'y résister grâce à des efforts musculaires » ZATSIORSKI 1966.

« La force musculaire se définit comme la tension qu'un muscle ou un groupe de muscles peut opposer à une résistance en un seul effort maximal » FOX et MATTHEWS.

La résistance peut être variable :

Un engin (poids, disque, javelot ...) le corps lui-même (saut, course ...) la friction (aviron, cyclisme ...) un adversaire (sports de combat)

Il y a différents types de force, la force maximale, la force-vitesse et l'endurance de force.⁴

Force maximale :

C'est la force qu'un muscle ou un groupe de muscles peut développer lors d'un mouvement.

- Si la résistance est insurmontable : c'est la force maximale isométrique (sans déplacement).
- Si la résistance est inférieure : c'est la force maximale dynamique (avec déplacement).

Force vitesse :

C'est la force qui caractérise le système neuromusculaire pour surmonter une résistance avec la plus grande vitesse de contraction possible. C'est une variante de la force dynamique, on distingue deux composantes :

⁴ - Thierry GAULT - Professeur de Cyclisme de la Direction Régionale de la Jeunesse et des Sports -Créé : Novembre 2008, Mise à jour : Avril 2014

La force explosive : capacité à accélérer un mouvement déjà lancé.

La force de démarrage : augmentation maximale de production de la force au départ du mouvement.

- Si la résistance est faible, la force de démarrage domine,
- Si la résistance augmente, la force explosive prime.

Endurance de force :

C'est la capacité à résister à la fatigue dans des efforts de longue durée à dominante force.

Elle est en fonction de : l'intensité des stimulations (% de la force maximale), l'amplitude des stimulations (nombre de répétitions), la durée de l'exercice.

Suivant les disciplines, on peut trouver une endurance de force-dynamique, une endurance de force-statique ou une endurance de force-vitesse.

2.4 La Souplesse :

Définition :

La souplesse est la capacité d'accomplir des mouvements avec la plus grande amplitude possible, de manière active ou passive. La souplesse est synonyme de flexibilité, d'amplitude articulaire et de mobilité.

Le geste sportif représente la totalité agissante de l'individu, situé aux confins de trois grandes capacités : bio-informationnelle, bioénergétique et biomécanique.

Les pièces articulo-musculaires doivent avoir la meilleure efficacité motrice possible afin d'exprimer au mieux les possibilités de l'athlète. Une mobilité entravée, réduite, diminue l'efficacité gestuelle. A l'inverse, une augmentation de l'amplitude témoigne d'une excellente coordination des qualités musculaire et tendineuse ainsi que des propriétés mécaniques des articulations.⁵

⁵ - Thierry GAULT - Professeur de Cyclisme de la Direction Régionale de la Jeunesse et des Sports et de la Cohésion Sociale de Poitiers -

Si l'on soumet un muscle à des étirements répétés, il conservera une plus grande longueur qu'au début, inversement, soumis à des contractions répétées, il peut se raccourcir et perdre de sa longueur initiale.

La pratique sportive augmente notablement la tonicité musculaire. La tendance va même à la rétraction par raccourcissement des fibres, avec limitation du jeu articulaire. Or un geste restreint dans son amplitude, entrave la mobilité globale, perturbe les combinaisons d'actions, parasite la coordination générale. C'est pourquoi les étirements permettent d'entretenir ou de restaurer toute la flexibilité dynamique des muscles.

Cette souplesse est en relation directe avec les états de vigilance de l'athlète. Autrement dit, il y a relation directe entre tonus mental et tonus musculaire.

La souplesse est une qualité physique essentielle à développer. Elle n'est efficace que mise en place dans une programmation régulière, sagement entretenue, systématiquement pratiquée. La souplesse améliore le rendement musculaire, accroît la précision et la coordination gestuelle. Les muscles concernés par les étirements risquent moins les blessures lors de mouvements outrepassés. Le travail de la souplesse améliore la conscience de son schéma corporel, facilite la récupération par un drainage lymphatique et veineux.

2.5 La Coordination :

Définition :

Elle est la capacité de réaliser un mouvement en combinant l'action de plusieurs groupes musculaires avec un maximum d'efficacité et d'économie. Cette qualité physique est une condition de base pour l'expression de toutes les autres qualités physiques. Elle est la possibilité d'exploiter le maximum des capacités fondamentales, force, endurance et vitesse. La coordination est déterminée par la capacité du système nerveux central de capter, conduire, traiter des informations souvent multiples :

Extéroceptives : venues du milieu extérieur,

Intéroceptives : venues du corps propre.

Le système nerveux central régule, en tant que centre de traitement, l'ensemble des messages transmis par les récepteurs sensoriels et élabore un plan d'action (un programme moteur) qu'il met en route, pour espérer réaliser le projet envisagé.

La coordination ressort du domaine de l'apprentissage moteur, de l'acquisition des habiletés motrices. Si les savoir-faire moteurs sont spécifiques, on parle de technique : ils doivent satisfaire aux exigences biomécaniques et/ou d'efficacité et/ou artistiques de la discipline concernée. En cas de sens, on peut parler de coordination spécifique. Elle s'élabore à partir d'une coordination plus générale, une motricité globale. La coordination pose donc le problème de l'apprentissage moteur. L'apport des neurosciences (fonctionnement du cerveau) a permis d'élaborer des théories sur le comportement de l'individu en situation d'apprentissage moteur, les théories sur le traitement de l'information.

Le cheminement pour l'acquisition d'une gestuelle dite parfaite, passe obligatoirement par un développement psychomoteur dans la petite enfance par l'apprentissage d'autres gestes dits imparfaits.⁶&

1. la préparation physique :

3.1 DÉFINITION :

Selon OG.Cazorla (1989) : «C'est la somme des exercices adaptés, à intensité progressivement croissante, qui aboutissent par des modifications biologiques, physiques et techniques à la réalisation de la plus haute performance possible».

3.2 LES PRINCIPES D'ENTRAÎNEMENT

* Principe d'efficacité de la charge d'entraînement ou principe de surcharge = la charge d'entraînement. Doit dépasser un certain seuil pour provoquer une amélioration des performances. Sans charge suffisante en durée et/ou en intensité, pas de perturbation, donc pas d'adaptation de l'organisme.

* Principe de la charge d'entraînement continue (ou principe de réversibilité) = régularité dans la succession des charges pour obtenir une sommation d'adaptations. En cas d'intervalles trop longs entre chaque entraînement, les «traces» laissées par les sollicitations précédentes disparaissent (à retour au niveau de départ, voire régression).

⁶ - Thierry GAULT - Professeur de Cyclisme de la Direction Régionale de la Jeunesse Poitiers -Créé : Novembre 2008, Mise à jour : Avril 2014

* Principe de la charge d'entraînement croissante = la charge d'entraînement. Ne doit pas rester au même niveau, mais elle doit évoluer pour continuer à perturber l'organisme malgré ses adaptations (difficulté = trouver le bon rythme d'évolution).

* Principe de la spécificité des charges d'entraînement = l'entraînement doit être spécifique :

- À l'enfant ou l'adolescent : âge, niveau de dév., capacités, niveau physique, motivation (à principe d'individualisation).
- À l'APSA : respect de sa logique interne et des contraintes qui l'organisent (à situations authentiques).
- À la qualité ou aux qualités à développer : par exemple sur le plan énergétique à puissance ou capacité lactique, puissance maximale aérobie ou endurance aérobie (seuil ventilatoire)

* Principe de la périodicité des charges d'entraînement = structuration du temps autour de périodes (microcycle, méso cycle, macrocycle). Avec des temps de travail intense ou en volume, d'entretien des qualités, de préparation aux compétitions importantes, de récupération active.

