



L'endurance aérobie

Par Loïc Arbez

PLAN

- Généralités
- Endurance et performance sportive
- Les facteurs limitants de l'endurance
- Evaluation de l'endurance

Généralités

- L'aptitude d'un individu à fournir un exercice intense pendant une certaine durée dépend de sa capacité à maintenir un important pourcentage de sa $VO_2\text{max}$
LONGTEMPS.

=> Important % de $VO_2\text{max}$ = Puissance Critique

=> Durée = Endurance aérobie

1. Définition de l'endurance aérobie

"Durée de maintien à un certain pourcentage de $VO_2\text{max}$ ".

2. Unités de mesure

- en minutes

3. Valeurs de référence

- à 120% $VO_2\text{max}$: 2 à 3'
- à 100% $VO_2\text{max}$: 4 à 7'
- à 95% $VO_2\text{max}$: 9 à 11'
- à 90% $VO_2\text{max}$: 13 à 20'

Endurance et performance sportive

- Très grande importance de l'endurance aérobie pour toutes les épreuves à dominante aérobie.
- En effet, la $VO_2\text{max}$ et la Puissance Critique sont importantes mais la capacité à soutenir un important pourcentage de $VO_2\text{max}$ l'est tout autant = FACTEUR DUREE.

Les facteurs limitants de l'endurance aérobie

Rappel de la définition de l'endurance aérobie

"Durée de maintien à un certain pourcentage de $VO_2\text{max}$ ".

□ Il s'agit donc de se poser la question sur ce qui limite la capacité d'un sujet à tenir indéfiniment un certain pourcentage de sa $VO_2\text{max}$. Pourquoi n'est t-on pas capable de courir, skier, rouler, nager indéfiniment à x % de sa $VO_2\text{max}$?

Les facteurs limitants

- Il n'existe pas UN facteur limitant de l'endurance mais PLUSIEURS, qui diffèrent de la durée de l'épreuve. C'est pourquoi, nous différencions :

- Les épreuves qui se déroulent entre 120 et 90 % $VO_2\text{max}$ = durée de maintien entre 2 et 30 minutes.

- Les épreuves qui se déroulent à une intensité < 90 % $VO_2\text{max}$ = durée de maintien > à 30 minutes.

Les épreuves entre 120 et 90 % VO_2max



Facteurs limitants

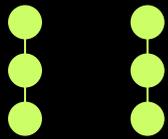
- Accumulation H^+ = acidose

- Déficit maximal cumulé en Oxygène

Accumulation H^+ car...

A. Accumulation H⁺

En fonction de l'environnement de la cellule



Pyruvate

PDH



LDH



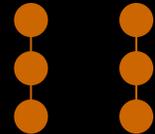
2 NADH + H⁺



2 NAD⁺

OXYDATION

(cycle de Krebs & phosphorylations oxydatives)



Lactate

PDH : Pyruvate déshydrogénase

LDH : Lactate déshydrogénase

Accumulation H^+ = acidose

Lactates

Substrats énergétiques :
transformation en glucose
dans le foie (cycle de Cori)

Altération :

- du fonctionnement enzymatique
- des échanges d'ions
- du déplacement du potentiel de membrane

Incapacité à poursuivre l'effort à la même intensité =
FATIGUE



Apparition > Disparition du lactate => H⁺

Tamponnement des ions H⁺ pour éviter acidose

Tamponnement par des "systèmes tampons":

- acide carbonique-bicarbonate
- acide phosphorique-phosphate
- Hémoglobine-oxyhémoglobine
- Protéines plasmatiques

B. Déficit maximal cumulé en Oxygène (DMOA = Deficit Maximal Oxygen Accumulated)

"Différence entre la consommation réelle d'O₂ et la consommation théorique".

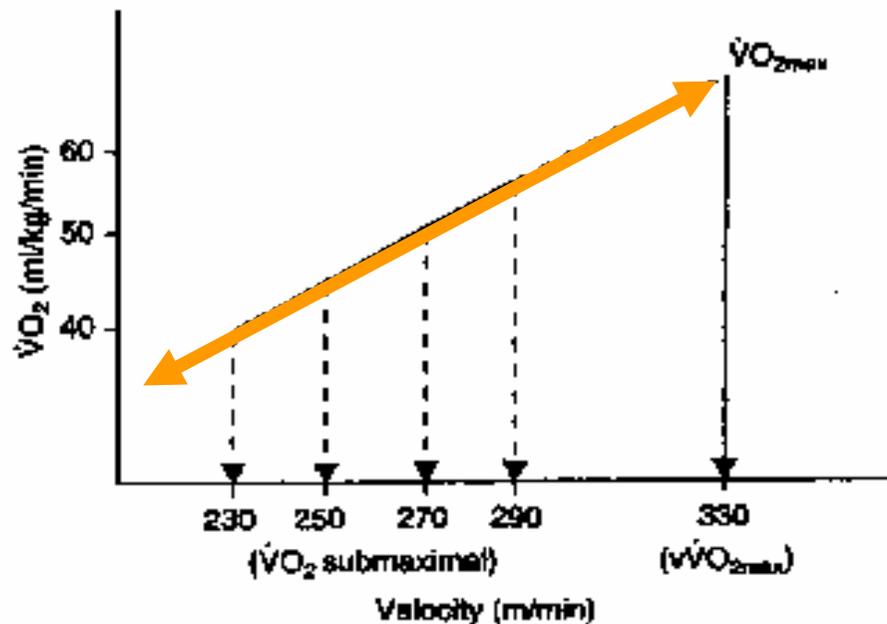
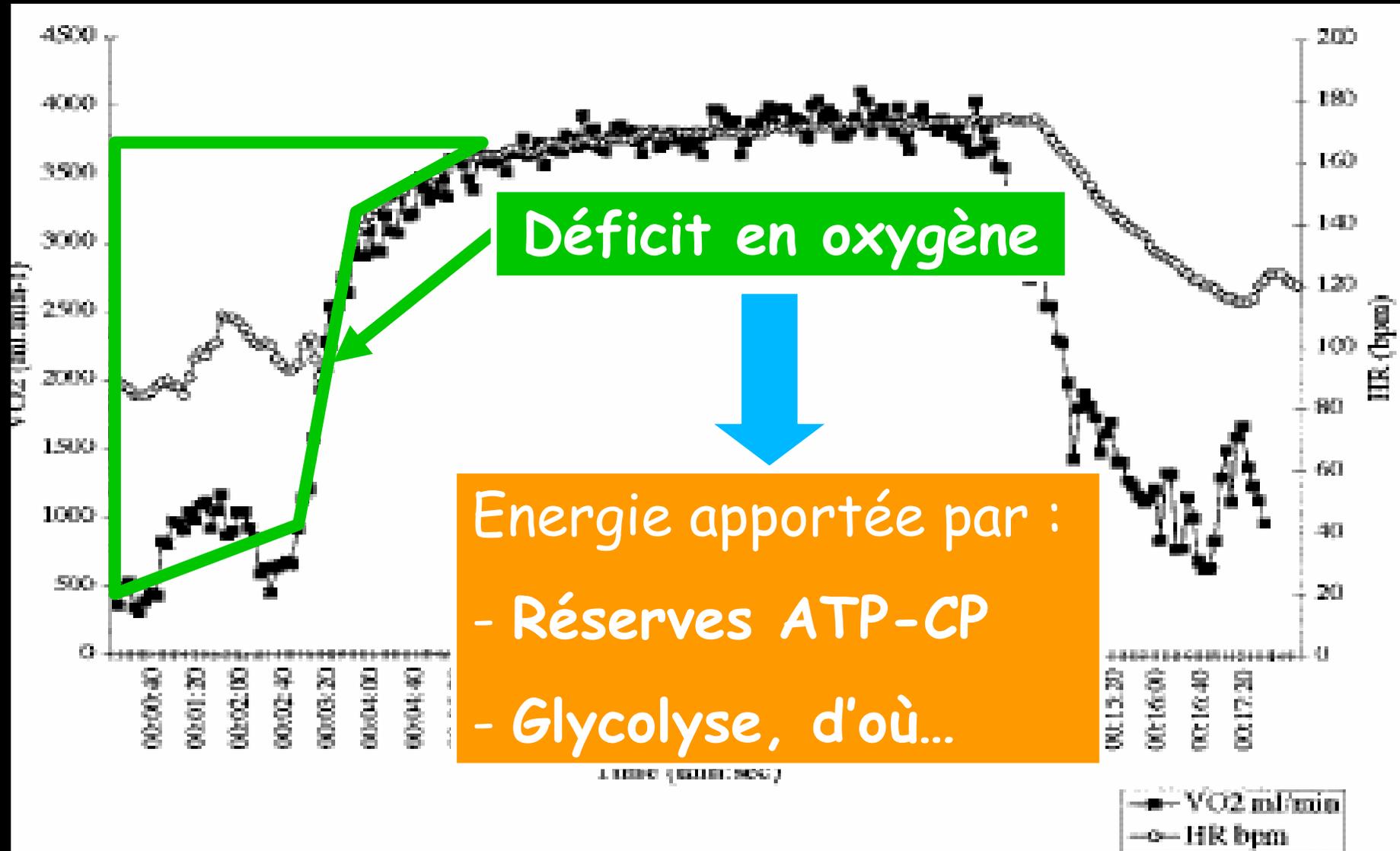


