

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد لمين دباغين . سطيف 2

كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية

قسم: علوم و تقنيات النشاطات البدنية و الرياضية

محاضرات السداسي الثاني في مادة:
فيزيولوجيا الجهد البدني

موجهة لطلبة السنة الأولى ماستر
التخصص: تدريب رياضي نخبوي

أ/د: زواغي سمش الدين

السنة الجامعية: 2024 / 2025

Thèmes de conférences

	1-Introduction à la physiologie musculaire
	2-Mécanisme de la contraction musculaire
	3-Production, transformation et resynthèse de l'ATP
	4-Les Méthodes d'évaluation aérobie/anaérobie
	5-Les tests d'évaluation des capacités cardiaques
	6-Effet de l'altitude sur l'organisme
	7-Les adaptations physiologiques a l'altitude et effort physique
	8-Les modifications physiologiques a l'effort

Physiologie de l'activité musculaire lors de la pratique sportive

Cours n°1

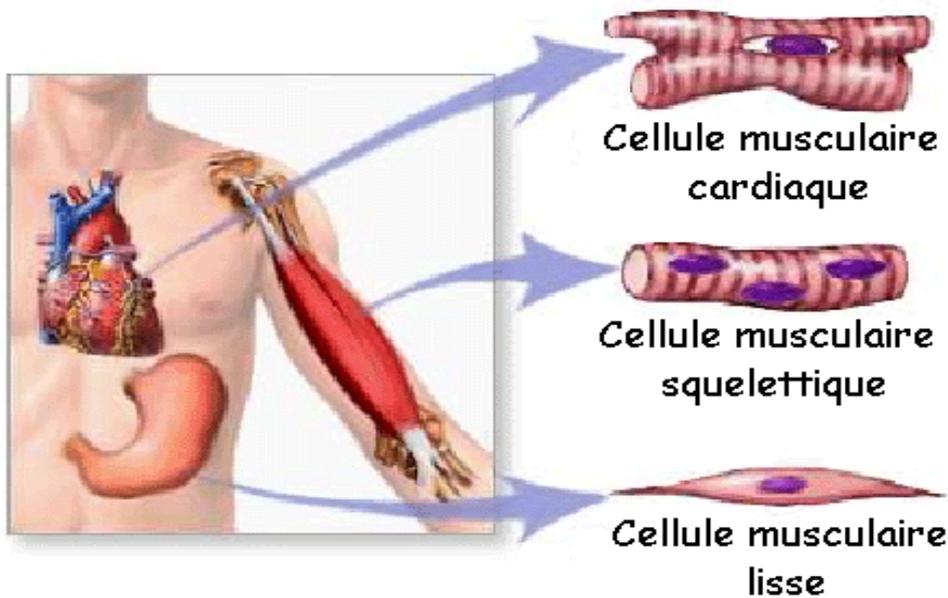
Introduction à la physiologie musculaire

Le muscle strié est l'effecteur de la motricité volontaire. Il transforme l'énergie biochimique des substrats énergétiques en travail mécanique et en chaleur. Sa structure permet de coupler les voies métaboliques (utilisation de l'énergie) et la contraction mécanique. Les caractéristiques de chaque voie métabolique mises en jeu lors de l'exercice musculaire permettent de comprendre les facteurs limitant la puissance maximale, la capacité d'endurance (=résistance à la fatigue) et les phénomènes responsables de la fatigue. Les notions de physiologie de l'énergétique musculaire sont la base des principes de la nutrition de l'effort.

I/ Les différents types de muscles¹

3 types:

1. Tissu musculairesquelettique.
2. Tissu musculaire cardiaque.
3. Tissu musculaire lisse.



ADAM.

II/ Fonctions des muscles

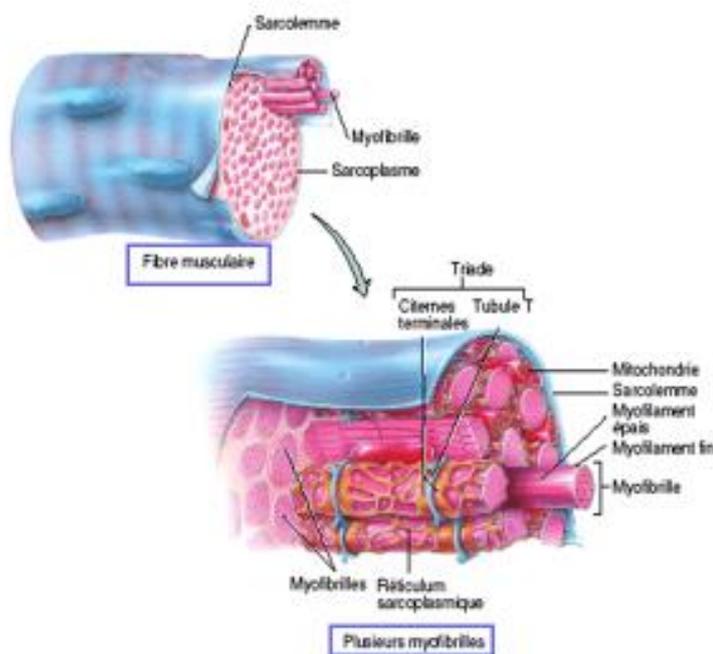
1^v

1. Production du mouvement

2. Maintien de la posture



III/ Le muscle squelettique – Anatomie microscopique



- Chaque fibre musculaire (cellule) comporte un grand nombre de myofibrilles (organites).
- Élément contractile
- 80 % du volume de la fibre
- Composées de myofilaments

2 - ORGANISATION DU MUSCLE STRIE

2 - 1 La fibre musculaire

Elle représente l'entité histologique du muscle strié. La membrane plasmique des fibres (sarcolemme) renferme un certain nombre d'organites (noyaux, mitochondries), des substrats énergétiques (lipides, glycogène), des composés phosphorylés riches en énergie (adénosine triphosphate, ATP, créatine phosphate), de la myoglobine, et des myofibrilles. La myoglobine, protéine de petite taille, a une importance fonctionnelle toute particulière, compte-tenu de son affinité pour l'oxygène, elle stocke de l'oxygène intramusculaire disponible pour le métabolisme.

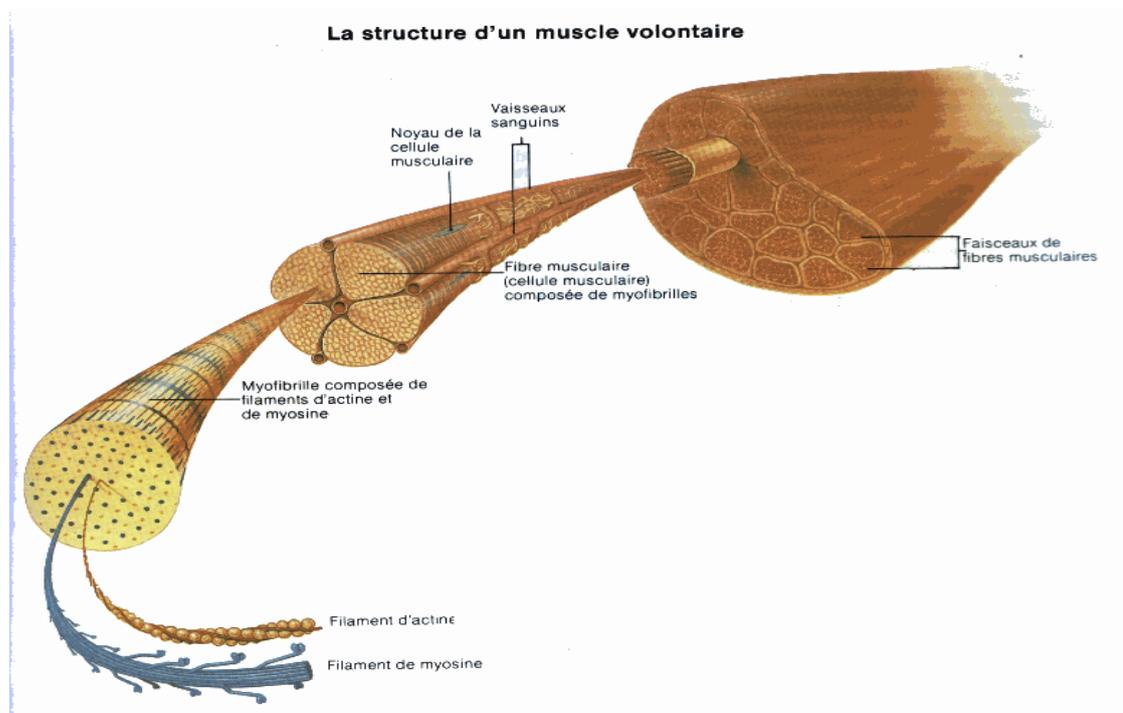
2- 2 Le réseau capillaire

Le réseau capillaire du muscle strié est de toute première importance dans la mesure où celui-ci représente l'interface d'échange entre le lit vasculaire et la fibre musculaire. Il est l'élément de transport et de distribution de l'oxygène et des substrats. L'entraînement physique augmente la densité capillaire au sein des fibres musculaires.

2-3 -Classification des fibres motrices

Elles sont classées en trois types principaux dont le métabolisme est différent :

- Rapides
- Intermédiaires
- Lentes

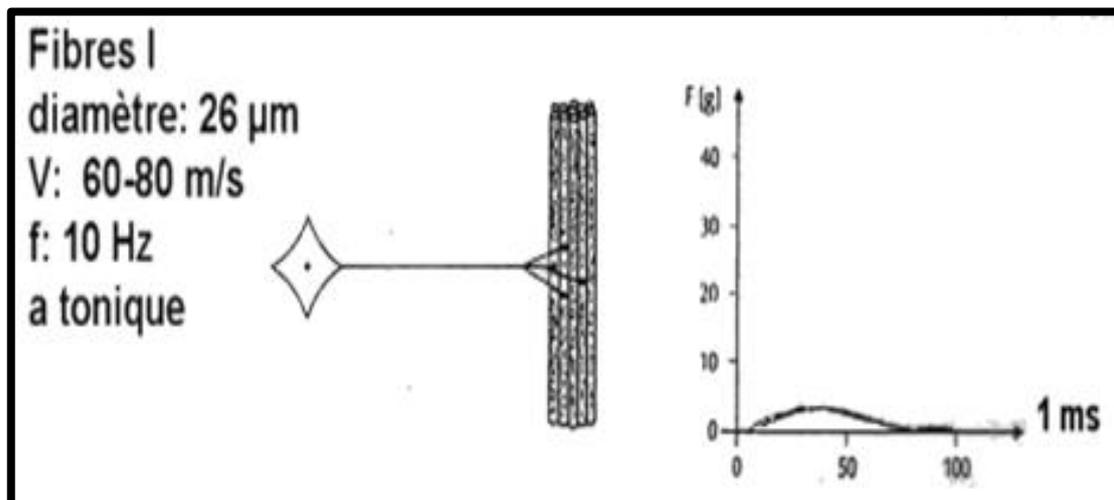


Les fibres lentes sont majoritaires dans les muscles de posture (muscles du rachis, abdominaux), les fibres rapides sont majoritaires dans les muscles travaillant essentiellement de manière dynamique (quadriceps, muscles des yeux, des doigts etc...). De la même manière, les hommes

et femmes sédentaires possèdent 45 à 55% de fibres lentes alors qu'un sportif d'endurance possédera une musculature majoritairement en fibres lentes et qu'un sprinter possédera une musculature majoritairement en fibres rapides. L'entraînement permet de plus ou moins spécialiser un type de fibres. Chez les sportifs entraînés "en force", la surface de section des différentes fibres peut dépasser de 45% celle des athlètes d'endurance ou d'individus sédentaires de même âge, car l'entraînement en force et en puissance stimule le développement de l'appareil contractile. Les athlètes mâles ont habituellement des fibres plus volumineuses que les athlètes femelles. Cependant, l'identification d'un nombre prédominant de fibres n'a pas d'incidence sur la performance, car c'est l'interaction optimale de tous les systèmes qui est importante.¹

*** La fibre lente (type I)**

- Fibre rouge de contraction lente
- Très résistante à la fatigue
- Activité tonique
- Métabolisme aérobie oxydatif
- Mitochondries



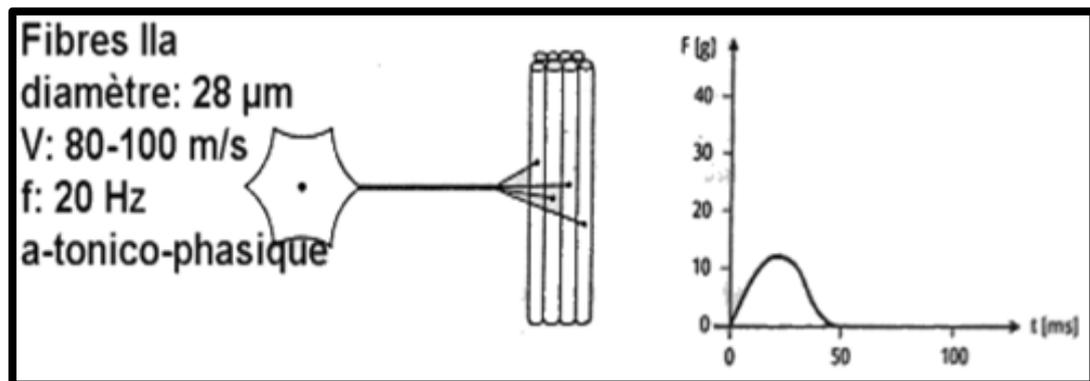
Les fibres I sont entourées d'un réseau capillaire très dense pouvant atteindre 200 km pour 100 g de muscle, chaque fibre étant en contact avec 6 à 8 capillaires



