FRANCHE-COMTÉ CNSN Prémanon

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA JEUNESSE, DES SPORTS ET DE LA VIE ASSOCIATIVE

L'ENTRAÎNEMENT EN ALTITUDE

Dr Laurent SCHMITT, Centre National de Ski Nordique, 39220 Prémanon

Laurent.schmitt@jeunesse-sports.gouv.fr **tél : 03 84 60 74 88**

But de l'entraînement en altitude?

Améliorer la performance en altitude par l'acclimatation et l'augmentation des capacités aérobies (VO2max, PSV2)

Améliorer la performance en basse altitude par l'augmentation des capacités aérobies (VO2max, PSV2)

Améliorer la capacité à assimiler une charge d'entraînement supérieure à celle normalement réalisée : effet différé du stage en altitude pour une période d'entraînement en basse altitude

Philosophie de l'entraînement

L'entraînement en altitude (ou en hypoxie) doit être envisagé en fin de formation du sportif de haut niveau.

Il est proposé lorsque les méthodes de développement classique des qualités d'endurance ont permis d'atteindre un certain plateau de performance

Cette méthode ne devrait pas être proposée à de jeunes sportifs

L'entraînement en hypoxie est complexe et n'apporte pas systématiquement une amélioration des performances. Les conditions de réussite et d'échecs sont multiples

DEFINITION BIOLOGIQUE DE L'ALTITUDE

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Qu'est-ce que l'hypoxie ?

On parle d'**hypoxie** lorsque le transport de l'**oxygène**, mesuré par la pression artérielle en oxygène (PO_2) est insuffisant pour satisfaire la demande tissulaire en ATP (**énergie**).

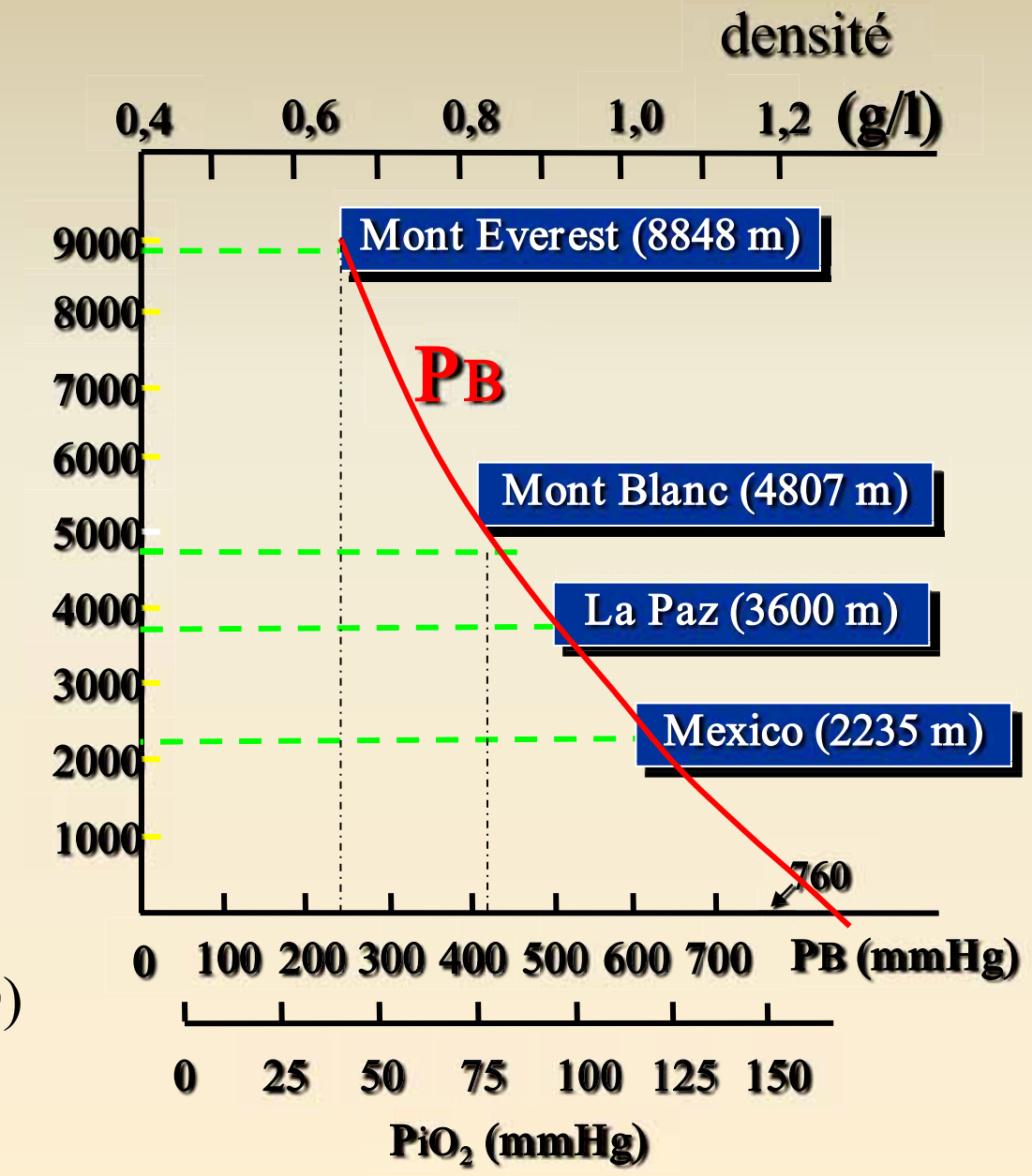
$$PiO_2 = [FiO_2 \times (PB - 47\ mmHg)]$$

PiO_2 = pression artérielle inspiratoire en O_2,
FiO_2 = fraction inspiratoire en O_2,
PB = pression barométrique

Baisse de la pression barométrique et de la densité de l 'air en fonction de l 'altitude

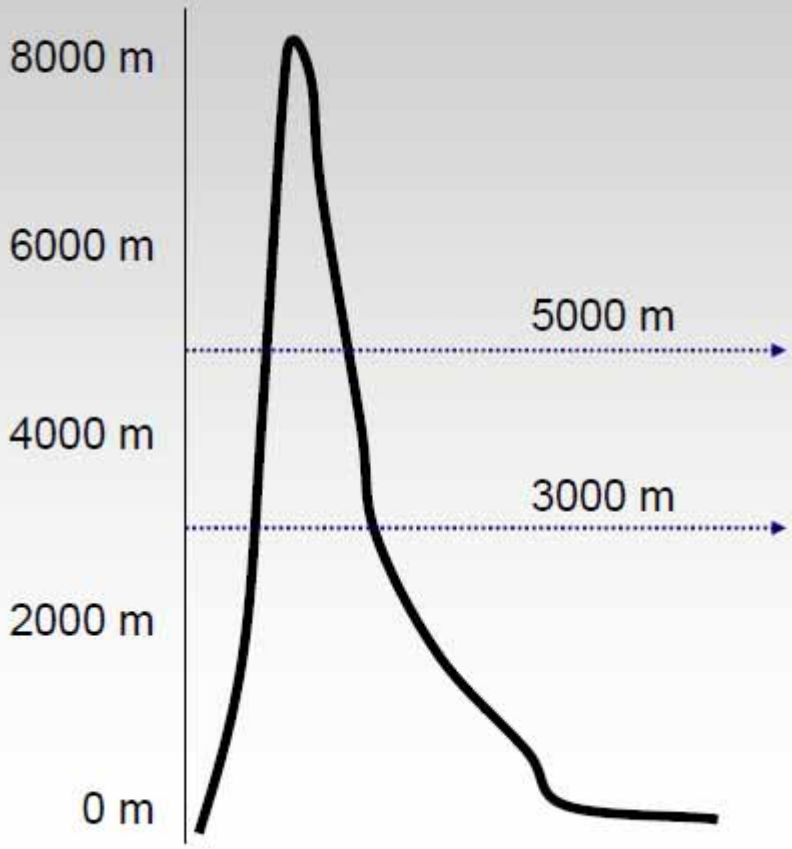
HYPOXIE = Manque d'oxygène

$PiO_2 = FiO_2 \times (PB - PH_2O)$



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

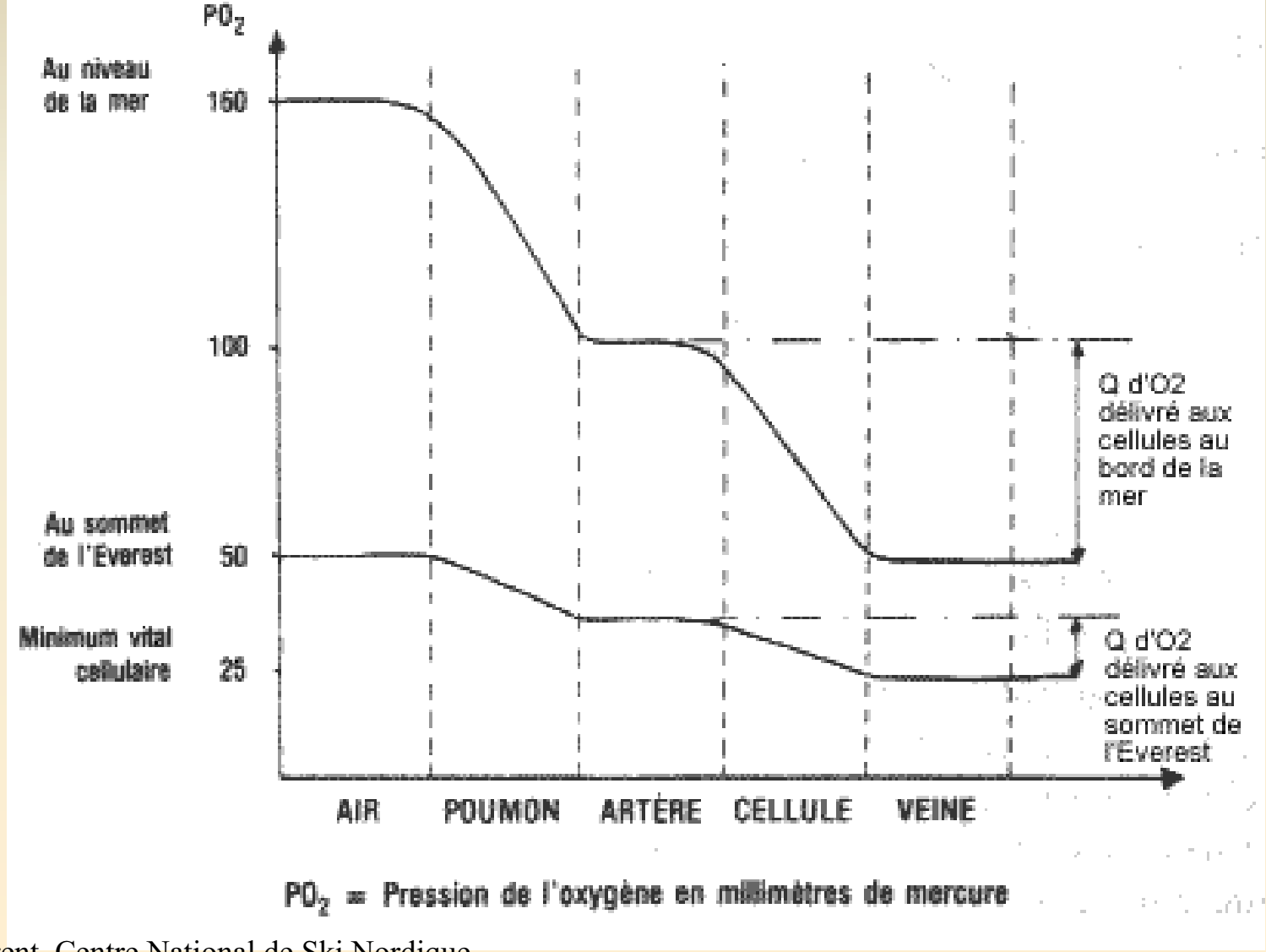
Effets de l'altitude réelle



$$PpO_2 = (P_{Atm} - P_{H_2O}) \times FiO_2$$

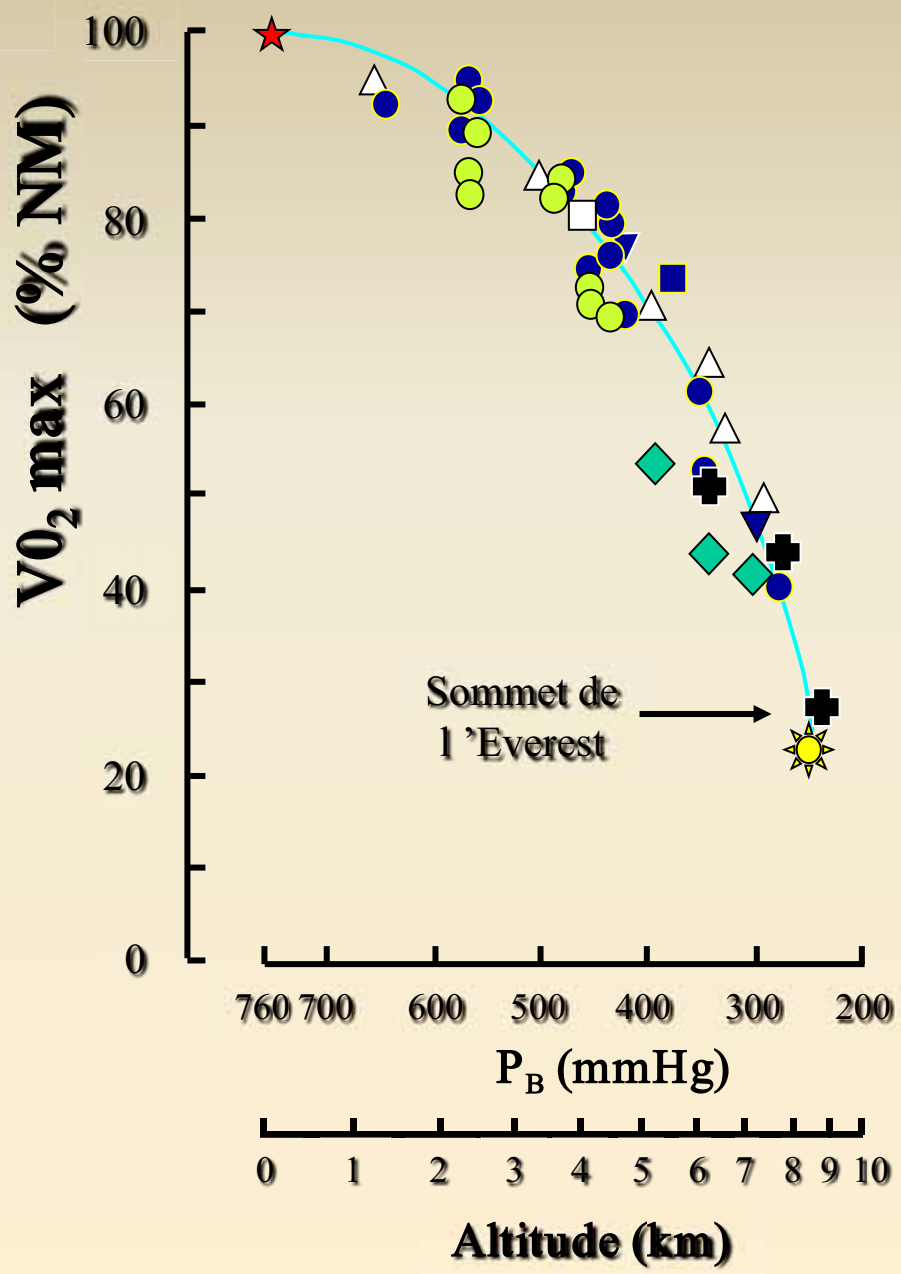
Pression atmosphérique mmHg	PpO_2 mmHg	FiO_2 à la pression atmosphérique
400	75	10%
440	84	12%
480	92	13%
520	100	14%
560	109	15%
600	117	16%
640	126	17%
680	134	19%
720	142	20%
760	151	21%

Effet de l'hypoxie sur la diminution de la PO_2 dans la cascade de l'oxygène



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

La puissance maximale aérobie (VO_2max) diminue avec l'altitude



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

VE /$\dot{V}O_2$ et altitude

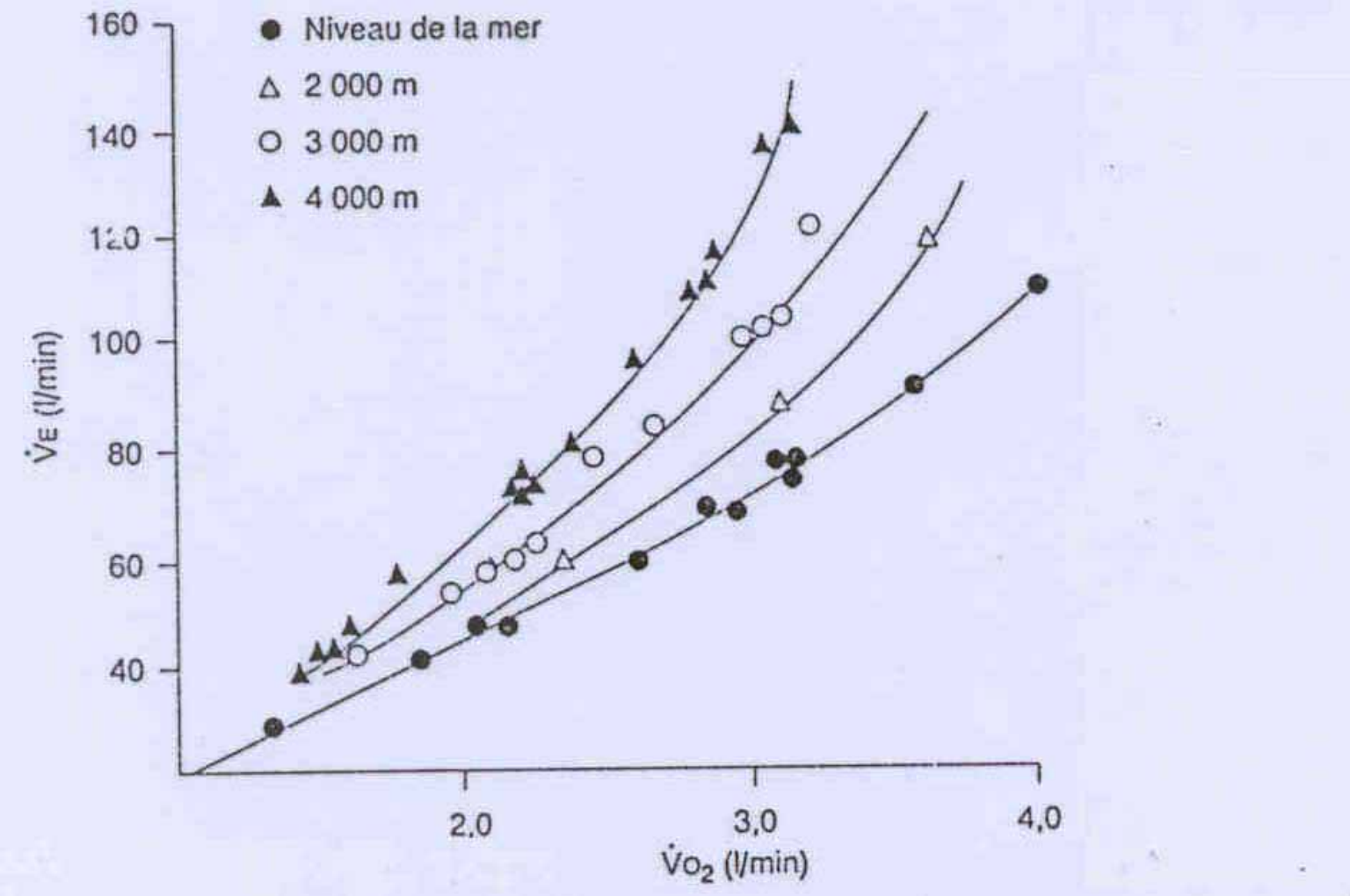


FIG. 7-2. – *Évolution de la ventilation pulmonaire en fonction de la consommation d'oxygène selon l'altitude* (d'après Pugh, in *Handbook of physiology*, 1964).

SaO_2 et altitude

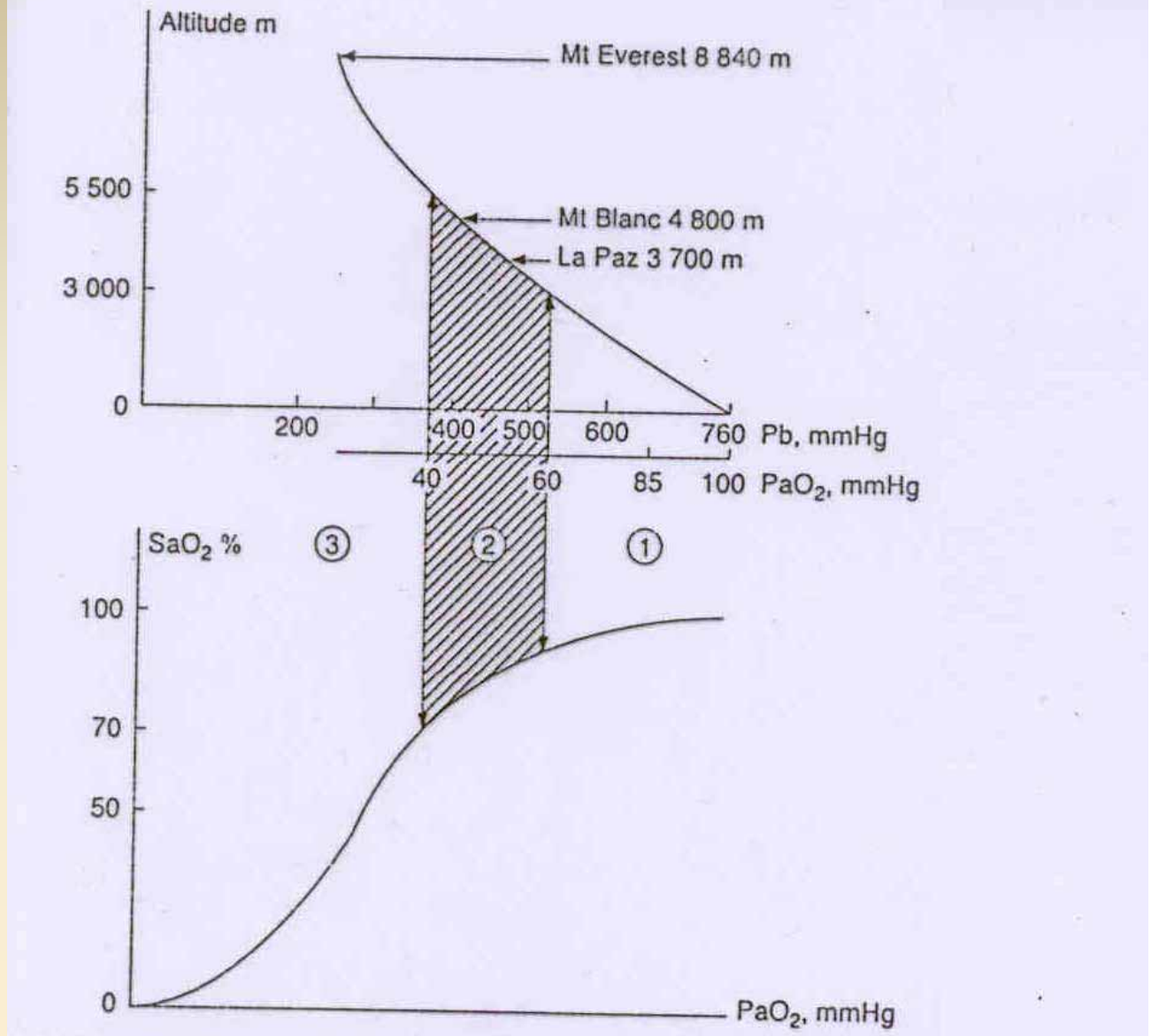


FIG. 7-1. – *Relation pression barc nétrique (P_B) – altitude*. En abcisse, ont été représentées quelques valeurs de pression partielle en oxygène dans le sang artériel (Pa_{O_2}) correspondant à différentes altitudes et P_B. Pour ces mêmes valeurs, a été tracée, au-dessous, la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine (relation saturation en O_2 (Sa_{O_2}-Pa_{O_2}).