Fig. 1. Mean maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) and the relationship between oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) and treadmill-running velocity for 30 female runners. Also shown is the velocity which mathematically corresponds to $\dot{V}O_{2max}$ [$v\dot{V}O_{2max}$] (reproduced from Daniels et al.⁽¹⁹⁾ with permission).

Normalement
proportionnalité entre
 $\dot{V}O_2$ et intensité de
l'exercice

Toutefois, au début de l'exercice...

...la proportionnalité n'existe pas



Lactates

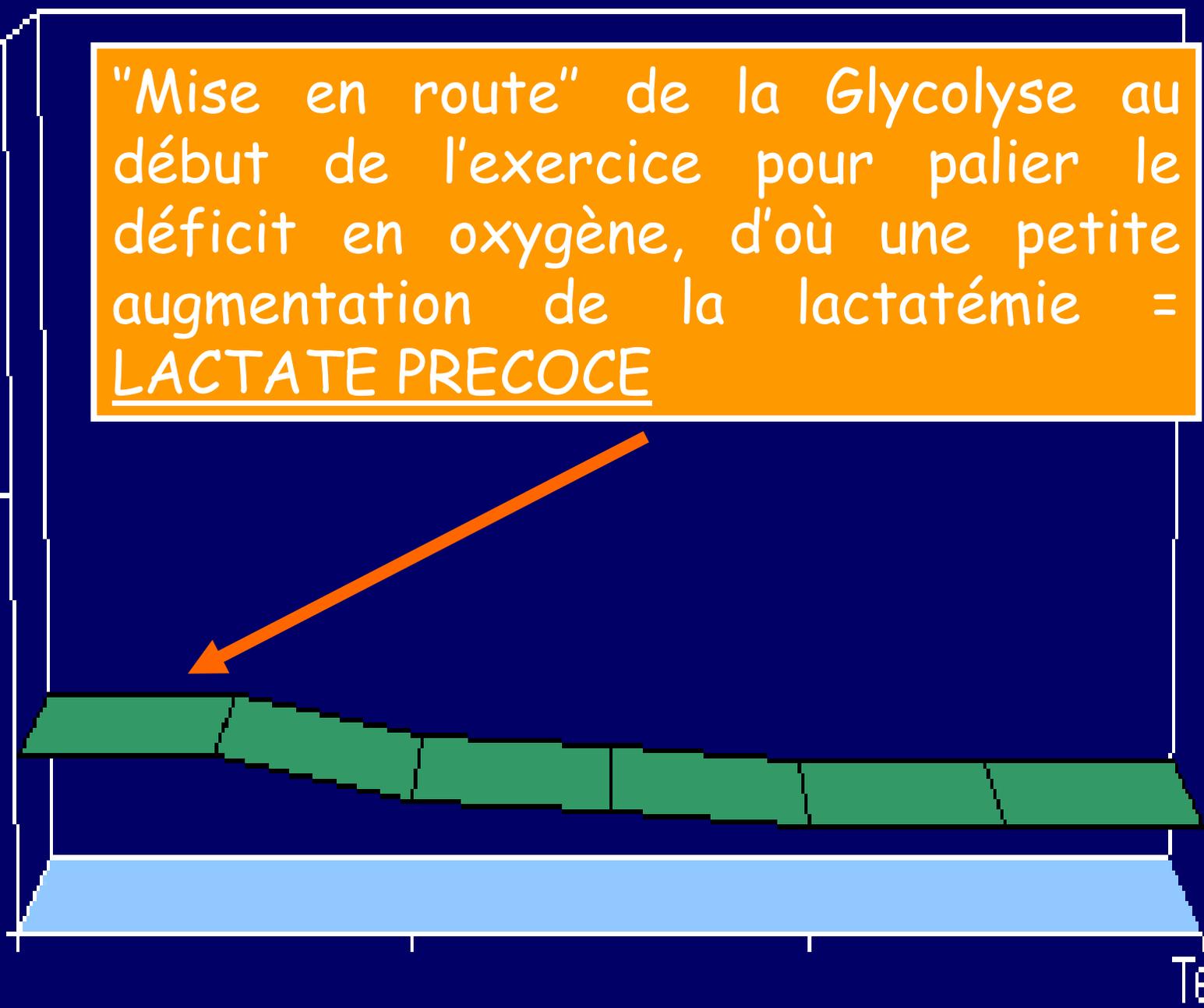
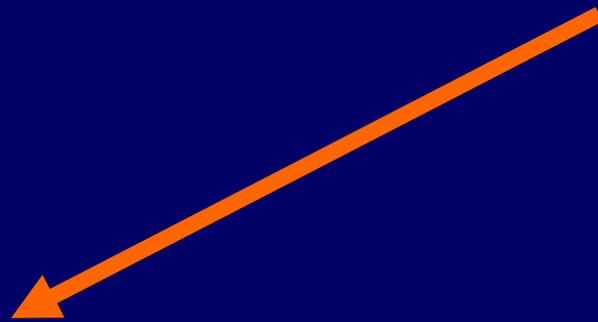
10