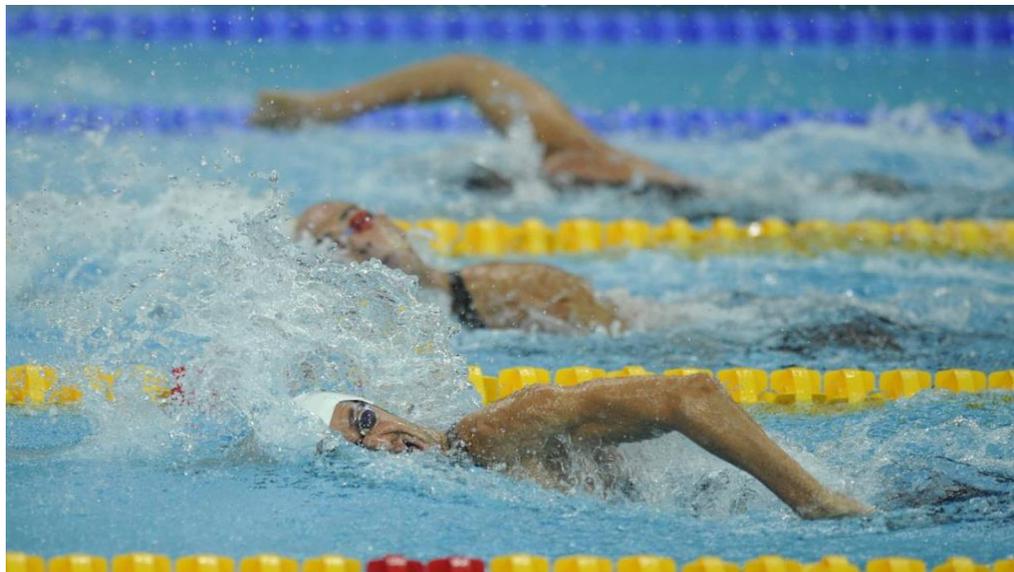
¹ Véronique

*** La fibre intermédiaire (type IIa)**

- Fibre intermédiaire de contraction rapide
- Résistante à l'activité intermédiaire
- tonico-phasique



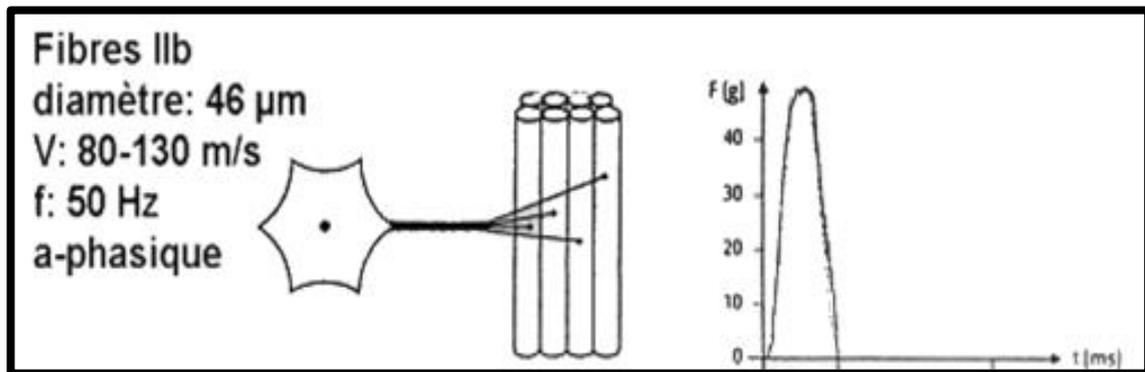
La fibre de type IIa est dite intermédiaire du fait qu'elle est relativement rapide et qu'elle présente une bonne capacité aérobie (haut niveau d'activité de l'enzyme S.D.H.) et anaérobie (haut niveau l'activité de l'enzyme P.F.K.) alors que les fibres du type IIb ont le plus grand potentiel anaérobie ; ce sont les fibres FG (fastglycolitic). La fibre du type IIc est rare et non différenciée : c'est probablement une fibre en voie de réinnervation ou de transformation.



*** La fibre rapide (type IIB)**

- Métabolisme anaérobie pauvre en mitochondries
- Moins oxydative et plus anaérobie

- développe une grande puissance mais de courte durée
- Très fatigable.
- Riche en glycogène
- Fibre blanche de contraction rapide typiquement phasique



L'entraînement permet aux fibres rapides d'améliorer leur potentiel métabolique aérobie sans entrer en concurrence avec les fibres lentes et de déterminer ainsi une augmentation de la consommation d'O₂.



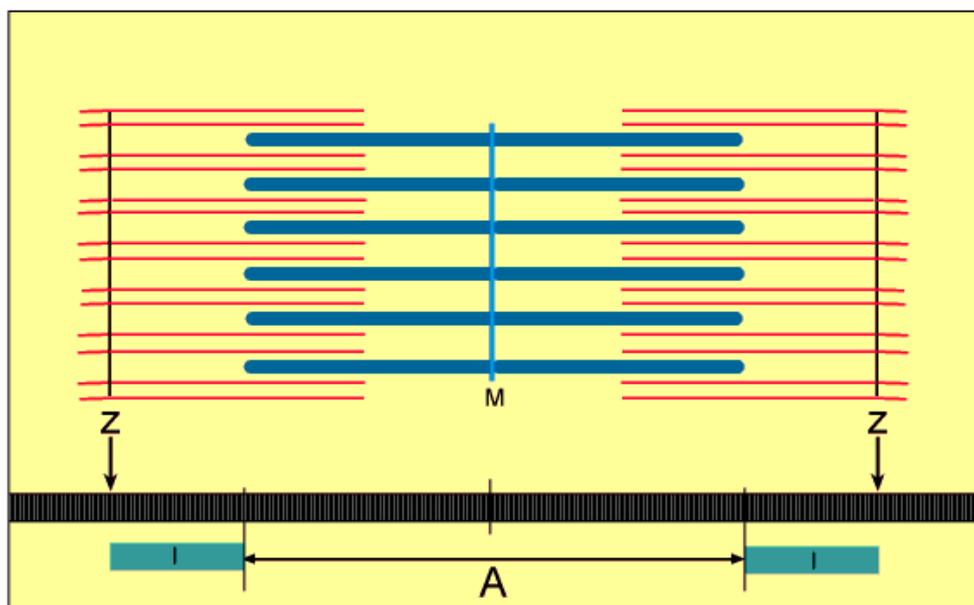
Physiologie de l'activité musculaire lors de la pratique sportive

Cours n°2

La contraction musculaire

*La théorie de la contraction par glissement des filaments

Durant la contraction, les filaments minces glissent sur les filaments épais de sorte que l'actine et la myosine se chevauchent davantage.



- **Type de contraction musculaire**

Concentrique :

- Le muscle se raccourcit
- Contraction dynamique

Statique :

- La longueur du muscle ne varie pas
- Contraction isométrique

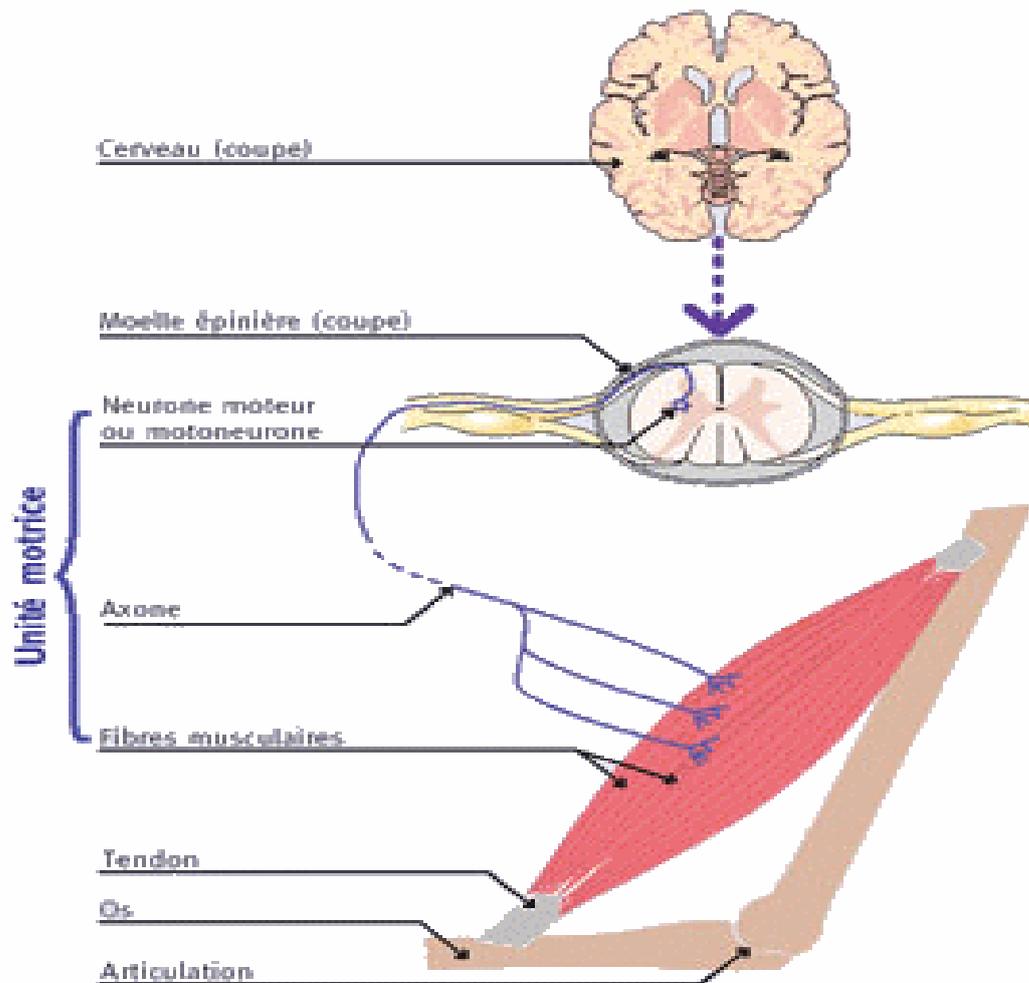
Excentrique :

- Le muscle s'allonge
- Contraction excentrique et dynamique

4 -Les différents types d'unités motrices

Les unités motrices peuvent être classées en différents types sur la base de leurs propriétés contractiles et métaboliques. Il existe deux grandes classes d'unités motrices : les unités motrices de type lent (slow), caractérisées par la lenteur de leur vitesse de contraction, la faible valeur de leur puissance mécanique, et leur résistance à la fatigue. A l'opposé, les unités motrices de type rapide (fast) sont caractérisées par leur contraction rapide et leur puissance élevée. Elles sont rangées en rapides-fatigables ou rapides-résistantes, en fonction de leur résistance à la fatigue. Il est maintenant établi qu'un certain nombre de ces propriétés contractiles, et en particulier la vitesse de contraction de l'unité motrice, sont étroitement dépendantes de la vitesse d'hydrolyse de l'ATP. Les propriétés métaboliques dépendent de l'équipement enzymatique et de la densité mitochondriale. Les fibres de type I ou slow possèdent une forte densité mitochondriale et des enzymes orientant le métabolisme vers les voies oxydatives. Elles sont capables d'utiliser des substrats glucidiques ou lipidiques, elles sont aussi le siège de l'oxydation de certains acides aminés lors du travail musculaire. Les fibres de type rapides sont classées en deux sous-groupes qui diffèrent par leurs capacités métaboliques. Les fibres rapides résistantes à la fatigue sont capables d'assurer un métabolisme oxydatif important, elles sont désignées sous les termes de fibres : Fast Twitch Resistant FR ou type IIA ; les fibres rapides fatigables ont un métabolisme essentiellement anaérobie, elles sont désignées sous les termes de fibres de type Fast Twitch Fatigables FF ou type IIB.¹

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. .octobre, 2017. Paris



5 - Effets de l'entraînement physique sur les structures du muscle

Il a été bien démontré que les structures des muscles d'athlètes très entraînés diffèrent de celles de sujets sédentaires. Les athlètes endurants présentent une augmentation de la proportion de fibres lentes de type I dans les muscles locomoteurs associés à un réseau capillaire plus dense. Il existe aussi une augmentation de la densité mitochondriale qui est bien corrélée avec l'amélioration de la consommation maximale d'oxygène. Les athlètes entraînés dans des sports de force présentent une augmentation de la surface des fibres musculaires et dans certains types d'activités, on a pu relever une augmentation de la proportion de fibres de type rapides. Cependant la discussion reste ouverte pour savoir dans quelles proportions ces modifications observées chez des athlètes, qui réussissent dans leur discipline, est le résultat de leur entraînement ou bien reflètent leur patrimoine génétique. Les études récentes suggèrent que l'entraînement favorise surtout la transition des fibres de type rapides glycolytiques IIB vers les rapides oxydatives IIA.

