



HAL
open science

Effets d'un entraînement en altitude de type "Live high - Train low" sur la performance athlétique et mécanismes de contrôle: une étude en double insu contre groupe placebo

Paul Robach

► To cite this version:

Paul Robach. Effets d'un entraînement en altitude de type "Live high - Train low" sur la performance athlétique et mécanismes de contrôle: une étude en double insu contre groupe placebo: Implications directes pour l'entraînement et l'optimisation de la performance. [Rapport de recherche] Projet de recherche INSEP n°: 10-R021, Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP). 2011. hal-01993012v1

HAL Id: hal-01993012

<https://insep.hal.science//hal-01993012v1>

Submitted on 24 Jan 2019 (v1), last revised 4 Feb 2019 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ECOLE NATIONALE DES SPORTS DE MONTAGNE
Sites de l'ÉCOLE NATIONALE DE SKI ET D'ALPINISME
et du CENTRE NATIONAL DE SKI NORDIQUE et de MOYENNE MONTAGNE

Projet de recherche INSEP n° : 10-R021

Effets d'un entraînement en altitude de type "Live high - Train low" sur la performance athlétique et mécanismes de contrôle : une étude en double insu contre groupe placebo

Implications directes pour l'entraînement et l'optimisation de la performance

Rapport adressé à

Ministère des Sports

**Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance
(INSEP)**

Responsable du projet : Paul Robach

Décembre 2011

TITRE:

Effets d'un entraînement en altitude de type "Live high - Train low" sur la performance athlétique et mécanismes de contrôle : une étude en double insu contre groupe placebo

AUTEURS:

Paul Robach¹, Christoph Siebenmann², Robert A. Jacobs^{2, 3}, Peter Rasmussen², Laurent Schmitt¹, Nikolai Nordsborg⁴, Victor Diaz^{2, 3}, Andreas Christ⁵, Niels Vidiendal Olsen⁶, Aurélien Pichon⁷, Marco Maggiorini⁵, Carsten Lundby²

AFFILIATIONS:

¹Ecole Nationale des Sports de Montagne, sites de l'Ecole Nationale de Ski et d'Alpinisme, Chamonix, et du Centre National de Ski Nordique et de Moyenne Montagne, Prémanon, France; ²Center for Integrative Human Physiology, Institute of Physiology, University of Zurich, Zurich, Switzerland; ³Institute of Veterinary Physiology, University of Zurich, Zurich, Switzerland; ⁴Department of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen, Denmark; ⁵Intensive Care Unit, Department of Internal Medicine, University Hospital, Zurich, Switzerland; ⁶Department of Neuroanaesthesia, The Neuroscience Centre, Rigshospitalet, Copenhagen, Denmark; Laboratoire 'Réponses cellulaires et fonctionnelles à l'hypoxie' Université Paris 13, Bobigny, France.

RESPONSABLE DU PROJET :

Paul Robach, PhD

Ecole Nationale de Ski et d'Alpinisme, site de l'Ecole Nationale des Sports de Montagne

Pôle de la Recherche Biomédicale

35, route du Bouchet, 74401 Chamonix - France

Tel: +33 (0)4 50 55 30 28 ; Fax: +33 (0)4 50 53 47 44

Email: paul.robach@ensm.sports.gouv.fr

Résumé

Résider en altitude tout en s'entraînant en plaine (live high-train low, LHTL) est susceptible d'améliorer la performance en endurance chez l'athlète. Cependant, à ce jour, aucune étude ne peut exclure l'éventuelle contribution d'un potentiel effet placebo, expliquant en partie le gain de performance. A partir d'une méthodologie en double insu versus groupe placebo, nous avons formulé l'hypothèse que les gains de performance induits par LHTL sont liés à des mécanismes physiologiques et non à un effet placebo. Pour cela, seize cyclistes d'endurance de haut niveau ont suivi un programme d'entraînement de huit semaines à basse altitude (< 1200 m). Après deux semaines de phase préparatoire, les athlètes ont séjourné 16h/jour durant les quatre semaines suivantes dans des chambres ventilées soit avec de l'air normal (groupe placebo, n = 6), soit avec de l'hypoxie normobare correspondant à une altitude de 3000 m (groupe LHTL, n = 10). Les mesures physiologiques ont été réalisées deux fois durant la période préparatoire, après trois et quatre semaines d'intervention LHTL puis encore une et deux semaines après l'intervention LHTL. Les questionnaires ont révélés que les sujets ignoraient le traitement qui leur était administré. La charge d'entraînement hebdomadaire était similaire entre les groupes. La masse totale d'hémoglobine, la consommation maximale d'O₂ en normoxie et à l'altitude simulée de 2500 m, ainsi que la puissance moyenne durant une épreuve simulée de compétition cycliste de 26,15 km (« contre la montre »), sont restés inchangés dans les deux groupes, tout au long de l'étude. L'efficacité musculaire (consommation d'O₂ mesurée à 200 W) n'a pas été modifiée lors de l'intervention LHTL dans aucun des deux groupes. En conclusion, ni la performance en endurance, ni les variables physiologiques associées n'ont été améliorées à l'issue de quatre semaines d'intervention LHTL.

