

# RAPPORTS ENTRE L'APPARITION D'UNE ACIDOSE METABOLIQUE ET L'ABSORPTION MAXIMALE D'OXYGENE

Le 14 Février 1999

{WELTMAN Arthur ; KATCH Victor. N°1, septembre 1982. Méthodologie de l'entraînement}  
{Journal of Sport Medecine and Physical Fitness, Revue international, (1979)  
N°2, p 135 à 142}

<b>RESUME.....</b>	<b>2</b>
<b>PREAMBULE.....</b>	<b>2</b>
<b>1. METHODOLOGIE.....</b>	<b>3</b>
<u>1.1. Test de VO<sub>2</sub> max.....</u>	<u>3</u>
<u>1.2. Mesures métaboliques.....</u>	<u>3</u>
<u>1.3. Détermination du seuil anaérobie.....</u>	<u>4</u>
<b>2. RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>5</b>

## RESUME

Les auteurs présentent une méthode d'évaluation du seuil anaérobie et de prédiction de la  $VO_2$  max utilisant la mesure de la ventilation pulmonaire lors de l'effort sub-maximale sur bicyclette ergométrique. L'acidose métabolique est provoquée par la production accrue de lactate. Elle agit comme stimulant de la ventilation de telle façon que le point d'inflexion de la courbe qui illustre le relation entre ventilation et intensité de travail puisse être considéré comme le niveau du seuil anaérobie. Méthode avantageuse sur le plan clinique pour des sujets à haut risque chez qui elle permet d'éviter une importante acidose métabolique, son intérêt est peu marqué pour l'évaluation du seuil anaérobie par l'entraîneur qui ne dispose pas des techniques de laboratoire. Cependant, cette étude peut permettre de clarifier, sur le plan fondamental, les phénomènes associés à la "charnière aérobie-anaérobie". (J-F Martini).

## PREAMBULE

Récemment, (Wasserman 1973) a réintroduit le concept de "seuil anaérobie" et a décrit une technique simple non sanglante pour sa détermination au cours de l'exercice. Cette technique comprend la mesure continue de la ventilation expirée au cours de l'exercice, par paliers progressifs, sur la bicyclette ergométrique. On montra que le seuil anaérobie était le dernier point linéaire sur la courbe de Ventilation - Intensité de travail. VE - TRAVAIL.

Le seuil anaérobie, défini par Wasserman, (1973) est le niveau de travail où la consommation d'oxygène est juste au-dessous du point où l'acidose métabolique et les changements associés en échange gazeux respiratoires ont lieu. Des recherches précédentes ont indiqué que ce seuil d'acidose métabolique est atteint à un niveau de consommation maximale d'oxygène d'environ 1,2 min/l ) pour des hommes sédentaires (Wasserman, 1973) 0,8 min/l pour des femmes sédentaires (Naimark, 1964) et de 0,2 à 0,5 min/l pour des patients atteints de maladies coronariennes et respiratoires (Wasserman, 1964).

Lorsqu'on considère le rapport entre la consommation d'oxygène, la production de gaz carbonique, la production d'acide lactique et l'échange de gaz respiratoire, l'utilisation de la courbe de Ventilation - Intensité de Travail (VE - Travail) pour estimer l'apparition d'acidose métabolique, devient une méthode fiable (Wasserman, 1967). Tant que la circulation locale fournit la distribution adéquate d'oxygène aux muscles qui fonctionnent, le besoin d'une grande énergie pour le travail peut être fourni principalement par le métabolisme aérobie. Cependant, comme Hill et Meyerhof émirent l'hypothèse (1923), lorsque la distribution d'oxygène aux muscles qui travaillent ne réussit pas à satisfaire les besoins en oxygène la glycolyse anaérobie est mise en jeu pour satisfaire les exigences énergétiques. Cette augmentation du métabolisme anaérobie cause une augmentation dans la formation de l'acide lactique, principalement tamponnée par le système bicarbonate, ce qui donne comme résultat une production accrue de  $CO_2$  (Wasserman, 1967). L'augmentation de  $CO_2$  formée par le tamponnement de l'acide lactique, en réponse à l'intervention anaérobie accrue, a pour résultat une augmentation en ;  $VCO_2$  qui agit comme un

puissant stimulus de ventilation (Comroe 1968) ce qui provoque la déviation du rapport VE - VO<sub>2</sub> à partir de la linéarité (Wasserman, 1973).