Les filières énergétiques

Cours n°3

Production, transformation et resynthèse de l'ATP

Un effort se fait grâce à une mobilisation de forces existantes s'il y a production d'énergie. Celle-ci, chez l'être humain, est fournie par une molécule nommée **ATP (Adénosine Triphosphate)** présente dans la fibre musculaire et seule responsable de la contraction musculaire. Cette molécule, en se dégradant va :

- libérer de l'énergie .
- à permettre la contraction des fibres musculaires .
- produire une force.

L'ATP, présente en très petite quantité dans l'organisme, peut assurer un effort violent d'environ deux secondes, soit l'équivalent d'un saut vertical unique ; elle va devoir être renouvelée (resynthétisée) en permanence pour avoir une continuité du travail musculaire. Suivant l'intensité et la durée de l'effort fourni, les sources d'énergie utilisées pour resynthétiser l'ATP sont différentes, et on se trouve alors dans une des filières anaérobie alactique, anaérobie lactique ou aérobie.¹

***Quelques principes**

- Pas de contraction sans ressources énergétiques.
- C'est l'énergie chimique qui assure la contraction musculaire.
- La réaction se produit au niveau cellulaire.
- La cellule transforme l'énergie chimique en énergie mécanique.
- La cellule trouve son énergie sous forme de molécules riches en éléments phosphore : ATP

*** Production de l'ATP**

Utilisation du stock initial d'ATP au tout début (et pendant 2 à 3 sec.) du travail musculaire. L'ATP en se dégradant (grâce à des enzymes * appelées ATPases) permet la production d'énergie mécanique (25%). Les résidus sont l'ADP (Adénosine Di phosphate) et de l'énergie calorifique (75%).²

*** Resynthèse de l'ATP**

Par la voie ANAEROBIE (Les réactions n'exigent pas la présence d'oxygène)

A/Système ATP-PC : c'est le premier système permettant de renouveler l'ATP. L'ATP est majoritairement resynthétisée grâce à l'ADP (molécule issue de l'ATP après dégradation) associée à la Créatine - Phosphate (CP) présente dans les cellules musculaires. Cette réaction chimique est possible grâce aux enzymes (ici CPK créatine phosphokinase). Cette source, utilisable à intensité maximale pendant 7 secondes maximum et ne produisant pas d'acide lactique, fournit de l'énergie de façon intense et concerne les fibres à contraction rapide. ==> **Nous sommes dans la filière ANAEROBIE ALACTIQUE** (pas ou peu d'acide lactique produit).

B/Système glycolytique : une fois la source énergétique des phosphènes épuisée, de nouveaux substrats sont nécessaires pour assurer rapidement une resynthétisation de l'ATP. Ce sont des formes dérivées du glucide : le glycogène (stocké dans le foie et les muscles) et le glucose(sanguin).

La production d'énergie se déroulant dans le sarcoplasme musculaire (grâce au système enzymatique) permet un effort intensif "violent" mais limité en durée (30 sec. à 1 ou 2 mn pour une intensité moindre) et concerne les fibres à contraction rapide. La dégradation du glucose

¹ Pavet. C, Edouard « Les effets de l'activité physique sur les maladies cardiovasculaires ».Thèse de doctorat en pharmacie. Université angers.2015.france

² Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. ..octobre 2017. Paris

produit de l'ATP et de l'acide pyruvique destiné au cycle de Krebs ** mais qui se transforme en acide lactique en absence d'oxygène. L'acide lactique (lactates + ions⁺) accumulé dans les muscles et versé dans le sang altère le fonctionnement de la filière énergétique, empêche la contraction musculaire, et participe à l'apparition de la fatigue et de la douleur musculaire lorsque la quantité dépasse un certain seuil. ==> **Nous sommes dans la filière ANAEROBIE LACTIQUE** (avec production d'acide lactique).

Par la voie **AEROBIE** (Les réactions exigent la présence d'oxygène)

C/ Système oxydatif : l'apport d'oxygène dans les fibres musculaires (essentiellement fibres à contraction lente) va permettre un énorme rendement énergétique. Plus de 90% de l'ATP synthétisée au niveau des cellules musculaires est fournie par la filière aérobie. La transformation se produit dans les mitochondries, centrales énergétiques permettant de transformer l'ATP dans les cellules musculaires.

L'apport énergétique principal provient des nutriments apportés par l'alimentation. Il s'agit :

- des glucides, indispensables et provenant des sucres.
- des lipides, provenant des graisses et utilisés pour les efforts modérés supérieurs à 45 mn et sollicitant plus de 2/3 de la masse musculaire globale.
- dans une moindre importance, des protéines sous la forme d'acides aminés provenant de la viande, poisson, œuf, etc.¹

Les déchets résiduels de cette dégradation aérobie seront de l'eau (sueur) et du gaz carbonique (respiration).

Cette filière, par l'intermédiaire du cycle de Krebs **, permet aussi d'oxyder l'acide pyruvique issu de la glycolyse pour produire de l'énergie. Elle rend possible la réutilisation des lactates pour resynthétiser du glycogène ou de l'ATP. Le lactate est aussi un substrat important de la contraction du myocarde à l'effort. A ce titre on peut considérer le lactate non pas comme un déchet, mais comme une source d'énergie chimique. Seuls les acides devront être tamponnés dans le sang et éliminés dans les urines. C'est lorsque l'acide lactique devient trop important à traiter et transporter qu'il freine l'effort.

==> **Nous sommes dans la filière AEROBIE.**

Evidemment il serait faux de croire que les processus s'enchaînent successivement : ils démarrent tous immédiatement, mais ont des délais d'intervention différents et des possibilités de rendement étalé dans le temps. Il y a donc un chevauchement des processus suivant leur rapidité de disponibilité, l'intensité de l'exercice, l'apport suffisant d'oxygène, etc.

Pour résumer, la nature d'un effort va conditionner les processus mis en œuvre pour produire l'énergie permettant d'assurer celui-ci. En fonction de sa durée et de son intensité, il y aura prédominance d'une filière mais les autres ne seront pas à l'arrêt.

Par exemple, lors d'un sprint de 10sec, tous les processus métaboliques interviennent : 4% pour l'ATP, 31% pour la phosphocréatine, 51% pour la glycolyse et 14% pour le processus aérobie.

Enchaînement des processus énergétiques

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4ème édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

Pourcentages de contribution des processus métaboliques dans la production d'ATP - D'après Newsholme et coll. (1992)

Courses	Phosphocréatine (PCr) (%)	Glycogène anaérobie (%)	Glycogène aérobie (%)	Glucose sanguin (glycogène hépatique) (%)	Triglycérides (acides gras) (%)
100m	48	48	4	-	-
200m	25	65	10	-	-
400m	12.5	62,5	25	-	-
800m	6	50	44	-	-
1 500m	(*)	25	75	-	-
5 000m	(*)	12,5	87,5	-	-
10000m	(*)	3	97	-	-
42195m	(*)	1	74	5	20
80000m	(*)	-	35	5	60

(*) : dans ces épreuves la phosphocréatine est utilisée dans les premières secondes et, si elle est resynthétisée pendant la course, elle servira aussi pour l'accélération finale.¹

Les filières énergétiques

Voies/filières	ANAEROBIE ALACTIQUE	ANAEROBIE LACTIQUE	AEROBIE
Sources	ATP - CP	Glycogène - Glucose	Glucides - Lipides
Délais d'intervention	Nul	De 7sec à 20sec	3mn (plein régime)
Oxygène	Non	Peu	Oui
Facteurs limitants	Epuisement des stocks d'ATP et CP Système enzymatique	Taux d'acide lactique versé dans le sang (baisse du pH cellulaire) Système enzymatique	Vo2 Max Stock de glycogène Baisse des substrats Chaleur
Durée de reconstitution	ATP - CP Entre 2 et 5mn	Elimination du lactate en 1h Stock de glycogène en 48h	Stock de glycogène en 24 à 36h

¹ Pavet. C, Edouard « Les effets de l'activité physique sur les maladies cardiovasculaires ».Thèse de doctorat en pharmacie. Université angers.2015.france.

Produit du processus	ADP		Acide lactique (lactates)		Eau (sueur) + CO2	
Energie	Intensité très élevée mais faible quantité		Intensité très importante et en quantité moyenne		Intensité liée au VO2 MAX. et en grande quantité	
Aspect	Puissance	Capacité	Puissance	Capacité	Puissance	Capacité
Durée max. du mécanisme	=> 7sec	=> 15sec	=> 45sec	=> 2mn	=> 6 à 10mn	> 10mn
Qualités	Vitesse d'exécution	Endurance de vitesse	Résistance intensité	Résistance intensité	Résistance volume	Endurance

La capacité et la puissance

Chacune des trois voies énergétiques est caractérisée par une **capacité** représentant une quantité d'énergie, et une **puissance** représentant une intensité d'énergie délivrée. Plus un exercice sera réalisé avec puissance, moins sa durée (sa capacité à maintenir un niveau d'effort) sera longue. Ceci va nous permettre de déterminer les voies énergétiques en fonction des qualités (vitesse, résistance, endurance) à développer. ¹

Les délais de surcompensation

Efforts réalisés dans la filière :

- Aérobie : 24 à 48h
- Anaérobie lactique : 48 à 72h
- Anaérobie alactique : 12 à 24h.

Les Méthodes d'évaluation de l'aptitude physique.

Cours n°4

Les méthodes d'évaluation aérobie et anaérobie

Tests de terrain

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4ème édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

On regroupe sous ce terme l'ensemble des tests physiologiques destinés à évaluer les capacités d'un athlète dans les conditions de l'effort par opposition aux tests de laboratoire

1 - Historique

Les tests de terrain sont les plus anciens tests connus en Médecine du sport. Il faut attendre la fin du dix-neuvième siècle pour voir se développer une recherche en physiologie humaine destinée dans un premier temps à comprendre le mouvement (enregistrements cinématographiques) puis plus tardivement à tenter d'évaluer la condition physique et l'effet de l'entraînement sur la performance.

Cette augmentation de la sophistication des tests de laboratoire, fruit des recherches fondamentale et appliquée en physiologie, éloigne malheureusement le sportif de son terrain et rend parfois aléatoire l'explication des résultats à l'entraîneur ou au principal intéressé.

Cette distorsion entre la recherche et les conditions de la performance redonne aux tests de terrain un regain d'intérêt.¹

2 - Intérêt et limites du test de terrain

2 - 1 Intérêt

- Il s'agit le plus souvent de tests faciles à réaliser
- Le matériel utilisé est d'une grande simplicité et peu onéreux
- Il est réalisable dans les conditions de l'exercice
- L'interprétation est simple
- Il peut être réalisé plusieurs fois dans l'année
- Il peut être maximal

2 - 2 Limites

- Il est souvent non quantifiable .
- Son interprétation ne doit pas donner lieu à des extrapolations.
- Il doit être adapté aux sujets testés.
- Il doit être réalisé par un entraîneur expérimenté.
- Les résultats ne peuvent être comparés d'un athlète à l'autre.

3 - Réalisation des tests de terrain

3 -1 Conditions de l'exercice

Le test de terrain doit être réalisé comme son nom l'indique sur le terrain dans les conditions de l'exercice. Autrement dit les coureurs doivent courir, les nageurs nager et les cyclistes pédaler...

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entrainement ». 4ème édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

Il n'est pas toujours aisé, malgré l'apparente facilité de ce qui vient d'être énoncé, de se replacer dans les conditions de la performance.

Athlètes : Nature de la piste, vitesse du vent, intempéries, température extérieure.

Nageurs : Taille du bassin, température de l'eau.

Cycliste : type de circuit, réglage du vélo, conditions extérieures...

Ce principe devient d'autant plus difficile à respecter que l'exercice lui-même fait intervenir des impondérables (débit d'eau en canoë ou kayak), interaction avec d'autres partenaires (sports d'équipe ou de combat), multiplicité des contraintes physiques (rugby, foot, handball...).

Pour ces différentes raisons le test de terrain ne saurait envisager l'ensemble de la «condition physique» d'un athlète, mais une fonction physiologique déterminée (force, vitesse, résistance...).

Dès lors le test de terrain se conçoit comme une « batterie de tests » destinés à cerner au mieux les capacités physiques du sujet à tester.

3 - 2 Quantification et reproductibilité¹

L'absence de quantification n'est pas antinomique de la reproductibilité d'un test.

3 - 2 - 1 Quantification

La quantification d'un exercice est toujours délicate, que ce test soit réalisé sur le terrain ou en laboratoire. Si l'on peut mesurer aisément un temps ou le déplacement d'une charge, il est illusoire de vouloir quantifier en Watt la puissance d'un test sur le terrain. La mesure de cette donnée physique, réalisable sur une bicyclette ergométrique ou un rameur en fonction de la vitesse et pédalage et de la résistance au déplacement, devient purement virtuelle dès l'instant où un sportif court sur un tapis roulant (physique des corps déformables, plasticité musculaire, application de la force perpendiculaire au déplacement, résistances entre la semelle et le tapis..).

On se passera donc de la quantification absolue pour se satisfaire d'une quantification relative (non mesurable mais reproductible).

3 - 2 - 2 Reproductibilité

La reproductibilité d'un test est seule garante de son interprétation. L'examineur doit donc évaluer l'athlète dans des conditions strictement identiques. Pour cela il doit mesurer avec une grande précision les paramètres « environnementaux » du test.