IMPLICATIONS DIRECTES POUR L'ENTRAÎNEMENT ET L'OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE

Rappels concernant la méthode d'entraînement en altitude « vivre en haut – s'entraîner en bas » :

La méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas » consiste à vivre en moyenne altitude et à réaliser les entraînements à haute intensité en basse altitude. Deux possibilités existent : 1) résider dans un centre de moyenne altitude (hypoxie hypobare), ou bien 2) résider dans une chambre ou tente hypoxique (hypoxie normobare).

La littérature existante montre que la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas » est susceptible d'améliorer la masse totale de globules rouges ainsi que la performance en endurance de 1-2% chez l'athlète de haut niveau.

Les recommandations actuelles, en termes d'exposition à l'hypoxie, sont les suivantes : 1) l'altitude doit être comprise entre 2200 et 3000m ; 2) le temps d'exposition quotidien doit être supérieur à 12h par 24h ; 3) la durée totale doit être supérieure à deux semaines, sachant que la durée optimale est de 3-4 semaines.

En termes d'entraînement, il est recommandé de diminuer la charge d'entraînement au cours des premières nuits en hypoxie (phase d'acclimatation), afin d'éviter tout risque de fatigue. Toutefois, cette disposition répond à un principe de précaution, son effet sur la performance n'ayant pas été vérifié expérimentalement.

Rappel des principaux résultats de l'étude :

Cette étude relative à la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas » a utilisée pour la première fois une méthodologie **en double insu avec groupe placebo**. Nos résultats prennent donc en compte un éventuel effet placebo.

Consécutivement à une période de 4 semaines d'exposition à une hypoxie normobare équivalant à l'altitude de 3000m, 16 heures par jour, associée à un entraînement calibré, les modifications suivantes ont été observées, chez une population de cyclistes élite (VO_2 max de base = 73-75 ml/min/kg) :

- 1) Dans les deux groupes expérimentaux, les performances aérobies ont très légèrement augmenté, ce qui montre d'une part que l'entraînement proposé était

adéquat, et d'autre part que l'exposition à l'hypoxie n'a pas eu d'effet négatif sur la performance. **Ce résultat est important car il montre que la performance physique ne se dégrade pas au terme de 4 semaines d'exposition à l'hypoxie normobare.**

2) Toutefois, les résultats montrent que la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas » n'apporte pas un gain de performance supplémentaire chez des cyclistes élites. En effet, les différents paramètres de performance aérobie, mesurés après 3 et 4 semaines d'exposition à l'hypoxie, n'ont pas été modifiés :

- a. La VO_2 max et la puissance maximale aérobie n'ont pas été modifiées ;
- b. L'efficacité à l'exercice (niveau de VO_2 pour une intensité sous-maximale donnée) est restée inchangée ; en accord avec ce résultat, la capacité oxydative du muscle est restée inchangée ;
- c. La performance lors d'une épreuve « contre la montre » de 26 km n'a pas été augmentée.

En résumé, cette étude montre que **la performance en endurance et les paramètres physiologiques associés ne sont pas spécifiquement améliorés par la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas » chez le cycliste élite.**

3) Notre étude montre que **la performance anaérobie**, mesurée lors d'un test de Wingate de 30 secondes, **n'est pas améliorée par la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas »**, du moins dans le cas de cyclistes entraînés en endurance. En accord avec ce résultat, nous n'avons pas mis en évidence d'augmentation du pouvoir tampon du muscle squelettique.