On peut émettre l'hypothèse, d'après ce qui est dit ci-dessus, qu'un individu ayant une plus grande aptitude à distribuer de l'oxygène aux muscles en travail (c'est-à-dire qu'il possède une VO<sub>2</sub> max élevée) devrait être capable de terminer plus d'exercices à paliers progressifs de façon aérobie avant l'apparition d'acidose métabolique qu'un individu qui a une VO<sub>2</sub> max faible, puisque son seuil anaérobie serait probablement assez haut. En d'autres termes, on devrait pouvoir démontrer que les individus qui ont une VO<sub>2</sub> max élevée ont aussi une VO<sub>2</sub> élevée au point du seuil anaérobie (VO<sub>2</sub> - AT) (Anaérobie Threshold : Seuil anaérobie). L'objectif de cette présente étude est de tester de façon expérimentale la force de cette prédiction.

## 1. METHODOLOGIE

Les données de 31 personnes hommes furent utilisées pour les analyses présentes. Les caractéristiques physiques des sujets, ainsi que d'autres données pertinentes sont présentées sur le TABLEAU 1.

### 1.1. Test de VO<sub>2</sub> max

La VO<sub>2</sub> max était déterminée selon un test par paliers progressifs, utilisant une bicyclette ergométrique à frictions (MONARK- SUEDE). Chaque sujet devait pédaler à une allure constante de 60 tours minute, mesurés par un métronome audiovisuel. La charge de travail initiale était de zéro (0) kg/minute et était augmentée de 180 kgm/minute toutes les trois minutes jusqu'à ce que le sujet ne puisse plus pédaler. On a continuellement encouragé verbalement chaque sujet pour qu'il atteigne les valeurs maximales. Pour mesurer le travail de façon précise, les tours de pédales étaient constamment enregistrés grâce à un compte-tours.

### 1.2. Mesures métaboliques

Des techniques spirométriques standard à circuit ouvert furent utilisées pour toutes les mesures métaboliques des gaz respiratoires (Wllmore, 1968). La ventilation inspirée (VI) était constamment enregistrée par l'intermédiaire d'un gazomètre à gaz sec à haute vitesse.

Des échantillons adéquats de l'air expiré furent analysés pour leur pourcentage de CO<sub>2</sub> et d'O<sub>2</sub> en utilisant respectivement un capnographe GODART et un analyseur BECKMAN OM-11.

Les analyseurs furent fréquemment calibrés avec des mélanges gazeux analysés en utilisant l'appareil micro-Schlander. La VO<sub>2</sub> max fut choisie comme la valeur observée la plus élevée dans les séries des résultats de consommation d'oxygène minute par minute.

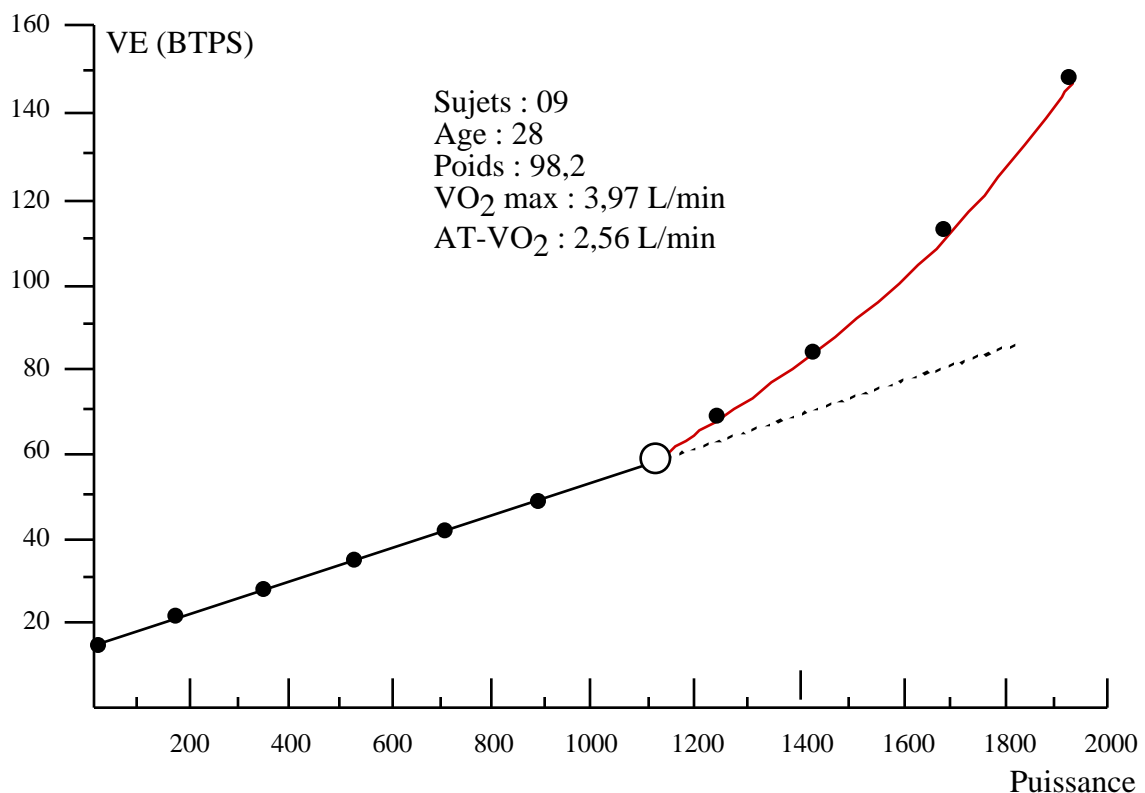
Onze sujets ont atteint leur sommet en VO<sub>2</sub> une ou deux minutes avant la fin du test sans enregistrer de baisse de travail,

