

Qu'est-ce qui fait gagner au tour de France ?



Alain Belli. Saint Etienne, 5 janvier 2023.

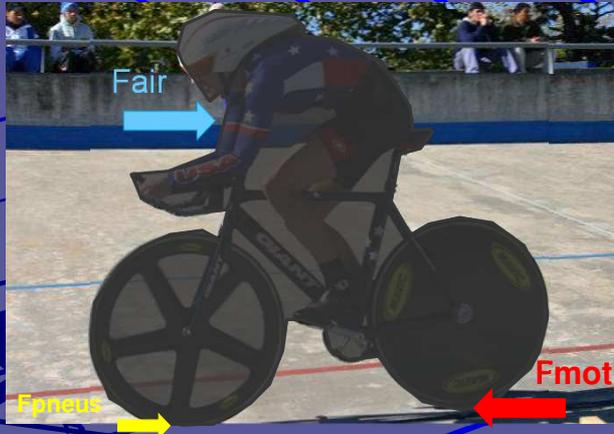
1) Les forces en présence

2) Le moteur musculaire

3) Les différentes étapes



1) Les forces en présence



La force de friction de l'air : F_{air}

La force de friction des pneus : F_{pneus}

La force motrice : F_{mot}

A vitesse constante : $F_{mot} = F_{air} + F_{pneus}$

La force de friction de l'air (F_{air})



F_{air}



Vitesse (m/s)	Force (N)
0	0
5 (18km/h)	5 (0,5 kg)
10 (36 km/h)	20 (2 kg)
15 (54 km/h)	80 (8 kg)

La force de friction de l'air est proportionnelle à le vitesse au carré

$$F_{air} = b \times v^2$$

b : coefficient de friction de l'air ($N.m^{-2}.s^2$)

v : vitesse relative du cycliste

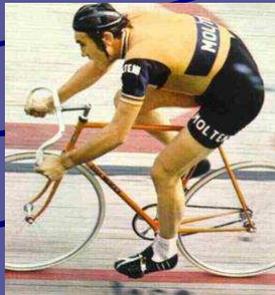
Diminuer le coefficient de friction de l'air : $b = \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} \cdot S \cdot C_x$

$\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$; S : surface frontale ; C_x : coefficient de forme



Diminution de b par :

- diminution de ρ , altitude élevée, air sec et chaud
- diminution de S : position couchée, bras serrés
- diminution de C_x : matériels profilés, mains jointes



Merckx (1972)
 $b = 0,2$



Indurain (1994)
 $b = 0,165$

Gain de 17,5%



Obree (1994)
 $b = 0,135$

Gain de 32,5%

La force de friction de l'air et des pneus



Professeur Di Prampero
Comte de Udine



Pneus "basiques"

$F_{\text{pneus}} = 3 \text{ N}$ (0,3 kg)

Pneus course/route

$F_{\text{pneus}} = 1,5 \text{ N}$ (0,15 kg)

L'importance de la force de roulement est relativement faible à partir de 10 m/s

Vitesse (m/s)	Vitesse (km/h)	Force Totale (N)	Force Roulem. (N)	Force Roulem. (%)
0	0	3	3	100%
5	18	8	3	38%
10	36	23	3	13%
15	54	48	3	6%
20	72	83	3	4%

La puissance mécanique à produire

$$\text{Puissance} = F \times v \quad \text{en J.s}^{-1} \text{ (ou Watts)}$$

$$\text{Puissance} = (b \times v^2) \times v \quad \text{Friction des pneus négligée}$$

