



# INSEP



## Les Stratégies d'Allure dans la Performance Sportive de Haut Niveau : Analyse des Variabilités et Exposé des Phénomènes Explicatifs



**Yann LE MEUR**  
C. HAUSSWIRTH (Directeur)  
T. BERNARD (Co-directeur)



*Soutenance de doctorat, le 16/12/2010 à l'INSEP ( Paris)*

Repousser le délai et l'intensité d'exercice pour lesquels la fatigue apparaît.



### ADAPTATIONS CHRONIQUES A L'ENTRAINEMENT

↗ Transport de l'O<sub>2</sub>

↗ Capacité tissulaire d'extraction de l'O<sub>2</sub>  
(Levine 2008)

Adaptations du système musculo-tendineux  
(Coffey et Hawley 2008, Kubo et al. 2010)

Adaptations biochimiques (Hawley 2002)

Adaptations de la réponse thermorégulatrice à l'exercice (McLellan 2001)

Adaptations nerveuses (Paavolainen et al. 2009, Chapman et al. 2007)

Adaptations psychologiques



Repousser le délai et l'intensité d'exercice pour lesquels la fatigue apparaît.

## STRATEGIES IMMEDIATES (EN COMPETITION)

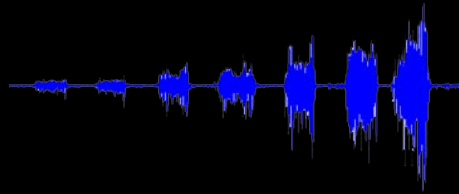
### Introduction



- Stratégies nutritionnelles et hydriques (*Burke et al. 2007*)
- Stratégie d'aspiration (*drafting*) (*Brisswalter et Hausswirth 2008*)
- Stratégies de thermorégulation (*Wendt et al. 2007*)
- Stratégies d'allure (*Abbiss et Laursen 2008*)



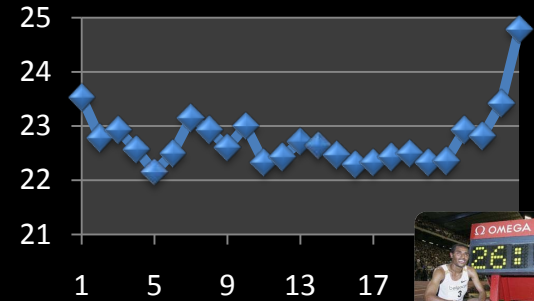
### Introduction



$\Delta$  Travail produit

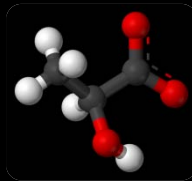


$\Delta$  Recrutement musculaire



$\Delta$  Température centrale

*Gonzalez-Alonso 2008*



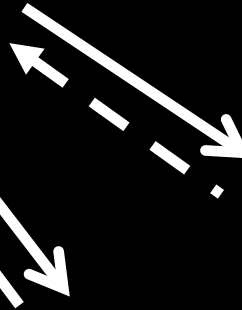
$\Delta[\text{La}^-], \text{Pi},$   
 $[\text{OH}^\bullet],$   
 $[\text{NH}_4^+], \dots$

*Allen et al. 2008*



$\Delta$  RPE

*Noakes et al. 2004*



$\Delta$  Perméabilité membranaire

*Komi 2000*

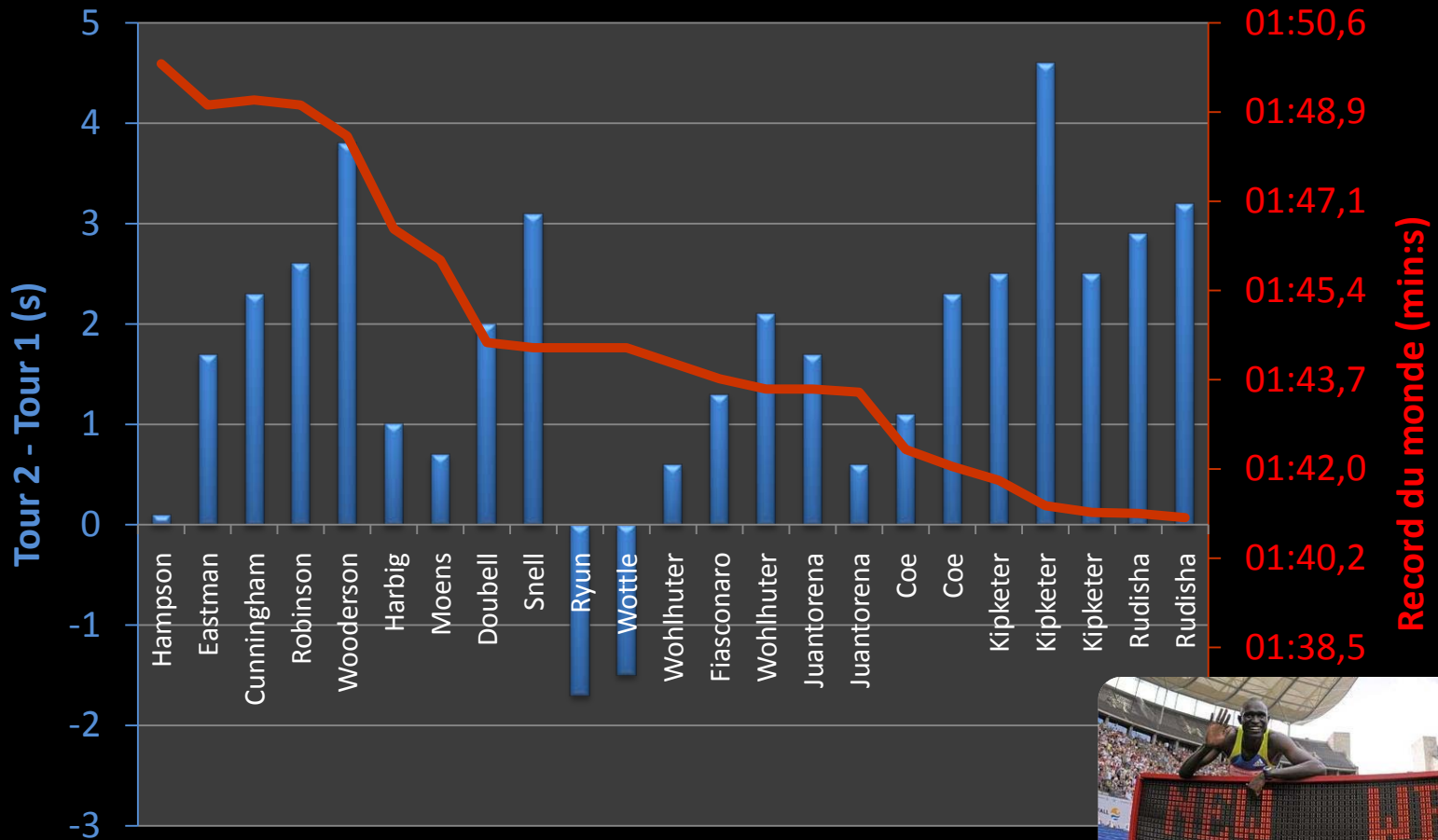
$\Delta$  Réserves énergétiques endogènes

*Costill 1980*





### Introduction







Stratégie constante



Stratégie décroissante avec un départ sous – maximal



Stratégie *all-out* (départ max)



Stratégie croissante



Stratégie variable





### Introduction

Paramètres  
physiologiques initiaux  
(glycogène musculaire, T°,  
etc.)

Distance ou  
temps à  
parcourir  
prévu

Expérience passée  
(background)

Motivation /  
Adversaires



Calibration d'une  
augmentation  
optimale de la  
difficulté d'effort  
perçue

DIFFICULTE D'EFFORT  
PERCUE



Feedback  
afférents

Intensité  
initiale  
d'exercice

Changements  
physiologiques

Nouvelle intensité  
d'exercice



Arrivée





# INSEP

## OBJECTIFS DE LA THESE





## Objectifs

**Paramètres physiologiques initiaux**  
(glycogène musculaire, T°, etc.)

**Distance ou temps à parcourir prévu**

**Expérience passée (background)**

**Motivation / Adversaires**



Calibration d'une augmentation optimale de la difficulté d'effort perçue

**DIFFICULTE D'EFFORT PERÇUE**



Feedback afférents

Intensité initiale d'exercice

Changements physiologiques

Nouvelle intensité d'exercice



Arrivée

**Tester le modèle « Anticipation – RPE – Feedbacks » dans le cadre de la compétition à haut-niveau**

Caractéristiques de  
l'activité

Facteurs  
environnementaux

### LE TRIATHLON DISTANCE OLYMPIQUE



Facteurs  
psychologiques

Facteurs  
physiologiques



## Trois modes de locomotion

Spécificités de la réponse physiologique associée à la pratique du triathlon

### *Drafting*

Réponse métabolique (*Hauswirth et al. 1999, 2001*).

## Enchaînement de trois modes de locomotion

Perturbations hémodynamiques et sensorielles (*Kreider et al. 1988; Lepers et al. 1997*).

Dégradation du coût énergétique du pédalage et de la course à pied (*Guézennec et al. 1996; Delextrat et al. 2003*).

Altérations transitoires des paramètres cinématiques et biomécaniques de la foulée (*Guézennec et al. 1996; Hauswirth et al. 1997; Millet et al. 2001*).



**Influence des adversaires**  
(Vleck et al. 2006, 2008;  
Peveler et Green 2010)



**Influence du parcours**  
(Ebert et al. 2005, 2006;  
Vogt et al. 2006)

**Influence des conditions  
météorologiques** (*Swain et  
al. 1997, Tucker et al. 2006*)



## 1<sup>ère</sup> PARTIE (/3)

# CARACTERISATION DES STRATEGIES D'ALLURE EN TRIATHLON A HAUT NIVEAU

Etudes n°1 et n°2



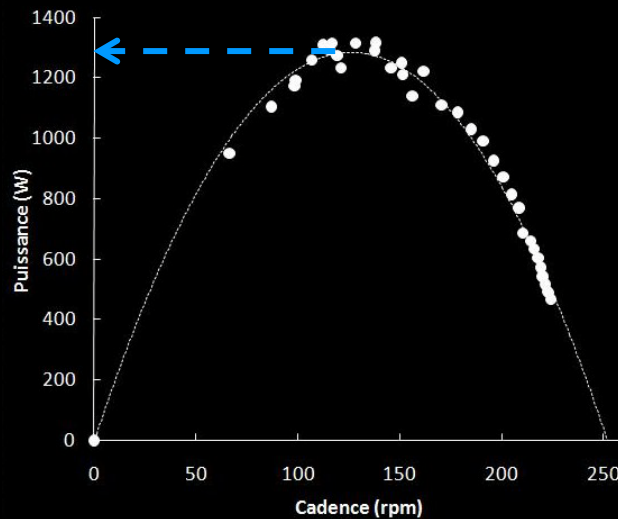




10 / 12 triathlètes ITU

**Test cycliste maximal incrémenté :**  
**WU 6 min à 100 W, puis 30 W.min<sup>-1</sup>:**

- Ergocycles SRM ou Lode
- Analyse des échanges gazeux respiratoires (Cosmed K<sub>4</sub>b<sup>2</sup>): PSV1, PSV2, PMA

