



7^e journée régionale du CLUB MONT-BLANC COEUR ET SPORT

Entraînement en altitude

Paul Robach

Ecole Nationale de Ski et d'Alpinisme, Chamonix



Introduction

- Les différentes méthodes d'entraînement en altitude
- Quelle efficacité sur la performance?
- Quels mécanismes potentiels?

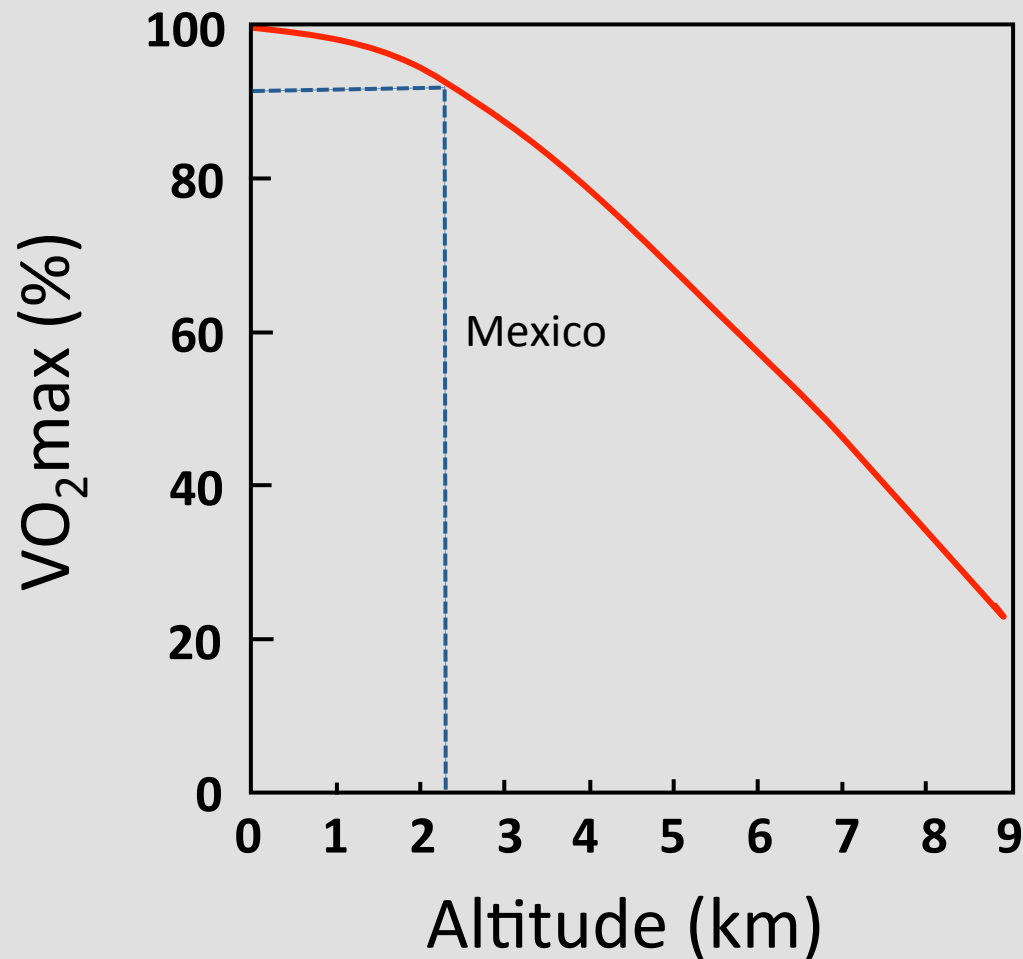
Introduction

- Les différentes méthodes d'entraînement en altitude:
 - Méthode « classique »
 - **Vivre en haut – s'entraîner en bas**
 - Vivre en bas – s'entraîner en haut (entraînement en hypoxie)

Historique de l'entraînement en altitude

1968: J.O. de Mexico (2240m)

Aucun record en endurance



Historique de l'entraînement en altitude

1968: J.O. de Mexico (2240m)

Aucun record en endurance



Hypothèse

Volume total de globules rouges

=

Facteur clé de la performance

Dopage sanguin

=

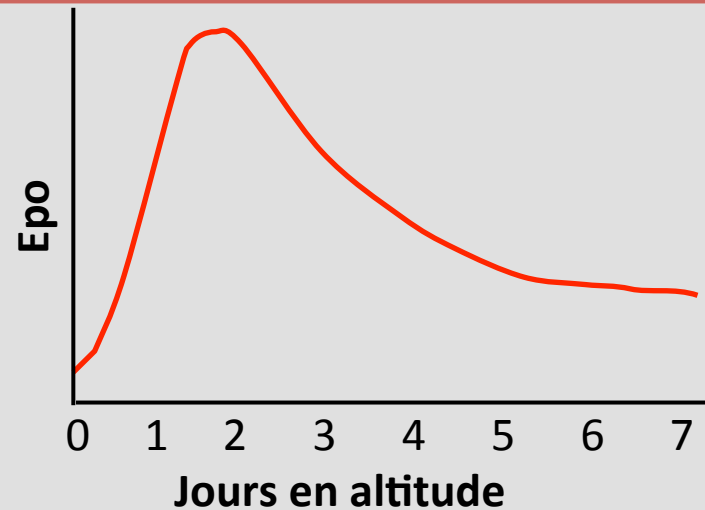
Augmente la performance

Hypoxie d'altitude

=

Stimulation de l'érythropoïèse

**Augmentation du volume total
De globules rouges**



?

