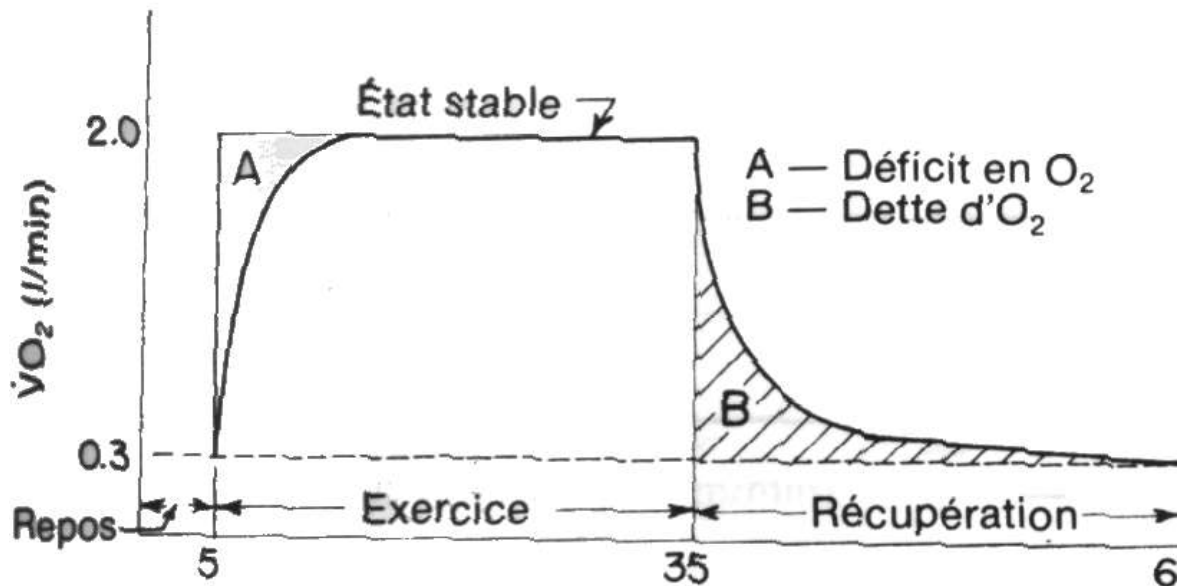


## LA VENTILATION A L'EXERCICE

### I- LA CONSOMMATION D'OXYGENE DURANT L'EXERCICE :

L'évolution de la consommation d'oxygène au cours d'un effort physique cyclique à intensité modérée est illustrée par la figure suivante :



La consommation d' $O_2$  augmente rapidement durant les premières minutes d'un exercice. Lorsque l'intensité de l'exercice est modérée, un **plateau** est atteint après quelques minutes (**3-4 min**) et la consommation d' $O_2$  demeure relativement stable. Le plateau correspond à un **état stable ou régime stable (second souffle)**.

L'**état stable** reflète l'**équilibre** entre les **besoins** musculaires **en énergie** et le **taux d'ATP** produit par le métabolisme aérobie. Lors de l'**état stable** le métabolisme **aérobie** fournit l'énergie nécessaire à l'effort, et l'**acide lactique** produit est soit oxydé, soit **reconverti** en **glucose**, probablement au niveau de **foie** et peut être des **riens**. Pendant le régime stable l'acide lactique ne s'accumule pratiquement pas dans le muscle et dans le sang.

Il existe plusieurs niveaux de régime stable. La limite supérieure, c.-à-d. l'intensité maximale pouvant être supportée en régime stable, est observée chez le marathonien qui conserve son

métabolisme aérobie en régime stable durant la quasi-totalité de la course. Cette performance physiologique est essentiellement liée à l'**aptitude de l'athlète à transporter et à utiliser l'O<sub>2</sub>**.