Les autres sujets ont atteint leur sommet de  $VO_2$  pendant la minute où le rendement de travail enregistré était le plus élevé. Ceci se produisit pendant la dernière ou avant-dernière minute du test. Aucun des sujets n'a atteint son sommet de  $VO_2$  avec, en contrepartie une intensité de travail en baisse. Pour ces raisons, nous avons tout lieu de croire que les valeurs "sommets" de  $VO_2$  obtenues sont les plus élevées possible sur cet appareil, pour ces sujets.

### 1.3. Détermination du seuil anaérobie

Pour déterminer l'apparition de l'acidose métabolique, les méthodes soulignées par Wasserman (1973) furent utilisées. Pour chaque individu, la ventilation (BTPS) fut représentée graphiquement par rapport au travail en utilisant la troisième valeur par minute à chaque niveau de travail. La dernière valeur linéaire sur la courbe ventilation-travail était désignée comme le point d'acidose métabolique. Une courbe typique de ventilation-travail pour un des sujets, avec le point d'acidose métabolique encerclé, apparaît sur la figure 1. La consommation d'oxygène correspondante à ce point est appelée la  $VO_2 - AT$ . Il faut noter que récemment, (Davis, 1976), en utilisant des méthodes et des techniques presque identiques, définies ci-dessous, a trouvé une corrélation de  $r = 0,95$  entre le seuil anaérobie, mesuré en utilisant des mesures de gaz respiratoire, et des valeurs d'acide lactique veineux. De plus, il n'y avait pas de différence significative entre le seuil anaérobie moyen en utilisant ces deux techniques :  $P < 0,05$ . Ces données semblent soutenir la validité de la technique actuelle pour déterminer le point d'acidose métabolique.

**Figure 1 :** Courbe de ventilation-travail pour un sujet typique. Le point de seuil anaérobie, c'est à dire l'acidose métabolique est encerclé.



## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'examen du tableau 1 montre qu'en termes absolus, en l/min, l'apparition de l'acidose métabolique a lieu à un niveau substantiellement plus élevé que ne l'ont rapporté Wasserman (1973), Naimark (1964) et Wasserman et Mc Ilroy (1964). Comme prévu, cette différence est due aux niveaux différents de  $VO_2$  max des sujets. Les  $VO_2$  max de nos sujets (3,74 l/min) ; 51,53 ml/kg/ min. l indique que ces individus possèdent un niveau de condition physique relativement élevé comparés à des sédentaires (Astrand, 1954).

Par contre, les sujets des autres études (Naimark 1964), (Wasserman 1973) ; (Wasserman 1964), exceptés trois individus "entraînés" sur le tableau 1 de référence (NAIMARK, 1964), figuraient comme sédentaires et beaucoup d'entre eux possédaient des anomalies circulatoires et respiratoires. La  $VO_2$  max n'a été donnée pour aucun de ces sujets. Nos sujets pouvaient s'exercer à un rythme de travail plus élevé, avant d'atteindre l'apparition d'acidose métabolique que les sujets des autres études (Naimark, 1964 ; Wasserman, 1973 ; Wasserman, 1964). Ceci est mis en évidence lorsque le seuil anaérobie, en termes de travail kgm/min. est atteint. Dans cette étude, la moyenne de l'intensité de travail à l'apparition de l'anaérobie arrive à 972 kg/min, ce qui représente 58% du rendement maximum de travail atteint. La valeur médiane apparente pour le niveau d'anaérobie dans l'étude de Wasserman (1973) est de 476 kg/min. (Lire le graphique figure 2).