Entraînement en altitude → **Améliore la performance aérobique**

Hypothèse

- Mécanisme hématologique « central »:

Expansion du **volume total des globules rouges** (en ml), ou de la **masse totale d'hémoglobine** (en g)

- Mécanisme musculaire « périphérique »:

Amélioration de l'**efficacité musculaire**

Méthode « classique »

« vivre en haut – s’entraîner en haut »



*Méthode « classique »
« vivre en haut – s'entraîner en haut »*

↓
Accélère l'érythropoïèse

↓
**Augmente le volume total
de globules rouges**

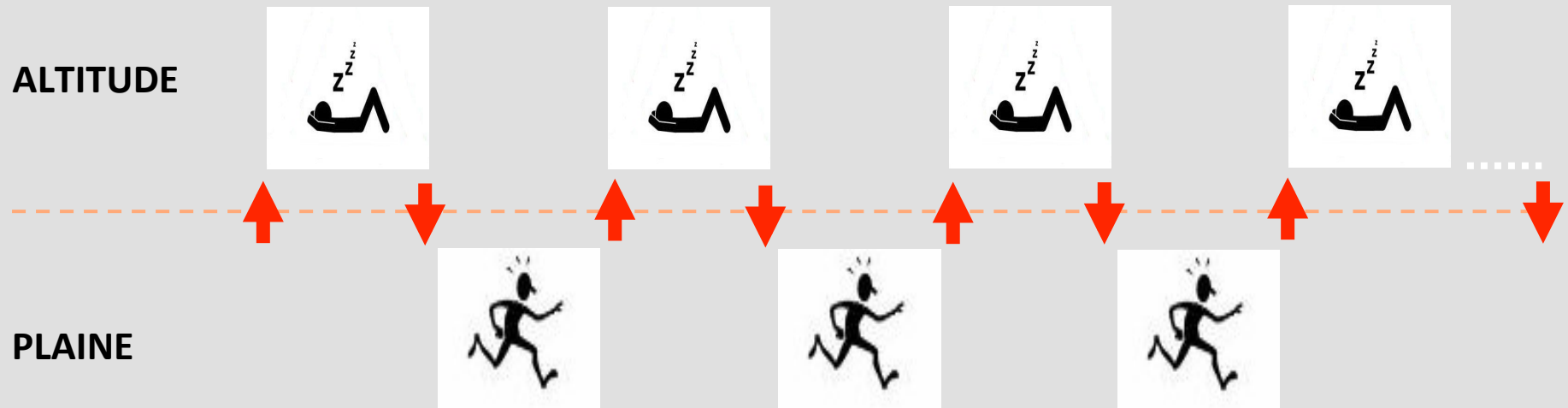
+

↓
baisse des flux d'O₂

↓
**baisse des intensités
d'entraînement**

Pas d'amélioration de la performance aérobique

« vivre en haut – s'entraîner en bas »



« vivre en haut – s'entraîner en bas »



Accélère l'érythropoïèse



**Augmente le volume total
de globules rouges**

+



Maintien des flux d'O₂



**Maintien des intensités
d'entraînement**



Amélioration de la performance aérobie

« vivre en haut – s'entraîner en bas »

Cette méthode améliore la performance:

- Etudes américaines (++)
- Etudes françaises (Jura) (+/=)
- Etudes australiennes (=)
- Etude suisse (+)

Questions en suspens

- Quel est le mécanisme expliquant le gain de performance?
- Effet placebo?

16 cyclistes de haut niveau
 $\text{VO}_2\text{max} \approx 73\text{-}74/\text{ml}/\text{min}/\text{kg}$

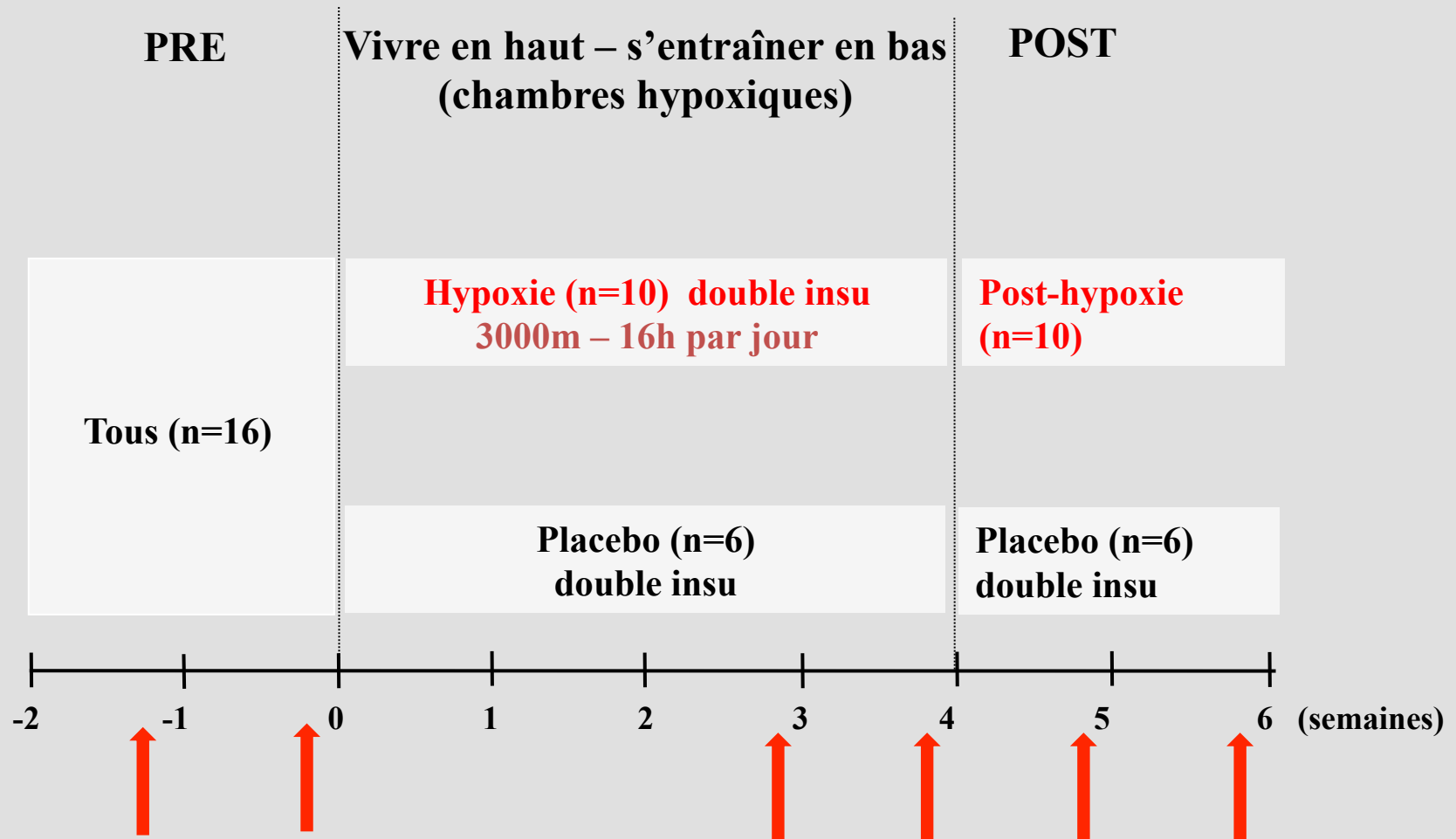


Centre national de ski nordique Prémanon - France

Chambres hypoxiques



Protocole (8 semaines)