Effet de l'altitude sur la performance en course à pied

AUGMENTATION des temps de course à 2235 mètres (MEXICO)

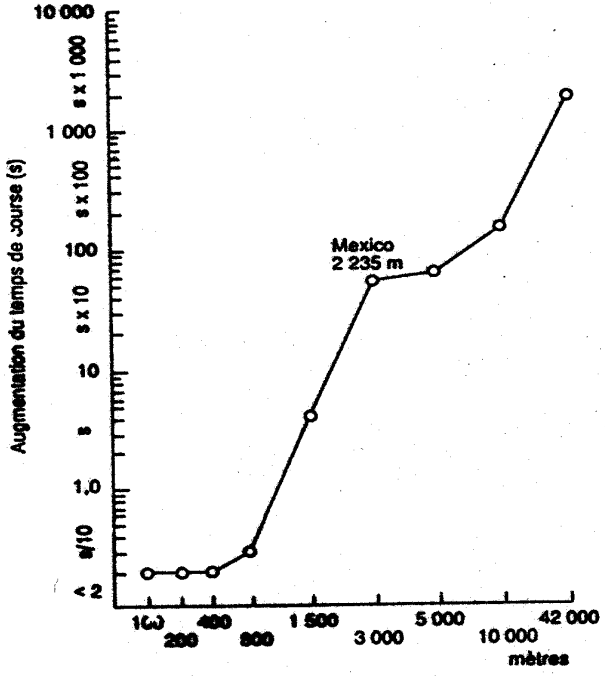
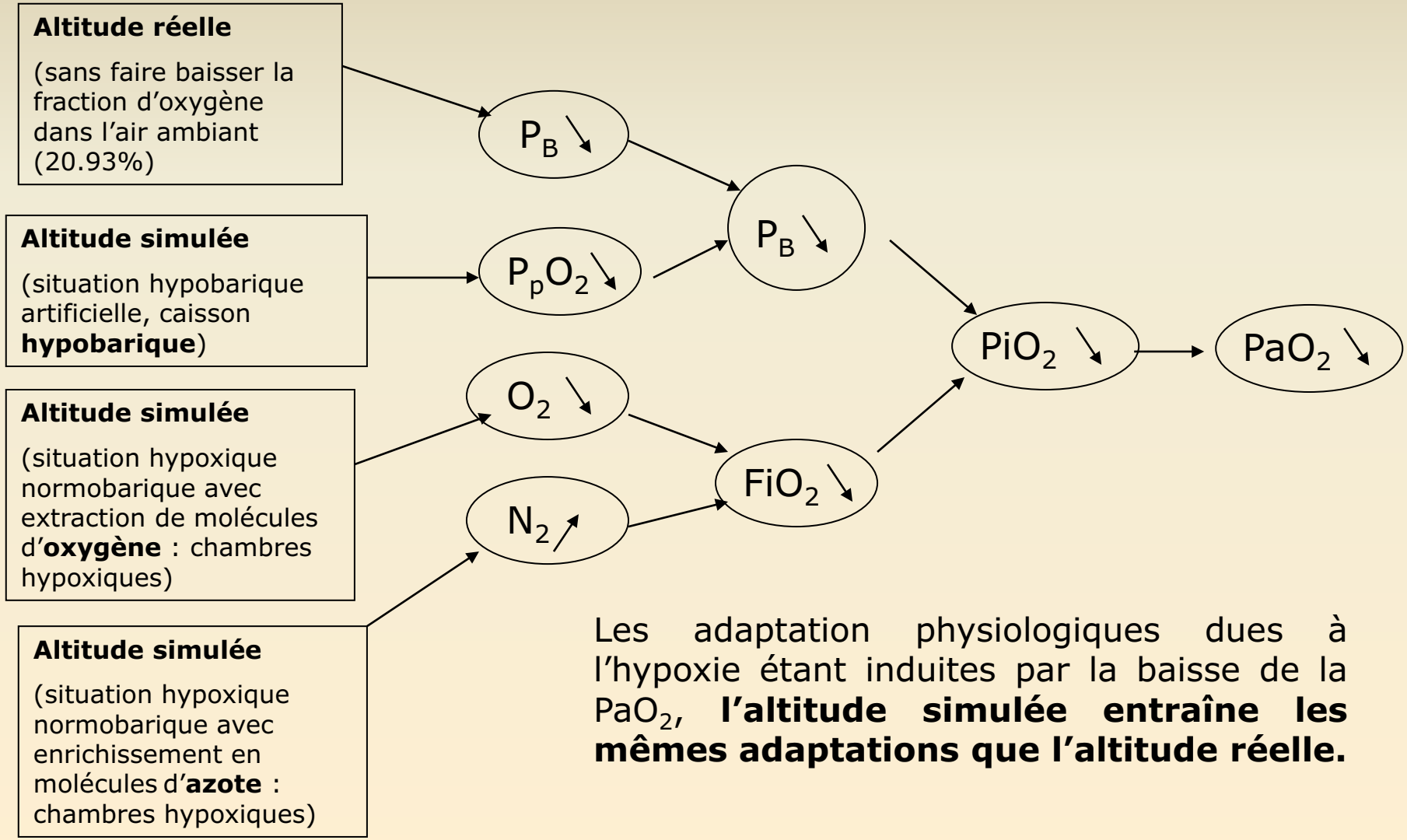


FIG. 7-4. – *Augmentation du temps de course en altitude (2 235 m) par rapport aux performances du niveau de la mer (d'après Physiologie du Sport*, H. Monod et R. Flandrois, Masson, Paris, 1990.

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

La baisse de PaO_2 peut être provoquée par différentes situations hypoxiques



Les adaptation physiologiques dues à l'hypoxie étant induites par la baisse de la PaO_2, **l'altitude simulée entraîne les mêmes adaptations que l'altitude réelle.**

Effets recherchés de l'entraînement en hypoxie

Transport sanguin de l'oxygène : augmentation du volume d'éjection systolique, augmentation du nombre de molécules d'hémoglobine, de globules rouges, du volume globulaire moyen

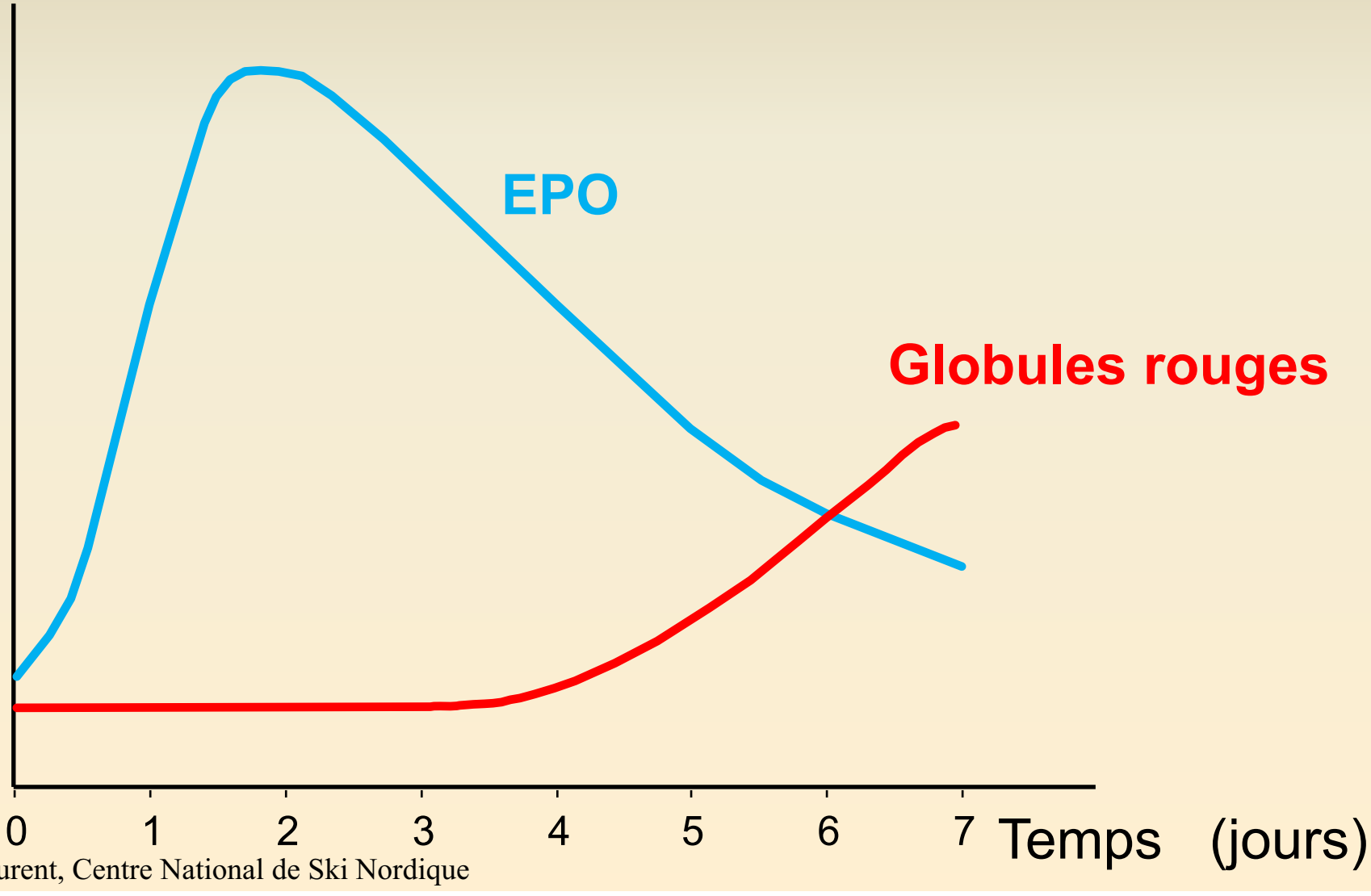
Diffusion de l'oxygène dans la mitochondrie : augmentation de la vascularisation musculaire, augmentation du 2,3 diphosphoglycérate (2,3 DPG)

Utilisation de l'oxygène au niveau cellulaire : augmentation de la myoglobine, augmentation du nombre et du volume des mitochondries, augmentation des enzymes de la respiration mitochondriale (cycle de Krebs)

Utilisation des acides gras libres (AGL) comme substrats énergétiques, augmentation des enzymes de la bêta-oxydation

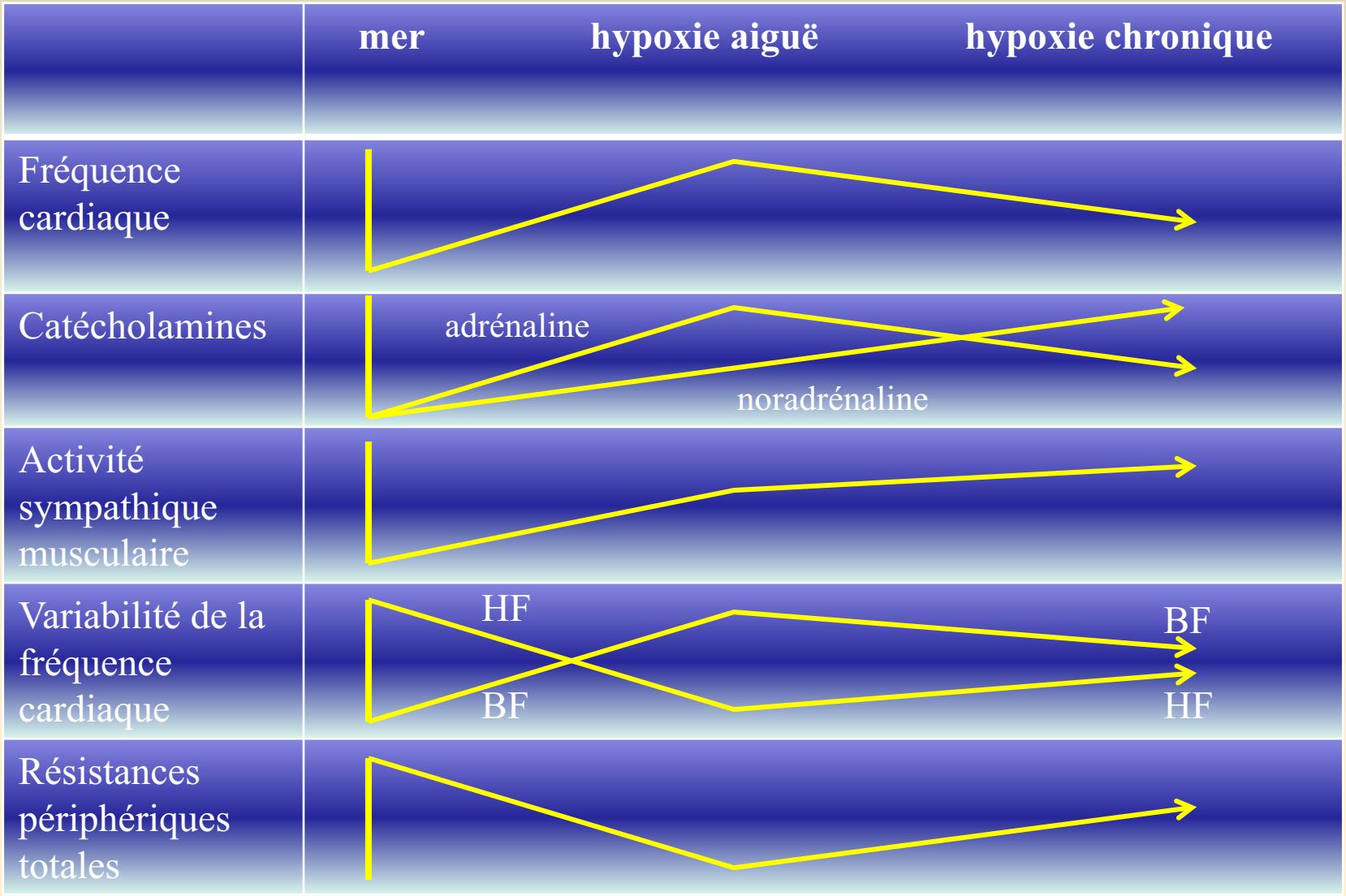
Augmentation du pouvoir tampon sanguin et musculaire

Evolution de la concentration sérique d ’EPO et du nb de globules rouges au cours d ’un séjour en altitude élevée.



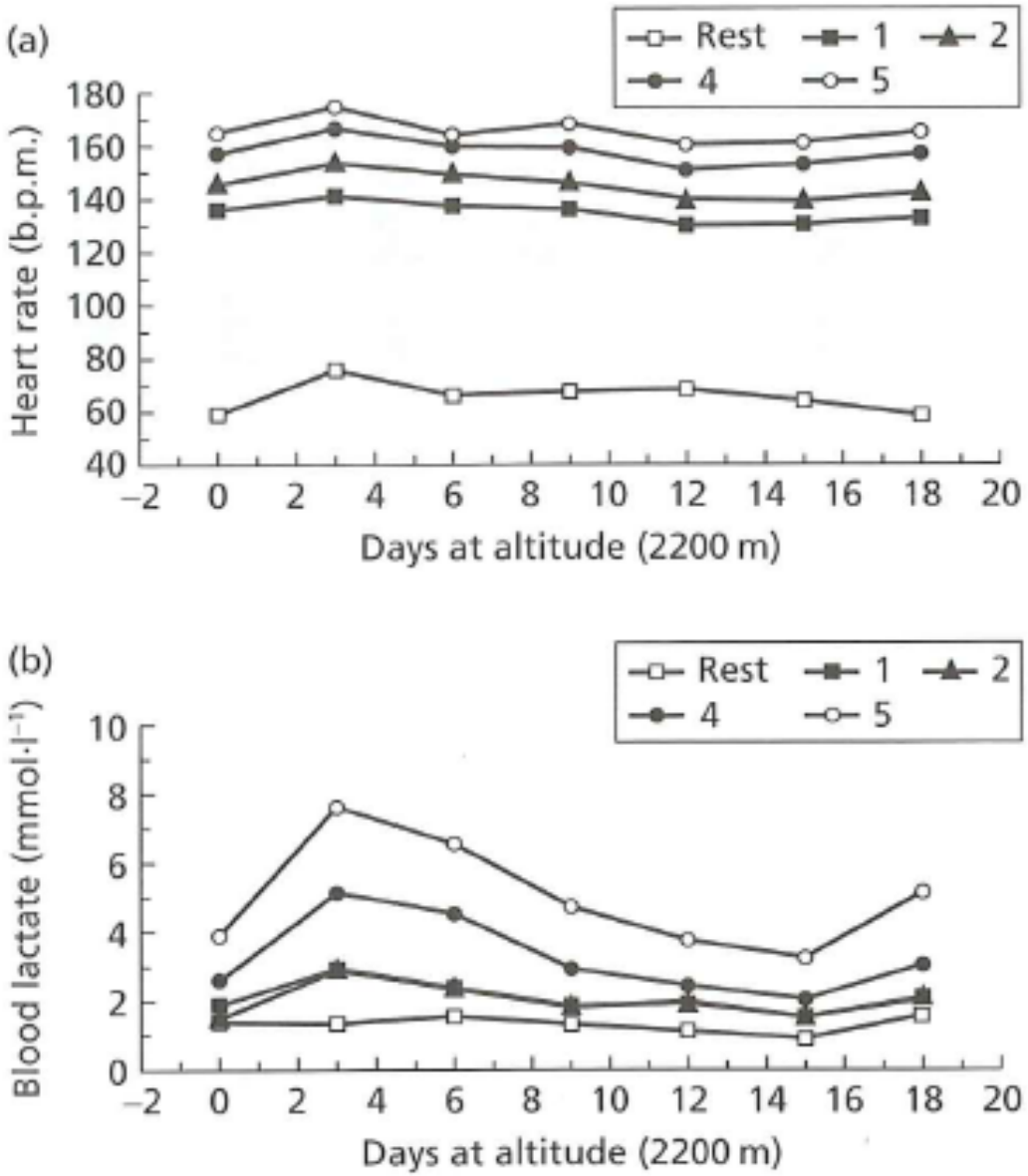
Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Les adaptations neuro-végétatives et cardiaques pendant un stage en hypoxie



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

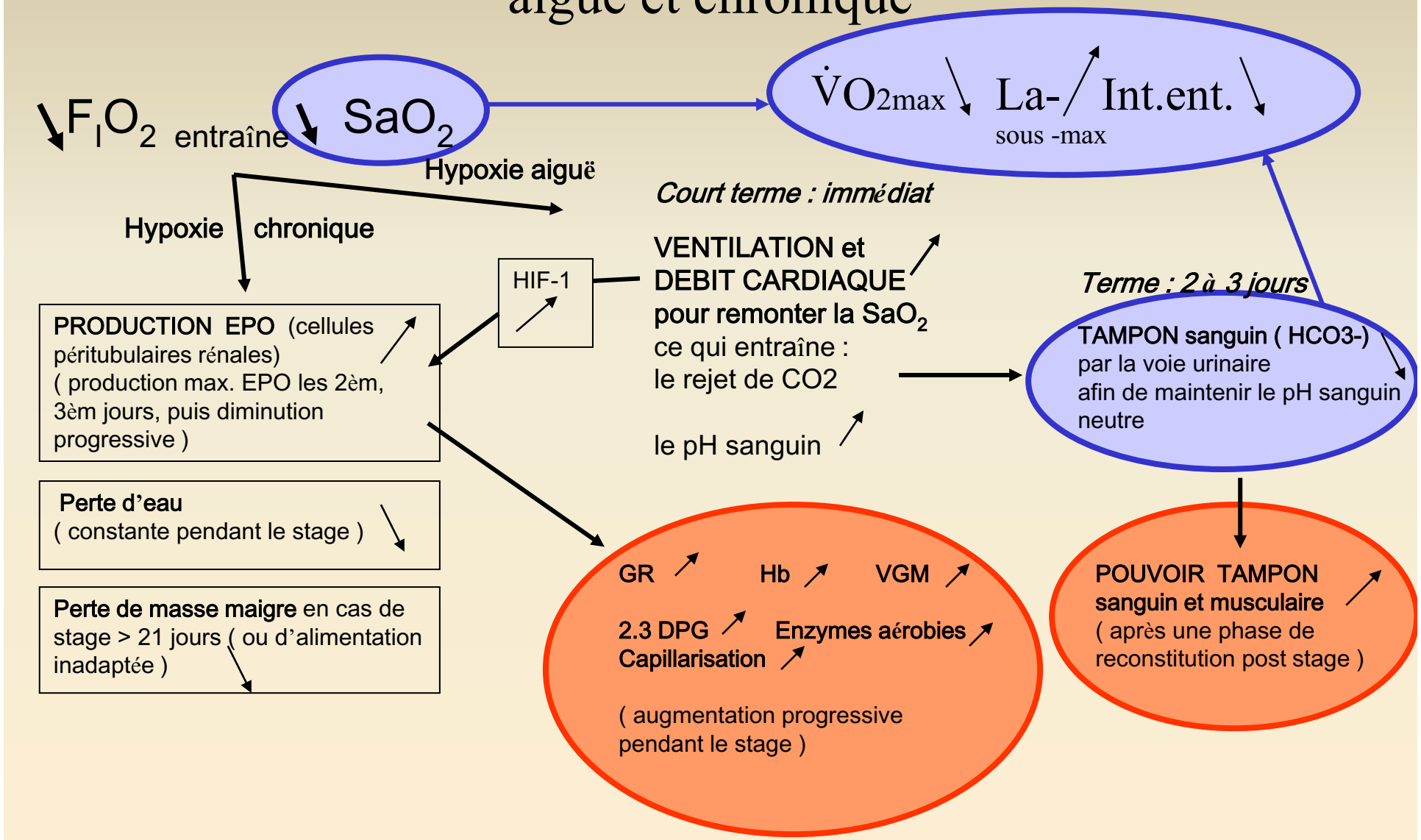
Paradoxe du lactate en altitude



Fréquence cardiaque (a) et taux de lactate sanguin (b) mesurés au cours d'un test de 4 fois 4 minutes avec des inclinaisons de pente de 1, 2, 4 et 5° à intensité sous-maximale constante sur tapis roulant. Le test était réalisé tous les 3 jours à une altitude de 2300 mètres chez des skieurs de fond de niveau international. (in Cross country skiing, IOC Medical Commission Publication, Ed. Blackwell Publishing, Rusko, p. 160, 2003)

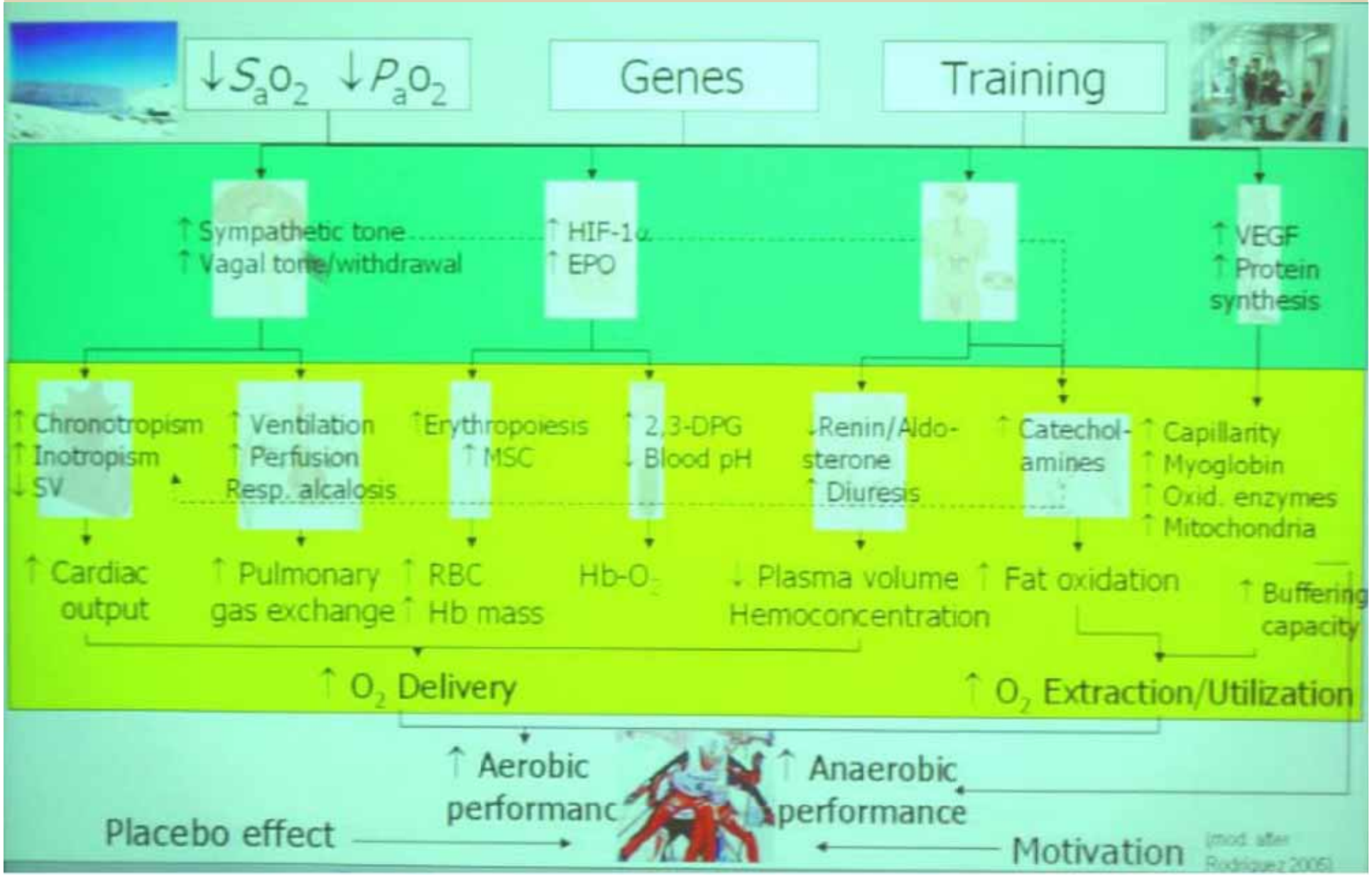
Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

synthèse des adaptations physiologiques à l'hypoxie aiguë et chronique

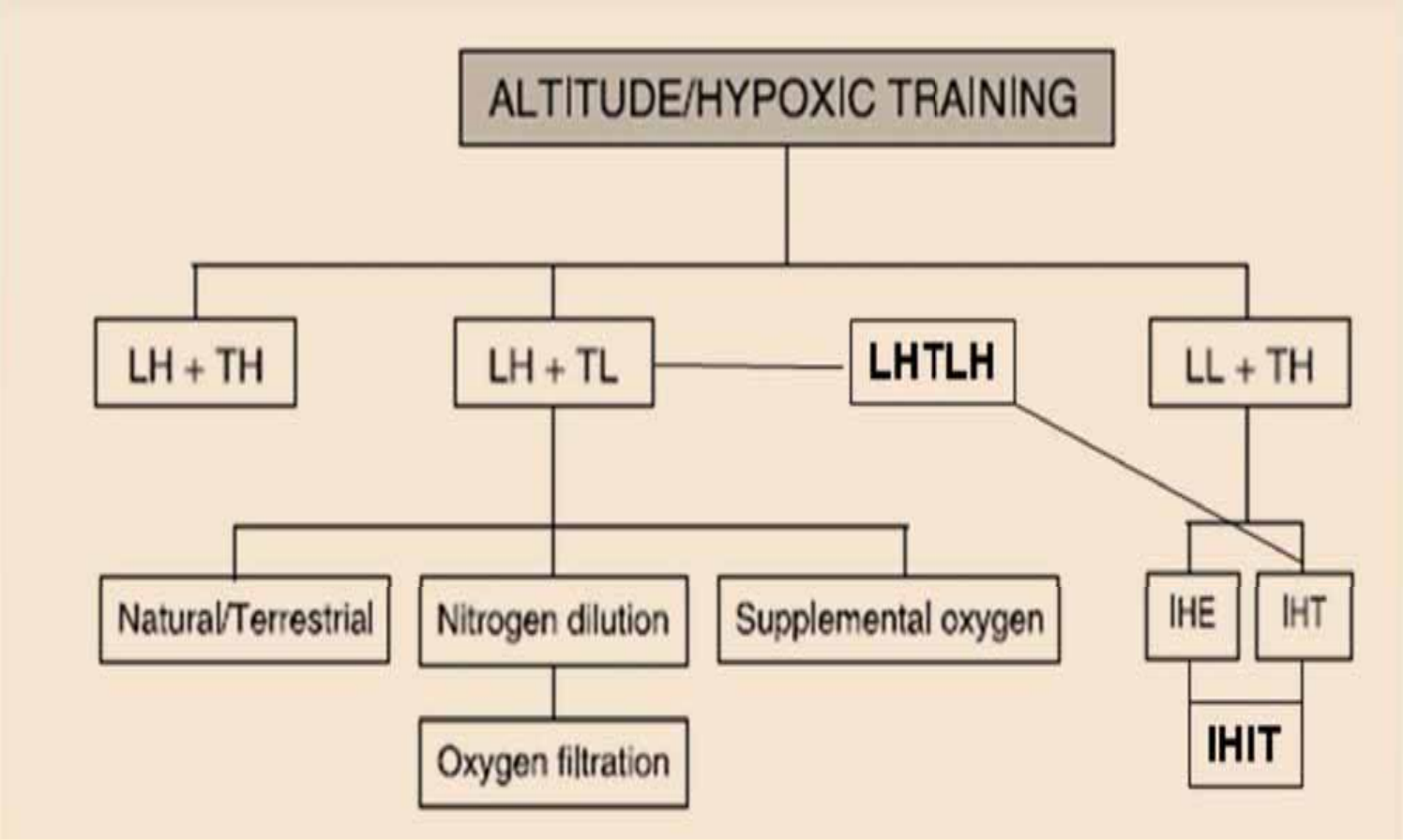


Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

adaptations physiologiques à l'hypoxie



Les différentes méthodes d'entraînement en hypoxie



Types d'entraînement en hypoxie

Méthode Hi-Hi :

La méthode « Hi-Hi » consiste à vivre et s'entraîner en altitude moyenne et constante (1800m – 2200m)

Méthode Hi-Lo :

Cette méthode consiste à vivre en altitude moyenne à élevée (2200 – 3000m) et s'entraîner à basse altitude (0 – 1000m)

Méthode Lo-Hi :

La méthode « Lo-Hi» consiste à vivre en normoxie et à réaliser une partie de l'entraînement en altitude (2500 – 3000m)

Méthode Hi-Hi
s'entraîner et vivre au même niveau d'altitude

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Entraînement en phase aiguë

$\dot{V}O_2max$ est diminuée, VE /$\dot{V}O_2$ est augmenté

Les lactates sont augmentés pour une intensité d'exercice sous-maximale ; le pouvoir tampon (sanguin et musculaire) est affaissé

La balance neuro-végétative s'est inversée ; le système sympathique est fortement activé et la parasympathique affaissé . FC augmente au repos et à l'effort

L'utilisation du glycogène est augmentée

Les allures d'entraînement doivent être diminuées afin de maintenir un équilibre acido-basique identique à l'entraînement en basse altitude.