## 1- LE DEFICIT EN OXYGENE :

Au début de l'exercice le  $VO_2$  augmente rapidement et atteint un plateau après quelques minutes (3-4 min). Le **délai** d'obtention du **plateau** est d'autant **plus long** que l'exercice est **plus intense**. Ce **retard** de consommation d'O<sub>2</sub> correspond au **délai de redistributions des circulations locales** et au **caractère progressif de métabolisme aérobie**. Cette **phase initiale** persiste aussi **longtemps** que l'**équilibre** entre la **consommation d'O<sub>2</sub>** et les **besoins énergétiques** n'est **pas atteint**.

En **début d'exercice**, la **consommation d'O<sub>2</sub>** est **inférieure** à celle observée durant l'**état stable**, alors que les **besoins énergétiques sont les mêmes**.

Le **déficit d'O<sub>2</sub>** correspond à la **déférence** entre la **quantité d'O<sub>2</sub>** réellement consommée **durant l'effort** et celle qui aurait été consommée **si le régime stable avait été atteint dès le début de l'exercice**.

La **consommation d'O<sub>2</sub>** n'étant **pas suffisante** pour la couverture énergétique, l'énergie fournie durant cette **phase déficitaire**, d'**origine anaérobie**, sera couverte par les **réserves d'O<sub>2</sub>** du **sang** et du l'**oxymyoglobine** (*combinaison d'oxygène et de myoglobine*), par le système **ATP-CP** et par la **glycolyse anaérobie**. Les deux premiers mécanismes forment le **déficit alactique**, le dernier **lactique**.

## 2- LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE :

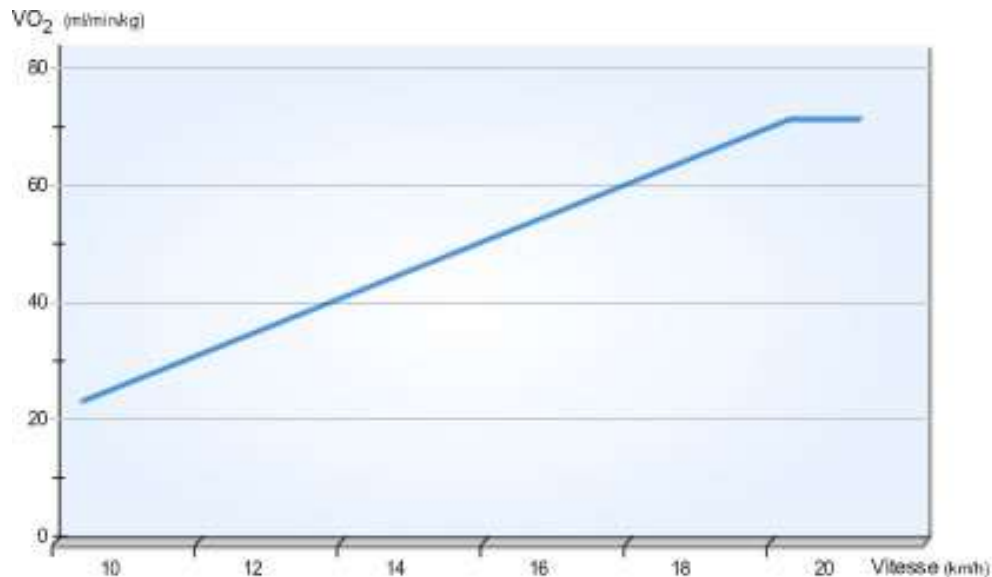
Lors de l'**effort progressif**, la consommation d'oxygène (**VO<sub>2</sub>**) augmente de manière **linéaire** avec l'**intensité** de l'exercice (Astrand et Rodahl, 1994) jusqu'à un niveau caractérisé par une **absence d'augmentation** de l'oxygène consommé malgré une **majoration de la charge de travail**. Ce niveau correspond à la **consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub> max)**. **Au-delà de VO<sub>2</sub> max** toute **énergie supplémentaire** provient exclusivement de la **filière acide**.