Question principale

- L'augmentation de performance est-elle liée à:

1. l'augmentation du volume total de globules rouges?

2. l'amélioration de l'efficacité musculaire?

1. Volume total de globules rouges
(ou masse totale d'hémoglobine)

Hb_{mass}

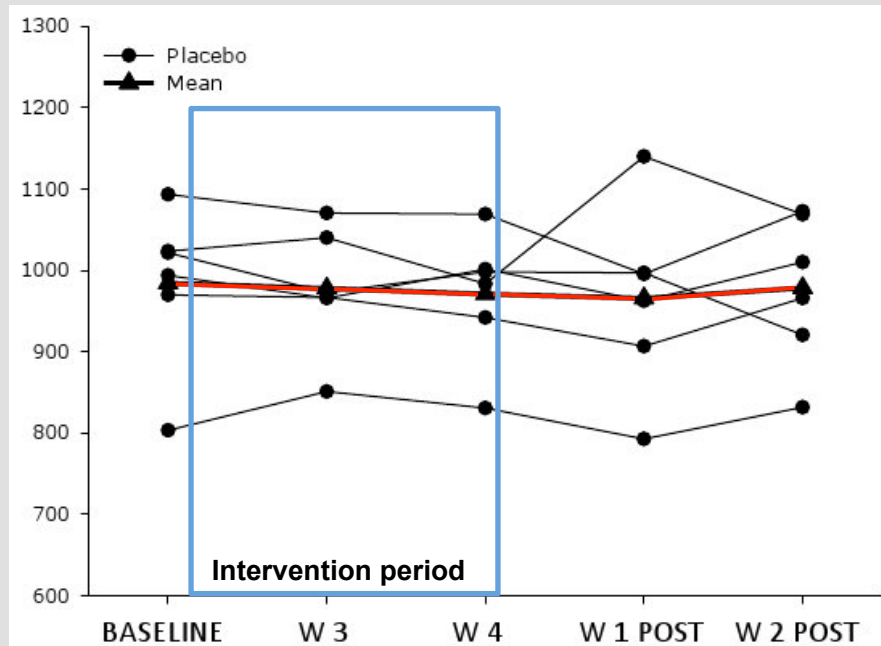
Mesure du volume total de globules rouges

← Monoxyde de carbone
(mesure de HbCO)

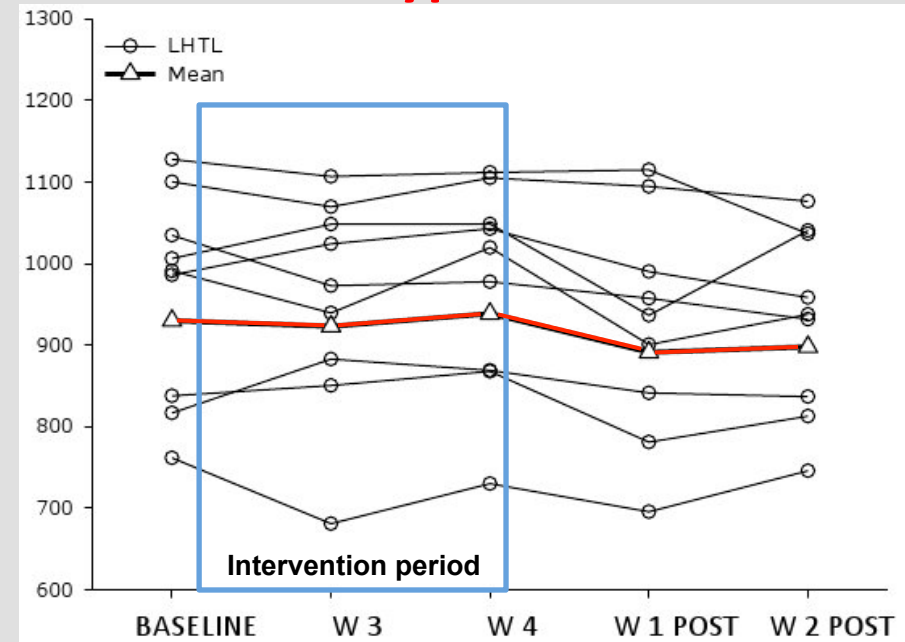


Masse totale d'hémoglobine (g) (Hb_{mass})

