



# L'économie de course, la grande oubliée ?

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

# Programme d'entraînement

## 01. Echauffement



Comment avancer efficacement dans certains sports ?

## 02. Corps de séance



Qu'est-ce que l'économie de course et pourquoi est-elle importante ? Littérature ?

## 03. Retour au calme



Comment l'intégrer dans notre pratique ?



Hautrive Cédric  
Médecine du sport



## 1/ Echauffement

Contre quoi doit-on se battre pour avancer ?

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

# Natation : La glisse

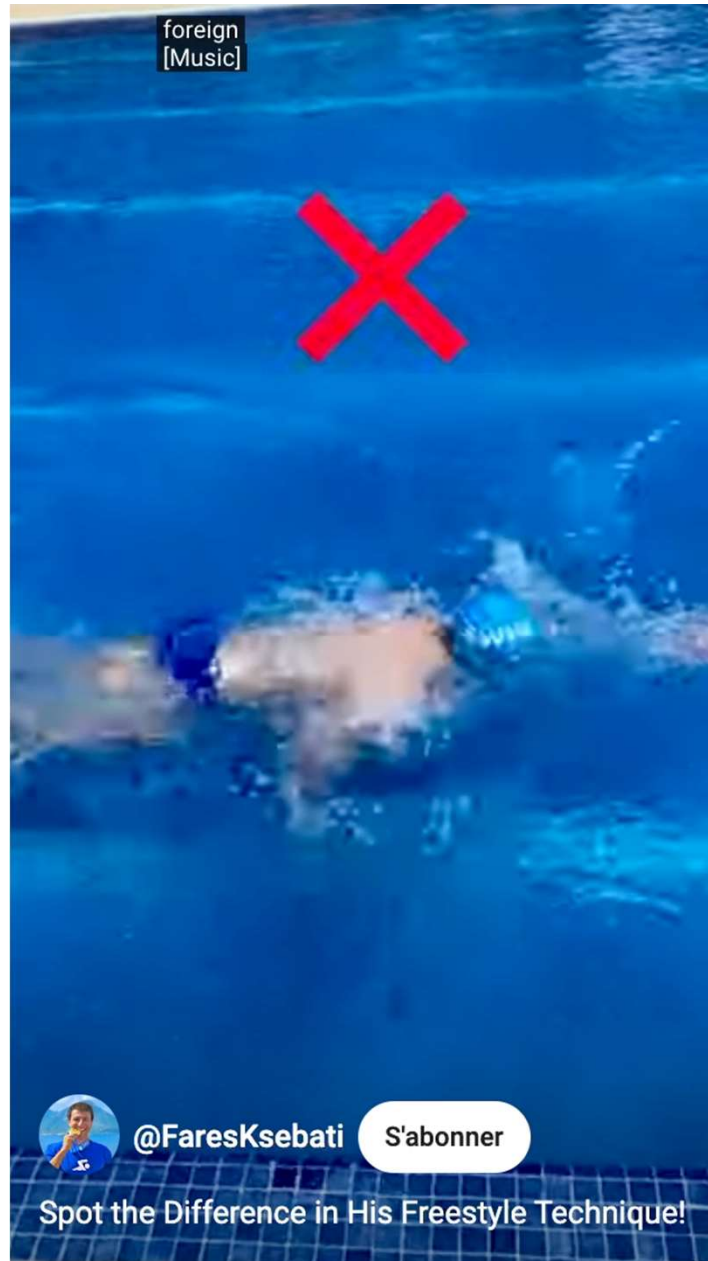
- Résistance à l'eau



# Natation : La glisse

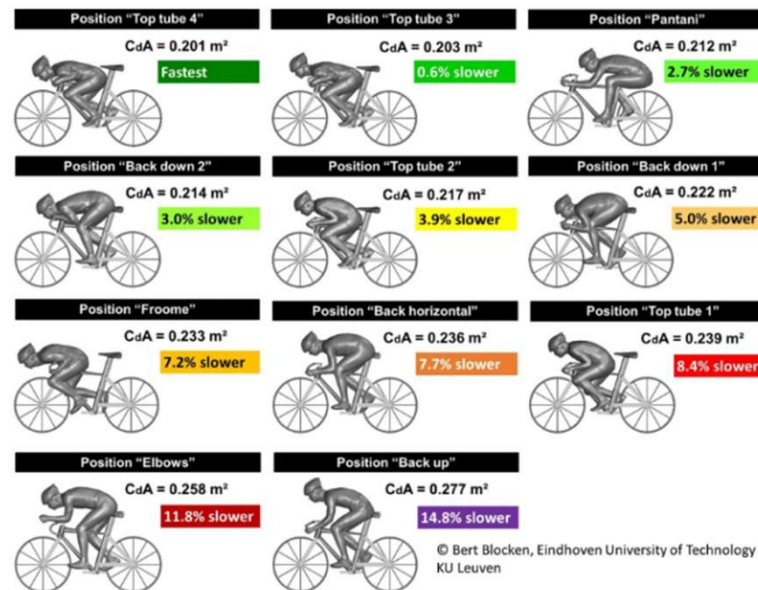
- Résistance à l'eau

Hautrive Cédric  
Médecine du sport



# Cyclisme : Aérodynamisme

- Résistance face au vent
- Gravité
- Résistance aux roulements



# En course à pied alors ?

- Résistance contre les freins de notre propre corps (surtout biomécaniques)
- Gravité
- Vent