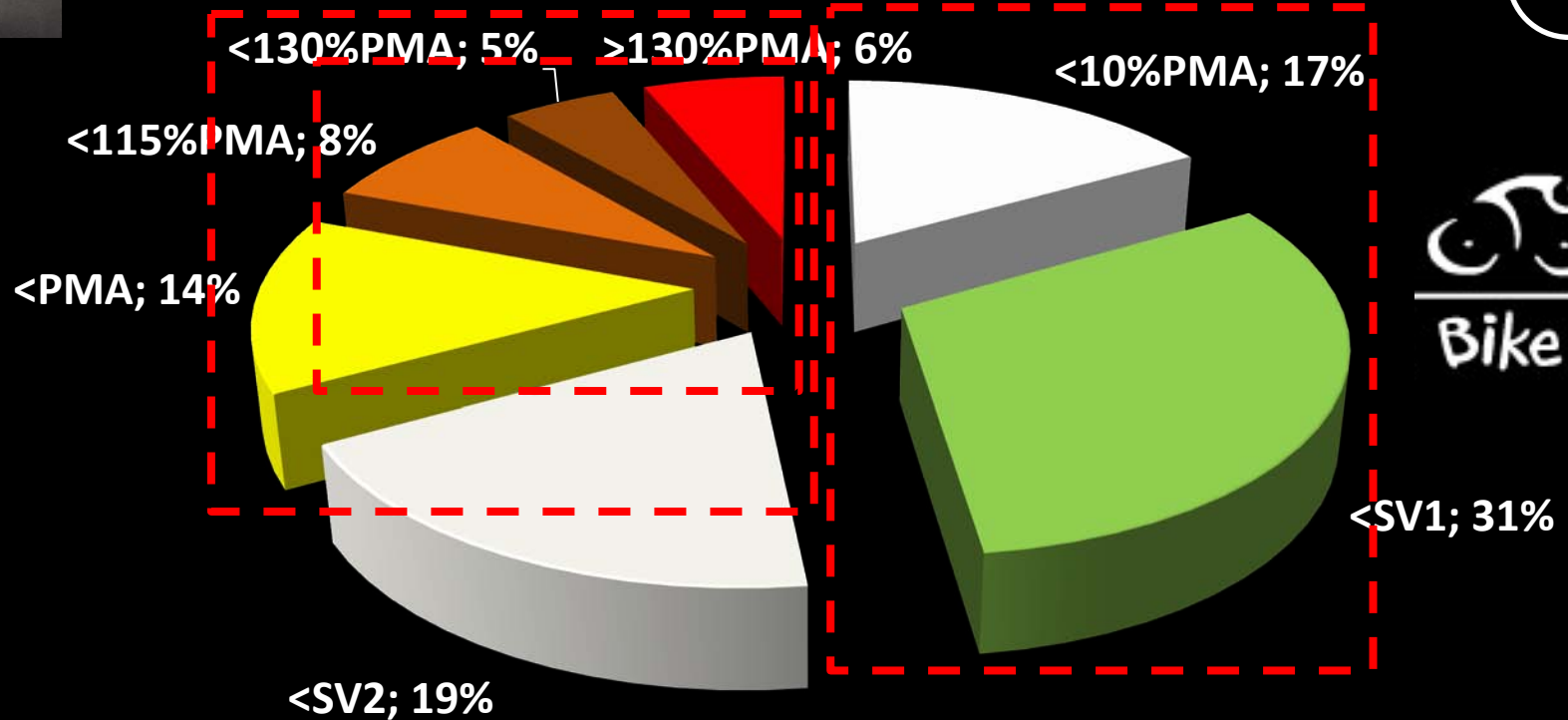


**Tests force-vitesse (2x assis, 2x danseuse): Pmax**



- Coupe du Monde ITU : Pékin 2006 et 2007 (parcours Olympique)
- 1500 m Natation – 40 km cyclisme (6 tours) – 10 km Càp (4 tours)
- Cardiofréquencemètre (Team System ou RS800sd, Polar®)
- Cyclisme : Système SRM® (vitesse, cadence, puissance)
- Natation: caméras synchronisées sur le parcours (étude n°2)
- Course à pied : accéléromètres (*Hausswirth, Le Meur et al. IJSM 2009*) + caméras synchronisées (étude n°2)





~ 20% du temps de course > PMA (40 efforts > 150%PMA)

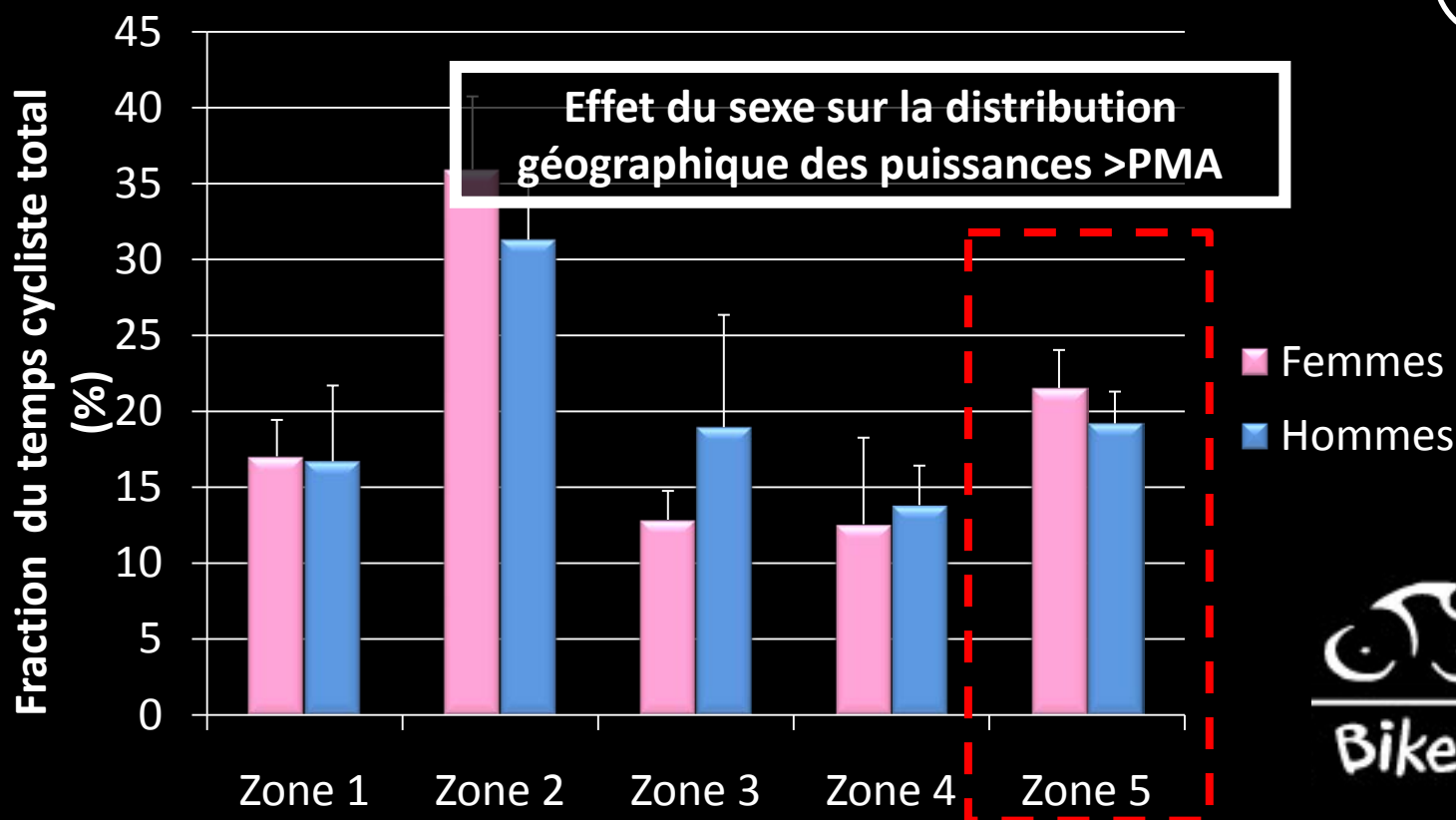
~50% de phase de récupération

~ 40% du temps de course > PSV2





### Résultats

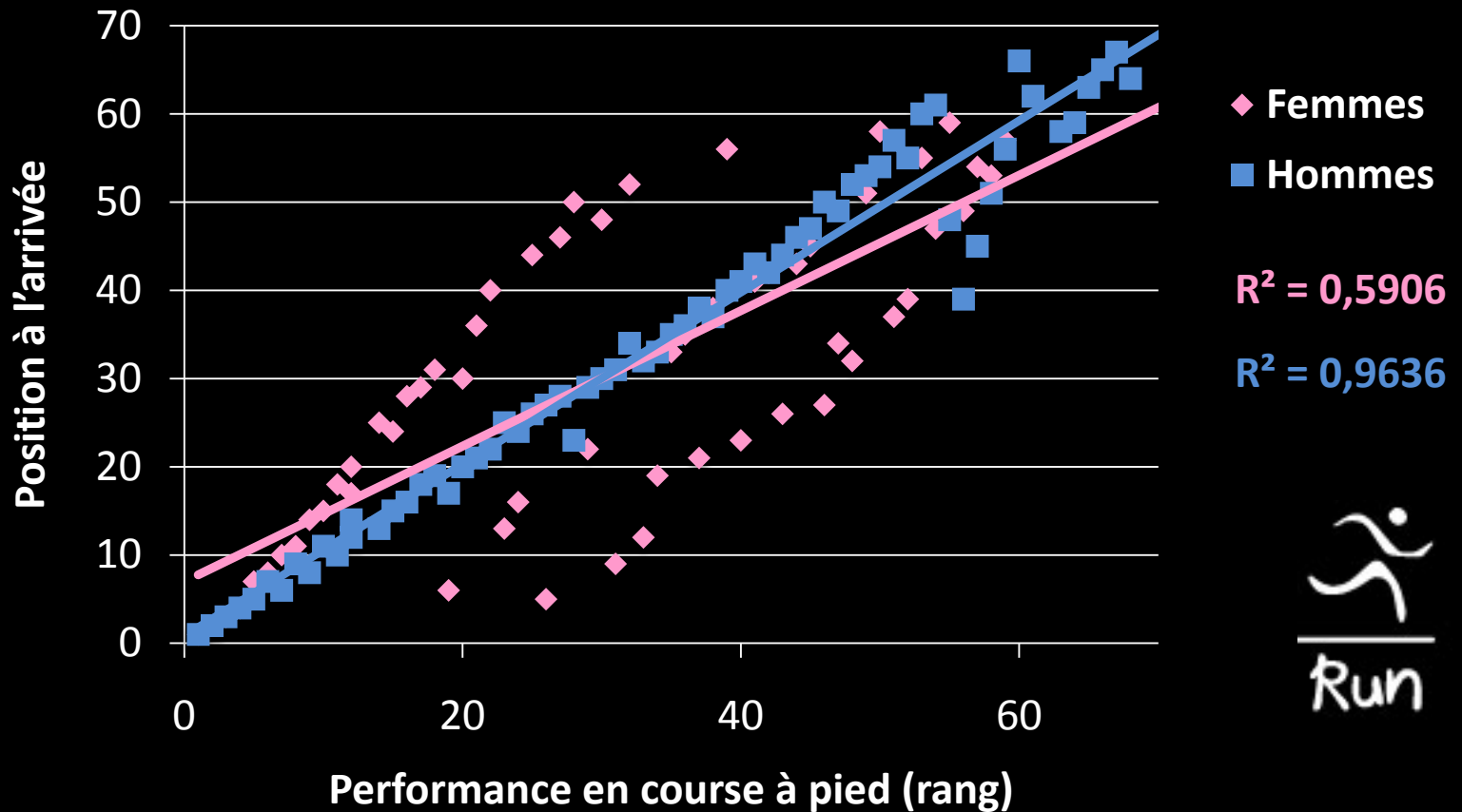


**Distribution du temps d'exercice passé dans les 5 zones d'intensité.** Zone 1 : <10%PMA; Zone 2 : [10%PMA-PSV1]; Zone 3 : [PSV1 – PSV2[ ; Zone 4 : [PSV2-PMA[; Zone 5 : >PMA. Aucune différence significative constatée ( $p>0,05$ ).