Placebo



hypoxie

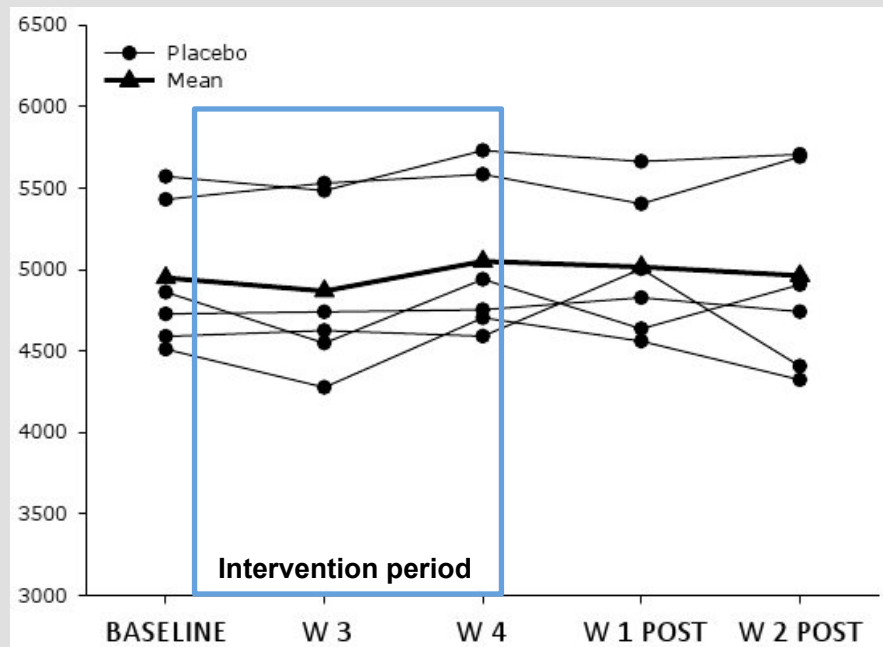


Pas d'augmentation

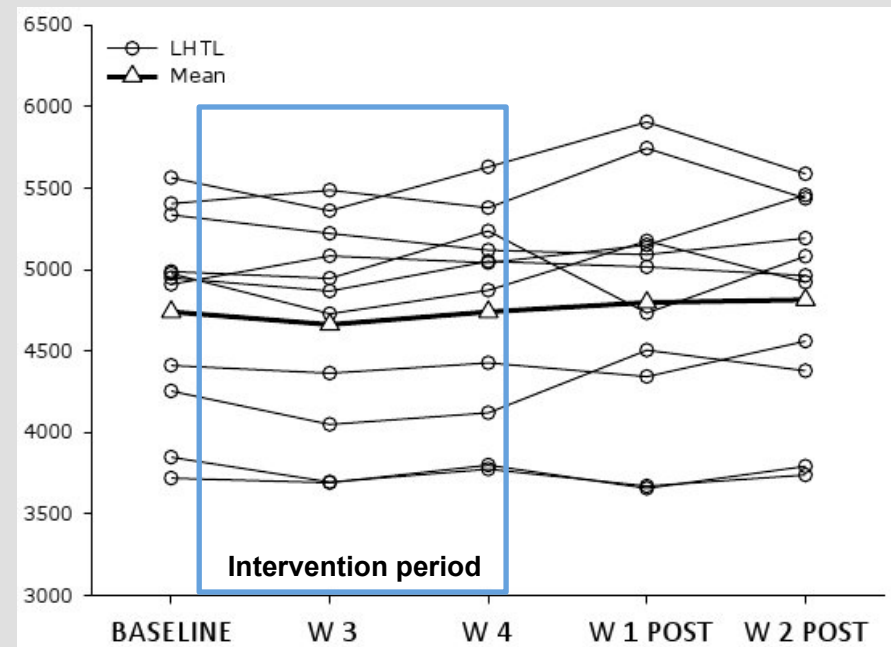


VO₂max (L/min)

Placebo

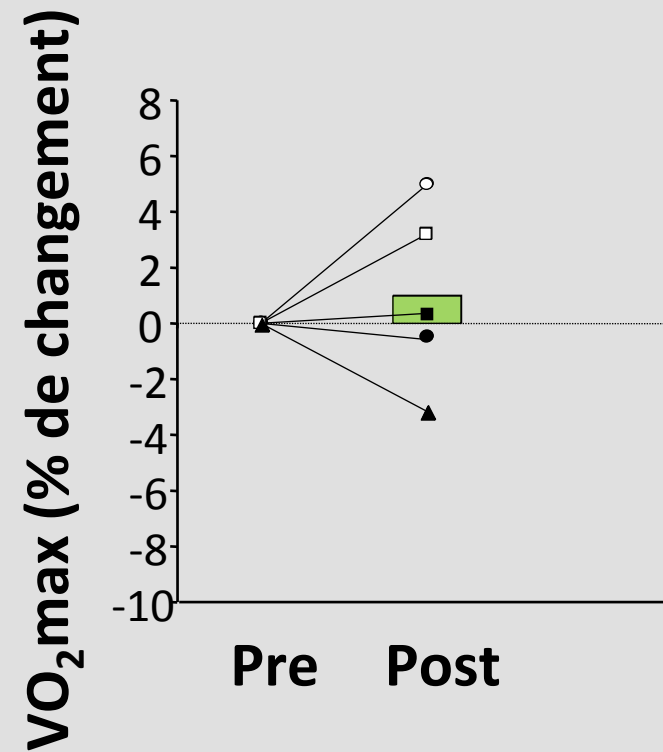
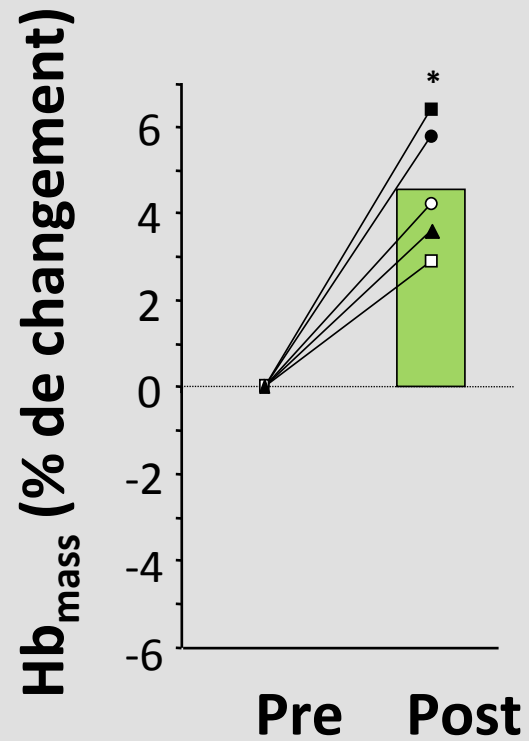


hypoxie



Pas d'augmentation

50% d'athlètes “bon répondeurs” à l'hypoxie



- L'augmentation du volume total de globules rouges induite par cette méthode n'est pas systématique
- Si augmentation, celle-ci n'est pas suffisante pour augmenter le transport maximal de l'oxygène