$$\text{Puissance} = b \times v^3$$

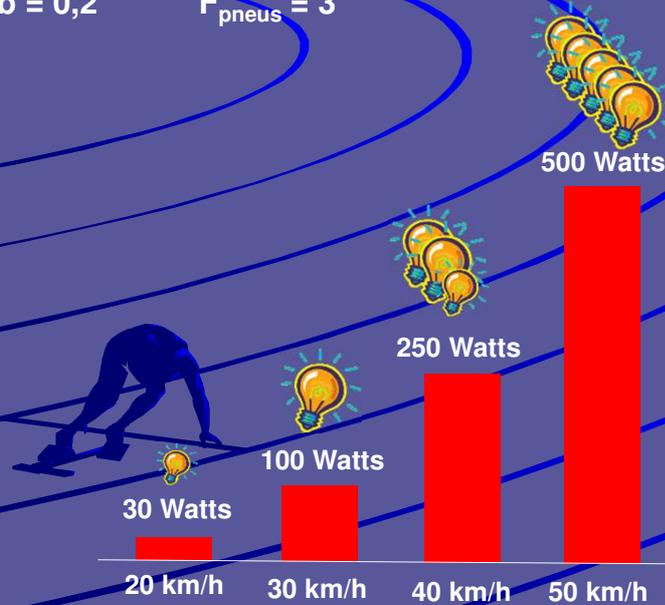


Vitesse (m/s)	Puis. (W)
0	0
5	25
10	200
15	450

La puissance mécanique est proportionnelle au cube de la vitesse de déplacement !

La puissance mécanique à fournir pour pénétrer dans l'air.

$$b = 0,2 \quad F_{\text{pneus}} = 3$$



Les vélos électriques font 250 Watts, environ 40 km/h

2) Le moteur musculaire



Production maximale de puissance mécanique pendant plusieurs minutes

Débutant : 125 Watts

Amateur : 250 Watts

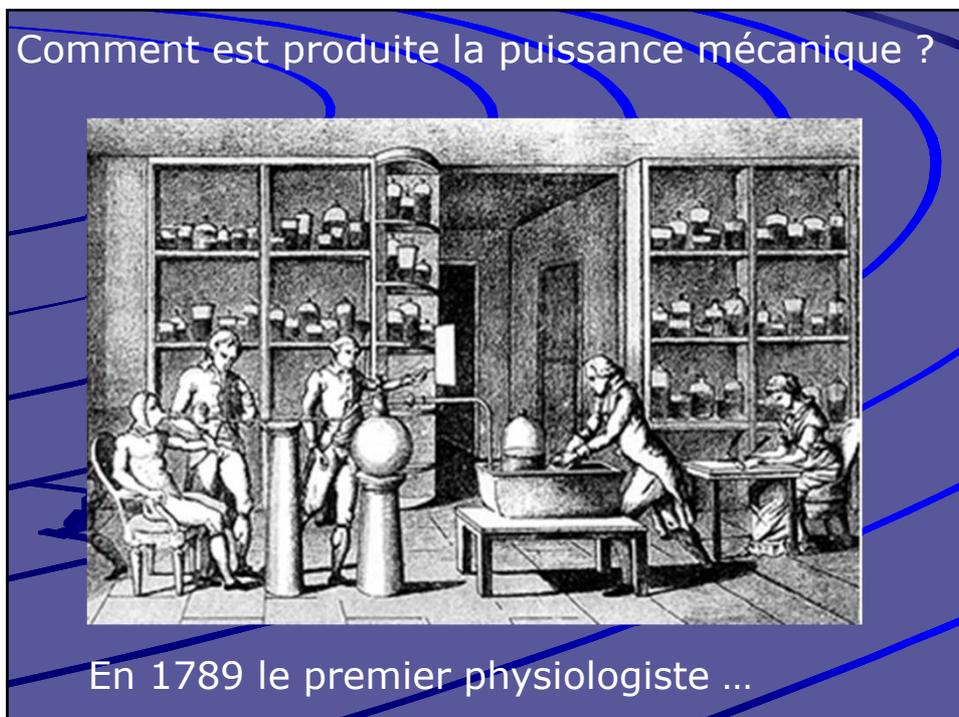
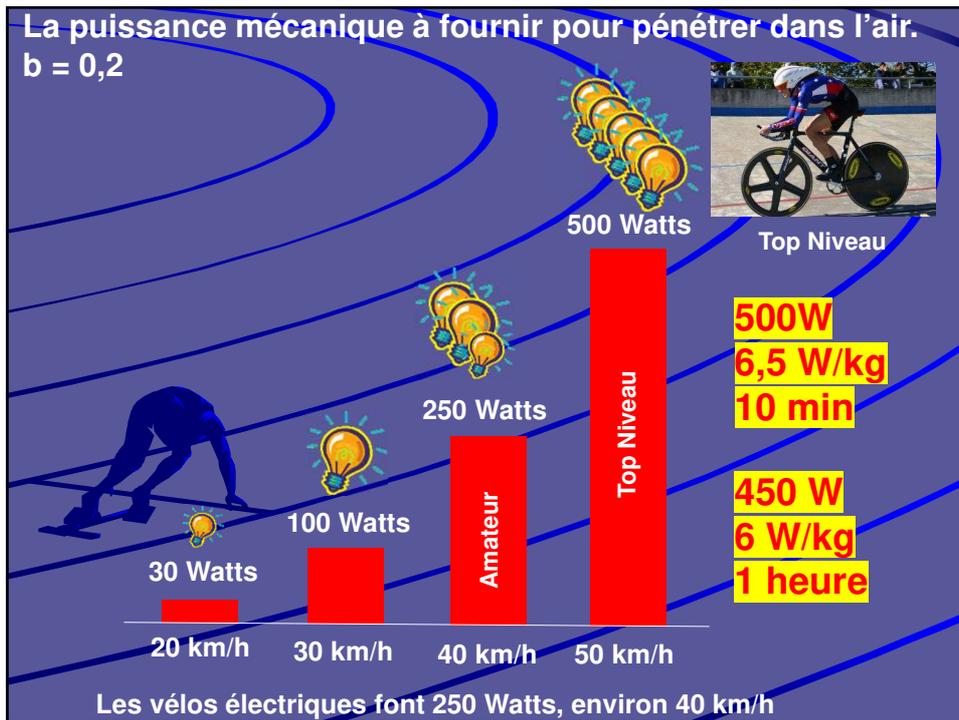
Top niveau : 500 Watts