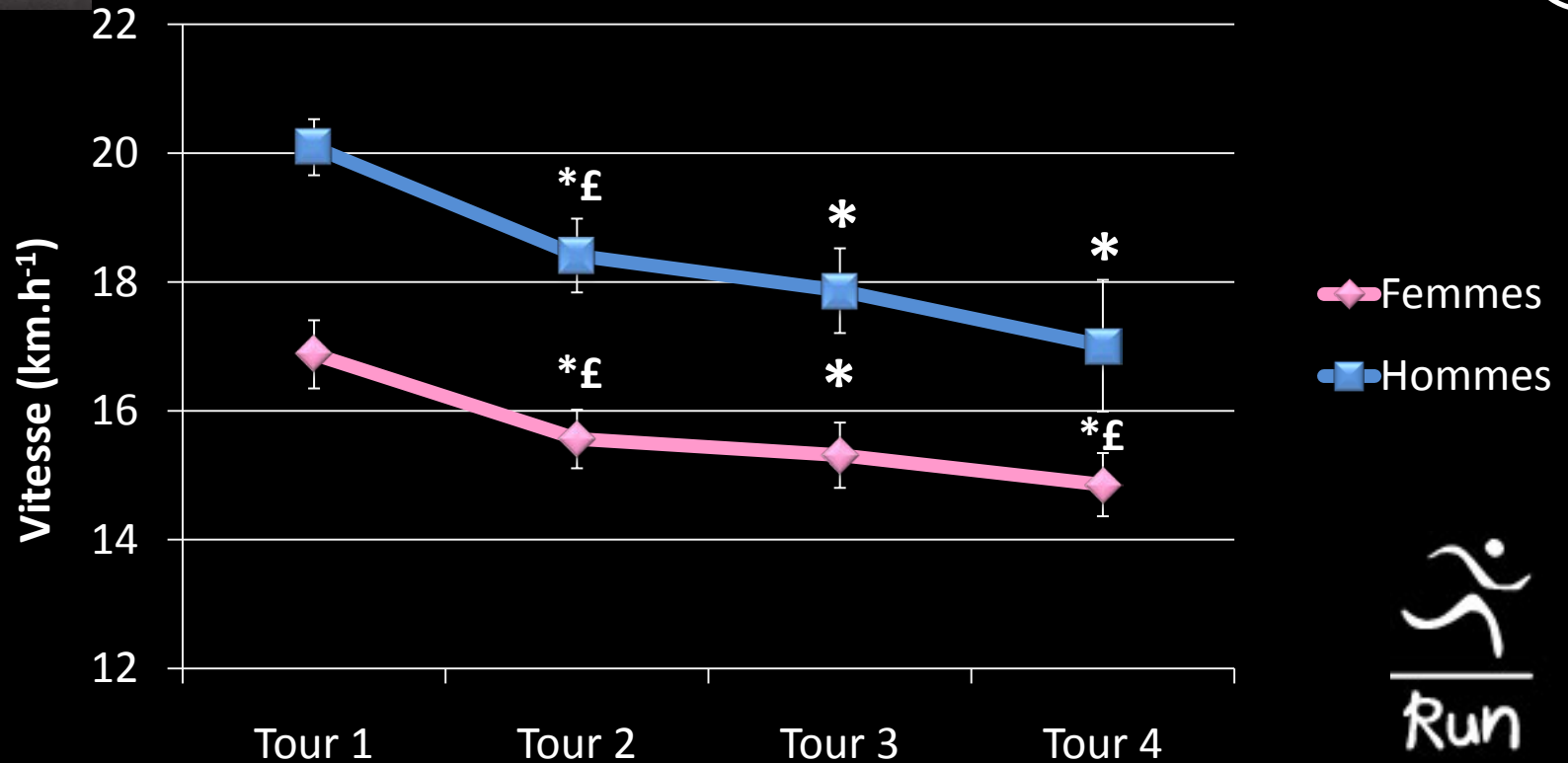
### Résultats



Evolution de la position à l'arrivée en fonction de la performance réalisée en course à pied chez les femmes et chez les hommes



### Résultats



**Evolution de la vitesse de course sur l'ensemble du parcours chez les femmes et les hommes au cours des 6 tours du parcours pédestre**

\* Significativement différent du tour 1,  $p < 0.05$

£ Significativement différent du tour précédent,  $p < 0.05$

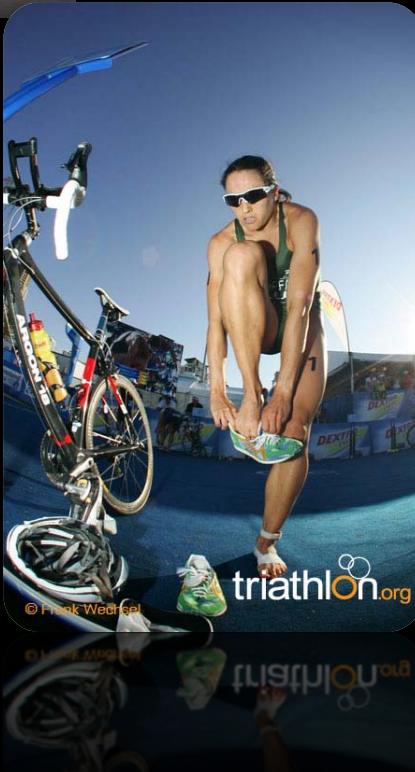




- **Stratégies d'allure décroissante dans les trois disciplines pour les deux sexes.**
- **Grande variabilité des puissances lors de la partie cycliste pour les deux sexes: 15 à 20% >PMA, 50% <SV1, multiples phases >130%PMA.**
- **Distribution des puissances développées similaires pour les deux sexes.**
- **Femmes: >PMA dans les sections présentant un dénivelé positif.**
- **Hommes: >PMA au niveau des changements de direction.**
- **Influence des variations de pente et la présence des adversaires sur la stratégie d'allure adoptée.**







## Transition cyclisme – course à pied

- Stratégie d'allure constante habituellement constatée pour cette durée d'épreuve (*Abbiss et al. 2008*)
- Phase transitoire où des altérations apparaissent:
  - Altération du coût énergétique (*Guézennec et al. 1996*)
  - Modifications transitoires des paramètres cinématiques (*Hausswirth et al. 1997*) et biomécaniques de la foulée (*Millet et al. 2001*)
  - Perturbations sensorielles (*Lepers et al. 1997*)
- Période de redistribution du flux sanguin (*Kreider et al. 1988*)

**Bénéfices d'un départ rapide en course à pied ?**

## 2<sup>ème</sup> PARTIE (/3)

# OPTIMISATION DES STRATEGIES D'ALLURE EN TRIATHLON A HAUT NIVEAU

Etudes n°3 et n°4





- 10 km référence (CàP-Ctrl)
- 3 triatlons distance Olympique



Protocole expérimental



Condition A	Condition B	Condition C
1500m natation*		
Enchaînement (3min)		
40km cyclisme*		
Enchaînement (45sec)		
$V_{km1} = 105\% V_{CàP-Ctrl}$	$V_{km1} = 95\% V_{CàP-Ctrl}$	$V_{km1} = 90\% V_{CàP-Ctrl}$
9km CàP libre (meilleure performance possible)		

\* Vitesses identiques dans les trois conditions





27



Arrêt au 35<sup>ème</sup> km pour  
l'installation du K4b<sup>2</sup>



[La<sup>-</sup>]



Temps de passage à  
chaque km



### Résultats



33min20s ± 1min12s

33min48s ± 1min18s

34min47s ± 1min28s\*#

36min18s ± 2min01s\*#

- ◆ CàP-Réf
- CàP-Tri+5%
- ▲ CàP-Tri-5%
- × CàP-Tri-10%

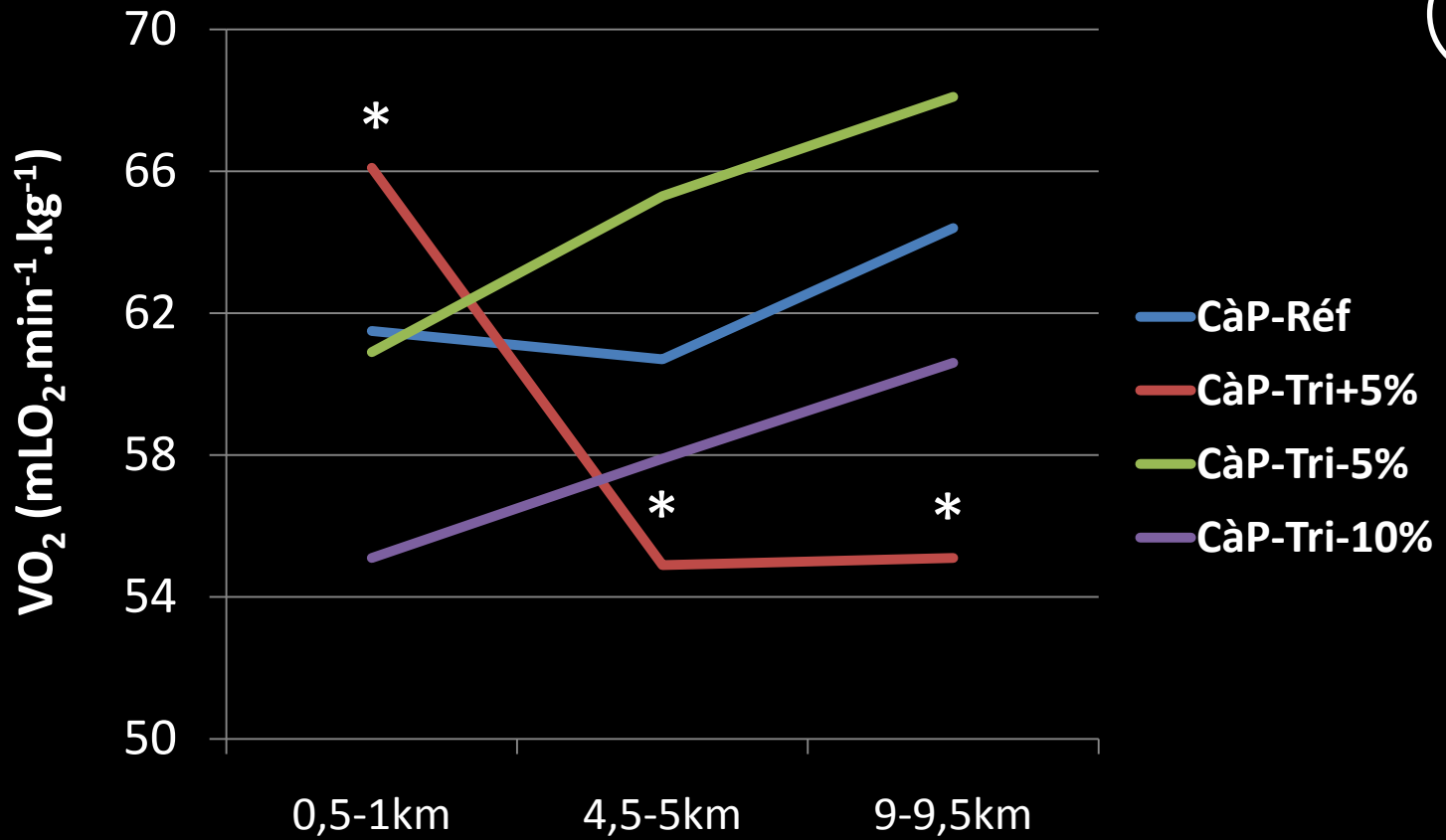
\* Significativement différent de CàP-Réf,  $p < 0.05$ .