2. Amélioration de l'efficacité musculaire



Respiration mitochondriale



Pas d'amélioration de la fonction mitochondriale

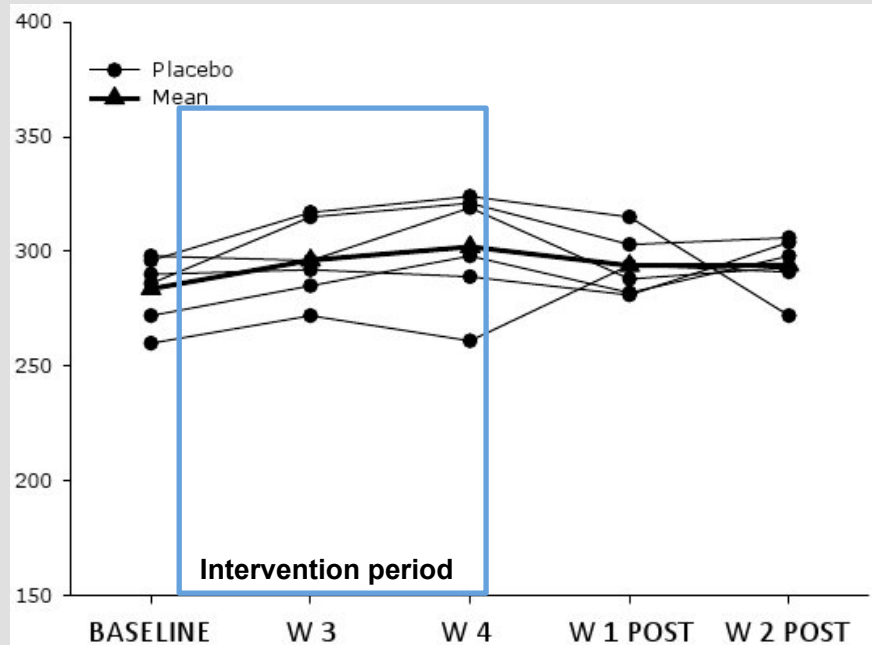
- Activité citrate synthase inchangée
- Capacité de phosphorylation oxydative inchangée

Performance en endurance ?

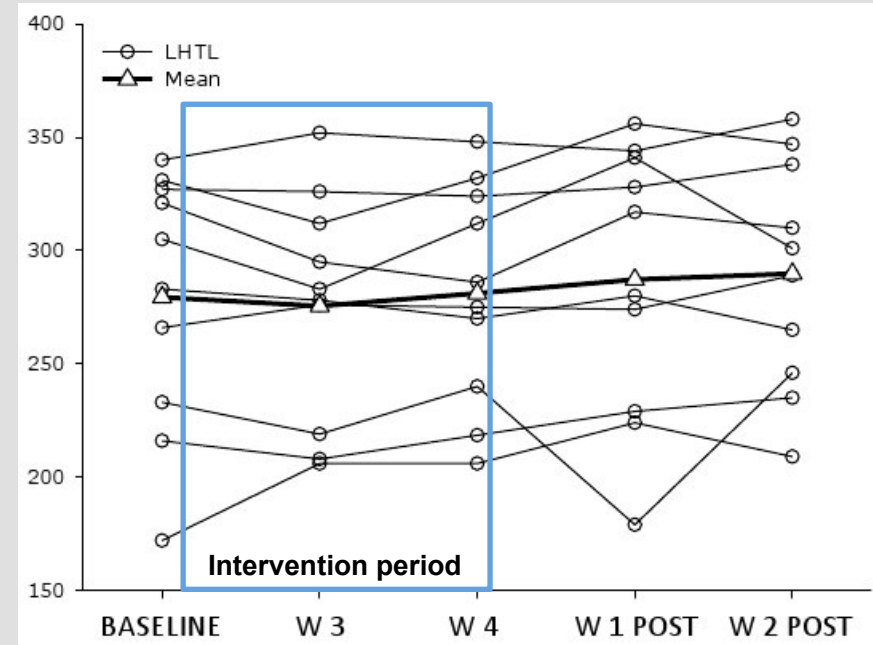


Contre la montre - 26 km (puissance moyenne en W)

Placebo



hypoxie



Pas d'amélioration

Résumé

Chez des cyclistes de haut niveau, la méthode
“vivre en haut – s’entraîner en bas”
n’améliore pas la performance aérobie car:

- L’efficacité musculaire n’est pas améliorée
- L’augmentation du volume total de globules rouges reste marginale