Entraînement en zone aérobie stricte préconisé.

Recommandations en phase aiguë

Entraînement aérobie < SV1, contrôler sa FC, volume en augmentation progressive

Placer des séquences d'activité explosive et/ou technique

Allonger les délais de récupération entre les séries et les répétitions (+ 30% par rapport au niveau mer)

Périodiser l'entraînement sous forme 3 j ent. - 1 j repos

Hydratation très importante (+ 1,5 l /j/ habitude)
Glucides lents à chaque repas
Apports de fer, d'oméga 3
Récupération très importante : jacuzzi, massages
Ne pas s'énerver le soir, faciliter l'endormissement

Entraînement en période d'acclimatation

Après la phase aiguë (6 à 8 jours), placer 1 jour de repos complet

Hb augmente

Pouvoir tampon sanguin augmente

Le taux de lactates diminue pour la même intensité d'entraînement sous-maximale relative

Paradoxe du lactates : le taux peut devenir inférieur à ce qu'il est pour le même niveau d'intensité d'exercice réalisé en basse altitude (utilisation supérieure des AGL)

La balance neuro-végétative tend à se rétablir : HF remonte, LF diminue et FC baisse au repos et à l'effort

L'intensité de l'entraînement peut être augmentée progressivement

Entraînement en période d'acclimatation

L'intensité de l'entraînement va être progressivement augmentée.

1er : Entraînement en zone de compensation acido-basique

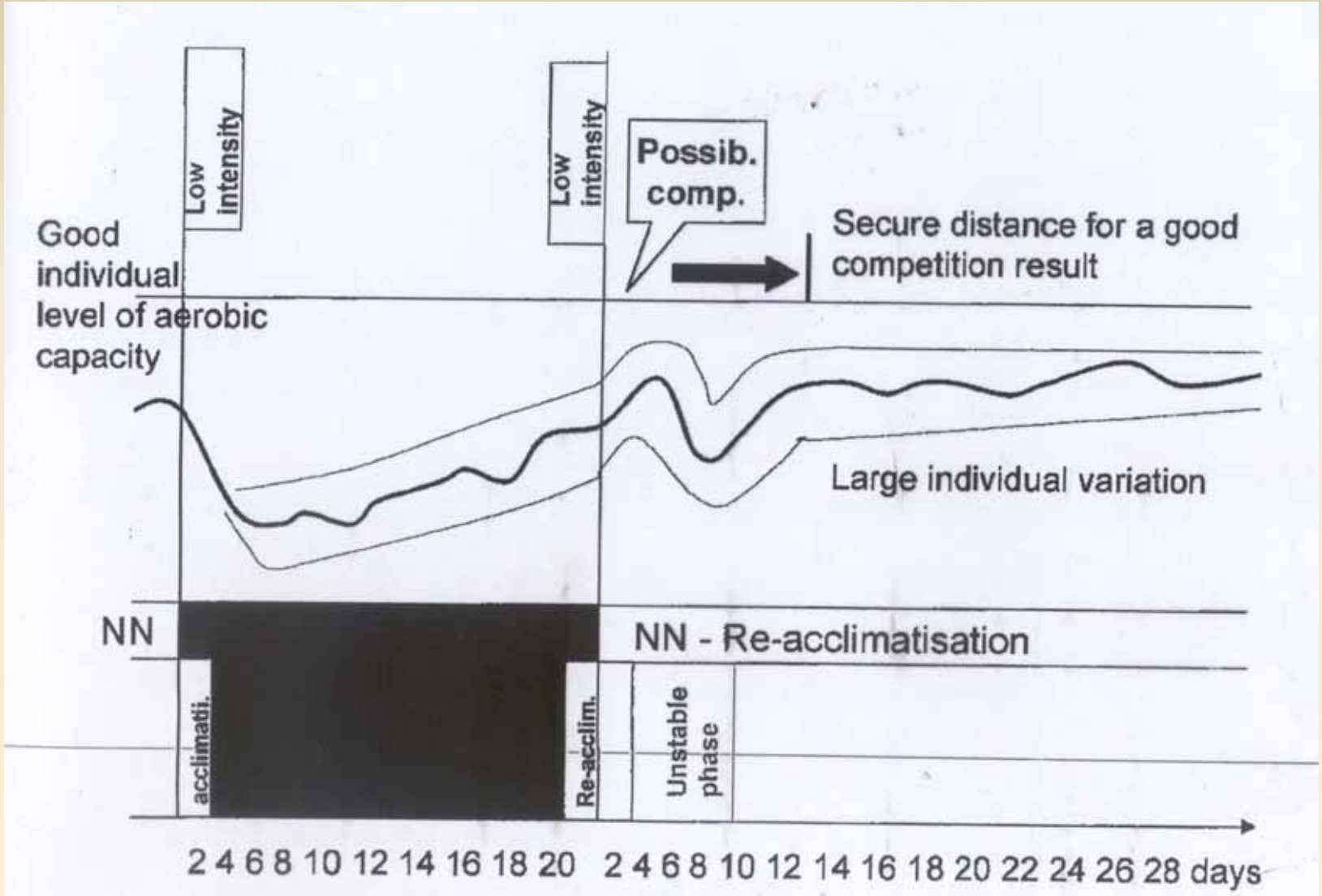
2èm : Entraînement en zone de décompensation acido-basique possible en 2èm semaine

Exemple d'entraînement sur 21 jours

Altitude training					
21 Days					
1---2---3---4---5---6--7--8--9--10---11---12---13---14---15---16---17---18---19---20---21					
6 MICROCYCLES					
2 Days	4 Days	4 Days	4 Days	4 Days	3 Days
4 Phases					
2 Days Accli – mati - sation	7 Days General training period - Aerobic training - Sprint training - Strength training	10 Days Specific training period - Aerobic training - Anaerobic training - Sprint training - Race pace training - Strength training			2 Days Recupe - ration

Ørjan Madsen - *Hypoxia--The Magic Pill to Enhance Performance in Endurance Sports in the 21st Century*. SYMPOSIUM ON ALTITUDE TRAINING AND RESEARCH, Flagstaff, 1999

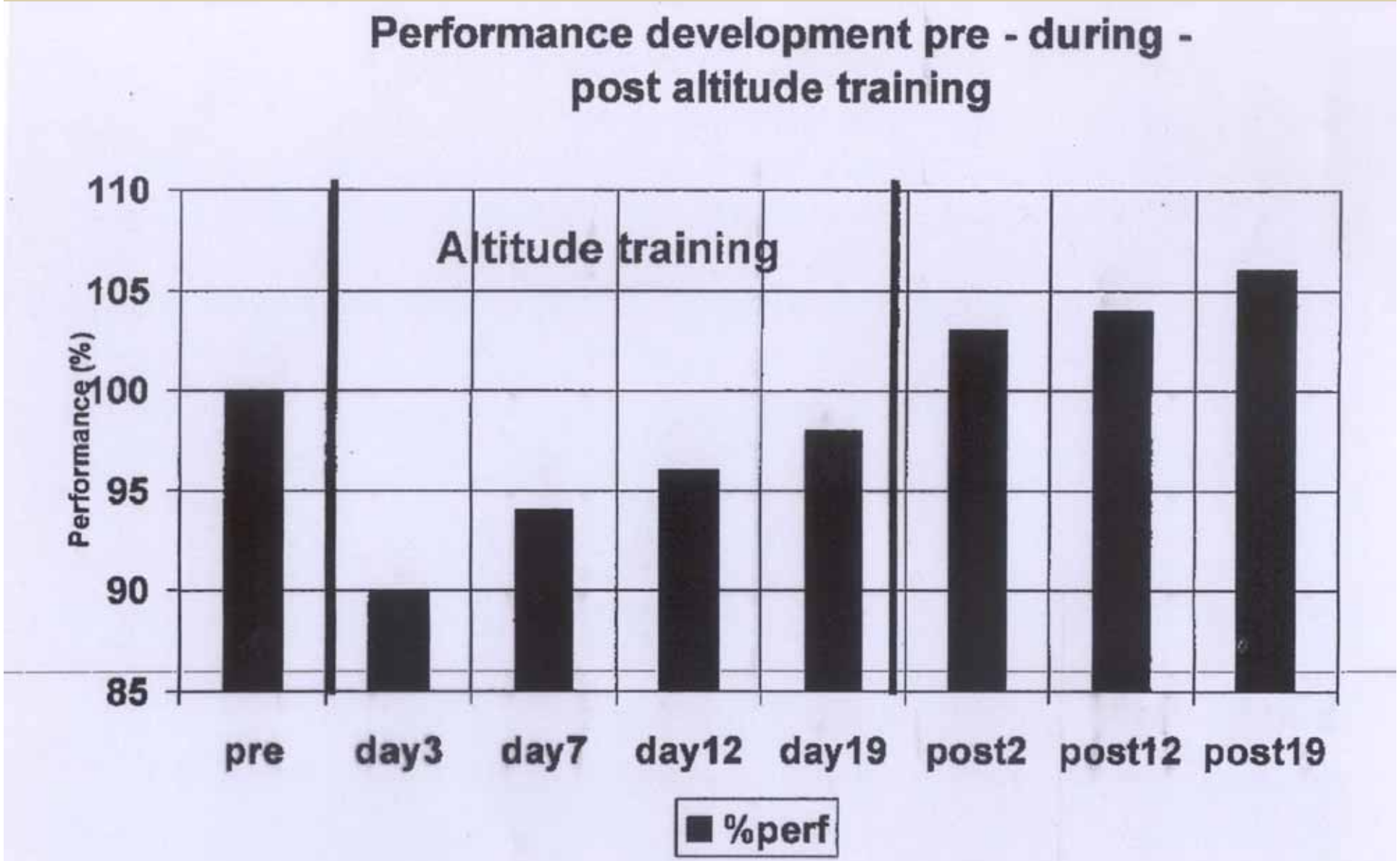
Niveau de capacité aérobie pendant et après un stage d'altitude



Schematic view of the development of the aerobic capacity during and after hypoxic training, FUCHS/REISS, 1990

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Niveau de capacité de performance pendant et après un stage d'altitude



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Périodes favorables et défavorables suite au stage

1er au 4-5èm jour : favorable

6 au 11-12èm jour : défavorable

13 au 25èm jour : favorable ; à affiner par l'expérience car les délais sont variables dans les études

Périodisation des stages en hypoxie

Exemple d'organisation de plusieurs stages d'altitude

1. Altitude camp	Training at sea level	National champion - ship	2. Altitude camp	Training at sea level	International champion - ship
21 Days	7-8 weeks	1-2 weeks before 2. camp	21 Days	15-21 Days	4-7 Days

Model showing a possible training structure for a 16 weeks period with two altitude camps, one before each championships (MADSEN, 93)

Altitude camp - 21 days			Sea level - 15-21 days		
1. cycle 2 days		3. cycle 2 days	4. cycle 2 days		6. cycle 4-7 days
Accli – matisation		Re - generation	Re - generation		Competit.
First adaptations		Re - cuperation	Re - cuperation		Maintain top form

Model for a possible training structure for the last six weeks prior to an international championship integrating altitude training (MADSEN, 93)

17 jours
Aérobie +
Int.T.

- 13 à 19 jours
- Aérobie
- Int.T.

P 16

Hypoxie/Normoxie et période préparatoire d'entraînement

BASE MODEL : combination between hypoxic training and normoxic training in the preparatory training period									
Hypoxia									
Normoxia									
Training load	Very high								
	High								
	Medium								
	Low								
	Very low								
Training intensity		int ≤ VT1 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	int ≤ VT1	int ≤ VT1 int ≤ VT2 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	Recovery int ≤ VT1
Days		7	7	7	7	7	7	7	7

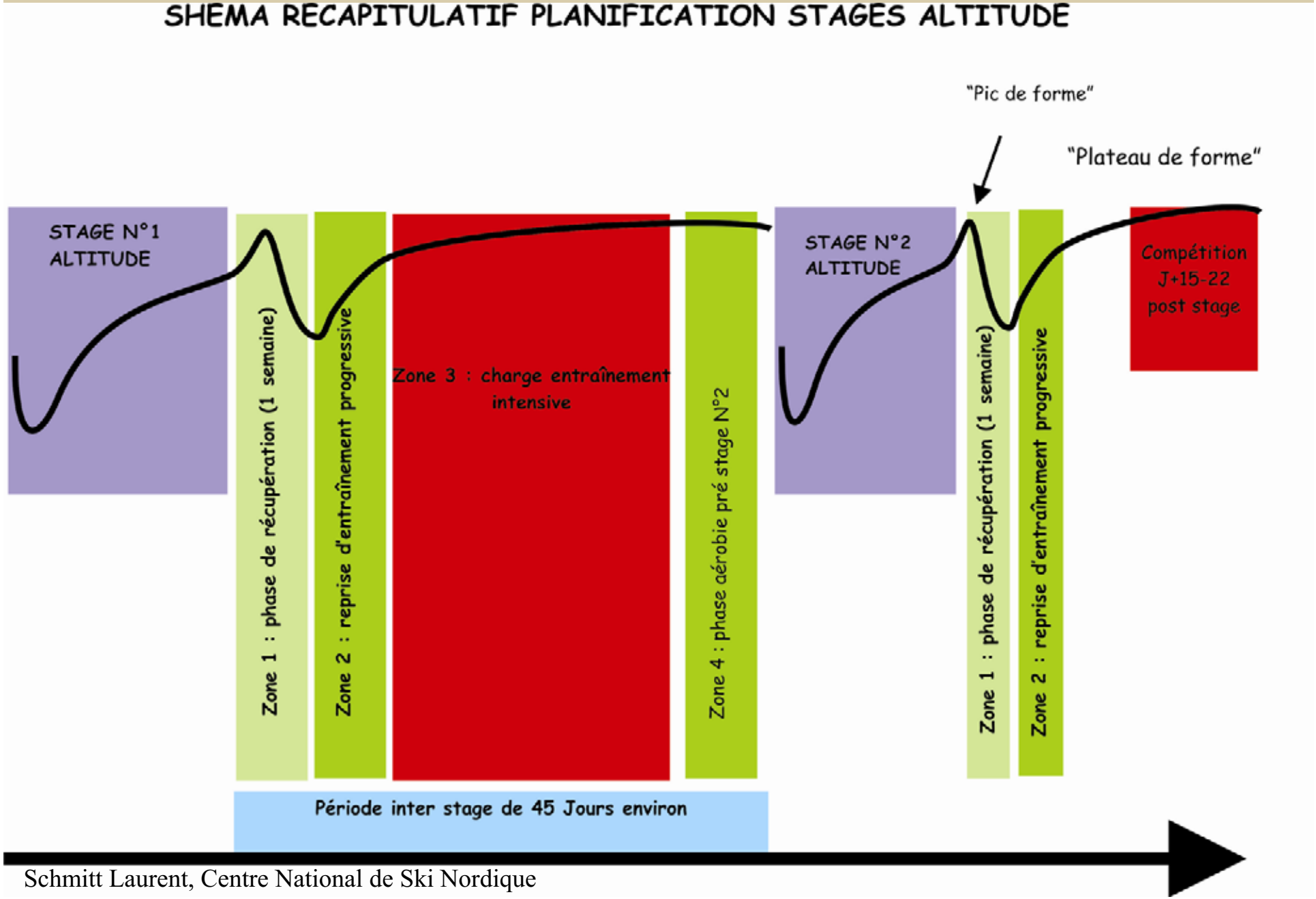
Hypoxie pour préparer une ou des compétition(s) en altitude

HYPOXIC TRAINING MODEL : to prepare a period of competitions in altitude									
Hypoxia									
Normoxia									
Training load	Very high								
	High								
	Medium								
	Low								
	Very low								
Training intensity		int ≤ VT1 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	int ≤ VT1	int ≤ VT1 int ≤ VT2 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	Short recovery int ≤ VT1	Compet. period in altitude
Days		7	7	7	7	6	5	2 to3	1 to 15

Hypoxie pour préparer une ou des compétition(s) en basse altitude

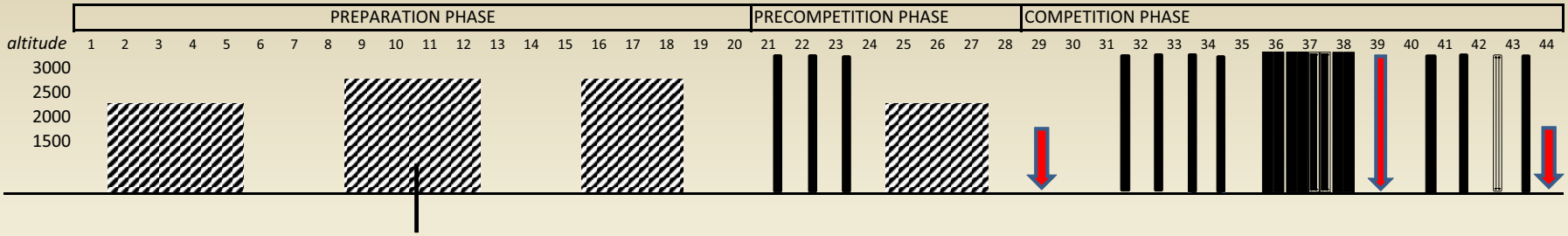
HYPOXIC TRAINING MODEL : to prepare a period of competitions at sea level									
Hypoxia									
Normoxia									
Training load	Very high								
	High								
	Medium								
	Low								
	Very low								
Training intensity		int ≤ VT1 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	int ≤ VT1	int ≤ VT1 int ≤ VT2 strength training	int ≤ VT1 int ≤ VT2 int ≤ MAP strength training	Short recovery int ≤ VT1	Compet. period at seal level
Days		7	7	7	7	6	5	2 to3	1 to 15

Organisation de plusieurs stages d'altitude

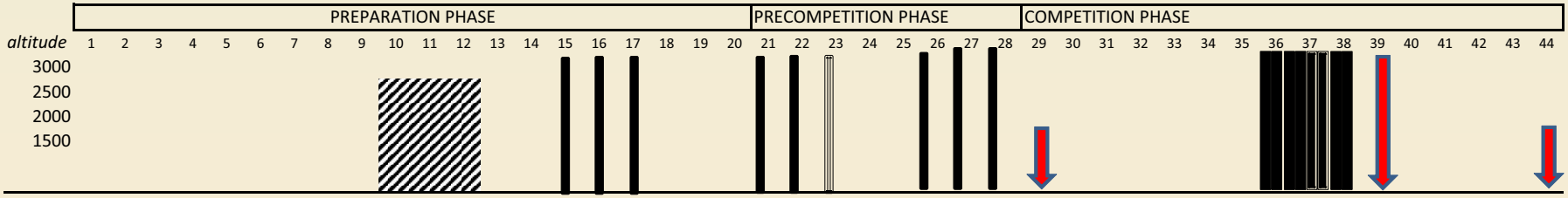


Hypoxique methods periodization in endurance, glycolitic et intermittent sports (Millet Grégoire)

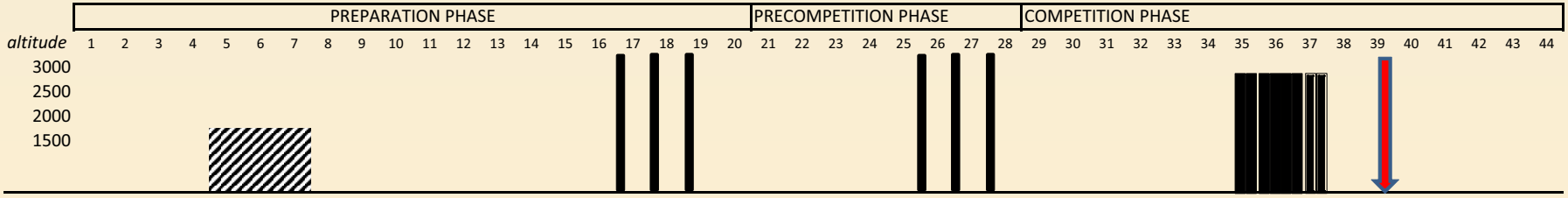
ENDURANCE SPORTS



"LACTIC" SPORTS



INTERMITTENT SPORTS



Méthode Hi-Lo
vivre en hypoxie
et
s'entraîner en altitude basse

Méthode Hi-Lo

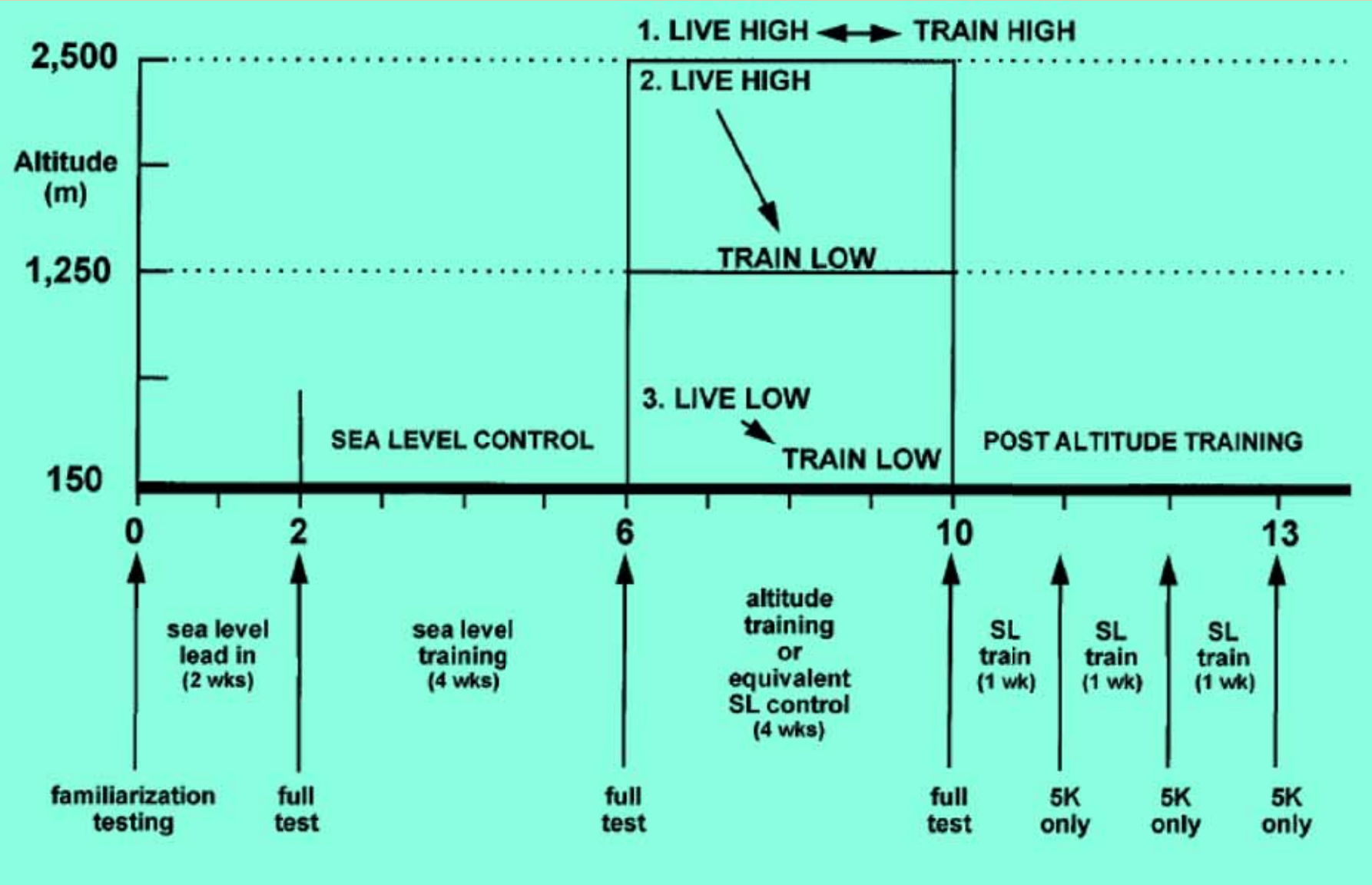
Vivre en altitude et s'entraîner en basse altitude