Hautrive Cédric  
Médecine du sport



# Technique de course membres inférieurs

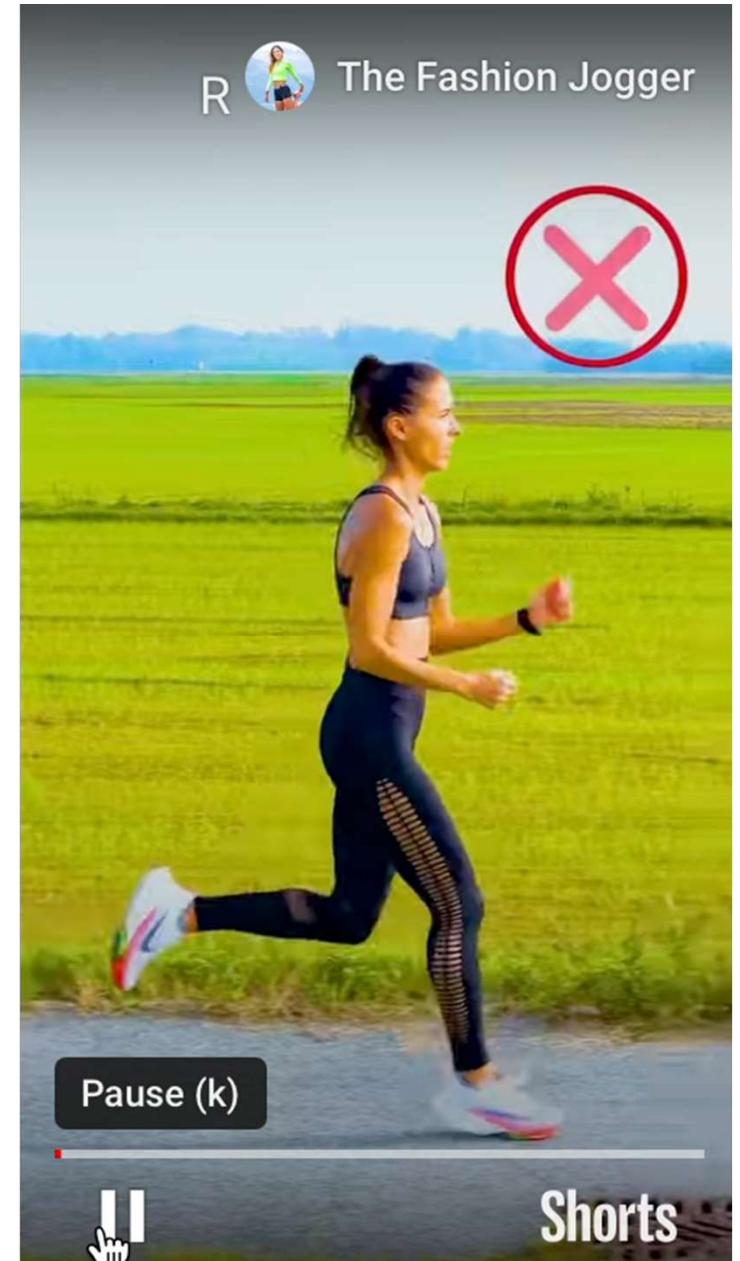
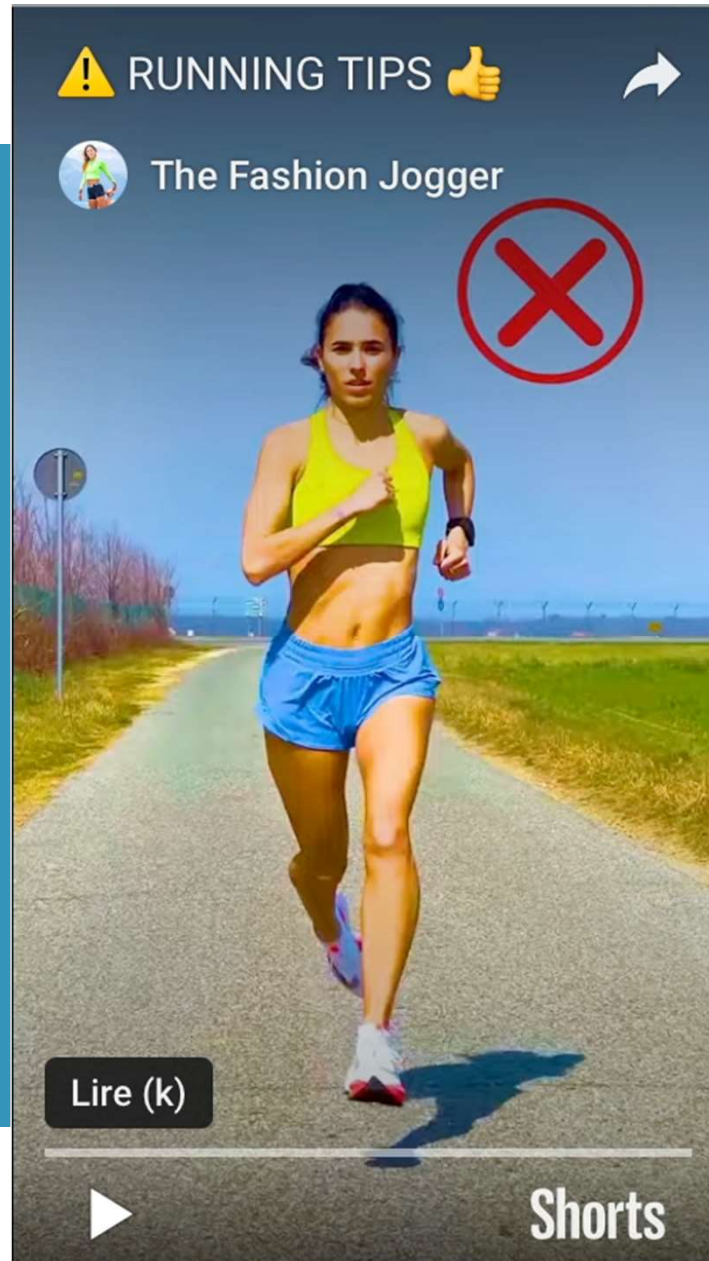
Hautrive Cédric  
Médecine du sport





Technique de course membres supérieurs (+ oscillation verticale)

Hautrive Cédric  
Médecine du sport



# Epreuve d'effort & Zones

## 2. Limitants de la performance : Dépend du type de sport !

### 2. Sprint long : PUISSANCE AEROBIE + ANAEROBIE

#### ✓ VO<sub>2</sub> max

- Débit cardiaque (FC x VED)
- Différence artério veineuse en O<sub>2</sub> (Hb – densité capillaire)
- Densité capillaire – densité mitochondrie
- Enzymes oxydatives et glycolytiques