¹ Véronique Billât « Physiologie et méthodologie de l'entraînement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles.

- Température extérieure ou de la salle
- Absence de vent
- Heure du dernier repas
- Matériel du sportif et de mesure

Quand ces conditions sont réunies, le test lui-même peut être exécuté.

Le test doit être parfaitement codifié (durée, vitesse, nombre de répétitions...).

La, ou les mesures réalisées pendant le test ou à son issue, doivent impérativement être effectuées avec un matériel identique (balance, chronomètre, sport tester..) à celui des tests précédents. Quand on connaît la variabilité des mesures de poids obtenu avec plusieurs balances, on comprend que seule la balance utilisée lors du premier test puisse être retenue.

3 - 3 Interprétation

L'interprétation d'un test doit se limiter au minimum, c'est-à-dire uniquement aux paramètres mesurés. Les interprétations faisant appel à des calculs ou à des tables sont par nature fausses. Ainsi, le calcul de la masse grasse par rapport aux plis cutanés, les VO₂ max calculés... Ne sont que des valeurs de pure fantaisie, malheureusement souvent réclamées par l'entraîneur ou le sportif lui-même.

Le poids, un temps, une fréquence cardiaque, une distance, une vitesse, une pression artérielle sont des valeurs facilement mesurables susceptibles de donner de précieuses indications physiologiques. Leur multiplication, division ou autres calculs, outre qu'ils entraînent de grandes variations de l'écart type, aboutissent à des valeurs ininterprétables.

L'interprétation d'un test est toujours réalisable pour un même sujet (2 ou trois tests dans l'année). Elle est beaucoup plus difficile quand il s'agit de plusieurs sujets (âge, sexe, morphologie, origine ethnique...).

4 – Facilité de réalisation

C'est un critère indispensable. Les tests nécessitant un matériel sophistiqué ou des équipes spécialisées, des protocoles longs et fastidieux, limitent le nombre de sportifs susceptibles de bénéficier du suivi de l'entraînement et lassent vite le sportif obligé de se déplacer, souvent assez loin de son lieu d'entraînement, pour « subir » ce qu'il ressent comme une véritable corvée inutile.

Pour la même raison ces tests doivent être peu onéreux, ne grevant pas ainsi le budget du club souvent déjà bien insuffisant malgré les subventions et le bénévolat.

5 - Différents tests de terrain

5-1 Tests biométriques

5-1-1 Poids et taille**5-1-1-1 Rapport poids taille****5-1-1-2 Evaluation de la masse grasse**

La diminution ou la stabilisation de la masse grasse peut ainsi être très facilement évaluée sans donner des valeurs qui certes en imposeront, mais ne correspondront scientifiquement à rien.

5-1-2 Les indices de forme

Ces indices calculés à partir de la taille, du poids, de la capacité vitale et des périmètres xiphoïdien et abdominal relèvent de la plus haute fantaisie. Très largement utilisés dans les années 50 et 60, ils sont maintenant abandonnés. Rien ne peut remplacer un examen clinique sérieux, seul capable de déterminer la corpulence et la condition biométrique d'un sportif.

I = indice **PT** = Périmètre thoracique **PTI** = Périmètre thoracique en inspiration

PA = Périmètre abdominal **T** = Taille **P** = Poids **CV** = Capacité vitale

Indice de Ruffier $I_r = (PTI - PA) - T + P + 100$

<10 = médiocre

>20 Très bon

Indice de Perolini $I_p = T - 100 + PA - (P + CV + 20)$.

<10 = Corpulent

11 à 20 = Bon

21 à 30 = Médiocre

>31 = Très médiocre

Indice de Demeny $I_d = CV \cdot 100 / P$

<5 = Médiocre

5 – 6 = Moyen

>6 = Très bon

Indice de Pignet $I_P = T - (P + PT)$

<10 = Fort

10 à 20 = Moyen

>20 = Faible

Indice de Spehl Is = CV. P/T

<150 = Faible

150 à 180 = Bon

>180 = Très bon

Quotient de Vermeck = $Q_v = 100(P + PT)/T$

Plus le Q_v est élevé,

Plusieurs études menées à l'IUSS dans les années 70 ont montré que ces tests pratiqués chez un même individu pouvaient donner des résultats contradictoires. Bien que figurant encore dans certains dossiers médicaux fédéraux, leur intérêt est nul. Ils peuvent être définitivement abandonnés¹

Ces tests sont à abandonner

5-1-3 Tests de souplesse

Ces tests cherchent à évaluer les capacités de souplesse d'un individu. En pratique seul le test de souplesse des chaînes musculaires postérieures est réalisé.

5-1-3-1 Evaluation globale de la souplesse

5-1-3-2 Test de Wallace

5- 2 Temps de réaction

Encore peu utilisés, ces tests devraient très rapidement, du fait du développement rapide des techniques de gestion informatique (enregistrement et traitement de l'image), pouvoir donner des éléments techniques à l'entraîneur.

5-3 Test de détente

5-4 Tests de vitesse

5-5 Tests évaluant la force

¹ Véronique billât « Physiologie et méthodologie de l'entrainement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles.

5-6 Tests évaluant l'apnée

5-6-1 Test d'apnée

5-6-2 Test de Flack

Cours n°5

Les Tests d'évaluation des capacités cardiaques

5--1 Tests d'aptitude

Attention les tests d'aptitudes, facilement réalisables sur le terrain, ne sont pas des tests de suivi de l'entraînement. L'effort demandé est en effet trop faible

pour que la stimulation cardiovasculaire puisse être interprétée comme marqueur de l'entraînement.

Pour trois d'entre eux il suffit d'effectuer 30 flexions sur les jambes en 45 s et de calculer, à partir du pouls de repos et de la fréquence cardiaque après l'effort, un indice ou un temps de retour à la normale.

$$\text{Test de Ruffier Ir} = \frac{(P0 + P1 + P2) - 200}{10}$$

P0 = Pouls de repos, P1 = Pouls 1 minute après, P2 = Pouls 2 minutes après

0 à 5 = très bon, 5 à 10 = bon, 10 à 15 = moyen, 15 à 20 faible.

$$\text{Test de Ruffier Dickson Ird} = \frac{(P1 - 70) + 2(P2 - P0)}{10}$$

<3 = Très bon, 3 à 6 = Bon, 6 à 8 = Moyen, >8 = A surveiller

Bien que ces tests donnent une appréciation sur la récupération cardio-vasculaire, ils devront être interprétés en bon ou mauvais. Si le test est jugé mauvais, des explorations cardio-vasculaires sont à entreprendre.

Test de Martinet

Dans ce test la Ta et le pouls sont mesurés au repos et après l'exercice. Le test est considéré comme bon si le temps mis pour retrouver les valeurs de repos est inférieur à 3 minutes.

Là aussi, il est illusoire de vouloir associer le temps de récupération à un niveau quelconque d'entraînement.

Les tests d'aptitudes ne doivent en aucun cas être utilisés pour tenter d'évaluer la condition physique d'un sportif.¹

5-7-2 Tests de suivi cardiaque

5-7-2-1 STT

Le STT, ou systolic tension time correspond au produit de la fréquence cardiaque par la pression systolique après un effort quantifié.

L'exercice consiste à monter et à descendre d'un tabouret ou d'une marche de 40 cm de hauteur au rythme de 20 montées par minute pendant une durée de cinq minutes. Exercice retrouvé dans aucune discipline sportive.

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

<15000 = excellent 15000 à 20000 = Bon 20000 à 25000 = Moyen >25000 = à surveiller

Bien que la stimulation cardiaque soit satisfaisante pour espérer évaluer un effet de l'entraînement, l'inadéquation de ce test avec les exercices réalisés sur le terrain, rend son interprétation douteuse. Le calcul de la VO₂ max à partir de ce test est sans valeur.

Pour une raison difficile à expliquer ce test est obligatoire dans le cadre de la visite de non contre-indication des arbitres de football ?

5-7-2-2 Test de Cooper

Le test de Cooper ou test des 12 minutes est d'une réalisation très simple. Il suffit de courir sur une piste d'athlétisme pendant 12 minutes et de mesurer la distance parcourue. Plus la distance est grande, plus le sportif est considéré comme « bon ».

Ce test présente quatre inconvénients majeurs :

= Il n'est pas très reproductible car il nécessite un apprentissage (gestion de la vitesse de course en fonction du temps).

= Il prend en compte des facteurs psychologiques en rapport avec la motivation (gestion de la souffrance, peur de ne pas être sélectionné).

= Il n'est spécifique que de la course de fond (et pourtant sans intérêt chez un athlète qui se testera de façon beaucoup plus réaliste sur la distance réelle de sa course).

= Il peut être dangereux du fait de la très forte stimulation cardiaque (fréquence cardiaque maximale très souvent atteinte). Pour cette raison une équipe de réanimation doit être présente sur le terrain.

Autrefois utilisé pour tester les arbitres de handball, il est désormais abandonné dans cette discipline.¹

Le test de Cooper ne correspond à rien, il doit être définitivement abandonné

5-7-2-3 Tests navette

Les tests navette sont multiples. Ils consistent à réaliser en courant, en nageant, en skiant...une activité gestuelle simple ou accompagnée de séquences spécifiques à l'activité. L'exercice est rythmée par des spots lumineux, des coups de sifflets, des références sur le sol...Il est généralement répété trois ou quatre fois de suite avec des temps de récupération plus ou moins longs.

¹ Véronique billât « Physiologie et méthodologie de l'entrainement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles.

L'évaluation du test prend en compte la variation de la fréquence cardiaque et la valeur de cette dernière au niveau du plateau.

Les avantages du test navette consistent en :

- = Sa simplicité de mise en œuvre
- = Sa reproductibilité
- = Sa spécificité vis-à-vis de l'activité physique
- = La facilité de mesure de la fréquence cardiaque (en utilisant des « sporttesters » plusieurs sportifs peuvent être testés en parallèle).

Ex 1 : On demande au sujet pratiquant le sprint (80 ou 100 m) de réaliser quatre fois de suite un 60 mètre avec trente secondes de récupération entre chaque course.

Ex 2 : Pour des handballeurs on peut organiser le test de la façon suivante. Départ du milieu de terrain, sprint jusqu'à la zone, défense dos au but bras levés jusqu'au coin du terrain, sprint jusqu'au coin opposé, retour en marchant jusqu'au rond central (quatre répétitions chronométrées).

L'interprétation prend en compte l'augmentation de la fréquence cardiaque et la valeur de cette fréquence au plateau.

La première partie de la courbe permet d'évaluer la qualité de la réponse cardiaque lors de la stimulation (pente de la droite, la deuxième partie le niveau d'entraînement du sujet. Plutôt que de vouloir traduire la valeur de la fréquence cardiaque au plateau VO₂ max, (approximation fautive car utilisant des tables inadaptées au sujet), on se contentera de la valeur exacte de la fréquence cardiaque.

Plus la pente est raide plus le cœur est stimuable, plus la fréquence cardiaque au plateau est basse, meilleur est l'entraînement du sportif. On se gardera de vouloir comparer les sujets entre eux, ce test ne présente qu'une réelle valeur que pour un sujet pris comme son propre témoin.

5-7-3 Tests évaluant la récupération cardiaque

Ces tests ont pour principal intérêt de dissocier les qualités aérobie et anaérobie du sujet.

Après un test navette adapté à l'activité choisie, on prolonge la prise du pouls pendant cinq minutes après l'arrêt de l'exercice. Le pouls est noté chaque minute et reporté sur un diagramme.

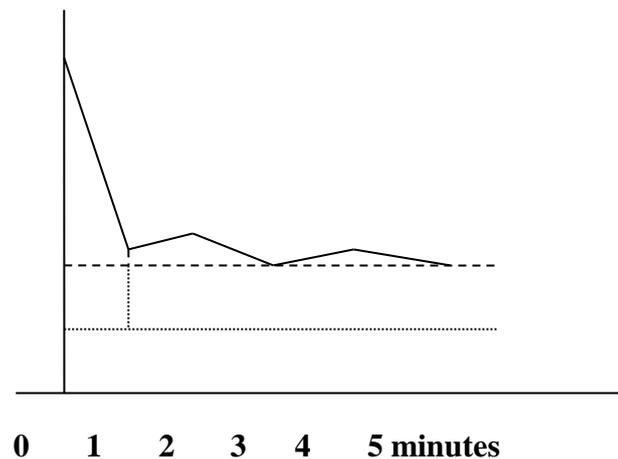
Ce test, encore appelé test de Chanon, peut être parfaitement adapté aux conditions physiologiques de l'effort. Le matériel se limite à un chronomètre et à la disponibilité du terrain de sport.

Le test comprend une série d'exercices quantifiés d'une durée maximale d'une minute, séparés par des périodes de repos variables suivant les disciplines mais n'excédant pas 90 secondes.

La courbe de récupération obtenue à la fin du test comprend deux parties :

- = Une première partie de diminution rapide de la fréquence cardiaque (pendant la première minute).
- = Une deuxième partie, de décroissance plus lente terminée par une phase en plateau.

