

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UN PEUPLE-UN BUT-UNE FOI
*** **

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE



*** **

INSEPS

UNIVERSITE CHEIKH
ANTA DIOP DE DAKAR

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR
DE L'EDUCATION POPULAIRE
ET DU SPORT

MEMOIRE DE MAITRISE ES-SCIENCES ET
TECHNIQUES DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET
DU SPORT (STAPS)

THEME :

MESURE DE LA PUISSANCE AEROBIE
MAXIMALE : ETUDE DE VALIDITE
DES EPREUVES DE COOPER ET DE
BALKE, ET LEUR COMPARAISON AVEC
L'EPREUVE DE COURSE NAVETTE 20m

Présenté et soutenu par :
Pape Modou FAYE

Sous la direction de :
Monsieur Moussa GUEYE
Professeur de Physiologie à l'INSEPS

ANNEE UNIVERSITAIRE 2003-2004

REPUBLIQUE DU SENEGAL

Un peuple-Un but-Une foi

*** **

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

*** **



UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP

INSEPS

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR DE
L'EDUCATION POPULAIRE ET DU SPORT

**MEMOIRE DE MAITRISE ES SCIENCES ET
TECHNIQUES DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DU
SPORT (STAPS)**

THEME :

*MESURE DE LA PUISSANCE AEROBIE MAXIMALE :
ETUDE DE VALIDITE DES EPREUVES DE COOPER ET
DE BALKE, ET LEUR COMPARAISON AVEC L'EPREUVE
DE COURSE NAVETTE 20m*

Présenté et soutenu par :

PAPE MODOU FAYE

Sous la direction de :

Monsieur MOUSSA GUEYE

Professeur de physiologie à l'INSEPS

ANNEE UNIVERSITAIRE 2003-2004

DEDICACES

Au nom de DIEU, le clément et miséricordieux, louange à ALLAH, le seul seigneur des êtres, Paix et salut sur son ELU, seaux des prophètes, MOUHAMED IBN ABDALLAH, AL HACHIMI, AL KHOUREYCHI

*A mon père EL HADJI ABDOULAYE FAYE

Tu es un modèle de sagesse et de simplicité. Merci pour tout ce que tu as fait pour nous. Ce travail est le tien.

*A ma mère ADAME NDIAYE

Le moment est venu pour moi de te rendre hommage, de te témoigner mon immense affection et ma profonde reconnaissance pour tous les sacrifices consentis.

Mes vœux le plus cher sont que tu vives longtemps afin de pouvoir bénéficier des fruits de l'arbre que tu as planté et dû entretenir dans les conditions difficiles.

*A mes frères et sœurs : MOUSSA, PAPE SAMBA, NGOR, ELHADJI ALIOUNE dit ASS, ALIOUNE BADARA, NDIEME, AMY, OUMI, AGNA,

Voilà le modeste exemple d'un frère que vous pouvez dépasser.

Restez confiants en l'avenir en entretenant cette belle entente familiale.

*A Mon oncle Babacar Ndiaye

Ma dette envers toi est absolue. Tu as été pour moi un maître, une référence, un père..., l'homme du destin. Daigne trouver ici, les témoignages de ma profonde gratitude et toute mon admiration. Je te dédie ce travail avec toute ma reconnaissance.

* Ousmane et madame SENGHOR

Votre soutien, votre patience et votre disponibilité m'ont été d'un grand soutien. Je vous serais toujours reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi. Je vous exprime à travers ce travail toute mon affection.

*A mon grand frère et ami MOUSSA FAYE

D'une main fraternelle, sure, patiente et indulgente vous avez guidé mes pas. Par vos conseils, votre confiance et votre attention soutenue, vous avez facilité mon adhésion au STAPS. Votre compétence et vos qualités humaines témoignent d'un sens aigu des responsabilités, vous honorent et font notre fierté.

Qu'il me soit permis de vous dire, ici toute ma gratitude.

*A ABDOU KHADRE MBODJI

In Memoria

Au saint homme, l'homme plein de charmes, la générosité personnifiée, nous trouvions chez toi, tellement de chaleur, de réconfort et conseils avisés.

Aujourd'Hui encore, ton souvenir nous revigore et nous aide à surmonter les épreuves.

Veuille ALLAH t'accueillir en son PARADIS parmi les meilleurs.

*A ma très chère amie :AWA BADJI

Votre dévouement servi par une gentillesse toute naturelle m'aura été d'une aide inestimable. Ce travail est d'abord le votre.

*Je dédie à la mémoire de mon grand père et homonyme, PAPE MODOU TAMSIR NDIAYE, qui a été arraché à notre affection au moment où nous avions tellement besoin de lui. Ta bonté, ton humilité, ta sagesse, ta clairvoyance, ton courage demeure, pour nous une source intarissable d'inspiration et de fierté. Nous avons la conviction que quelque part tu continues de veiller sur nous. Dieu soit loué qui t'a fait grand combattant de l'armée des saints.

REMERCIEMENTS

Ceci est pour moi l'occasion d'exprimer toute ma gratitude à tous ceux qui de près ou de loin m'ont donné beaucoup de conseil, leur soutien et leur disponibilité dans ce travail.

✓ Mes remerciements vont tout particulièrement à :

Mon directeur de mémoire : Monsieur le professeur MOUSSA GUEYE

Nous avons toujours été impressionnés par votre rigueur scientifique et votre disponibilité. Vous êtes un professeur consciencieux à l'enseignement riche et clair. Votre sympathie et votre compétence commandent notre admiration. Vous êtes une référence pour nous, et sans vous ce travail n'aurait pu être ce qu'il est.

Je vous exprime toute mon estime et ma gratitude.

✓ Notre infirmier MBARGOU FAYE

Merci pour votre soutien

✓ Mention spéciale aux étudiants de la 2^{ème} année pour leur soutien constant, leur compréhension et leur disponibilité lors de mon expérimentation. Merci mille fois à vous !

✓ Tous les professeurs de l'INSEPS

Pour leur contribution sans limite à notre formation de qualité Qu'ALLAH vous accorde longue vie et une santé de fer.

✓ Aux femmes secrétaires de l'INSEPS

J'octroie ce travail à MARIE DIENE, Madame SYLLA

Pour votre gentillesse et votre disponibilité à nous orienter

✓ Tout le personnel de l'INSEPS.

✓ A nos deux bibliothécaires : ANASTASIA et GREGOIRE

✓ A tous les étudiants de notre promotion et ceux de l'INSEPS

Pour les bons moments passés à l'école et au campus universitaire, bonne réussite à tous.

✓ A mon frère et ami BIRAME NDIAYE

Ton soutien, ton réconfort et ton amour m'ont beaucoup aidé.

Amour sincère.

✓ A mes grands frères de l'INSEPS : MOUSTAPHA CISS, OUSSEYNOU LO, ASSANE DIOP, NDIAGA NDIAYE, BAMBA CISSE, FABRICE NZALE

L'attention agréable et encourageante que vous n'avez cessé de me témoigner, nourrit une émulation que je voudrai féconde afin de mériter votre affection. Merci

✓ A Monsieur le professeur : JEAN FAYE

Nous avons beaucoup apprécié votre humilité, votre ouverture d'esprit, votre gentillesse et votre disponibilité. Toutes ces qualités sont la preuve d'éminent scientifique et d'homme de bien.

Soyez assuré de notre grande estime et de notre gratitude.

✓ A mes amis et voisins de chambre : MADI AW MBENGUE, IBRAHIMA BA, ABDOU MAJIB SARR, DA OUDA FALL, CHEIKH FALL, PAPE OUSMANE FALL, NGAGNE, THI ERNO BA, KHADIM et MAMADOU MARAME GNING ET ADAMA GNING.

✓ A mes sœurs : OULIMATA FAYE, NDEYE LENA FAYE, AICHA DIALLO, PENDA SY, IPHIGENIE MBAYE, DIATOU CAMARA, KHADY KANE, MARIAMA FERY BADJI

✓ A tous mes enfants : petit MOUSSA, Serigne Saliou, petit Baye Laye, petit Maguette Séné

✓ A mes femmes : Adj i Bocandé, Soukeyna Touré, Ami salam, Mariétou Guéye

✓ A mes filles : petite Adj i Bocandé, petite Diaba, Ami et Mariétou Senghor

✓ A mes tantes : Diaw Mbaye, Yamou Ndaw, Adj i Ndiaye

✓ A tous mes amis d'enfance et compagnons de notre groupe « dattegui »

Sommaire

Problématique.....	1-3
Chapitre 1 : Cadre théorique.....	4
1-1 L'énergie : élément indispensable à la vie.....	5
1-1-1./ Définition et Origine.....	5-6
1-1-2/ L'ATP.....	6
1-1-3/ La resynthèse de l'ATP.....	6-9
1-1-4/ Les différentes techniques de mesures de l'énergie.....	9-11
1-2 La consommation maximale d'oxygène (vo2 max).....	12
1-2-1 Unités de mesure.....	12
1-2-2 Evolution du vo2 max au cours d'effort d'intensités différentes....	12-14
1-2-3 Importance de la consommation maximale d'oxygène (vo2max)....	14-15
1-2-4 Les facteurs limitant.....	15-17
1-2-5 Les moyens et mécanismes permettant l'augmentation du vo2 max..	17-19
1-2-6 Les différentes techniques de mesures de la consommation maximale d'oxygène.....	19-21

Chapitre II : Méthodologie	22
2-1 Matériels et méthodes	23
2-1-1 Population.....	23
2-2 Méthodes.....	24
2-2-1 Protocoles.....	24
2-2-2 Etude pré expérimentale.....	24-28
2-2-3 Etude expérimentale.....	28-31
Chapitre III : Présentation, Analyse et Discussion des résultats	32
3-1 Présentation des résultats	33-37
3-2 Analyse des résultats.....	37-44
3-3 Discussion des résultats.....	44-45
Résumé et conclusion.....	46-48
Bibliographie.....	49-52

PROBLEMATIQUE

PROBLEMATIQUE

Beaucoup de recherches portant sur les effets physiologiques de l'exercice ou de l'entraînement sont en rapport avec la consommation maximale d'oxygène. Cette dernière peut être définie comme étant «l'aptitude maximale de l'individu à capter l'oxygène, à le transporter et à l'utiliser au niveau musculaire » (Green H, PATIA A, 1992). Elle représente aussi la quantité d'oxygène consommée par un sujet par unité de temps. En outre, la consommation maximale d'oxygène constitue un des critères objectifs souvent retenus pour apprécier l'amélioration de la condition physique. Elle est aussi appelée le débit le plus élevé d'oxygène qu'un sujet peut prélever et utiliser lors d'un exercice musculaire généralisé et interne conduisant à l'épuisement au-delà de deux minutes ou le volume de consommation maximale d'oxygène (Vo_2max).

Ainsi, ce $Vo_2 max$. est un indice important pour la prédiction de la performance aérobie dans certaines disciplines sportives. Il constitue le facteur d'aptitude physique le plus significatif.

Toutefois, ce $Vo_2 max$. est difficile à mesurer directement de manière précise si on n'est pas doté de moyens de laboratoire sophistiqués et coûteux avec un personnel qualifié. Pour palier ces problèmes rencontrés, les scientifiques, les entraîneurs, les éducateurs et dirigeants sportifs utilisent plutôt d'autres méthodes d'évaluation du $Vo_2 max$. sur le terrain.