Levine et Stray Gundersen (1992, 1997)

Altitude : 2000 à 3000 m, 12h / 24h, > 15j	Entraînement habituel

Effets	Auteurs
Performance ↗	Communauté scientifique vs. Ashenden et al.(1999, 2000)
EPO ↗ masse GR ↗	Levine et Stray Gundersen (1992, 1997) vs. Ashenden et al.(1999,2000)
C.E. ↘	Saunders (2004) vs. Lundby et al. (2006)
Tampons ↗	Mizuno et al. (1990), Gore et al (2001) vs. Clark et al. (2004)
AGL ↗ enzymes aérobies ↗	Melissa et al. (1997)
vascularisation ↗	Mathieu-Costello (2001)

HiLo (protocole)



Levine et al. 1997

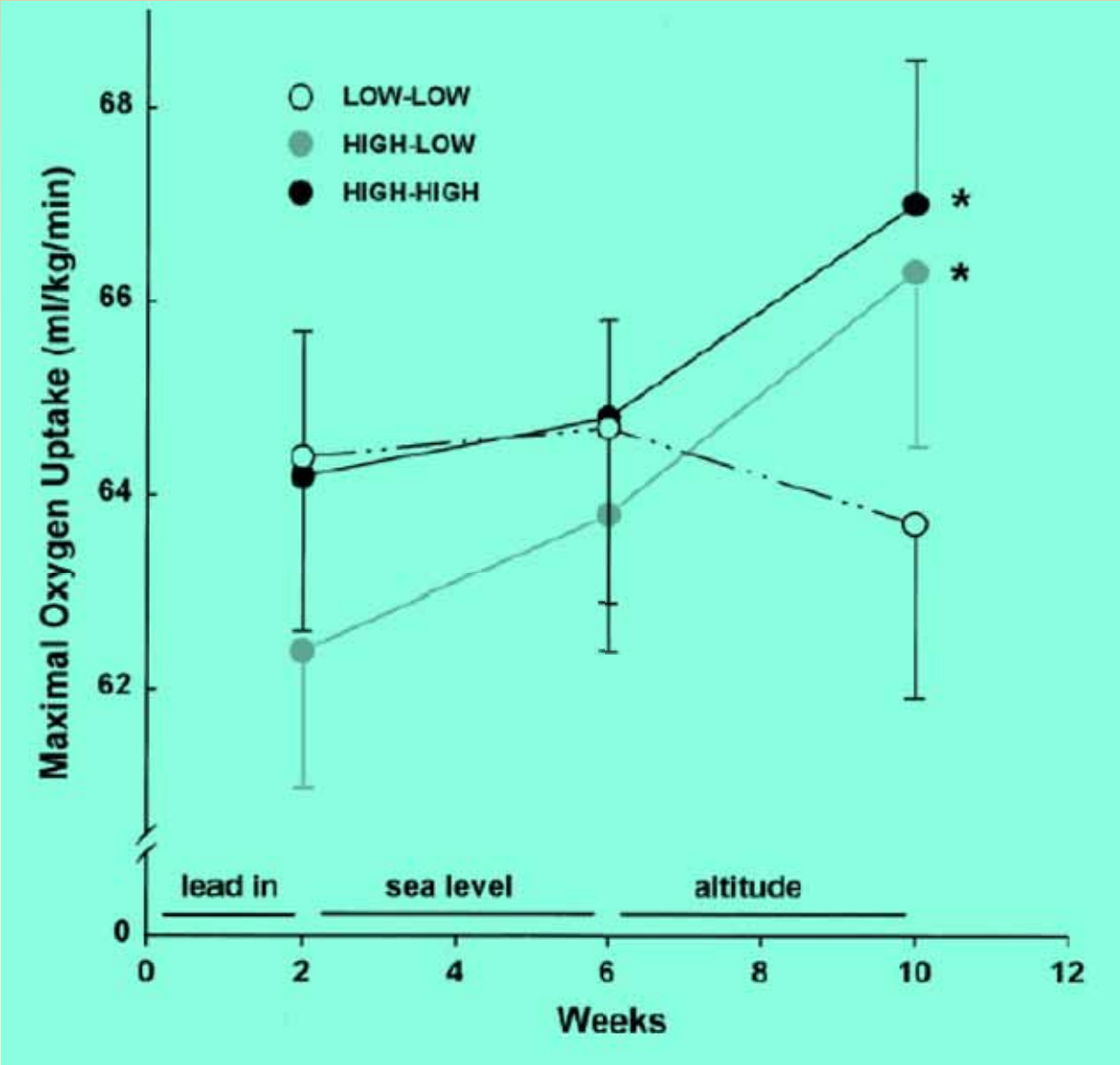
HiLo (sujets)

Subject characteristics: retrospective cohort

	Nonresponders ($n=15$)	Responders ($n=17$)
Gender	9 M, 6 F	13 M, 4 F
Age, yr	21.7 ± 3.0	21.4 ± 3.0
Weight, kg	61.7 ± 6.2	63.3 ± 6.2
Height, cm	171.3 ± 7.0	174.8 ± 8.1
$\dot{V}O_{2max}$, $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$	64.1 ± 4.7	65.0 ± 5.8
Hb, g/dl	13.7 ± 0.8	13.7 ± 0.8
Training classification	4 High-low	8 High-low
	4 High-high-low	6 High-high-low
	7 High-high	3 High-high

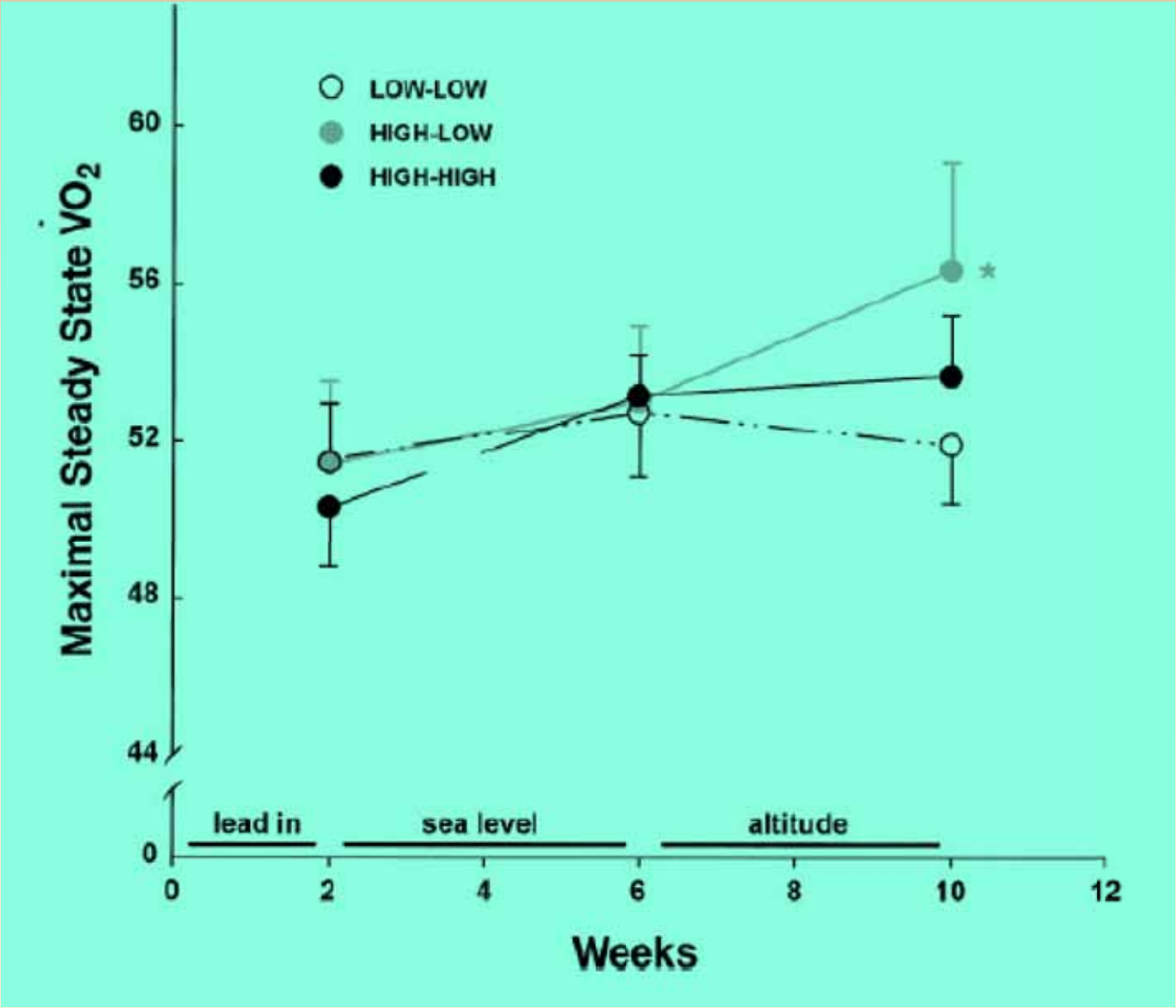
Levine et al. 1997 ; Chapman et al. 1998

HiLo (VO2max)



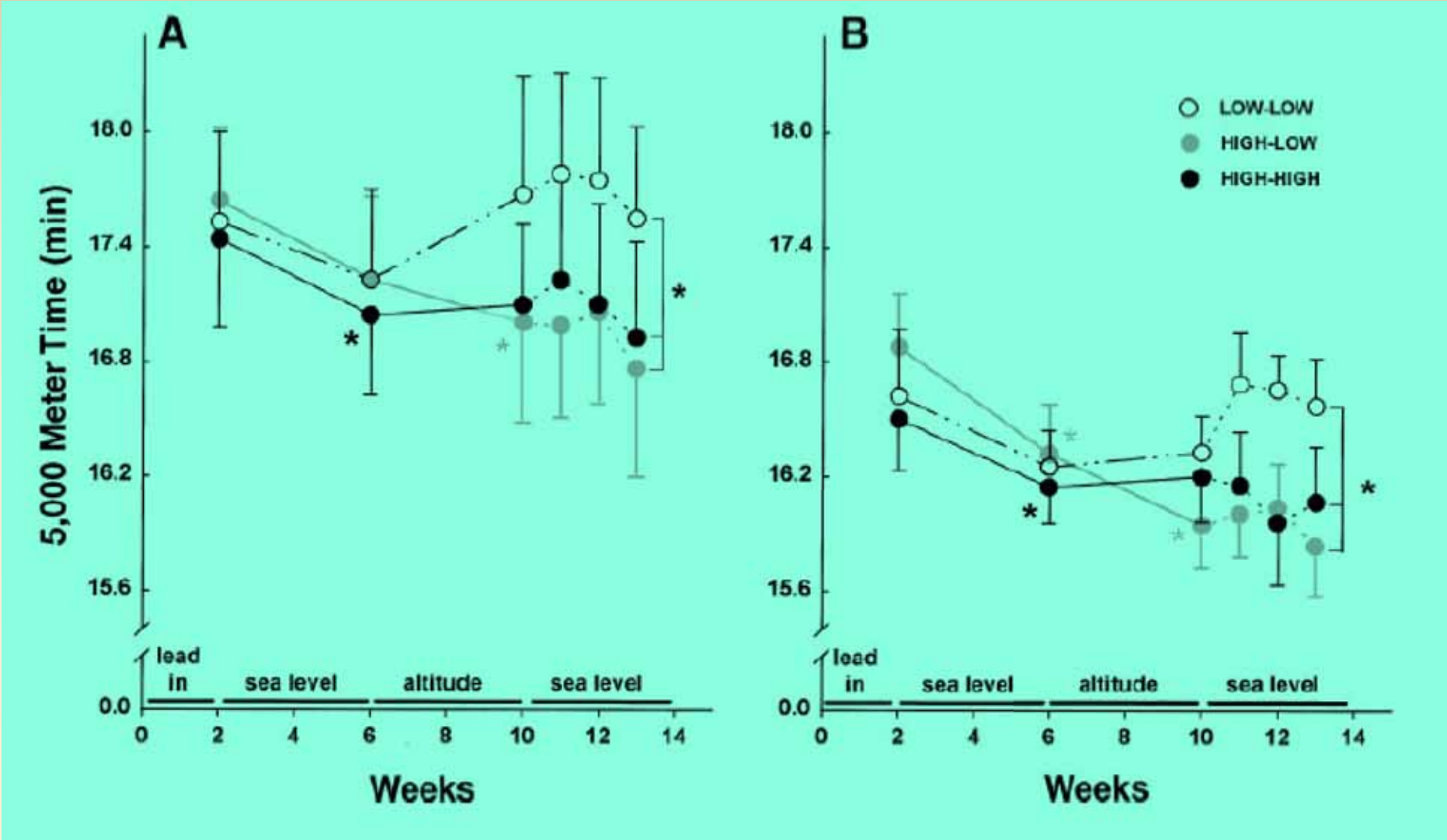
Levine et al. 1997

HiLo (VO2 at MST)



Levine et al. 1997

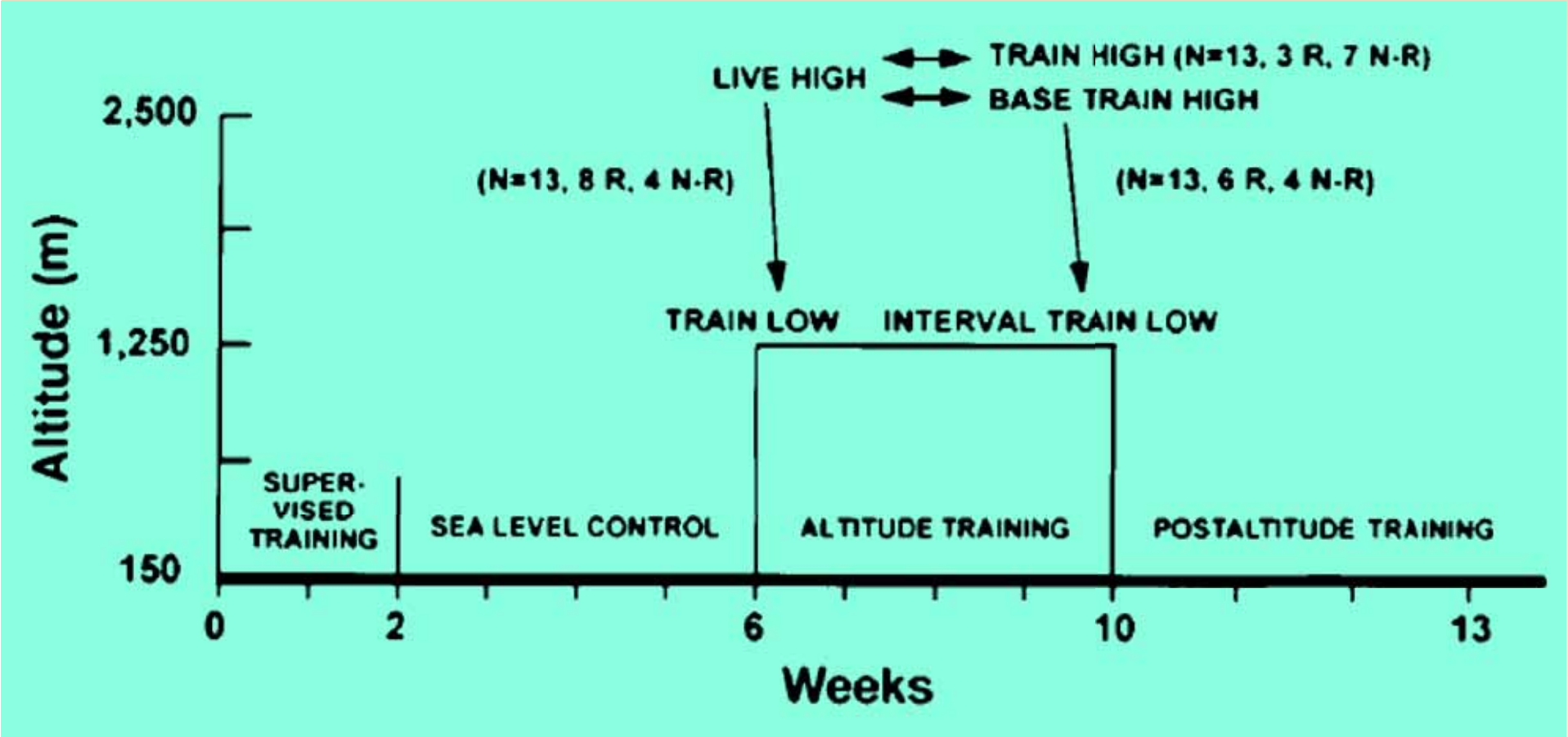
HiLo (Perf 5000m)



Levine et al. 1997

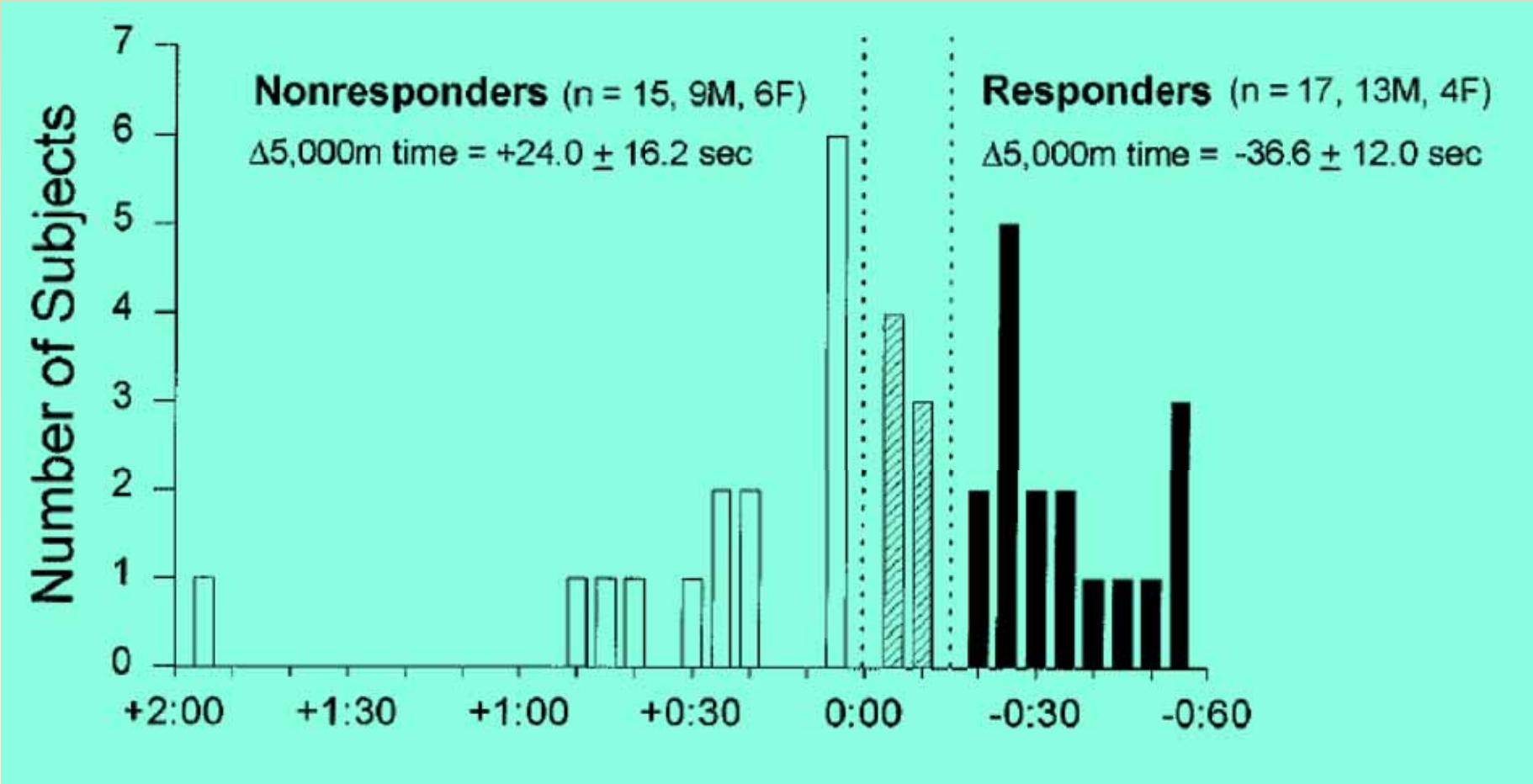
Sensibilité individuelle à l'hypoxie : bons et mauvais répondeurs