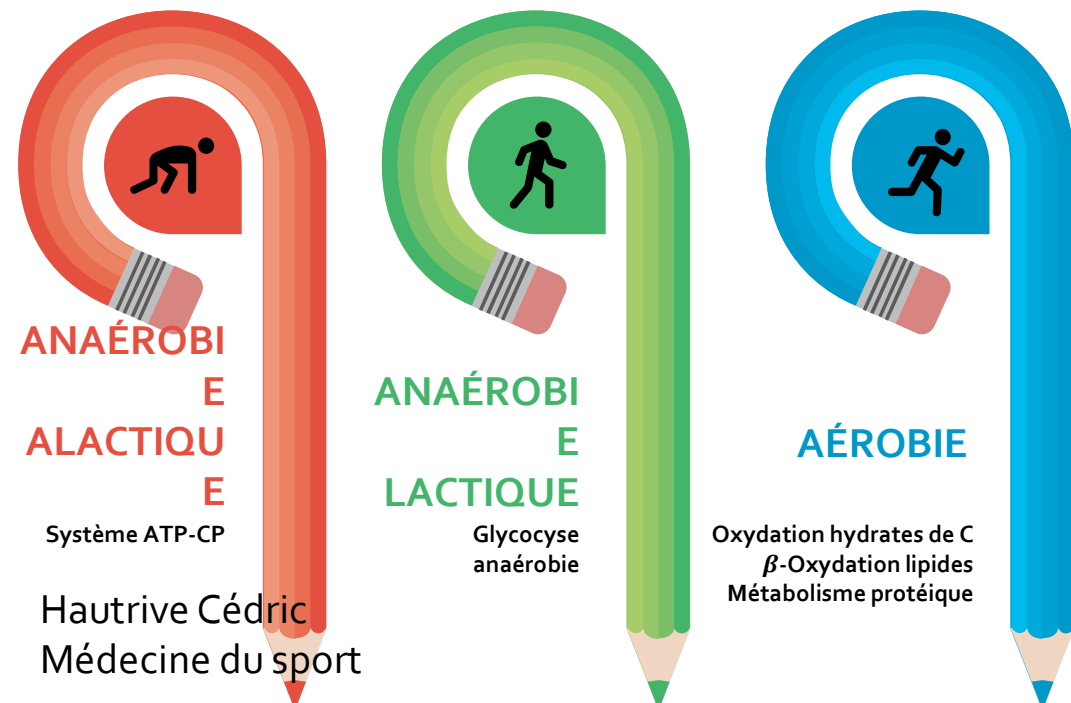
#### ✓ Déficit en oxygène = quantité d'énergie max octroyée par la filière glycolytique => lien entre force vitesse la plus optimale : PUISSANCE MUSCULAIRE

##### PCr + Système glycolytique + capacité tampon !

- ✓ Au niveau musculaire : bicarbonate = 18%, résidus Histidine (aa) = 30%, dégradation de la PCr (30%), autres (20%)
- ✓ Au niveau sanguin : Hémoglobine (40%), bicarbonate volatile (baisse du Ph et donc influence hyperventilation).

- ✓ Economie de course (ml O<sub>2</sub>/kg/km : \*Bassett & al 2000) < 200 excellent
- ✓ Facteurs neuromusculaire
- ✓ Facteurs nutritionnels

REF EFX de l'interprétation à la décision médicale, Bernard Aguilaniu, Benoît Wallaert



# Epreuve d'effort & Zones

## 3. Limitants de la performance : Dépend du type de sport !

### 3. Sprint court : PUISSANCE ANAEROBIE

- ✓ Déficit en oxygène = quantité d'énergie max octroyée par la filière glycolytique => lien entre force vitesse la plus optimale
  - PCr + Système glycolytique + capacité tampon !
  - Stock de PCr joue (prise de créatine majeure stock prouvé dans 70% des études)
- ✓ Economie de course (ml O<sub>2</sub>/kg/km : \*Bassett & al 2000) < 200 excellent
- ✓ Facteurs neuromusculaire
- ✓ Facteurs nutritionnels



Hautrive Cédric  
Médecine du sport

# Epreuve d'effort & Zones

## Limitants de la performance

### Dépend du type de sport !

4. Sport intermittent : **P AEROBIE + ANAEROBIE + Récupération (RSA)**
- ✓ **Récupération** : capacité d'un sujet à répéter une action à haute intensité entrecoupée de période de récup de durée variable tout au long d'un match.
    - Capacité de resynthèse de la PCr
    - Capacité tampon : tolérance à l'acidification (bicarbonates & boissons ?)
    - Résistance à la fatigue



REPEATED  
SPRINT  
ABILITY

- ✓ **VO<sub>2</sub> max** : permet mieux resynthétiser ATP
- ✓ **% de VO<sub>2</sub> max au seuil anaérobie**
- ✓ **Déficit en oxygène**
- ✓ **Economie de course** (ml O<sub>2</sub>/kg/km) < 200 excellent
- ✓ Facteurs neuromusculaire
- ✓ Facteurs nutritionnels

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

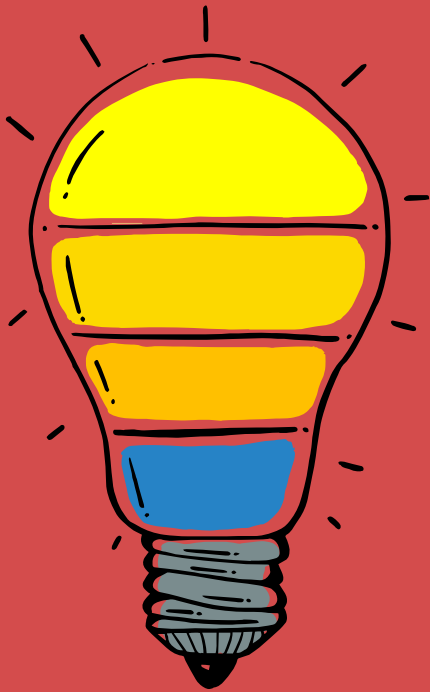


Hautrive Cédric  
Médecine du sport

## 2/ Corps de séance

1. Définitions
2. Limitants de la performance en course à pied
3. Mesures et implications ?
4. Que dit la science ?

# 1. Définition



## Le coût énergétique :

Consommation d'énergie (aérobie et anaérobie) lors de la production d'un travail.  
En course à pied, indirecte via l'O<sub>2</sub>.

$$CE [mlO_2 \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1}] = \frac{VO_2 [mlO_2 \cdot min^{-1}]}{masse [kg] \cdot vitesse [km \cdot min^{-1}]}$$