# Significativement différent de CàP-Tri<sub>-5%</sub>,  $p < 0.05$





### Résultats



Evolution de la consommation d'oxygène lors de la course-référence et les trois triatlons distance Olympique.

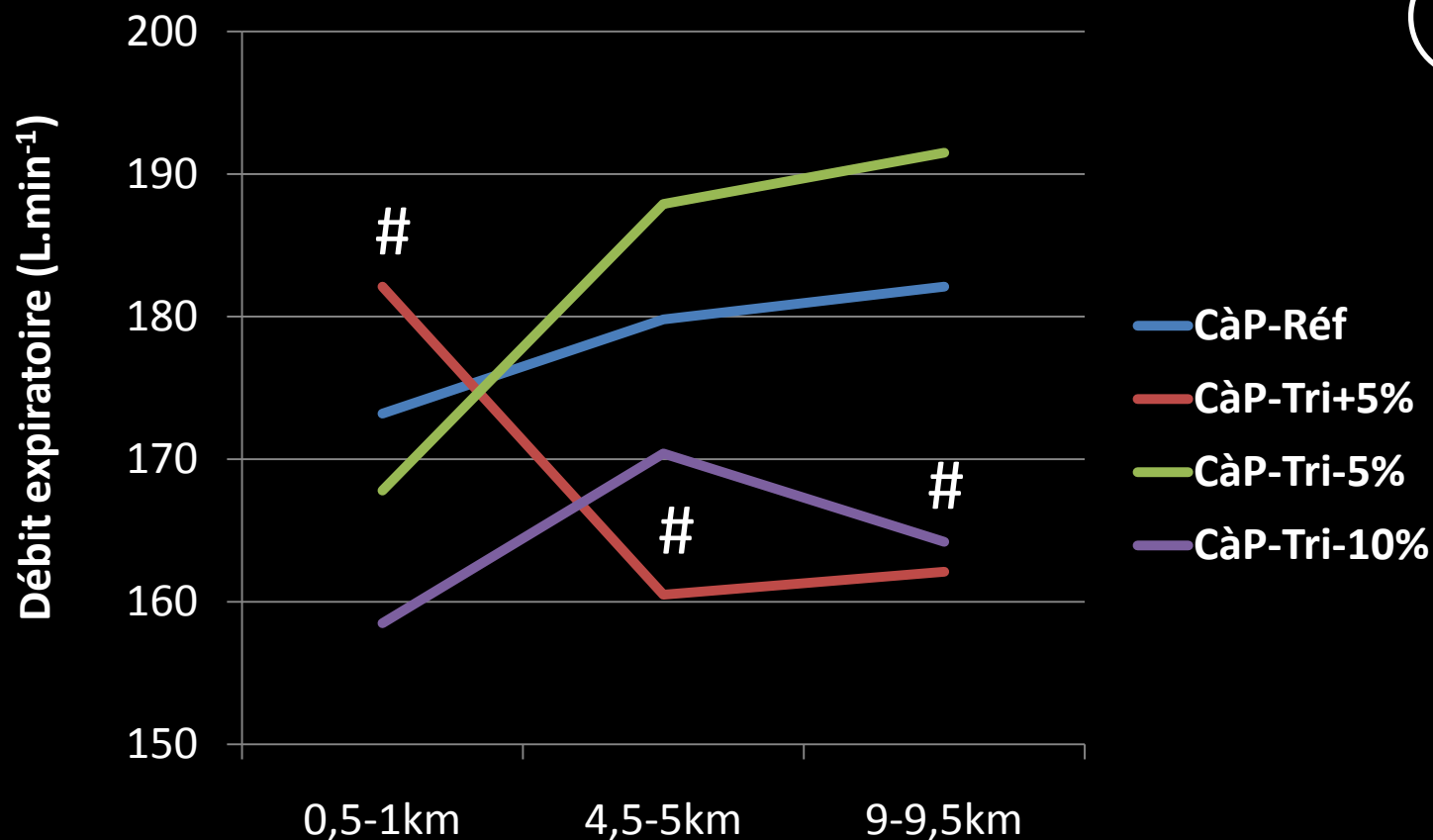
\*Significativement différent de CàP-Réf, CàP-Tri-5%, CàP-Tri-10%







### Résultats



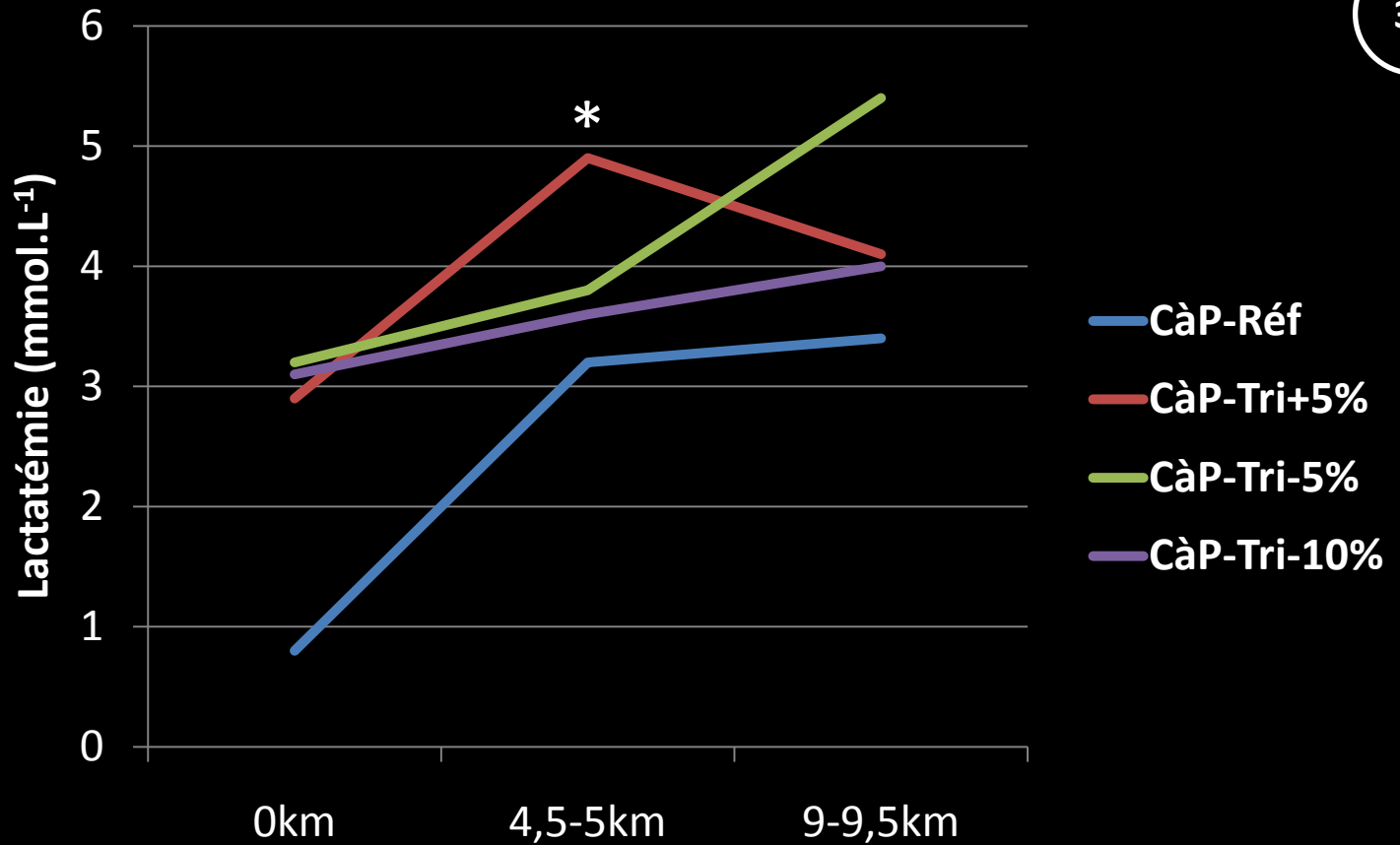
Evolution du débit expiratoire lors de la course-référence et les trois triatlons distance Olympique.