bons et mauvais répondeurs protocole



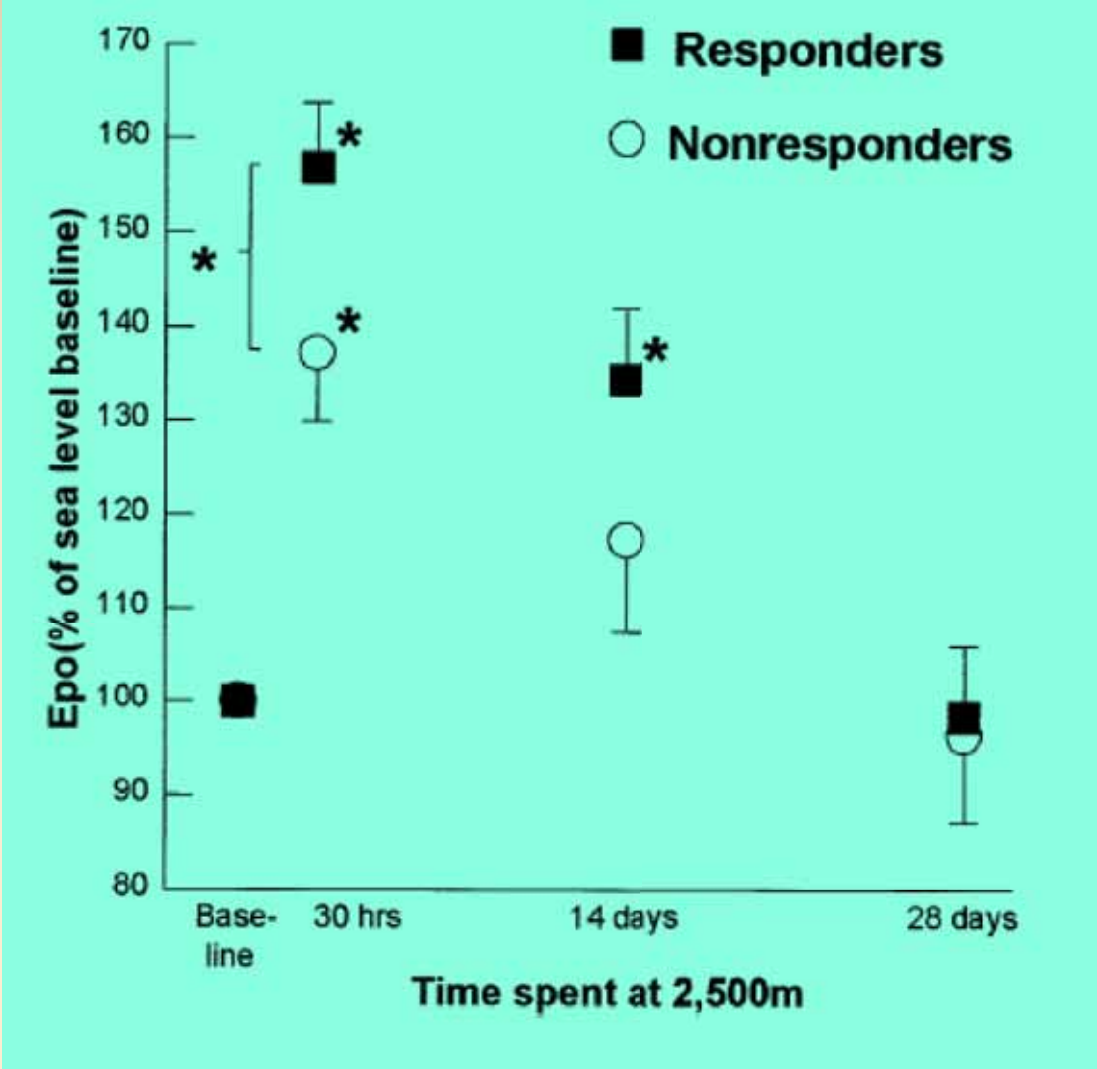
Chapman et al. 1998

bons et mauvais répondeurs
Perf 5000 m



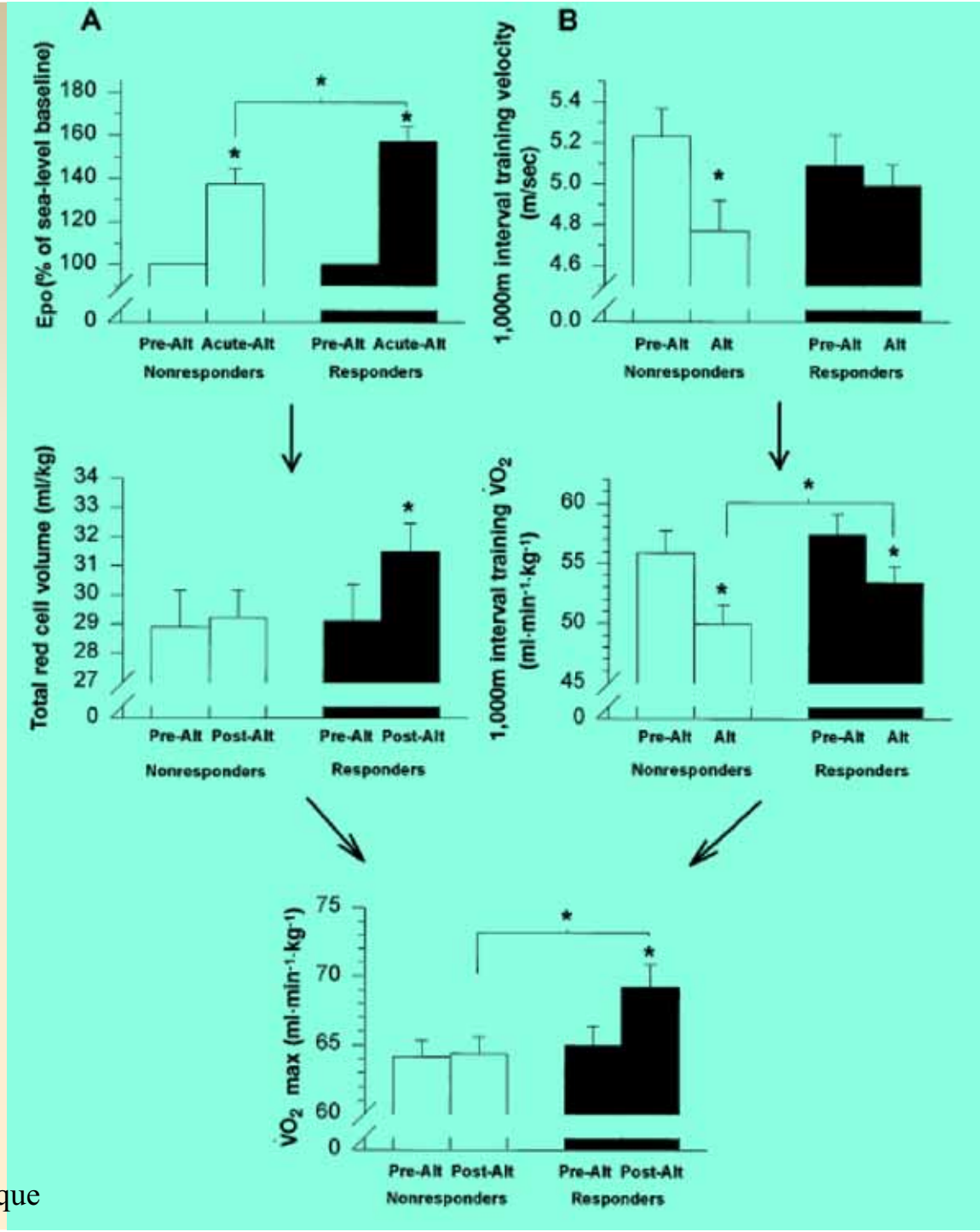
Chapman et al. 1998

bons et mauvais répondeurs EPO



Chapman et al. 1998

bons et mauvais répondeurs
EPO, masse GR, Perf, VO2max



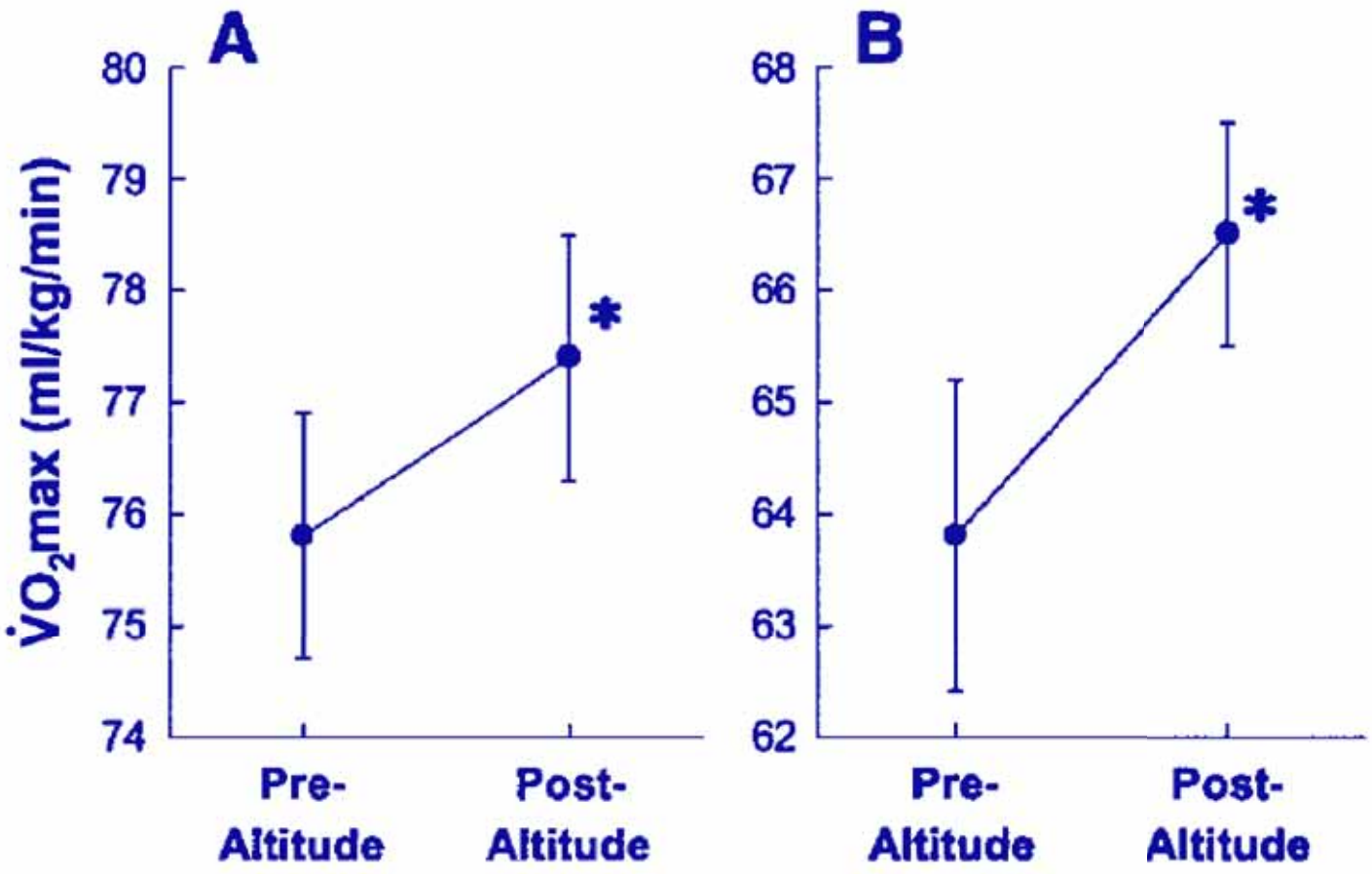
Chapman et al. 1998

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

HiLo (protocole)

Stray Gundersen et al. 2001

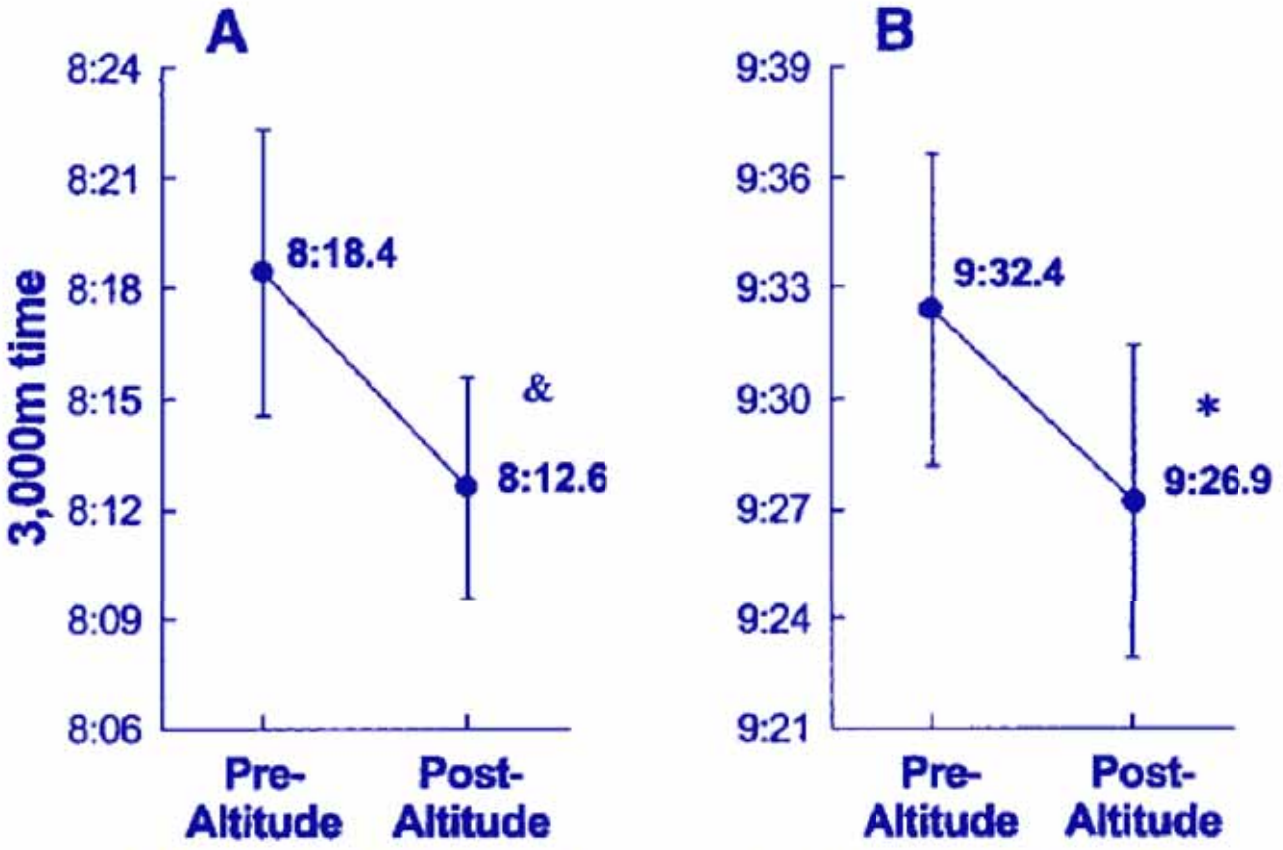
HiLo (VO2max)



Change in maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) in elite male (*A*) runners and elite female (*B*) runners to a 4-wk living high-training low- altitude sojourn. $^*P < 0.05$ compared with prealtitude.

Stray Gundersen et al. 2001

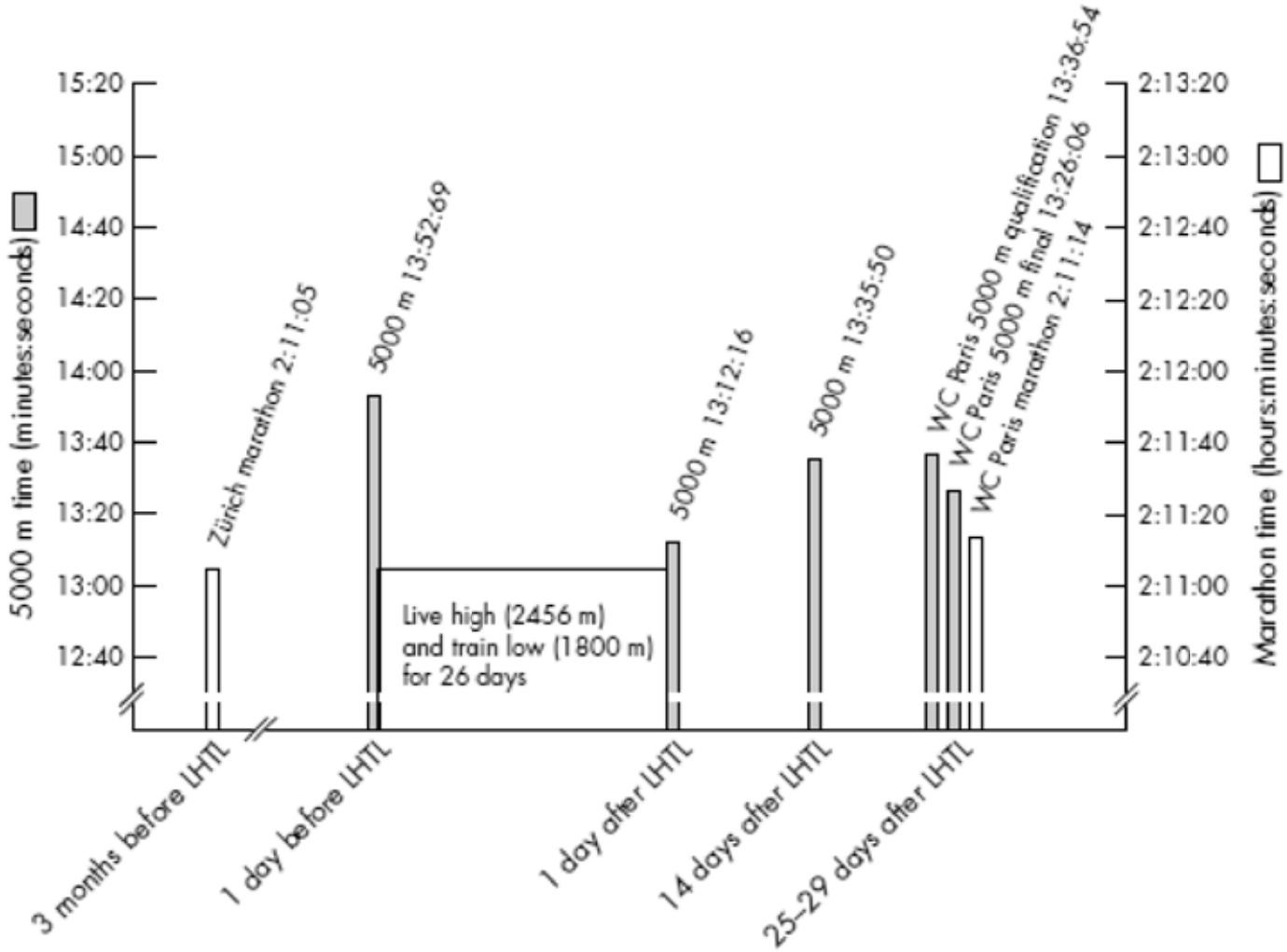
HiLo (Perf 3000m)



Change in 3,000-m performance in elite male (*A*) and female (*B*) runners to a 4-wk living high-training low-altitude sojourn. *$P < 0.05$; &$P < 0.10$ compared with prealtitude.

Stray Gundersen et al. 2001

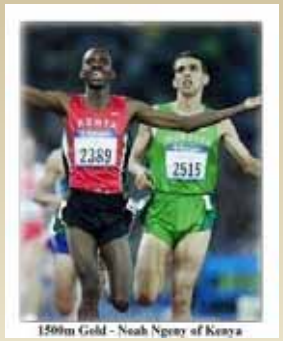
HiLo (PERF)



Competition results of one marathon runner and one 5000 m runner before and after 26 days of living high and training low (LHTL) in preparation for the World Championships (Paris 2003). WC, World Championships.

Werhlin et Marti, 2006

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique



Protocole ½ fond athlétisme

Groupe Hi-Lo
Groupe contrôle
Tests
VFC, prise de sang

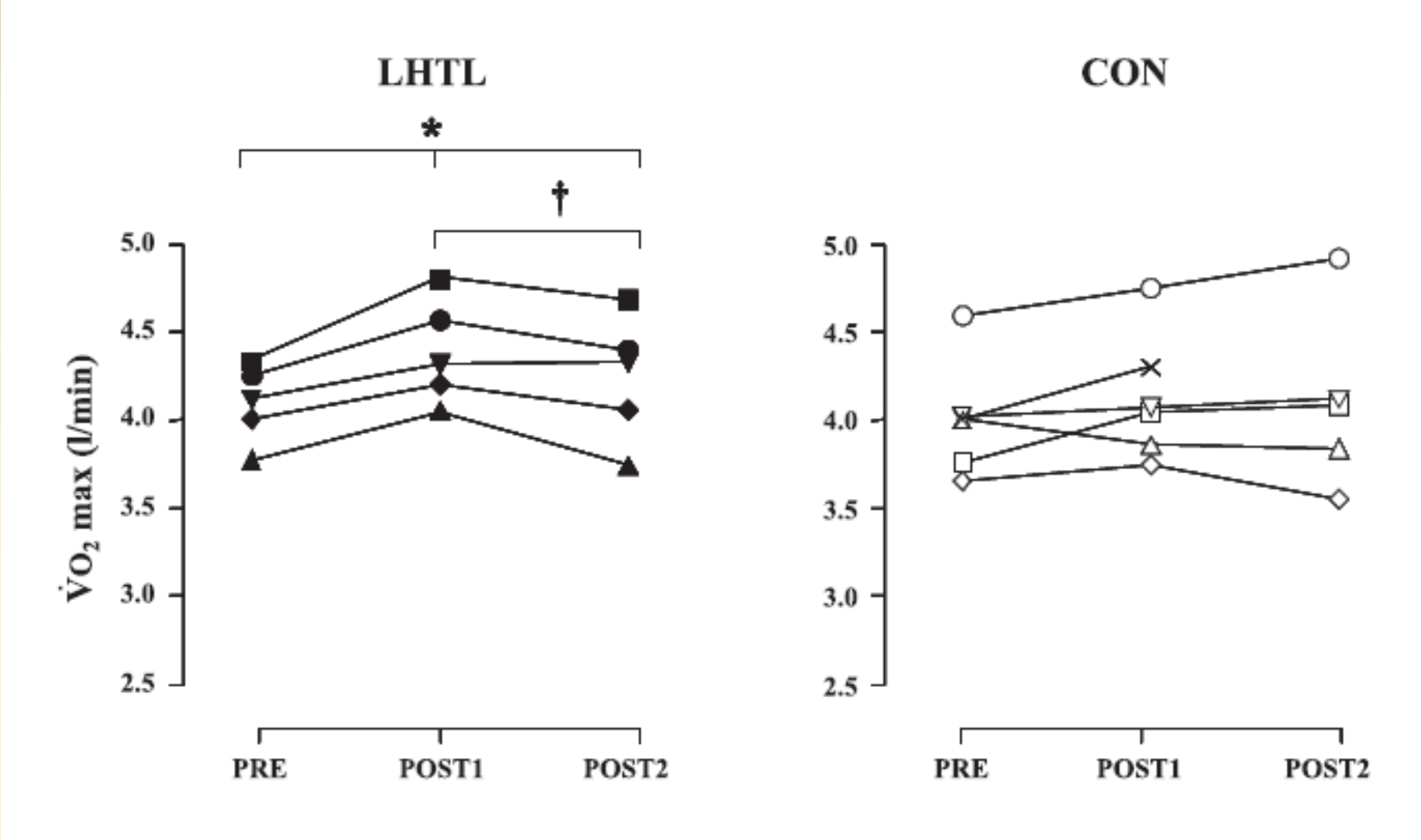
$\dot{V}O_2$ max (tapis roulant)
Test piste 10 min à 90% VMA
VFC
Prise de sang

$\dot{V}O_{2max}$ (tapis roulant)
test piste 10 min à 90% de VMA
VFC
Prise de sang

2500m
3000m
1200m
1200m
récupération
1200m
3j
18 nuits
3j
13j
2j

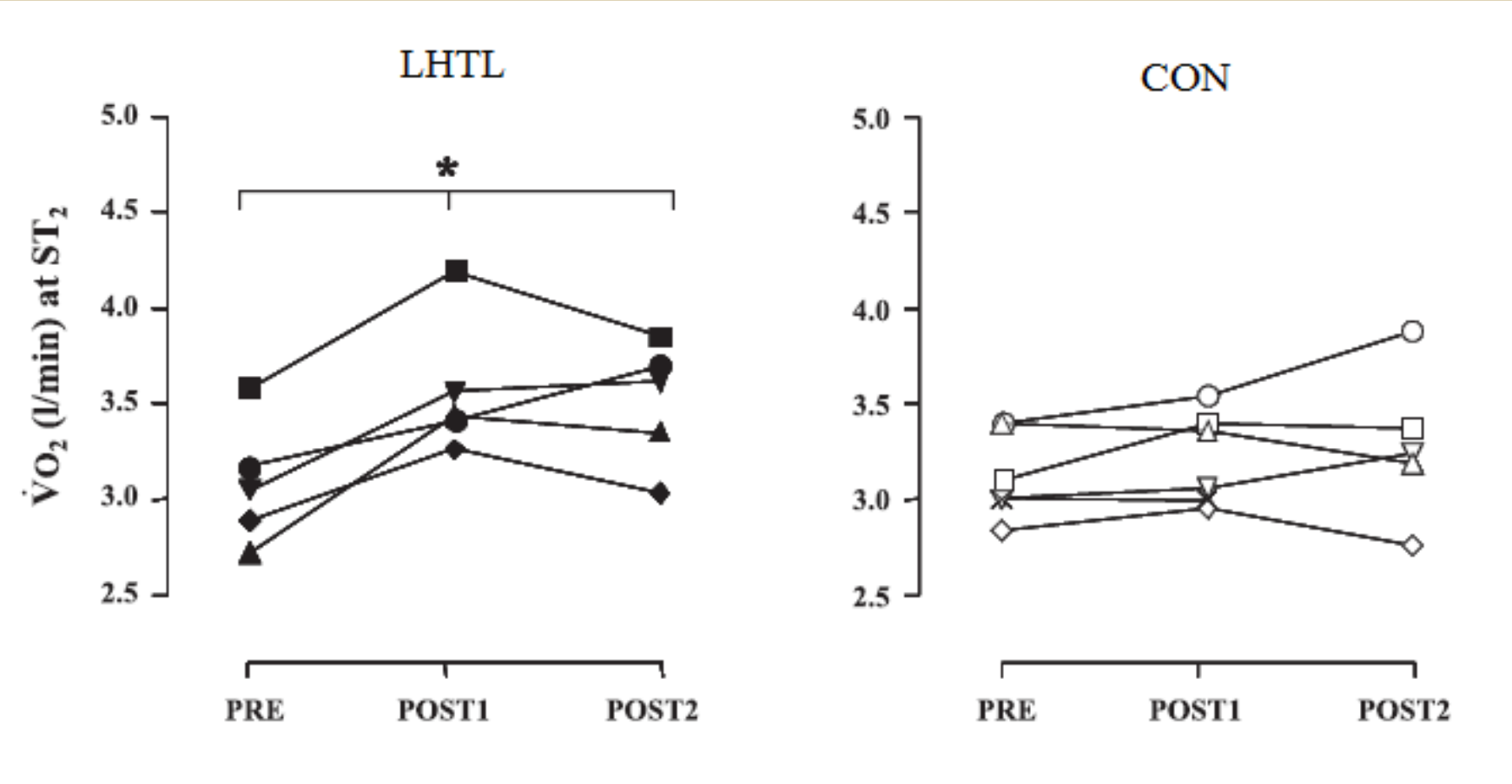
Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

HiLo (VO2max)



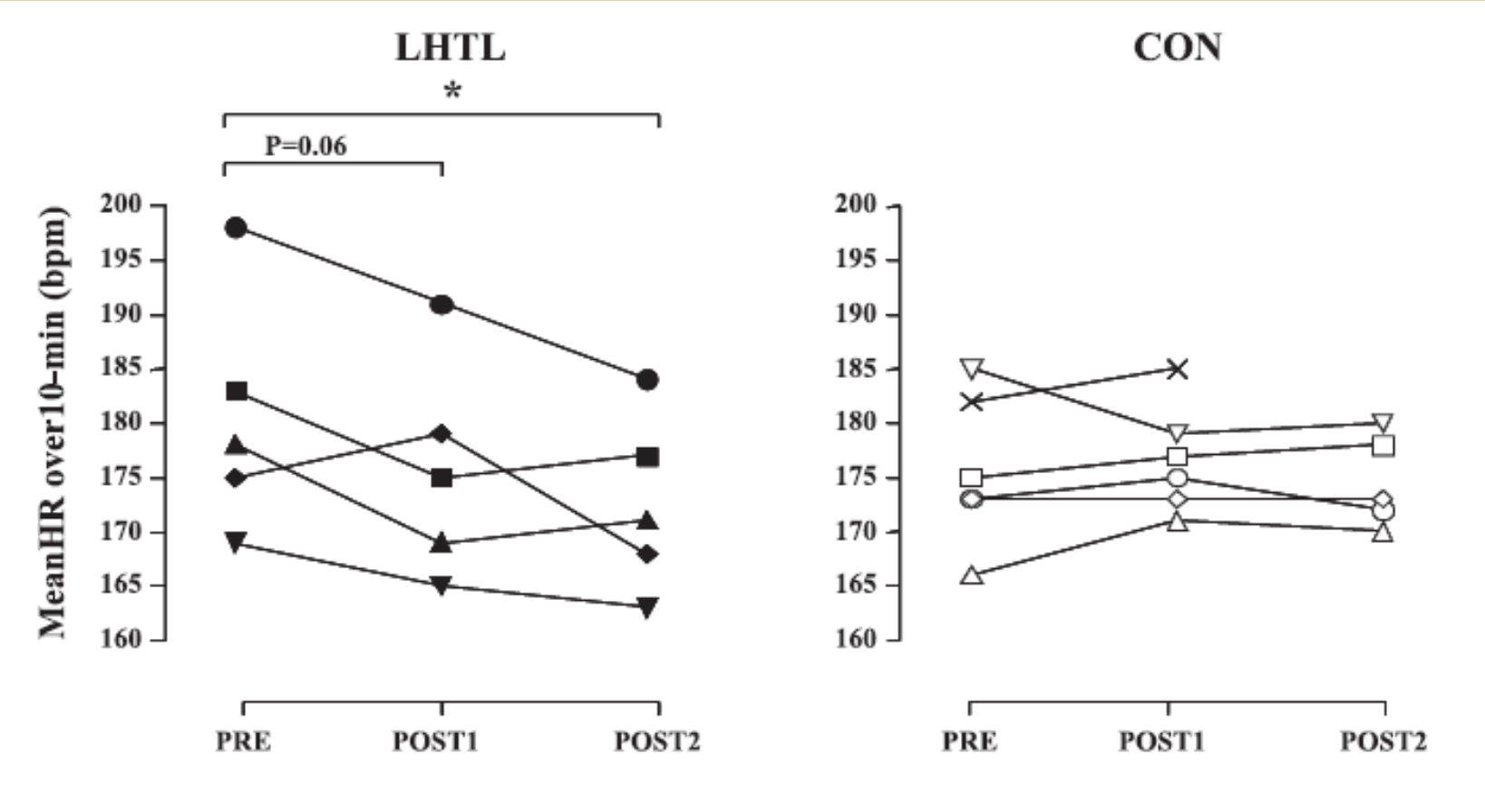
Brugniaux et al. 2006

HiLo (VO2 at ST)



Brugniaux et al. 2006

HiLo (mean HR 19.5 km/h)



Brugniaux et al. 2006

ETUDE

- European Journal of Applied Physiology, 97: 627-636, 2006.