**Tableau 1** : Caractéristiques physiques et données métaboliques des sujets (N : 31)

Variable	Moyenne	Ecartype	Valeurs externes
AGE	22,65	3,42	18 - 31
POIDS (KG)	72,86	10,03	57,8 - 98,2
TAILLE (CM)	177,39	6,91	164,6 - 187,4
$VO_2$ max. l/min	3,74	0,65	2,53 - 5,77
$VO_2$ -AT l/min	2,23	0,52	1,27 - 3,36
$VO_2$ -AT % du max	59,50	7,70	41 - 71
$VO_2$ max.ml/kg	51,36	6,36	37,8 - 68,8
$VO_2$ -AT ml/kg	30,58	5,49	19,4 - 40,0
PUISSANCE max	1676,2	274,41	1134 - 2376
PUISSANCE SEUIL	972,7	250,48	513 - 1416

Lorsque le seuil anaérobie est exprimé comme le pourcentage de la  $VO_2$  max du sujet, le sujet moyen atteignait ce point à 59,5% + 7,7%. Ceci est en accord avec les données de plusieurs chercheurs qui ont déterminé l'apparition de l'acidose métabolique par l'intermédiaire de mesures du lactate musculaire et sanguin chez des individus entraînés. Les données de Margaria, Edwards et Dill (1933) et d'autres (Williams, 1967 ; Wyndham,

1962) indiquent clairement que le lactate sanguin d'individus "la forme" n'augmente pas avant qu'ils aient atteint les 2/3 de leur VO<sub>2</sub> max. Par ailleurs, d'autres chercheurs ont aussi montré que les individus qui ont une VO<sub>2</sub> max. élevée auront des niveaux de lactate inférieurs aux individus à faible VO<sub>2</sub> max, et ceci à n'importe quel point de l'exercice sous-maximal (Cobb, 1963 ; Ekblom, 1968 ; Holmgren, 1959). Ceci semble être vrai non seulement au même niveau absolu de travail et de consommation d'oxygène (Cobb, 1963 ; Ekblom, 1968 ; Holmgren, 1959) mais aussi pour la même consommation relative d'oxygène lorsque les sujets à haute consommation d'oxygène s'exercent à un niveau de travail plus élevé que le sujet à basse consommation d'oxygène (Holmgren 1959).

L'interprétation du seuil anaérobie avancée par Wassgram (1973), en ce qui concerne l'apparition de l'acidose métabolique comme synonyme de la glycolyse anaérobie accrue causée par l'hypoxie musculaire, semble être en conflit avec les découvertes de plusieurs chercheurs (Doll, 1968 ; Jobsis, 1968). Ces découvertes incluent des données qui montrent de façon plutôt convaincante que : la production accrue de lactate peut ne pas être due à l'hypoxie musculaire, mais plutôt à un déséquilibre entre la glycolyse et l'utilisation du pyruvate dans le cycle TCA (Tricarboxylique) de Krebs (Jobsis 1968). Ces données et leur signification ont récemment été passées en revue par Hollozi (1973).

A la lumière de ce qui suit, il semble plus approprié de parler du seuil anaérobie en fonction de l'apparition d'acidose métabolique, plutôt que de signaler nécessairement l'apparition d'un métabolisme anaérobie accru causé par une hypoxie musculaire. Ceci ne bouleverse d'aucune façon l'utilité du concept de seuil anaérobie pour comprendre l'énergétique de l'exercice, ni son importance clinique.

**Le tableau 2** présente les inter-corrélations d'intérêt. Comme on l'a vu, la fréquence cardiaque (maximum atteint sur le test (ou HR) au point d'acidose métabolique : fréquence cardiaque-seuil anaérobie) (HR -AT) montre peu de rapport avec les autres variables. Ceci confirme l'observation de Wasserman (1973) selon laquelle la réponse de la Fréquence cardiaque (HR) est un mauvais indicateur d'acidose métabolique.

**Tableau 2** : Intercorrélation des variables

Variable	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. VO2 max L / min	,85	,87	,79	,64	,58	-,03	,17	-,30	,67	,56
2. VO2 AT. L / min		,83	,98	,51	,82	-,17	,25	-,18	,61	,48
3. Travail max			,82	,61	,65	-,01	,19	,34	,65	,53
4. Travail seuil				,50	,84	-,15	,30	,23	,55	,47
5. VO2 max.ml / Kg					,72	0,17	,24	-,48	-,13	,14
6. VO2 seuil ml / kg						-,07	,30	-,28	0,97	,19
7. Fc max/min							,21	-,42	-,20	-,27
8. Fc au seuil / min								-,04	0,04	-,18
9. Age									0,09	-,33