La **consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub> max)** : est la **quantité maximale d'oxygène** par **unité de temps** qu'un individu peut consommer, c'est à dire prélever, transporter et utiliser, dans

des conditions d'exercice qui sollicitent totalement ses possibilités cardiovasculaires et respiratoires – (expression en **ml/mn/kg**)

**La puissance maximale aérobie (PMA)** : c'est la puissance de travail maximale que le sujet peut développer à  $VO_2$  max – (expression en **Watts**)

**La vitesse maximale aérobie (VMA)** : c'est la vitesse maximale que le sujet atteint lorsqu'il est à  $VO_2$ max – (expression en **km/h**)



Représentation de l'évolution de la  $VO_2$  en fonction de la vitesse de course

La  **$VO_2$  max** varie selon le **sexe**, la **génétique**, l'**âge**, la **discipline sportive** et le **niveau sportif**. La  $VO_2$  max chez la **femme** varie entre **25 et 70 ml/kg/mn** selon le niveau alors que chez l'**homme** elle est de **30 à 90 ml/kg/mn**. Cette différence de  $VO_2$  max est due en partie à un **taux en hémoglobine (Hb)** plus **faible** chez la **femme** (Hb Homme 150-155 mg/ml vs 135-140 mg/ml pour la femme soit + 12 % chez les hommes).

Les athlètes pratiquant des **disciplines** sportives dites « **endurantes** » tels que le demi-fond et fond en athlétisme, le cyclisme sur route, le ski de fond et l'aviron ont les meilleures  $VO_2$  max. Dans le haut niveau, elles avoisinent 90ml/min/kg pour les hommes et 70ml/min/kg pour les femmes.

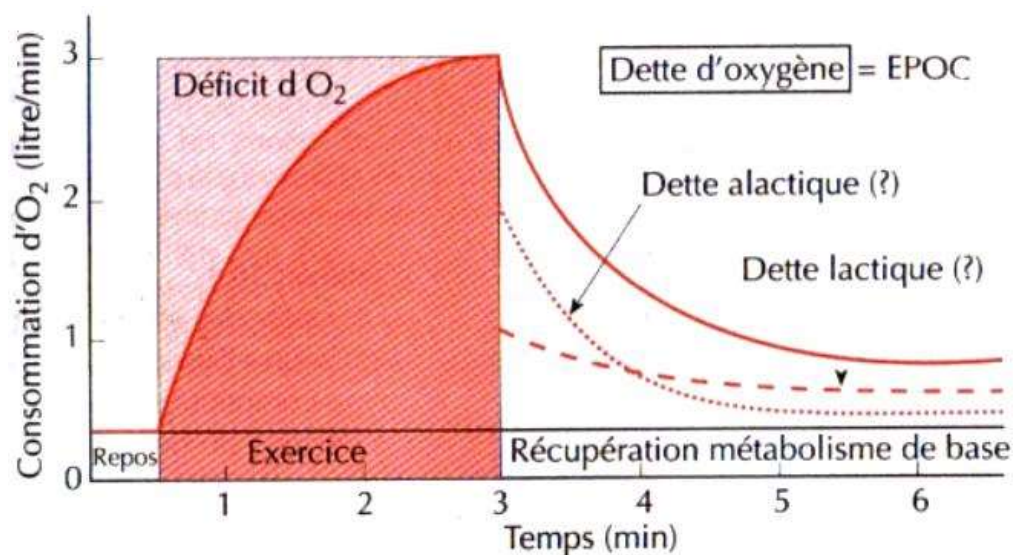
➤ *Quelques chiffres de  $VO_2$  max d'athlète de haut niveau :*

- Paul Tergat (athlétisme) : mesurée à 84 ml/min/kg
- Bernard Hinault (cyclisme) : mesurée à 90ml/min/kg
- Bjorn Daehlie (ski de fond) : mesurée à 94 ml/ min/kg

### 3- LA CONSOMMATION D'OXYGENE DURANT LA RECUPERATION :

- Si l'**exercice** est **modéré** (ex : jogging) la **récupération** s'effectue **rapidement** et le métabolisme de repos est rétabli rapidement.
- Si l'**exercice** est **intense** (ex : courir 800 m à vitesse maximale), l'organisme **met beaucoup du temps pour récupérer**. Dans ces conditions, le **métabolisme aérobie n'atteint pas un régime stable**, le **transfert anaérobie** d'énergie **surpasse** le **transfert aérobie**, ce qui entraîne une **accumulation d'acide lactique**. La **récupération complète** prend, dans ce cas, **beaucoup de temps**.