4) Nos résultats montrent que la **performance maximale aérobie en moyenne altitude** (mesurée lors d'un test de VO_2 max réalisée à l'altitude simulée de 2500 m) **n'est pas améliorée consécutivement à une préparation de type « vivre en haut – s'entraîner en bas »**. Nous ignorons toutefois si la méthode peut avoir un effet positif sur les capacités d'endurance en moyenne altitude.

5) Il est important de noter que dans notre étude, la masse totale de globules rouges a été légèrement augmentée (4,6% en moyenne) chez 50% des athlètes cyclistes. Ceci signifie que dans notre échantillon, la moitié des athlètes n'a pas « répondu » sur le plan hématologique, en dépit d'une exposition de 4 semaines à l'hypoxie. Quoiqu'il

en soit, **les athlètes cyclistes ayant bénéficié d'une augmentation de la masse totale de globules rouges n'ont pas augmenté pour autant leur performance aérobie**. Ceci signifie qu'une augmentation de masse totale de globules rouges plus marquée est sans doute nécessaire pour observer des changements substantiels de performance aérobie.

- 6) Notre étude a également évalué **la durée des effets potentiels** de la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas ». Pour cela, nous avons effectué des tests une semaine et deux semaines après la fin de la période d'hypoxie de 4 semaines. Les résultats ont montré que ni la performance en endurance (et paramètres physiologiques associés), ni la performance anaérobie, ni la performance maximale aérobie en moyenne altitude, n'étaient augmentées spécifiquement, « à distance » de l'exposition hypoxique de 4 semaines.

- 7) Les analyses biologiques montrent que le profil hématologique des cyclistes inclus dans l'étude correspondait à des valeurs normales lors de l'inclusion, et que les valeurs relevées au cours et au décours de l'exposition de 4 semaines à l'hypoxie sont restées dans la normalité, notamment en termes de nombre de réticulocytes. En effet, **le nombre de réticulocytes n'a jamais dépassé, pour aucun athlète, la valeur normale maximale de 2,4%** retenue par l'UCI dans le cadre du passeport biologique (§4, 13.1.063 et 13.1.063 bis, chapitre 13, UCI cycling regulations, version 19.01.09).

- 8) Nos résultats étant négatifs, nous n'avons pas mis en évidence un effet placebo potentiellement lié à la méthode « vivre en haut – s'entraîner en bas ». Par contre, nous n'excluons pas la possibilité que les résultats des études antérieures, qui ne comportaient pas de groupe placebo, n'étaient pas en partie liés à un effet placebo.

Conclusion

En conclusion, les résultats de la présente étude n'ont pas permis de mettre en évidence une amélioration significative de la performance aérobie induite par l'hypoxie, dans notre population de cyclistes entraînés en endurance.

Limites et hypothèses permettant d'expliquer les résultats négatifs observés dans cette étude

Ce paragraphe présente plusieurs hypothèses qui pourraient permettre d'expliquer l'absence d'augmentation des performances dans la population de cyclistes étudiée.

La formulation de ces hypothèses peut donner des axes de travail pour des recherches ultérieures sur la méthode Vivre en haut – s'entraîner en bas.

Hypothèse N°1 : caractéristiques hématologiques des sujets de l'étude

Le volume total de globules rouges, ou encore la masse totale d'hémoglobine (Hb_{mass}) est considéré comme un facteur clé de la performance en endurance. Il n'est donc pas surprenant de constater que les athlètes possèdent une Hb_{mass} plus élevée que celle mesurée dans une population sédentaire. Les valeurs de Hb_{mass} les plus élevées chez l'humain sont observées chez des athlètes élite (équipes nationales de ski nordique, course à pied, cyclisme), les moyennes atteignant généralement 14 g/kg (avec des athlètes ayant 16 g/kg, d'autres ayant 12 g/kg). En comparaison, les valeurs de Hb_{mass} enregistrées dans la population normale sont de l'ordre de 10-11 g/kg.

La question est ici la suivante : chez des athlètes possédant déjà au départ une Hb_{mass} très élevée, est-il encore possible d'améliorer ce paramètre avec une intervention LHTL ?