\*Significativement différent de CàP-Réf, CàP-Tri-5%





### Résultats



**Evolution de la consommation d'oxygène lors de la course-référence et les trois triatlons distance Olympique.**

\*Significativement différent de CàP-Réf, CàP-Tri-5%



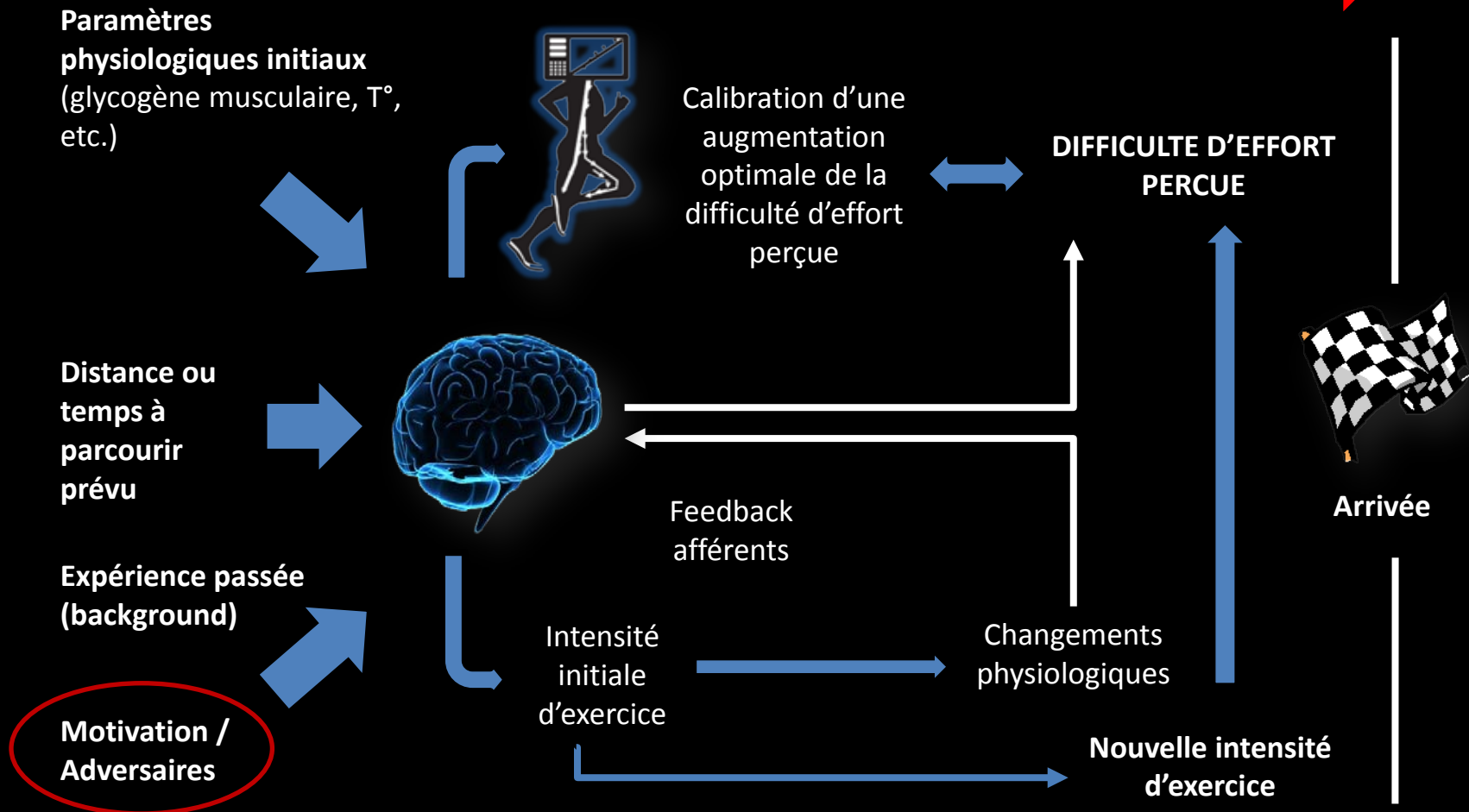


- Effet significatif de l'allure initiale sur la performance globale.
- Meilleure performance avec la stratégie CàP-Tri-5%.
- Mauvaise performance associée à un départ rapide:
  - haute sollicitation anaérobie initiale,
  - Faible valeur moyenne de  $\text{VO}_2$  sur l'ensemble du 10km.



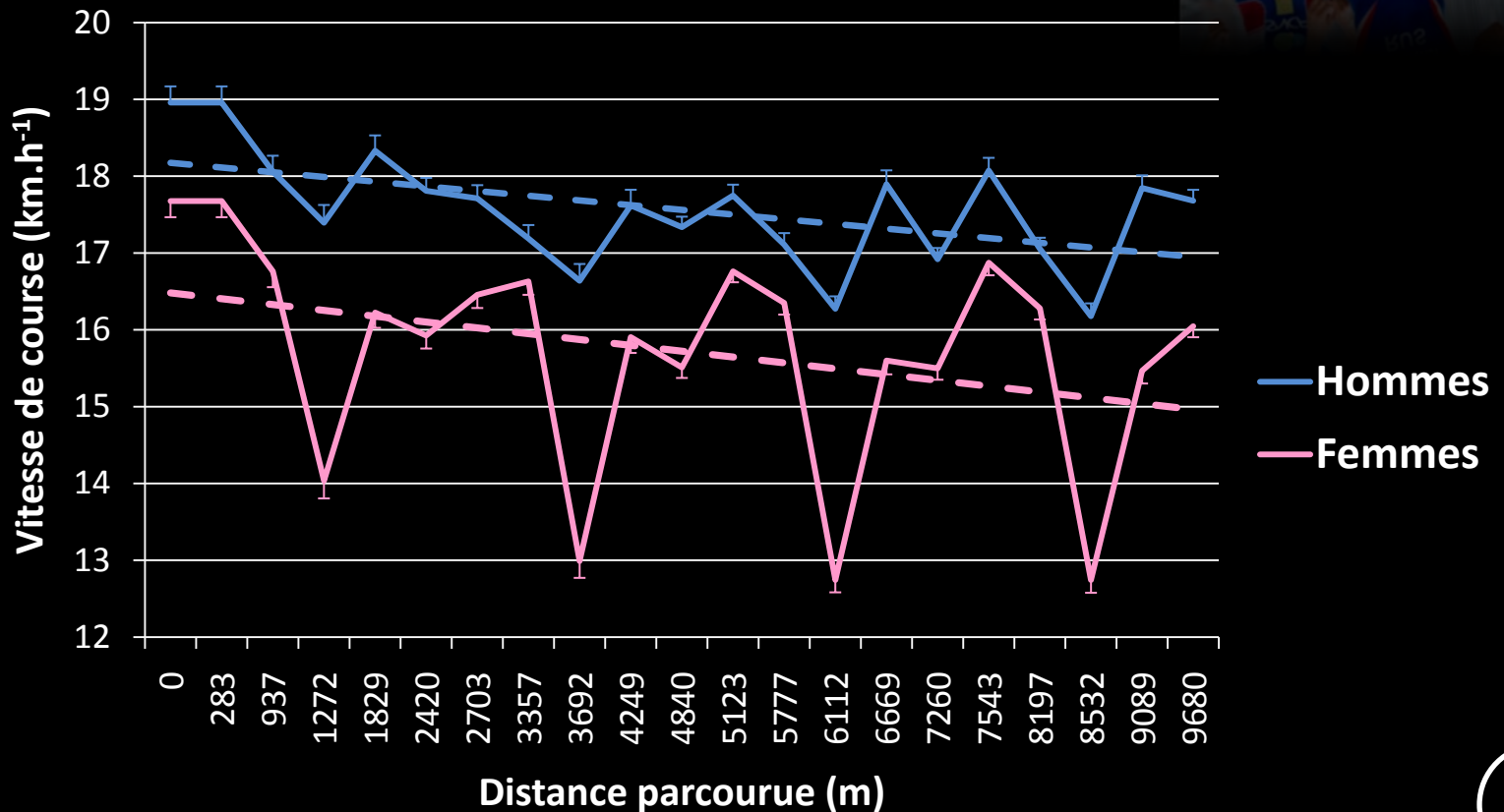
### COMPOSANTE ANTICIPATION

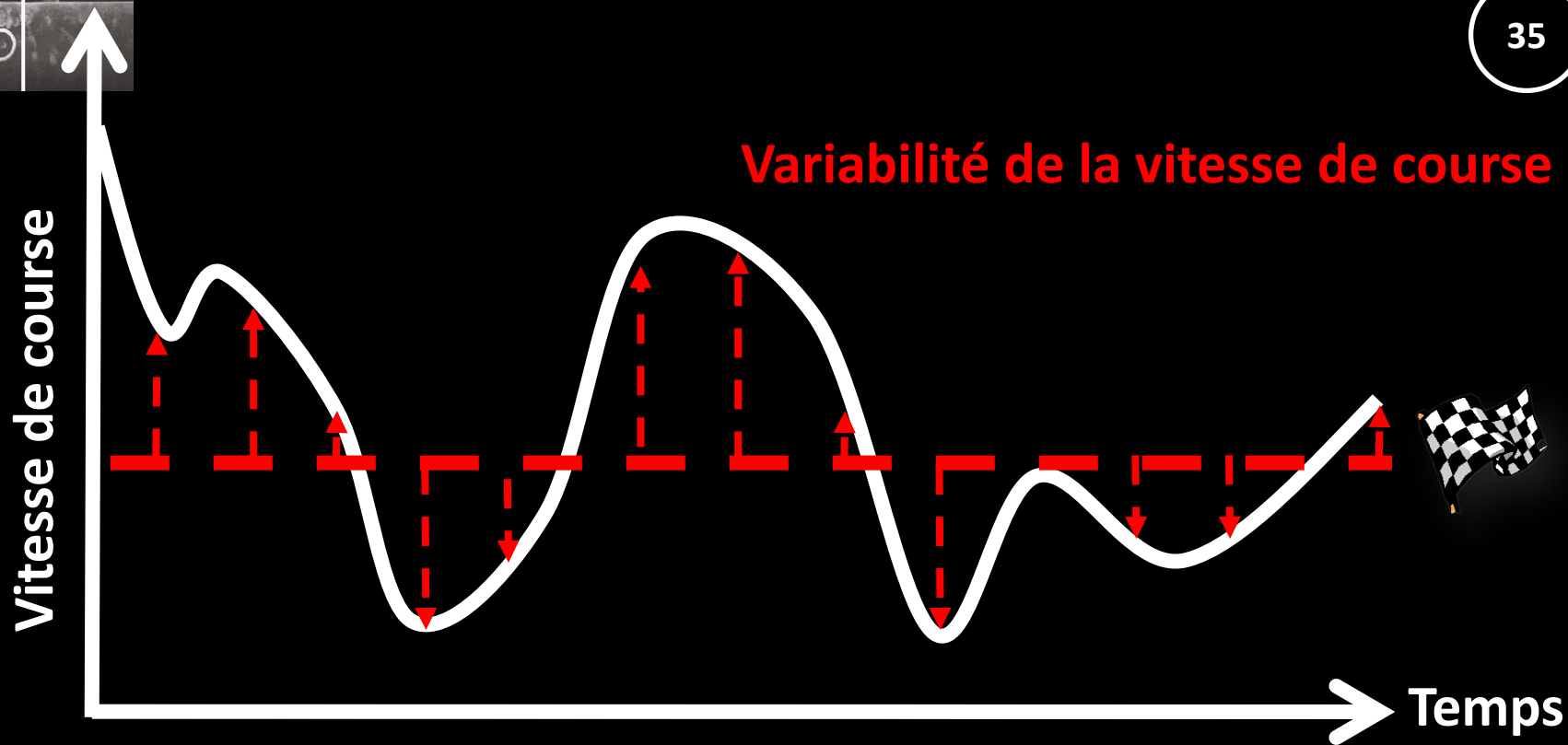
### COMPOSANTE FEEDBACK





- Championnats d'Europe de triathlon 2009.
- Mesures du parcours avec un GPS et une roue de géomètre.
- 5 caméras synchronisées: 0, 283, 937, 1272, 1829 et 2420m (0).
- Analyse vidéographique sur les 42 femmes et 65 hommes.