Par ailleurs, l'épreuve de course navette vingt mètres mise au point par Luc Léger et ses collaborateurs, et conçue en 1983, a été comparée aux tests de laboratoire les plus fiables et les plus valides qui, à partir du prélèvement de gaz respiratoire donne la meilleure indication possible de la puissance aérobie maximale ou consommation maximale d'oxygène. Les résultats montrent une forte corrélation entre les deux tests donnant ainsi un bon niveau de validité à la course navette vingt mètres.

C'est pourquoi nous avons choisi le test de course navette vingt mètres comme test de référence, et cela pour sa simplicité et sa facilité d'accès.

Notre objectif est d'étudier le niveau de validité et de fidélité des tests de terrain utilisés pour mesurer ou prédire la consommation maximale d'oxygène.

Et pour ce faire, nous allons d'abord dégager le cadre théorique ou conceptuel de la puissance aérobie maximale, pour ensuite faire une revue des différentes méthodes de mesure de la puissance aérobie maximale et enfin présenter notre expérimentation, l'analyse et la discussion des résultats qui en découlent.

CHAPITRE I:
LE CADRE THEORIQUE
(ou conceptuel)

1-1 L'ÉNERGIE : élément indispensable à la vie

Les ressources énergétiques sont à la base des possibilités d'action des individus. Sans énergie, aucune action ne peut être déclenchée et à fortiori être poursuivie.

1-1-1 Définition et origine

Étymologiquement, le terme énergie signifie force en action. Au niveau physique, l'énergie se définit comme étant la faculté d'un corps à fournir un travail mécanique ou son équivalent. Outre sa forme mécanique, elle peut être présente sous les formes chimique, nucléaire, calorifique, rayonnante, électrique.

Le premier principe de la thermodynamique postule que l'énergie ne se crée, ni se perd mais se transforme et notre organisme ne contredit pas ce principe universel. C'est par déformation de langage que nous disons que l'organisme produit de l'énergie.

Ici nous nous intéressons au passage de la forme chimique à la forme mécanique et calorifique. Ainsi pour que celui-ci soit réalisé, l'organisme puise son énergie à partir des rayons solaires projetés sur la terre (or le soleil est le siège de réactions nucléaires qui produisent l'énergie dont une partie nous arrive sous forme de lumière). Cette énergie solaire est absorbée par la chlorophylle des plantes. C'est là qu'elle excite l'électron de l'atome d'hydrogène constitutif de la matière vivante. Grâce à l'énergie de l'électron, l'organisme humain va pouvoir assurer :

- la synthèse de molécules simples (anabolisme des protéines à partir d'acide aminé par exemple)

- la production d'énergie thermique pour maintenir l'organisme à température constante et la production d'énergie mécanique à usage soit interne (travail du cœur, des poumons, de l'appareil digestif), soit externe (tonus musculaire, activité physique). Bref grâce à l'électron excité par le soleil, notre organisme va assurer le maintien de sa structure et de sa capacité d'action. Enfin cette énergie provient aussi des glucides, des lipides et dans certaines conditions des protides présents dans la ration alimentaire.

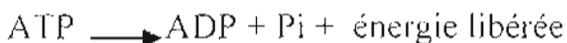
Et pour que le mouvement soit possible, cette énergie doit passer de sa forme chimique à une forme utilisable par le muscle. Or l'énergie directement utilisable par un organisme est presque systématiquement portée par des composés phosphates proches de celui utilisé par nos muscles. Ce composé porte le doux nom d'ATP (31)

1-1-2 La monnaie d'échange de l'énergie : L'ATP

Pour courir, nous utilisons donc de l'ATP, le coupons et récupérons l'énergie que cette scission libère. Cette molécule a été découverte par LOHMANN en 1929 et elle est constituée d'un composé complexe l'adénosine et trois groupements phosphates. Or ce qui caractérise les liens entre deux phosphates, c'est l'énergie qui leur est associée. Une grande quantité d'énergie doit être apportée à la réaction pour établir une telle liaison. Au total lorsqu'une liaison phosphate est rompue :

- un groupe phosphate est enlevé de la molécule d'ATP
- de l'énergie est produite (7 à 12 kcal selon HULTMAN et KARLSSON)
- de l'ADP et un phosphate inorganique (Pi) sont formés.

Ainsi la réaction chimique associée est :



Cette énergie libérée au cours de la dégradation de l'ATP constitue la source immédiate d'énergie pouvant être utilisée par le muscle pour se contracter. Elle représente le moyen de transport le plus commun de l'énergie dans l'organisme vivant. Elle s'épuise et elle a besoin d'être resynthétisée.

1-1-3 La resynthèse de l'ATP

Pour fonctionner le muscle utilise une substance appelée adénosine triphosphate (ATP). L'ATP se retrouve en très petite quantité dans le muscle et s'épuise rapidement. Le muscle doit donc renouveler sans cesse son ATP pour accomplir la tâche prescrite. Les cellules musculaires renouvellent l'ATP de trois façons :

- par le système anaérobie alactique
- par le système anaérobie lactique
- et par le système aérobie

Chacun de ces systèmes est caractérisé par une capacité (quantité totale d'énergie potentielle) et une puissance (quantité d'énergie délivrable par unité de temps). Par comparaison avec un réservoir muni d'un robinet, la capacité correspond au volume et la puissance au débit du robinet.

- ❖ Le système des phosphènes ou ATP – PC : puissant - explosif

Dans ce système, l'énergie nécessaire à la resynthèse de l'ATP provient de la dégradation de phosphocréatine qui est un composé naturel du muscle. La puissance de l'ATP – PC est très élevée (4 à 12 kw), elle est disponible immédiatement et ne peut être maintenue plus de huit secondes alors que sa capacité ou endurance est très faible (23 à 36 kJ) en raison de sa faible quantité dans le muscle, la durée de l'effort ne dépasse pas vingt secondes et la durée de la récupération après une sollicitation maximale est de 6 à 8 minutes. Ce système est principalement utilisé dans les sports «explosifs» (haltérophilie, sauts, course sur 100 mètres, 50 mètres nage).

- ❖ Le système anaérobie lactique ou système de la glycolyse anaérobie : fort – rapide

Ce système d'énergie ne requiert pas d'oxygène et entraîne une accumulation d'acide lactique musculaire, d'autant plus importante qu'il est plus sollicité, n'utilise que les glucides (glycogène et glucose) comme substrats, libère une petite quantité d'énergie (une molécule de glucose donne 2 ATP).

Il est principalement utilisé dans les sports « intermédiaires » (gymnastique, course de 400 m en athlétisme plat, 100 à 300 m nages); de même à ski alpinisme, la période de départ et les courtes montées de 30 secondes à 2 minutes sollicitent ce système.

Sa capacité est de 95 à 120 kJ, sa puissance maximale est de 3 à 8 kw, elle est disponible progressivement et ne peut généralement être maintenue plus d'une

minute et la durée de récupération après une sollicitation maximale est de 1 à 2 heures. la durée de l'effort ne dépasse pas 3 minutes.

- ❖ Le système aérobie ou oxydatif : peu puissant-endurant (pour plus de 3 minutes d'effort)

Ce système énergétique produit des quantités considérables d'énergie (1 mole de glucose donne 38 ATP) par la dégradation tout d'abord du glycogène puis les lipides avec consommation d'oxygène.

Ainsi pour un effort de 10 minutes environ, 90% de l'énergie proviendra de ce système alors que pour un effort de quelques heures comme la course de marathon au-delà de 99% de l'énergie en sera issue. Autre avantage de système c'est qu'il ne produit pas de l'acide lactique, les sous produits des réactions chimiques étant plutôt de l'eau, du gaz carbonique et de la chaleur qui peuvent être éliminés au fur et à mesure de leur production.

Il est utilisé dans tous les sports de moyenne et de longue durée (marathon, match de football de 120 minutes, la montée d'un cycliste à 100 m, 1500 m, 3000 m, etc....) . Sa capacité est quasiment illimitée ; sa puissance maximale est de 1 à 2 kw et elle est disponible très progressivement et ne peut généralement être maintenue plus de 07 minutes. La durée de récupération après une sollicitation maximale est de 24 à 48 heures (33)

Ce système est la source principale car elle permet de régénérer les précédentes. Il faut l'améliorer chez tous les individus (sportifs ou non). La capacité aérobie (quantité d'énergie totale susceptible d'être fournie par voie oxydative) n'étant pas mesurable, on analyse à sa place l'endurance qui est la décroissance de la puissance dans le temps.

Or la puissance aérobie correspond à l'aptitude à consommer l'oxygène (transport et utilisation). Le transport d'oxygène dépend du nombre de globules rouges

(Hématocrites) et du débit cardiaque. L'utilisation de l'oxygène dépend de l'efficacité oxydative des cellules (nombre et dimensions des mitochondries). L'endurance aérobie correspond à l'aptitude à consommer le plus longtemps possible de grandes quantités d'oxygène. Elle dépend de la densité capillaire dans la structure musculaire et des réserves glucidiques et hydriques.

Bien que l'on puisse distinguer facilement certaines caractéristiques de ces systèmes, il convient de mentionner qu'en aucun temps, tant au repos qu'en exercice, un seul système fournit la totalité de la demande d'énergie. La contribution relative de chacun d'eux étant déterminée d'abord par l'intensité de l'effort et ensuite par sa durée. La contribution du système anaérobie sera prépondérante lors d'efforts intenses de courte durée alors que celle du système aérobie sera prépondérante lors d'efforts de faible ou de moyenne intensité mais de durée prolongée. Enfin la quantité d'énergie produite par l'organisme au repos et à l'effort musculaire peut être évaluée précisément par des méthodes directe et indirecte.

1- 1- 4 Les différentes techniques de mesure de l'énergie

L'énergie est mesurée par les calorimétries directe et indirecte.

***La calorimétrie directe**

C'est la mesure de la quantité de chaleur dégagée par l'organisme. Cette quantité de chaleur peut être mesurée directement dans un calorimètre. Ce dernier consiste en une chambre hermétiquement fermée et entièrement isolée. La chaleur produite et irradiée par l'individu est absorbée par l'eau circulant à vitesse constante dans des serpentins placés près du plafond. La différence de température entre l'eau qui entre et qui sort représente la quantité de chaleur produite par l'organisme. De l'air humidifié est introduit continuellement dans la chambre et le gaz carbonique expiré est absorbé par des substances chimiques. De l'oxygène est ajouté à l'air qui retourne dans la chambre afin de maintenir normal l'approvisionnement de ce gaz.

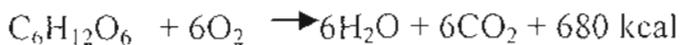
Les méthodes de calorimétrie directe, quoique très précises et théoriquement utiles sont inapplicables au calcul de la dépense énergétique d'individus en activités récréative, sportive ou occupationnelle. Dans ces situations, on utilise presque toujours des méthodes indirectes. (16)

***La calorimétrie indirecte**

Dans celle-ci, le sujet respire à travers un appareil appelé spiromètre (en circuit fermé lorsque l'individu est au repos et en circuit ouvert lorsqu'un sujet exerce une activité physique) qui recueille les bulles de gaz et mesure le volume d'oxygène utilisé. (16)

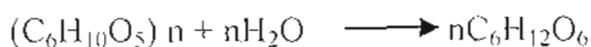
Ce volume sert ensuite à calculer le nombre de kilocalories.