Le concept de *symmorphose*, développé par Taylor en 1981, suggère qu'au sein du règne animal, les espèces dites « athlétiques » (humaines et animales) ont évolué vers une optimisation de leurs fonctions physiologiques du transport de l'oxygène, de telle sorte qu'il devient très difficile pour elles, de bénéficier de réponses adaptatives supplémentaires.

La figure 1 présentée ci-après suggère que le concept de *symmorphose* pourrait s'appliquer à la méthode LHTL. En effet, le graphique A montre clairement que les effets de LHTL sur Hb_{mass} sont surtout sensibles chez des athlètes ne disposant pas à la base d'un Hb_{mass} élevée. En revanche, les études ayant testé des athlètes possédant au départ une Hb_{mass} très élevée indiquent que le gain de Hb_{mass} consécutif à l'intervention LHTL reste marginal.

C'est le cas de la présente étude, où les athlètes cyclistes sélectionnés présentaient une Hb_{mass} moyenne de départ de 13,5 g/kg, c'est-à-dire proches des valeurs limites supérieures. Comme Hb_{mass} est un facteur déterminant de VO_2max (voir graphique 1C), il n'est pas surprenant de constater qu'une relation similaire peut être observée entre l' Hb_{mass} de départ et le gain de VO_2max obtenu à l'issue d'une préparation LHTL (graphique 1B).

En résumé, il est possible que les résultats négatifs observés ici, à la fois sur le plan hématologique et en termes de performance aérobie, proviennent du fait que les athlètes recrutés pour cette étude avaient à la base des caractéristiques hématologiques

supranormales peu propices à une amélioration hématologique supplémentaire du fait de l'hypoxie.