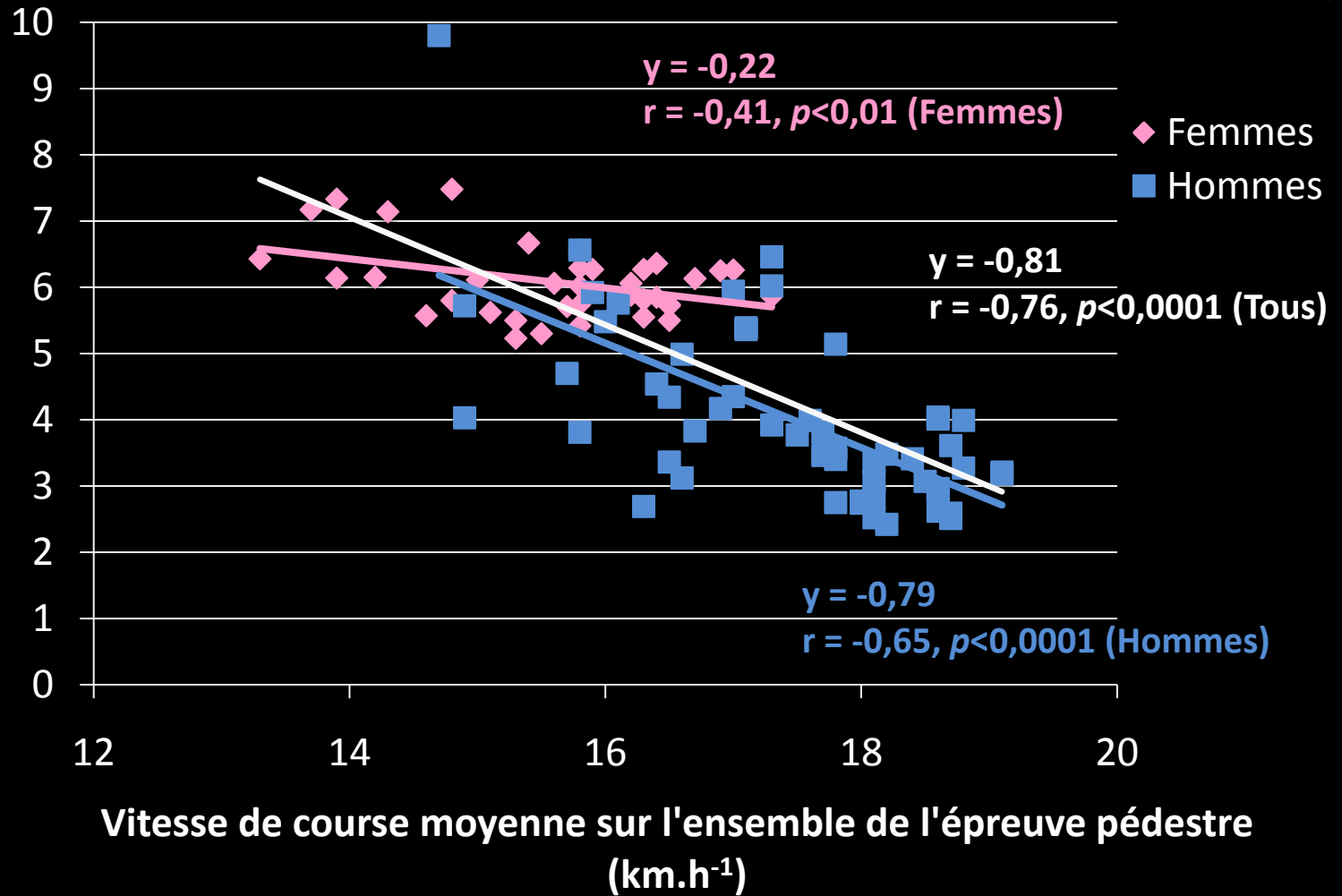
$$\text{Index de variabilité de VC} = \frac{\sum_{n=1}^{20} (VC_{\text{section}}(n) - VC_{\text{moyenne}}) * \text{Temps section } (n))}{\text{Temps de course total}}$$





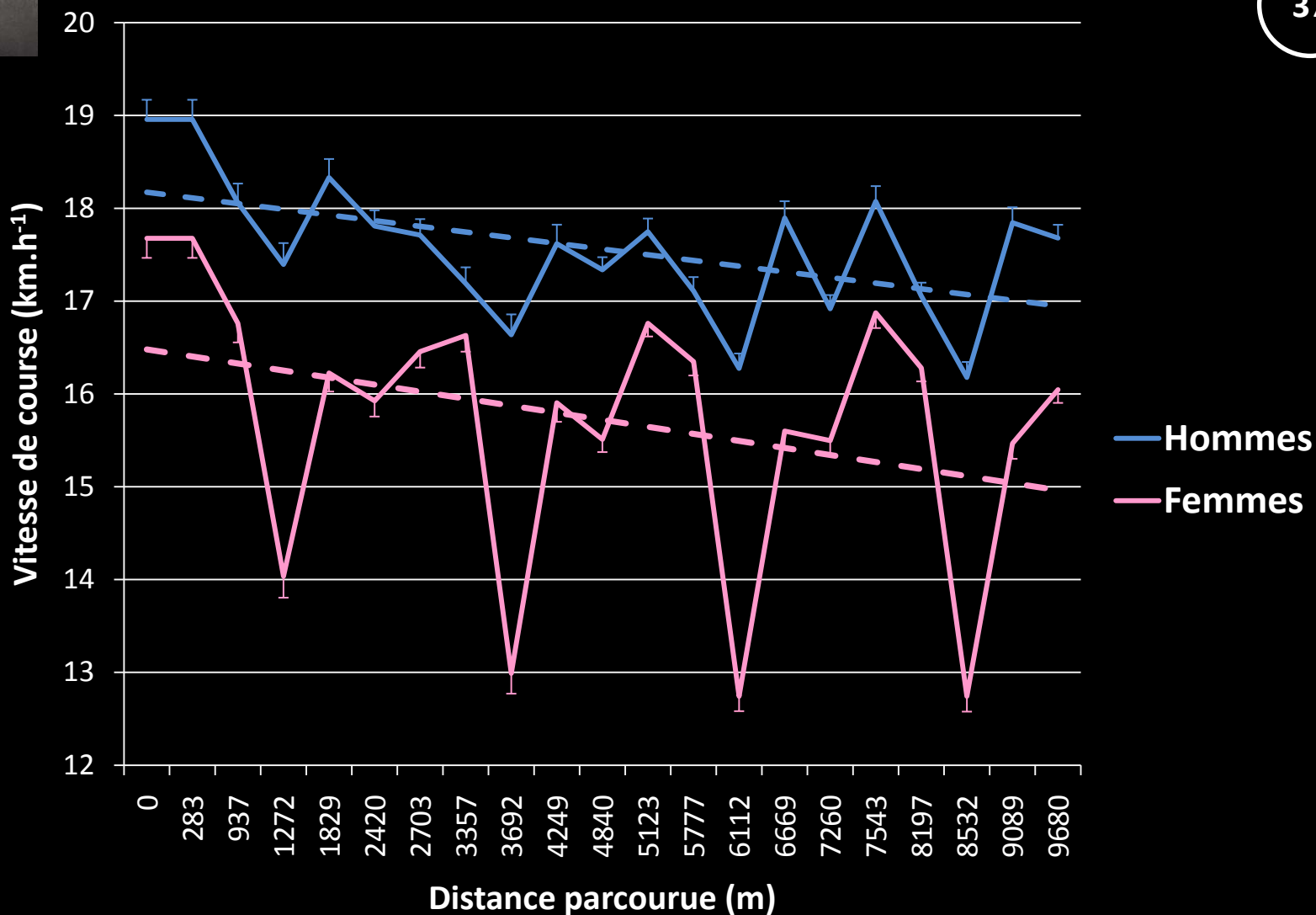
### Résultats

Indice de variabilité de la vitesse de course (km.h<sup>-1</sup>)





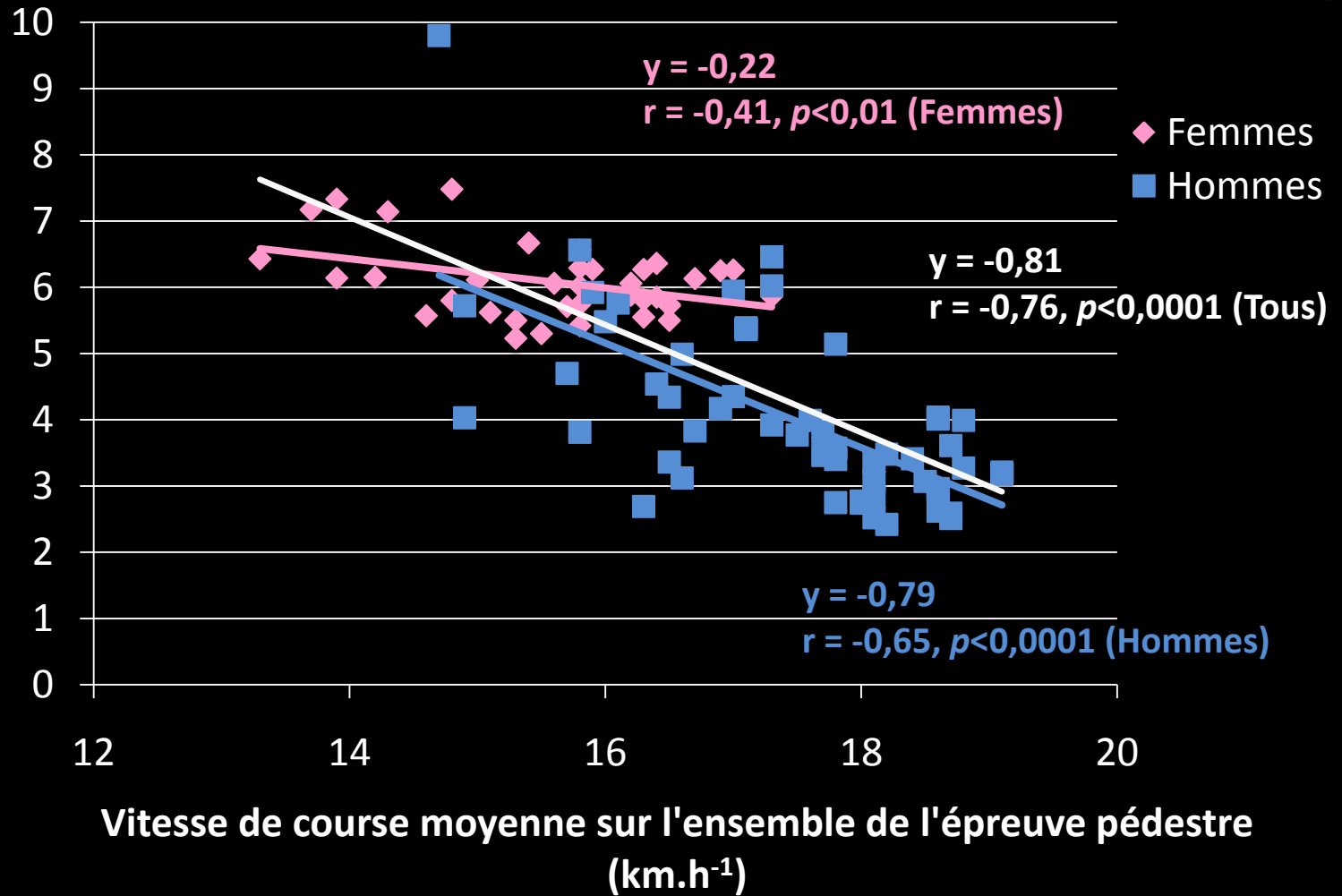
### Protocole expérimental





### Résultats

Indice de variabilité de la vitesse de course (km.h<sup>-1</sup>)





- Stratégie d'allure décroissante en course à pied confirmée.
- Tendance des meilleurs coureurs à mieux maintenir leur vitesse de course initiale.
- Conclusion de l'étude n°3 confirmée.
- Raison de la décélération après un départ rapide ?