European Journal of Applied Physiology, 97: 627-636, 2006

EFFETS D'UN ENTRAÎNEMENT EN ALTITUDE DE TYPE « Hi-Lo » SUR LA PERFORMANCE AEROBIE ET LE COÛT ENERGETIQUE CHEZ DES ATHLETES DE HAUT NIVEAU

Laurent Schmitt[1,2], Grégoire Millet[3], Paul Robach[2,4], Gérard Nicolet[1], Julien V Brugniaux[2], Jean-Pierre Fouillot[2] and Jean-Paul Richalet[2]

[1] Centre National de Ski Nordique, Prémanon, 39220 Les Rousses, France.

[2] Université Paris 13, EA2363, ARPE, 74 rue Marcel Cachin 93017 Bobigny, France.

[3] Aspire, Academy for Sports Excellence, PO Box 2287, Doha, Qatar.

[4] Ecole Nationale de Ski et d'Alpinisme, 74401 Chamonix, France.

Objectifs de l'étude

- Analyser les effets de la méthode d'entraînement en altitude de type Hi-Lo en fin de période hypoxique et 15 jours plus tard

- Analyser l'évolution du coût énergétique en fin de Hi-Lo et 15 jours après

- Evaluer les effets d'un entraînement à forte dominante aérobie associé à la méthode Hi-Lo

Méthode

❖ Altitude simulée en chambres hypoxiques au Centre National de Ski Nordique de Prémanon :

situation hypoxique normobarique par extraction d'oxygène

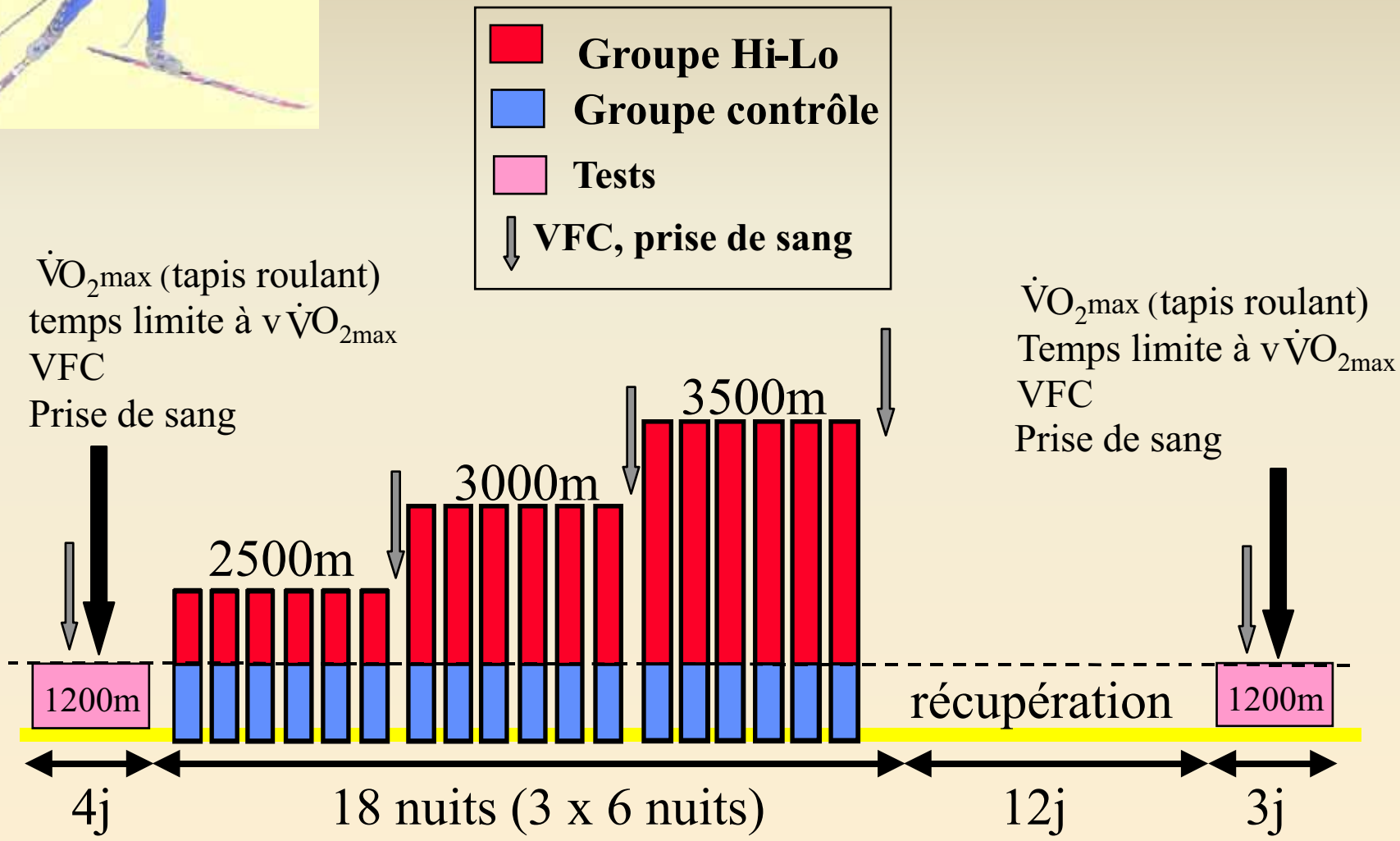
❖ Athlètes de haut niveau en ski nordique, natation et ½ fond en athlétisme (Burtscher et al. 1996)

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Caractéristiques des sujets

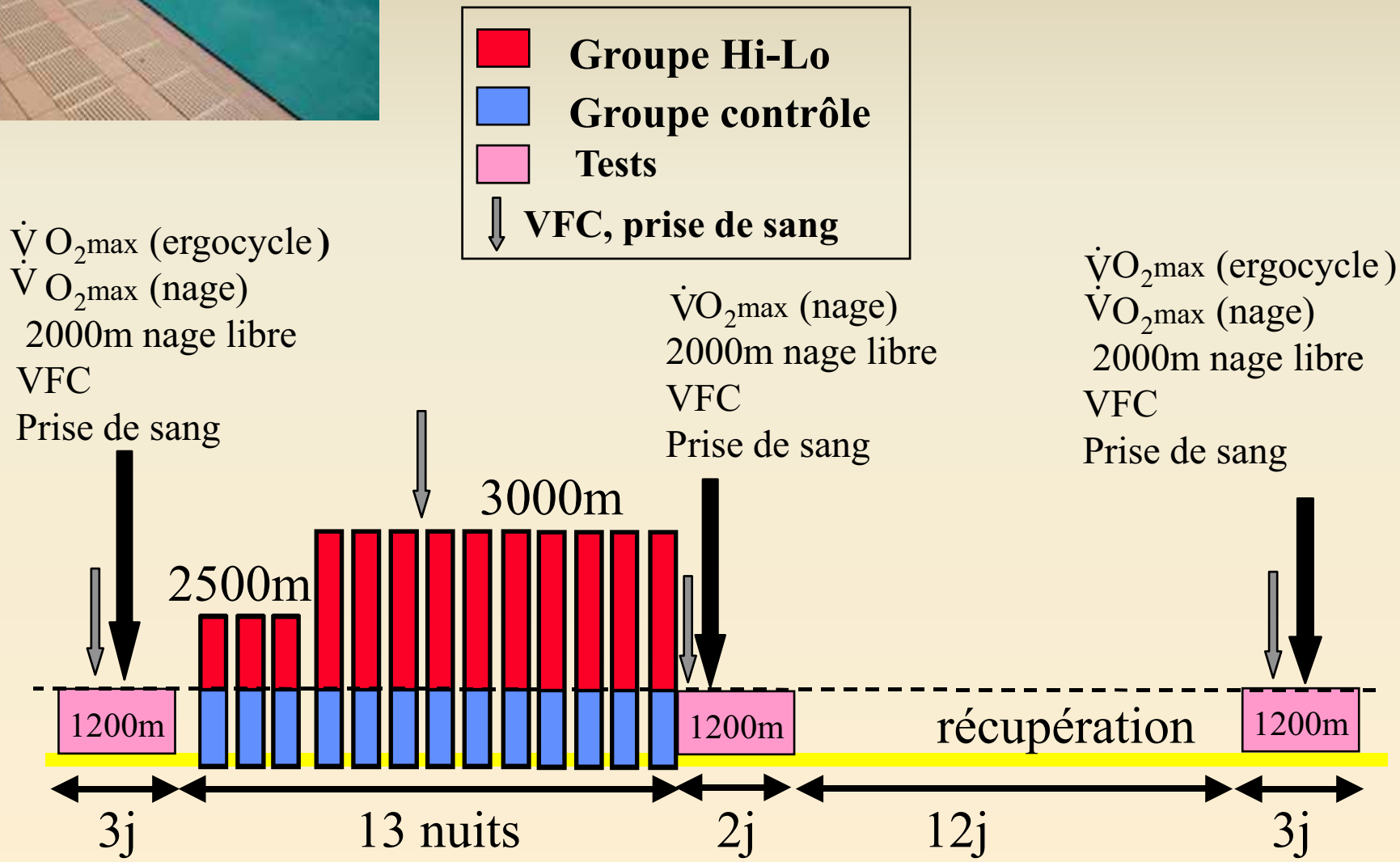
	Groupes	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)	$\dot{V}O2max$ ($mL.min^{-1}.kg^{-1}$)
Skieurs nordiques	Hi-Lo (n=6)	23 ± 4	67 ± 9	175 ± 6	59.7 ± 6.3
	Lo-Lo (n=5)	21 ± 2	63 ± 6	174 ± 5	58.6 ± 8.7
Nageurs	Hi-Lo (n=9)	20 ± 3	71 ± 9	179 ± 5	57.9 ± 5.6
	Lo-Lo (n=9)	17 ± 0.5	68 ± 6	180 ± 7	58.5 ± 5.7
Coureurs	Hi-Lo (n=5)	24 ± 5	66.9 ± 6.7	178 ± 6	63.3 ± 2.5
	Lo-Lo (n=6)	23 ± 1	63.5 ± 5.8	178 ± 5	63.3 ± 4.2
Tous les sujets	**Hi-Lo (n=20)**	**22 ± 4**	**68 ± 8**	**177 ± 7**	**60.7 ± 4.5**
	Lo-Lo (n=20)	**19 ± 3**	**65 ± 6**	**178 ± 7**	**59.9 ± 6.3**

Protocole ski nordique

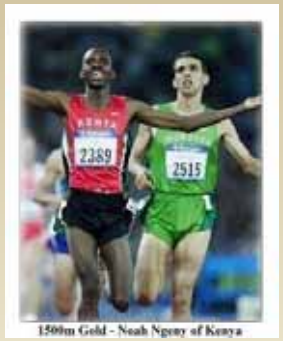


Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Protocole natation



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique



Protocole ½ fond athlétisme

Groupe Hi-Lo
Groupe contrôle
Tests
VFC, prise de sang

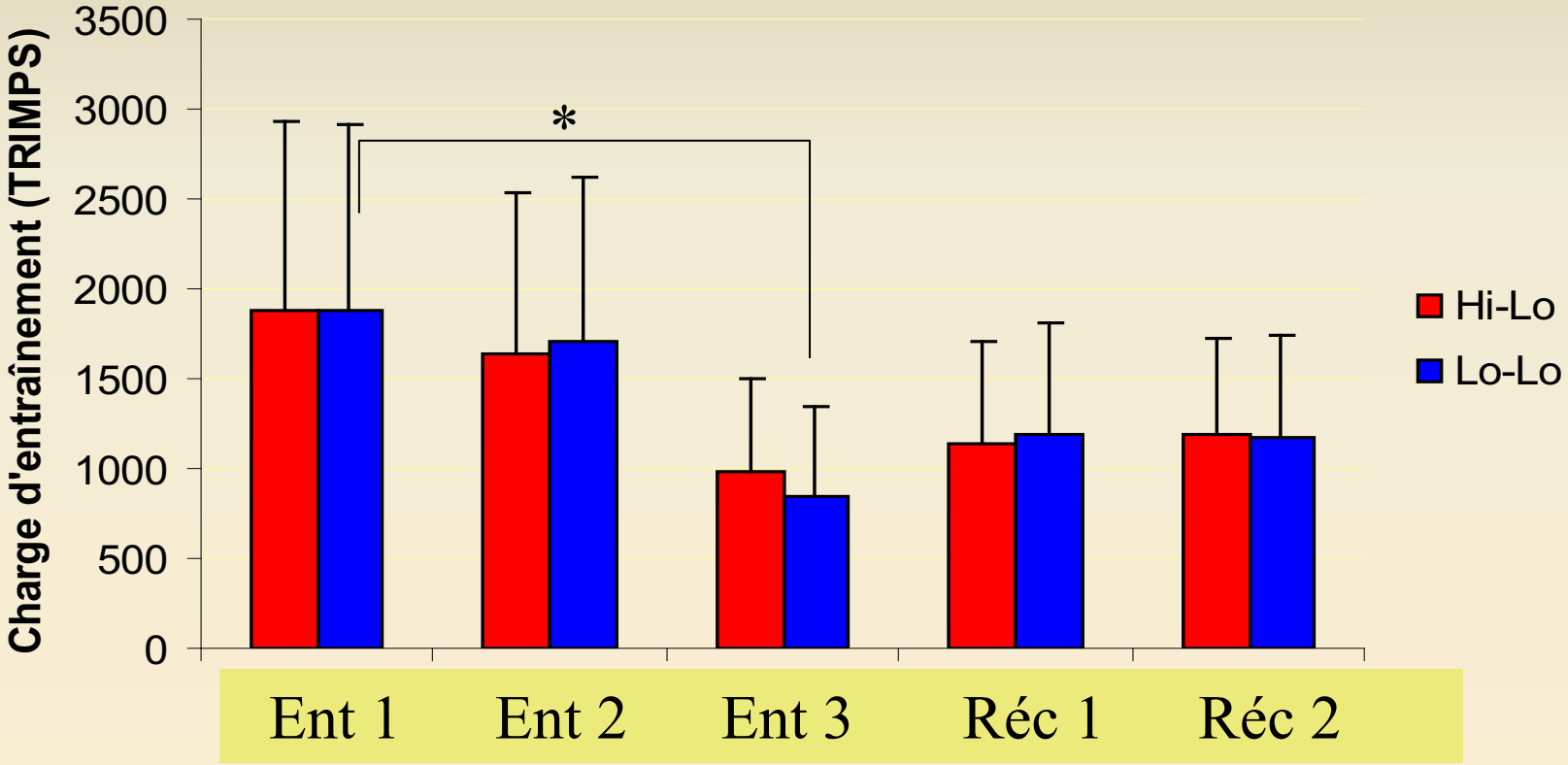
$\dot{V}O_2$ max (tapis roulant)
Test piste 10 min à 90% VMA
VFC
Prise de sang

$\dot{V}O_{2max}$ (tapis roulant)
test piste 10 min à 90% de VMA
VFC
Prise de sang

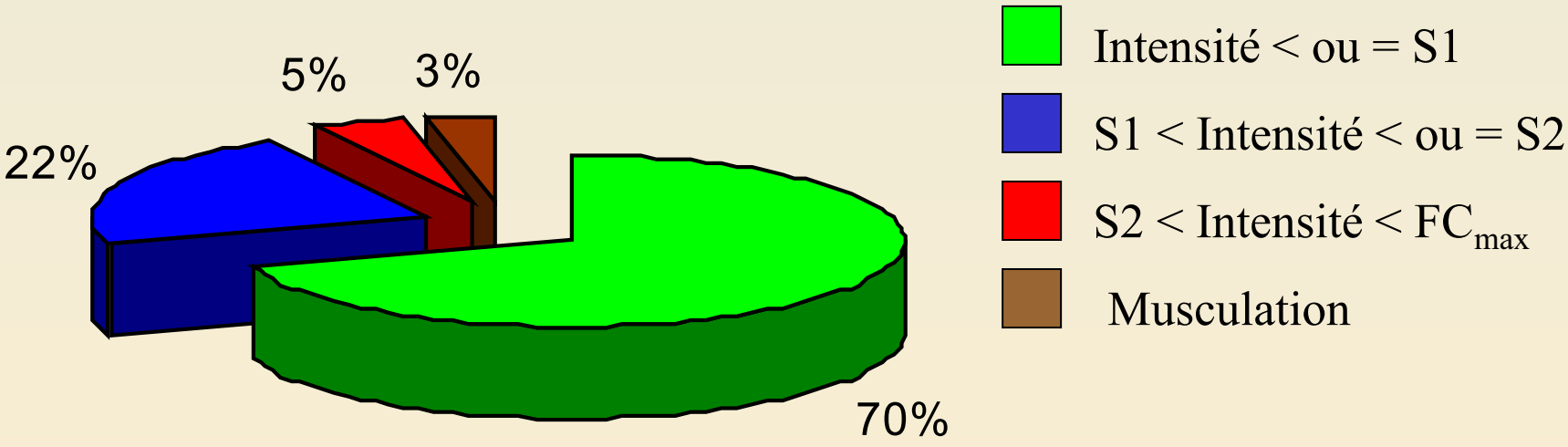
3000m
2500m
1200m
1200m
récupération
1200m
3j
18 nuits
3j
13j
2j

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

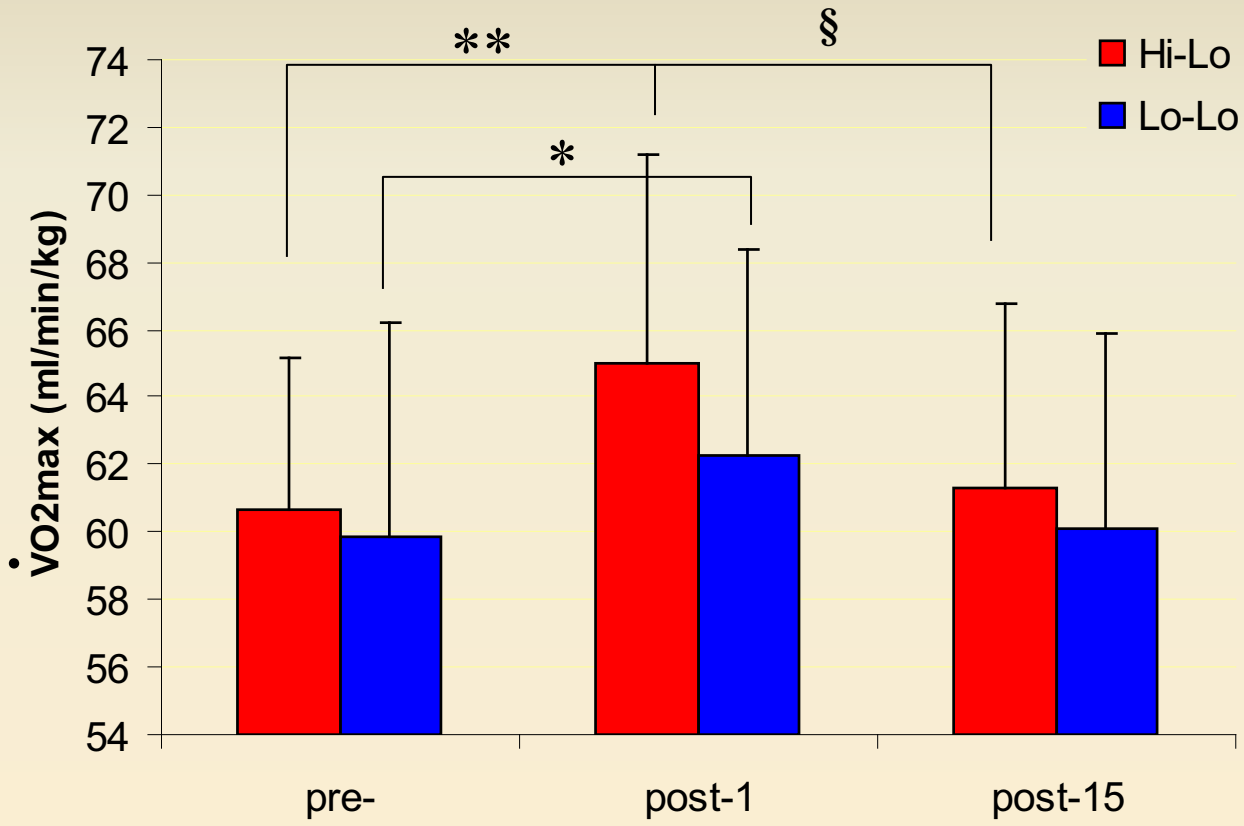
Charge d'entraînement (TRIMPS)



Intensité de l'entraînement pendant Hi-Lo (% FC_{max})

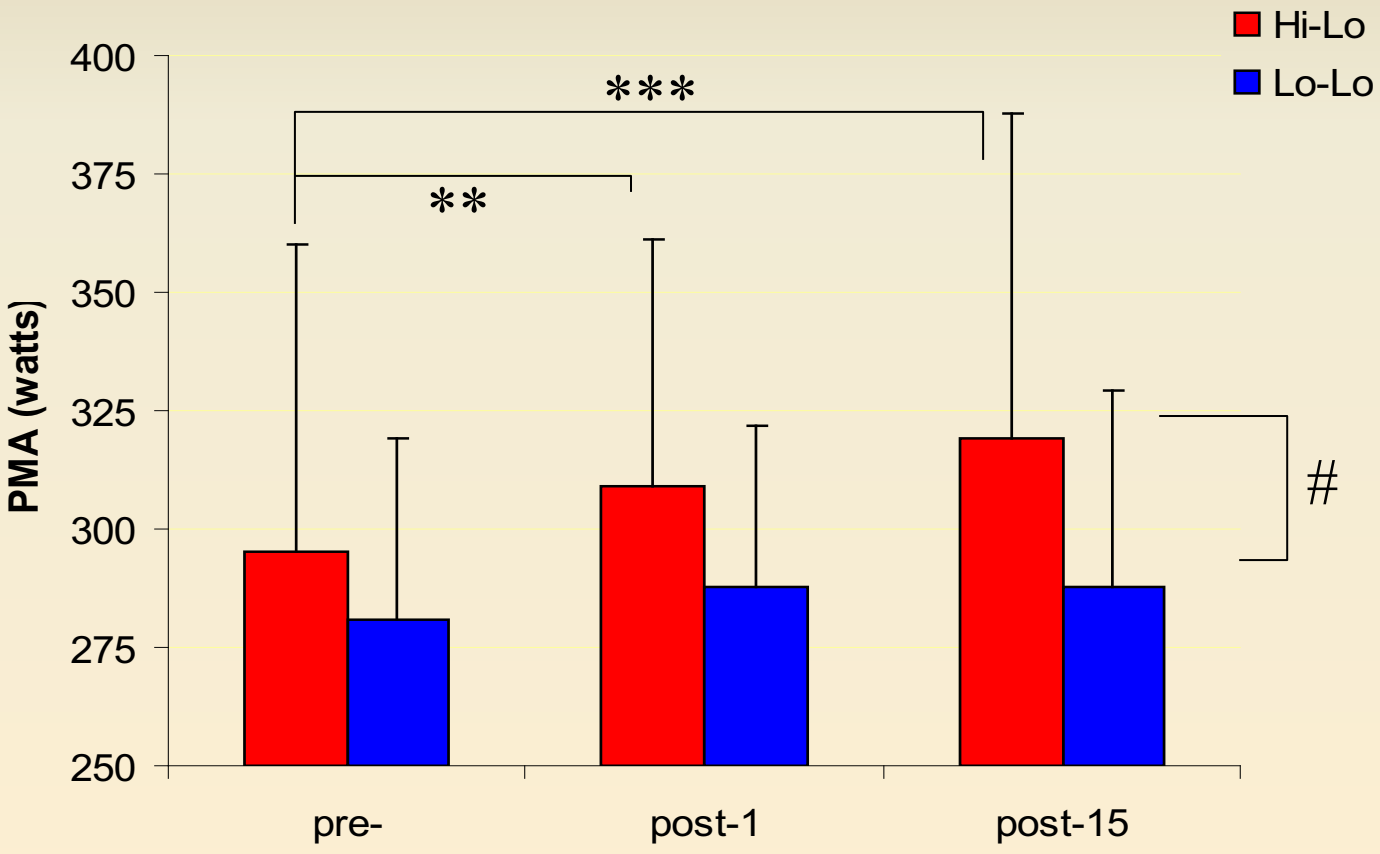


$\dot{V}O_{2max}$



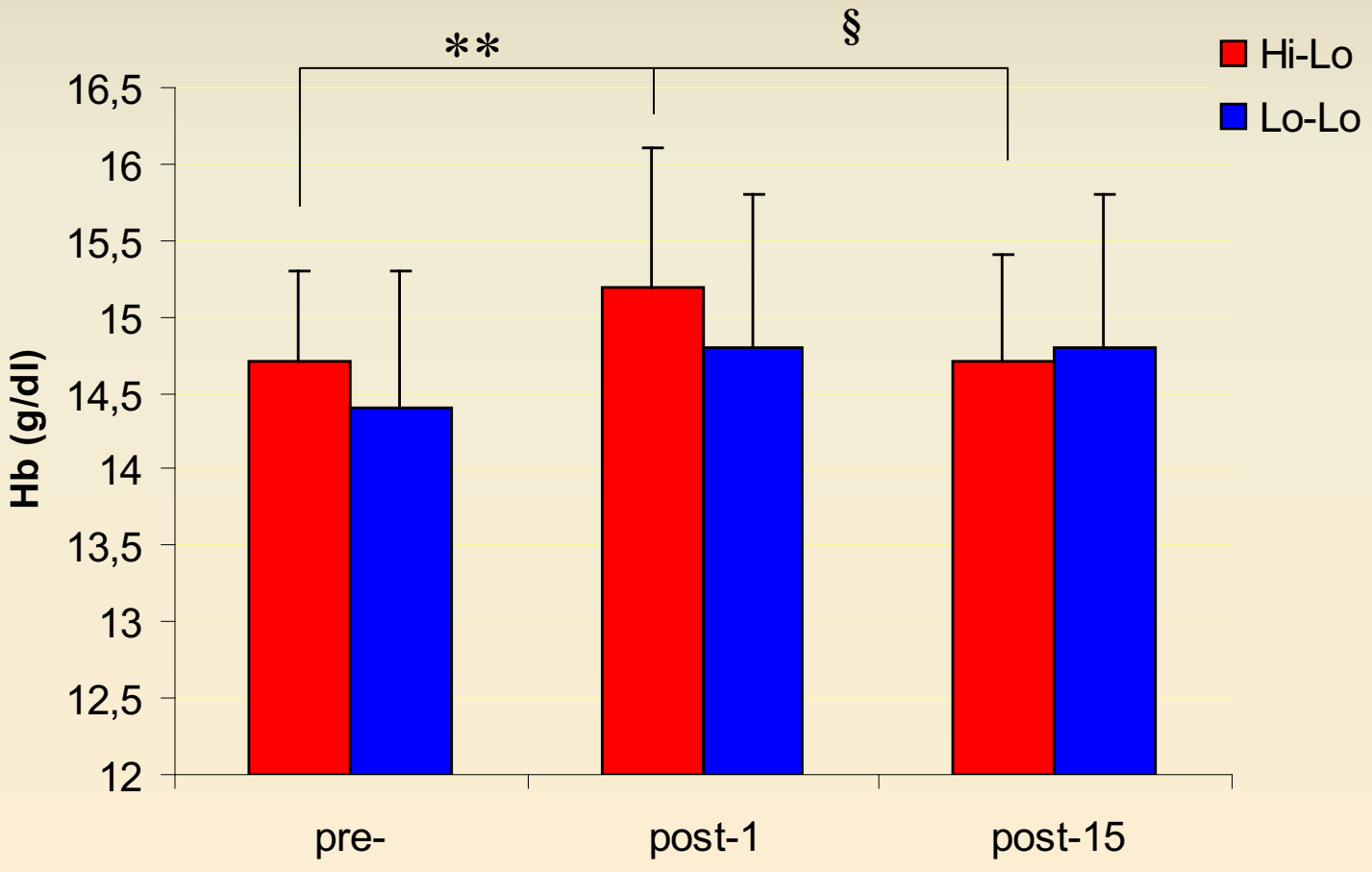
Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

