

## HYPEROXIE

Des performances  
dopées à l'oxygène

## RUNNER'S HIGH

Quand le cerveau  
produit son propre  
cannabis

D'OÙ VIENT LE  
**BONHEUR**  
APRÈS L'EFFORT?

## CYCLISME

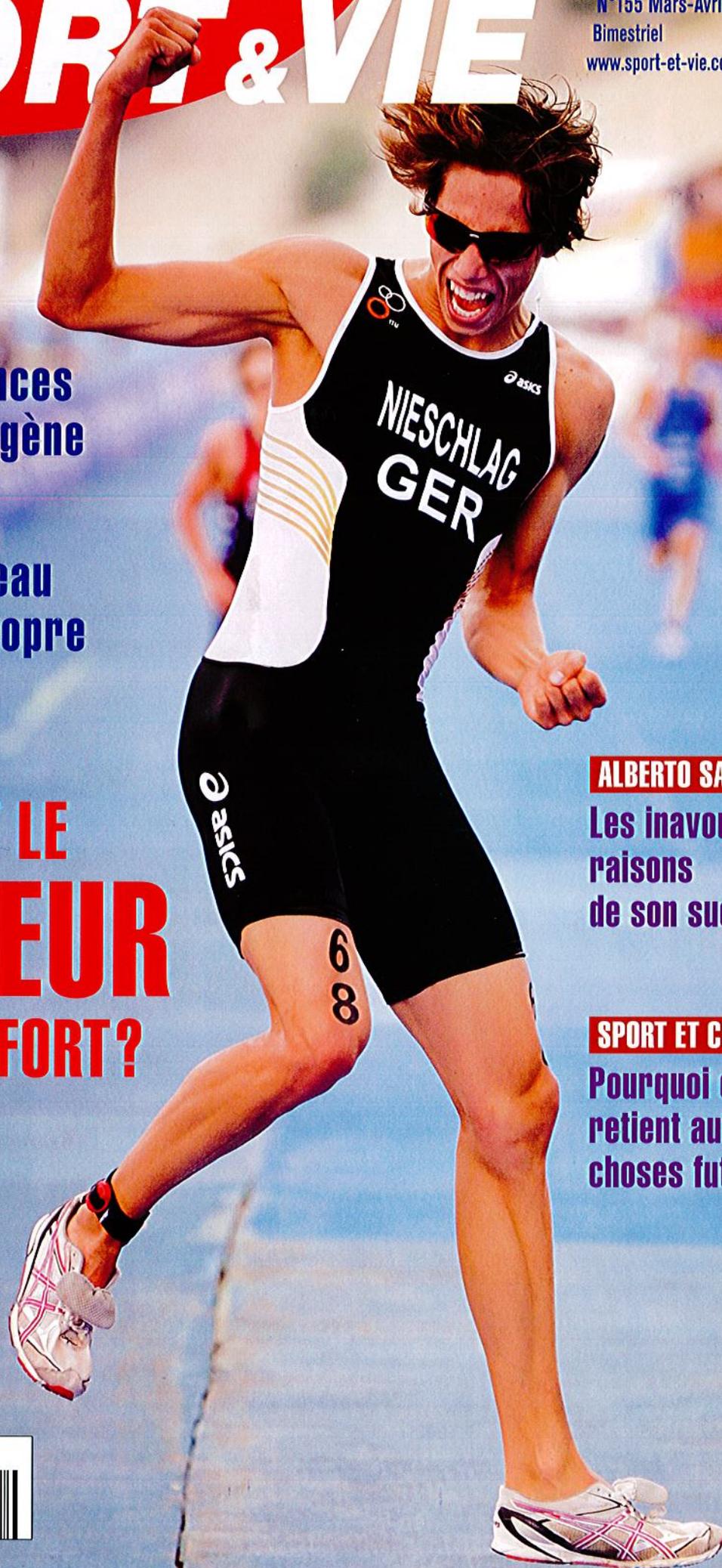
Moteurs et  
autres tricheries  
célèbres