# INSEP

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



- **Stratégie d'allure décroissante dans les trois disciplines (Etudes 1 et 2, 4).**
- **Distribution des puissances dans les différentes zones d'intensité fortement déterminée par le profil du circuit.**
- **Effet du sexe sur l'influence des changements de pente sur la stratégie d'allure adopté (cyclisme + course à pied).**
- **↘ Allure de course initiale adoptée spontanément positive pour la performance.**

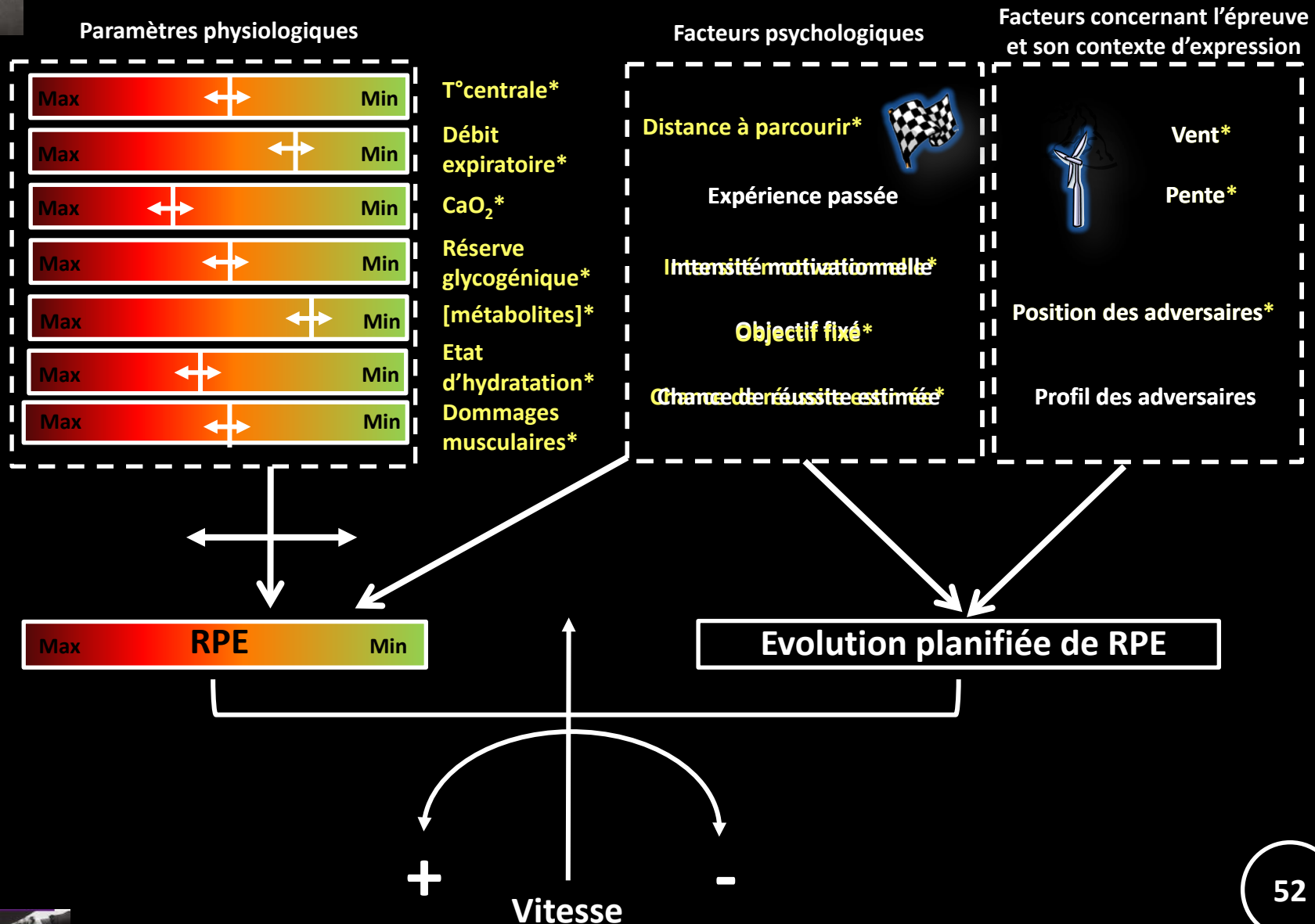






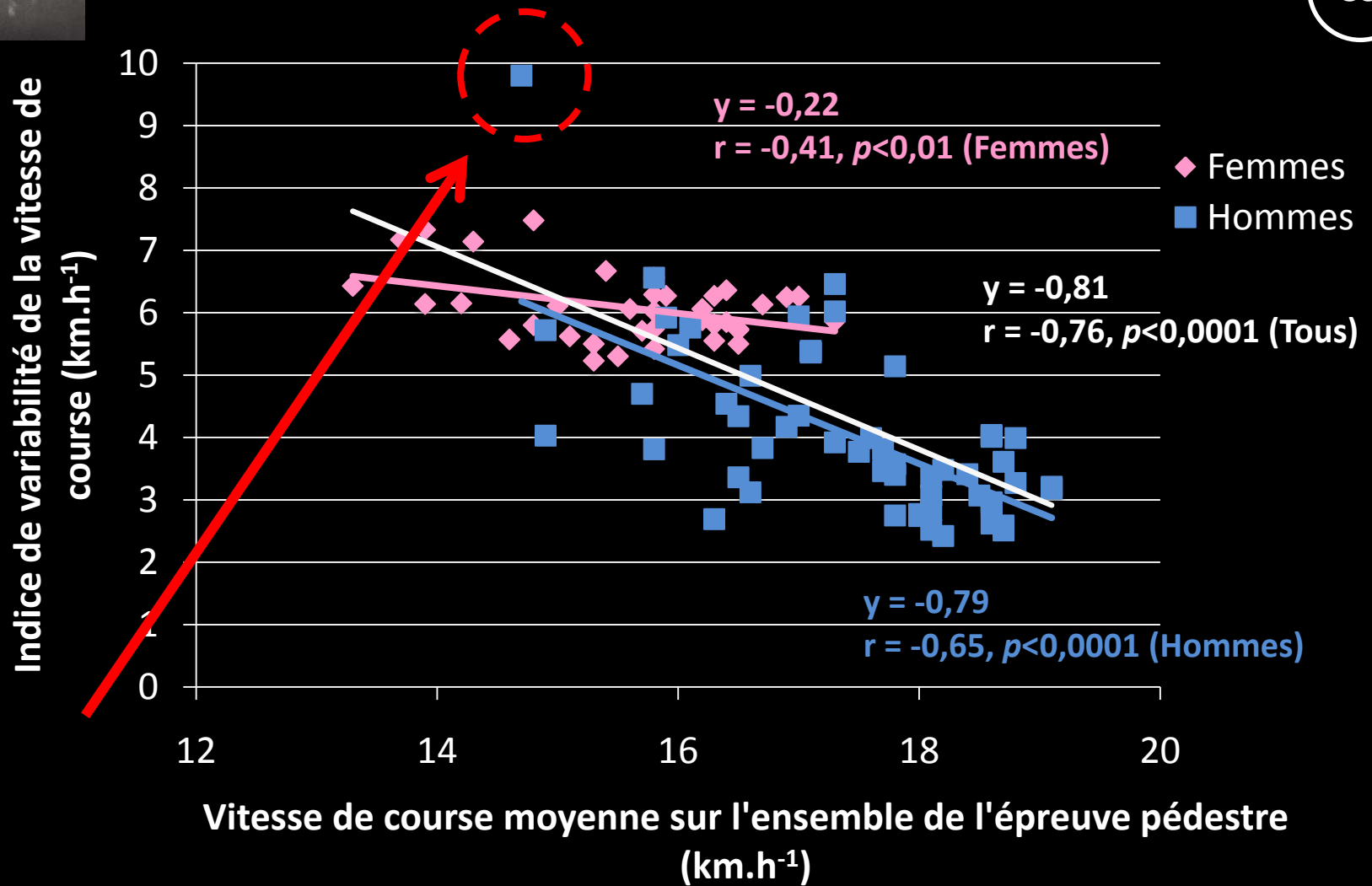
- Variations d'allure constatées lors de la course à pied d'un triathlon distance Olympique non constantes avec une incapacité physiologique du triathlète à poursuivre l'exercice.
- Perspectives :
  - NIRS,
  - stimulation transcranienne,
  - onde M,
  - Protocoles d'exercice plus proches des conditions de pratique en compétition.
- Si le modèle « Anticipation – RPE – Feedbacks » semble pouvoir être appliqué au triathlon distance Olympique, quelques ajustements semblent à opérer.







### Résultats





# INSEP

## MERCI POUR VOTRE ATTENTION





**H/F** : Nécessité d'être performant sur 350-400m (voire moins!) et d'être capable d'assumer un départ rapide

**H/F** : Importance de reproduire des efforts stochastiques, en intégrant notamment un travail >PMA voire >130% PMA

**F** : Améliorer en priorité le rapport PMA/masse pour être performante dans les bosses

**H** : Privilégier essentiellement le développement du ratio PMA/masse et la capacité à reproduire des efforts brefs de très haute intensité

Assumer l'enchaînement natation-cyclisme sans réelles périodes de récupération active



**H/F** : Stabiliser des allures de course plus faibles lors de l'enchaînement cyclisme - course à pied

Mieux adapter sa technique de course en fonction des variations de dénivelé sous fatigue





**S'entraîner à automatiser une allure cible lors de l'enchaînement cyclisme-course à pied:**

- Multi-enchaînement cyclisme-course à pied-course à pied,
- Gestion de la cadence à la fin de la partie cycliste,
- Expérimentation sur des courses de moindre importance,
- Débriefing post-course,
- ...