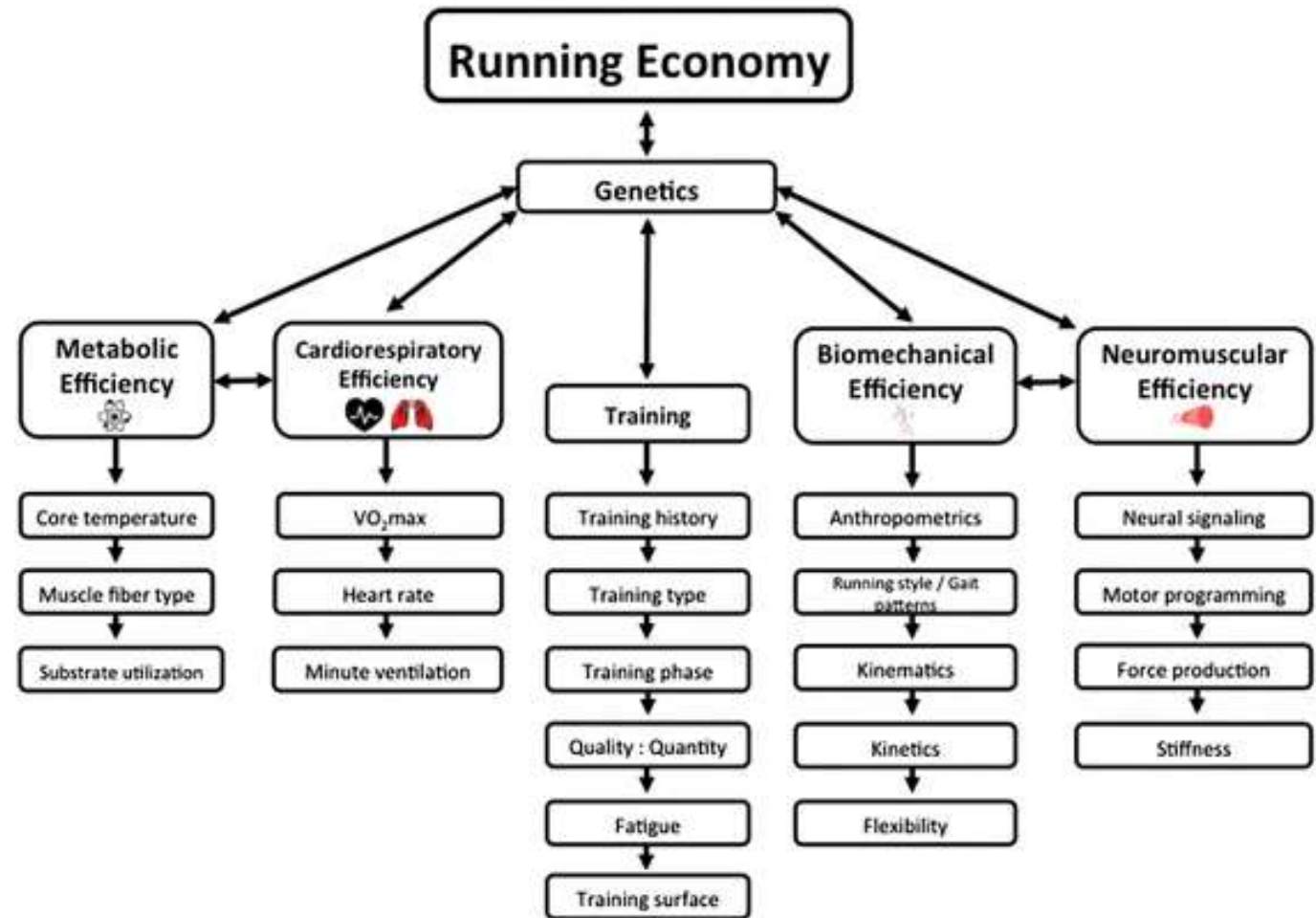
## L'économie de course :

Capacité d'un coureur à avancer de façon efficace d'un point de vue énergétique, calculée sur un régime stationnaire (steady-state) aérobie pour une vitesse de course donnée.

« This value reflects gross or total economy; a measurement that represents the metabolic, cardiorespiratory, biomechanical and neuromuscular components of running without consideration for what portion of that  $VO_2$  is a function of good or bad mechanics as opposed to being related to differences in metabolism or force production which may exist in different athletes or under different conditions »

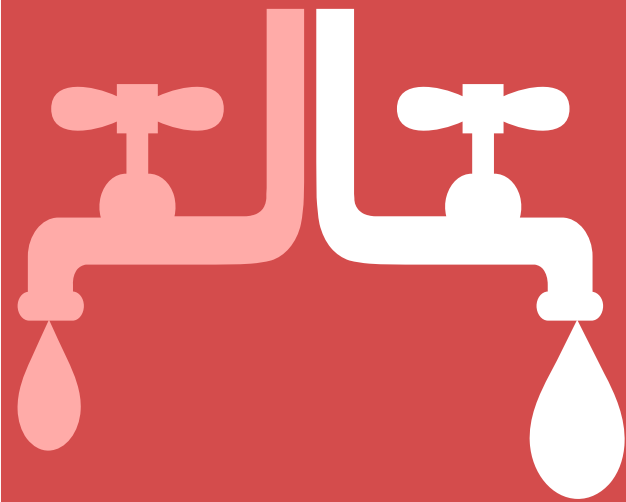
=> SIMPLE ?? NON !

MULTIFACTORIELLE !



## 2. Limitants de la performance

(! Dépend du type de sport!)



### Sport d'endurance : PUISSANCE AEROBIE

#### ✓ VO<sub>2</sub> max

- Débit Cardiaque (FC x VED)
- Différence artérioveineuse en O<sub>2</sub> (Hb – densité capillaire)
- Densité capillaire – densité mitochondrie
- Enzymes oxydatives et glycolytiques

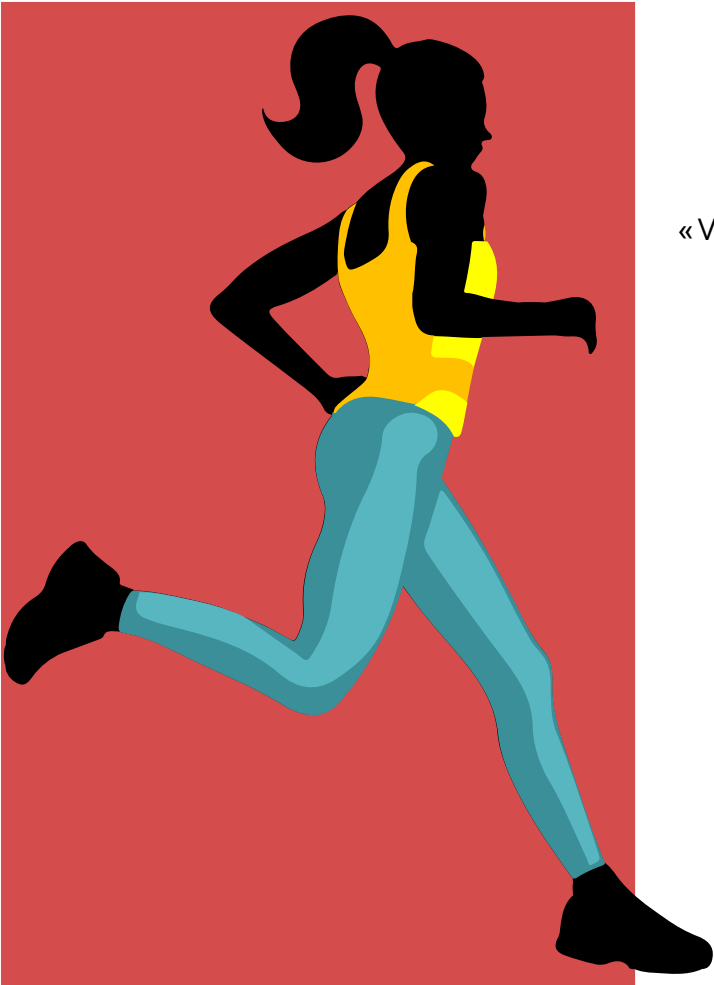
#### ✓ % de VO<sub>2</sub> max au seuil anaérobie