3.3 DEVELOPPEMENT des qualités physique

Selon Wei neck, (1997) les composantes de la condition physique. Il s'agit pour lui de l'endurance aérobie et anaérobie, de la force statique et dynamique, de la vitesse de réaction et d'action et de la souplesse.

En accord avec cet auteur, c'est sur l'ensemble de ces qualités qu'il sera nécessaire d'agir dans la perspective d'obtenir des élèves du second degré un développement équilibré de leur condition physique.⁷

3-3-1 l'endurance

L'endurance générale c'est l'endurance aérobie, ce qui signifie que le système cardiorespiratoire peut fournir tout l'oxygène requis par l'exercice.

⁷ - Physiologie appliquée à l'activité physique, in Manuel de l'éducateur sportif. Préparation au Brevet d'Etat, 8ème édition, Vigot, Paris, 1989.

L'endurance spécifique à la discipline est toujours une combinaison d'endurance aérobie et d'endurance anaérobie, dans lequel le système cardio-respiratoire ne peut pas recevoir l'oxygène requis par l'exercice.

Plus la course est longue, plus l'importance de l'endurance aérobie est grande dans l'endurance spécifique de la discipline. A l'inverse, plus la course est courte, plus c'est l'importance de l'endurance anaérobie qui est grande.

➤ **Les formes d'entraînement les plus importantes pour améliorer l'endurance sont :**

- Le travail en continu : courir sur des distances relativement longues à vitesse constante sans récupération. Le travail en continu est utilisé pour développer l'endurance générale et pour la récupération.
- L'intervalle training et les courses intermittentes : série de courses ou d'efforts pour lesquels le rythme, la distance et la récupération sont prescrits.
- L'intervalle training peut être divisé en deux formes principales : extensive et intensive.

Lorsque l'entraînement porte plus particulièrement sur l'endurance générale, on utilise l'intervalle training extensif et lorsque l'objectif est l'endurance spécifique, on utilise l'intervalle training intensif.

Les charges d'entraînement sont généralement définies par les paramètres suivants :

- Rythme : vitesse de course (m/s, min/km, min/mile, etc) ;
- Volume qui peut être défini par la distance de course (m/km/miles), le temps de course (sec, min/heures), le nombre de répétitions ou le nombre de séries de répétitions ;
- Récupération : intervalle entre les différentes répétitions ou les séries de répétitions (sec/min).

➤ **Développement de l'endurance générale**

L'endurance générale se développe principalement grâce au travail en continu et à l'intervalle training extensif. Le rythme utilisé pour ces deux méthodes doit être basé sur la vitesse aérobie de l'athlète.

Ces méthodes doivent être appliquées lors de toute l'année d'entraînement selon ces directives :

- Courses continues lentes (but : récupération)

Rythme : 70% de la vitesse aérobie

Volume : plus de 30 minutes

- Courses continues sur longues distances (but : endurance générale)

Rythme : 80-85% de la vitesse aérobie

Volume : 90-150 minutes

- Courses continues moyennes (but : endurance générale)

Rythme : 85-90% de la vitesse aérobie

Volume : 30-90 minutes

- Courses continues rapides (but : endurance générale)

Rythme : 90-97% de la vitesse aérobie

Volume : plus de 30-60 minutes

- Intervalle training extensif (but : endurance aérobie)

Rythme : 105-110% de la vitesse aérobie

Volume : augmente avec la distance de compétition

Récupération : dépend de chaque course de la séance

➤ Développement de l'endurance spécifique

L'endurance spécifique se développe plutôt grâce à l'intervalle training intensif.

Le rythme utilisé pour cette méthode est généralement le rythme spécifique qui est basé sur le temps estimé de la distance de compétition. L'intervalle training intensif doit être utilisé aussi près que possible de la période de compétition selon les directives suivantes.

Attention : L'intervalle training intensif (également appelé anaérobie lactique) mène à de grandes concentrations d'acide lactique et ne doit donc pas être utilisé avec les plus jeunes.

! L'intervalle training intensif (but : endurance spécifique)

- Rythme : basé sur le rythme spécifique de compétition
- Volume : augmente avec la distance de compétition
- Récupération : dépend de chacun des parcours de la séance

Augmentation de la charge d'entraînement

L'augmentation de la charge de travail lors d'un programme annuel d'entraînement, ou lors d'années successives d'entraînement, doit être planifiée avec précaution et méthode.

Les éléments suivants donnent une aide :

- Courses continues et intervalle training extensif :

Phase 1 : Augmenter le nombre de séances d'aérobie par semaine ;

Phase 2 : Augmenter le volume des séances d'entraînement (distance/durée et nombre de parcours) ;

Phase 3 : Augmenter le rythme (en diminuant la distance/durée et nombre de parcours);

Phase 4 : Adapter le rythme individuel en fonction des résultats des tests d'entraînement.

- Intermittent training Intensif :

Phase 1 : Augmenter le volume d'une séance en ajoutant des séries (en maintenant la même distance et le rythme des parcours dans les séries) ;

Phase 2 : Augmenter le volume d'une séance en augmentant la longueur des parcours (en maintenant le nombre et le rythme) ;

Phase 3 : Augmenter l'intensité (rythme) des parcours ;

Phase 4 : Diminuer la récupération entre les parcours.

Ce type de travail est nécessaire surtout pour les coureurs de 800m mais aussi dans une moindre mesure pour les coureurs de 1 500m, 5 000m, 10 000m, au moment du finish ou d'une allure tactique élevée. Il permet une excellente tolérance aux lactates

➤ Les caractéristiques de l'endurance générale et spécifique

Les coureurs de moyenne (800-1500) et longue distance (3000-5000 et plus) doivent autant développer l'endurance générale que l'endurance spécifique à l'énergie requise par ces disciplines.

L'endurance est la qualité qui est liée :

- Au développement du processus aérobie (réaction s'effectuant en présence d'oxygène) ;
- A l'augmentation de la consommation maximale d'oxygène ;
- A la faculté de soutenir durant une longue période un pourcentage élevé de celle-ci.

Un bon développement de l'endurance assure une bonne récupération après des séances d'entraînement intense.

Le niveau de l'endurance est avant tout déterminé par le fonctionnement correct du système cardio-vasculaire et la bonne coordination de l'activité des organes et des systèmes d'organes.

➤ Les effets d'un bon développement à l'endurance sont nombreux :

- Augmentation du capital de globules rouges (le transport d'oxygène est accru) ;
- Facilitation de l'élimination normale du gaz carbonique et de l'acide lactique ;
- Ouverture du système capillaire (une meilleure irrigation sanguine) ;
- Activation du fonctionnement des organes de désintoxication (foie, rein, élimination des déchets) ; - Diminution du pouls au repos ;
- Amélioration du rythme respiratoire ;
- Augmentation du stockage des substrats énergétiques (glycogène et acide gras) ;
- Diminution du temps de latence du processus (vitesse d'oxygène plus rapidement atteinte) ; - Augmentation de la capacité de récupération ;
- Diminution du poids corporel.

3.3.2 La vitesse

Avant l'âge de 10 ans, le niveau de vitesse gestuelle moins élevé chez l'enfant que chez l'adulte est très fortement lié :

- au niveau de maturation du système nerveux,

- au niveau encore inachevé de myélinisation des axones,
- à la concentration plus faible de l'acétylcholine (??) (neurotransmetteur) au niveau de la jonction neuromusculaire,
- -à une moindre libération et repompage du calcium au niveau du réticulum sarcoplasmique
- -et à la capacité de coordination tant au niveau central que périphérique qui dépend de la qualité et de la quantité des apprentissages antérieurs.

➤ **Entraînement de la vitesse au cours de la croissance**

Bien que limitée par les facteurs héréditaires, la vitesse peut être développée par une pratique d'exercices de vélocité réalisées avant et pendant la puberté (Ratchev et Stoev, 1979 : jeunes âgés de 11 à 14 ans).