Pouls



La **décroissance rapide** est appréciée par la projection sur l'abscisse du point d'intersection de la droite joignant les pouls à l'arrivée et à la première minute avec la droite horizontale appréciée par la valeur du pouls de repos (point A). Cette valeur peut également être appréciée en termes de pente :

$$y = ax + b \quad \text{ou } a = (y - b)/x \text{ ce qui donne } b = \text{pouls à l'arrivée}$$

$$y = \text{pouls à une minute et } x = 1 \text{ (minute)}.$$

Exemple chiffré : $b = 165$, $x = 1$ $y = 100$, cela donne : $a = 65$

La **décroissance lente** est appréciée par le pouls à la cinquième minute ou par la droite moyenne passant par les trois derniers points, obtenue de manière graphique (point B).

Ces valeurs correspondent à la **récupération anaérobie alactique** pour la première valeur (elle est d'autant meilleure que la pente est forte, c'est-à-dire le chiffre élevé), à la **récupération lactique** pour la seconde (plus le chiffre est bas, meilleure est la récupération).

Interprétation du test

Les valeurs de ces deux points sont ensuite reportées sur un diagramme récapitulatif, représentatif de la population concernée. La simple lecture de ce diagramme donne les grandes lignes de l'entraînement à suivre pour améliorer l'une ou l'autre des voies métaboliques concernées.

Le sujet testé peut ainsi très facilement être suivi pendant sa saison sportive, le test étant répété autant de fois qu'on le souhaite.¹

	<70	60	50	>40	Pente (A)
< 60	Exel	TB	Bon	As Bien	Moyen
70	TB	As Bien	Bien	Moyen	Médiocre
80	Bon	As Bien	Moyen	Médiocre	Mauvais
90	As Bien	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très Mauvais
>100	Moyen	Médiocre	Mauvais	Très Mauvais	Surentraîné

Fréquence cardiaque à cinq minutes de récupération (B)

En fonction de sa position dans le tableau, le sujet pourra ainsi orienter son entraînement vers la vitesse pure (anaérobie alactique) si le point A apparaît trop à droite ou l'entraînement en anaérobie lactique si le point B apparaît trop bas.

Adaptation du test à différentes disciplines

Ce test peut se décliner pour toutes les disciplines en respectant au mieux leur spécificité.

= Pour les activités de type course

Quatre fois 200 mètres pratiqués à 80% de la vitesse maximale préalablement mesurée, entrecoupés par 1 minute 20 sec de récupération entre chaque 200 mètres.

¹ Véronique Billât « Physiologie et méthodologie de l'entraînement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles.

= Natation

Six fois 50 mètres à 80% de la vitesse maximale avec 1 min 30 de récupération.

= Tennis

Quatre séries d'exercices d'une minute chacun avec 1 minute 30 de récupération consistant à renvoyer la balle au fond du court, puis à courir toucher avec sa raquette un objet placé à l'intersection des carrés de service avant de retourner se placer en fond de court. Les balles sont envoyées grâce à une machine toutes les 10 se.

= Karaté

Les sportifs doivent effectuer cinq séries de 60 mouvements espacés chacun par une minute de récupération. Chaque série de mouvements est pratiquée en une minute et comprend en partant de la position Zen Kutsu, un Mae geri au niveau de la ceinture suivi d'un Gyakuzuki au niveau des épaules.

= Ski de fond

Quatre séries de 250 mètres, à 80% de la vitesse maximale, sur une pente à 3% entrecoupées de périodes de repos de 1 minute 20 sec de récupération.

= Marche athlétique

Quatre 200 mètres en marchant à 90% de la vitesse maximale, séparés par 1 minute 20 sec de récupération.

= Handicapés en fauteuil

Dans un gymnase, des courses en fauteuil roulant autour du terrain de basket pendant une durée de 30 sec espacées de 1 minute 30 sec de récupération.

= Gymnastique

Quatre séries d'exercices de 30 sec chacun comprenant roulades et roues (8 en 30 sec) avec 1 minute 30 sec de récupération entre chaque série.

CONCLUSIONS

Les tests de terrain sont d'excellents moyens de suivre un sportif pendant sa saison. Leur pratique est simple, reproductible et les résultats obtenus aisés à interpréter. Dans un souci d'exactitude, on se gardera des calculs utilisant des tables pour obtenir par des calculs intégrant

des paramètres inexacts, des valeurs erronées de VO₂max, de masse grasse, d'indice de forme...¹

Déroulement d'un test d'évaluation

La première obligation est de toujours respecter la spécificité de l'effort, ce qui offre au triathlète la possibilité de réaliser un test sur tapis ou sur bicyclette. Le choix se fera en fonction des souhaits et objectifs du sportif. Il sera préférable de privilégier la discipline qui fait défaut, dans laquelle le triathlète est le moins fort pour justement équilibrer le niveau par un entraînement adapté.

Pour les novices, il est préférable de réaliser le premier test sur bicyclette. Le test sur tapis est en effet beaucoup moins « agréable », car contrairement aux idées reçues, courir sur un tapis est loin d'être évident. Le test sur vélo est un effort beaucoup plus progressif, ce qui reconfortera l'athlète, et offre beaucoup plus de stabilité dans les paramètres cardio-respiratoires.

Il faudra privilégier les tests sur vélo réalisés sur home-trainer plutôt que sur vélo de laboratoire. Ces tests présentent l'avantage de permettre d'évaluer les performances en tenant compte des réglages spécifiques à chaque sportif, que ce soit les réglages des braquets et plateaux qui conditionnent le rendement mécanique, comme du respect de la position et technique de pédalage sur le vélo. Les applications à l'entraînement n'en seront que plus fidèles.

Les volumes d'O₂ et de CO₂, inspirés et expirés, sont recueillis à l'aide d'un masque, et vont permettre d'analyser l'adaptation respiratoire du sportif par rapport à l'intensité de l'effort demandé.

L'arrêt du test est souvent obtenu à la demande du sportif, devant l'apparition d'une sensation d'épuisement. Le plateau de VO₂ et la FC maximale peuvent également être des critères d'arrêt.

Un test sur vélo de laboratoire reste toujours une bonne méthode pour réaliser le calcul de la VO₂Max, même chez un marathonien. La spécificité du choix de l'ergomètre doit se faire si le plateau le propose (tapis, vélo, home trainer, ergo aviron ou canoé kayak).²

Vos résultats

Deux types de résultats peuvent dériver de ces tests : les paramètres de l'effort maximal et les paramètres intermédiaires.

a) Paramètres de l'effort maximal :

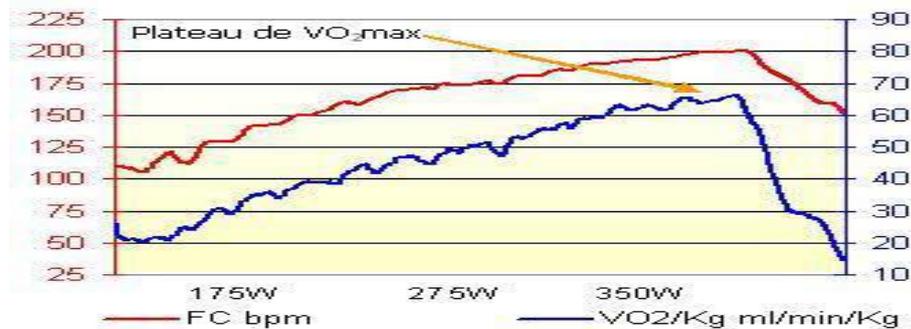
¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4ème édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

² Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4ème édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

- **Ventilation maximale et VO₂max** : Il n'est pas rare d'observer des valeurs très élevées de volume expiré maximal, de l'ordre de 200 litres/minute, ce qui n'est pas préjudiciable. La valeur de ce débit n'est pas un facteur de performance.

Plus intéressant est l'évolution de la consommation d'oxygène qui augmente avec l'intensité de l'effort, pour finir par se stabiliser « en plateau » à partir d'une certaine intensité. Ce plateau témoigne du plafonnement des possibilités d'adaptation du sportif à l'effort demandé. La VO₂max est alors atteinte.

La consommation maximale d'oxygène et la fréquence cardiaque évoluent linéairement avec l'augmentation de la charge de travail. Ceci est un facteur de bonne adaptation physiologique à l'exercice.



- **La f**
supé
pou

énéral
dition
ment.

La FC max viennent la surestimer (sprint final, stress de la compétition...). Cette valeur de FC max servira de référence pour établir secondairement les applications à l'entraînement.

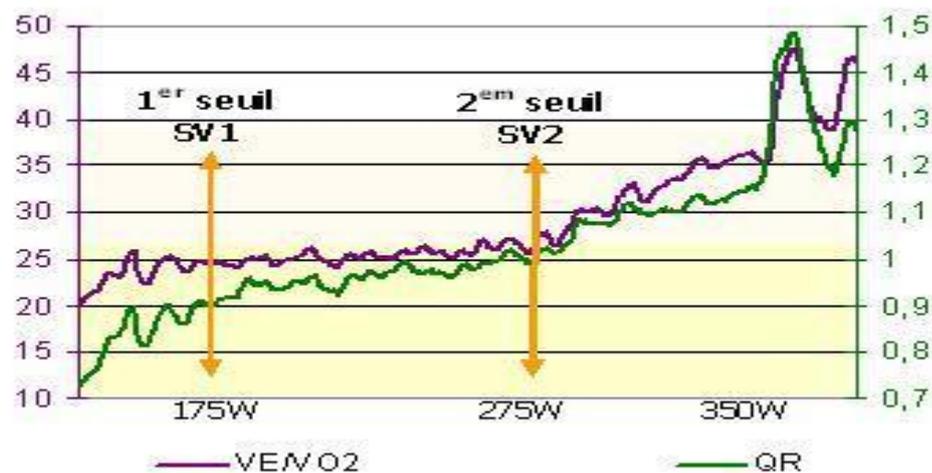
cteurs

- **La Puissance maximale aérobie (PMA)** : La PMA se définit comme étant la puissance maximale développée, correspondant à la consommation maximale d'oxygène. La PMA n'est donc pas forcément (même rarement) la puissance maximale atteinte. La confusion entre puissance maximale atteinte et PMA est fréquente. Ces deux paramètres de puissances seront interprétés conjointement pour établir les puissances de travail à l'entraînement.
- **La Vitesse maximale aérobie (VMA)** : Utilisée pour les tests sur tapis, la VMA correspond à la vitesse développée lorsque VO₂max est atteinte. Cette VMA n'exclut pas la possibilité pour le sportif de courir plus vite, en général de 1 à 2km/h.

b) Paramètres intermédiaires :

- **Tension artérielle et fréquences cardiaques** : L'évolution de ces paramètres cardio-vasculaires n'a que peu d'application pour le sportif, raison pour laquelle il s'en désintéresse. La tension artérielle et la courbe des fréquences cardiaques ont essentiellement un intérêt purement médical. La cinétique de ces paramètres reflète l'aptitude cardio-vasculaire à l'effort, et fait éventuellement le diagnostic de certaines anomalies comme les hypertensions artérielles d'effort.¹

Paramètres respiratoires : les Seuils Ventilatoires (également appelé seuil d'inadaptation ventilatoire)



- **VE/VO₂** : Le rapport de la Ventilation / Volume d'O₂ apporte la même interprétation : pour une puissance donnée, la consommation d'O₂ va commencer à se limiter, à s'infléchir, alors que le sportif continuera de s'essouffler de plus en plus, d'où un rapport qui augmente.

Deux paramètres se révèlent d'une importance particulière :

– QR : Le Quotient Respiratoire : correspond au rapport Volume de CO₂ expiré / Volume d'O₂ consommé (VCO₂/VO₂).

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

Plus l'effort augmente en intensité, plus ces deux volumes augmentent également. Ceci jusqu'à une certaine puissance d'exercice, à partir de laquelle le rejet de CO₂ s'élève plus fortement que la consommation d'O₂ (modification des capacités aérobies du sportif). Le rapport va donc augmenter, ce qui se traduit par une cassure de courbe. Cette cassure correspond au 2^{ém} seuil ventilatoire SV₂ (également appelé seuil d'inadaptation ventilatoire).

De la même manière, la mise en jeu de la glycolyse aérobie à partir d'une puissance donnée va identifier le 1^{er} seuil SV₁, à partir duquel, on peut considérer que le sportif commence à travailler son endurance.

La zone de puissance située entre ces deux seuils, correspond à une zone de stabilité en ce qui concerne l'adaptation à l'effort, que ce soit l'adaptation cardiorespiratoire ou énergétique. C'est ce que l'on peut appeler le plateau d'endurance.

Modalités pratiques

Quel que soit le type d'effort à réaliser sont préalablement donnés et signifiés au sportif les risques encourus lors de la réalisation d'un test d'effort. Ce consentement doit être signé par le sportif, qui a pris bonne note de l'ensemble des risques, et doit poser préalablement toutes les questions pouvant lever les points d'ombre.

Il est rappelé que les risques principaux sont représentés par les blessures pouvant provenir lors du maniement de l'ergomètre ou des chutes lors d'une course sur tapis. Toutefois, réaliser une épreuve d'effort à visée sportive représente les mêmes risques que celle réalisée pour une épreuve d'effort cardiologique. Les accidents cardiaques, même s'ils sont rarissimes, peuvent survenir avec comme conséquence majeure, la mort par désadaptation cardio-respiratoire.