## ALBERTO SALAZAR

Les inavouables  
raisons  
de son succès

## SPORT ET CULTURE

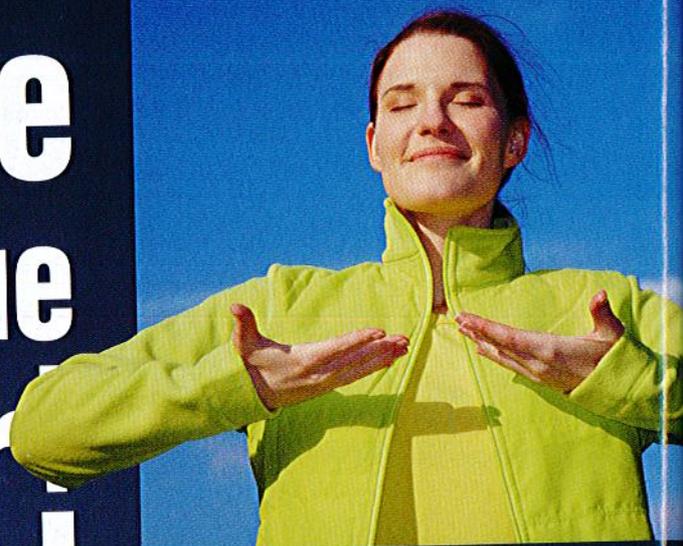
Pourquoi on  
retient autant de  
choses futiles



L 12403 - 155 - F: 5,90 € - RD



# Hyperoxie la méthode qui ne manque pas d'air!



Beaucoup d'études ont été consacrées à mesurer les effets de l'hypoxie sur la performance. Et si on faisait le contraire? Plutôt que de rationner l'oxygène, si on faisait en sorte que les athlètes respirent ce gaz à pleins poumons?



**D**ans l'histoire des sciences du sport, on a beaucoup joué avec la teneur en oxygène de l'air inspiré de façon à déclencher des adaptations physiologiques chez l'athlète d'endurance comme d'augmenter le nombre de ses globules rouges. Au début, on s'y prenait en partant à la montagne tout simplement. La pression de l'air diminue en altitude et donc on capte son oxygène plus difficilement. Pour le même résultat, on peut aussi opter pour un système dit "normobarique". Dans celui-ci la pression atmosphérique ne change pas. Mais on ajoute de l'azote pour abaisser la part d'oxygène en dessous de sa valeur normale (20,9%). Ce faisant, on reproduit artificiellement les conditions d'oxygénation rencontrées en altitude. C'est relativement facile à mettre en place. Il suffit de disposer d'un endroit étanche (tente, chambre, caisson) et d'un mélangeur de gaz. Est-ce qu'on améliore vraiment sa forme physique en recourant à ces méthodes dites hypoxiques? Tout dépend des personnes. Pour faire simple, disons qu'elles se révèlent bénéfiques un cas sur deux environ. Il faut éviter en effet que les désagréments ne l'emportent sur les avantages. Ainsi l'hypoxie peut effectivement favoriser l'érythropoïèse (production de nouveaux globules rouges). En revanche, elle complique le travail de régénération musculaire. Après un effort intense, les courbatures sont à la fois plus prononcées et plus longues à disparaître. Les chercheurs se sont alors demandé ce que donnerait le processus inverse. Plutôt que de

rationner l'oxygène, qu'est-ce qui se passerait si on en augmentait tout simplement l'apport. Là encore, on peut s'y prendre de deux manières. Soit on élève la teneur en oxygène de l'air inspiré grâce à une simple bouteille d'oxygène comme en salle de réanimation (solution normobarique). Soit on augmente la pression atmosphérique (solution hyperbarique). Comme pour l'hypoxie, cela peut se faire par le biais de chambres pressurisées ou -pourquoi pas?- de façon naturelle en descendant dans les profondeurs de la terre. Dans le monde, il existe quelques endroits où d'anciennes galeries ont été transformées en camps d'entraînement avec des pressions atmosphériques qui augmentent d'environ 0,1 bar par 100 mètres de profondeur. Pour une mine comme celle de Tau Tona en Afrique du Sud qui descend à 3860 mètres sous la terre, cela commence à compter. Au fond du trou,

**Le «Kristall Marathon» est l'épreuve de course à pied la plus profonde du monde. Chaque année, elle se déroule dans une mine de sel désaffectée près de Merkers en Allemagne. A 500 mètres sous terre!**

**Certains coureurs ne supportent pas l'altitude. Ici Tim Wellens.**



l'augmentation de la pression partielle de l'oxygène facilite sa diffusion dans le sang. Dans ce cas, on peut clairement parler d'hyperoxie. Lorsque les sillons d'or seront épuisés, l'endroit sera peut-être converti en camp d'entraînement. Qui sait? Du point de vue pratique, on se doute tout de même que la mise en place d'un tel programme n'aurait rien d'évident. Certains athlètes se plaignaient déjà des contraintes qu'implique l'organisation d'un stage à la montagne. Que diront-ils lorsqu'il s'agira d'aller s'entraîner sous la terre? De plus, la température augmente à mesure que l'on se rapproche du noyau. Sans compter les risques générés par la fuite d'éventuels gaz toxiques et ceux des tremblements de terre. Les conditions idéales d'entraînement paraissent difficiles à réunir et les quelques tentatives de ce type menées par le passé n'ont pas véritablement été couronnées de succès. Il fallait trouver

autre chose. Dans les années 50, les célèbres professeurs Bannister et Cunningham (Université d'Oxford) choisirent plutôt de jouer sur la composition de l'air inspiré par leurs athlètes via des bombes d'air comprimé comme celles qu'on utilise en plongée (1). Les performances étaient soigneusement relevées selon qu'ils respiraient un air normal (20,9%), enrichi en oxygène (33% et 66%) ou même carrément de l'oxygène pur (100%). Les deux savants s'aperçurent alors que la production d'énergie évoluait avec la teneur en oxygène.