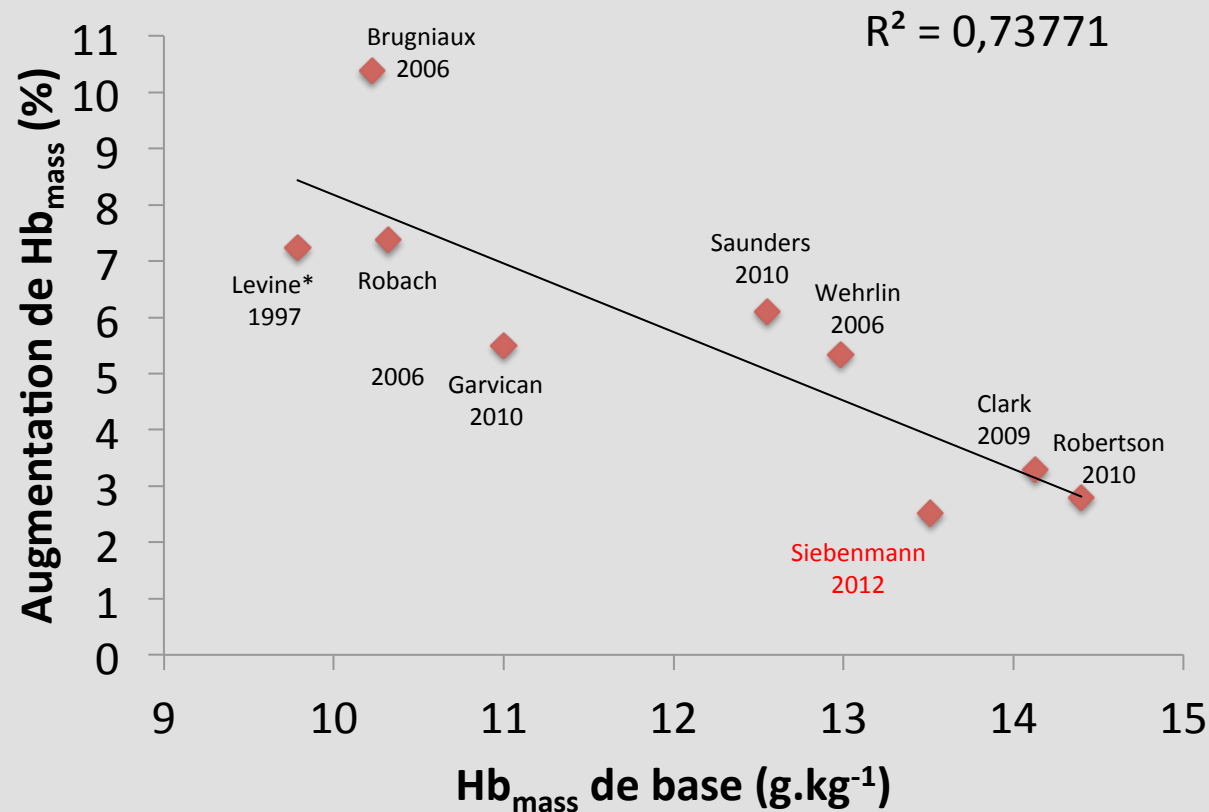
Résultats négatifs en dépit d'une dose d'hypoxie élevée (450 h): pourquoi?

- Entraînement?
- Non-répondeurs?
- Hypoxie normobare?
- Profil physiologique initial?
- Altitude non-optimale?

Résultats négatifs en dépit d'une dose d'hypoxie élevée (450 h): pourquoi?

- Est-il possible d'augmenter encore le volume total de globules rouges chez un athlète d'endurance qui possède déjà un profil hématologique supranormal?

Plus Hb_{mass} de base est élevé,
moins la méthode « *Vivre en haut –
s'entraîner en bas* » a d'effet sur Hb_{mass}



Résultats négatifs en dépit d'une dose d'hypoxie élevée (450 h): pourquoi?

- Altitude simulée (3000m) trop élevée?

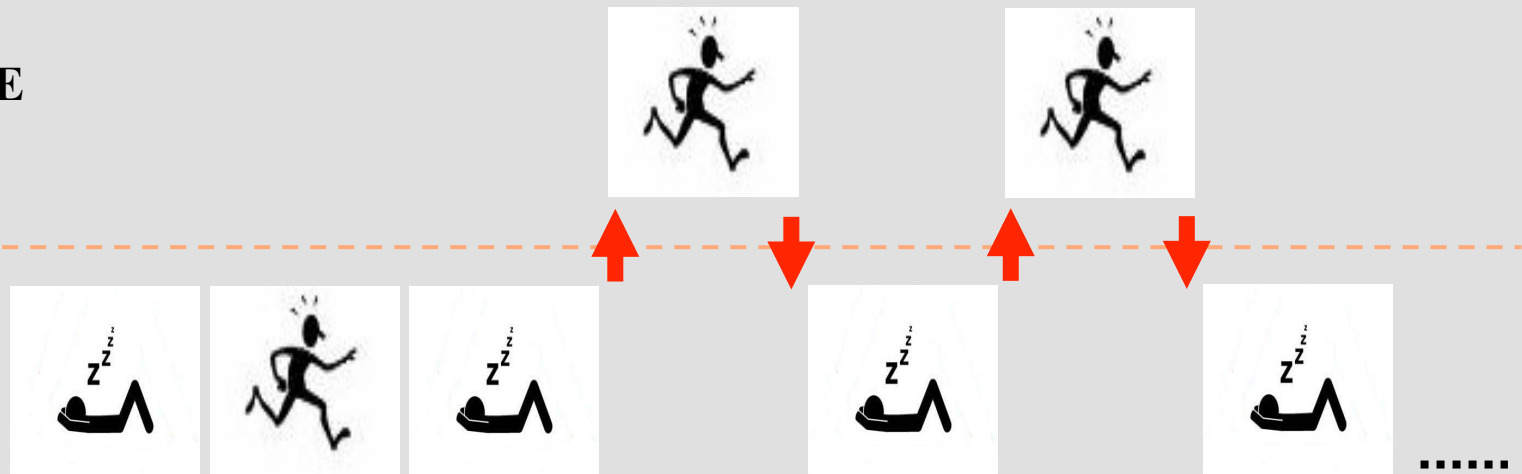
« Vivre en haut – s'entraîner en bas »
4 semaines de résidence à:

	1780 m	2085 m	2454 m	2800 m
Volume total de globules rouges	+	+	+	+
Performance en endurance	=	+	+	=

« vivre en bas – s'entraîner en haut » (entraînement en hypoxie)

ALTITUDE

PLAINE



Entraînement en hypoxie:

Analyse de la littérature

- Augmentation de la performance:
 - Résultat positif pour 50% des études!
- Seulement deux études en double insu (une négative, une positive)
- Mécanismes potentiels partiellement élucidés