C'est pour limiter la survenue de ce risque majeur que les équipes médicales doivent être performantes, formées et habituées à la réalisation de tel test. Elles doivent par ailleurs posséder du matériel de réanimation et pouvoir orienter le sportif vers un centre de réanimation proche.

Le déroulement du test pourra se faire après avoir levé toutes les contre-indications préalables à la pratique d'un tel effort. Le patient sera équipé d'électrodes permettant d'enregistrer un électrocardiogramme de repos, puis obtenir pendant tout l'effort et en récupération une trace électrique de l'activité du cœur et de sa fréquence cardiaque. Lorsqu'il s'agit de réaliser en complément une VO₂Max par méthode directe, le sportif sera équipé d'un masque étanche, relié à un analyseur d'air, permettant l'enregistrement en continu des différents paramètres ventilatoires.

Le principe de l'épreuve d'effort sportive est d'augmenter très progressivement l'intensité de l'effort par paliers successifs. Parallèlement, sont enregistrées les données cardio-ventilatoires. L'objectif est d'obtenir un effort maximum, permettant de chiffrer les paramètres cardio-ventilatoires pendant la dernière minute de cet effort. Pour ce faire, il faut que le sportif puisse être en fréquence cardiaque maximale, et arrive pratiquement à épuisement.

A tout moment, l'opérateur, assisté de son aide (souvent une infirmière), ou le sportif, pourront mettre fin à l'épreuve d'effort suite à la survenue d'un incident technique ou l'apparition d'une anomalie sur les paramètres enregistrés. Le sportif pourra lui-même mettre fin à l'épreuve d'effort s'il ressent ou perçoit un signe anormal.

Pour réaliser une épreuve d'effort sportive, il faut être en bonne forme physique, ne pas être souffrant, ne pas avoir eu de syndrome infectieux ou viral dans les 15 jours qui précèdent, et le sportif doit signaler tous les médicaments qu'il est susceptible de prendre ou avoir pris. Le sportif doit être équipé d'une tenue adaptée au type d'effort réalisé, ne pas être à jeun, et doit pouvoir se réhydrater et prendre une douche après l'effort.

Que pouvez-vous en attendre ?

- **Que penser de votre VO₂max ?**

Les triathlètes, comme tous les sportifs d'endurance, ont tendance à donner trop d'importance à la valeur de leur consommation maximale d'oxygène. Comme s'ils en attendaient un témoin fidèle, une amélioration significative, pour les rassurer dans leur programmation d'entraînement.¹

Certes, VO₂max reflète les possibilités optimales des performances aérobies. Mais il faut relativiser la valeur de VO₂max. Même s'il existe une grande variabilité inter individuelle, en général, ce paramètre évolue peu au cours de la saison, contrairement aux autres facteurs associés tels que la PMA, la VMA, mais surtout la capacité aérobie. PMA et VMA pourront ainsi être réévaluées par des tests de terrain au cours de la saison sportive.

- **Applications à l'entraînement**

L'ensemble des applications à l'entraînement va résulter de l'identification des deux seuils précédemment cités (SV1 et SV2). L'évolution des paramètres respiratoires (QR), corrélée avec les courbes des fréquences cardiaques et de la VO₂, va permettre de caractériser les deux seuils, en termes de puissance, de fréquence cardiaque, et de consommation d'O₂.

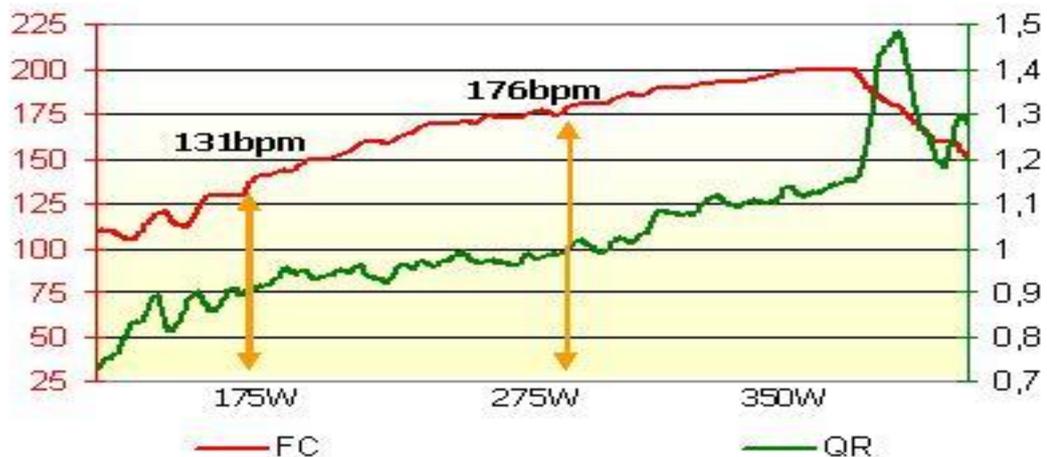
Dans le cadre de notre exemple :

Seuils	Puissance Watt	FC bpm	%FC max	O ₂ ml/kg/mn	% VO ₂ max
SV1	175	131	65%	33	51%
SV2	275	176	87%	52	81%

On peut ainsi établir des plages d'entraînement en puissance pour les séances de home traîner, et des zones de FC pour les sorties vélo.

Dans le cas présent, les sorties longues d'endurance foncière à 70% de VO₂max devront s'effectuer entre 160/165 de FC (80% de FC max) pour être efficaces, soit 225W.

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. .octobre 2017. Paris



D'autres protocoles sous forme de séries d'accélération 8 à 10 x 6min au 2^{ème} seuil (r^2), soit à 275W et 170/175 de FC permettront de travailler spécifiquement ce 2^{ème} seuil, pour un travail orienté vers la puissance aérobie. La connaissance précise de la PMA, et de la fréquence cardiaque qui s'y rapporte sera de la même façon très utilisée pour d'autres séances spécifiques par travail fractionné.

Le travail devient ainsi particulièrement précis et orienté vers le développement d'une aptitude physique recherchée.

- **Votre capacité aérobie** : La capacité aérobie peut se définir comme étant votre capacité à utiliser votre potentiel aérobie. Car il ne suffit pas d'avoir une excellente VO₂max pour avoir un haut niveau de performances aérobies ! Encore faut-il savoir l'utiliser !

L'entraînement devra comporter des séances orientées vers le développement de cette aptitude, par un travail en aérobie couplé à certains exercices de puissance, notamment en fractionné.

Même si la VO₂max reste peu ou pas modifiée au cours de la saison, son niveau d'utilisation sera amélioré, témoignant d'une « économie » de l'organisme tout en produisant un travail identique.

L'entraînement cherchera à décaler le plateau d'endurance précédemment décrit (donc le SV₂) vers la droite, c'est-à-dire vers des puissances supérieures. Pour la même adaptation énergétique, l'effort produit sera alors supérieur. D'autres indicateurs pourront également témoigner d'une amélioration, telle que des FC inférieures pour un niveau de puissance identique. La fraction d'utilisation de l'O₂ pourra également être modifiée.

La répétition de ces tests au cours d'une saison sportive montre en général ce type de progression. Il ne faut donc pas s'arrêter devant une VO₂max identique, qui n'exclut pas une amélioration du niveau de performance.

L'amélioration qualitative de l'entraînement (devenu alors plus spécifique et adapté) se manifeste en général par une diminution du volume d'entraînement. La récupération n'en sera que meilleure, ce qui contribue à échapper au surentraînement.

- Pour le test sur tapis

Les résultats similaires peuvent être établis avec les tests sur tapis et leurs applications en course à pied. Les protocoles des séances de développement de l'aérobie ou de la VMA relèvent d'une grande précision, et deviennent particulièrement efficaces.

Applications pratiques

L'épreuve d'effort à visée sportive :

- permet de connaître votre profil physiologique et votre fréquence cardiaque maximale
- permet d'évaluer votre consommation maximale d'oxygène
- détermine votre VMA (Vitesse Maximale Aérobie) ou PMA (Puissance Maximale Aérobie)
- permet de construire un plan d'entraînement sur mesure
- permet de prédire globalement une performance

Conclusion

Ce type d'exploration par test VO₂max est particulièrement intéressant, pour d'une part connaître et objectiver son niveau de performance, d'autre part optimiser l'entraînement.

Ces tests apportent une amélioration qualitative de l'entraînement. Celui-ci devient personnalisé à sa propre adaptation énergétique et cardiorespiratoire. Ils permettent de construire des séances spécifiquement orientées vers le développement d'une aptitude physique souhaitée.

Attention : il faut toujours associer entraînement avec adaptation de son hygiène de vie, connaissance d'une bonne alimentation et pratique de séances d'étirements et récupération.¹

Cours n°6

Effet de l'altitude sur l'organisme

¹ Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. .octobre 2017. Paris

Qu'est-ce Que L'altitude ?

L'altitude se traduit par une baisse de la pression atmosphérique (en millibars ou en millimètre de mercure) ; plus on monte, plus la pression baisse ; par exemple à 0 m d'altitude elle est de 760 mmHg, alors qu'à 4808 m elle est de 416.3 mmHg et à 8846 m de 236.3 mmHg.

La pression à une certaine altitude diffère selon le climat et la saison : la pression est plus élevée en été qu'en hiver (c'est dû à la température).

L'altitude se traduit aussi par la baisse de la pression d'O₂ dans l'air ambiant : il y a toujours 21% d'O₂ mais la quantité d'O₂ baisse, car la pression atmosphérique baisse ; en altitude la température baisse aussi, jusqu'à plus de 40°C en dessous de zéro à plus de 8000 m d'altitude.

La fréquence cardiaque augmente-t-elle au repos en fonction de l'altitude ?

La fréquence cardiaque a-t-elle un retour à la normale à la fin du séjour ?¹

Les effets de l'altitude sur l'homme

Chez l'homme, l'altitude agit surtout sur l'organisme par

- la diminution de la pression partielle de l'oxygène dans l'air inspiré,
- la diminution de l'air totale,
- l'abaissement de la température.

Il s'en suit une hyperventilation, c'est à dire une augmentation de la respiration, une tachycardie, augmentation de fréquence cardiaque, et une augmentation du nombre de globules rouges dans le sang (polyglobulie), à cause de l'hypoxie.

¹ Jack H wilmore, David L Costill « Physiologie du sport et de l'exercice : les adaptations... » 2^{ème} édition De Boeck, Bruxelles

Effet de l'altitude sur la pression et l'oxygène atmosphérique		
Altitude en mètres	Pression atmosphérique en mmHg	Pourcentage de dioxygène restant
0	760	100
1000	674,1	88,7
2000	596,3	78,5
3000	526	69,2
3500	493,4	64,9
4000	462,5	60,9
4500	432	56,8
5000	405,4	53,3
6000	354,2	46,6
7000	308,3	40,6
8000	267,4	35,2
8848	236,3	31,1

26

Modifications physiologiques

La diminution de la pression d'oxygène dans l'air inspiré en altitude est compensée,

À court terme, par l'augmentation des rythmes cardiaque et respiratoire et la rétention des fluides dans le corps,

À long terme, par une redistribution sanguine, augmentation considérable du nombre de globules rouges permettant le transport d'oxygène par le sang, des modifications intracellulaires mal connues permettant aux cellules de s'adapter.

Au-delà de 5 500 m environ, la compensation ne permet plus la survie permanente : on observe progressivement une perte des poids avec fonte musculaire, disparition de l'appétit, insomnies, maux de tête, nausées, œdème pulmonaire ou cérébral, perte de conscience.

- Chaque fois que l'altitude augmente la fréquence cardiaque augmente.
- L'altitude modifie la fréquence cardiaque au repos en haute altitude et à la fin du séjour la fréquence cardiaque retourne à la normale.
- L'altitude entraîne un changement dans le fonctionnement de l'organisme, au niveau cardiaque. Cela correspond bien à une adaptation de l'organisme suite à un changement de milieu. Cela permet de compenser le manque de dioxygène qui accompagne l'augmentation d'altitude.¹

*caractéristiques de l'environnement hypoxique :

- **Qu'est-ce-que l'hypoxie ?**

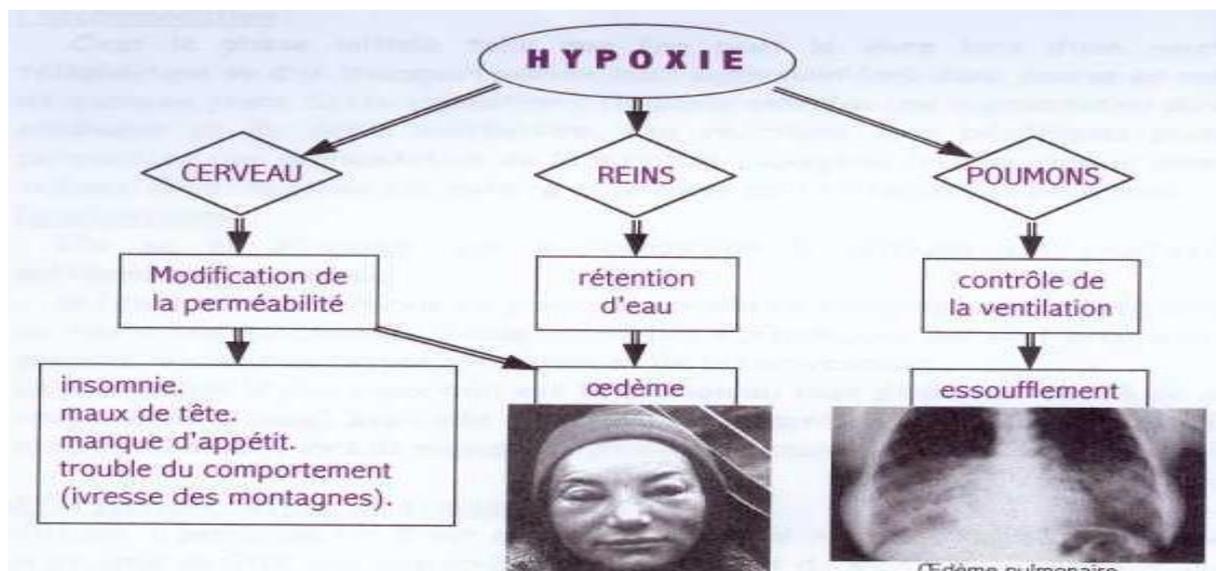
¹ Jack H wilmore, David L Costill, W Larry kenney « physiologie du sport et de l'exercice » 4^{ème} édition Deboeck. Bruxelles 2009.