Par l'utilisation de toutes les formes de jeu, il est parfaitement justifié de d'envisager très tôt (vers 6 ans) le début du développement de la vitesse car celle-ci dépend étroitement de la coordination nerveuse et du développement des programmes moteurs.

C'est dans le premier âge scolaire que se manifeste la plus forte amélioration de la fréquence et de la vitesse de mouvement (Kohler et al. 1978, Stemmler 1977).

3.3.3 La force

Développement de la force au cours de la croissance

- La force musculaire augmente progressivement au cours de la croissance en fonction de l'accroissement de la masse corporelle.
- Avant la puberté, la force maximale des garçons et des filles n'est pas très différente (Weltman, 1989, Sunnegardh et al.1994)
- En moyenne, les filles présentent l'accroissement en force la plus élevée pendant les années de croissance maximale: 11,5 à 12,5 ans
- Chez les garçons, l'augmentation est maximale un an après le pic de croissance: 14,5 à 15,5 ans (Bar-Or 1989).
- La force maximale se stabilise vers 18 ans chez la fille et entre 20 et 30 ans chez le garçon.

➤ **Le développement de l'explosivité ?**

Comme vu précédemment, c'est un rapport entre la force et la vitesse. Il convient donc de faire un entraînement qui permet de combiner les deux. On s'attardera essentiellement sur le bas du corps. En salle, avec charge Faire un test d'1 RM pour avoir un entraînement individualisé.

Voici 2 exemples pour améliorer la force explosive.

Exercice 1 :

3 séries de 6 répétitions à 65% RM de demi-squat + 6 sauts Squat Jump

Exercice 2 :

Avec le Stato-dynamique : Il y a une phase isométrique immédiatement suivie par une phase dynamique (concentrique voir excentrique).

Il existe le stato-dynamique 1 temps (1 temps d'arrêt) ou 2 temps (2 temps d'arrêt). Sur le demi-squat, maintenir la position 5 à 7sec puis effectuer une poussée explosive, reprendre la position initiale et recommencer.

3 séries de 6 répétitions à charge libre (ajuster en fonction de la fatigue). Sur le terrain, sans charge (ou peu) Même sans charge, on peut développer la force pour être plus explosif. Pour cela,⁸

Février 2020

On utilisera le régime pliométrique qui se définit par un cycle étirement / détente ou concentrique / excentrique et augmente la force ou avec un travail de résistance.

Voici 2 exemples associés au football :

Exercice 1 : 3 passages par atelier

1. Drop jump (départ d'un banc, se laisser tomber puis effectuer un saut) x 4 + 4 jeux de tête + travail d'appuis sur 4 lattes + sprint 10m
2. 4 sauts sur banc + 4 sauts sur haies + sprint 10m avec finition devant le but.
3. Appuis sur step 10sec + foulées bondissantes sur 6 cerceaux + sprint 10m avec réception d'un centre devant le but.

Exercice 2 : Avec résistance

Sprint en côte de 10 ou 15m.

Attention, du fait de la pente, cet exercice est traumatisant. Je conseille de faire un bon échauffement et d'effectuer une distance totale d'environ 80m max. Si vous souhaitez plus de difficultés, le sprint peut être précédé par un travail d'appuis rapide.

Autre exemple, avec un chariot de vitesse :

Sprint avec un chariot de vitesse contenant un poids de 10 ou 15kg. Effectuer un sprint sur 15m puis décrochez le chariot pour relancer un sprint de 10m sans charge. 6 à 8 sprints de 25m soit 200m de sprint.⁹

⁸ - Livret réalisé par Julien Lugier. Préparateur physique en football.

⁹ - Pour tous Livret réalisé par Julien Lugier. Préparateur physique en football.

Février 2020

Ces exercices, la récupération doit être longue entre les séries et pensez à programmer votre séance au moins 5 jours avant votre match car ils engendrent des courbatures.

Pour conclure, l'explosivité est primordiale dans le football pour faire la différence sur les 1ers mètres. Cependant, il ne faut pas la confondre avec la vitesse.

J'ai décrit ici, 4 exercices différents pour travailler et développer l'explosivité mais il en existe pleins d'autres (avec élastique de survitesse, avec gilet lesté,...).

Ce qu'il faut retenir, c'est que vous devez avoir au moins une charge ou une résistance avec un sprint.

En parallèle, par exemple en fin de séance, un travail de coordination peut être intéressant pour éviter de perdre en fréquence d'appuis.

Et du gainage ! Pour un bon équilibre et un bon transfert des forces. Mais n'oubliez pas qu'en football, le principal est de pouvoir répéter ces efforts durant tout un match !

3.4Conseils d'entraînement

Il est souhaitable :

- de commencer à utiliser le poids du corps ou des segments avant d'évoluer progressivement vers l'emploi de charges externes
- plutôt que d'haltères, d'utiliser des appareils de musculation adaptés et assurant le bon placement de la colonne vertébrale
- d'utiliser des exercices avec une amplitude maximale au départ sans charge pour apprendre parfaitement la technique
- d'utiliser des charges permettant 8 à 10 répétitions minimum (60-70% de la charge permettant une seule répétition au maximum: 1RM)
- de ne jamais augmenter les charges tant que la technique n'est pas parfaitement maîtrisée que chaque exercice ne comporte au maximum que 2 à 3 séries de 6 à 15 répétitions
- lorsque l'enfant est capable de répéter l'exercice 15 fois on peut augmenter la charge que très progressivement : 0.5 à 1 kg.

3.5 La récupération

Les différentes formes de récupération :

- **Dans la séance :**

Les temps de repos dans les exercices et entre les exercices sont primordiaux.

Pensez à laisser vos joueurs s'hydrater et récupérer entre les exercices, le rythme de la séance doit permettre des temps de pause.

On parle aussi de récupération active (on récupère en restant en mouvement) notamment lorsque l'on fait un travail intermittent ou de récupération passive, quand la récupération se fait en marchant ou de manière immobile.

- **Dans la semaine :**

La répartition des entraînements dans la semaine par rapport au match (qui a eu lieu et celui qui va avoir lieu). Cette récupération passe par un bon contrôle de la charge d'entraînement dans le cycle et le micro cycle pour bien récupérer :

- **Dormir :** Permet une récupération physique et émotionnelle. De plus, on optimise l'apprentissage, la mémoire du geste et la récupération musculaire.¹⁰
- **L'hydratation :** De l'eau ! 2 litres par jour en fonction de vos entraînements. Concocter votre propre boisson de récupération : si votre repas est plus de 30 minutes après la fin de votre entraînement, que la séance a été intense sur le plan musculaire et énergétique.

Cette boisson aura pour rôle de récupérer musculairement, de reconstituer les réserves énergétiques et de se réhydrater.

Recette : 1 verre de lait (250ml) ou 2 yaourts nature + 1 cuillère à soupe de sirop + 2 cuillères à soupe de cacao + 1 cuillère à soupe de miel + 2 cuillères à soupe de sucre.

- **Les étirements :** Pratiquez les étirements passifs légers en fin de séance. Lors de l'effort, les fibres musculaires se sont raccourcies, ces étirements permettront de retrouver l'état d'origine.

¹⁰ - Livret réalisé par Julien Lugier. Préparateur physique en football

Maintenir les positions de 30 secondes à 1 minute en fin de séance pour un retour au calme.

Les chaussettes de récupération

L'effet de contention, de compression permet l'élimination rapide du sang veineux mal oxygéné et rempli de toxines. Par l'effet de ces chaussettes, les fibres musculaires, tendineuses et ligamentaires seront alimentées très rapidement en sang oxygéné.

A mettre le plus tôt possible après l'entraînement ou les matchs et durant 2 heures minimum.