Question principale

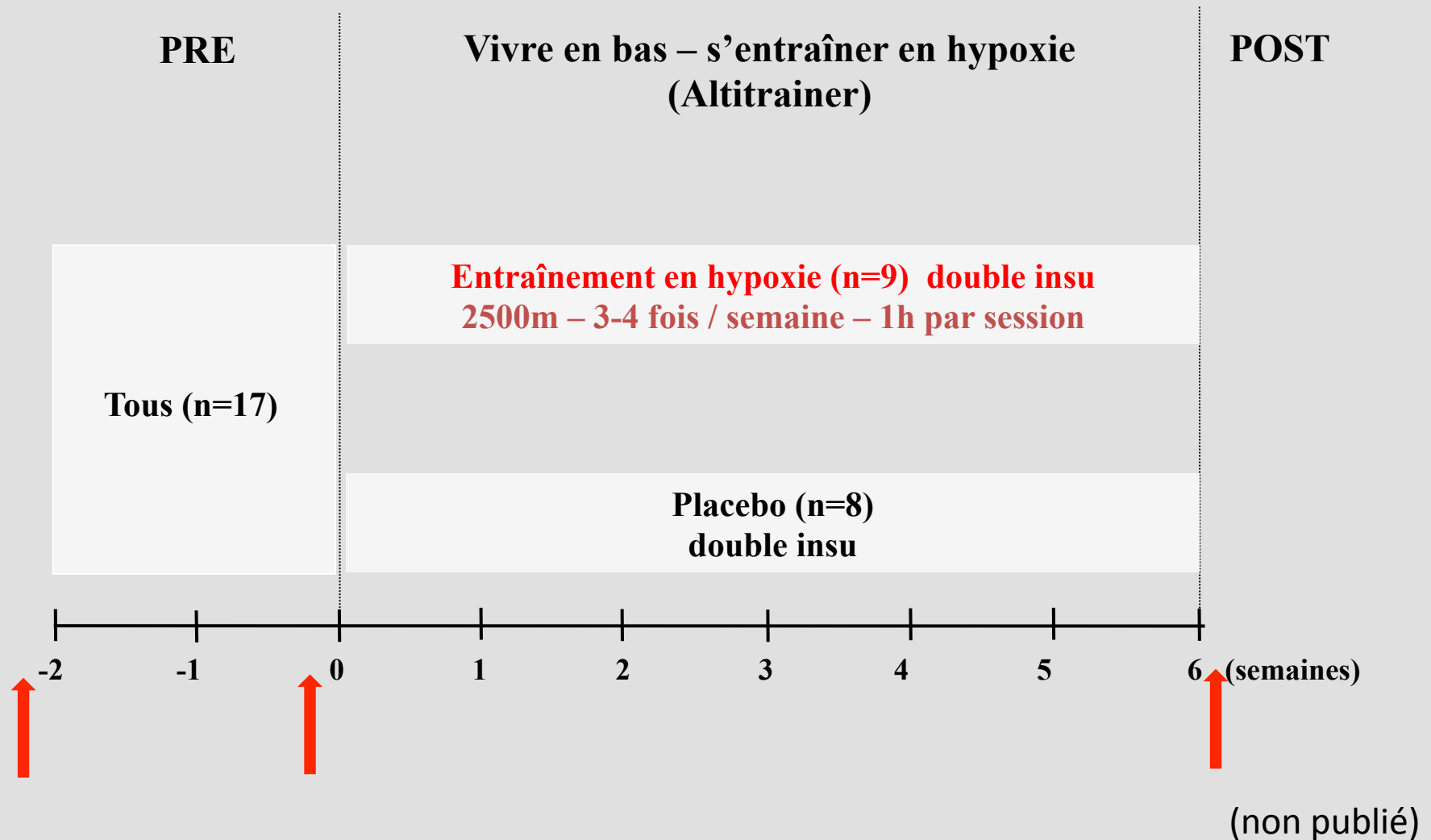
- L'augmentation de performance est-elle liée à:

1. l'augmentation du volume total de globules rouges?

2. l'amélioration de l'efficacité musculaire?

Protocole (8 semaines)

(sujets moyennement entraînés)



Résultats

- Léger bénéfice de l'entraînement en hypoxie sur le volume total de globules rouges
- Pas d'avantage de l'entraînement en hypoxie sur la fonction mitochondriale

VO_2max

- Pas d'avantage de l'entraînement en hypoxie sur:
 - VO_2max en normoxie
 - VO_2max en hypoxie aiguë (2500m)

Résumé

- L'entraînement en hypoxie n'a pas d'effet bénéfique sur la performance aérobie au niveau de la mer

Conclusion

- La technique « Vivre en haut – s'entraîner en bas » est probablement la méthode d'entraînement en altitude **la plus efficace**

Question

- La méthode “vivre en haut – s’entraîner en bas” est-elle utile aux athlètes possédant déjà des caractéristiques physiologiques exceptionnelles?

Perspective

- La méthode “vivre en haut – s’entraîner en bas” serait profitable:
 - Aux athlètes sub-élites
 - Aux athlètes élites ne possédant pas des caractéristiques physiologiques “maximales” (natation, sports collectifs...)

Perspective

- Nécessité de conduire des études bien contrôlées

Remerciements

Université de Zurich (CH):

Carsten Lundby

Christoph Siebenmann

Robert A. Jacobs

Thomas Bonne

Daniela Flück

Peter Rasmussen

Victor Diaz

Andreas Christ

Marco Maggiorini

Marco Toïgo

Simon Bürgi

CNSN Prémanon (F):

Laurent Schmitt

Université de Copenhague (DK):

Nikolai Nordsborg

Niels H Secher

Bengt Saltin

Université d'Innsbruck (A):