10. Poids										0,56
11. Taille										

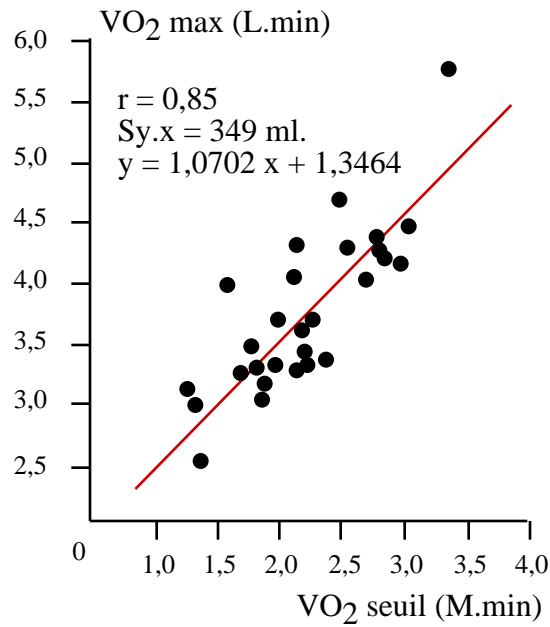
La Figure n° 2 montre le graphique et la régression linéaire de la  $VO_2$  max ( $VO_2$ -AT) au seuil anaérobie. La corrélation plutôt élevée de  $s : 0,85$  soutient la prédiction mentionnée plus tôt. Les sujets qui ont une  $VO_2$  max élevée atteignent, apparemment, une acidose métabolique à un niveau de travail plus élevé et donc à une consommation d' $O_2$  élevée.

Il faut noter que la prédiction de la  $VO_2$  max, d'après les résultats de la  $VO_2$  - AT, se fait avec une erreur standard d'estimation de (349 ml), ce qui est seulement 9% de la  $VO_2$  max moyenne. Ceci est favorablement comparable à d'autres équations de prédiction trouvées dans la littérature, où la précision était entre 2 et 27% de la  $VO_2$  max moyenne (Fox 1973 ; Glassford 1965 ; Hermiston ; 1971 ; Rowell, 1964).

L'avantage de la méthode actuelle de prédiction de la  $VO_2$  max est son importance apparente dans son application clinique aux individus à "haut risque".

Chez les sujets pour qui l'exercice en acidose métabolique est déconseillé, cette technique permet de déterminer sans danger, l'apparition de l'acidose métabolique, ainsi que la prédiction de leur  $VO_2$  max. La surveillance continue de VE est une technique commune à la plupart des laboratoires étudiant le stress de l'exercice, rendue possible grâce à des potentiomètres achetés dans le commerce ou à des moyens simples "maison" (Henry, 1972), avec un enregistreur à bande de papier.

Le point de non-linéarité de VE, en relation avec l'exercice par paliers progressifs, est aisément contrôlé, et le test peut se terminer à ce stade. Il faut noter que bien que la  $VO_2$  max ait été déterminée sur la bicyclette ergométrique, dans la présente étude, et donc ne peut représenter la véritable  $VO_2$  max du sujet qu'en pourcentage, (déterminée sur le tapis roulant), il a été démontré qu'il y a un rapport assez grand ( $r = 0,93$ ) entre la  $VO_2$  (valeur sommet ou  $VO_2$  max) déterminée sur tapis roulant (Mc Ardle, 1973). Donc, la valeur de prédiction de l'équation de régression actuelle en fonction du classement des individus dans un groupe, en ce qui concerne leur  $VO_2$  max, ne devrait pas s'atténuer. Il n'y pas de raison de croire que cette technique de détermination de la  $VO_2$  max d'après le  $VO_2$  - AT ne marchera pas avec un groupe hétérogène de sujets (c'est à dire, les patients à haut risque et les athlètes, puisqu'elle découle de considérations théoriques.



**Fig. 2 :** Graphique de la VO<sub>2</sub> max.

Corrélation entre la consommation maximale d'O<sub>2</sub> et la consommation d'oxygène au seuil anaérobie. La validité de l'équation était déterminée en substituant les données de deux études (Davies et Sargent, 1974 ; Hughes, 1968) pour la VO<sub>2</sub> max et la VO<sub>2</sub> max au seuil anaérobie (graphiquement déterminées d'après leur données tabulaires). Pour ces données le seuil anaérobie moyen était atteint approximativement à 856 kg/minute, la VO<sub>2</sub> moyenne est de 3,31 l/min et la VO<sub>2</sub> max prévue, en utilisant notre équation, est de 3,26 l/minute. Ainsi la différence moyenne est seulement de 5,0 ml.