**F : Améliorer en priorité le rapport PMA/masse pour être performante dans les bosses**

**Stratégies pour  $\searrow$  RPE à une vitesse donnée ?**



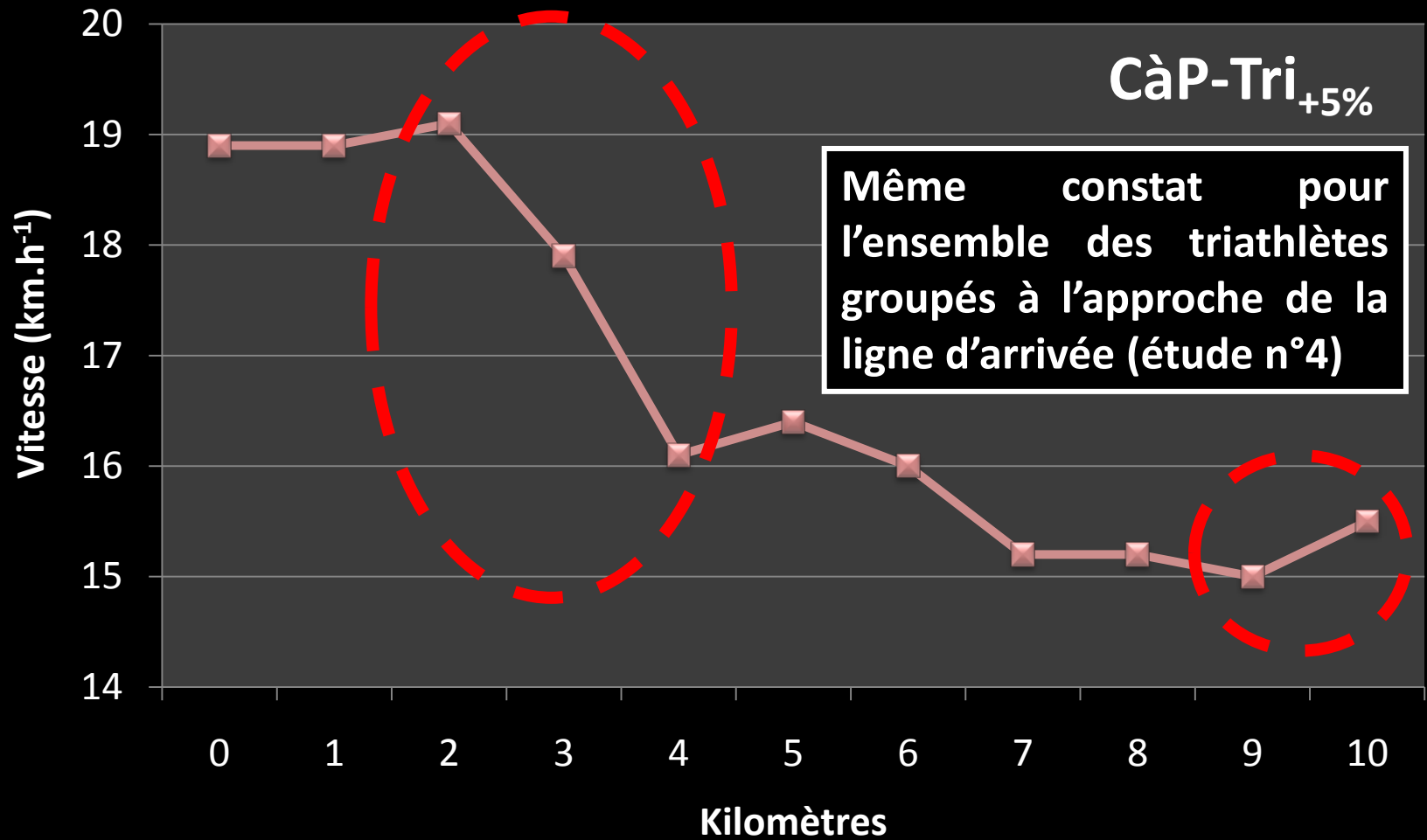
triathlon  
© 2010 Rich Cruse /ITU





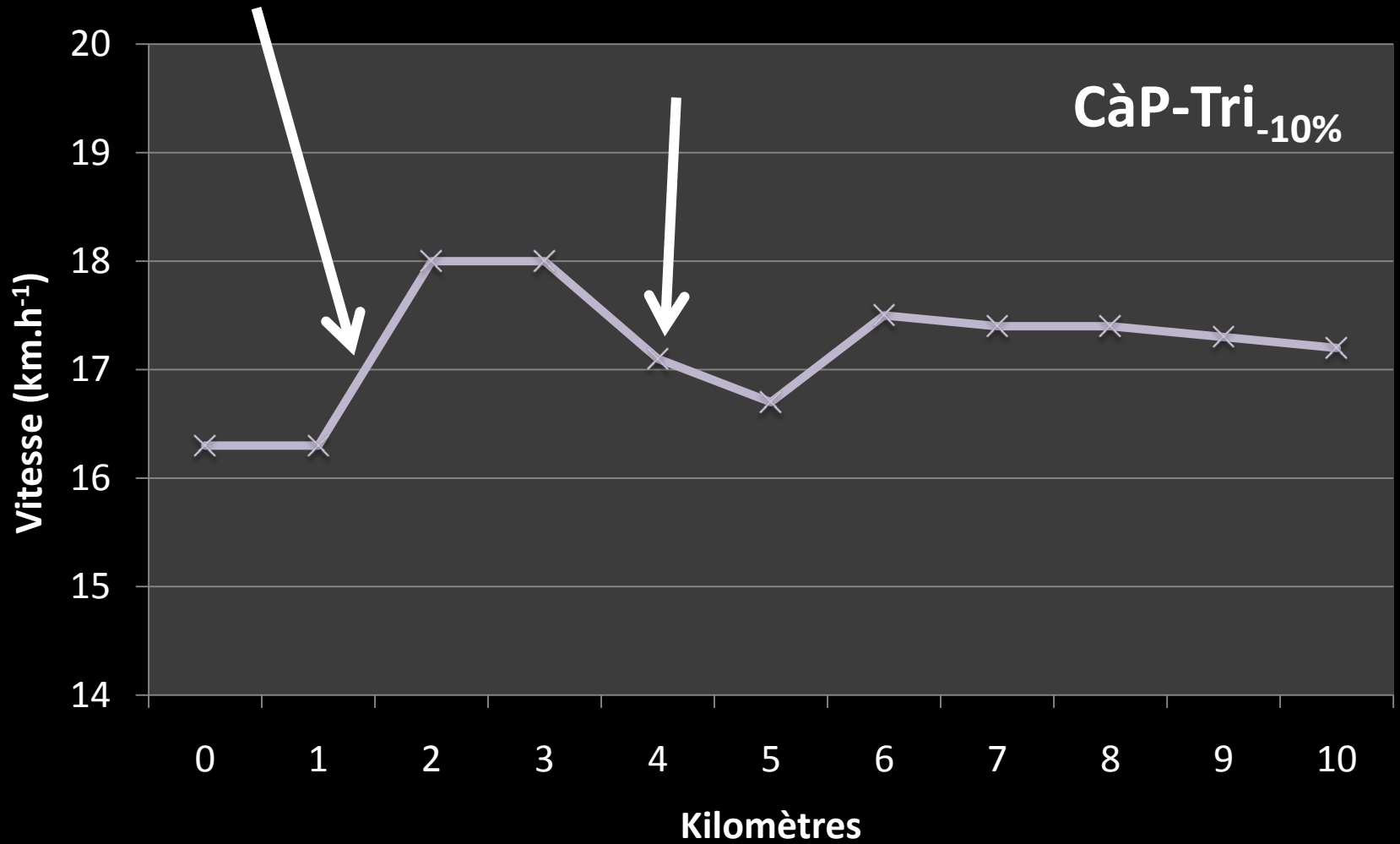


### Résultats

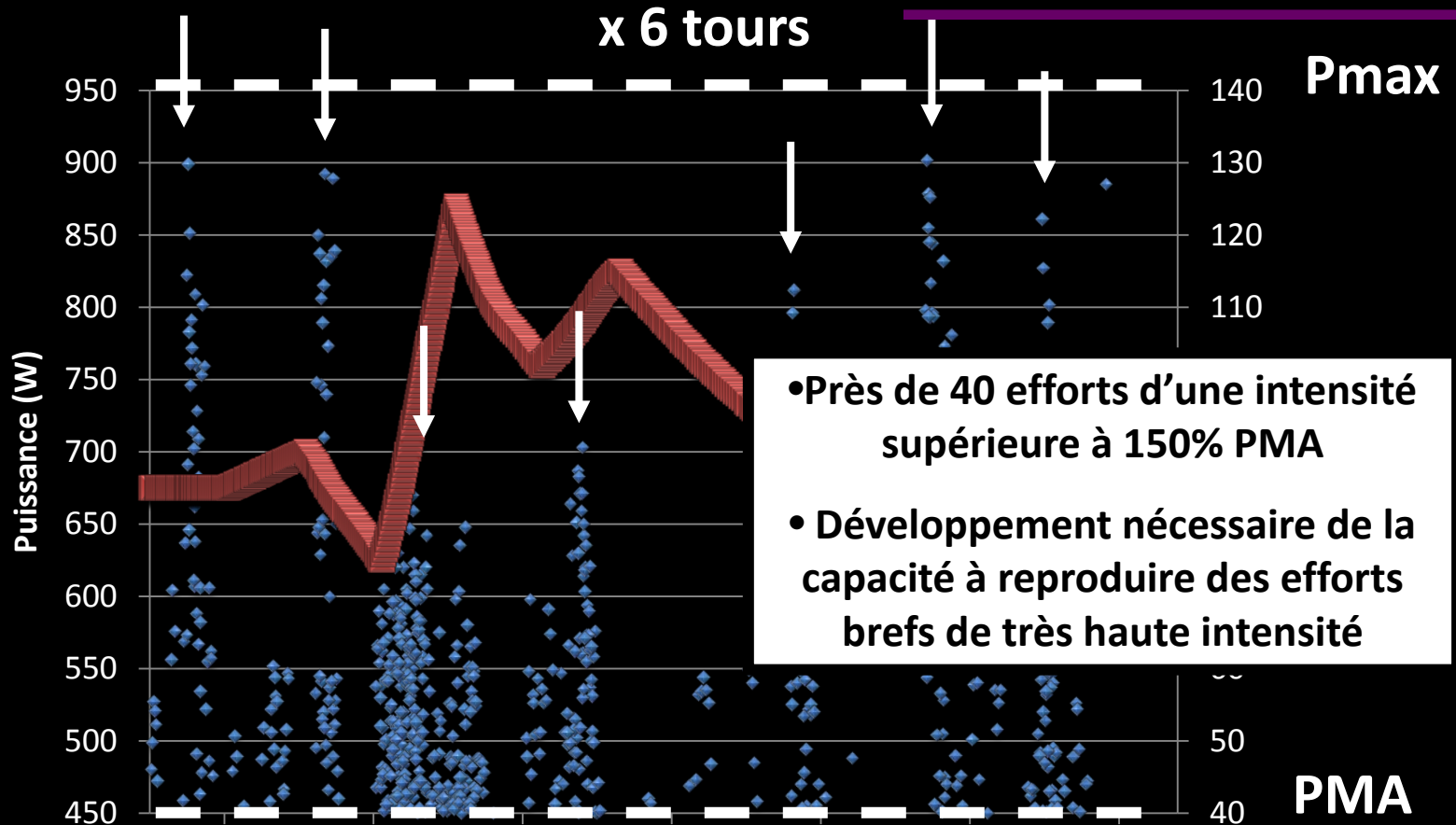




### Comprendre les stratégies d'allure (étude n°4)



### Caractérisation des stratégies d'allure en triathlon à haut niveau (études n°1 et n°2)



Distribution des puissances supramaximales développées par un triathlète lors de la section cycliste de la Coupe du Monde de Pékin 2006.