Ainsi on se base sur le coefficient thermique de l'oxygène (CTO) et sur le quotient respiratoire ($Q_r = V_{CO_2} \text{ rejeté} / V_{O_2} \text{ absorbé}$ et ces éléments ont la même unité, la même pression et le même temps). Par exemple, l'oxydation complète du glucose dans les cellules musculaires et nerveuses peut se résumer ainsi :



Il faut 134,4 litres ($22,4 \times 6$) pour oxyder complètement une mole de glucose (180 g). Lorsqu'un litre d'oxygène est utilisé à l'oxydation totale du glucose, il y a libération de $680 / 134,4 = 5,05 \text{ kcal}$ (5,05 kcal est le coefficient thermique de l'oxygène pour le glucose et son $Q_r = 6 \times 22,4 / 6 \times 22,4 = 1$).

Si au cours d'un exercice physique, on mesure pendant le même temps le volume d'oxygène absorbé ($V_{O_2} \text{ absorbé}$) et le volume de gaz carbonique rejeté ($V_{CO_2} \text{ rejeté}$) et si le $Q_r = 1$, on en déduit que le sujet a consommé du glucose pendant son exercice. Ce qui permet de calculer immédiatement l'énergie dépensée à savoir : $E = (V_{O_2} \times 5) \text{ kcal}$. Au cours d'un exercice aérobie, un individu normal consomme essentiellement du glucose lequel provient de l'hydrolyse du glycogène musculaire et hépatique :



De la même manière, on a pu calculer le coefficient thermique de l'oxygène (CTO) pour les lipides et les protides ainsi que les quotients respiratoires (Q_r)

correspondants. On peut résumer comme suit les données dont on se sert pour faire les mesures de dépense d'énergie.

	Quotient respiratoire (Q _r)	Coefficient thermique de l'oxygène (CTO)	Pouvoir calorifique dans les conditions physiologiques
Glucides	1	5	4 kcal /g
Lipides	0,7	4,7	9 kcal /g
Protides	0,80	4,5	4kcal /g
Mélange	0,82	4,82	4,5kcal /g

(31)

Ensuite on peut mesurer le coût énergétique grâce à la télémétrie. L'enregistrement de la fréquence cardiaque par télémétrie (l'appareil capte la fréquence cardiaque du sujet et la transmet à un récepteur - enregistreur). Cet appareil (léger et compact permet d'effectuer une activité physique sans avoir à demeurer près du récepteur) est particulièrement intéressant, car pour des puissances de travail sous maximales la fréquence cardiaque est reliée de façon linéaire au travail fourni et la consommation d'oxygène. Et l'usage de la télémétrie permet d'évaluer la consommation d'oxygène de nombreuses activités physiques et sportives qui normalement serait impossible à déterminer. Elle permet aussi de mesurer la fréquence cardiaque au cours de ces activités, ce qui permet d'évaluer l'intensité des activités (en général, la fréquence cardiaque et l'intensité de l'exercice sont proportionnelles c'est à dire plus la fréquence cardiaque est élevée, plus l'intensité est élevée). Ainsi au cours d'un effort de type aérobie, cette consommation d'oxygène augmente de façon linéaire avec la puissance jusqu'à atteindre son maximum. Cet état stable est appelé puissance aérobie maximale ou consommation maximale d'oxygène. (14)

1-2 La consommation maximale d'oxygène (V_{O_2max})

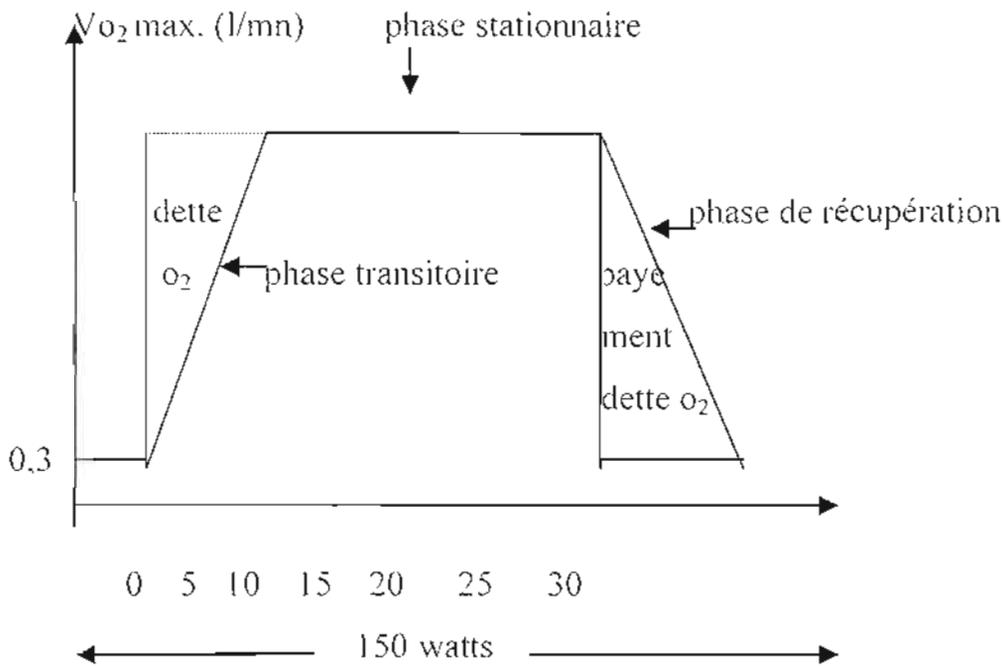
Le V_{O_2max} qu'est susceptible de réaliser un organisme, est fonction du débit d'oxygène dont peut disposer un muscle, dépend des facteurs cardiovasculaires et de l'activité métabolique aérobie liée à des facteurs enzymatiques.

1-2-1 Unités de mesure

Le V_{O_2max} est habituellement exprimé en volume par minute (l/mn) dans des disciplines sportives telles que le cyclisme et l'aviron dans lesquelles le poids ne constitue pas une charge importante pour l'athlète. Il est exprimé aussi en volume par kilogramme de masse corporelle et par unité de temps dans les activités telles que la course à pied dans lesquelles les athlètes supportent leur poids (ml/mn/kg).

1-2-2 Evolution du V_{O_2max} au cours d'effort d'intensité différente

*Evolution du V_{O_2max} en fonction de l'intensité sous maximale

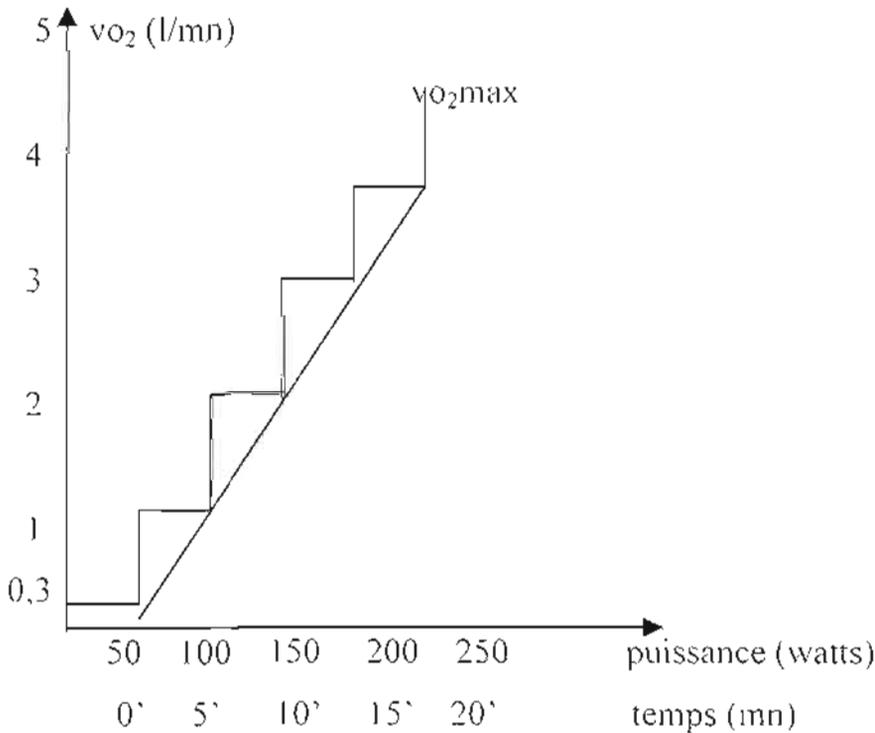


Au début de l'exercice, l'organisme puise l'énergie à partir des réserves d'ATP, CP et de la glycolyse anaérobie pour satisfaire les besoins de l'effort. Cela veut dire que le prélèvement d'oxygène par les poumons est inférieur aux besoins des

muscles. C'est ainsi que certains auteurs parlent de dette d'oxygène parce que l'oxygène n'étant pas arrivé en quantité suffisante au niveau des muscles actifs.

Le Vo_2max augmente très rapidement dès le début de l'effort (composante rapide) puis lentement (composante lente ou phase transitoire) jusqu'à atteindre un état d'équilibre ou son niveau maximal qui dépend du niveau d'entraînement de l'athlète et du retour au calme (phase stationnaire). A la fin de l'effort, l'organisme consomme pendant quelques minutes plus d'oxygène qu'au repos et ceci en vue de restaurer les réserves d'ATP et d'oxyder les déchets métaboliques engendrés par l'effort notamment l'acide lactique. C'est ainsi que les anciens auteurs pensaient qu'il y avait paiement de la dette d'oxygène.

***Evolution du Vo_2max en fonction de l'intensité maximale**



Au repos nous utilisons une certaine quantité d'oxygène ($\text{Vo}_2 = 0.3 \text{ l/mn}$) et quand nous faisons un effort, cette quantité s'accroît. Lors de l'effort progressif, le Vo_2 augmente de manière linéaire avec l'intensité de l'exercice (ASTRAND et RODAHL, 1994) jusqu'à un niveau caractérisé par une absence d'augmentation de l'oxygène consommé malgré une majoration de la charge de travail et ce niveau correspond à la consommation maximale d'oxygène (Vo_2max).

Par ailleurs, la consommation maximale d'oxygène augmente aussi avec l'âge jusqu'à 20 ans. A partir de cet âge, elle décline graduellement, et ne représente plus à 60 ans que 70% de la consommation maximale d'oxygène atteinte à l'âge de 25 ans. En dessous de 12 ans, il n'y a pas de différence significative entre les filles et les garçons et après cet âge s'installe une différence de 25% entre la consommation maximale d'oxygène des hommes et celle des femmes. (2)

En effet selon ASTRAND ET COLL, l'entraînement aérobic peut augmenter le Vo_2max jusqu'à 20 ans et force est de reconnaître l'importance de l'entraînement surtout avant l'âge de 20 ans. C'est ainsi que VANDER et COLL rapportent qu'un séjour prolongé au lit peut diminuer le Vo_2max de 25% alors qu'un entraînement de type endurant, faisant intervenir des groupes musculaires peut l'élever jusqu'au même pourcentage.

En dehors de son évolution en fonction des intensités sous maximale et maximale et de l'âge, la consommation maximale d'oxygène présente une importance remarquable dans certaines disciplines sportives.

1-2-3 Importance de la consommation maximale d'oxygène (Vo_2max)

La mesure du Vo_2max entre dans le cadre des tests d'aptitude physique. Elle permet l'acquisition d'une bonne capacité physique des sportifs, des enfants et des sédentaires. Elle constitue un facteur privilégié sur lequel les entraîneurs peuvent s'appuyer pour sélectionner les sportifs selon un programme d'entraînement efficace et rigoureux, savoir leur état de forme et de prédire leur performance ultérieure. Cette dernière dépend en grande partie du bon fonctionnement ou du ravitaillement en oxygène du système cardiovasculaire, respiratoire c'est à dire l'aptitude du sujet à prélever, à transporter et à livrer l'oxygène indispensable aux cellules.