6,5 Watts/kg

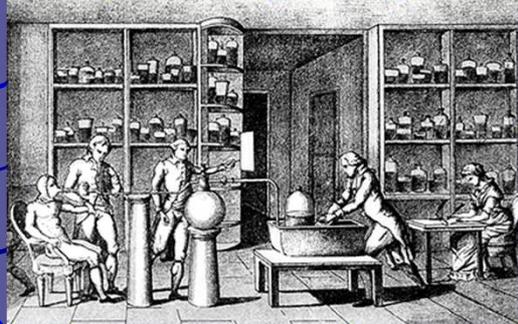
Pendant 10 min



Bicyclette ergométrique permettant de mesurer la puissance mécanique produite



Comment est produite puissance mécanique ?



La quantité d'air vital consommé augmente pendant la digestion, avec le froid et au cours de l'exercice musculaire.

L'augmentation des pulsations et de la quantité d'air vital consommé est assez exactement en raison directe de la somme des poids élevés à une hauteur déterminée.

1 litre O_2 consommé \Leftrightarrow 5 litres d'eau produits
 \Leftrightarrow 5 kiloCalories (kcal)
 \Leftrightarrow 20 000 Joules (J)



\approx 1 g de «sucre» brûlé



\approx 1/2 g de «graisse»



\approx 1/2 g (1/2 ml) d'essence

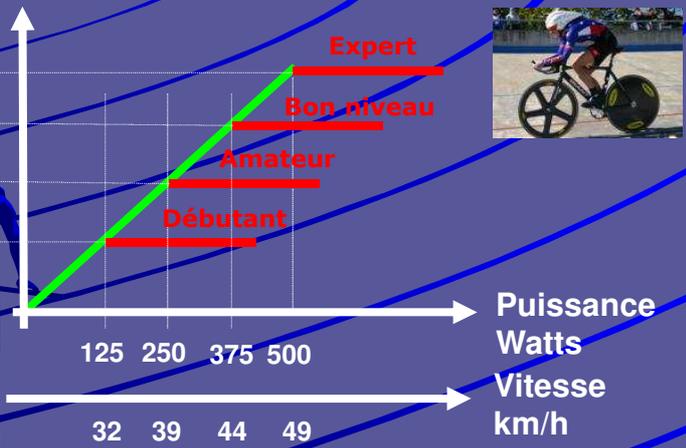


1 kcal \Leftrightarrow 1 litre à +1° (Nicolas Clément 1724)