Pendant la **récupération** après un effort léger, modéré ou intense, la **consommation d' $O_2$**  revient **progressivement** et ce, au bout d'un temps plus ou moins long, à sa **valeur de repos**. Malgré l'arrêt de l'exercice, l'organisme consomme donc une **quantité d' $O_2$  plus importante qu'au repos** pendant un certain temps. On appelle « **dette d'oxygène** » la **quantité d'oxygène** qui, pendant la **récupération**, est **consommée en excès** par l'organisme **par rapport** à la **consommation de repos**.



**EPOC** : *Excess post-exercise oxygen consumption.*

La dette d'O<sub>2</sub> décroît à l'issue de l'exercice selon 2 phases :

- Une **phase rapide (alactique)** : qui correspond au **remboursement des réserves alactiques** qui dure environ **2 minutes**.
- Une **phase lente (lactique)** : qui correspond à la **reconstitution du glycogène** utilisé et à l'**élimination de l'acide lactique**. Il faut parfois **plus d'1 heure** pour éliminer complètement l'acide lactique consécutif à un effort anaérobie maximum (ex : 400m). Toutefois, le maintien d'un exercice de faible intensité pendant le repos, ou tout apport supplémentaire d'O<sub>2</sub> accélère son élimination (ex : décrassage - Foot).

Selon les objectifs de l'entraînement, le sportif peut donc s'arrêter complètement, la **récupération** est dite **passive**, ou maintenir une légère activité, la **récupération** devient **active**. Si l'on reprend l'exercice suivant alors que les réserves utilisées sont :

- Totalement reconstituées, la **récupération** est **complète**.
- Partiellement reconstituées, la **récupération** est **incomplète**.

➤ ***Remboursement de la dette en O<sub>2</sub>*** :

L'O<sub>2</sub> consommé en excès au cours de ces phases de récupération est utilisé pour :

- Reconstituer les **réserves d'O<sub>2</sub> locales**.
- Reconstituer les **réserves de créatines phosphates** après les efforts anaérobies alactiques. Cette reconstitution presque totale des réserves, pendant le repos qui suit immédiatement l'effort, est assurée en **2 à 3 min**, (**70 % en 30 secondes, 97 % en 8 min environ**).
- Éliminer l'**acide lactique** produit par les efforts anaérobies lactiques. Cette élimination se fait au niveau du cœur, du foie, ou dans le muscle lui-même où l'acide lactique peut être soit retransformé en glycogène soit totalement transformé en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O.
- La resynthèse complète de **glycogène musculaire** (après un **exercice intense** de **près de 2 heures**) est beaucoup **plus lente**, elle est minime de la première heure de récupération. La réserve en glycogène synthétisée au **quart (1/4) en 48 heures**, lorsque le **régime alimentaire est dépourvu de glucides et riche en lipide et protéine**. Elle est **complètement reconstituée en 48 heures** si l'alimentation **riche en glucides**.