En effet ce Vo_2max est primordial pour certaines disciplines sportives (course de 1500 m, marathon, ski de fond, cyclisme, aviron, etc...). Il détermine de façon directe les performances du 1500 m au 5000 m et il est également très

important sur les distances plus longues. Il conditionne l'aptitude physique à un travail intense et prolongé. Ainsi les valeurs les plus élevées du $VO_2\text{max}$ chez des athlètes masculins de haut niveau sont de l'ordre de 87 ml/kg/mn, les meilleures féminines 78 ml/kg/mn (cette différence s'explique en partie par un métabolisme oxydatif moins actif et une adiposité plus élevée, et d'un taux de globules rouges moindre chez les femmes) et chez l'adulte jeune et sédentaire il s'élève à environ 45 ml/kg/mn.

Le $VO_2\text{max}$ d'un sédentaire peut être amélioré de 15 à 25% par l'entraînement : séances en « fractionnées » sur les distances de 1000 à 1500 m ou en continues courues au seuil aérobie. En outre on considère un $VO_2\text{max}$ élevé comme un gage de robustesse, de compétitivité et de longévité en physiologie de l'effort. Un $VO_2\text{max}$ élevé permet une meilleure récupération post-exercice et il peut intervenir indirectement dans la qualité des performances même de courte durée. IL reflète la condition physique qui est la capacité de supporter un effort le plus longtemps possible en parfaite aisance cardiaque et respiratoire, et il dépend de la qualité d'oxygène qui peut être apportée à vos muscles, de la qualité de vos muscles, de votre poids, de votre souplesse et de votre capacité de «décontraction ». Cependant la performance en course de longue durée ne dépend pas uniquement du $VO_2\text{max}$ mais il dépend aussi d'autres facteurs qui peuvent l'affecter tels que : la motivation, la capacité anaérobie, le rendement mécanique, l'habileté et la capacité de maintenir un pourcentage élevé de la puissance aérobie maximale.

Certes, le $VO_2\text{max}$ est indispensable à l'obtention d'une bonne performance dans les disciplines sollicitant le système aérobie mais il est confronté à des facteurs limitant.

1-2-4 Les facteurs limitant du $VO_2\text{max}$

Le $VO_2\text{max}$ d'un sportif dépend des caractéristiques du système de transport et d'utilisation de l'oxygène. L'appareil respiratoire, l'appareil circulatoire et le muscle sont les principaux maillons de cette chaîne de l'oxygène.

On pense aujourd'hui que les facteurs limitant ne sont pas les mêmes pour les individus.

*Un Vo_2max peu élevé serait limité par une capacité réduite des muscles à utiliser l'oxygène qui leur est apporté. Les systèmes respiratoire et circulatoire seraient «surdimensionnés » par rapport aux capacités métaboliques.

Chez les sportifs dont le Vo_2max est très élevé, la limite se situerait au niveau du système circulaire et au voie métabolique. Au sein de ceux-ci, on a en effet observé que l'hémoglobine du sang artériel est partiellement désaturé en oxygène à l'approche du Vo_2max . Cette désaturation ne serait pas dû à une mise en défaut de la ventilation pulmonaire mais plutôt au nombre de capillaires disponibles dans le poumon, nombre qui devient trop petit par rapport au débit cardiaque lorsque celui-ci atteint des valeurs très élevées. L'augmentation du débit cardiaque a pour conséquence une réduction du temps de transit dans les capillaires pulmonaires. Celui-ci devient alors trop court pour assurer le passage de l'oxygène des alvéoles pulmonaires au sang et par conséquent la saturation de l'hémoglobine du sang artériel en oxygène ne se fait pas complètement.

*En outre chez les sportifs qui possèdent des Vo_2max intermédiaires (exemple les marathoniens) le système respiratoire et les voies métaboliques seraient «surdimensionnés » par rapport au système circulatoire lequel est le facteur limitant de la consommation d'oxygène. La limitation de la quantité d'oxygène transportée par la circulation tiendrait à la limitation du sang éjecté par le cœur à chaque contraction (le Volume d'éjection systolique). C'est en effet le seul facteur qui soit très différent chez un sujet dont le Vo_2max est élevé et chez celui où le Vo_2max est bas.

Enfin, l'épuisement des réserves de glycogène, une accumulation de chaleur dans l'organisme (causée par le port des habits qui ne laissent pas évaporer la sueur) et une diminution du pourcentage d'utilisation maximale d'oxygène peuvent constituer des facteurs limitant du Vo_2max ..

Et pour neutraliser ces facteurs limitant, les sportifs adoptent une nouvelle voie afin de pouvoir augmenter le $VO_2\text{max}$ qui est déterminant pour la réalisation de leur bonne performance.

1-2-5 Les moyens et mécanismes permettant l'augmentation du $VO_2\text{max}$

Parmi ces moyens, nous pouvons alléguer :

*les facteurs héréditaires

*l'entraînement avant l'âge de 20 ans

*l'endurance, la résistance-volume ou le seuil anaérobie qui, déterminé en situation spécifique par des mesures de terrain, constitue un paramètre utile pour la conduite de l'entraînement

*le choix d'un programme d'entraînement qui tiendra compte de l'intensité de l'effort, de sa durée et de son volume. Par exemple, l'entraînement en aérobie améliore pour un niveau donné la vitesse d'échange des gaz entre l'organisme et l'environnement (NORRIS et PETERSEN, 1998). Ce progrès se traduit par une élévation plus rapide du $VO_2\text{max}$ suite à une demande énergétique brusquement accrue chez les athlètes possédant la meilleure aptitude aérobie (POWERS et AL, 1985). En outre l'entraînement par intervalle agit principalement sur le cœur. Pendant les phases d'effort, la pression élevée provoque une hypertrophie du myocarde. Son épaisseur augmente, ce qui permettra pour une même fréquence cardiaque d'éjecter davantage du sang. Les phases de récupération provoquent une dilatation des cavités. Au fil des entraînements, le débit cardiaque augmente donc et provoque également l'ouverture de nouveaux capillaires sanguins au contact des poumons et d'une diminution de l'épaisseur de la membrane alvéocapillaire. le tout contribuant au meilleur passage de l'oxygène dans le sang. Par ailleurs les capillaires sanguins se multiplient enfin autour des muscles les plus sollicités, ce qui permet une fourniture d'oxygène plus importante. A cette adaptation du système cardiovasculaire correspond à une augmentation du potentiel oxydatif des cellules.

En effet il provoque :

-une augmentation du stockage et de l'utilisation des substrats énergétiques au niveau des fibres musculaires. Ce qui induit une amélioration du $VO_2\text{max}$ puisque celui-ci dépend des sujets et de leur niveau d'entraînement.

-une adaptation des fibres musculaires grâce à l'augmentation de l'activité enzymatique et à leur enrichissement en myoglobine

-une meilleure efficacité des vecteurs organiques impliqués dans le système de transport de l'oxygène jusqu'aux fibres musculaires utilisatrices.

Puis l'augmentation du $VO_2\text{max}$ est due à 4 groupes de modifications :

*les modifications respiratoires consistent en une augmentation des dimensions du volume par appel à la capacité résiduelle fonctionnelle et une augmentation des fonctions se traduisant par l'augmentation du débit ventilatoire. Par exemple lors d'un exercice à intensité faible, le débit ventilatoire (Q_e) augmente proportionnellement à l'augmentation de la consommation d'oxygène, à ce niveau Q_e est lié à l'augmentation du volume courant (V_c) (à plus haute intensité de la fréquence respiratoire), l'aération du sang est complète, il n'y a pas de modification de la pression partielle d'oxygène (PO_2) et de la pression partielle du gaz carbonique (P_{CO_2}) alvéolaires, ce qui permet de répondre aux besoins acido-basiques. Tandis qu'au sein d'un exercice à intensité croissante, l'augmentation du Q_e dans un premier temps est liée à l'augmentation du VO_2 puis Q_e devient excessif, on note une aération de la PO_2 , une augmentation de la P_{CO_2} et une accumulation d'ions H^+ , à ce moment là on note un décrochage ventilatoire pour éliminer le CO_2 en excès et par ce biais tamponner l'acidose. Le quotient respiratoire augmente avec l'intensité, ce qui implique une consommation plus importante de glucides que de lipides d'où l'apparition du seuil ventilatoire.

*les modifications cardiaques aboutissent à une augmentation du débit cardiaque qui entraîne les augmentations du volume d'éjection systolique et de la fréquence cardiaque.

*les modifications sanguines et circulatoires se focalisent d'une part à une vasodilatation artériolaire augmentant la perfusion musculaire et d'autre part une

meilleure extraction de l'oxygène du sang d'où une augmentation de différence artério-veineuse en oxygène. Chez le sujet entraîné, il y a en plus une augmentation de la teneur en hémoglobine.

*les modifications musculaires aboutissent à un meilleur ravitaillement en oxygène grâce à l'augmentation du débit sanguin musculaire, l'augmentation des surfaces d'échange par l'ouverture de nombreux capillaires et l'augmentation de l'extraction de l'oxygène.

A court terme, il y a une augmentation de l'activité des systèmes enzymatiques aérobies et à long terme une augmentation du nombre de mitochondries par cellule musculaire. (2/)

En plus de cela, s'y ajoutent des techniques indispensables à l'estimation de la consommation maximale d'oxygène.

1-2-6 Les différentes techniques de mesure de la consommation maximale d'oxygène (V_{O_2max})

Ces techniques sont réalisées soit au laboratoire, soit sur le terrain en utilisant différents ergomètres et tout en suscitant des efforts maximaux ou sous-maximaux. En effet lors de l'exercice musculaire il a été observé que le volume de consommation maximale d'oxygène augmentait avec la charge de travail. Cette augmentation du volume de consommation d'oxygène est linéaire jusqu'à atteindre son maximum pour s'établir en plateau. Il a également été noté que la fréquence cardiaque évoluait de la même façon que le volume de consommation maximale d'oxygène. Ce dernier et la fréquence cardiaque avaient un niveau de corrélation très élevé. Toutefois la fréquence cardiaque plafonnait un peu plus tôt que le volume de consommation maximale d'oxygène. C'est grâce à cette relation qu'il est possible de mesurer la puissance aérobie maximale en se référant à l'évolution de la fréquence cardiaque. Ainsi, lorsque le sujet est soumis à un exercice d'intensité maximale, sa fréquence cardiaque maximale prélevée permet d'estimer le volume de consommation maximale d'oxygène

correspondant. En outre une extrapolation de la fréquence cardiaque maximale ($F_c \text{ max}$) prélevée lors d'un exercice à intensité sous-maximale, permet d'aboutir à une même allure de courbe que celle du $Vo_2\text{max}$. Or les valeurs maximales de la FC sont données par la formule d'Astrand : $F_{c\text{max}} = 220 - \text{âge}$. Ceci nous a permis de mesurer la FC à la place du $Vo_2\text{max}$.

L'exercice utilisé pour observer la puissance aérobie maximale peut être lié à un effort progressif ou non progressif. Lorsque le protocole est progressif, la charge de travail est augmentée progressivement avec des paliers d'une durée constante et sans interruption. (la durée de chaque palier est de 3 à 6 mn).

Lorsque le protocole est non progressif la charge de travail est constante et la durée est comprise entre 5 et 12 minutes.

Les tests sont réalisés sur différents types d'ergomètres : banc, tapis, bicyclette, terrain, ergomètre à aviron, etc....