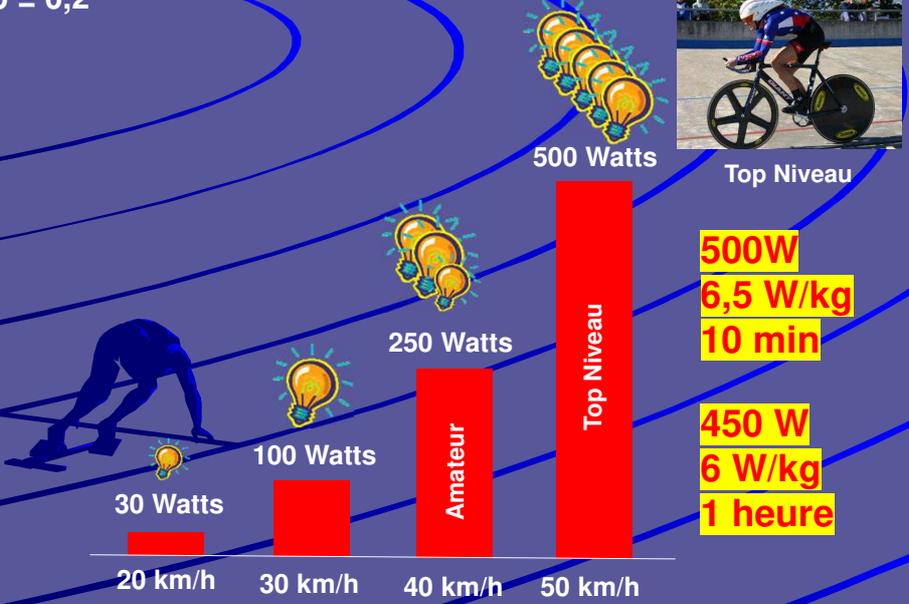
Nous ne sommes pas tous égaux par rapport à notre consommation d'oxygène maximale.



6 l/min
4,5 l/min
3 l/min
1,5 l/min



La puissance mécanique à fournir pour pénétrer dans l'air.
 $b = 0,2$



Les vélos électriques font 250 Watts, environ 40 km/h

3) Les différentes étapes



3.1) Les étapes sur le plat

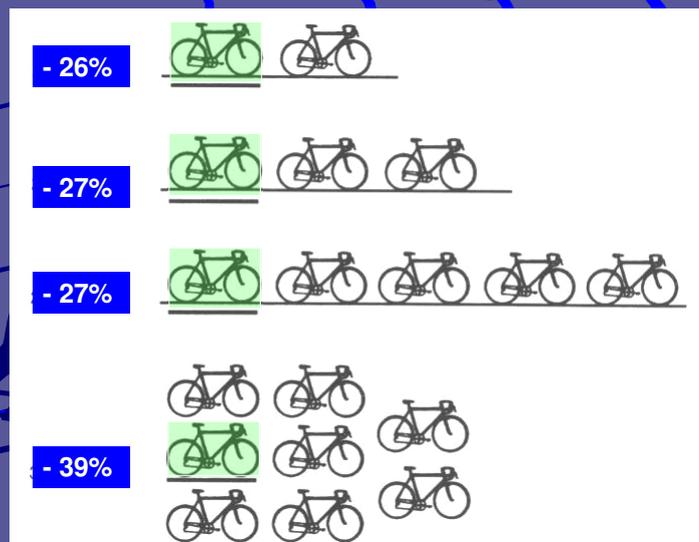




Professeur Di Prampero
Comte de Udine



Si l'on « suce la roue » de celui ou ceux qui précèdent on économise 26% à 27% de force et de puissance



Caché au milieu du peloton on économise 39% de puissance !

Voilà pourquoi le Tour de France ne peut pas se gagner lors d'une étape classique en peloton : il est trop coûteux de s'échapper !



Puissance + 27% à 39% !