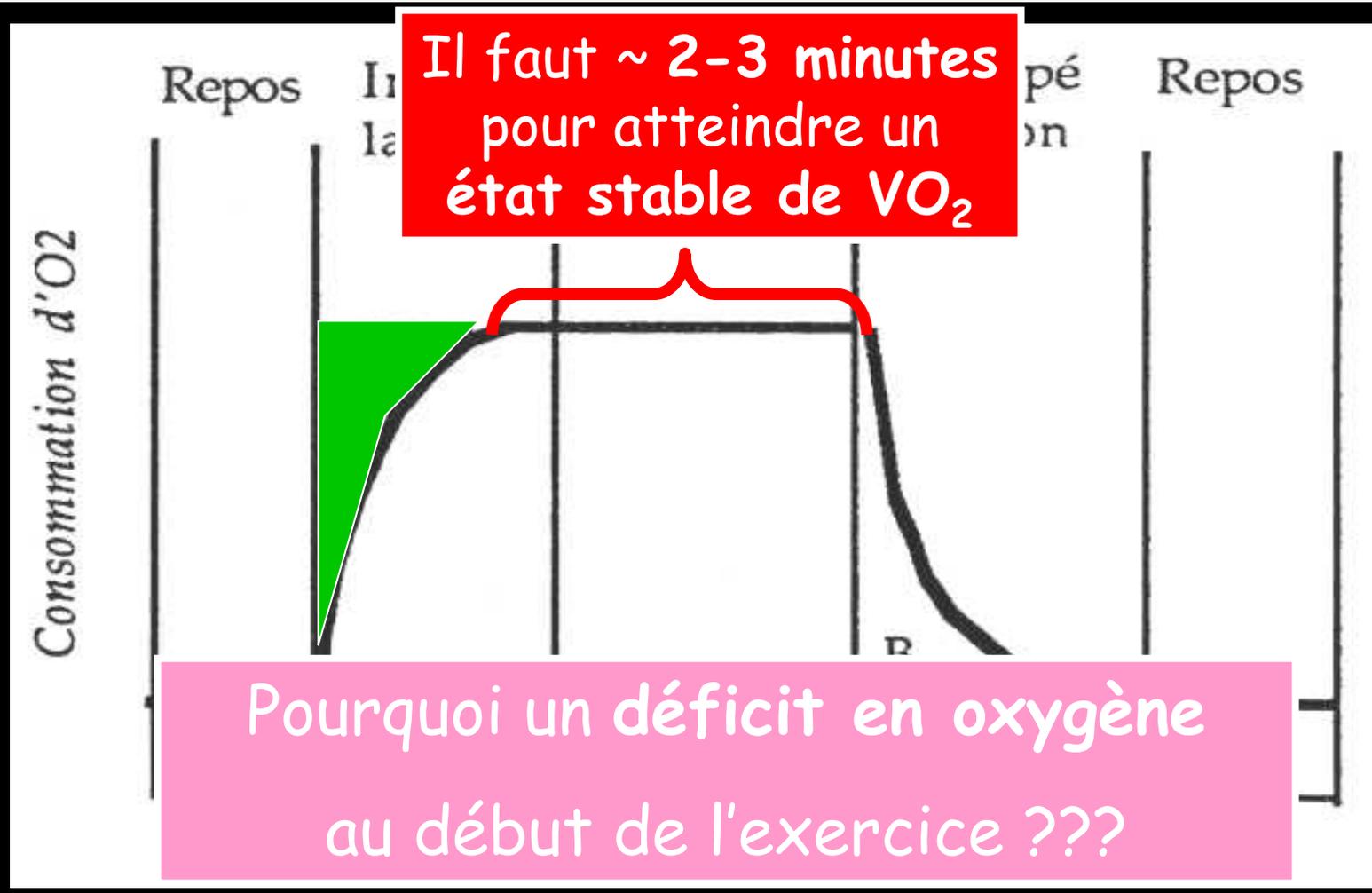
"Mise en route" de la Glycolyse au début de l'exercice pour palier le déficit en oxygène, d'où une petite augmentation de la lactatémie = LACTATE PRECOCE