- Densité capillaire – densité mitochondrie
- Enzymes oxydatives et glycolytiques

#### ✓ Economie de course (ml O<sub>2</sub>/kg/km) < 200 excellent

- ✓ Facteurs neuromusculaires
- ✓ Facteurs nutritionnels





# Economie de course

## Variation interindividuelle de 30% ?

« Various factors which have been shown, or appear, to affect running economy include environment (temperature, altitude, running surface), fatigue, age, weight, state of fitness, and inherent differences »

[Review](#) > [Med Sci Sports Exerc. 1985 Jun;17\(3\):332-8.](#)

### A physiologist's view of running economy

[J T Daniels](#)

## 1<sup>er</sup> déterminant de la performance ?

« among well-trained subjects homogeneous in  $VO_2\max$ , a strong relationship exists between 10 km RT and  $vVO_2\max$  that appears to be mediated to a large extent by RE. »

[Med Sci Sports Exerc. 1989 Feb;21\(1\):78-83. doi: 10.1249/00005768-198902000-00014.](#)

### Ten kilometer performance and predicted velocity at $VO_2\max$ among well-trained male runners

[D W Morgan<sup>1</sup>, F D Baldini, P E Martin, W M Kohrt](#)

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

### 3. Mesures et implications ?



Turbine + récepteurs des gaz



Hautrive Cédric  
Médecine du sport



Processeur et analyseur interne

Ecran de données : analyse des données +  
ECG ou dossier performance

Ergomètre : tapis de course / cyclus 2 / vélo

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

## Résumé Résultats

12/04/21

Données anthropométriques :

Taille (cm)	168
Poids (kg)	67,3
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	21,1
Masse grasse (%)	7,2

Données maximales :

FC max (puls/min)	184
VMA Absolue (km/h)	22,5
VMA Relative (km/h/kg)	1,07
Conversion (temps/km)	02:40
VO2 max Absolue (ml/min)	4510
VO2 max Relative (/kg) (ml/min/kg)	67,01
Lactate max (mmol/l)	11,1

Données sous-maximales (1er seuil) :

FC (bpm)	176
Vitesse (km/h)	20
%Int VMA	88,89
Lactate (mmol/l)	3,2
VO2 au 1er seuil (ml/min)	4067
Economie de course (ml/kg/km)	181,29

Données sous-maximales (OBLA) :

FC (bpm)	182
Vitesse (km/h)	22
%Int VMA	97,78
Lactate (mmol/l)	8,1
VO2 au OBLA (ml/min)	4256
Economie de course (ml/kg/km)	172,47

## Résumé Résultats

12/04/21

Données anthropométriques :

Taille (cm)	169
Poids (kg)	57,5
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	20,13
Masse grasse (%)	8,1

Données maximales :

FC max (puls/min)	182
VMA Absolue (km/h)	21
VMA Relative (km/h/kg)	1,04
Conversion (temps/km)	02:51
VO2 max Absolue (ml/min)	4491
VO2 max Relative (/kg) (ml/min/kg)	78,1
Lactate max (mmol/l)	13,5

Données sous-maximales (1er seuil) :

FC (bpm)	173
Vitesse (km/h)	19
%Int VMA	90,48
Lactate (mmol/l)	-
VO2 au 1er seuil (ml/min)	3808
Economie de course (ml/kg/km)	209,14

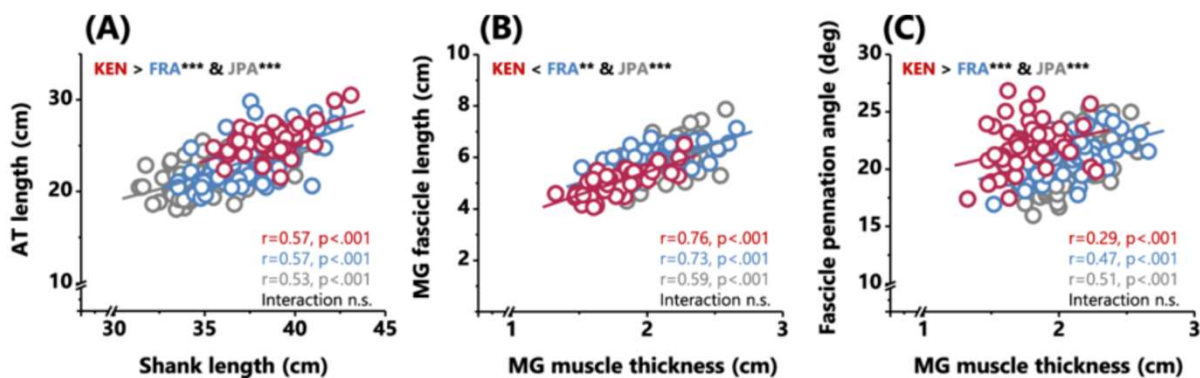
Données sous-maximales (OBLA) :

FC (bpm)	182
Vitesse (km/h)	21
%Int VMA	100
Lactate (mmol/l)	-
VO2 au OBLA (ml/min)	4482
Economie de course (ml/kg/km)	222,71

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

## 4. Que dit la science ?

- ◆ Un long tendon d'Achille chez les athlètes entraînés permet une meilleure économie de course (mais pas la section)



Hautrive Cédric  
Médecine du sport

ORIGINAL ARTICLE

### Specific muscle–tendon architecture in elite Kenyan distance runners

Y. Kunimasa<sup>1</sup>, K. Sano, T. Oda, C. Nicol, P. V. Komi, E. Locatelli, A. Ito, M. Ishikawa

> Scand J Med Sci Sports. 2018 Feb;28(2):446–451. doi: 10.1111/sms.12940. Epub 2017 Jul 19.