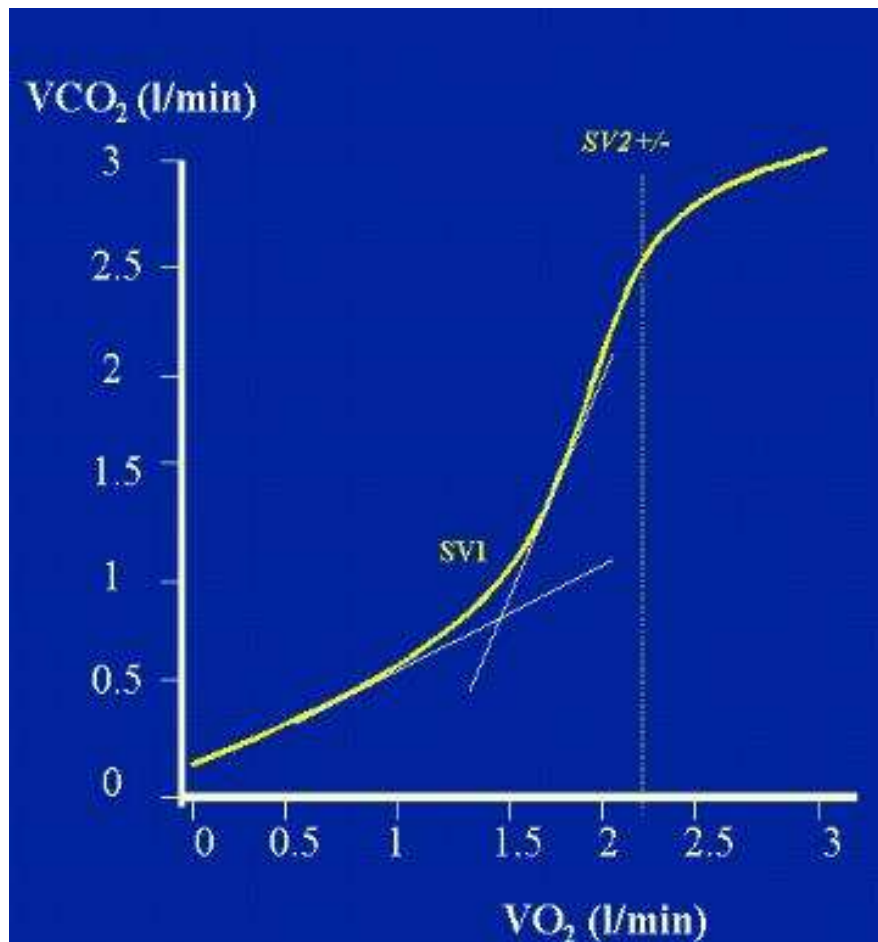
- La **cinétique** de l'**acide lactique** sanguin et musculaire pendant la **période de récupération** montre qu'il faut **environ 1 heure** pour que la **lactacidémie** retourne à sa **valeur de repos**. Les valeurs maximales de dettes lactiques atteignent **10 L d'O<sub>2</sub>** et sont plus élevées chez les athlètes spécialisés dans les **activités intenses et brèves**.

## II- LA NOTION DE SEUILS :

### 1- LES SEUILS VENTILATOIRES :

La **notion de "seuil"** dans la physiologie du sport moderne permet d'**évaluer le niveau d'effort** au-delà duquel les **besoins corporels en énergie sont modifiés**. On parle alors de **seuils ventilatoires**. Ces derniers vont ainsi permettre de mesurer l'**adaptation** ou l'**inadaptation** d'un athlète au cours d'une épreuve maximale. La détermination des seuils ventilatoires fait suite à une épreuve maximale réalisée en laboratoire.

=> On parle alors de **premier seuil ventilatoire** « **SV1** » et de **deuxième seuil ventilatoire** « **SV2** ».



➤ *SV1 représenterait le "seuil d'adaptation ventilatoire" :*

Ce dernier est un bon indice de la **capacité endurante (capacité aérobie)** ou autrement dit de l'**endurance maximale aérobie (EMA)**. En travaillant **au-dessus de SV1**, on travaille efficacement son **endurance**. Il sert aussi de référence pour ré-entraîner certains malades (insuffisants cardiaques, diabétiques, asthmatiques, ...).