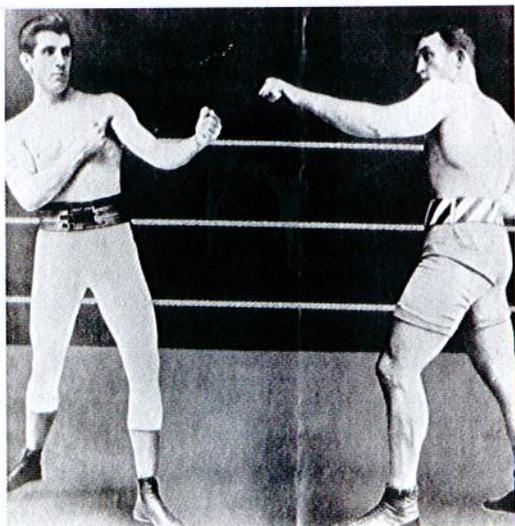
Depuis lors, on sait qu'un coureur de demi-fond peut améliorer ses records presque à coup sûr si on lui permet de respirer de l'oxygène pur pendant sa course. Curieusement, cette éventualité ne semble pas constituer un souci pour les autorités sportives. En tout cas, l'inhalation d'oxygène n'est pas reprise dans la liste rouge des interdits du dopage. Il est vrai qu'elle impliquerait de courir avec des bombonnes dans le dos et le surpoids de cet attirail pénaliserait probablement l'athlète plus qu'il ne lui faciliterait la vie. L'hyperoxie en compétition paraît donc difficile à mettre en place. En revanche, on pourrait y recourir assez facilement en marge des concours. Prenons l'exemple d'un tournoi de judo où il faut se produire

plusieurs fois au cours d'une même journée. Quelques goulées d'oxygène entre les combats permettraient de refaire plus vite ses réserves en phosphocréatine musculaire et par la même occasion de se remettre plus rapidement dans les meilleures dispositions pour un retour sur le tatami. Subtil, non? En réalité, cette idée n'a rien de très original. Ni rien de très nouveau. Le 14 août 1903, le boxeur américain James Corbett livra un combat d'anthologie contre le redoutable Jim Jeffries. Les journalistes de l'époque rapportent qu'entre les rounds, il respirait de grandes goulées d'oxygène pur contenu dans une fiole. Certes, il fut battu. Mais ce premier recours à l'hyperoxie inspira d'autres champions et, dans les décennies qui suivirent, ils furent nombreux à sacrifier à ce petit rituel dans des disciplines comme le football, le cyclisme, le tennis, la natation et, bien sûr, l'athlétisme (2). Est-ce que cela marche? Jusqu'à récemment, les données de la littérature scientifique sur cette thématique étaient de nature "conflictuelle", disent les savants. En d'autres termes, ils ne savaient pas. Certaines de leurs expériences paraissaient concluantes. D'autres ne

débouchaient sur aucun résultat concret. Nous en étions là lorsqu'une nouvelle série d'expériences a permis de lever plus haut ce coin du voile qui recouvre encore l'hyperoxie, et n'apporte des éléments qui méritent d'être versés au dossier.

## Les enfants de Corbett

On commence avec une étude conduite par une équipe australienne (3). Au cours de celle-ci, les sujets devaient courir vite (85% de  $VO_2$  max) dix fois de suite pendant 3 minutes, entrecoupés de phase de repos de 90 secondes exactement. Dur, dur! Dans le cadre d'un entraînement de ce type, on assiste habituellement à une chute de 8 à 13% de la saturation du sang en oxygène ( $SaO_2$ ) (\*). En clair, le sang ne se trouve plus à sa capacité maximale de transport du gaz. Les globules rouges passent trop rapidement dans les poumons et repartent pour un tour dans l'organisme sans leur cargaison habituelle d' $O_2$ . Bien sûr, cela se répercute sur la performance. Dès lors qu'on dépasse les 3% de diminution de la saturation en oxygène, il existe une relation