En outre, en fonction des efforts fournis, les épreuves de laboratoire peuvent être sous-maximales ou maximales : -les premières renferment l'épreuve d'Astrand-Rythming (c'est une épreuve de mesure indirecte de $Vo_2\text{max}$ et elle implique la mesure de la fréquence cardiaque lors d'un travail sous maximal à charge constante avec utilisation de la bicyclette ergométrique), épreuve de « Capacité de travail 170 » (PWC 170) or PWC est étroitement corrélée à la PMA (puissance maximale aérobie) et au $Vo_2\text{max}$ (p inférieur à 0,01), épreuve de marche de Maritz et al (1961) (elle estime la consommation maximale d'oxygène à partir de la relation FC - $Vo_2\text{max}$ établie lors d'une marche sur tapis roulant contre une inclinaison progressivement croissante), épreuve de marche de Shephard (1969) (elle consiste à réaliser en marchant 4 à 8 paliers de 4 mn chacun sur un tapis roulant dont la vitesse est maintenue constante (5 km/h) et l'inclinaison varie progressivement de 0 à 17,5%, les épreuves qui utilisent un banc pour estimer la consommation maximale d'oxygène sont constituées d'épreuves d'Astrand-Rythming (1954), épreuve de Margaria et al (1965), Physitest canadien.

-les secondes regroupent l'épreuve de Balke (1960) et le protocole mis au point par CNMS d'Alger avec utilisation de la bicyclette ergométrique.

Par contre au niveau du terrain, nous avons des épreuves continues à vitesse constante et des épreuves progressives. Les premières sont constituées du test de Cooper (ou test de 12 mn), épreuve de 9 mn d'AAHPER (1976), épreuve continue de 5 mn de Brikci et Dekkar (1989) tandis que les secondes regorgeaient l'épreuve de course navette 20 m (test de Luc-Léger avec palier d'une minute), test progressif de Conconi, test de Luc-Léger sur piste de 200 m ,300 m ou 400 m étalonnée par des plots tous les 50 m (palier de 2 mn).(7)

Ainsi pour les besoins de notre étude, nous avons utilisé l'épreuve de course navette 20 m (test de référence), le test de COOPER (celui de 12 mn) et le test de BALKE. Notre choix porté sur ces trois méthodes de mesure du $VO_2\text{max}$ relève de leur accessibilité, de leur disponibilité, de leur facilité et leur rapidité d'exécution, et de leur rapide fourniture des valeurs du $VO_2\text{max}$ grâce à la simple lecture des résultats établis dans des tableaux de correspondance.

Chapitre II :

METHODOLOGIE

2-1 Matériels et méthodes

2-1-1 Population

Douze (12) étudiants de l'INSEPS, tous de sexe masculin avaient participé à notre expérimentation. Ils étaient pris au hasard parmi toute la promotion de la deuxième année tandis que les autres promotions étaient exclues, de même que les filles. Et ceci nous permet de garder une certaine homogénéité dans l'échantillon mais au plan individuel, le tirage était indépendant de tout caractère morphologique ou psychique à l'intérieur comme à l'extérieur. Ensuite le choix porté à l'endroit des étudiants du premier cycle relève de la pratique intense des multiples disciplines sportives, ce qui leur procure un niveau de condition physique acceptable et une bonne santé. Et pour les besoins de notre travail, nous avons utilisé le même échantillon pour les différents tests effectués au terrain et au laboratoire.

Après ce choix indépendant de tout critère de sélection, il a été retenu pour chacun des sujets trois grandeurs anthropométriques : le poids, l'âge, et la taille. Ils avaient un âge moyen de $23,91 \pm 2,06$ ans, une taille moyenne de $1,74 \pm 0,12$ m et un poids moyen de $69 \pm 5,3$ kg

SUJETS N=12	AGES (ans)	TAILLE (m)	POIDS (kg)
MOYENNE	23,91	1,74	69
ECART- TYPE	2.06	0,112	5,3

Tableau n°1 :

Les grandeurs anthropométriques des sujets étudiés (n=12) : moyenne et écart-type de l'âge, de la taille et du poids.

2-2 Méthodes

2-2-1 Protocoles

2-2-2 Etude pré-expérimentale

A- Etude de la fidélité du test de LUC-LEGER ou épreuve de course navette 20 m avec palier d'une minute (test référence)

Ce test s'est déroulé au terrain de basket de l'INSEPS, de 8 h à 9 h pendant trois jours (lundi, mercredi, samedi) en raison de l'ensemble des douze étudiants par séance.

En outre celui-ci constitue une épreuve continue progressivement croissante et il est susceptible de mesurer indirectement le Vo_2max .

De ce fait, notre choix porté sur cette épreuve requiert de sa commodité, de son économie temporelle et de sa rapidité d'évaluer notre échantillon.

A-1 Précautions prises avant le déroulement de l'épreuve

Nous avons tenu compte de certains facteurs ou éléments qui pouvaient nous exposer à des risques d'erreurs. Et parmi ceux-ci, nous pouvons mentionner :

- l'état du sol
- le vent
- et un magnétophone défectueux ou qui se déroule trop lentement ou trop vite.

A-2 Matériel nécessaire utilisé

Il renferme :

- une bande ou une cassette magnétique pré-enregistrée du protocole de l'épreuve
- Un magnétophone à piles ou à électricité
- un tableau de correspondance ou d'interprétation des résultats de l'épreuve
- un terrain de basket où on délimite une surface de 20 m par deux lignes parallèles
- un chronomètre pour la vérification de la vitesse de déroulement du magnétophone et la prise de la fréquence cardiaque à la fin de l'épreuve
- un sifflet
- une ou des fiches pour l'enregistrement des résultats

- Un double décamètre
- une piste de 200 m ou plus
- des plots ou fanions

A-3 Principe de l'épreuve

C'est une épreuve collective qui permet d'évaluer la consommation maximale d'oxygène et de déterminer la vitesse de course à laquelle elle est atteinte. Ses résultats sont directement accessibles par la lecture du tableau de correspondance établi par LUC-LEGER, mai 1983 qui joint cette épreuve.

La détermination du VO_2 max relève de la connaissance de l'âge du sujet et le numéro de son dernier palier qu'il a réalisé. Elle permet aux éducateurs ou entraîneurs d'adopter un meilleur programme d'entraînement des vitesses de course en fonction des objectifs visés ou d'estimer l'état de fraîcheur des athlètes ou sujets au début ou en fin de saison.

A-4 Déroulement de l'épreuve

L'épreuve consiste en une progression de la marche vers la course et elle fonctionne par palier d'une minute c'est à dire les sujets doivent faire des allers et retours en y touchant les deux lignes de 20 m

La vitesse de course est contrôlée à l'aide :

- de signaux sonores «TUT » correspondant au moment où le sujet amorce son retour en bloquant un de ses pieds immédiatement au-delà de la ligne de 20 m
 - la durée entre chaque signal diminue d'un palier à l'autre c'est à dire à chaque minute, ce qui a pour effet d'augmenter la vitesse
 - lorsque le sujet n'est plus capable de suivre le rythme imposé par la bande sonore alors il s'arrête et indique à l'évaluateur le numéro du dernier palier correspondant et ce dernier prend aussitôt sa fréquence cardiaque tout juste à son arrêt.
- Après cet arrêt, il est recommandé de continuer à marcher ou de courir lentement pour une meilleure régénération psychique ou une bonne récupération.

A-5 Démonstration de la fidélité de l'épreuve de course navette 20 m

Après trois jours de test, nous avons obtenu les résultats suivants :

SUJETS	Nombre de paliers obtenus au premier jour de test (x ₁)	Nombre de paliers obtenus au deuxième jour de test (x ₂)	Nombre de paliers réalisés au troisième jour de test (x ₃)
1	12,5	12	12,5
2	12,5	12,5	12,5
3	13	13	13
4	14	14	14
5	12,5	12,5	12,5
6	13	13,5	13,5
7	11	11	11,5
8	12	12	12
9	13	13	13,5
10	12	12,5	12,5
11	13,5	13,5	14
12	13,5	13,5	13,5

Tableau n°2 : l'ensemble des paliers obtenus à l'issue de trois jours de test

D'après BHUSAN :

$$R = \frac{S_{xy} - \frac{S_x(x) S_y}{N}}{\sqrt{\left(S_x^2 - \frac{(S_x)^2}{N} \right) \left(S_y^2 - \frac{(S_y)^2}{N} \right)}}$$

R=coefficient de corrélation

S=somme

N=nombre total de sujets

Combinaison des différents jours de test	Les coefficients de corrélation calculés à partir des différents paliers réalisés par les sujets étudiés. valeurs et degrés de signification du r pour observations pairées		
	R(x ₁ , x ₂)	R(x ₁ , x ₃)	R(x ₂ , x ₃)
SUJETS N=12	0,952 *	0,949 *	0,956 *

Tableau n°3 :

Récapitulation des coefficients de corrélation calculés à l'issue de ces trois jours de test

Légende : R (x₁, x₂) = coefficient de corrélation entre le premier jour de test et le second jour

R (x₁, x₃) = coefficient de corrélation entre le premier jour de test et le troisième jour

R (x₂, x₃) = coefficient de corrélation entre le deuxième jour et le troisième jour

N = nombre total de sujets

*significatif p inférieur à 0,01 (p= probabilité)

***Commentaire des données obtenues**

Les sujets étudiés ont effectué ce test pendant trois jours différents. Ensuite ils restaient 72 heures sans pratiquer le second, puis le troisième jour de test. Cette période de repos coïncidait avec la phase de récupération. Cette dernière était complète car elle provoquait chez ces sujets la régénération des stocks de nutriments (glycogène, lipides et protéines), la récupération des stocks liquidiens (elle demande quelques heures tandis que celle du glycogène réclame deux à trois jours), l'équilibre thermique est récupéré après quelques heures.

Ainsi le tableau n°3 nous montre que tous les sujets ont à peu près atteint ou reproduit les mêmes paliers (la différence entre les paliers n'est pas significative).

Puis les coefficients de corrélation ou de fidélité calculés à partir des différents paliers obtenus par ces sujets sont très élevés et significatifs (r supérieur à 0,85).

Et la répétition de cette même épreuve se faisait dans les mêmes conditions et avec le même expérimentateur. Tout ceci nous permet de déduire en définitive que l'épreuve de course navette 20 m est très fidèle et présente une excellente fiabilité.

2-2-3 Etude expérimentale

B- Etude comparative de notre test de référence avec les tests de COOPER et de BALKE

B-1 L'épreuve de course navette 20 m

Ce groupe d'étudiants a repris par la suite la même épreuve (une seule fois). Et nous avons conservé la même méthodologie que celle utilisée dans le test de référence.

B-2 Le test de COOPER OU Test de 12 mn.

Ce test s'est déroulé sur la piste d'athlétisme de l'UCAD, de 16 h à 17 h pendant deux jours (lundi et mardi) en raison de 6 étudiants par séance.

B-2-1 Mode et consignes à respecter avant l'exécution de ce test

-Il faut imposer à tous les sujets à tester de subir un examen médical délivré par un médecin sportif qui verra si les sujets n'ont pas un problème d'angine ou d'arythmie cardiaque.

-IL est préférable d'attendre au moins une heure après un repas et de boire de l'eau une quinzaine de minutes avant le test.