*Chez un sportif "endurant", SV1 se situe au-delà de 55 % de la VO<sub>2</sub>max.*

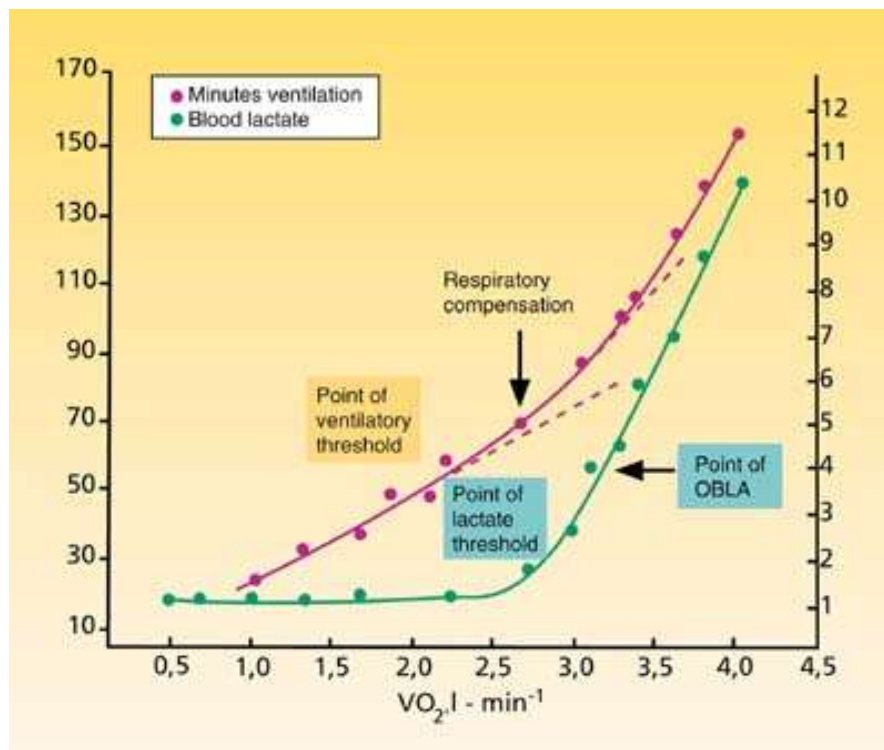
➤ *SV2 représenterait le "seuil d'inadaptation ventilatoire" :*

Ce dernier **associé à la VO<sub>2</sub> max**, permet donc une meilleure conduite et un meilleur suivi de l'entraînement. Ainsi, en travaillant **au-dessus de SV2**, on va pouvoir programmer des **séances de fractionnés** ciblées sur la filière dite "**anaérobie**".

*Chez un sportif, SV2 se situe au-delà de 80 % de la VO<sub>2</sub>max.*

## 2- LES SEUILS LACTIQUES :

Par ailleurs, la mesure de la **lactatémie** (concentration sanguine en lactate) au cours d'un effort à charges croissantes permet de déterminer les seuils lactiques. Les **seuils lactiques** sont représentés par deux "cassures" dans la cinétique de la lactatémie au cours d'une épreuve maximale réalisée en laboratoire.



On parle de **premier seuil lactique « SL1 »** (première cassure de la cinétique du lactate par rapport à sa valeur de repos). Ce dernier représente un bon marqueur du **potentiel endurant**. Il serait **en relation** avec le premier **seuil ventilatoire « SV1 »**.

Dans ces conditions, le **seuil lactique « SL1 »** constitue un **passage clé** entre les systèmes métaboliques **aérobie et anaérobie**. Des prélèvements sanguins (oreilles, bout du doigt ou encore voie veineuse) sont nécessaires pour déterminer ce seuil lactique. Le point de cassure n'étant pas toujours visible, les chercheurs ont arbitrairement choisi une concentration sanguine en lactate de **2 mmol/L** pour le définir. Ce dernier point reste encore **controversé** !

Enfin, un seuil **lactique secondaire « SL2 »** est déterminé à partir d'une seconde rupture (beaucoup plus brutale que pour SL1) qui correspond habituellement à une valeur en lactate de **4 mmol/L**. Ce dernier serait **en relation** avec le deuxième **seuil ventilatoire « SV2 »**. Dans la littérature courante, la terminologie de ces seuils reste **controversée**. En effet, certains parlent de seuil aérobie, voire anaérobie pour SL1 et de seuil d'accumulation en lactate ou anaérobie pour SL2 ?

D'un point de vue pratique, la détermination de SL1 et de SL2 est un outil intéressant pour programmer et réajuster des **entraînements spécifiques**.