- **L'électrostimulation** : Grâce à des courants de très basses fréquences, on aura une amélioration de la récupération par une augmentation des flux sanguins, un effet décontractant et un effet antalgique local.

Il existe de nombreux appareils sur le marché comme les Compex ou les Veinoplus Sport. Bain froid / bain chaud

Vous pouvez alterner les bains chauds et les bains froids pour une meilleure efficacité dans la récupération.

Protocole : 2 min dans l'eau froide (8 à 10 degrés) puis 2 minutes de douche chaude.

A répéter entre 3 et 5 fois.

En fonction de vos moyens, d'autres modes de récupération existent : les massages, la cryothérapie,¹¹

4. Les filières énergétiques :

Notre corps utilise différentes filières énergétiques selon les types d'efforts qu'il

Si l'on compare à une voiture, c'est un peu comme si vous aviez 3 de carburants différents (par exemple électrique, essence et biocarburant,) selon les types de trajets (démarrage en cote, conduite en ville, conduite sur autoroute). Ces moteurs ne fonctionneraient pas l'un après l'autre, mais tous en même temps. Seul le dosage entre eux

¹¹ - Livret réalisé par Julien Lugier. Préparateur physique en football.

varierait. Ce qui en rendrait l'un prépondérant par rapport aux autres, selon les types de trajets.

4.1 Définition

Définition :

« Une filière énergétique est une voie métabolique utilisant un ou plusieurs substrats » L'énergie est stockée dans les aliments sous forme de substrats :

- Glucides
- Lipides
- Protéines
- Créatine en moindre mesure

Produit naturellement, mais en quantité insuffisante. On trouve de la créatine par exemple dans la viande et le poisson.

La dégradation des substrats et la récupération énergétiques).

Les 3 filières énergétiques

4.2 Les types de filières énergétiques

4.2.1 La filière aérobie

Cette filière permet de créer de l'énergie (ATP) en utilisant de l'oxygène. Plus précisément, elle produit 39 ATP en dégradant le glycogène musculaire (réserves de sucre) et le glucose sanguin via la glycolyse, ainsi que les triglycérides (acide gras) via la lipolyse. Le produit final de ce catabolisme est l'eau (H₂O) et le gaz carbonique (CO₂). Par conséquent, cette voie énergétique ne produit aucun « déchet ». Les facteurs limitant de cette filière sont le VO₂max (Volume correspondant à la consommation maximale de l'oxygène) et l'épuisement du glycogène musculaire.

Sports concernés par la filière aérobie : sports d'endurance, marathon, trail, cyclisme, triathlon.

➤ Quatre seuils se distinguent de cette filière :

- **Le seuil aérobic**, dit également « endurance fondamentale ». Il correspond à une course en aisance respiratoire à moyenne intensité, entre 70 et 80% de VMA selon le niveau. Ce seuil est jugé à 2mmoles de lactates. Courir au seuil aérobic vous permet de trouver le bon équilibre entre l'apport en oxygène et sa consommation. Cela vous permet donc de faire des sorties longues et de maintenir longtemps cette intensité à un rythme constant. Sensations éprouvées : aisance respiratoire, sensation de pouvoir accélérer.

- **La capacité aérobic :**

Correspond à la vitesse utile du marathonien, entre 75 et 85% de la V (jugée à 3mmoles de lactates). Sensations éprouvées : aisance respiratoire mais avec une ventilation plus rythmée par rapport au seuil aérobic. Aisance musculaire.

- **Le seuil anaérobic**

Dit également « résistance ». Ce seuil situé entre 80 et 90% de la VMA selon l'athlète (âge, sexe) et son niveau d'entraînement est jugé à 4mmoles de lactates. Il correspond à une allure soutenue. Sensations éprouvées : gêne respiratoire et musculaire.

- **La VMA** (Vitesse Maximale Aérobie) correspondant à la vitesse limite atteinte à VO₂ max.

➤ Objectifs du développement de la voie aérobic

- Augmentation du stockage et utilisation des substrats énergétiques (glycogène, acide gras, acides aminés).

- Amélioration du VO₂max et de l'activité enzymatique donc des mitochondries, du transport d'oxygène, du système cardiovasculaire et ventilatoire.

4.2.2 La filière anaérobic lactique

Cette filière produit de l'énergie via la **glycolyse**. En effet, la glycolyse va dégrader le glucose en deux molécules d'acide pyruvique. La plus grande partie d'acide pyruvique sera transformée en acide lactique. Dès sa formation dans la cellule musculaire, une molécule d'acide lactique sera entièrement dissociée en une molécule de lactate et en un proton. C'est

ce proton qui est responsable de l'acidité dans le muscle (et non l'acide lactique). Enfin la glycolyse anaérobie permettra de produire 3 ATP. Cette filière permet de produire de l'ATP rapidement. L'effort ne peut pas durer longtemps à cause de l'acidose dans le muscle.

Sports concernés par la filière anaérobie lactique: demi-fond athlétisme (800m, 1500m), sprint long (400m), natation (>200m).

Dans cette filière, on distingue la Puissance et la Capacité Anaérobie Lactique :

- La **Puissance Anaérobie Lactique (PAL)** : effort à 140-160% VMA. Sensations éprouvées : lourdeur de jambe, mal aux cuisses, nausée de fin d'effort, sensation d'évanouissement.

- La **Capacité Anaérobie Lactique (CAL)** : effort à 90-130% VMA. Sensations éprouvées: idem que pour la PAL mais de manière moins éprouvante.

Objectifs du développement de la voie anaérobie lactique

- Augmentation du glycogène intra-musculaire
- Augmentation du système tampon de l'acidité sanguine et musculaire
- Modifier les structures des fibres musculaires (développe les fibres rapides ou intermédiaires).

4.2.3 La filière anaérobie alactique

Cette filière crée de l'ATP en dégradant la **phosphocréatine (PCr)**, présente en très petite quantité. Cette vitesse issue de la voie anaérobie alactique peut être maintenue sur une très courte durée (7 à 15-20s). Il s'agit d'une vitesse explosive et pure. Tout comme pour les autres filières, il existe la puissance et la capacité anaérobie alactique :

- La **Puissance Anaérobie alactique** : Vitesse maximale : effort \geq à 7s.

- La **Capacité Anaérobie alactique** : 95% de la vitesse maximale.

Sports concernés par la filière anaérobie lactique : sports de puissance, d'explosivité, de force/vitesse, sprint court 100-200m, saut, lancer...

➤ Objectifs du développement de la voie anaérobie lactique

- Augmentation du taux de phosphocréatine intramusculaire.
- Amélioration de la vitesse de conduction neuromusculaire.
- Modification des structures des fibres musculaires (augmentation des fibres rapides).

Partie
méthodologique et
pratique

Chapitre 1

*Méthodologie de la
recherche*

1-Objectif de la recherche :

Notre travail de recherche est porté sur l'étude des qualités physiques des jeune qui s'entraînent en altitude et se qui s'entraîner en niveau de la mer.

L'évaluation de ces qualités physiques a été réalisée grâce à des tests physiques pour faire une comparaison entre les deux populations.

Notre objectif dans cette recherche est de déterminer l'existence ou non d'une différence au niveau des qualités physiques chez nos jeunes qui s'entraînent en altitude et se qui s'entraînent en niveau de la mer

2-Tache :

- réalisation d'un test vitesse de 60 mètre et un teste d'endurance de 600 mètre et un test de force détente horizontale (saut longueur).

- comparaison des résultats réalisés dans chaque test et pour les deux populations des athlètes qui s'entraînent en altitude et se qui entraînent en niveau de la mer.

3-L'échantillon :

Notre étude est portée sur un échantillon de 16 athlètes dont 8 issus du club de la ville de Bejaia RCA AMIZOUR et du club étoile sportive d'Amizour et de 8 athlètes issus du club ES Taskariout (étoile sportif Taskariout).