5

0

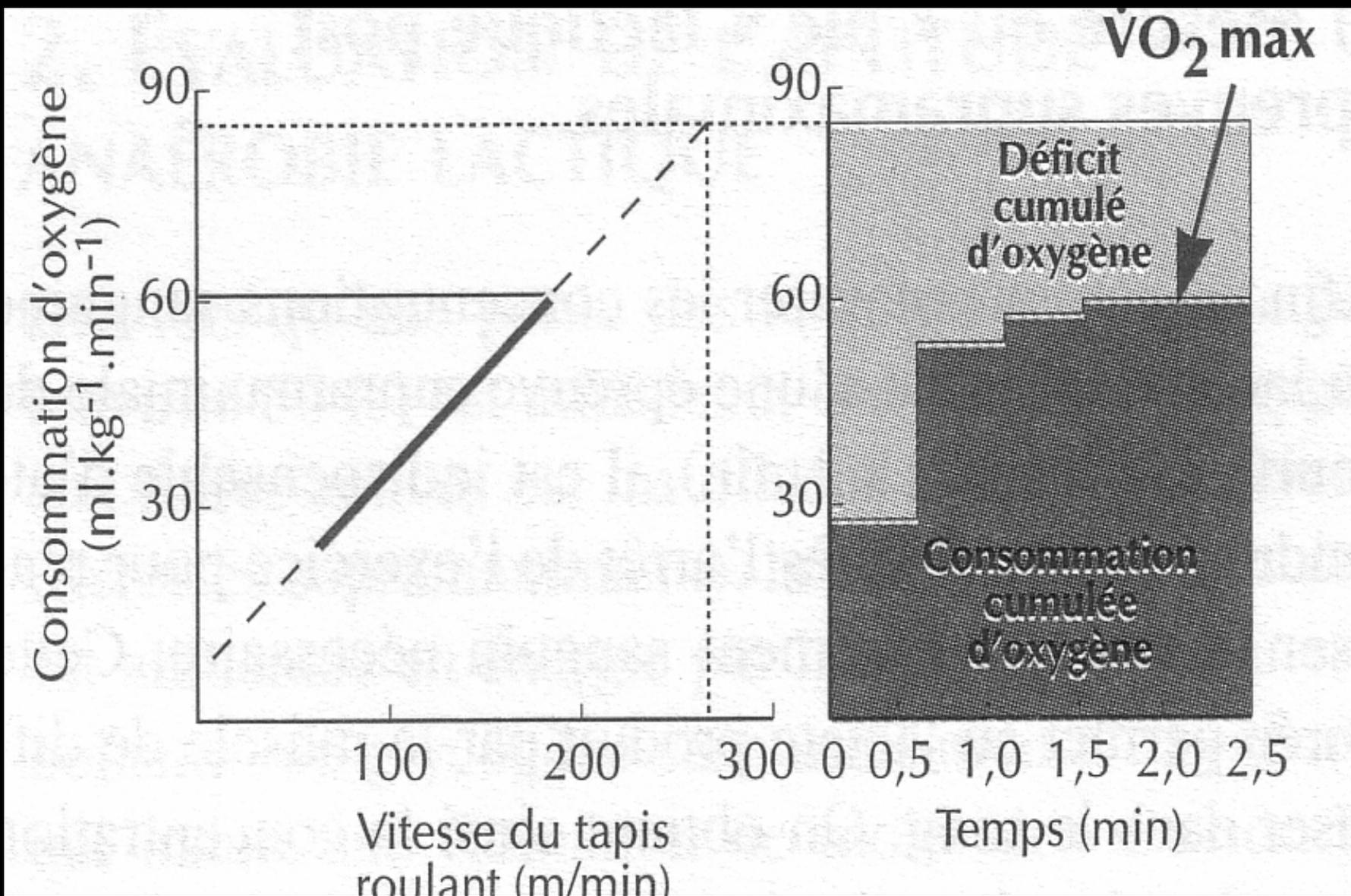
Temps





Latence du système cardiovasculaire pour apporter l' O_2 aux muscles ???

Latence du système musculaire pour utiliser l' O_2 ???



À gauche: évolution de la relation $\dot{V}O_2$ - vitesse

À droite: représentation schématique de l'accumulation du déficit lors d'un exercice de course à vitesse supramaximale

Le temps-limite à 100% VO_2 max dépend du DMOA



DMOA élevé \Rightarrow ENDURANCE à 100 % VO_2 max élevée

En fait, DMOA évaluerait la **CAPACITE ANAEROBIE** :

\Rightarrow DMOA élevé \Rightarrow réserves ATP-CP élevées
 \Rightarrow résistance à l'acidose élevée

GRANDE CAPACITE ANAEROBIE

Le temps-limite à 100% $\dot{V}O_2$ max dépendrait de la capacité anaérobie car...

$$\text{Temps-limite} = a + b t_{lim}$$

Avec a = Réserves

b = Puissance Critique

Déficit Maximal cumulé en Oxygène

REMARQUE !!!

- Les processus anaérobies alactique et lactique sont souvent oubliés dans les disciplines aérobies...

...et pourtant ils sont très importants

POURQUOI ???



- Lors de "l'emballage" final.
- Lors des changements de rythme.

En effet, lors des brusques accélérations, la filière aérobie n'est pas assez rapide (latence) pour fournir l'NRJ nécessaire, ce sont donc les processus anaérobies (alactique et lactique) qui fournissent cette énergie.

Il faut donc être capable d'accumuler de grands déficits en oxygène = déficit maximal cumulé en O_2 .

Mais également être capable de résister à l'acidose
=> systèmes tampons.

Les épreuves < 90 % VO_2max



Facteurs limitants

- Accumulation H^+

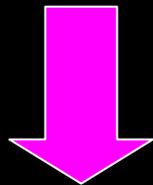
- Réserves glycogène (muscles et foie)

- Thermorégulation

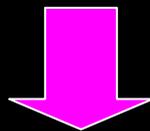
A. Réserves glycogène (muscles et foie)

RESERVES glycogène musculaire et hépatique sont **EPUISABLES**

Si manque de réserves



Risque **HYPOGLYCEMIE**
Glycémie < 0,9 g/l



Manque d'énergie



BAISSE VITESSE

Substrats	Quantité Energiedisponible	
	kg	kJ
triglycérides	12	446500
protéines	6	78250
glycogène muscle	0,4	4252
foie	0,06	638
phosphocréatine	0,087	17
ATP	0,076	5

Tableau 1 : substrats disponibles chez un homme de 70 kg

D'où l'intérêt...