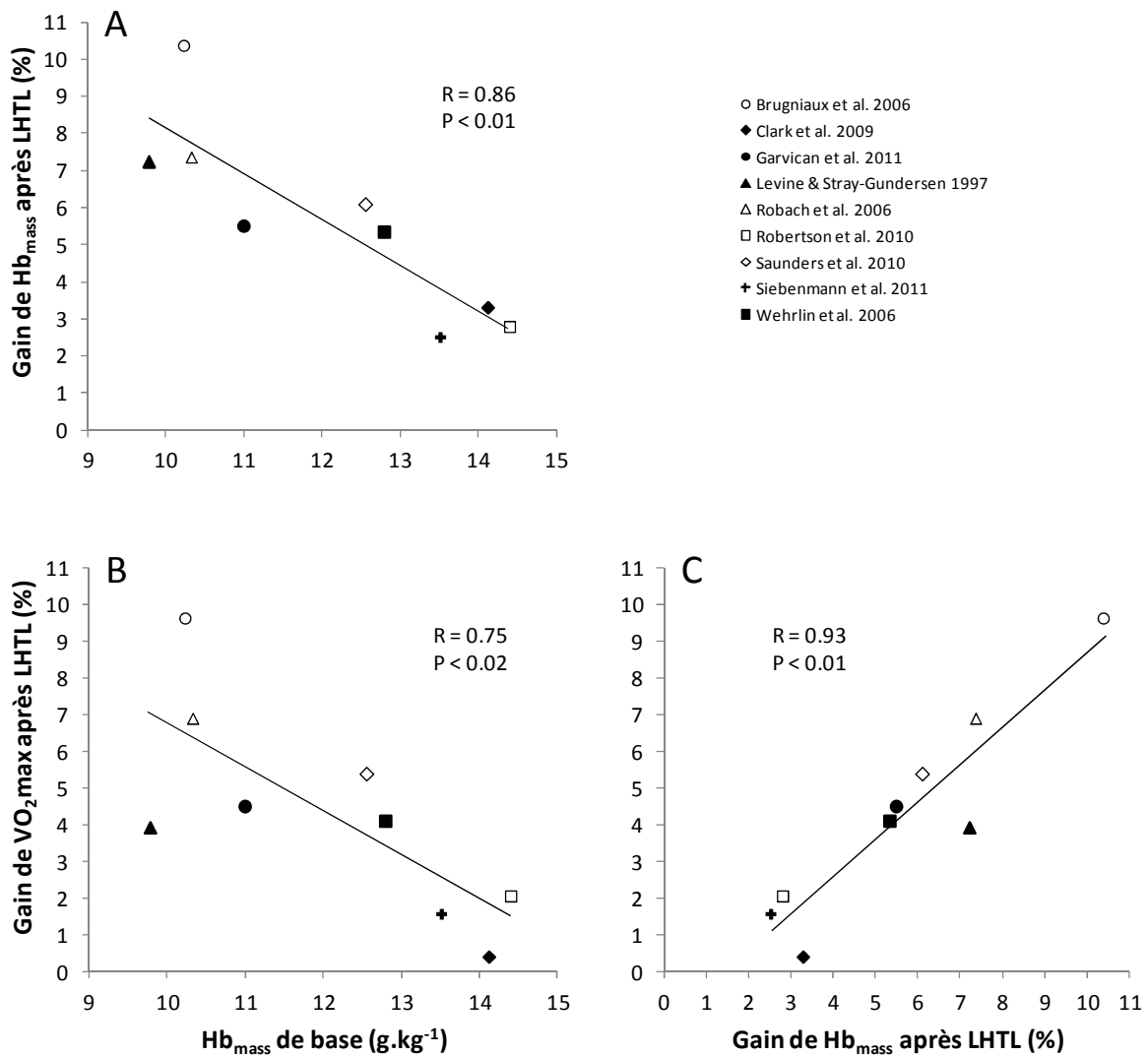


Figure 1. Les deux premiers graphiques montrent la relation existant entre la valeur de base de la masse totale d'hémoglobine (Hb_{mass} , ajustée à la masse corporelle) mesurée avant une intervention Live high-train low (LHTL) et l'augmentation relative de Hb_{mass} (graphique A) ou de la consommation maximale d' O_2 (VO_2max) (graphique B) à l'issue d'une intervention LHTL. Le graphique C montre la relation existant entre le gain de Hb_{mass} consécutif à LHTL et le gain correspondant de VO_2max . La présente analyse a été conduite à partir de neuf études LHTL publiées et conformes aux recommandations actuelles en matière de « dose » d'hypoxie, à savoir une altitude réelle ou simulée > 2000 m et une exposition quotidienne à l'hypoxie > 12 heures. Chaque point correspond à la valeur moyenne indiquée dans une étude donnée. Le point « + » correspond à la présente étude.

En conclusion, cette hypothèse suggère que la méthode LHTL pourrait être plus systématiquement efficace chez des athlètes ne possédant pas au départ une Hb_{mass} très élevée. Deux cas de figures peuvent se présenter : d'une part, dans une population

d'athlètes sub-élites en cours de progression; d'autres part, chez des athlètes élite ne possédant pas une Hb_{mass} particulièrement élevée.

Hypothèse N°2 : l'effet d'un confinement en chambres hypoxiques (Schmitt et Millet 2011)

L'hypothèse principale présentée dans cette étude pour expliquer les résultats est l'effet d'un confinement en chambres hypoxiques. Cet argument ne peut être maintenu car les études rapportant les effets d'une période de 1 semaine à 15 jours en position couchée (tête en bas à 6% d'inclinaison) ont montré des effets plus faibles de baisse des volumes sanguin total et plasmatique que pendant cette étude. La réduction du volume plasmatique (-13.8% et -14.8% à la semaine 3 et 4 pour le groupe Placebo, identique pour le groupe LHTL -13.7% à la semaine 4) est supérieure aux observations réalisées dans des études avec confinement strict en situation de repos couché. De plus il a été démontré scientifiquement que la situation de repos couché combinée avec l'exercice physique permettait de contrebalancer la baisse de volume plasmatique. Il est donc improbable que la réduction du volume plasmatique soit induite par le confinement.

Lors des précédentes études sur l'entraînement en hypoxie réalisées au CNSN Prémanon (tableau ci-dessous), nous avons observé des baisses de volume plasmatique et sanguin de même niveau ou plus importantes, toujours associées dans ce cas avec une mauvaise évolution en termes de performance ; le groupe contrôle en ski nordique par exemple, alors qu'il n'y avait aucun confinement dans ce groupe. Globalement, les sujets de ce groupe avaient montré un effet fatigue au cours du stage.