4-Méthodes de la recherche :

5-Matériels/outils :

Pour la réalisation des tests nous avons utilisé :

Des plots pour tracer les couloirs de vitesse, un sifflet pour faciliter le contrôle de la séance, signaler les départs lors des tests, un chronomètre pour prendre le temps réalisé lors du test de vitesse un terrain adapté à la course pour réaliser les tests, une piste de saut longueur et un décamètre.

6-Déroulement de la recherche

On à utiliser 3 teste tests qui seront utiles dans notre recherche :

6-1-Test de 60m vitesse : L'athlète est debout derrière la ligne de départ, au coup de sifflet départ et déclenchement du chronomètre, ce dernier démarre et accélère sur 60 mètre, le chronomètre s'arrête lorsque l'élève franchit la ligne d'arrivée.

6-2-Test de 600m Endurance : Ce test consiste à parcourir une distance de 600m en courant de manière régulière, sur un terrain plat et cela nous permet de déterminer le temps réalisé pendant cette distance.

7- Calculs Statistiques

- Moyenne- écart type
- Student
- Comparaison : test de Student pour échantillon indépendant

Remarque : pour le test du 600M vu la situation sanitaire et la restriction par rapport au protocole du covid, nous avons trouvé des difficultés. Aussi les périodes compétitives, pour la réalisation des tests souhaités à savoir d'un test navette ou d'un test Cooper (12M).

Chapitre 2

*Analyse et discussion des
résultats*

Les Corrélations pour les tests

La corrélation pour le test de 60 m vitesse :

Corrélations

		G1	G2
G1	Corrélation de Pearson	1	,967
	Sig. (bilatérale)		,000
	N	9	9
G2	Corrélation de Pearson	,967	1
	Sig. (bilatérale)	,000	
	N	9	9

La corrélation pour le test de saut horizontal :

Corrélations

		G1	G2
G1	Corrélation de Pearson	1	,101
	Sig. (bilatérale)		,796
	N	9	9
G2	Corrélation de Pearson	,101	1
	Sig. (bilatérale)	,796	
	N	9	9

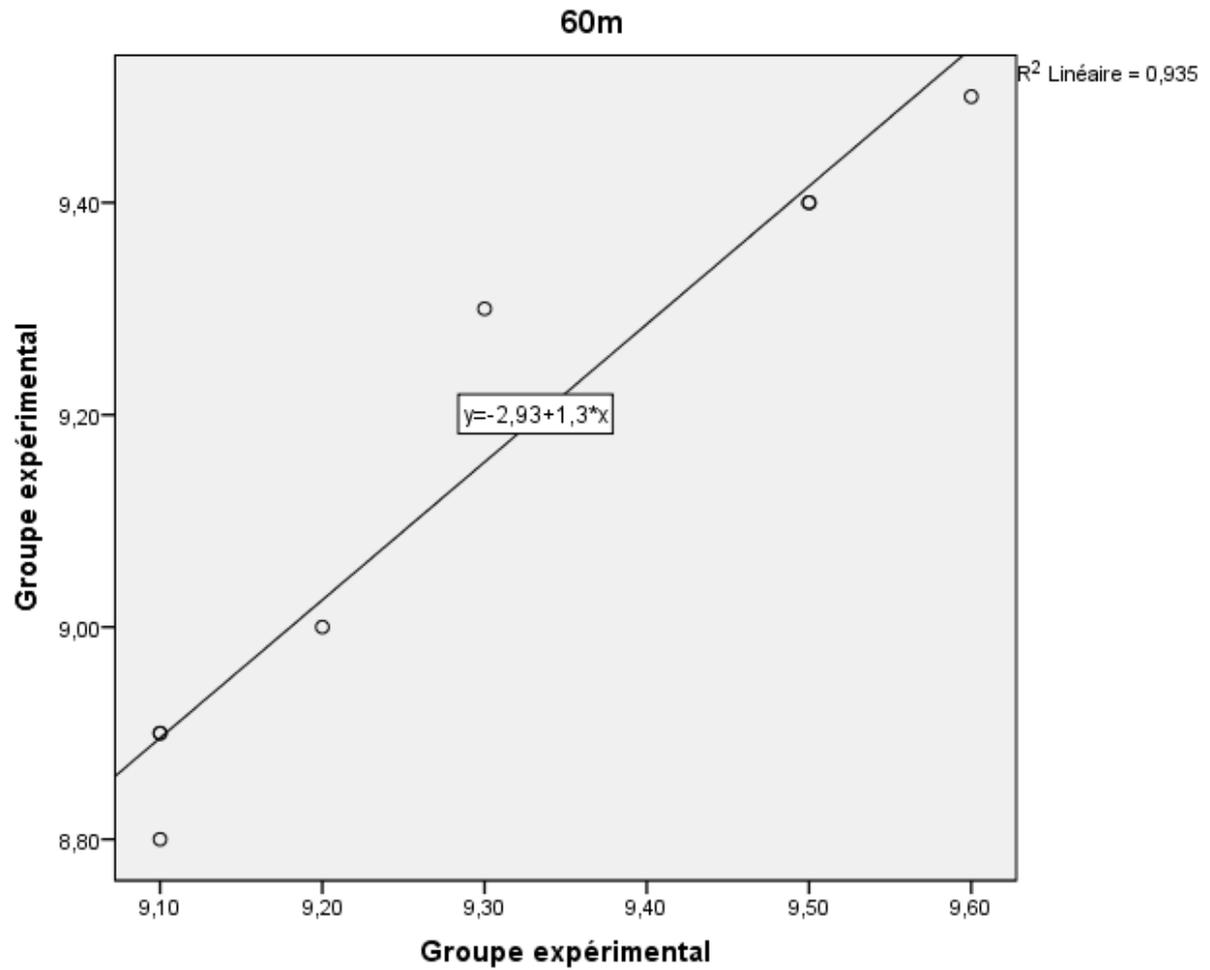
La corrélation pour le test de 600 m :