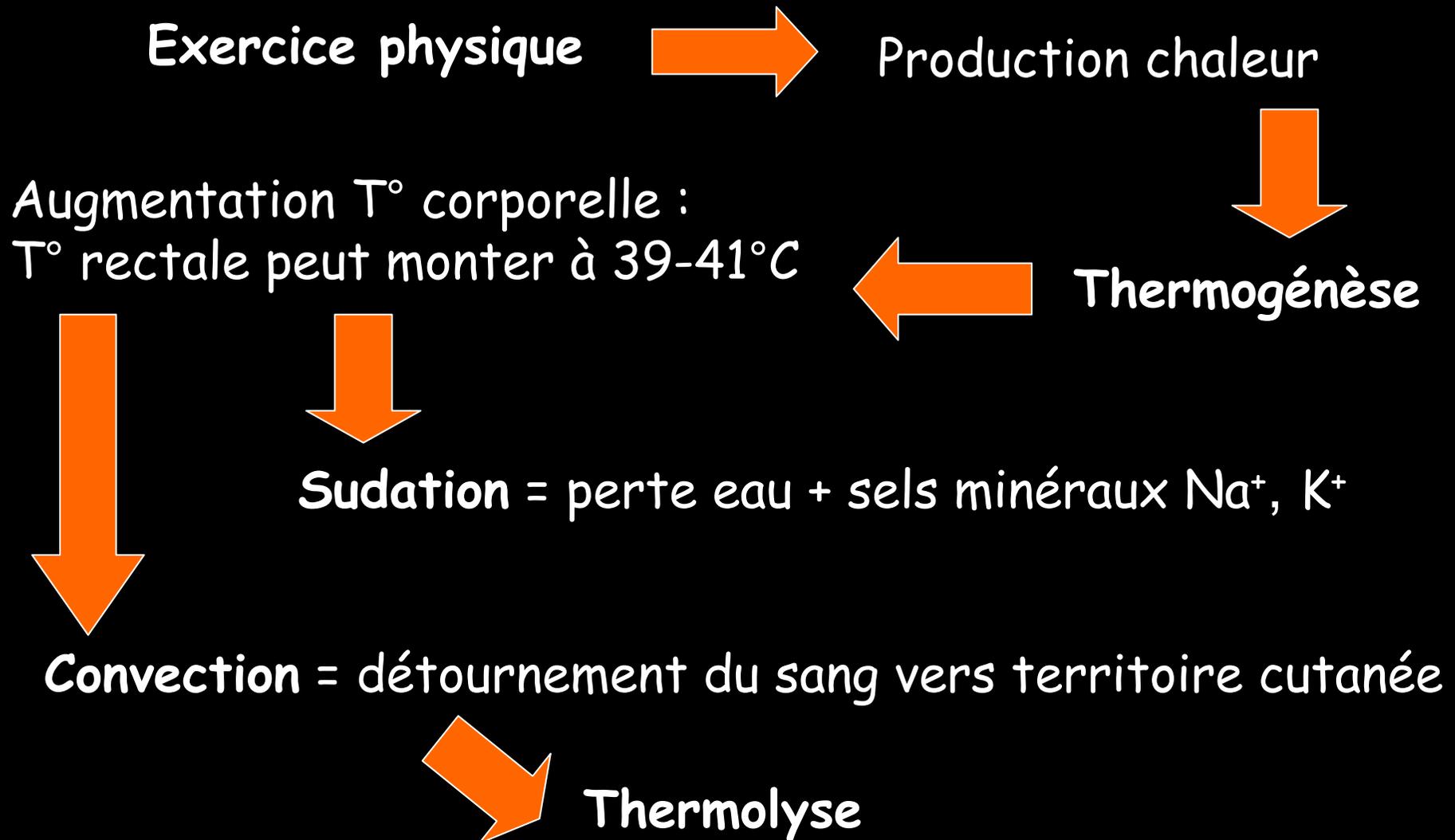
des PASTA-PARTIES !!!

Mais aussi...

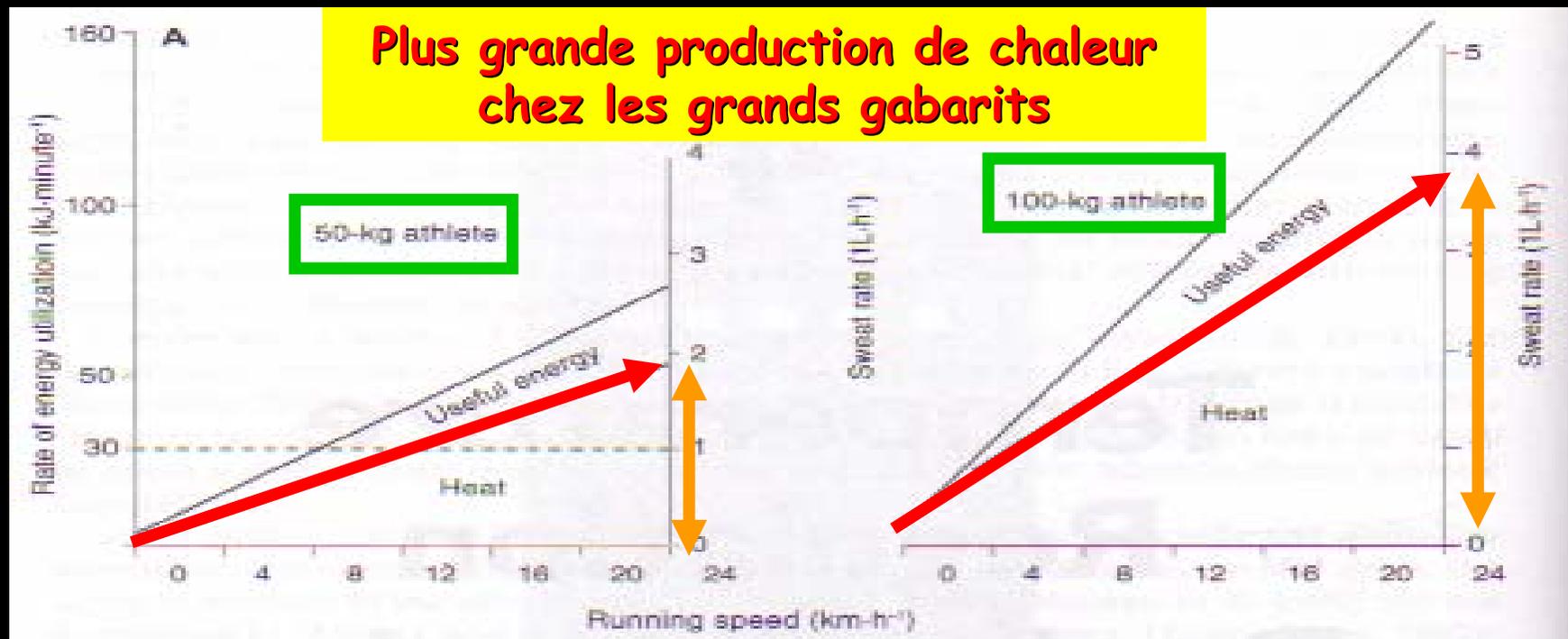


Des RAVITAILLEMENTS !!!