### Relationship between Achilles tendon length and running performance in well-trained male endurance runners

Hiromasa Ueno<sup>1</sup>, Tadashi Suga<sup>1</sup>, Kenji Takao<sup>1</sup>, Takahiro Tanaka<sup>1</sup>, Jun Misaki<sup>1</sup>, Yuto Miyake<sup>1</sup>, Akinori Nagano<sup>1</sup>, Tadao Isaka<sup>1</sup>

Kunimasa et al.  
Journal of Physiological Anthropology (2023) 42:9  
<https://doi.org/10.1186/s40101-023-00326-3>

Journal of  
Physiological Anthropology

SHORT REPORT

Open Access

### Is the muscle–tendon architecture of non-athletic Kenyans different from that of Japanese and French males?

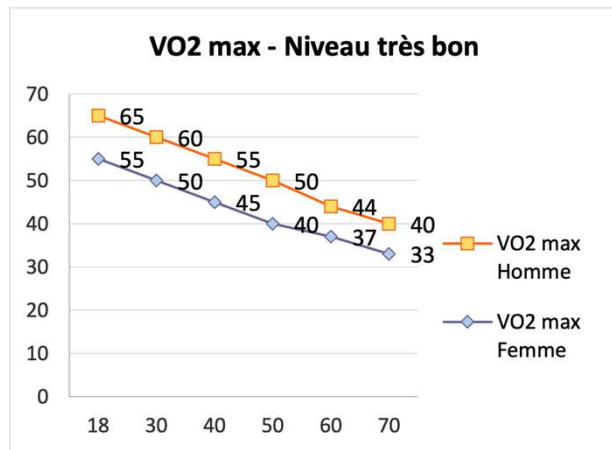
Yoko Kunimasa<sup>1,2,3,4\*</sup>, Kanae Sano<sup>1,5</sup>, Caroline Nicol<sup>2</sup>, Joëlle Barthélemy<sup>2</sup> and Masaki Ishikawa<sup>1</sup>



## 4. Que dit la science ?

◆ Pas de différence d'économie de course entre homme et femme

+ mobilité hanche/genou  
+ de fibres type 1  
+ utilisation acides gras  
+ HDC + lente  
meilleure stratégie rythme  
phase folliculaire



Courtney Dauwalter : 16 titres

Review > Sports Med. 2022 Jun;52(6):1235-1257. doi: 10.1007/s40279-022-01651-w.  
Epub 2022 Feb 5.

### Sex Differences in Endurance Running

Thibault Besson <sup>1</sup>, Robin Macchi <sup>2</sup>, Jeremy Rossi <sup>1</sup>, Cédric Y M Morio <sup>3</sup>, Yoko Kunimasa <sup>2</sup>,  
Caroline Nicol <sup>2</sup>, Fabrice Vercauysen <sup>4</sup>, Guillaume Y Millet <sup>5 6</sup>

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

## 4. Que dit la science ?

### ◆ Chaussures et économie de course :

- Importance confort chez le coureur récréatif
- Importance de certaines caractéristiques des chaussures, notamment le poids
- Différence entre les chaussures carbonées de 2%
- Importance de la rotation des chaussures ?



Meta-Analysis > Eur J Sport Sci. 2023 Jan;23(1):121-133.  
doi: 10.1080/17461391.2021.1998642. Epub 2021 Nov 21.

Increased footwear comfort is associated with improved running economy - a systematic review and meta-analysis

K Van Alsenoy<sup>1,2</sup>, M L van der Linden<sup>1</sup>, O Girard<sup>3</sup>, D Santos<sup>1</sup>

Review > Sports Med. 2015 Mar;45(3):411-22. doi: 10.1007/s40279-014-0283-6.

The effect of footwear on running performance and running economy in distance runners

Joel T Fuller<sup>1</sup>, Clint R Bellenger, Dominic Thewlis, Margarita D Tsiros, Jonathan D Buckley

A Comparison Of Running Economy Across Seven Carbon-Plated Racing Shoes [Garrett P. Jones](#), [Stephen F. Austin State University](#) Follow [Dustin P. Joubert](#), [Stephen F. Austin State University](#)

Hautrive Cédric  
Médecine du sport

## 4. Que dit la science ?

- ◆ Chaussures à plaques carbone diminueraient le coût métabolique 3,83% sur du plat, 2,82% en montée et 2,7% en descente

Original article  
Metabolic cost of level, uphill, and downhill running in highly cushioned shoes with carbon-fiber plates  
Clarissa S. Whiting<sup>1\*</sup>, Wouter Hoogkamer<sup>1</sup>, Rodger Kram<sup>2</sup>

> J Sports Sci. 2019 Oct;37(20):2367-2373. doi: 10.1080/02640414.2019.1633837. Epub 2019 Jun 21.

**Running economy, mechanics, and marathon racing shoes**

Iain Hunter<sup>1</sup>, Aubree McLeod<sup>1</sup>, Dru Valentine<sup>1</sup>, Tyler Low<sup>1</sup>, Jared Ward<sup>1</sup>, Ron Hager<sup>1</sup>

⚠ Selon d'autres études, les variabilités sont importantes avec un gain médian de 1% seulement voire pas du tout...

> Sci Rep. 2020 Oct 13;10(1):17154. doi: 10.1038/s41598-020-74097-7.

**Adding carbon fiber to shoe soles may not improve running economy: a muscle-level explanation**

Owen N Beck<sup>1 2</sup>, Pawel R Golyski<sup>3 4</sup>, Gregory S Sawicki<sup>3 5 4</sup>

Affiliations + expand  
PMID: 33051532 PMCID: PMC7555508 DOI: 10.1038/s41598-020-74097-7

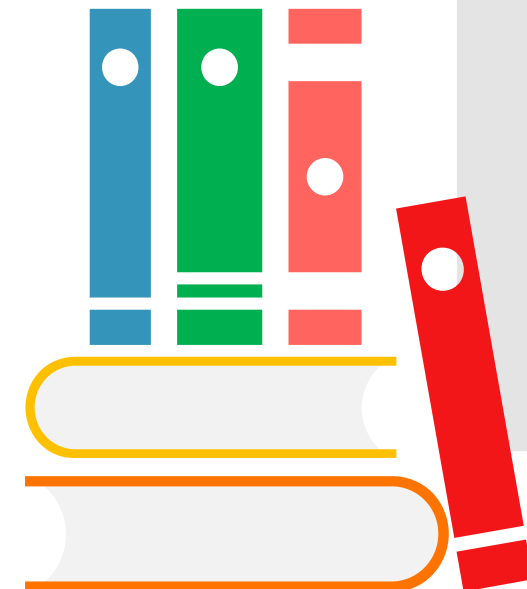
> J Sports Sci. 2022 Dec;40(23):2661-2668. doi: 10.1080/02640414.2023.2183103. Epub 2023 Feb 22.