Corrélations

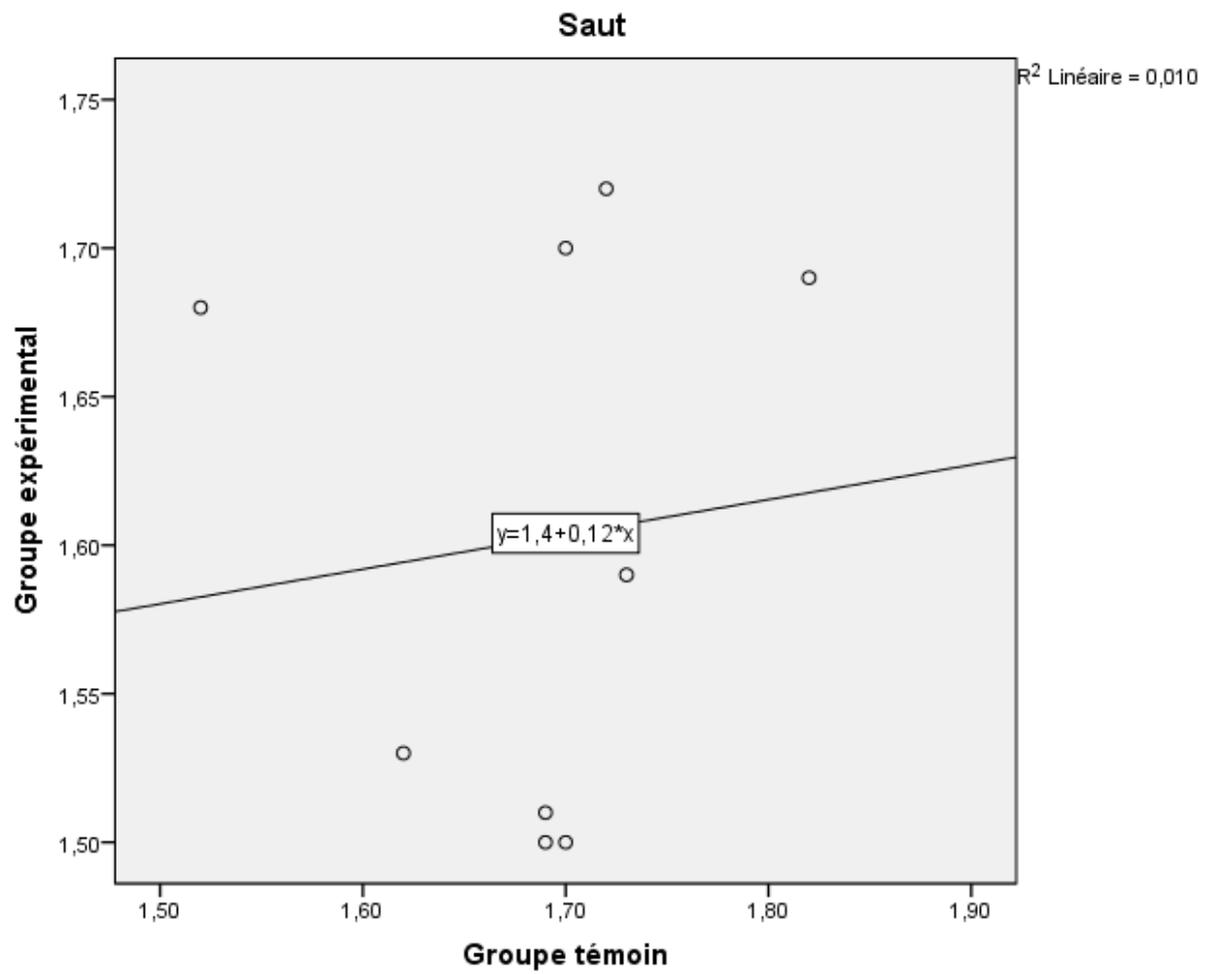
		G1	G2
G1	Corrélation de Pearson	1	,236
	Sig. (bilatérale)		,542
	N	9	9
G2	Corrélation de Pearson	,236	1
	Sig. (bilatérale)	,542	
	N	9	9

La droite de Régression pour chaque test

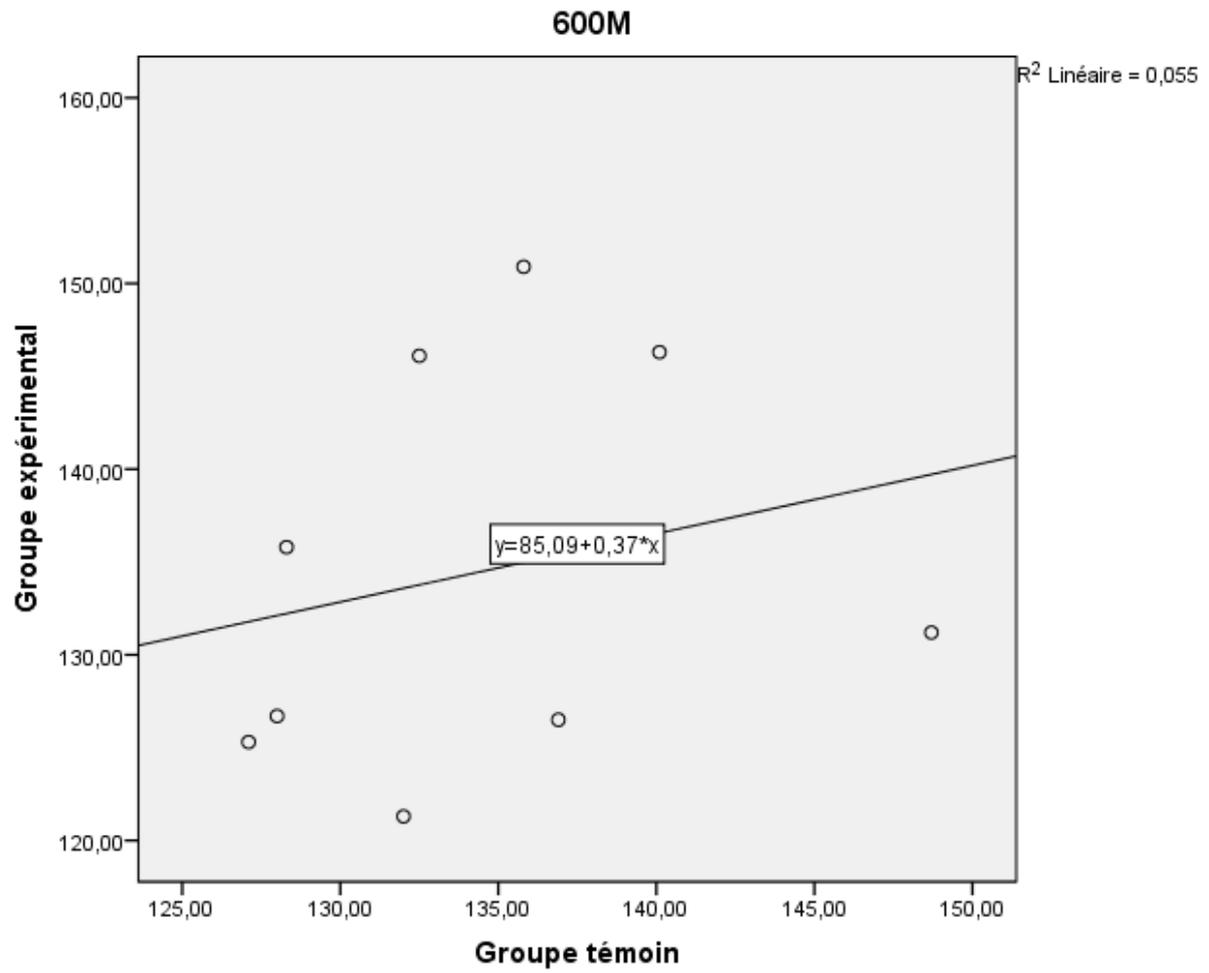
La droite de Régression pour le test de 60 m vitesse



La droite de Régression pour le test de saut horizontal



La droite de Régression pour le test de 600 m



Les Comparaisons pour chaque test

Les Comparaisons pour le test de 60 m vitesse

Groupe	Groupe exp (E S T) en seconde (s)	Groupe tem (Amizour) en seconde (s)	Sig. (bilatéral)
Nombre (N)	09	09	0,2 N S
Moyenne	9,16	9,30	
Ecart type	0,26	0,19	

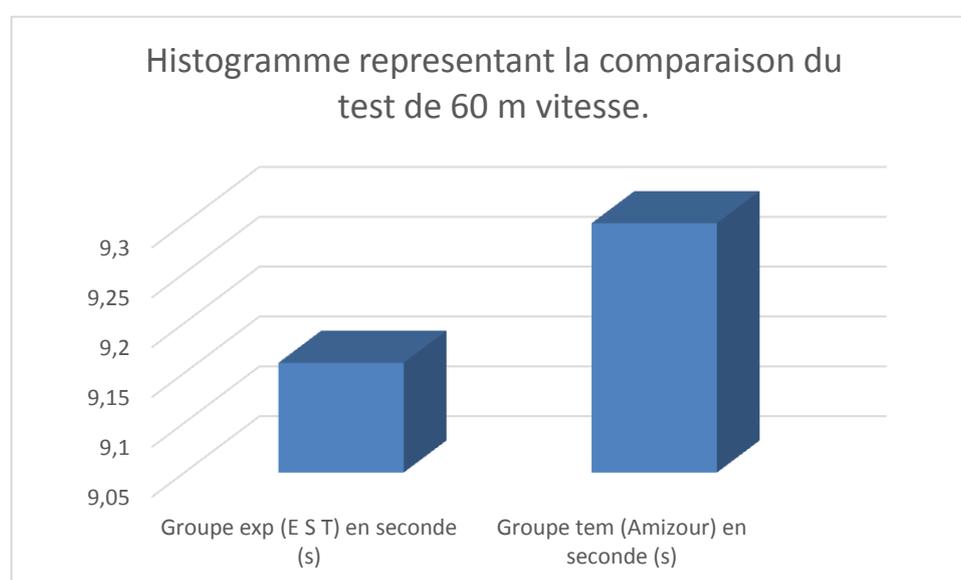


Figure 01 : Histogramme qui représente le test de 60M et les moyennes des deux clubs.