Voilà pourquoi le Tour de France ne peut pas se gagner lors d'une étape classique en peloton : il est trop coûteux de s'échapper !

Et l'on a besoin de coéquipiers !



Mener est l'acte le plus dur, mais aussi le plus inutile.

Mener c'est toujours se sacrifier; c'est un héroïsme pur.



Suivre, au contraire, est toujours un peu lâche et un peu traître, relevant d'un arrivisme insoucieux de l'honneur.

Roland Barthes, Mythologies, Le Tour de France comme épopée.

3.2) Les étapes contre la montre



Lors d'un contre la montre, F_{pneus} est négligeable

$$P_{\text{puissance}} = b \times v^3$$

La vitesse est proportionnelle à la racine cubique de la puissance

$$v = \sqrt[3]{P_{\text{puissance}} / b}$$



Exemple.

Si la puissance d'un coureur est 10% supérieure

⇒ il ira $(1,1)^{1/3} = 1,032 \Leftrightarrow 3,2\%$ plus vite

⇒ sur 1 heure il gagne 2 minutes environ

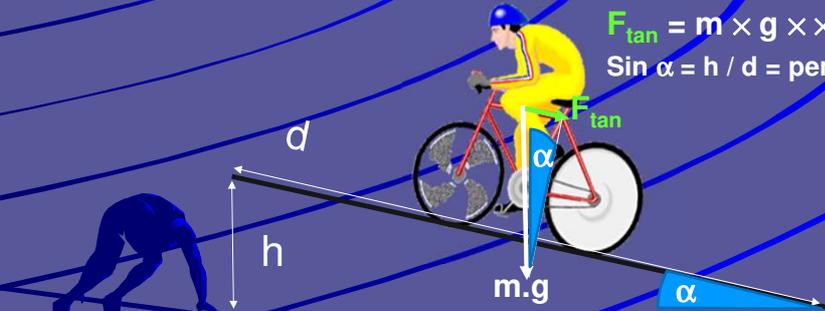
3.3) Les étapes de montagne

La force de résistance due à la gravité ($F_{\text{tangentielle}}$)

F_{tan} est la projection du poids ($m \cdot g$) dans la direction (tangentielle au) du déplacement