B. Thermorégulation

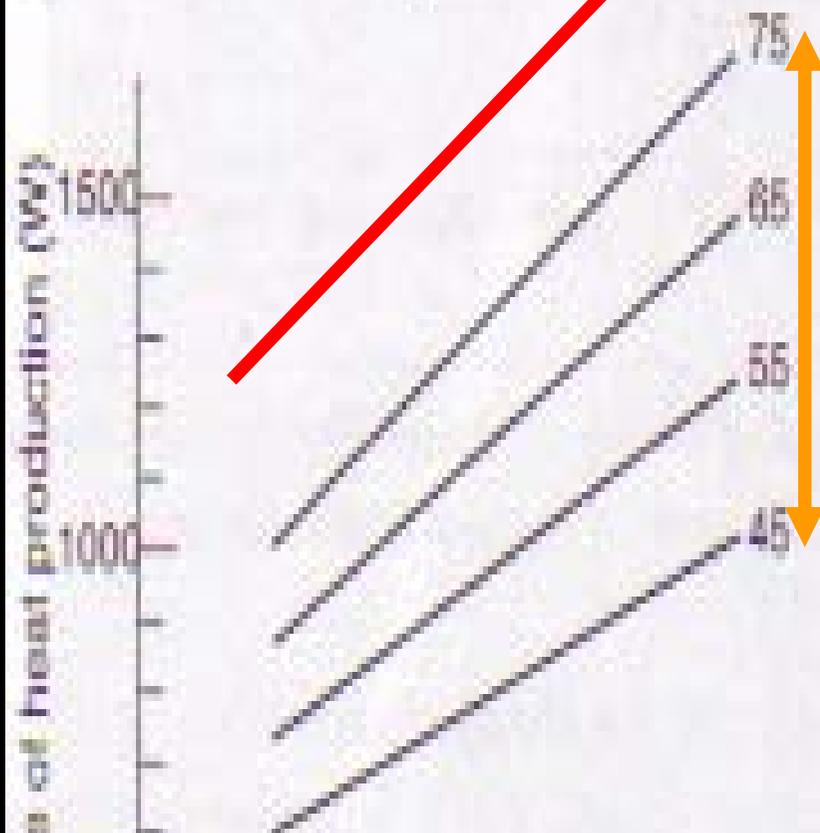


- ◇ La production de chaleur est fonction de :
- l'intensité de l'exercice.
 - la durée de l'exercice.
 - les conditions environnementales : vent, température, humidité, la chaleur réfléchie par la route.
 - les vêtements, notamment leur texture et leur couleur (noir vs blanc).
 - des individus : degré d'acclimatation, niveau d'hydratation et la corpulence (petit gabarit vs grand gabarit).