Volume plasmatique

Etudes	Sports	groupes	Pre	Post	% Change
Robach et al. (2006a)	Nordic Skiers	Cont (Post2)	3.84	3.34	-13%
		LHTL	3.61	3.60	0%
Robach et al. (2006b)	Swimmers	Cont	2.53	2.57	+1.5%
		LHTL	2.60	2.66	+2.3%
Brugniaux et al. (2006)	Runners	Cont	2.5	2.3	-8%
		LHTL	2.1	2.3	+9.5%
Siebenmann et al. (2011)	Cyclists	Cont (W3)	3.98	3.43	-13.8%
		LHTL (W3)	3.86	3.05	-20.1%

Volume sanguin

Etudes	Sports	groupes	Pre	Post	% Change
Robach et al. (2006a)	Nordic Skiers	Cont	6.71	5.96	-11.2%
		LHTL	6.30	6.29	0%
	Swimmers	Cont	4.69	4.72	+0.6%

Robach et al. (20006b)	Swimmers	Cont	4.69	4.72	+0.6%
		LHTL	4.84	5.08	+5.0%
Brugniaux et al. (2006)	Runners	Cont	4.3	4.2	-2.3%
		LHTL	4.0	4.4	+10%
Siebenmann et al. (2011)	Cyclists	Cont (W3)	6.97	6.44	-7.6%
		LHTL (W3)	6.69	5.84	-12.7%

Tableau 1 – Evolutions des volumes plasmatique et sanguin dans les études LHTL réalisées dans les mêmes conditions (Prémanon, France) avec des athlètes élités.

Hypothèse N°3 : l'effet de la fatigue (Schmitt et Millet 2011)

Un effet fatigue dans le groupe LHTL expliquerait le niveau de performance qui ne s'améliore pas et la diminution du volume sanguin total. Il faut noter que les analyses statistiques de groupe donnant des valeurs moyennées peuvent ne pas révéler les états de fatigue qui sont très individualisées. Les facteurs de fatigue analysés à partir de la mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) sont différenciés et lors d'une analyse moyennée peuvent s'annuler. Il est alors intéressant d'analyser l'amplitude des écarts-types. L'analyse individuelle de la fatigue à partir de VFC reste à faire dans cette étude.

Hypothèse N°4 : l'entraînement réalisé (Schmitt et Millet 2011)

Une autre hypothèse concerne l'entraînement réalisé pendant l'étude. Premier point, il n'y a pas eu d'analyse de l'entraînement dans les mois précédant l'étude. Il avait été demandé aux cyclistes de réaliser l'entraînement qu'ils avaient l'habitude de faire. On peut penser que des athlètes partant s'entraîner par groupe sans se connaître les uns les autres n'ont pas respecté leurs allures d'entraînement habituelles, de telle sorte qu'un effet « compétition » a pu se manifester chez des athlètes et que certains se soient entraîné à des intensités trop élevées pour eux.

L'analyse de l'entraînement réalisée dans l'étude donne des informations significatives répondant à ces hypothèses.

Il est indiqué un volume d'entraînement par semaine faible pour des cyclistes de bon niveau : 5 à 15 heures ; ce qui représente 2 à 5 séances d'entraînement par semaine. Un effet désentraînement pourrait être possible mais nous n'avons aucune indication sur l'entraînement habituel de ces cyclistes.

L'analyse de l'intensité d'entraînement réalisée (en % de FCmax) (tableaux ci-dessous), montre que les préconisations d'adaptation de l'intensité d'entraînement en altitude n'ont pas été respectées. En fin de semaine précédant l'entrée en hypoxie, les cyclistes ont réalisé

3 tests d'effort maximaux ; ensuite lors de la première semaine en hypoxie, 32% de l'entraînement a été réalisé au dessus du seuil lactique, dont 8 à 10% au dessus du seuil d'accumulation lactique. Cet enchaînement de tests maximaux puis d'entraînement relativement intensif ne peut permettre de mener correctement la phase d'acclimatation à l'hypoxie qui conditionne grandement la réussite de ce type de stage.