-IL faut éviter d'organiser ce test dans des conditions éprouvantes : humidité, température, sol glissant, altitude

- Les sujets doivent être bien préparés mentalement et physiquement
 - L'expérience d'un ou de deux tests précédents constitue un avantage certain qu'il faut éviter d'interpréter comme un progrès des aptitudes aérobies
 - Les sujets doivent être en bonne forme
- Pas question de se lancer dans l'aventure avec de la fièvre, des problèmes de vertige, une fatigue excessive, des douleurs inexplicables dans la poitrine, des raideurs musculaires ou des articulations gonflées
- Certains signes doivent également entraîner un arrêt immédiat de l'effort : essoufflement anormal, douleur dans la poitrine, transpiration excessive, palissement du teint, bleuissement des lèvres
 - Il est important de bien doser votre effort, tentez de maintenir une vitesse constante, évitez les départs trop rapides ou trop lents
 - Une fois les douze minutes écoulées, marchez 2 à 3 minutes afin de permettre une bonne récupération

B-2-2 Déroulement de l'épreuve

C'est une épreuve qui consiste à parcourir la plus grande distance possible pendant une durée de 12 mn sur une piste d'athlétisme ou un terrain équivalent (plat, de football, de tennis, etc...), en courant et qu'il est autorisé à marcher en cas de fatigue excessive. D'après son auteur (K.H.COOPER), 12 mn représentent la durée limite pendant laquelle un sujet peut maintenir une activité à une intensité proche de la puissance maximale aérobie, ce type d'épreuve est par conséquent principalement limité par le VO_2max . Ce qui autorise la prédiction de ce dernier à partir de la distance parcourue en 12 mn grâce à l'équation élaborée par l'auteur. La capacité aérobie est estimée à partir de la distance totale parcourue durant l'épreuve grâce à l'équation suivante :

$$VO_2max \text{ (ml /kg /mn)} = 22,351 d \text{ (km)} - 11,288 \text{ (r = 0,84)}$$

OR VO_2max = consommation maximale d'oxygène

d= distance totale parcourue

r= coefficient de corrélation (7)

B-2-3 Matériel utilisé

IL nécessite :

- une piste d'athlétisme étalonnée ou chemin plat jalonné tous les 100 m
- un chronomètre ou une montre
- un sifflet

B-3 LE TEST DE BALKE

C'est une épreuve progressivement croissante qui utilise la bicyclette ergométrique et estime le $VO_2\text{max}$ à partir de la charge maximale réalisée.

Ce test s'est déroulé les après midi entre 15 h et 18 h au laboratoire de l'INSEPS en présence de notre infirmier d'ETAT et sous sa responsabilité. Tous les sujets étaient en tenue de sport.

La salle était correctement ventilée et silencieuse, et elle avait une température avoisinante de 25°C

B-3-1 Recommandations avant le test

Nous recommandons aux sujets :

- de ne pas effectuer des exercices physiques intenses 24 h avant le test
- de ne pas fumer 30 mn avant le test
- de ne pas prendre d'aliments 2 h avant le test
- de porter une tenue adéquate de sport (culotte par exemple) et se reposer au moins 30 mn avant le début de l'exercice.

B-3-2 Matériel nécessaire utilisé

IL nécessite :

- un cardiofréquencemètre avec des électrodes (émetteur en ceinture sur la poitrine, montre réceptrice)
- un chronomètre
- un pèse – personne : servant à l'évaluation du poids des sujets étudiés
- un thermomètre : servant à mesurer la température ambiante

- une bicyclette ergométrique : de type MONARK permettant d'adapter régulièrement la puissance développée à la fréquence cardiaque.
- une toise : graduée en cm destinée à mesurer la taille des sujets étudiés

B-3-3 Déroulement de l'épreuve

Le sujet est invité à pédaler en position assise, à une cadence de 50 rpm contre une force de freinage de 50 watts qui sera progressivement augmentée jusqu'à épuisement du sujet.

La charge initiale est fixée à 50 watts, charge relativement basse qui permet au sujet de s'accommoder à l'épreuve. Elle est augmentée progressivement de 25 watts toutes les 2 mn. L'épreuve est ininterrompue lorsque le sujet n'est plus capable de supporter une charge supplémentaire.

La consommation maximale d'oxygène est calculée à partir de la dernière charge entièrement accomplie, grâce à l'équation de BALKE suivante :

$$V_{O_2\max} \text{ (ml /kg /mn)} = 12,2 P_{\max} \text{ (watts)} + 300 \text{ ml} \quad (7)$$

Or $V_{O_2\max}$ = consommation maximale d'oxygène

P_{\max} = puissance maximale développée

Chapitre III :

PRESENTATION, ANALYSE ET
DISCUSSION DES RESULTATS

3-1 Présentation des résultats obtenus à l'issue de ces trois tests

3-1-1 Les résultats obtenus à l'issue de l'épreuve de course navette 20 m

<i>Nombre de sujets</i>	<i>AGE (ans)</i>	<i>Numéro du dernier palier</i>	<i>Vo₂max (ml /mn /kg)</i>	<i>Fréquence cardiaque (nbre de butts /mn)</i>
1	24	12,5	58,1	192
2	21	12,5	58,1	180
3	22	13	59,6	198
4	25	14	62,6	180
5	23	12,5	58,1	180
6	23	13,5	61,1	168
7	25	13	59,6	186
8	25	11	53,6	180
9	24	12	56,6	180
10	25	13	59,6	180
11	25	14	62,6	195
12	25	13,5	61,1	192
SOMME	287	154,5	710,7	2211
MOYENNE	24	12,87	59,22	184
VARIANCE	4,24		6,60	158,76
ECART-TYPE	2,06		2,57	12,6
COEF.COR R. (r)				0,193
MINIMUM	21	11	53,6	168
MAXIMUM	25	14	62,6	198

Tableau n°4 : les résultats du test de LUC-LEGER

3-1-2 Présentation des résultats du test de COOPER

<i>Nombre de sujets</i>	<i>AGE (ans)</i>	<i>Nombre de tours</i>	<i>Distance parcourue (km)</i>	<i>Vo₂max (ml /mn /kg)</i>	<i>Fréquence cardiaque (nbre de batts /mn)</i>
1	24	7 ¼	2,9	53,53	192
2	21	7	2,8	51,3	176
3	22	7	2,8	51,3	192
4	25	7 1/2	3	55,8	180
5	23	7	2,8	51,3	180
6	23	7 ¾	3,1	58	164
7	25	7	2,8	51,3	184
8	25	7	2,8	51,3	180
9	24	7	2,8	51,3	178
10	25	7 ¾	3,1	58	180
11	25	7 ¼	2,9	53,53	192
12	25	7 ¼	2,9	53,53	192
<i>somme</i>	287			640,19	2190
<i>moyenne</i>	24			53,35	182,5
<i>variance</i>	4,24			6,25	66,08
<i>ecart-type</i>	2,06			2,5	8,13
<i>Coef.cor (r)</i>					-0,36
<i>minimum</i>	21	7	2,8	51,3	164
<i>maximum</i>	25	7 ¾	3,1	58	192

Tableau n° 5: Les résultats du test de COOPER

3-1-3 Présentation des résultats réalisés lors du test de BALKE

Sujets	Age(ans)	Poids(kg)	Taille(m)	Puissance		Vo2max ml/man/k	Vo2max g	Fc fin exo batt/mn	Temps mn
				FC repos Ne batt./mN	Watts				
1	24	62	1,69	67	200	2740	44,2	194	14
2	21	67	1,78	65	150	2130	32	178	10
3	22	74	1,75	64	150	2130	29	196	10
4	25	80	1,78	70	175	2435	30,4	183	12
5	23	67	1,8	67	150	2130	32	178	10
6	23	67	1,7	67	150	2130	32	166	10
7	25	63	1,69	66	200	2740	43,5	185	14
8	25	77	1,82	65	175	2435	32	183	12
9	24	66	1,7	66	175	2435	37	176	12
10	25	66	1,71	73	175	2435	37	178	12
11	25	72	1,8	66	200	2740	38	195	14
12	25	67	1,7	64	175	2435	36,3	196	12
<i>somme</i>	287	828	20,92	800	2075	28915	423,4	2208	142
<i>moyenne</i>	24	69	1,74	66,67	173	2409,6	35,3	184	12
<i>variance</i>	4,24	28,09	0,0139	5,61	331,24	53545,96	21,9		
<i>Ecart-type</i>	2,06	5,3	0,112	2,37	18,2	231,4	4,6		
<i>Coef.cor. (r)</i>									
<i>minimum</i>	21	62	1,69	64	150	2130	29	160	10
<i>maximum</i>	25	80	1,82	73	200	2740	44,2	196	14

Tableau n °6 : les différentes données obtenues lors du test de BALKE

Sujets	Vo ₂ max des 3 tests (ml/mn/kg)	Vo ₂ max course Navette 20 m (ml/mn/kg)	Vo ₂ max test de COOPER (ml/mn/kg)	Vo ₂ max test de BALKE (ml/mn/kg)
1		58,1	53,53	44,2
2		58,1	51,3	32
3		59,6	51,3	29
4		62,6	55,8	30,4
5		58,1	51,3	32
6		61,1	58	32
7		59,6	51,3	43,5
8		53,6	51,3	32
9		56,6	51,3	37
10		59,6	58	37
11		62,6	53,53	38
12		61,1	53,53	36,3

Tableau n°7 : Résumé des différentes valeurs du Vo₂max prises par chaque sujet dans l'ensemble des trois tests

Fréquences cardiaques Des 3 tests (batts/mN) Sujets	Fréquences cardiaques du test de LUC- LEGER	Fréquences cardiaques du test de COOPER	Fréquences cardiaques du test de BALKE
1	192	192	194
2	180	176	178
3	198	192	196
4	180	180	183
5	180	180	178
6	168	164	166
7	186	184	185
8	180	180	183
9	180	178	176
10	180	180	178
11	192	192	195
12	192	192	196

Tableau n° 8 : Résumé des fréquences cardiaques obtenues à l'issue des trois tests

3-2 ANALYSE DES DONNEES OBTENUES A L'ISSUE DE CES TROIS TESTS

Tout d'abord nous nous focaliserons sur l'étude de chacune des variables appartenant aux trois méthodes de mesure du Vo_2max , ensuite nous analyserons chez chaque sujet étudié deux données (leur Vo_2max et leur FC) et enfin nous procéderons à la comparaison des valeurs du Vo_2max relevées au sein des trois tests.

a- Les données obtenues au terrain

a-1 Celles utilisées dans l'épreuve de course navette 20 m

Dans cette épreuve nous nous sommes appesantis que sur deux données essentielles : la fréquence cardiaque prise à la fin de l'exercice et exprimée en nombre de battements par minute (nbre de batts/mn) et le $VO_2\text{max}$ exprimé en millilitre par minute et par kilogramme (ml/mn/kg). Ainsi les résultats obtenus au niveau du tableau n°4 nous révèlent que la plus grande majorité des sujets étudiés a réalisé un bon $VO_2\text{max}$ car le meilleur d'entre eux a fait 14 paliers avec un $VO_2\text{max}$ de 62,6 ml/mn/kg, le plus faible a atteint 11 paliers avec un $VO_2\text{max}$ égale à 53,6 ml/mn/kg. La valeur moyenne du $VO_2\text{max}$ s'élève à 59,22 ml/mn/kg. Ceci montre le niveau satisfaisant de condition physique de l'ensemble des sujets et de la bonne formation dispensée à l'INSEPS.