PMA



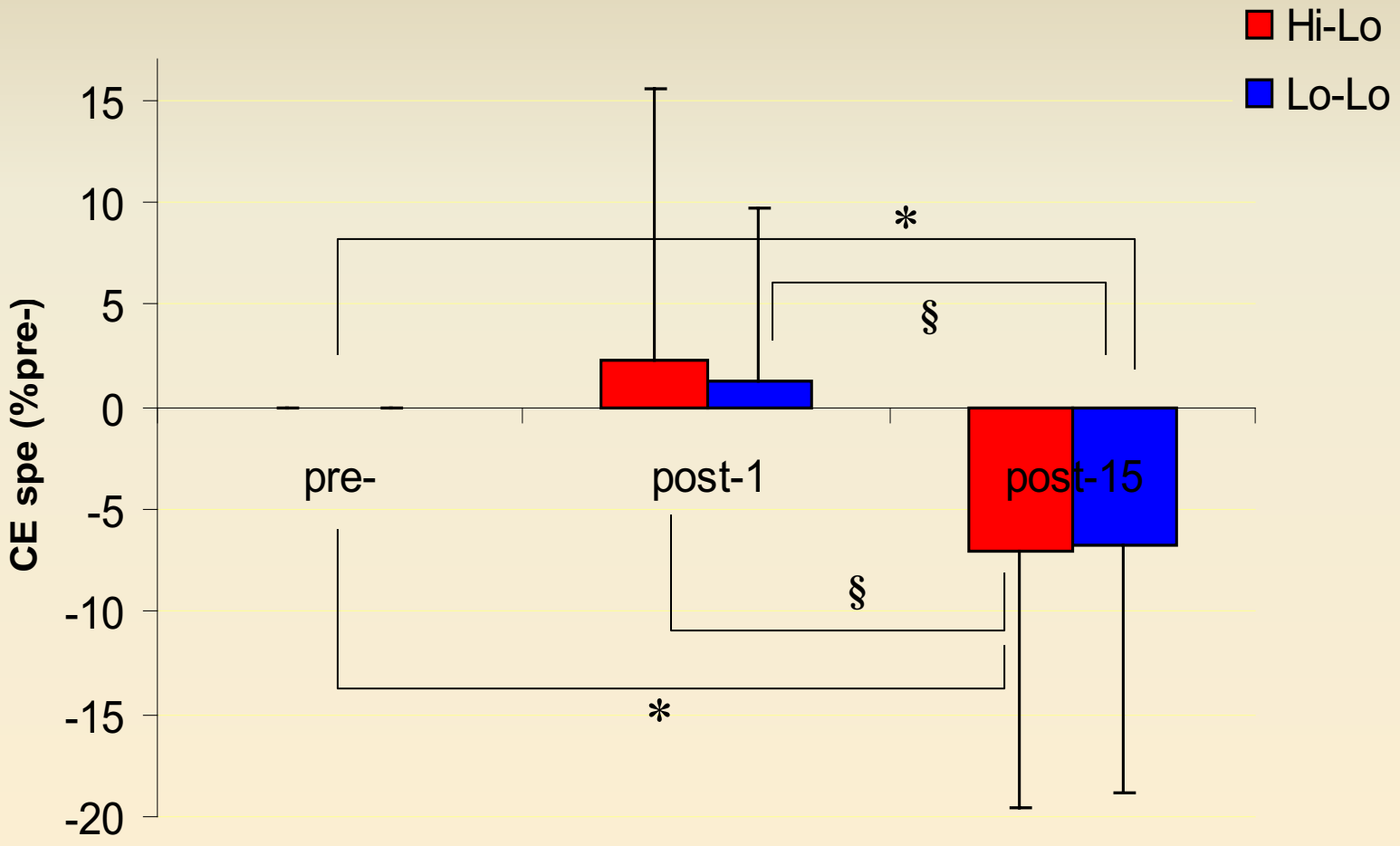
Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Hémoglobine



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Pourcentage de variation du coût énergétique spécifique



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Discussion :
test fin de Hi-Lo

L'efficacité de la méthode Hi-Lo est confirmée par :

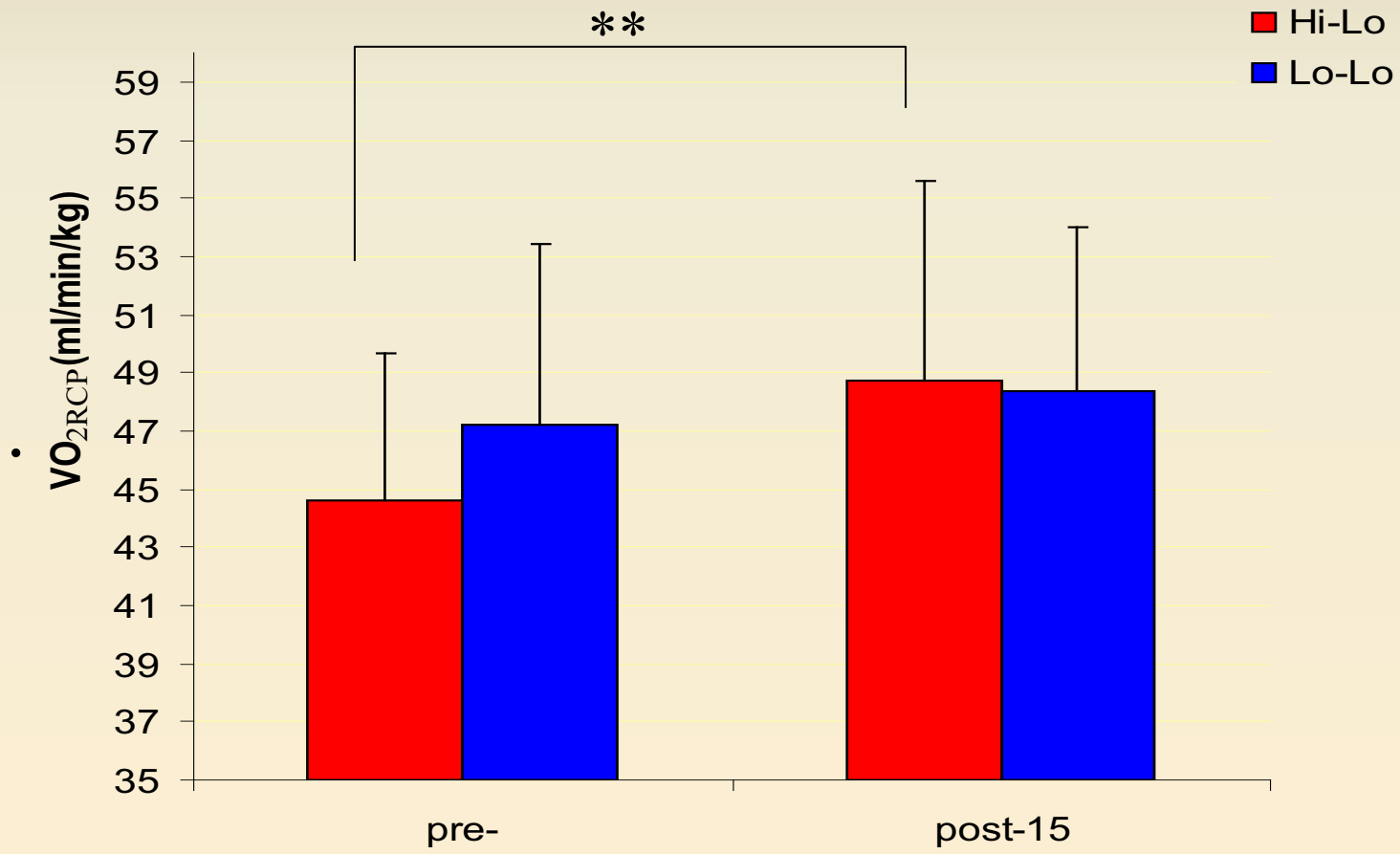
- ✓ une augmentation de $\dot{V}O_{2max}$, de PMA
- ✓ une augmentation de concentration de Hb

Rusko et al. (1996), Levine et Stray-Gundersen (1991, 1992, 1997)

Pas de modification du CE

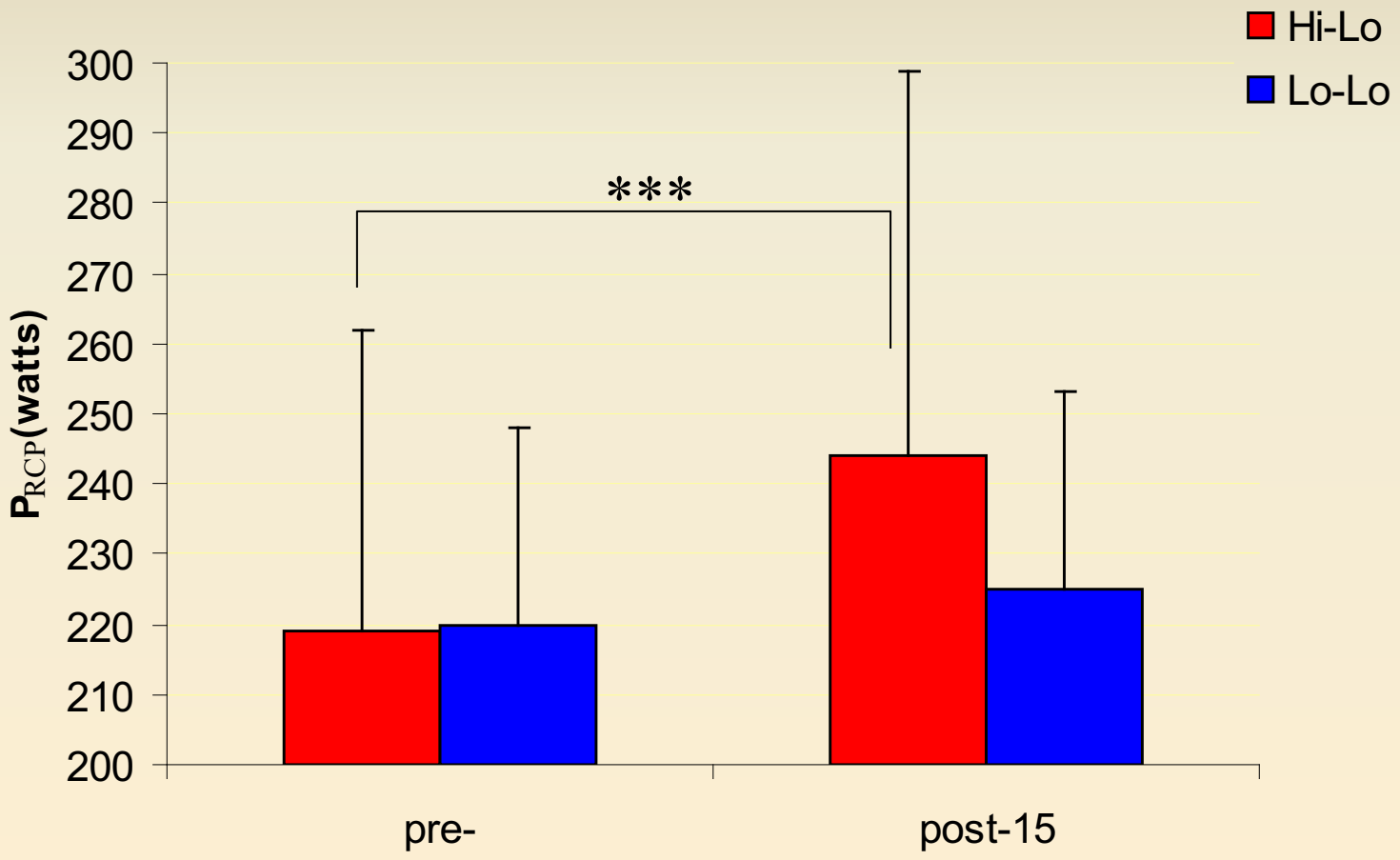
Saunders et al. (2004) / Lundby et al. (2006).

$\dot{V}O_2$ au point de compensation respiratoire

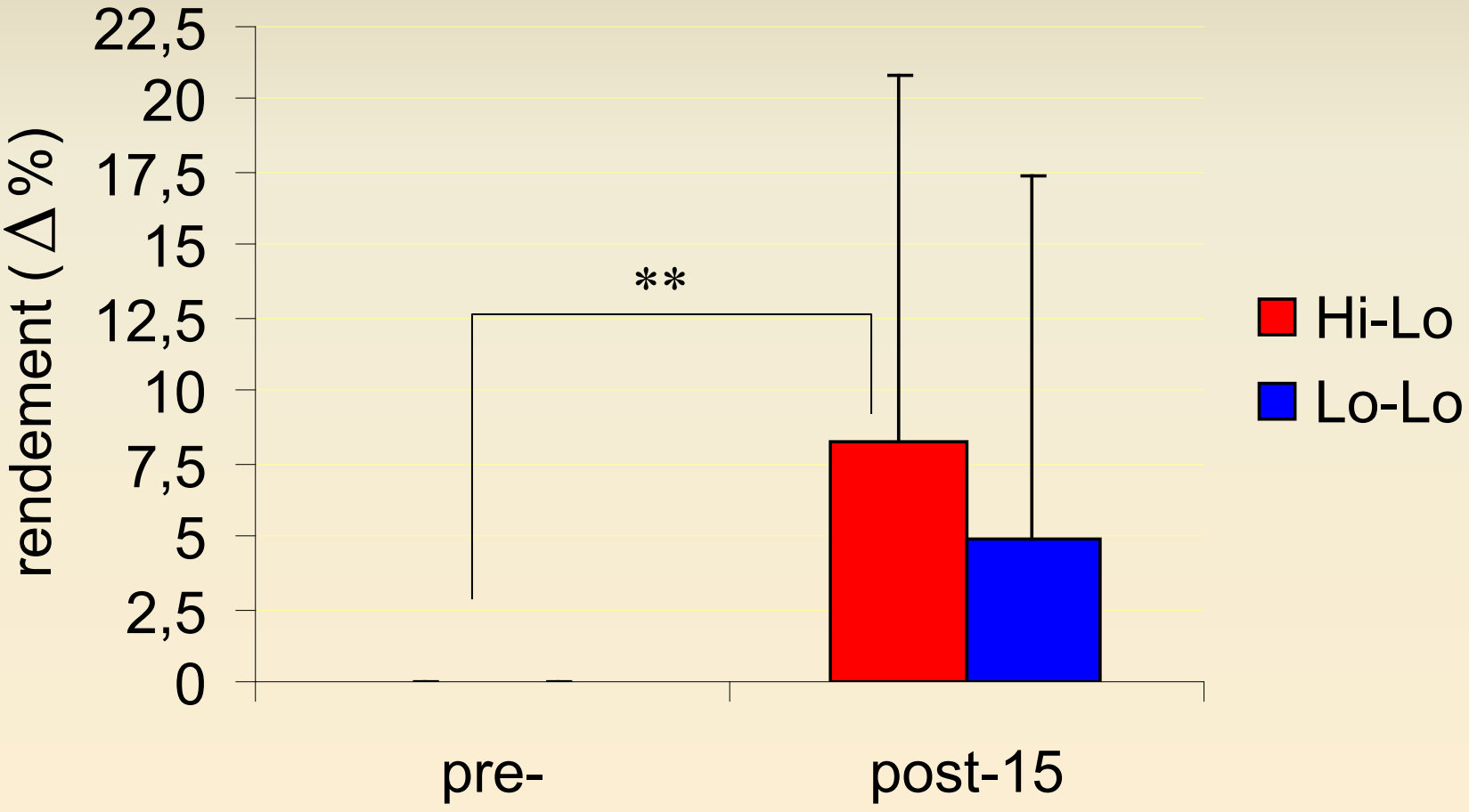


Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Puissance au point de compensation respiratoire



Rendement mécanique sur ergocycle



Discussion : test post15

✓ La PMA est encore améliorée par rapport à la fin de Hi-Lo

✓ L'augmentation de $\dot{V}O_{2max}$ n'est plus significative par rapport au pré-test

✓ La concentration de Hb est revenue au niveau du pré-test

Discussion : test post15

✓ ↗ des niveaux de $\dot{V}O_2$ et de puissance au seuil de compensation respiratoire (Tanaka 1990, Impellizzeri et al. 2005)

✓ Le CE ↘ 15 jours plus tard dans les deux groupes

(ce n'est pas dû à un effet hypoxique mais à un effet de récupération lors de l'entraînement post-stage en basse altitude)

✓ Le rendement mécanique ↗ 15 jours plus tard dans les deux groupes ($P < 0.01$ dans Hi-Lo)

Discussion: test post15

L'amélioration de performance est sans doute due à des améliorations périphériques au niveau musculaire

- pouvoir tampon : Mizuno et al. (1990), Gore et al. (2001), Gore et Hopkins (2005)
- AGL, enzymes aérobies : Melissa et al. (1997)
- CE : Saunders et al. (2004)
- vascularisation : Terrados et al. (1988), Mathieu-Costello (2001)

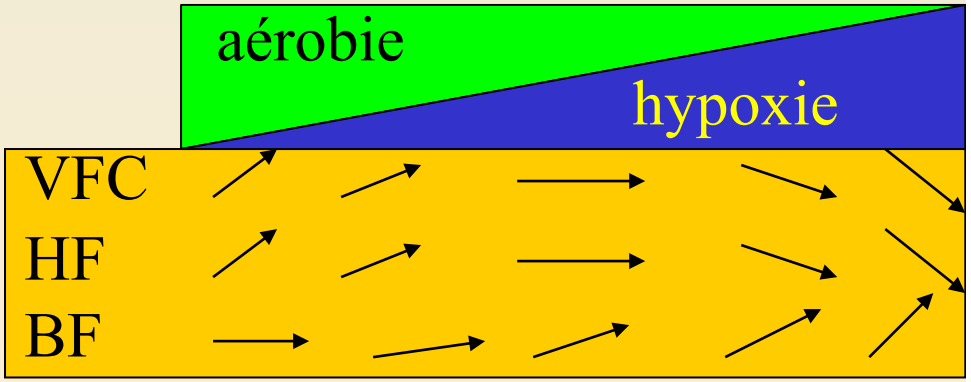
Conclusions

✓ L'entraînement à dominante aérobie peut être une bonne solution d'entraînement dans la méthode Hi-Lo.

✓ L'utilisation des chambres hypoxiques permet d'individualiser la stimulation hypoxique, limite les déplacements et les pertes de temps.

Synthèse des apports de l'étude

Fin Hi-Lo	15 j post-Hi-Lo	VFC-hypoxie-entraînement
PMA ↗	PMA ↗	PERF - HF_{SU}, BF_{ST}, TP_{SU}, TP_{ST}
$\dot{V}O_{2max}$ ↗	$\dot{V}O_{2max}$ =	
Hb ↗	Hb =	
CE =	CE ↘	
	$\dot{V}O_{2RCP}$ ↗	
	P_{RCP} ↗	



suivi individualisé de VFC en altitude

Entraînement aérobie

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Conseils aux entraîneurs

- Pour une compétition en altitude : la placer en fin de stage hypoxique (acclimatation : Hb, masse des GR…)

- Pour une compétition au niveau de la mer : la placer 15 jours (ou +?) après la fin du stage (tampons, AGL, enzymes, CE…)

- Entraînement aérobie favorable dans la méthode Hi-Lo

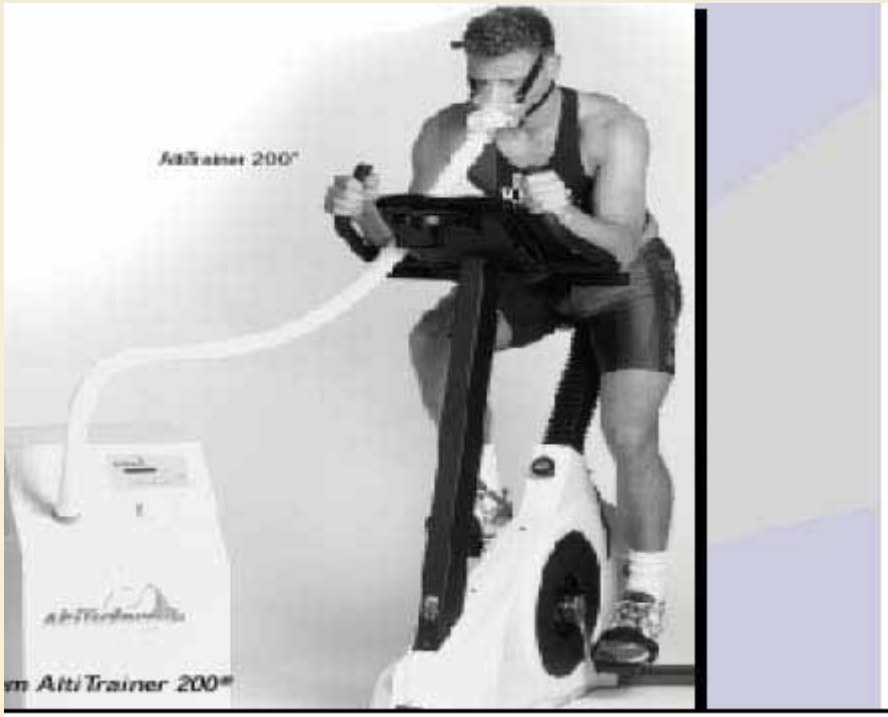
- Durée minimale de stimulation hypoxique : 15 jours de stage avec 12h/24h en hypoxie

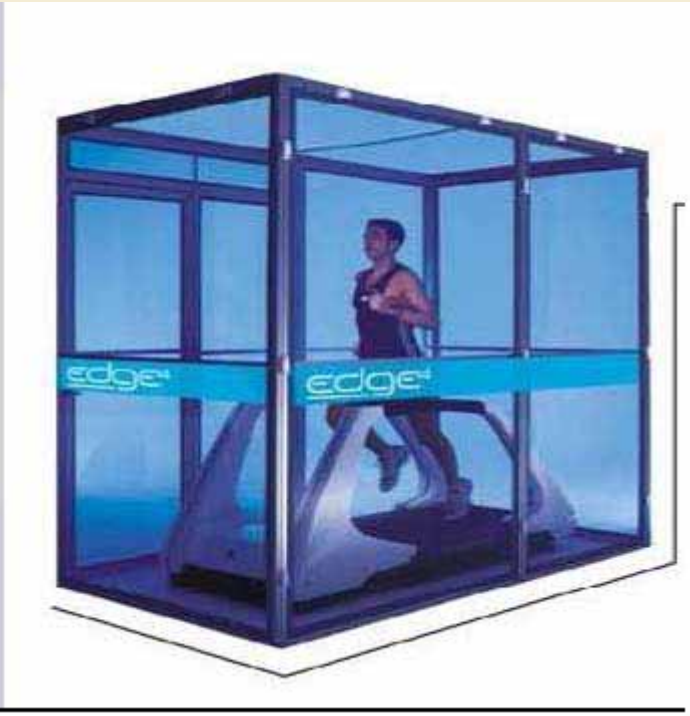
- Altitude maximale : < 3000 m

Conseils aux entraîneurs

• L'analyse de VFC peut constituer un témoin de la capacité du sportif à assimiler la charge d'entraînement au cours d'un stage en altitude.