Dominik Pesta

Erich Gnaiger

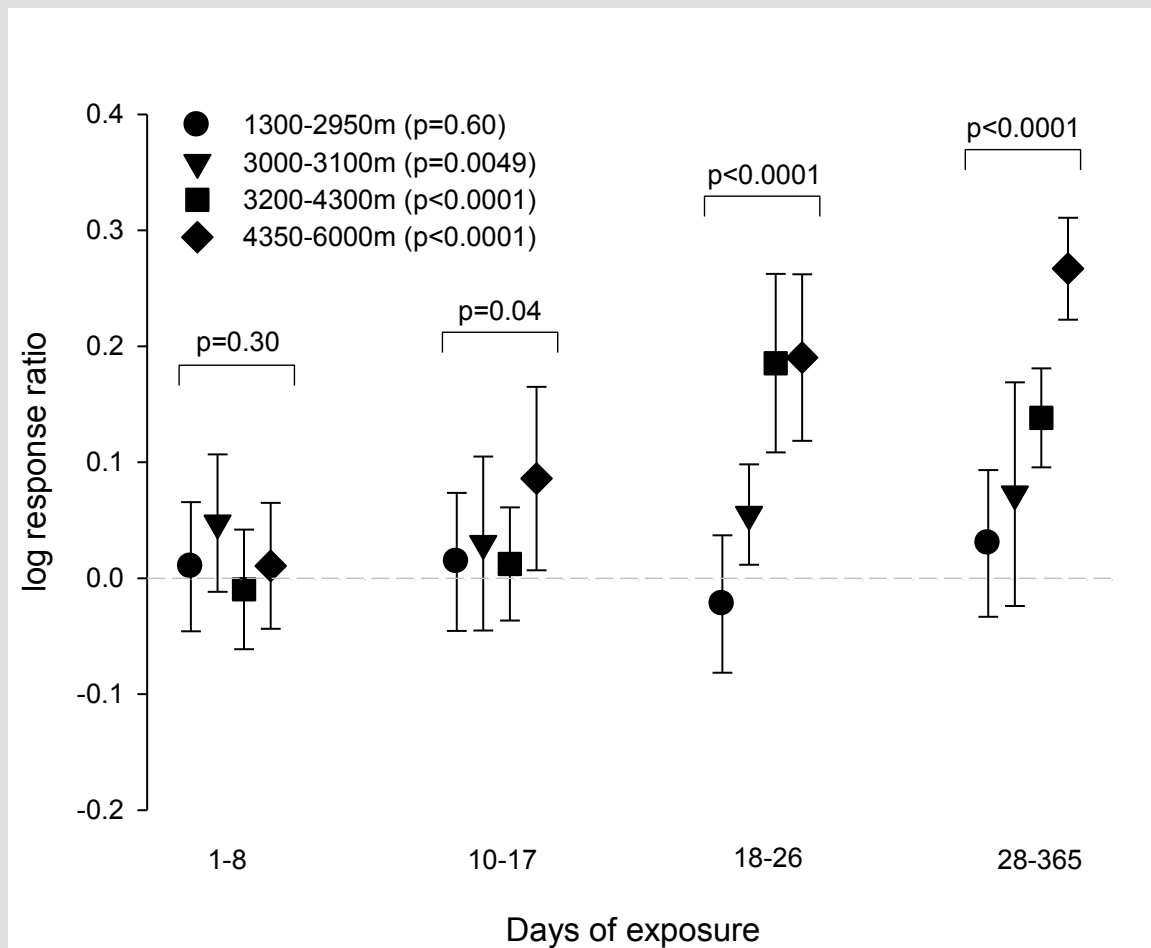
Université Paris 13 (F):

Aurélien Pichon

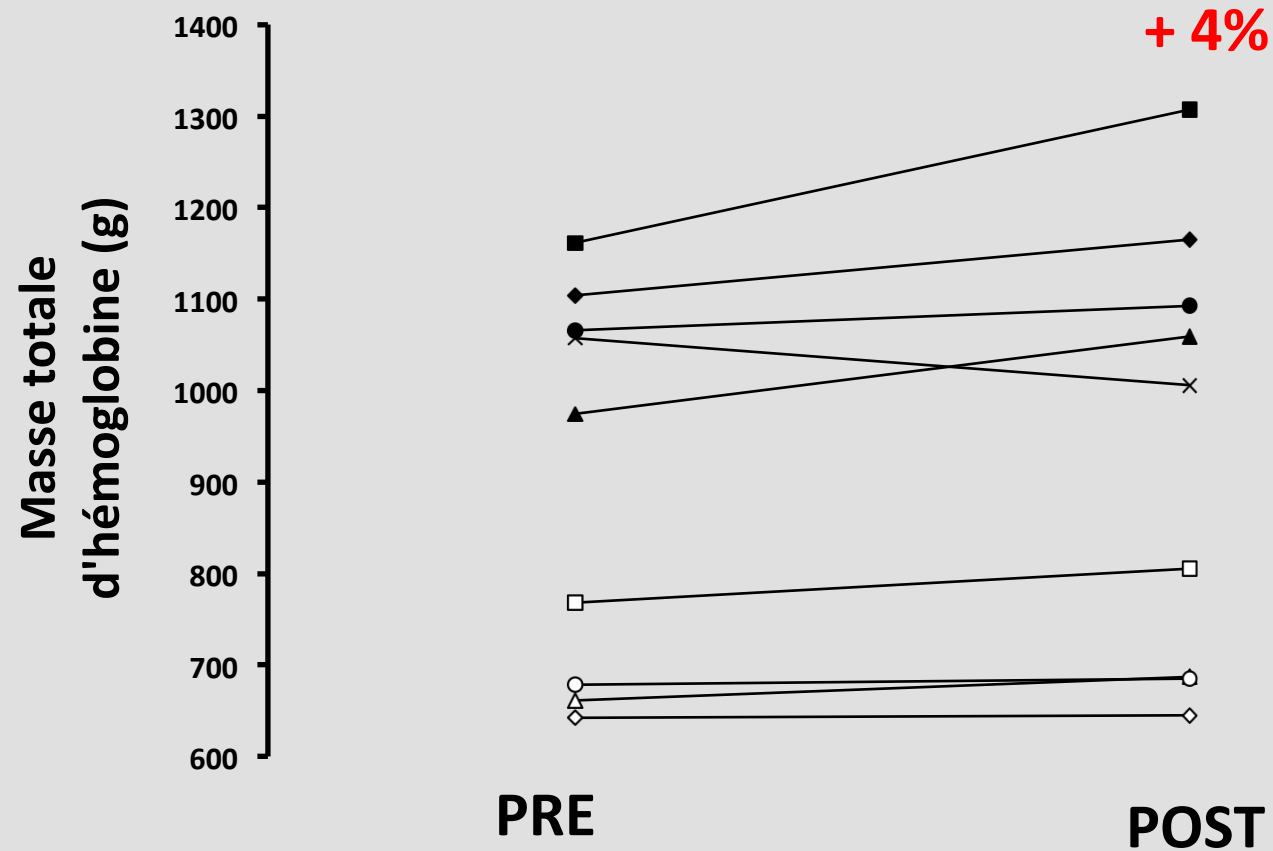
Hopital La Vallée (CH):

Julia Fiedler

Nadine Crivelli



3 semaines à 2000-3000 m (skieurs de fond élités)



(non publié)