Interprétation : nous remarquons qu'il existe une légère différence statistiquement non significative

Les Comparaisons pour le test de saut horizontal

Groupe	Groupe exp (E S T) en seconde (m)	Groupe tem (Amizour) en seconde (m)	Sig. (bilatéral)
Nombre (N)	09	09	0,06 N S
Moyenne	1,60	1,69	
Ecart type	0,09	0,08	

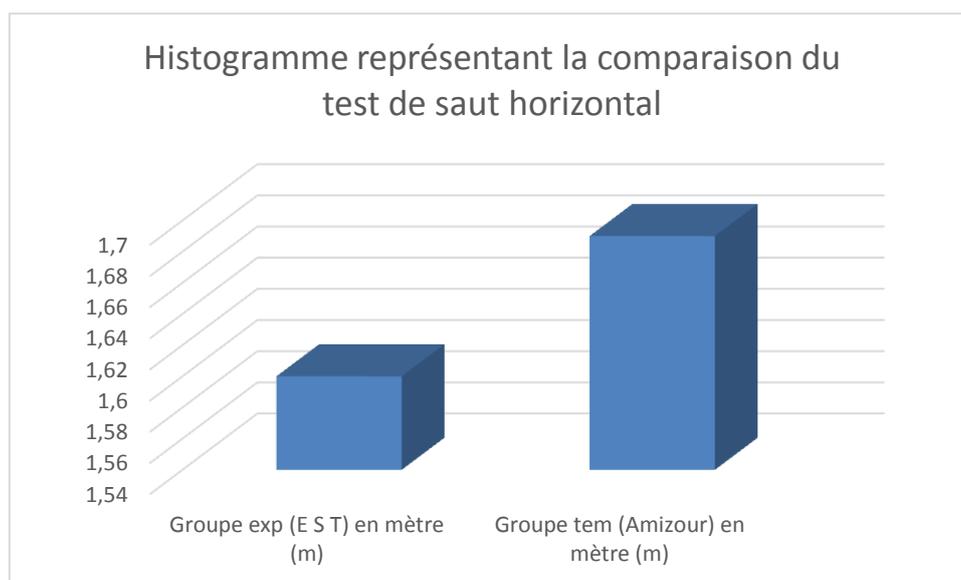


Figure 02 : Histogramme qui représente le test du saut horizontal et les moyennes des deux clubs.

Interprétation : nous remarquons qu'il existe une légère différence statistiquement non significative.

Les Comparaisons pour le test de 600 m

Groupe	Groupe exp (E S T) en seconde (s)	Groupe tem (Amizour) en seconde (s)	Sig. (bilatéral)
Nombre (N)	09	09	0,99 N S
Moyenne	134,46	134,38	
Ecart type	10,83	6,95	

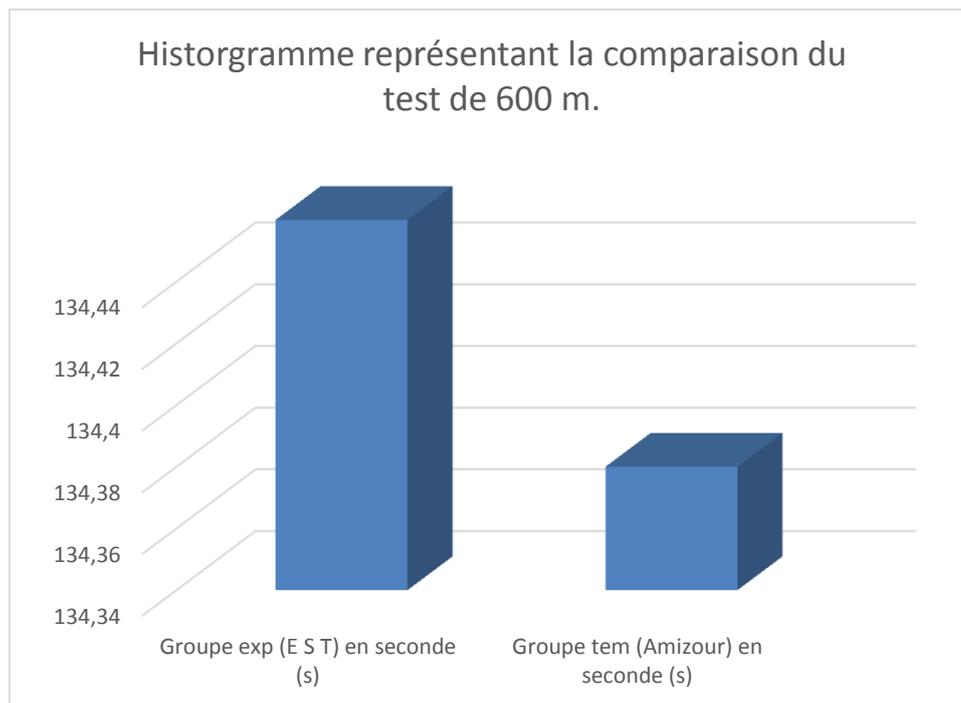


Figure 03 : Histogramme qui représente le test du saut horizontal et les moyennes des deux clubs.

Interprétation : nous remarquons qu'il existe une légère différence statistiquement non significative.

Chapitre 3

Discussion des résultats

Discussion des résultats

Notre travail de recherche est porter sur l'étude des qualités physiques chez les jeune qui s'entraient en altitude et ceux qui s'entraiment en niveau de la mer afin de déterminer la différence des deux milieux sur leur qualité physique.

Nous avons réalisé notre travail sur un échantillon de 18 athlètes dont 8 issu du club d'Amizour et 8 autres issus du club ES Taskariout.

Pour les tests physique nous avons utilisé le test de 60 mètre pour déterminer la vitesse et un test de 600mètre pour déterminer et évaluer l'endurance et un test de saut longueur et cela et réaliser pour les athlètes des deux milieux (se qui s'entraiment en altitude et se qui s'entraiment en niveau de la mer).a partir de ces test nous avons arrivé à faire déterminer la différence dans de leur qualité physique.

Comparaison des performances des tests (athlètes au niveau de la mer Amizour athlètes de l'altitude Taskriout) :

Par la comparaison des résultats des obtenu par les deux groupes nos constatent qu'il ya une légère déférence statistiquement non significative et cela pourrais être du aux types d'entraînement suivie par les deux groupes.

Pour le test de vitesse 60mètre nous avons observé qu'il n'ya pas de déférence statistiquement non significative cela pourrait être due au fait que les athlètes du club expérimentale habite et s'entraîne en altitude ont un meilleur programme d'entraînement que celui du club témoin Amizour.

Et pour le test d'endurance on trouve que par la comparaison des deux groupes nos constatons qu'il n'ya pas une déférence statistiquement non significative en faveur des deux groupes.

Et pour le dernier test le saut horizontal par la comparaison des résultats obtenu des deux groupes on constate qu'il existe une légère déférence statistiquement non significative entre les deux groupes.