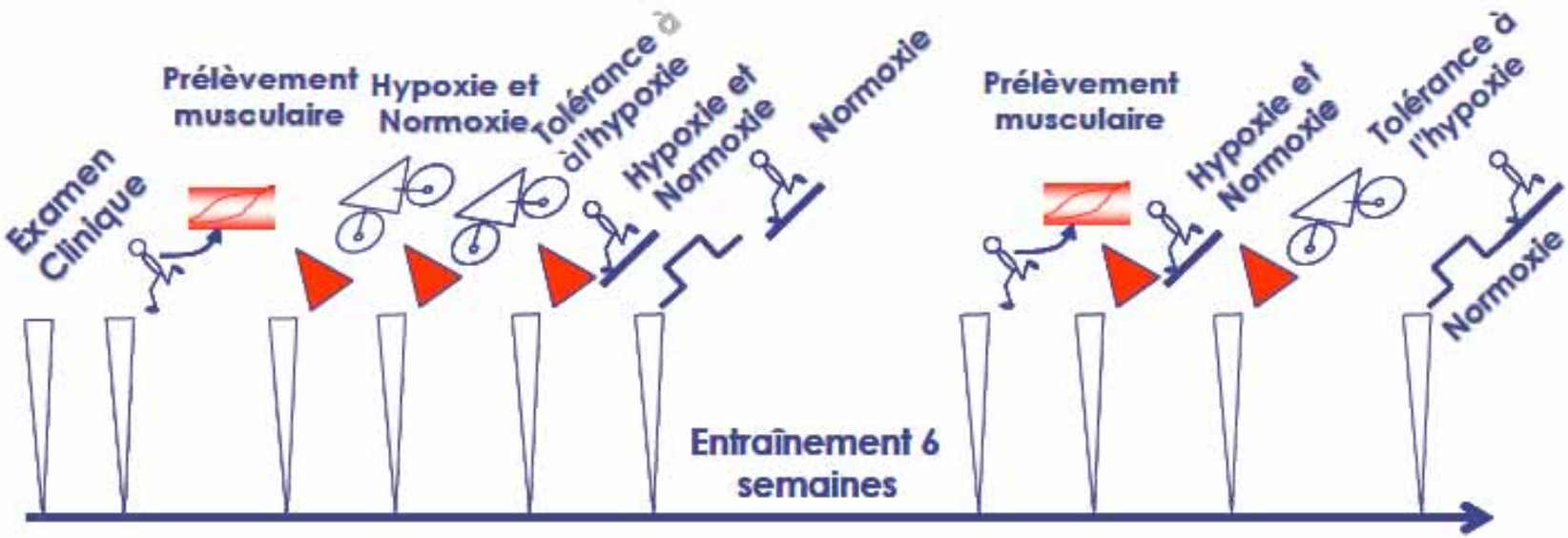
Méthode Lo-Hi
vivre en en altitude basse et s’entraîner en hypoxie





Méthode Lo-Hi, protocole

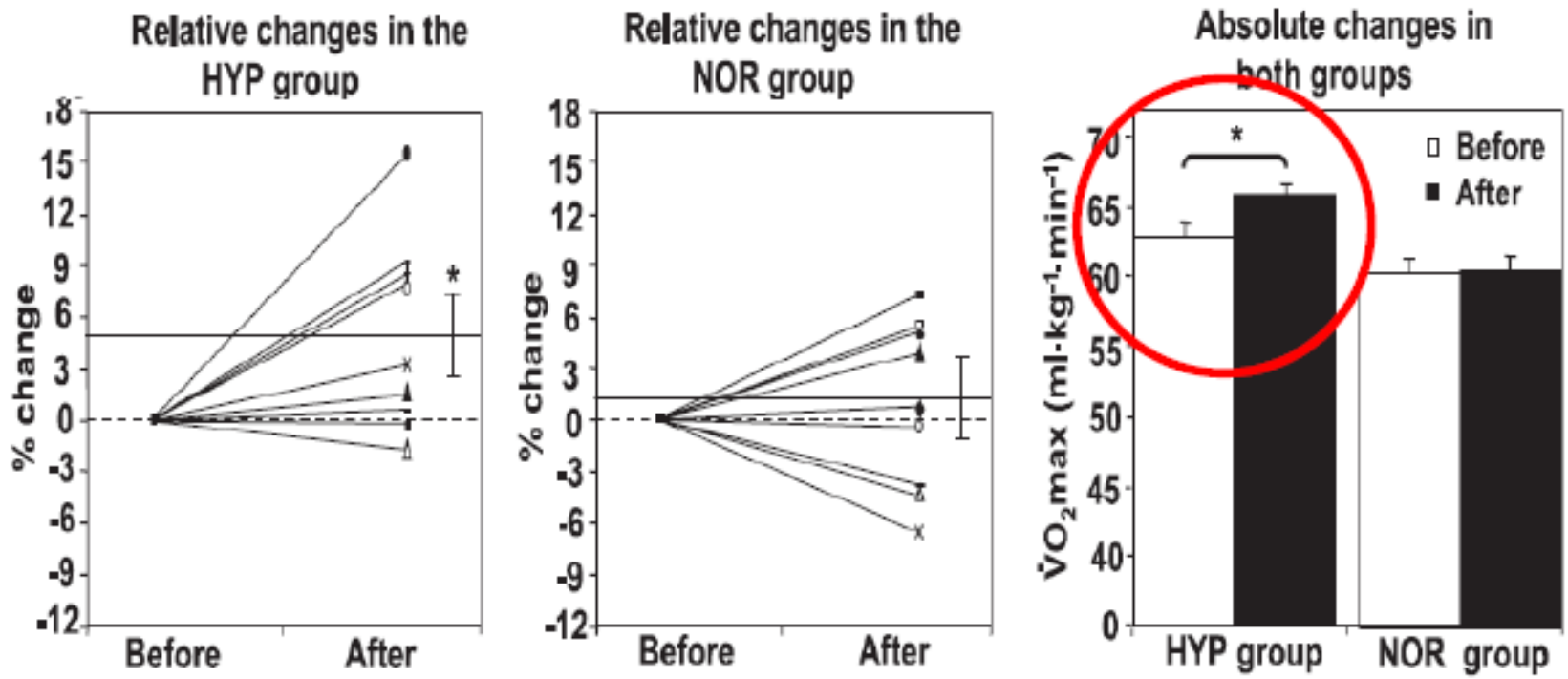
(Dufour, Richard et al. 2006)



2 des 5 entraînements sur tapis roulant :

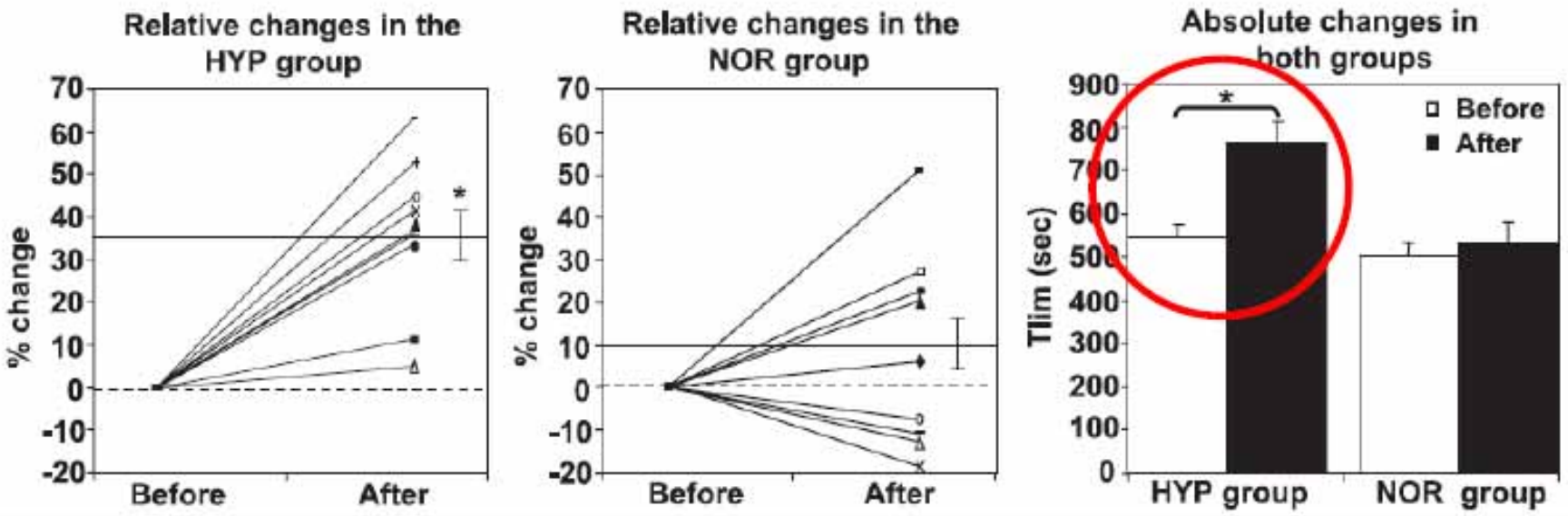
Sem 1 et 2 - 2×(2×12 min) à 85% de VO_2 max	**Groupe HYP**
Sem 3 et 4 - 2×(2×16 min) à 85% de VO_2 max	**Groupe NOR**
Sem 5 et 6 - 2×(2×20 min) à 85% de VO_2 max	

Méthode Lo-Hi, résultats VO2max



Dufour SP et al. J Appl Physiol. 2006; 100: 1238-1348

Méthode Lo-Hi, résultats Tlim VMA



Dufour SP et al. J Appl Physiol. 2006; 100: 1238-1348

Méthode Lo-Hi, explications

(Dufour, Richard et al. 2006)

- Pas d'action sur le transporteur (GR, hémoglobine)
  - → Hypoxie de courte durée (au maximum 80 min/sem)
- Pas d'action sur la quantité de mitochondrie
  - → Dans cette étude population très entraînée
  - → Expression des mARN (PGC-1α, TFAM)
- Meilleure contrôle des perturbations intra-cellulaires en situation de demande énergétique élevée
  - → Allongement du Km mitochondrial
  - → Expression des mARN (Glut4, CA3, MCT1)

Différentes méthodes d'entraînement en hypoxie

SYNTHESE des principaux effets de l'entraînement en hypoxie			
Effets attendus sur :	**Hi-Hi**	**Hi-Lo**	**Lo-Hi**
Globules Rouges	+ +	+ + +	-
VES	+	+ +	-
Capillarisation	+	+ +	+ +
Enzymes aérobies	+	+ +	+ + +
Tampons	+	+ +	+ + +

Hi-Hi : vie et entraînement en altitude 1800-2500 m, **Hi-Lo** : vie en altitude 2500-3500 m et entraînement en basse altitude 0-1000 m, **Lo-Hi** : vie en basse altitude 0-1000 m et entraînement en altitude 2500-3500 m.
- pas d'effet, + effet modéré, + + effet prononcé, + + + effet important

Différentes méthodes d'entraînement en hypoxie

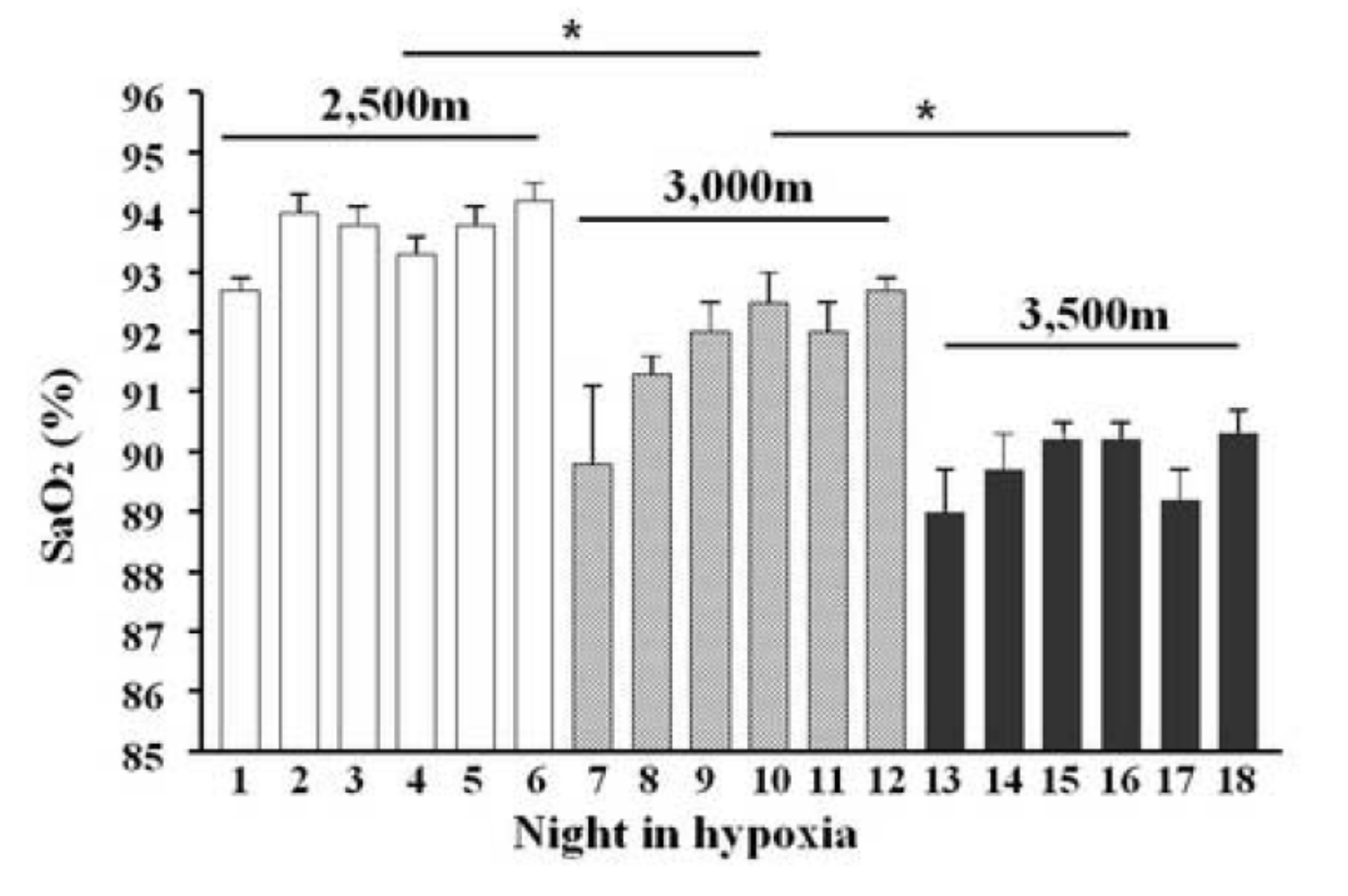
Hypoxique Method	Number of studies	Increased performance Positive mechanisms	No additional effect	Negative mechanisms
Nitrogen dilution	19	12	2	5
Oxygen filtration	10	5	2	3
LH-TL		**58%**	**14%**	**28%**
IHT	16	8	8	0
		50%	**50%**	**0%**
ALL	45	56%	18%	18%

(Bonetti et Hopkins, 2009)

Les paramètres à suivre pendant un stage en hypoxie

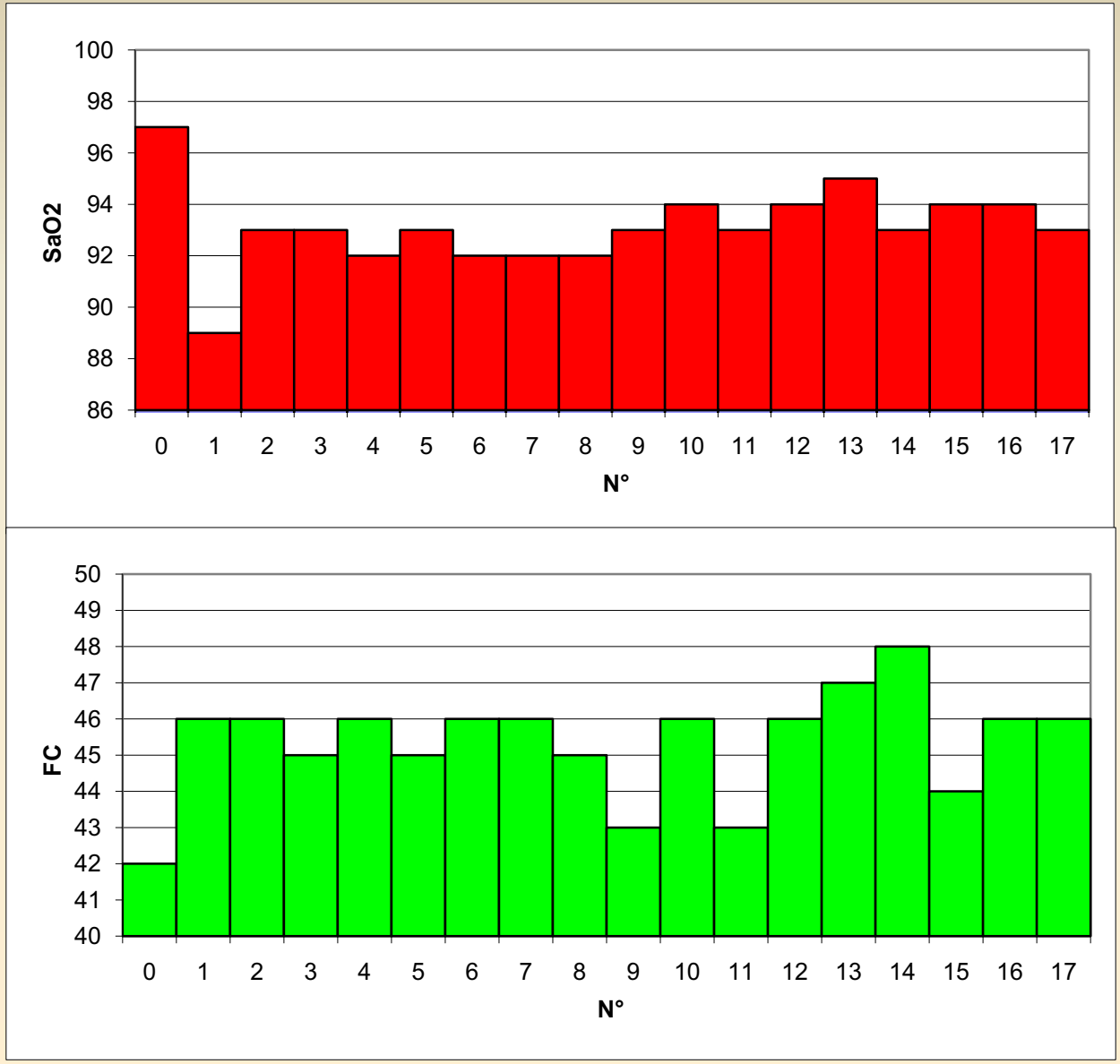
Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

SaO2 et FC nocturne



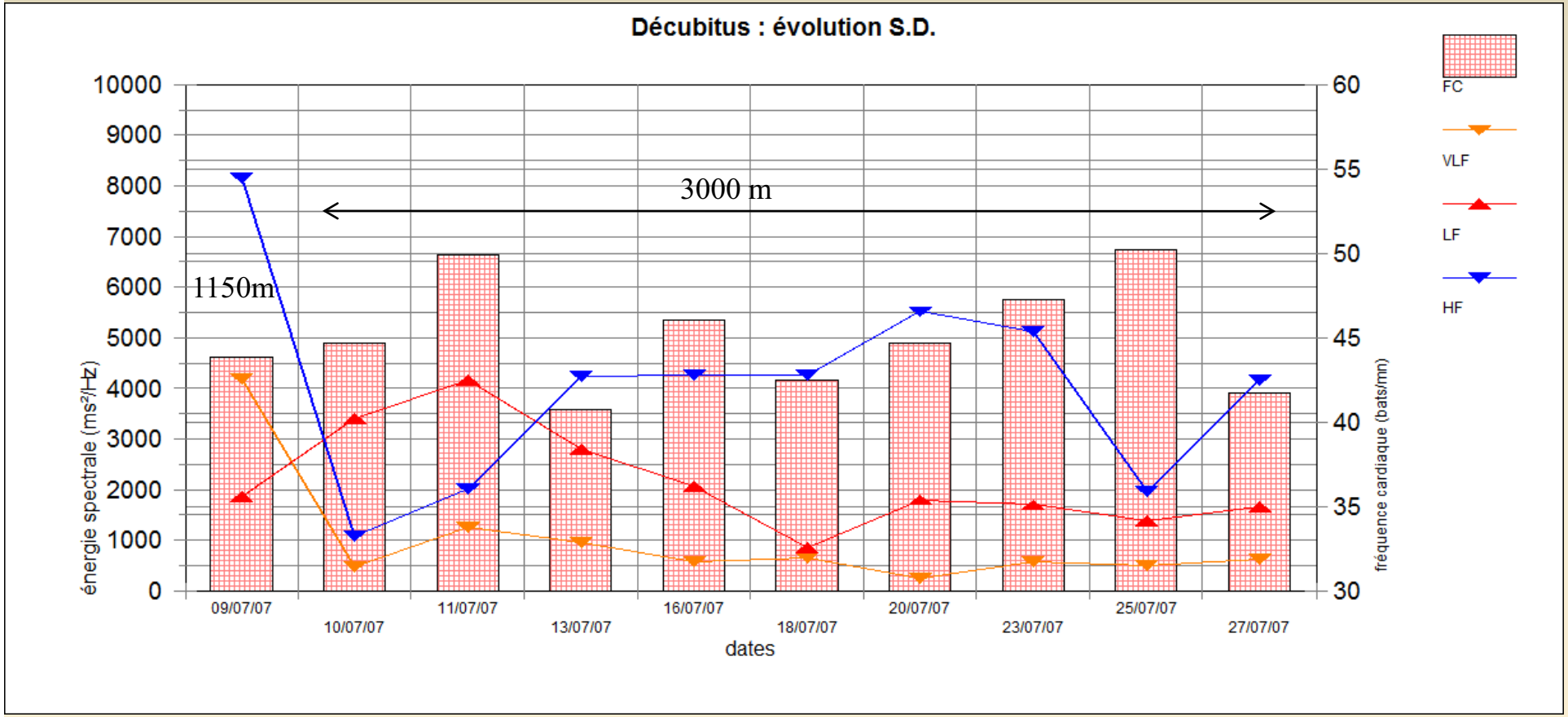
Brugniaux et al. 2006

SaO2 et FC nocturne

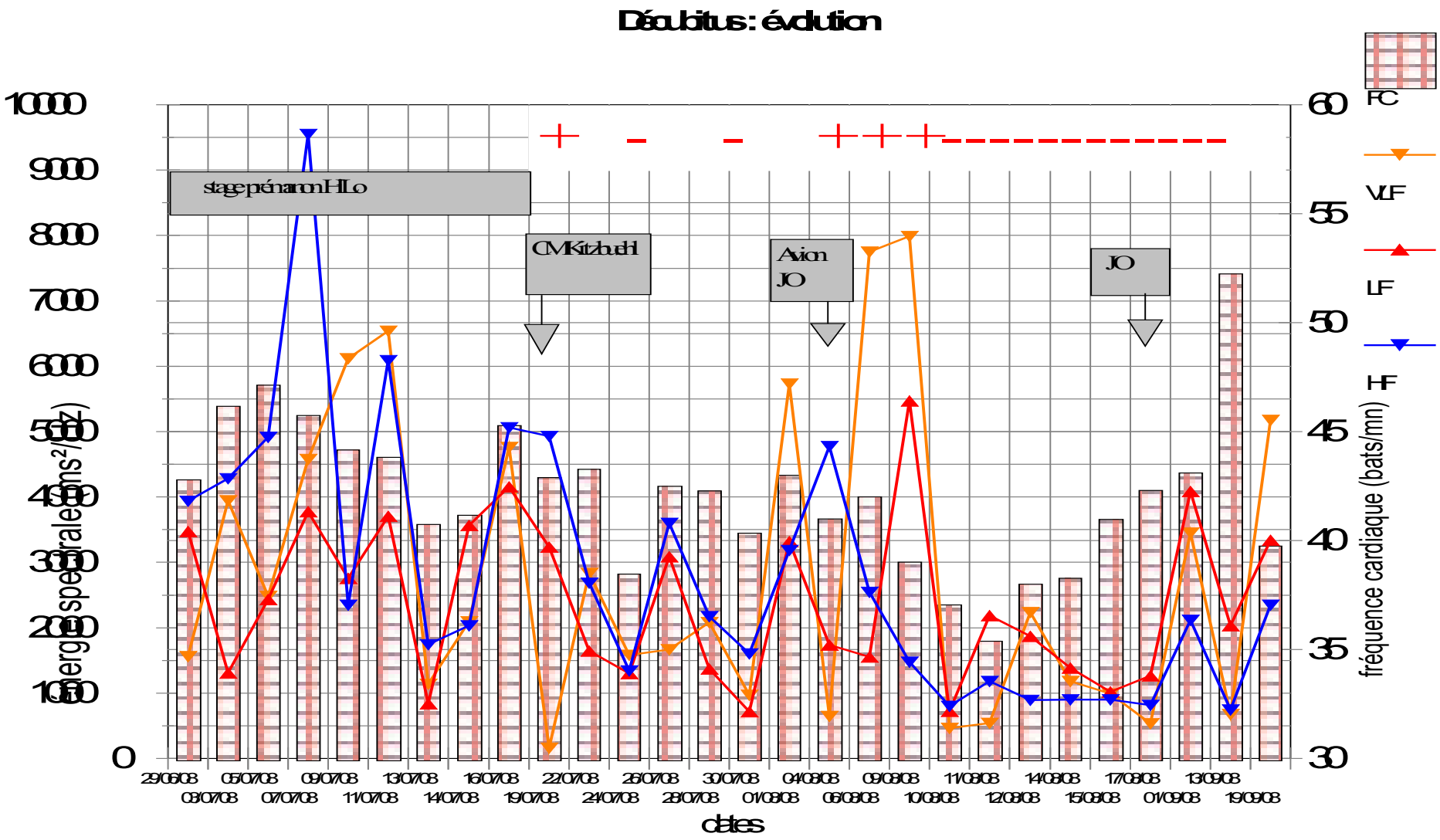


Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Activité neuro-végétative



Activité neuro-végétative



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Individualisation de l'entraînement en hypoxie
Moyens d'évaluation de l'acclimatation

La prise de la FC le matin (toujours dans les mêmes conditions)

La prise de lactate lors des entraînements (qui devrait baisser au fur et à mesure de l'acclimatation pour une même intensité)

L'évolution de la SaO_2 au repos et/ou nocturne

La mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) permet de suivre l'évolution de l'activité neuro-végétative et d'adapter l'entraînement

Rappels de quelques points fondamentaux pour bénéficier d’un stage en hypoxie

Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique

Points fondamentaux

Vérification du niveau de ferritine 4 semaines avant le stage

Arriver reposé pour le début du stage . Vérifier cet état par la mesure de l'activité neuro-végétative (VFC).

6 – 8 premiers jours , int < SV1 (avec Fvit et/ou Fmax).
Volume progressivement augmenté.

Hydratation très importante pendant et après l'ent.
Apport de fer et Vit C
Apport de glucides (lents) à chaque repas et pendant l'ent.
Apport de BCAA, oméga 3

Veiller à une bonne récupération : jacuzzi, massage

Veiller à un sommeil de bonne qualité, préparer l'endormissement
Suivre le niveau d'acclimatation (Sa02) et la capacité à assimiler la charge globale (hypoxie + ent.) par l'analyse VFC

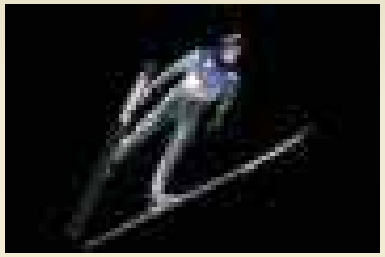
Points fondamentaux

Ne jamais aller en altitude en étant malade (infection). Arrêter la stimulation hypoxique en cas d'infection, maladie.

Diminuer le stress hypoxique, voire revenir en normoxie si l'acclimatation de réalise mal et que le sportif accumule la fatigue (suivi VFC)

Individualiser le stress hypoxique (suivi Sa02 et VFC)

Remerciements



Schmitt Laurent, Centre National de Ski Nordique