$$F_{\text{tan}} = m \times g \times \sin \alpha$$

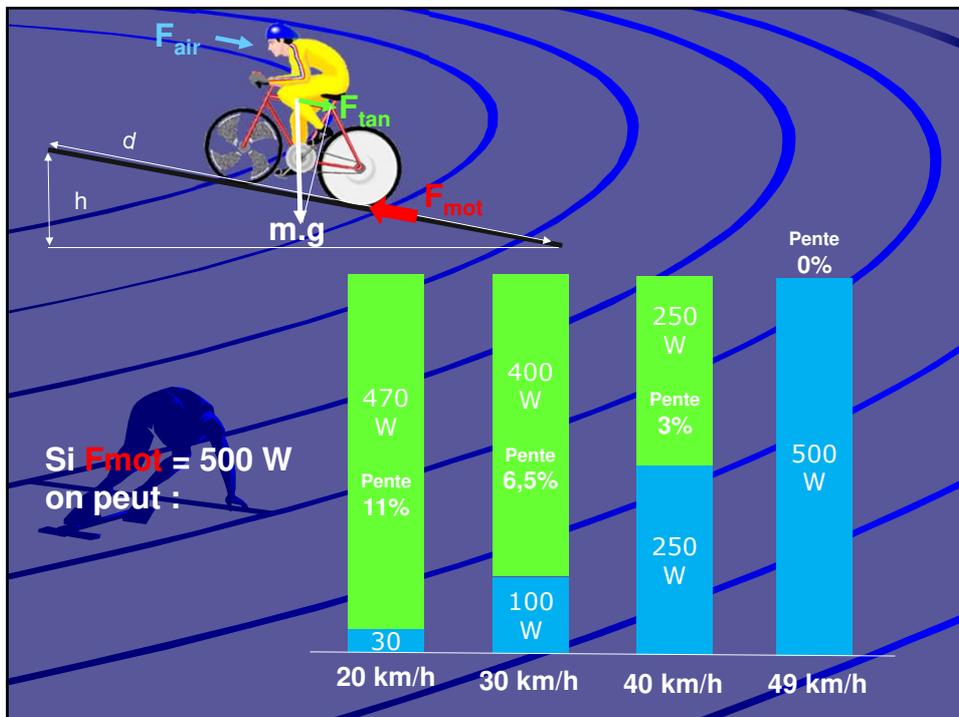
$$\sin \alpha = h / d = \text{pente}$$



$$F_{\text{tan}} = m \times g \times \text{pente}$$

$$\text{Puissance} = m \times g \times \text{pente} \times v$$

La vitesse est directement proportionnelle à la puissance



En montée avec forte pente, F_{air} est négligeable
La vitesse est proportionnelle à la puissance

$$\text{Puissance} = m \times g \times \text{pente} \times v$$



Exemple.

Si la puissance d'un coureur est 10% supérieure

⇒ il ira 10% plus vite

⇒ sur 1 heure il gagne 6 minutes

Si 10% de puissance en plus

On se crame !