Ce phénomène d'hypoxie a été montré dès le siècle dernier par «PAUL BERT», cet auteur a démontré que les effets nocifs de l'altitude sont liés à la chute de la pression atmosphérique et non au manque d'oxygène, entraînant une baisse de pression partielle d'oxygène de l'air.

La principale modification de l'environnement liée à l'altitude et la baisse de pression atmosphérique (Pa). La (Pa) de l'air diminue, en effet, au fur et à mesure qu'on s'élève au-dessus du niveau de la mer. C'est ainsi qu'elle passe d'environ 760 mm Hg au niveau de la mer à 510 mm Hg à 3048 mètres.

- **La pression atmosphérique** : est directement fonction du poids exercé par l'air en cet endroit. Elle ne reste pas constante et varie avec les conditions climatiques. Cependant, la teneur de gaz dans l'air reste invariable quelle que soit l'Altitude. Au niveau de la mer comme en altitude, l'air renferme toujours 20.93% d'oxygène, 0.03% de désoxyde de Carbone et 79.04% d'Azote. Seules les pressions partielles changent. (Figure 1)¹
- **La température de l'air** : c'est la diminution de PO_2 qui entraîne les principales répercussions physiologiques. Pourtant d'autres facteurs ne sont pas sans effets. Ainsi, la température de l'air diminue d'environ 1°C tous les 150 m. La température moyenne au sommet de l'Everest est ainsi estimée aux environs de -40°C, alors que la température au niveau de la mer est d'environ 15°C. L'exposition simultanée au froid et au vent peut être mal supportée par l'organisme et entraîner un risque d'hypothermie. En altitude, le niveau d'humidité diminue avec l'abaissement de la température. L'air froid renferme très peu d'eau. La pression partielle de l'eau à 20°C est d'environ 17 mm Hg, mais à -20°C elle diminue à environ 1 mm Hg. La diminution du taux d'humidité avec l'altitude favorise la déshydrations.

- **Effet de l'hypoxie**



¹ Patrick. D Cretics « Fréquence cardiaque et entraînement ».CREPS d'île de France 2018. France.

Cours n°7

Les Adaptations physiologiques à l'altitude.

- Adaptations respiratoires :

La ventilation pulmonaire augmente en quelques secondes lors de l'exposition à l'altitude que ce soit au repas ou à l'exercice.

- Adaptations cardiovasculaires :

L'altitude altère non seulement la fonction respiratoire, mais aussi les fonctions cardiovasculaires qui font l'objet d'un certain nombre d'adaptations destinées à compenser la baisse progressive, avec l'altitude de la pression partielle en oxygène dans le sang.

- Le volume sanguin :

Dès les premières heures qui suivent l'arrivée en altitude, le volume plasmatique tend à diminuer pour se stabiliser au bout de quelques semaines. Si l'exposition à l'altitude se prolonge, il y aurait augmentation du nombre de globules rouges par ml de sang, destinée à augmenter les possibilités de transport de l'oxygène aux tissus et aux muscles, ce qui conduit à une augmentation du volume sanguin total qui compense partiellement la diminution de la pression partielle en oxygène.¹

- Le débit cardiaque :

Le débit cardiaque à l'exercice sous maximal augmente grâce à une accélération de la fréquence cardiaque. Cette adaptation est destinée à compenser la baisse du gradient de pression partielle en oxygène qui règle les échanges. A l'exercice maximal, le volume systolique (U.S) et la fréquence cardiaque sont diminués à stables.

L'apport d'oxygène étant resteraient en altitude, la capacité oxydative est moindre. La sollicitation du métabolisme anaérobie est plus importante.

L'Environnement en altitude**Paramètres atmosphériques**

- ❶ Rayonnements UV ↗ 4% par 300 m
- ↳ Problème Cutanés/ophtalmiques
- ❷ T ↘ de 1°C par 150 m (à l'ombre).
- ↳ Thermorégulation
- ❸ Humidité ↘ avec l'altitude
- ↳ Hyper réaction bronchique
- ❹ Patm. ↘ Avec l'altitude de façon exponentielle

¹ Patrick. D Cretics « Fréquence cardiaque et entraînement ».CREPS d'ile de France 2018. France.

↳ Stress hypoxique

***Exercice et performance en Altitude.**

De nombreux alpinistes ont signalé la difficulté de réaliser des exercices physiques en altitude. En 1952 E.G. NORTON ayant grimpé jusqu'à 8600m sans oxygène donnait cette description : « Notre allure est misérable. Ma seule ambition est de faire 20 pas successifs avant de pouvoir me repasser et reprendre mon souffle. »

1. La consommation maximale d'O₂ et les activités d'endurance.

La VO₂ Max diminue au fur et à mesure qu'on s'élève en Altitude jusqu'à environ 5000m. La réduction de VO₂ Max s'explique essentiellement par la diminution de la pression de l'oxygène artérielle (PO₂). Au-delà, il existe aussi une diminution du (Q Max) qui accentue la chute de VO₂ Max ou considérée qu'au-delà du 1500m, VO₂ Max diminue de 8% à 11% tous les 1000m. Les alpinistes qui ont effectué l'ascension du montagne « Everest » en 1981 ont vu leur valeur de VO₂ Max chuter de 62 ml.kg/min au niveau de la mer, à seulement 15 ml.kg/min au sommet de cette montagne.¹

Les activités de longue durée qui sollicitent l'ensemble du système aérobie sont les plus sévèrement affectés par les conditions hypobares de l'altitude.

Alors, pour préparer une compétition en altitude, les athlètes ont intérêt à s'entraîner intensément à leur altitude habituelle pour augmenter au maximum VO₂ Max.

1. Les activités brèves et intensives.

Dans les activités de sprint inférieures à 1', une Altitude modérée ne compromet pas la performance, qui peut même être améliorée. Ces activités sollicitent peu le système aérobie. L'énergie provient essentiellement des systèmes ATP-CP et glycolytiques. La diminution de la densité de l'air, en diminuant la résistance au mouvement contribue à l'amélioration des performances de sprint, saut, lancer...

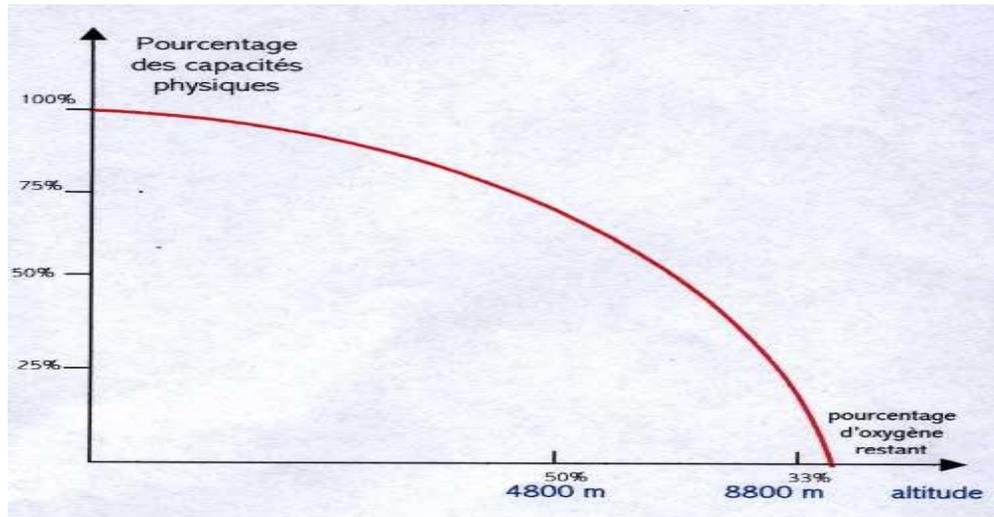
Les performances mesurées lors des compétitions sportives sont en général diminuées en altitude. Ce fut un tôle général lorsqu'on annonça que les jeux olympiques de 1968 se dérouleraient à Mexico, c'est-à-dire à une altitude de 2240m au-dessus du niveau de la mer. Pourtant deux athlètes au moins n'ont jamais regretté d'y participer : Bob Beamon qui a battu de plus de 60 cm le précédent record du monde de saut en longueur, et les Evans qui a battu celui du 400m en gagnant 0.24 s. Ces records ont perduré pendant près de 20ans, l'altitude élevée de Mexico n'étant sans doute pas étrangère à ces performances exceptionnelles, notées dans les disciplines explosives.

Lorsqu'on étudie les effets de l'altitude, deux aspects doivent être envisagés séparément : (a.brikci1995) :

- l'altitude en tant que facteur de préparation à une compétition se déroulant au niveau de la mer.
- le deuxième aspect concerne l'adaptation préalable à l'hypoxie (l'acclimatation) en vue d'une préparation à une compétition se déroulant en altitude.

¹Hanifi. R, Belhocine .M « Bases physiologiques de l'activité physique »Edition O.P.U . 2012 Alger.

***La baisse des performances avec l'altitude.**

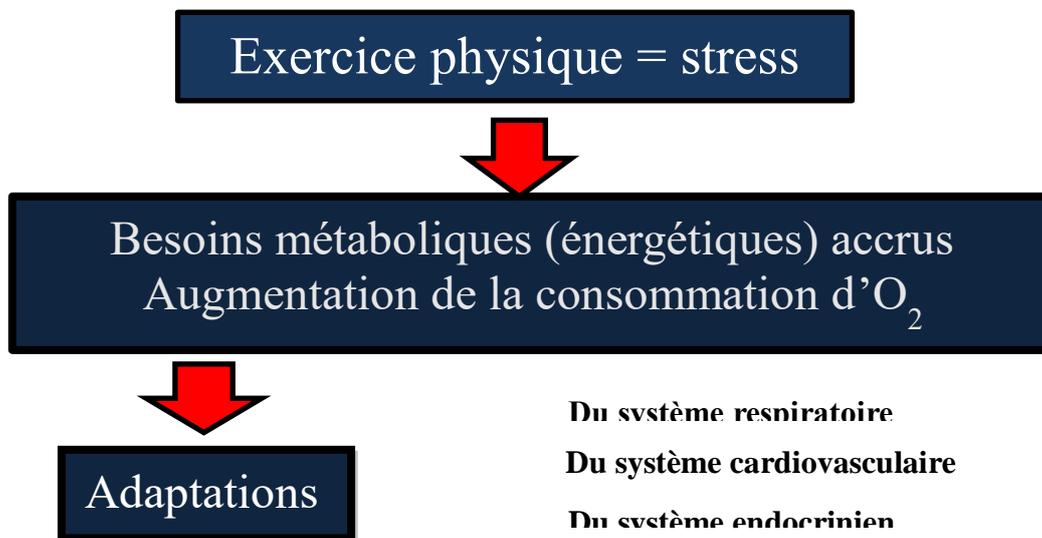


Comment s'adapter aux différentes altitudes ? :

On peut noter ces règles d'or pour le sportif :

- ne pas monter trop vite, trop haut,
- pour les sommets, monter suffisamment haut pour s'acclimater,
- ne pas rester trop haut, trop longtemps.¹

L'effet de l'effort physique



***Effets d'un entraînement en Altitude sur la performance au niveau de la mer. L'entraînement en Altitude, peut-il améliorer la performance au niveau de la mer ?**

Théoriquement, oui. Selon certaines recherches, il s'avère que la polyglobulie d'Altitude, qui persiste quelques jours après le retour au niveau de la mer, contribue à améliorer le transport et

¹ Hanifi. R, Belhocine .M « Bases physiologiques de l'activité physique »Edition O.P.U . 2012 Alger.

la fourniture de l'oxygène. Mais des recherches plus récentes indiquent qu'il n'y a aucun bénéfice substantif à s'entraîner en Altitude pour augmenter VO₂ Max ou améliorer la performance.

De nombreuses études suggèrent que l'entraînement en Altitude n'induit aucune amélioration significative des performances au niveau de la mer. Même si elle est transitoire, l'augmentation du nombre de globules rouges peut constituer un avantage non négligeable, les premiers jours qui suivent le retour au niveau de la mer. Ceci reste cependant controversé. Il vaut mieux effectuer sa compétition dans les 24 heures qui suivent l'arrivée en Altitude.