**Impact of advanced footwear technology on elite men's in the evolution of road race performance**

Victor Rodrigo-Carranza<sup>1</sup>, Fernando González-Mohino<sup>1 2</sup>, Jordan Santos-Concejero<sup>3</sup>, José María González-Ravé<sup>1</sup>



Hautrive Cédric  
Médecine du sport



## Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners: A Systematic Review With Meta-Analysis of Controlled Trials

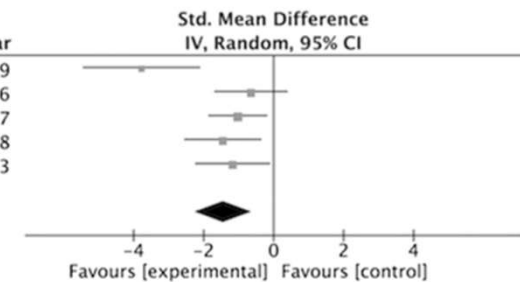
Carlos Balsalobre-Fernández<sup>1</sup>, Jordan Santos-Concejero, Gerasimos V Grivas

### 4. Que dit la science ?

- ◆ Le renforcement musculaire associé à de la pliométrie a un effet bénéfique sur l'économie de course

Study or Subgroup	Experimental			Control			Weight	Std. Mean Difference IV, Random, 95% CI	Year
	Mean	SD	Total	Mean	SD	Total			
Paavolainen et al.	-4.1	1.13	10	0.8	1.36	8	13.5%	-3.78 [-5.45, -2.10]	1999
Saunders et al.	-3.1	5.03	7	0.4	5.13	8	21.1%	-0.65 [-1.70, 0.40]	2006
Mikkola et al.	-1.5	2.38	13	1.3	2.9	12	24.3%	-1.03 [-1.87, -0.18]	2007
Storen et al.	-1.22	0.84	8	0.43	1.25	9	20.3%	-1.45 [-2.56, -0.35]	2008
Sedano et al.	-1.7	0.99	12	-0.1	1.8	6	20.8%	-1.17 [-2.25, -0.10]	2013
<b>Total (95% CI)</b>			<b>50</b>			<b>43</b>	<b>100.0%</b>	<b>-1.43 [-2.23, -0.64]</b>	

Heterogeneity: Tau<sup>2</sup> = 0.49; Chi<sup>2</sup> = 10.39, df = 4 (P = 0.03); I<sup>2</sup> = 61%  
Test for overall effect: Z = 3.53 (P = 0.0004)



Avec retrait Paavolainen (car source d'hétérogénéité et contribution la plus faible), on passe à -1,88 de VO<sub>2</sub>max pour +0,51 groupe contrôle

DMS [IC à 95 %] = -1,06 [-1,56 à -0,56], Z = 4,16, p < 0,001

=> « Effet global important, bénéfique et significatif des interventions de musculation »



Dr Hautrive Cédric





## 4. Que dit la science finalement ?

**Facteurs biomécaniques** de course sont les éléments déterminants de l'économie de course

- => facteurs intrinsèques et extrinsèques modifiables
- => quels entraînements ?
- => technique recommandée ?

Surtout lors du **contact au sol** => ceux liés à la propulsion !

**⚠ Résultats incohérents et compréhension limitée**  
**=> donc prudence au niveau des recommandations spécifiques !**



Review > Sports Med. 2016 Jun;46(6):793-807. doi: 10.1007/s40279-016-0474-4.

### Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy

Isabel S Moore <sup>1</sup>

Affiliations + expand

PMID: 26816209 PMCID: PMC4887549 DOI: 10.1007/s40279-016-0474-4

**Table 1** Modifiable intrinsic and extrinsic running biomechanics and their effect on running economy

Evidenced effect on RE	Intrinsic				Extrinsic
	Spatiotemporal	Kinetics	Kinematics	Neuromuscular	
Beneficial	Self-selected stride length (minus 3 %)	Greater leg stiffness	Less leg extension at toe-off	Low muscle activation during propulsion	Firm, compliant shoe-surface interaction
	Low vertical oscillation	Alignment of GRF and leg axis during propulsion	Large stride angle	Low agonist-antagonist coactivation	Barefoot or lightweight shoes (<440 g)
Conflicting	Ground contact time	Low lower limb moment of inertia	Maintain arm swing	Biarticular coactivation	Orthotics
	Swing time	Impact force	Trunk lean		
Limited or unknown	Horizontal distance between the foot and CoM at initial contact	Anterior-posterior forces	Swing phase	Vastus medialis preactivation	
	Braking/deceleration time	Impulses	Foot-strike pattern		
	Speed lost during ground contact		Breast kinematics		