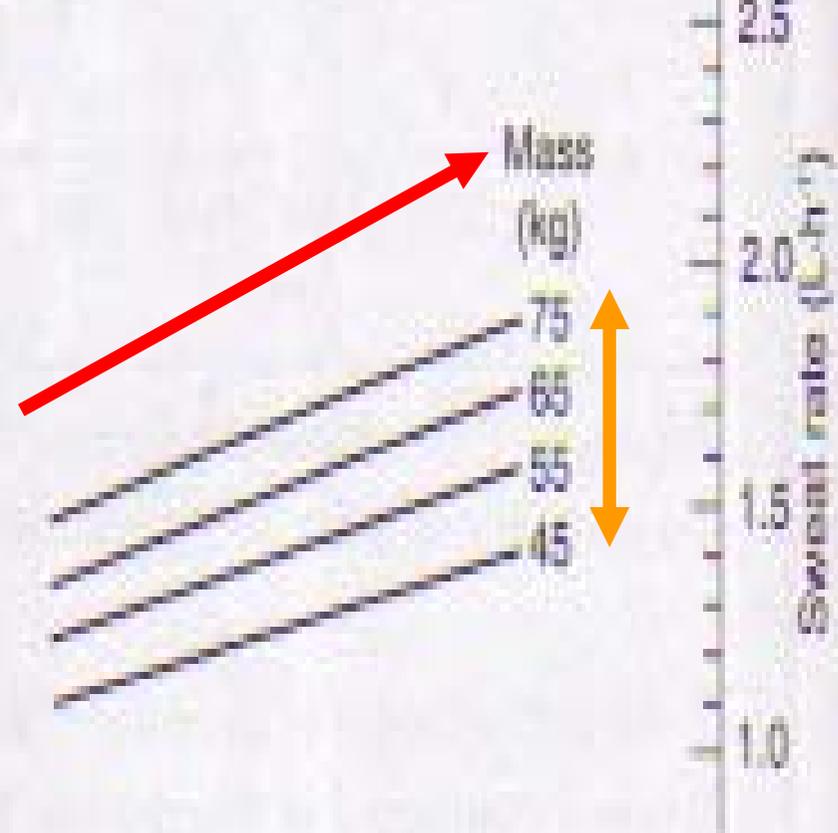
A

Predicted production

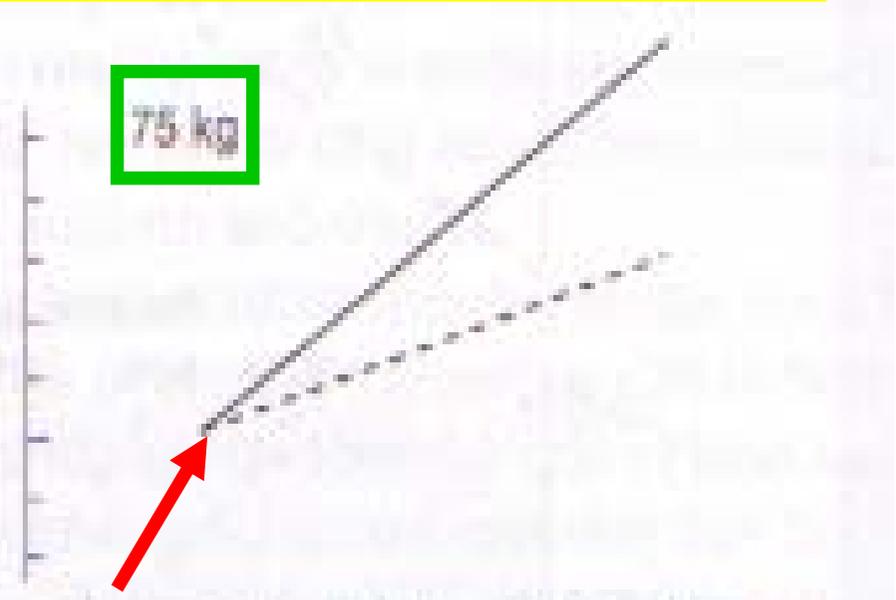
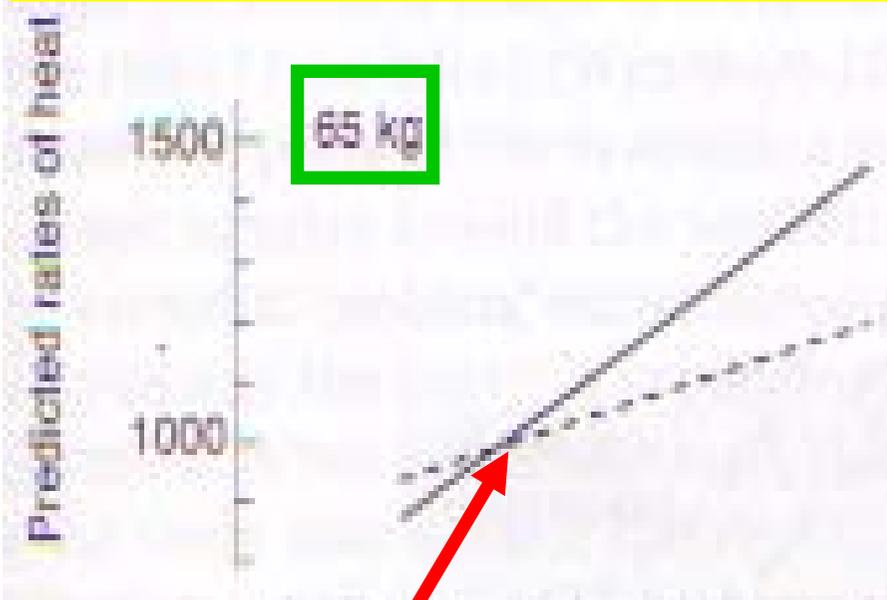
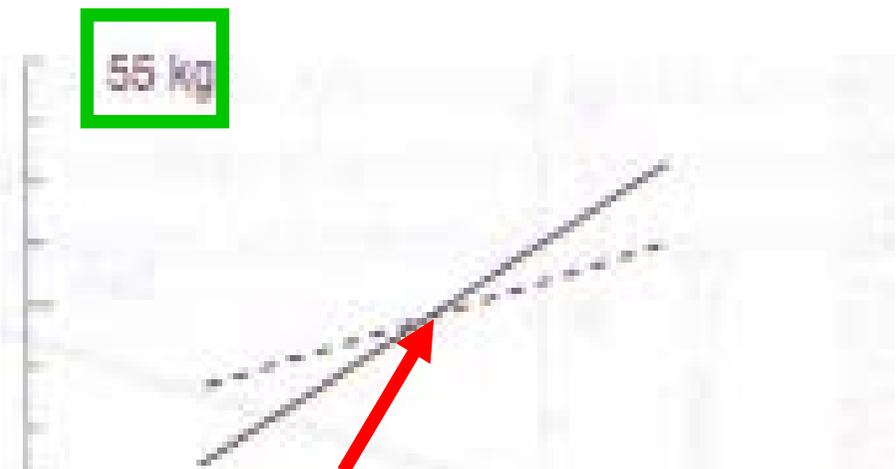
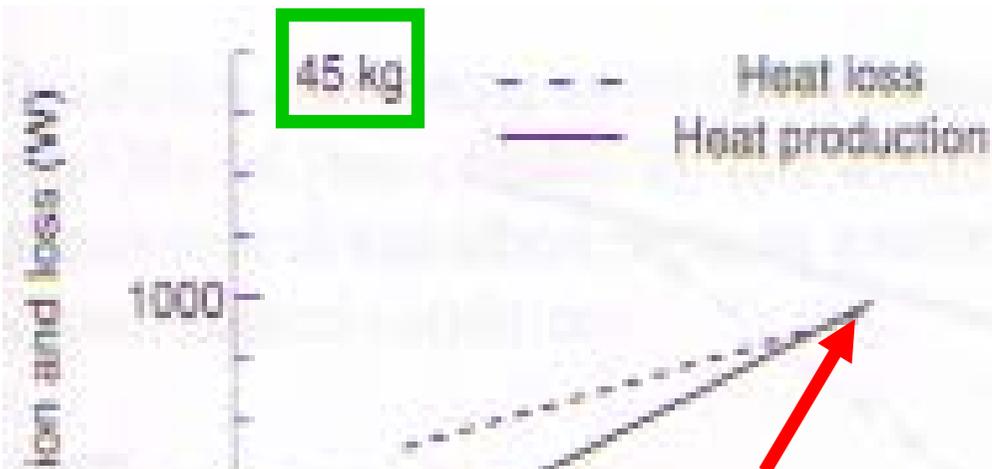


B

Maximum loss at 35°C & 60% Rh



- Augmentation production chaleur av vitesse de course.
- Plus grande production de chaleur chez les grds gabarits.
- Augmentation perte chaleur av vitesse de course.
- Plus grande perte de chaleur chez les grds gabarits MAIS pas proportionnelle av leur production.



SUDATION



PERTES EAU :

~ 2-3 L/h selon les individus et les conditions météorologiques (chaleur, hygrométrie et vent).

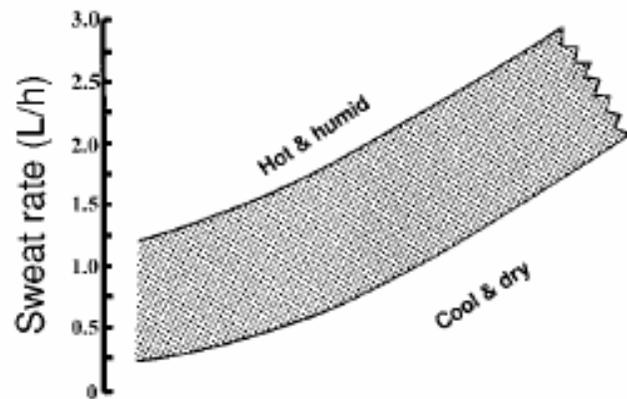
PERTES SELS MINERAUX :

Sodium : 10-70 mmol/L de sueur

Potassium : 3-15 mmol/L de sueur

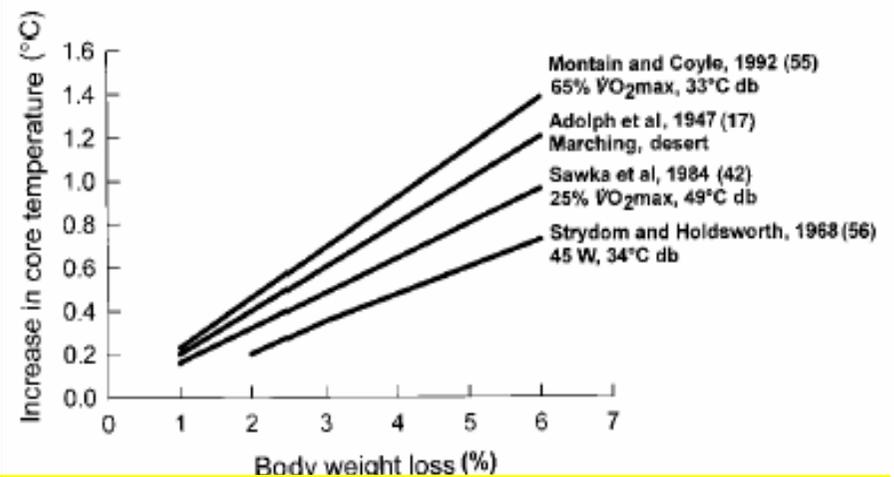
Calcium : ~ 1 mmol/L de sueur

Magnésium : ~ 0,8 mmol/L de sueur

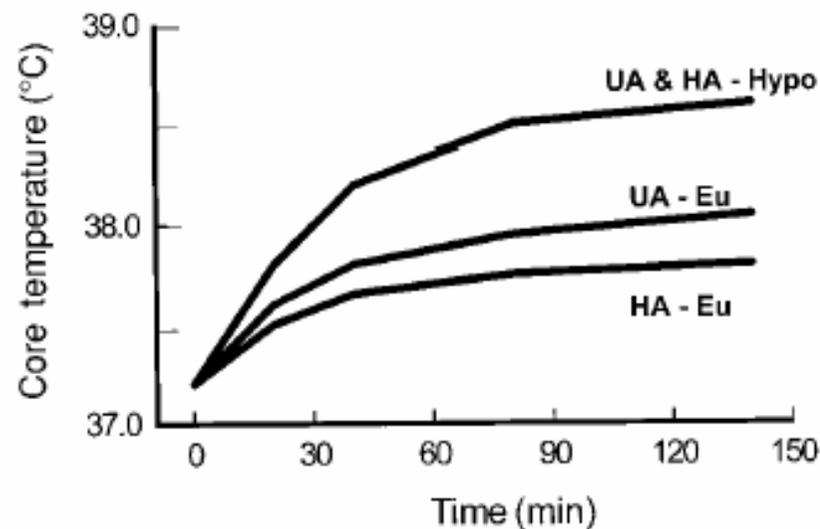


Augmentation sueur av :