La propreté de l'air en altitude est une réalité biologique. Selon *Jean-Paul Richelet* (1999) C'est l'une des raisons pour lesquelles les sportifs séjournent une ou deux semaines dans les hauteurs avant une grande épreuve. Ils profitent surtout du fait que l'altitude augmente la production de globules rouges (résultat de la moindre concentration de l'air en oxygène). Au moment de la compétition, la quantité d'oxygène transportée par le sang vers

les muscles est ainsi augmentée. Ainsi la performance et l'endurance se trouvent-elles favorisées.

L'entraînement en altitude vise à donner une impulsion d'entraînement au moyen d'une légère hypoxie (manque d'oxygène) et de développer une réserve de performance. Quand l'altitude augmente, la pression atmosphérique baisse et avec elle la quantité d'oxygène disponible provoquant une diminution de la performance. A 2500 mètres (8250 pieds) la respiration fait entrer environ 27% d'oxygène en moins dans l'organisme. La pression partielle de l'oxygène chute, bien que la proportion d'oxygène dans l'air reste la même qu'au niveau de la mer – 20,9%. Si le corps reste dans un milieu plus pauvre en oxygène pendant assez longtemps, il s'adapte. La respiration devient rapidement plus efficace – stimulée par la production d'hormone EPO (érythropoïétine) augmentant la capacité de transport d'oxygène du sang.

DAPRER Julia-Sarah : L'objectif de l'entraînement en altitude : les muscles ont besoin d'oxygène pour pouvoir fournir des performances (de haut niveau). Et en altitude, il est plus difficile de s'en procurer. Le corps doit alors s'habituer au manque d'oxygène et apprendre à l'absorber plus efficacement pour ensuite le redistribuer aux muscles et ainsi améliorer l'endurance.

Grace a nos résultats obtenu nous concluons qu'il existe des légères déférences statistiquement non significative entre les deux milieux (altitude et aux niveaux de la mer).

Et par cela, et notre hypothèse on ne concorde pas les citations des auteurs ci-dessus.

Conclusion

Conclusion générale

Les connaissances en sciences du sport sont de plus en plus nombreuses; on n'a qu'à penser à l'augmentation du nombre de congrès scientifiques et de colloques professionnels de même qu'à la multitude de publications touchant l'entraînement sportif pour s'en convaincre. Non seulement les connaissances augmentent telles, mais elles se diversifient.

La performance sportive est prise dans le sens du mot «performer», emprunté à l'Anglais (1839), qui signifie accomplir, exécuter. Ce terme vient lui-même de «performance», qui signifiait accomplissement en ancien français. Ainsi on peut définir la performance sportive comme une action motrice, dont les règles sont fixées par l'institution sportive, permettant au sujet d'exprimer ses potentialités physiques et mentales. On peut donc parler de performance sportive, quel que soit le niveau de réalisation, dès l'instant où l'action optimise le rapport entre les capacités physiques d'une personne et une tâche sportive à accomplir.

Pour but de trouver une réponse à notre problématique nous avons utilisé une méthode expérimentale à partir de nos tests physiques réalisés au niveau de deux clubs ;(test de vitesse 60mètre qui sert à évaluer la vitesse linéaire ,test d'endurance 600mètre qui sera évaluer la vitesse maximale aérobie, et un test de force saut longueur) avec un échantillon de 18 athlètes 8 issu du club d' Amizour et 8 athlètes issu du club es Taskariout et avec ses derniers nous avons travaillé pour réaliser notre travail de recherche.

Après avoir présenté les résultats de cette recherche sous forme de tableaux et histogrammes qui interprètent les temps et les distances parcourus par les athlètes on a constaté qu'il existe une différence significative pour les deux tests(test vitesse 60 mètre ,test de force saut longueur) et pour le test d'endurance (600mètre)il n'existe pas une différence significative donc nos résultats ne valident pas notre hypothèse qui dit que Les athlètes qui s'entraînent en altitude sont plus endurants que ceux qui s'entraînent en niveau de la mer. Cela apparaît dans les différences existantes entre les résultats du test d'endurance entre le club du milieu d'altitude (ES Taskariout) et le club du milieu de la mer (Amizour).

Conclusion générale

Notre étude comme toute autre étude présente des limites .on peut citer a titre d exemple la limite de l échantillon, si nous avions eu un peu plus de temps tels que les séance que nous avons rater et les moyens mis a notre recherche et avec plus de moyen comme test de laboratoire et le matérielle technologique nos permettre de bien approfondis dans notre recherche et sortir avec une conclusion plus précisés.

Les Références Bibliographiques

Les Références bibliographiques

- 1 - Millet, G., Brocherie, F., Faiss, R. and Girard, O. (2015) Entraînement en altitude dans les sports collectifs: Aptitude aérobie ET répétition de sprints. De Boeck.
- 2 - SOURCE. Association des médecins de montagne.
- 3 - Michel DELORE, éditions Amphara, octobre 2012
- 4 - Alexcendre dellal 2008
- 5 - Anselme F, Caillaud C, Courret I, Prefaut C (1992) Exercise induced hypoxemia and histamine excretion in extreme athletes. Int J Sports Med 13:80-1.
- 6 - Berglund B (1992) High-altitude training. Aspects of haematological adaptation.
- 7 - Brooks GA, Butterfield GE, Wolfe RR, Groves BM, Mazzeo RS, Sutton JR, Wolfel EE, Reeves JT (1991) Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m. J Appl Physiol.
- 8 - Mc Cleland GB, Hochachka PW, Weber JM (1998) Utilisation des glucides pendant l'exercice après l'acclimatation à haute altitude.
- 9 - Richalet JP, Fouillot JP (2005) Effets de l'hypoxie intermittente sur la variabilité de la fréquence cardiaque au repos et à l'exercice
- 10 - Vogt M, Pentschart A, Geiser J, Zuleger C, Billeter R, Hoppeler H (2001) Adaptations moléculaires du muscle squelettique humain à l'entraînement d'endurance dans des conditions hypoxiques simulées.
- 11 - Zaccaria M, Rocco S, Noventa D, Varnier M, Opocher G (1998) Hormones régulatrices de sodium à haute altitude: niveaux basaux et post-exercice.
- 12 - Les bases de l'entraînement sportif, Ed .Revue EPS, Paris, 1992
- 13 - Thierry GAULT - Professeur de Cyclisme de la Direction Régionale de la Jeunesse et des Sports -Créé : Novembre 2008, Mise à jour : Avril 2014

Les Références Bibliographiques

14 - Physiologie appliquée à l'activité physique, in Manuel de l'éducateur sportif. Préparation au Brevet d'Etat, 8ème édition, Vigot, Paris, 1989.

15 - Livret réalisé par Julien Lugier. Préparateur physique en football.

16 - Hanifi, R. & Belhocine, M., 2012, pp.110-111

17 - Wilmore, J-H. & Costill, D-L., 2006

18 - Guide pratique de la préparation psychologique du sportif «. Edgar Thill / Philippe Fleurance, Vigot, 1998.

19 - Psychologie du sport et de l'activité physique ». R.S.Weinberg / D. Gould, Vigot, 1997.

20 - La préparation psychologique du sportif ». Raymond Thomas, Vigot, 1994.

21 - Guezennec. C.-Y, (2017), Nutrition du sportif, Elsevier Masson SAS, Québec.

Résumé

Résumé

L'objectif de notre étude est de comparer les qualités physiques chez les athlètes habitant en moyenne altitude et ceux habitant en basse altitude.

L'entraînement en altitude s'explique par les bénéfices d'ordre physiologiques générés en augmentant la masse total d'hémoglobine (c'est -à-dire de globule rouge).

Les résultats obtenus de notre étude montrent qu'ils n'ya pas de différence pour le teste vitesse (60M) entre les deux groupes et le teste d'endurance.

Et pour le dernier teste (le saut horizontale) on constate qu'il existe une légère différence.

Mots clés : performance, l'entraînement, l'altitude.