Cyclistes

	group	W1 (7j)	W2 (7j)	W3 (7j)	W4 (7j)
50-60% HR _{max}	LHTL	16%-2h05	19%-2h28	11%-0h46	13%-0h39
60-70% HR _{max}	LHTL	22%-2h52	25%-3h15	20%-1h24	28%-1h24
70-80% HR _{max}	LHTL	32%-4h09	27%-3h30	32%-2h14	29%-1h27
80-90% HR _{max}	LHTL	22%-2h52	22%-2h52	29%-2h02	22%-1h06
90-100% HR _{max}	LHTL	8%-1h02	7%-0h55	8%-0h34	8%-0h24
Total	LHTL	13h	13h	7h	5h

Tableau 2 : intensité d'entraînement exprimée en pourcentage du temps d'entraînement dans les semaines pendant la période LHTL (Siebenman et al. 2011).

En comparant la présente étude avec les études précédemment réalisées au CNSN de Prémamanon avec des skieurs nordiques, nageurs et coureurs de ½ fond, nous observons des différences importantes en termes d'intensité d'entraînement.

Ski nordique

	group	W1 (6j)	W2 (6j)	W3 (6j)
muscul	LHTL	4%-0h38	3%-0h24	3%-0h18
< 75% HR _{max}	LHTL	89%-12h27	90%-10h53	82%-8h24
75-85% HR _{max}	LHTL	7%-0h53	5%-0h31	13%-1h17
85-90% HR _{max}	LHTL	0%-0h00	0%-0h00	3%-0h18
90-100% HR _{max}	LHTL	0%-0h00	2%-0h14	0%-0h00
Total	LHTL	13h57	12h01	10h16

Natation

	group	W1 (7j)	W2 (7j)
muscul	LHTL	2%-0h26	2%-0h28
< 75% HR _{max}	LHTL	61%-14h16	58%-14h09
75-85% HR _{max}	LHTL	30%-7h04	29%-7h03
85-90% HR _{max}	LHTL	5%-1h03	8%-2h00
90-100% HR _{max}	LHTL	3%-0h45	4%-0h51
Total	LHTL	23h34	24h32

½ fond athlétisme

	group	W1 (6j)	W2 (6j)	W3 (6j)
muscul	LHTL	0%-0h00	4%-0h15	5%-0h20
< 75% HR _{max}	LHTL	73%-4h45	71%-5h00	68%-5h00
75-85% HR _{max}	LHTL	19%-1h15	15%-1h05	14%-1h03

85-90% HRmax	LHTL	5%-0h20	6%-0h25	11%-0h51
90-100% HRmax	LHTL	3%-0h10	5%-0h20	2%-0h10
Total	LHTL	6h30	7h05	7h24

Tableau 3 : intensité d'entraînement, exprimée en pourcentage du temps d'entraînement, chaque semaine, pendant la période LHTL (Schmitt et al. 2006).

On observe que 31,5% du temps d'entraînement chez les cyclistes était réalisé entre 80-100% FC_{max} dont **7,8%** entre 90-100% FC_{max} , alors que dans les autres études nous avons noté : 1,7% du temps d'entraînement entre 85-100% FC_{max} dont **0,7%** entre 90-100% FC_{max} chez les skieurs nordiques, 10% entre 85-100% FC_{max} dont **3,5%** entre 90-100% FC_{max} chez les nageurs, et 10,7% entre 85-100% FC_{max} dont **3,3%** entre 90-100% FC_{max} chez les coureurs de ½ fond. Cette analyse relate un entraînement réalisé à une intensité (% FC_{max}) nettement plus élevée dans l'étude Siebenman (2011) que dans les études précédemment réalisées sur le même site d'entraînement.

Nous pensons donc que l'entraînement réalisé était inadapté à la combinaison stress hypoxique et entraînement.

Conclusion:

Cette étude vient se ranger dans le groupe d'études scientifiques ne montrant pas d'effets positifs de la méthode LHTL, en comparaison d'un groupe contrôle. Les informations et hypothèses explicatives pouvant être retirées sont alors aussi importantes pour les recommandations pour l'entraînement de haut niveau que peut l'être un mauvais résultat en compétition. L'entraînement en hypoxie répond aux mêmes problématiques de complexité que l'entraînement classique. Il s'agit bien d'être dans une approche individuelle, adaptative, sous l'influence de facteurs multiples. Les généralisations et préconisations scientifiques, réalisées à partir d'un groupe d'individus, sont donc à prendre avec de grandes précautions.