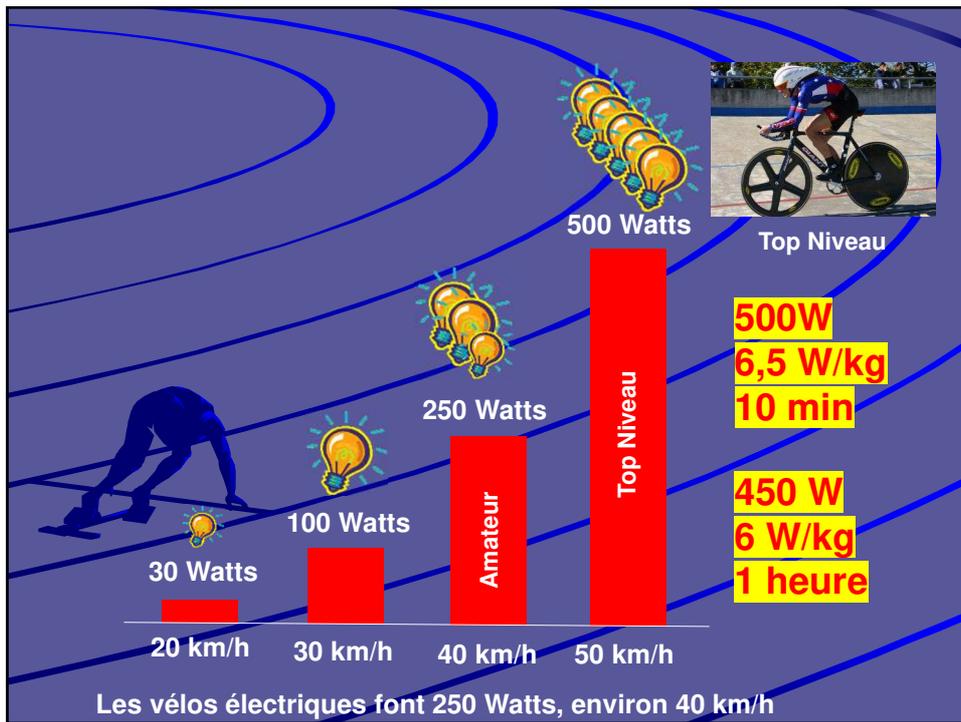


3,2% plus vite
Gain de 2 min / heure



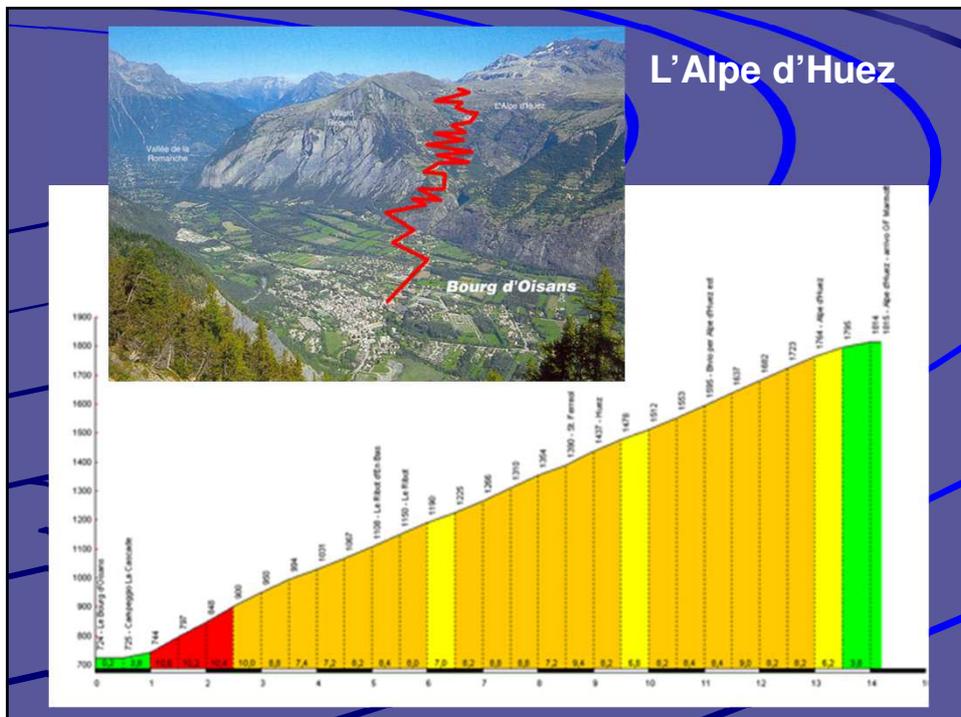
10% plus vite
Gain de 6 min / heure





500W
6,5 W/kg
10 min

450 W
6 W/kg
1 heure



13,8 km à 8% de moyenne (10% au debut puis 7% à 8%)
Dénivelé : 1090 m

Fausto COPI (1952) : 45'22 (18,5 km/h)
42'00 (20 km/h)

EPO 1990

INDURAIN (1995) : 38'04 (21,75 km/h)
VIRENQUE (1997) : 38'11 (21,7 km/h)
AMSTRONG (2004) : 37'36 (22 km/h)
PANTANI (1995) : 36'40 (22,6 km/h)



Recordman Marco Pantani 36 min 40 s ... **7 W/kg**
?!?!



Pantani
1.72 m, 57 kg,



Effets de l'érythropoïétine et de l'autotransfusion

Effect of erythropoietin administration on mammal aerobic power. 1991

[B. Ekblom, B. Berglund](#)

SCANDINAVIAN JOURNAL OF
MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS



VO₂
+ 8 % en moyenne

The effects of subcutaneous injections of human erythropoietin (rhEpo) on the circulatory response to submaximal and maximal exercise were studied in healthy male subjects ($n=15$). Hemoglobin concentration [Hb] increased from $152 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ to $169 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ and in parallel maximal aerobic power ($\text{Vo}_{2\text{max}}$) increased from 4.52 to $4.88 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Compared with infusion of red blood cells, there was no significant difference in the increase in $\text{Vo}_{2\text{max}}$ per gram increase in [Hb].

Et un petit moteur en plus ?



Vivax, 3000 €, 1,8kg (vente libre)
Jusqu'à 270 Watts en pointe
Quelques dizaines de Watts en continu

S'échapper



Merci de votre effort d'attention soutenu !



UNIVERSITÉ
JEAN MONNET
SAINT-ETIENNE

APPEL A VOLONTAIRES



Lyon 1

Vous connaissez le FOOT EN MARCHANT ?



- ⚽ Pratique mixte
- ⚽ Pratique conviviale
- ⚽ Pratique sans contact

Envie de (re)jouer au foot ?
Venez essayer le Foot en marchant !

"Oui nous nous sentons mieux physiquement mais c'est aussi amusant. On s'en va en ayant passé une bonne matinée".



Conditions requises : avoir entre 60 et 80 ans, être apte à pratiquer une activité physique.



Renseignements : Mélanie BOITHIAS 06.83.27.01.95
melanie.boithias@univ-st-etienne.fr