En outre la fréquence cardiaque moyenne est maintenue en permanence autour de 184 batts/mn. Ceci reflète l'accession rapide de leur fréquence cardiaque induite par cette course progressive et maximale. Enfin nous avons trouvé un coefficient de corrélation non significatif entre la fréquence cardiaque et le $VO_2\text{max}$ obtenus ($r=0,193$). Ceci signifie qu'elle entretient une faible relation avec le $VO_2\text{max}$ et que ces deux variables sont proportionnelles c'est à dire que l'augmentation de l'une entraîne l'amélioration de l'autre.

a-2 Données relevées au niveau du test de COOPER ou test de 12 mn

Le tableau n°5 nous montre que les deux meilleurs sujets ont parcouru une distance de 3,1 km correspondants à un $VO_2\text{max}$ de 58 ml/mn/kg, les plus faibles ont réalisé une distance de 2,8 km avec un $VO_2\text{max}$ de 53,53 ml/mn/kg. La fréquence cardiaque moyenne avoisine les 183 batts/mn. Ceci montre l'endurance cardiovasculaire élevée de ces sujets. En outre la corrélation entre la fréquence cardiaque et le $VO_2\text{max}$ a donné un coefficient négatif et non significatif ($r=-0,36$). Ce qui signifie que ces deux variables sont inversement proportionnelles c'est à dire plus la fréquence cardiaque est basse, plus la consommation maximale d'oxygène est élevée.

b-Données obtenues au laboratoire

Ici, notre étude tourne autour de quatre variables : la puissance (watts), le $VO_2\text{max}$ (ml/mn), le $VO_2\text{max}$ (ml/mn/kg) et la fréquence cardiaque (nbre de batts /mn).

b-1 La puissance

Le meilleur sujet a atteint 200 watts en 14 mn de pédalage, le plus faible a réalisé 150 watts en 10 mn de pédalage et la moyenne de la puissance développée est aux environs de 173 watts. En outre nous n'avons pas trouvé de coefficient de corrélation entre la puissance et le $VO_2\text{max}$ exprimé en ml/mn puisque $r=0,0000198$. Pourtant cette même puissance varie dans le même sens que le $VO_2\text{max}$ exprimé en ml/mn/kg car $r=0,282$. Ceci signifie que ces deux variables entretiennent une faible relation et sont proportionnelles.

Par rapport à la fréquence cardiaque, elle entretient une moyenne relation puisque $r=0,5$. Ce coefficient r est significatif à p inférieur à 0,05 et montre l'influence de la puissance développée sur la fréquence cardiaque.

b-2 La fréquence cardiaque

Au cours de l'effort la fréquence cardiaque est directement proportionnelle à la puissance développée et la consommation maximale d'oxygène. Elle augmente progressivement avec ces deux variables jusqu'à atteindre son maximum. En effet la fréquence moyenne est de 184 batts/mn.

Nous avons également trouvé un faible coefficient de corrélation entre la fréquence cardiaque, le $VO_2\text{max}$ (ml/mn/kg) et le $VO_2\text{max}$ (ml/mn) puisque les r respectifs sont : 0,47 et 0,282

b-3 Le $VO_2\text{max}$ exprimé en ml rapporté au poids corporel

Leur relation avec la fréquence cardiaque et la puissance a été déjà évoquée dans les sous-parties précédentes. En effet l'étude de leur corrélation donne un

coefficient $r=0.836$ significatif. Ceci montre que ces deux variables évoluent dans le même sens et entretiennent une bonne relation c'est à dire que l'augmentation du $VO_2\max$ (ml/mn) entraîne une amélioration du $VO_2\max$ (ml/mn/kg). D'après le tableau n°6 le meilleur sujet a obtenu un $VO_2\max$ de 44,2 ml/mn/kg et le plus faible a réalisé un $VO_2\max$ qui s'élève à 29 ml/mn/kg.

c-ANALYSE DU TABLEAU N°7

Cette partie est consacrée à l'analyse de deux variables (le $VO_2\max$ et la fréquence cardiaque) réalisées par chaque sujet.

c-1 L'analyse des valeurs du $VO_2\max$

-Concernant le premier sujet

IL a réalisé des valeurs du $VO_2\max$ dans l'épreuve de course navette, aux tests de COOPER et de BALKE qui sont respectivement de 58,1 ; 53,53 et 44,2 ml/mn/kg. La valeur moyenne du $VO_2\max$ obtenue par ce sujet lors de ces trois tests est de 52 ml/mn/kg. La valeur la plus élevée du $VO_2\max$ est de 58,1 ml/mn/kg tandis que le $VO_2\max$ le plus faible avoisine les 44,2 ml/mn/kg La différence entre ces deux valeurs est très significative car $d=13,9$ ml/mn/kg

-Au niveau du deuxième sujet

Les valeurs prises par le $VO_2\max$ lors des tests de LUC-LEGER, de COOPER et de BALKE sont respectivement de 58,1 ; 51,3 et 32 ml/mn/kg. La moyenne du $VO_2\max$ s'élève à 47,1ml/mn/kg. Cette valeur du $VO_2\max$ est comprise entre 58,1 et 32 ml/mn/kg. La différence de 26,1 ml/mn/kg est très significative.

-Le troisième sujet a obtenu les $VO_2\max$ suivants : 59,6 ml/mn/kg (test de LUC-LEGER), 51,3 ml/mn/kg (test de COOPER), 29 ml/mn/kg (test de BALKE). La moyenne est de 46,6 ml/mn/kg. La valeur limite du $VO_2\max$ oscillait entre 59,6 et 29 ml/mn/kg avec un écart de 30,6 ml/mn/kg.

-Le quatrième sujet

IL a obtenu les $VO_2\max$ respectifs dans les tests de LUC-LEGER (62.6 ml/mn/kg), de COOPER (55,8 ml/mn/kg) et de BALKE (30,4 ml/mn/kg). La

moyenne du Vo_2max est de 49,6 ml/mn/kg. Le Vo_2max le plus élevé est de 62,6 ml/mn/kg. Par contre le minimum tourne autour de 30,4 ml/mn/kg. La différence de 32,2 ml/mn/kg est très significative.

-Le cinquième sujet

Les valeurs du Vo_2max relevées aux tests de LUC-LEGER, de COOPER et de BALKE sont : 58,1 ; 51,3 et 32 ml/mn/kg. La valeur moyenne du Vo_2max est de 47,1 ml/mn/kg. La limite de la variation se situe entre 58,1 et 32 ml/mn/kg. La différence de 26,1 ml/mn/kg est très significative.

-le sixième sujet

Le tableau n°7 nous montre que la moyenne du Vo_2max obtenue à l'issue de ces tests s'élève à 36 ml/mn/kg. Les limites de variation du Vo_2max sont comprises entre 61,1 et 32 ml /mn/kg La différence de 29,1 ml/mn/kg est très significative.

-Le septième sujet

IL a réalisé les Vo_2max suivants lors de l'épreuve de course navette 20 m (59,6 ml/mn/kg), aux tests de COOPER (51,3 ml/mn/kg) et de BALKE (43,5 ml/mn/kg). La moyenne du Vo_2max oscille autour de 51,46 ml/mn/kg. La valeur la plus élevée du Vo_2max est de 59,6 ml/mn/kg tandis que la plus faible est de 43,5 ml/mn/kg. La différence est très significative car $d=16,1ml/mn/kg$

-Le huitième sujet

Le tableau n°7 nous révèle que la valeur moyenne du Vo_2max obtenue au cours de ces trois tests est de 45,6 ml/mn/kg. Les limites de variation sont comprises entre 53,6 ml/mn/kg et 32 ml/mn/kg. La différence de 21,6 ml/mn/kg est très significative.

-Le neuvième sujet

La moyenne du Vo_2max obtenue à l'issue de ces trois tests est de 48.3 ml/mn/kg. Le Vo_2max le plus élevé est de 56,6 ml/mn/kg. Par contre le minimum est de 37 ml/mn/kg. La différence de 19,6 ml/mn/kg est très significative.

-Le dixième sujet

La moyenne du Vo_2max atteinte lors de ces trois tests est de 51,5 ml/mn/kg. Les limites de variation sont comprises entre 59,6 et 37 ml/mn/kg. La différence de 22,6 ml/mn/kg est très significative.

-Le onzième sujet

Les valeurs du Vo_2max obtenues lors de l'épreuve de course navette 20 m, aux tests de COOPER et de BALKE sont respectivement de 62,6 : 53,53 et 38 ml/mn/kg. La valeur moyenne du Vo_2max s'élève à 51,4 ml/mn/kg. Le Vo_2max est compris entre 62,6 et 38 ml/mn/kg. La différence de 24,6 ml/mn/kg est très significative.

-Le douzième sujet

La valeur moyenne du Vo_2max obtenue à l'issue de ces tests est de 50,31 ml/mn/kg. La valeur la plus élevée du Vo_2max est de 61,1 ml/mn/kg. Par contre celle minimale s'élève à 36,3 ml/mn/kg. La différence est très significative car $d=24,8$ ml/mn/kg

c-2 L'analyse des fréquences cardiaques

-Le premier sujet

Sa fréquence cardiaque moyenne obtenue lors de ces tests tourne autour de 193 batts/mn. La valeur maximale de la fréquence cardiaque est de 194 batts/mn. Par contre la valeur minimale s'élève à 192 batts/mn. La différence de 2 batts/mn n'est pas significative.

-Le deuxième sujet

La valeur moyenne de la fréquence cardiaque est de 178 batts/mn. Les limites de variation de la fréquence cardiaque sont comprises entre 180 et 176 batts/mn. La différence de 4 batts/mn n'est pas significative.

-Le troisième sujet

La fréquence cardiaque moyenne est de 195 batts/mn. La valeur maximale de la fréquence cardiaque observée lors de ces trois tests est de 198 batts/mn tandis

que celle minimale s'élève à 192 batts/mn. La différence de 4 batts/mn n'est pas significative.

-Le quatrième sujet

La valeur moyenne de la FC est de 181 batts/mn. Les limites de variation de la FC sont comprises entre 183 et 180 batts/mn avec un écart de 3 batts/mn.

-Le cinquième sujet

La FC moyenne oscille autour de 179 batts/mn. La FC maximale est de 180 batts/mn. Par contre le minimum est de 178 batts/mn. La différence n'est pas significative car $d=2$ batts/mn.

-Le sixième sujet

IL a obtenu une FC moyenne de 166 batts/mn lors de ces tests. La FC est comprise entre 168 et 164 batts/mn avec un écart de 4 batts/mn.

-Le septième sujet

La valeur moyenne de la FC tourne autour de 185 batts/mn. Les limites de variation de la FC sont comprises entre 186 et 184 batts/mn. La différence de 2 batts/mn n'est pas significative.

-Le huitième sujet

La FC moyenne est de 181 batts/mn. La FC maximale est de 183 batts/mn. Par contre la FC minimale est de 180 batts/mn avec un écart de 3 batts/mn.

-Le neuvième sujet

La valeur moyenne de la FC tourne autour de 178 batts/mn. Les limites de variation de la FC sont comprises entre 180 et 176 batts/mn. La différence de 4 batts/mn n'est pas significative.

-Le dixième sujet

IL a réalisé une FC moyenne de 179 batts/mn. La valeur maximale de la FC est de 180 batts/mn tandis que la FC minimale est de 178 batts/mn avec un écart de 2 batts/mn.

-Le onzième sujet

La FC moyenne est de 193 batts/mn. La FC maximale oscille autour de 195 batts/mn. Par contre le minimum s'élève à 192 batts/mn. La différence n'est pas significative car $d = 3$ batts/mn.

-Le douzième sujet

La valeur moyenne de la FC tourne autour de 193 batts/mn. Les limites de variation de la FC sont comprises entre 196 et 192 batts/mn. La différence de 4 batts/mn n'est pas significative.

3-3 Discussion des valeurs de la consommation maximale d'oxygène et des fréquences cardiaques obtenues à l'issue de l'épreuve de course navette 20 m, au test de Cooper et au test de BALKE

Toutes les valeurs prises par le Vo_2 max. obtenu lors de ces trois tests sont exprimées avec la même unité. Cette dernière nous permet de mieux les apprécier et de réaliser notre étude.