CoM centre of mass, GRF ground reaction force, RE running economy

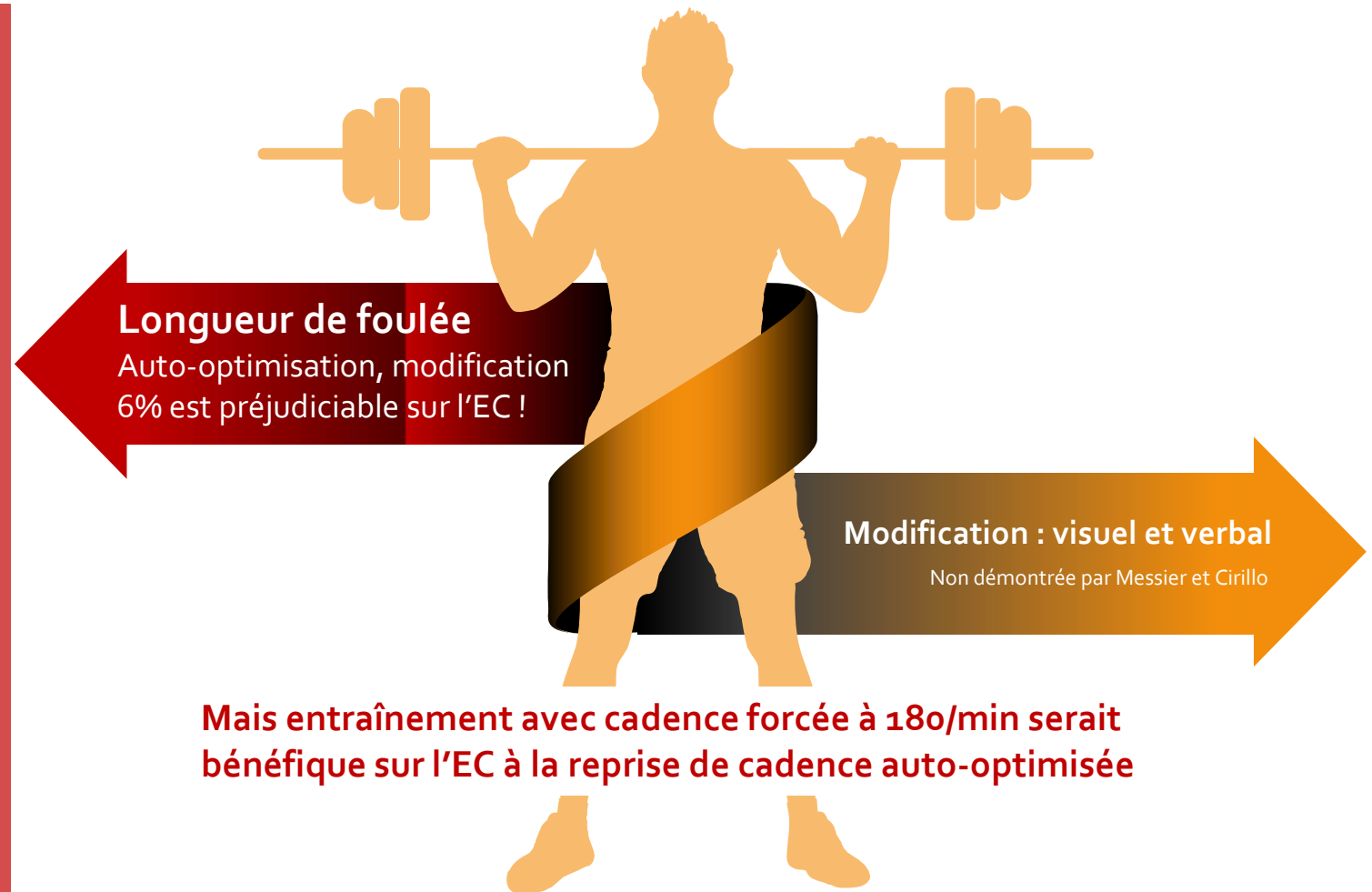
Hautrive Cédric  
Médecine du sport

## Facteurs biomécaniques : en résumé

Problèmes méthodologiques récurrents ainsi que différence inter-individuelles dues à des facteurs non-modifiables limitent les résultats des comparaisons.

Il faudrait une approche synergique de l'évaluation de la cinétique ainsi que sur des approches intégrées combinant V<sub>O2</sub>, la cinématique, la cinétique et les aspects neuromusculaires et anatomiques pour accroître notre compréhension de la technique de course économique

## 2 Longueurs 2 Mesures



Dr Hautrive Cédric

### Step Frequency Training Improves Running Economy in Well-Trained Female Runners

Quinn, Timothy J.<sup>1</sup>; Dempsey, Shauna L.<sup>1</sup>; LaRoche, Dain P.<sup>1</sup>; Mackenzie, Allison M.<sup>2</sup>; Cook, Summer B.<sup>1</sup>

Author Information ©

Journal of Strength and Conditioning Research 35(9):p 2511-2517, September 2021. | DOI: 10.1519/JSC.00000000000003206

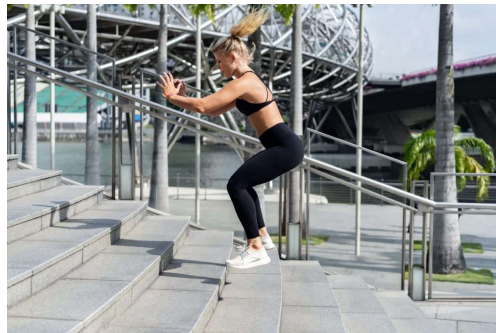


Hautrive Cédric  
Médecine du sport

### 3/ Retour au calme

1. Mise en pratique
2. Take Home messages

Mise en pratique :



# Outdoor

- W-up & éducatifs (travail des appuis, coordination, mobilité...)
- Côtes + descentes en souplesse
- Escaliers renfo fonctionnel et pliométrie
- Vitesse 80-150m sprint
- Cool Down



Mise en pratique :



# Indoor

- W-up
- Gainage - Proprioception
- Renforcement charge lourde suivi de pliométrie
- Cool down



@vladimirshmondenco

## Heavy Exercise (Plyometric Exercise)<sup>a</sup>

### Session 1

- 1 Back squat (box jump)
- 2a SL calf raise (SL forward hop)
- 2b Dumb bell military press
- 3a Glute/hamstring raise (CMJ)
- 3b Lateral pull down
- 4 Box step-up (alternate leg bound)

### Session 2

- 1 Dead lift (tuck jump)
- 2a SL calf raise (SL box jump)
- 2b Dumb bell incline bench press
- 3a Resisted monster walk (side shuffle)
- 3b Pull-up
- 4 Bulgarian split squat (scissor jump)

APPLIED SCIENCES

**Effects of Resistance Training on Running Economy and Cross-country Performance**

BARNES, KYLE R.<sup>1</sup>; HOPKINS, WILL G.<sup>1</sup>; MCGUIGAN, MICHAEL R.<sup>1</sup>; NORTIUS, MARK E.<sup>2</sup>; KILDING, ANDREW E.<sup>1</sup>

Author Information@

Medicine & Science in Sports & Exercise 45(12):p 2322-2331, December 2013. | DOI: 10.1249/MSS.0b013e31829af603

Dr Hautrive Cédric

# TAKE HOME MESSAGES

*L'Économie de course, la grande oubliée ? => Oui et non !*

## ◆ Connue depuis longtemps

Études datant des années 70-80 encore largement utilisées mais beaucoup d'inconnues récemment mises en avant

## ◆ Ensemble de facteurs biomécaniques

Intrinsèques et extrinsèques  
Pas que la foulée !

## ◆ Nombreux paramètres encore à l'étude (⚠ biais marketing)

Difficulté à suivre avec les évolutions technologiques



## ◆ Constamment travaillée en athlétisme, jamais mesurée !

L'économie de course est la base de la technique en athlétisme

## ◆ 2 longueurs 2 mesures

Ce qui est vrai en terme de prévention des pathologies n'est pas forcément vrai en terme de performance

## ◆ Entraînements variés indoor - outdoor

Attention à être bien coaché et à bien exécuter les exercices

Hautrive Cédric  
Médecine du sport