Une alternative consiste à s'entraîner entre 1500m et 3000m d'Altitude pendant au moins deux semaines avant la compétition délai minimum nécessaire à la mise en place des adaptations à l'hypoxie et aux autres conditions environnementales.

***Modifications physiologiques observées à Mexico. (*BRIKCI) ¹**

Etude faite sur des coureurs à pieds, et d'Equipe Nationale de Football. Respectivement, 3 semaines et 2 semaines.

Les principaux ajustements observés :

- Augmentation de la ventilation pulmonaire permettant à l'organisme de compenser la baisse de la pression d'oxygène de l'atmosphère.
- Augmentation de la fréquence cardiaque au repos et à l'exercice sous-maximal.
- Nous avons observé à leur retour à Alger, une augmentation de la production d'hémoglobine et de globules rouges.

Ces adaptations ont lieu au cours des 15 premiers jours du séjour en Altitude. Pendant les semaines suivantes, la production des globules rouges augmente considérablement, suite à cela, le sang augmente sa capacité de transport et d'utilisation de l'O₂.

¹ Hanifi, R, Belhocine .M « Bases physiologiques de l'activité physique »Edition O.P.U . 2012 Alger.

Corps humain et sante : l'exercice physique

Cours n°8

Les modifications physiologiques a l'effort

Introduction générale :

L'Homme, pour vivre, a besoin de se nourrir.

La nutrition fait appel à différentes fonctions que sont l'alimentation, la respiration et la circulation, l'excrétion.

Toutes ces fonctions se déroulent simultanément dans un organisme : pour un bon fonctionnement du corps humain, il faut que ces fonctions soient coordonnées.

Prenons l'exemple d'un organisme effectuant un exercice physique : les cellules musculaires doivent être correctement approvisionnées en O₂ et nutriments afin que celles-ci produisent de l'énergie nécessaire au mouvement. Dans cet exemple sont mises en jeu la respiration et la circulation et la contraction.

Or, pour pouvoir bien pratiquer un exercice physique, il est indispensable de bien connaître le fonctionnement de son corps.¹

Comment est assuré le couplage de l'activité cardio-respiratoire et de l'apport adapté d'O₂ aux muscles, pour le bon fonctionnement de l'organisme ?

DES MODIFICATIONS PHYSIOLOGIQUES AL'EFFORT

Lors d'un exercice physique, comment l'organisme s'adapte-il pour répondre aux besoins des muscles ?

I. Les besoins des cellules musculaires

1. Rappels : approvisionnement des cellules en nutriments et en O₂

Activité1 : mobiliser des acquis sous forme d'un schéma

2. La variation des besoins des cellules musculaires lors d'un exercice physique

Les besoins en nutriments

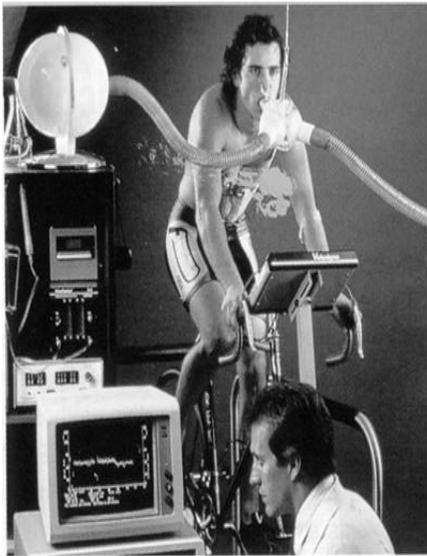
Activité2 : réaliser un graphique (représentant l'évolution de la consommation de glucose par les cellules musculaire selon l'intensité de l'exercice) à l'aide d'un tableur –

¹ Véronique billât « Physiologie et méthodologie de l'entrainement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles

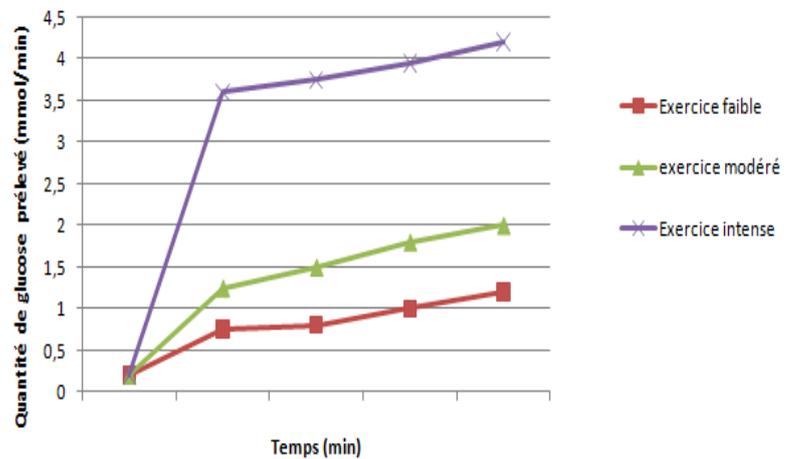
Feuille Excel dans lecteur Q – 2nde – SVT – act2 Excel rea un graphique¹

Voici un tableau récapitulant les prélèvements de glucose sanguin par les muscles des membres inférieurs au cours d'exercices de puissance variable

Temps Prélèvement glucose	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min
Exercice faible	0.2mmol/min	0.75mmol/min	0.8 mmol/min	1 mmol/min	1.2mmol/min
Exercice modéré	0.2mmol/min	1.25mmol/min	1.5 mmol/min	1.8 mmol/min	2 mmol/min
Exercice intense	0.2mmol/min	3.6 mmol/min	3.75mmol/min	3.95mmol/min	4.2 mmol/min



Graphique représentant l'évolution de la consommation de glucose par les cellules musculaire selon l'intensité de l'exercice



5 Évolution de la quantité de glucose prélevée dans le sang par les muscles des membres inférieurs, selon la puissance de l'exercice. Avant le début de l'exercice, le sujet était au repos et à jeun.

Lors d'un effort physique, les cellules musculaires ont un besoin énergétique plus important.

¹ Véronique billât « Physiologie et méthodologie de l'entraînement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles.

Il y a donc augmentation de l'utilisation des réserves et une consommation accrue des nutriments par les muscles .

Les besoins en dioxygène

Pb : Comment varie la consommation en dioxygène selon la puissance de l'effort ? Hypo : plus l'effort est intense, plus la consommation augmente !

Activité 3 : mettre en évidence et comprendre la relation entre l'intensité de l'effort et la consommation de dioxygène.

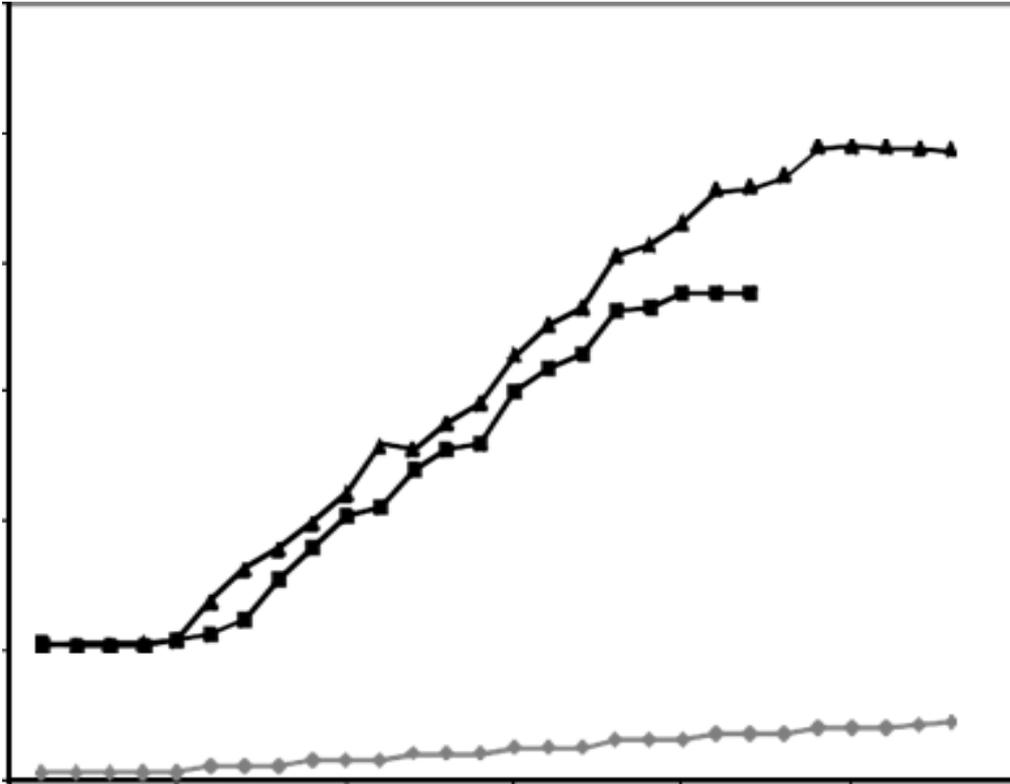
Objectifs méthodologiques:

- Concevoir et mettre en œuvre un protocole expérimental
 - Utiliser l'ExAO (fiche méthode)
 - Utiliser le tableur Excel (fiche méthode) : réaliser des calculs et réaliser un graphique
- 1) Expliquez par un schéma ou/un texte l'expérience que vous feriez pour tester l'hypothèse
 - 2) Réaliser l'expérience à l'aide de la fiche méthode ExAO
 - 3) Ouvrir la feuille Excel dans lecteur Q – 2^{nde} – SVT - activité3.
Calculer avec le Tableur Excel la puissance des exercices fournis, puis compléter le tableau et réaliser un graphique (avec Excel) représentant la consommation d'O₂ en fonction de la puissance de l'effort fourni.
 - 4) Analyser le graphique afin de valider ou réfuter votre hypothèse et répondre à la problématique.¹

Lors d'un effort physique, il y a augmentation du prélèvement d'O₂ par unité de temps et par unité de masse (Intensité Respiratoire), qui peut atteindre une valeur maximale : le VO₂ max. Ce dernier varie d'une personne à l'autre en fonction de l'entraînement (qui l'augmente), âge, sexe, et de facteurs génétiques...

Plus un exercice est intense, plus le prélèvement d'O₂ et de glucose augmentent, ce qui permet de fournir plus d'énergie par unité de temps aux muscles par la respiration

¹ Vincent. G, Pierre M « cœur et sport ».revue médicale suisse.2017 suisse.



1

¹ Vincent. G, Pierre M « cœur et sport ».revue médicale suisse .2017 suisse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

1. Christine Lepage, Youcef Alanbagui. « Physiologie de l'exercice physique, entraînement et santé ». 2^{ème} édition. février 2020.
2. Didier Reiss, Pascal Prévost, George Cazorla. « La bible de la préparation physique ».
3. Frank multon, Paul Delamarche, Thierry Horrut « Anatomie, physiologie, neurosciences et biomécanique ». Edition Elsevier. Masson. Aout 2018. Paris.
4. Gregorie Doucende « adaptations cardiaques a l'exercice aigu chronique et épuisant de longue durée ». Thèse de doctorat. Université d'avignon. 2010. France.
5. Guillaume Millet, Stéphane Perrey « physiologie de l'exercice musculaire ». Edition Elipses. janvier 2005. FRANCE.
6. Hanifi. R, Belhocine .M « Bases physiologiques de l'activité physique » Edition O.P.U ? 2012 Alger.
7. Hugues. M, Roland. F, Henry. V « Physiologie du sport : bases physiologiques des activités physiques et sportives ». 6^{ème} édition .Elsevier Masson. 2007 paris.
8. Institut de cardiologie d'Ottawa. « Réadaptation cardiaque et activité physique ». Université d'ottawa. 2012 Canada.
9. Jack H wilmore, David L Costill « Physiologie du sport et de l'exercice : les adaptations... » 2^{ème} édition De Boeck, Bruxelles.
10. Jack H wilmore, David L Costill, W Larry kenney « physiologie du sport et de l'exercice » 4^{ème} édition Deboeck. Bruxelles 2009.
11. Jack Poortmans, Nathalie boisseau. « Biochimie des activités physiques et sportives ». Edition Elsevier .mai 2017. france.
12. Jack. H wilmore, W. Larry Kenney, David. L. Costill. « Physiologie du sport et de l'exercice ». 6^{ème} Edition. Edition deboek. mai 2017. Bruxelles.
13. Kasmi A, Mokrani F « effet de l'entraînement d'endurance sur la fréquence cardiaque, le poids corporel, et les habitudes alimentaires ». Revue sciences humaines n°39 2013. constantine.
14. Patrick. D Cretics « Fréquence cardiaque et entraînement ». CREPS d'ile de France 2018. France.
15. Paul Delamarche, Michel Dufour, Frank Multon « Anatomie, physiologie, biomécanique en STAPS ». Edition Masson. 2002. Paris.
16. Pavet. C, Edouard « Les effets de l'activité physique sue les maladies cardiovasculaires ». Thèse de doctorat en pharmacie. Université angers. 2015. france.

17. Véronique bilât. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement ». 4^{ème} édition Deboeck. .octobre2017. Paris
18. Véronique billât « Physiologie et méthodologie de l'entraînement » 2^{ème} édition Deboeck. 2003 Bruxelles.
19. Vincent. G, Pierre M « cœur et sport ». revue médicale suisse.2017 suisse.