Ainsi les moyennes des Vo_2 max. calculées nous a permis de constater que celle du Vo_2 max. obtenue à l'épreuve de course navette 20 m ($V_m Vo_2$ max. = 59, 22 ml/mn/kg) est supérieure aux moyennes du Vo_2 max. relevées aux tests de COOPER ($V_m vo_2$ max. = 53,35 ml/mn/kg) et de BALKE ($V_m vo_2$ max. = 35,4 ml/mn/kg), ces différences respectives de 5,87 et 23,82 ml/mn/kg sont très significatives et elles apparaissent par la simple lecture des résultats bruts mentionnés dans les tableaux n°4,5,6 et chaque sujet possède un Vo_2 max. réalisé lors du test de LUC- LEGER plus élevé qu'aux tests de COOPER et de BALKE. En outre cette différence entre le test de référence et celui de BALKE réside dans le fait que les sujets étudiés ne semblent pas être habitués à la pratique de la bicyclette ergométrique. D'ailleurs ceci est confirmé par le niveau de développement faible de la pratique du cyclisme au SENEGAL si on se réfère au nombre de licenciés, et que l'utilisation de la bicyclette n'a pas connu une expansion considérable à travers tout le pays sauf dans certaines localités où les individus s'en servent comme moyens de transport. En plus de cela le test de

BALKE est beaucoup plus difficile à exécuter parce qu'il provoque une fatigue musculaire locale aux charges élevées, une douleur au niveau des cuisses ou des genoux et ceci peut entraîner un arrêt de l'exercice avant que le système de transport de l'oxygène ait été sollicité à son maximum. Ici l'organisme perd de la chaleur par l'évaporation de la sueur produite par les glandes sudoripares. L'évaporation d'un litre d'eau sous forme liquide en 1244 l sous forme de vapeur d'eau gazeuse absorrait en effet 680 kcal. La sueur, corollaire normal de l'effort, permet d'éviter tout risque d'hyperthermie en faisant baisser la température corporelle. Cette perte liquidienne parfois très importante représente le prix de l'efficacité de la régulation thermique qui se fait aux dépens des liquides extra et intracellulaires et hydroélectriques.

Puis la différence entre le test de référence et celui de COOPER peut être dû à un manque de connaissance du rythme optimum de course des sujets, à un degré de motivation des sujets et les encouragements, à la capacité anaérobie qui est limitée par un épuisement progressif de la créatine phosphate, et le rendement mécanique.

Ensuite, nous avons trouvé des « t » de STUDENT élevés et significatifs entre les moyennes et écart-types des différences des valeurs du Vo_2max obtenues à l'issue de ces trois épreuves. Cela signifie qu'aucun des tests ne peut remplacer l'autre et qu'il y a une présence de différence, et le test de Luc-Léger domine mieux le test de COOPER qui à son tour surpasse celui de BALKE puisque leurs t respectifs sont : 8,153 (t entre course navette 20 m et test de COOPER) ; 14,5 (t entre course navette 20 m et test de BALKE) et 11,06 (t entre le test de COOPER et celui de BALKE) avec un degré de liberté égale à 11 et le seuil de signification du p (probabilité) est inférieur à 0,001.

Enfin nous n'avons pas relevé une différence significative au niveau des fréquences cardiaques obtenues. Et cela montre que ces sujets n'ont pas triché, ils se sont donnés à fond et ont atteint le point culminant de leurs efforts.

RESUME ET CONCLUSION

Notre étude a consisté à étudier la consommation maximale d'oxygène à travers trois tests d'effort permettant son évaluation, la fidélité de l'épreuve de course navette 20 m et sa comparaison avec un test de terrain (test de COOPER ou de 12 mn) et un test de laboratoire (test de BALKE). Les sujets étudiés étaient bien entraînés et parfaitement adaptés au climat tropical car ils subissaient un programme d'enseignement efficace à l'INSEPS. Ils avaient une moyenne d'âge avoisinant les 24 ans, une taille moyenne de 174 cm et un poids moyen de 69 kg. Pour les tests de terrain (LUC-LEGER et COOPER), la fréquence cardiaque et le Vo_2max ont été mesurés dès l'arrêt de l'exercice tandis qu'au niveau du laboratoire la fréquence cardiaque était mesurée toutes les 2 mn jusqu'à l'épuisement du sujet, le poids et la taille étaient mesurés en début d'expérimentation et le Vo_2max mesuré dès l'arrêt de l'exercice.

A l'issue de notre expérimentation nous avons constaté que l'épreuve de course navette 20 m détient le monopole de la dispense du Vo_2max car elle fournissait des valeurs du Vo_2max beaucoup plus élevées que celles prélevées au sein des autres tests (celui de COOPER et de BALKE). Ceci montre qu'elle est plus valide, plus fidèle (sa reproduction aboutit au voisinage des mêmes résultats) et accessible (un plus grand nombre de sujets peut le faire en même temps). Sa réalisation demande peu de moyens, beaucoup de rigueur. Elle participe à l'élaboration d'un programme de remise en forme des athlètes ou des sédentaires. Elle permet aux entraîneurs de mieux planifier l'entraînement des sportifs et de détecter les meilleurs d'entre eux, aux professeurs d'EPS de connaître le niveau d'aptitude physique de leurs élèves, aux praticiens sportifs d'évaluer les dégâts de sédentarité de leurs malades, de développer leur endurance cardiovasculaire (amélioration de la capacité de travail, de réduction de la fatigue, réduction des risques de maladie coronarienne, réduction des risques d'hypertension, diabète), elle permet aussi d'explorer le comportement de l'organisme et de détecter une série de symptômes anormaux comme une chute brutale de la tension artérielle, des problèmes d'arythmie.

Ainsi partant de ces différents constats, nous disons que ce test doit être le plus usité par les entraîneurs, professeurs d'EPS, aux médecins et aux encadreurs sportifs qui voudraient savoir le niveau d'aptitude physique de leurs sujets et de développer leurs qualités de base indispensables à la réalisation d'une bonne performance qui repoussent les limites de l'asphyxie musculaire en permettant de supporter des intensités maximales d'effort dans des conditions aérobies en état stable qui est le seuil d'entraînabilité de l'athlète. Cependant certaines épreuves de laboratoire fournissaient des valeurs du Vo_2max beaucoup plus élevées que celles relevées au terrain. C'est ainsi qu'HERMANSEN, 1973 disait : « La marche du skieur sur un tapis roulant incliné de 12° dans le sens de la montée et se déroulant à une vitesse comprise entre 60 et 160 m / mn (le sujet marchant les genoux légèrement fléchis, en s'appuyant sur ses bâtons, comme lors de la progression à ski), permet d'atteindre une consommation maximale d'oxygène nettement plus élevée que la simple course sur tapis roulant incliné.»

BIBLIOGRAPHIE

• OUVRAGES

- 1-Astrand P.O, Coll cités dans « www.vo₂max.com »
- 2-Astrand P.O, Rhodal K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire. Traduction française par J.R Lacour en 1980. MASSON, Paris, 1972. pp 244-453
- 3- Astrand P.O, Rhodal K. Précis de physiologie de l'exercice musculaire MASSON, Paris, 1994
- 4-Bhusan. Les méthodes statistiques. Les presses de l'université Laval- Québec, 1978. p 55
- 5-Brousse M.H, During B, Le chevalier J.M, Prodret M. Energie et conduites motrices. Collection : Etudes et Formation. INSEP, 1989. pp 43-103
- 6-Cissé F. Cours de licence à l'INSEPS de DAKAR sur l'adaptation respiratoire au cours de l'effort, 2003
- 7-Dékkar N, Brikci A, Hanifi R. Les techniques d'évaluation physiologiques des athlètes. Première édition : comité olympique algérien, 1990
- 8-Dossier. Sport et vie n°76. Janvier-Février 2003
- 9-Dossier. Sport et vie n°43. Juillet- Août 1997
- 10-Dossier. Sport et vie n°55. Juillet- Août 1999
- 11-Doutreloux J.P. Repères en éducation physique et en sport. Physiologie et Biologie du sport. Vigot, 1998. pp 21-29
- 12-Durey A, Boéda A. Médecine du sport. MASSON, PARIS, 1978
- 13-Evaluation de la valeur physique, n°7 octobre, INSEP, 1984. Travaux et Recherches n°7/ spéciale Evaluation
- 14-Fox E.L, Maltheus D.K. Bases physiologiques de l'activité physique. Traduction française par François Péronnet en 1981. Vigot, Paris, 1984
- 15-Godbout P. Initiation à la recherche en STAPS
- 16-Guedj E.B, Moyen B, Génety J. Abrégé : médecine du sport. 5^{ème} édition Masson. Paris, 1984, 1995. pp 46-47

- 17-Harichaux P, Medelli J. Vo₂max et performance : aptitude physique, tests d'effort, tests de terrain. Collection APS dirigée par Pierre Harichaux et Denys Ferrando- Durfort. Edition 1996
- 18-Herman H, Cier J.F. Précis de physiologie. 2^{ème} édition, Masson, Paris, 1976
- 19-Hermansen, 1973 cité dans l'ouvrage (3)
- 20-Léger L cité dans l'ouvrage (13) page 113
- 21-MC Ardle W, Katch F.I, Katch V.L. Physiologie de l'activité physique : Energie, Nutrition et Performance. Vigot, 1986. pp103-104
- 22-Mirkin Dr.G, Hoffman M. La médecine sportive: prévention- entraînement- alimentation - soins. Traduction française par Michèle Venet et Jean Levesque. Les éditions de l'homme, Québec, 1981.pp 33-53
- 23-Monod H, Flandrois R. Adaptation circulaire à l'exercice, physiologie du sport. Bases physiologiques des APS . Masson, Paris, 1990
- 24-Norris et Pétersen, 1998 cités dans « www.vo2max.com »
- 25-Pirnay F, Déroanne R. La capacité physique de l'enfant évaluée en laboratoire et sur le terrain, dans Revue Ed. Phys, 25,11-15, 1986.
- 26-Pirnay F. Evaluation continue l'aptitude physique des enfants de l'enseignement fondamental, dans Sport, 138, Bruxelles, ADEPS, 100-107, 1992
- 27-Powers et AL. 1985 cités dans www.vo2max.com
- 28-Schrer B. Biostatistique. Editions ESKA S.A.R., Gaétan Morin, 1984
- 29-Vander et Coll cités dans (3)
- 30-Weineck J : Manuel d'entraînement. Vigot, PARIS, 1983
- 31-www.volodalen.com
- 32-www.worldlinks.bf
- 33-[http:// sporttech.online.fr/ spfr-src.html](http://sporttech.online.fr/spfr-src.html)

***MEMOIRES de maitrise en STAPS**

1/ DIOUF E : Etude comparative de la consommation maximale d'oxygène mesurée au terrain et au laboratoire. Présenté et soutenu en 1986/1987

2/ GOUDIABY EL : Etude de la relation entre la consommation maximale d'oxygène et la performance chez les athlètes de fond et de demi-fond. Présenté et soutenu en 1991/1992

3/ NDONG S.E.L : Puissance maximale aérobie et adaptation de l'organisme lors d'un effort physique d'intensité maximale progressive pendant le jeûne du Ramadan. Présenté et soutenu en 2002

4/ SANO Seydou : Etude normative de la puissance aérobie maximale fonctionnelle et prédiction de la performance au dos crawlé. Présenté et soutenu en Avril 1990