- La vitesse
- L'humidité
- La chaleur

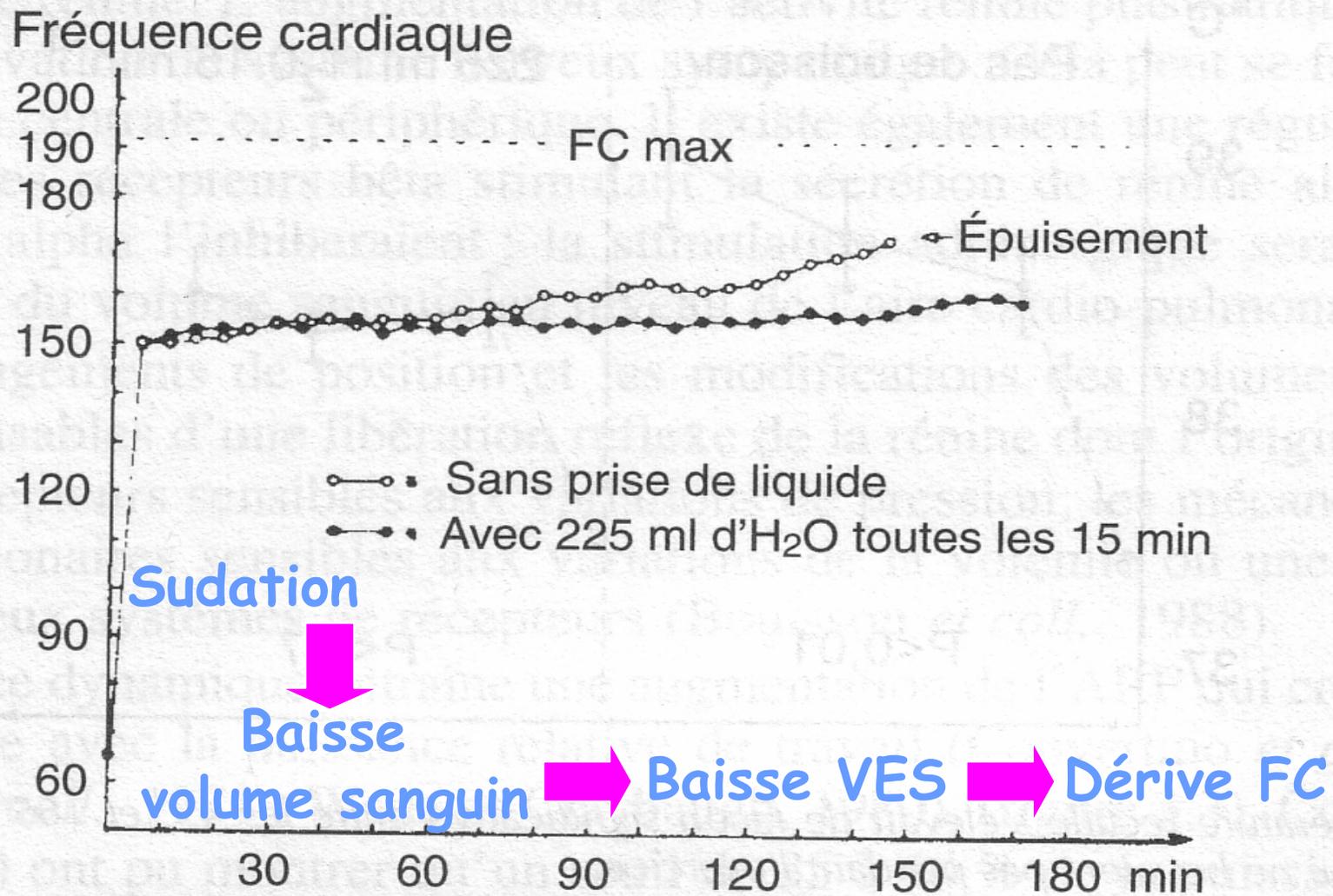


**Corrélation entre
perte de poids (eau) et
augmentation T° corporelle**



Augmentation T° corporelle :
Sujets acclimatés et hydratés <
sujets non-acclimatés et hydratés <
sujets non-acclimatés ou
acclimatés et déshydratés

FIGURE 7. Core temperature responses during exercise heat stress in euhydrated (EU) and hypohydrated (hypo; 5% body weight loss) persons both before (UA) and after (HA) being heat acclimated.



Evolution de la fréquence cardiaque chez un sujet courant jusqu'à épuisement sur tapis roulant à une intensité de 70% VO₂max, avec ou sans prise de liquide.

Evaluation du temps-limite (à 100% $VO_2\text{max}$)

- Pourquoi évaluer le temps-limite à $VO_2\text{max}$?

- Cadre de référence pour le choix de la durée d'entraînement à $VO_2\text{max}$.

- Critère d'évaluation de l'aptitude aérobie.

- **Comment évaluer le temps-limite à $VO_2\text{max}$?**

- 1 à 2 semaines après test détermination VMA.

- échauffement 15-20' à 60% de VMA.

- puis en 20", le coureur atteint sa VMA et la maintient le plus longtemps possible.

!!! REMARQUES SUR LES CONDITIONS DE PASSATION DES TESTS !!!

- Lorsque des tests (quels qu'ils soient) sont effectués, les conditions de passations doivent être standardisées. Pour cela, vous devez vous assurer que :
 - vos athlètes aient des réserves en glycogène un minimum remplies.
 - vos athlètes soient euhydratés.
 - les conditions météorologiques soient identiques entre les passations.
 - vos athlètes utilisent le même matériel.
 - échauffement standardisé.
 - entraînement 24 voire 48-h avant standardisé.
- Vous (ou votre athlète) devez donc garder "dans un coin", l'ensemble des conditions de passation.

FINN