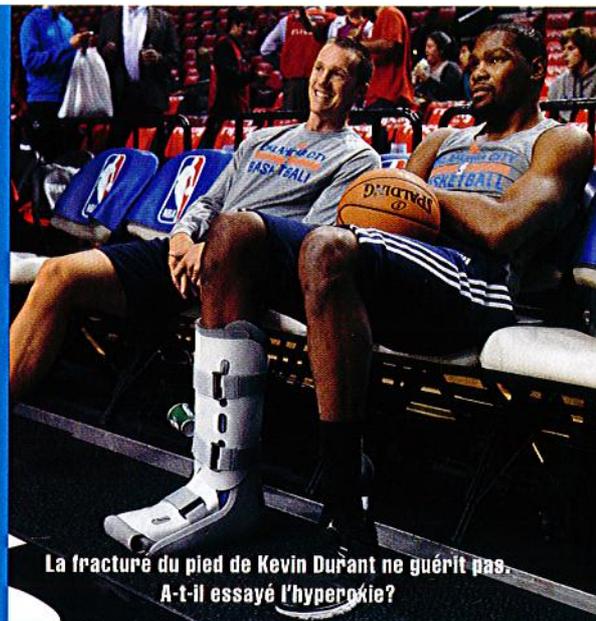
**James Corbett (à gauche) était déjà âgé de 37 ans lors de son match revanche contre Jim Jeffries (à droite). Il comptait sur l'oxygène pour tenir les 25 rounds du combat. Cela n'a pas suffi. Il fut arrêté au dixième.**



**En judo, l'oxygène peut aider à refaire plus vite le plein d'énergie.**

## LE GAZ QUI GUÉRIT

Beaucoup d'hôpitaux sont équipés de caissons hyperbares vers lesquels on dirige les malades après un accident de plongée par exemple mais aussi en cas d'intoxication au monoxyde de carbone ou à l'issue d'accidents ayant entraîné un écrasement des tissus (crush injury) comme cela arrive parfois en sport. Ces caissons permettent de monter jusqu'à 9 atmosphères. Ces fortes pressions facilitent alors le passage de l'oxygène dans le sang. Cette médecine hyperoxique donne aussi de bons résultats en situation dite "élective", c'est-à-dire lorsqu'il s'agit de favoriser la cicatrisation des plaies délicates après une opération, une radiothérapie ou de graves brûlures. L'oxygène est un excellent régulateur de la croissance musculaire (9). A son contact, les cellules satellites se différencient, ce qui favorise la régénération musculaire ainsi que le rétablissement rapide d'une contraction efficace (10, 11). Des études sur les animaux ont également montré que le muscle n'était pas le seul à bénéficier d'un tel traitement (12). L'hyperoxie permet une meilleure régénération des os après une fracture, mais aussi des cartilages et de la moelle épinière. Elle semble aussi prometteuse dans la prévention des dommages cérébraux lors d'une ischémie cérébrale transitoire (mini AVC) par exemple. En même temps, on se méfie car l'élévation de cet apport d'oxygène favorise la formation des redoutables radicaux libres qui détruisent les membranes cellulaires et participent à la genèse d'un grand nombre de maladies, y compris les cancers (13). A consommer avec modération, donc.



La fracture du pied de Kevin Durant ne guérit pas. A-t-il essayé l'hyperoxie?

## BAMBI DANS L'INCENDIE

Beaucoup de gens croient dur comme fer à l'efficacité du caisson à oxygène pour lutter contre les affres du vieillissement. Tout cela vient probablement d'un étonnant concours de circonstances. Le 27 janvier 1984, Michael Jackson tourne un pub pour Pepsi-Cola à Los Angeles. Il doit descendre un escalier en dansant au milieu des éclairs produits par les bombes à magnésium. L'une d'elles explose trop près de son visage. Sa chevelure prend feu. On l'évacue d'urgence vers l'hôpital Cedars-Sinai. Les choses ne sont pas

trop graves. Dans sa biographie *Moonwalk*, Michael Jackson écrit même que les sirènes de l'ambulance l'amusent beaucoup. "C'était une des choses que j'avais toujours désirées quand j'étais petit: rouler dans une ambulance." Pour la marque Pepsi, c'est moins rigolo. Elle est très embarrassée par cette mauvaise publicité. Alors, pour éviter les poursuites, elle signe un chèque d'1,5 million de dollars que le chanteur s'empresse d'utiliser pour constituer un fonds d'aide aux grands brûlés dont le sort l'a visiblement ému lors de sa brève visite dans leur service. En 1986, le "Michael Jackson Burn center" finance ainsi l'installation d'un caisson hyperoxique dans un centre médical de Californie. Au moment de la livraison, Michael Jackson l'essaie. Des photos sont prises alors qu'il est couché dedans. A la mi-septembre 1986, elles sont publiées dans le tabloïde britannique *The Sun*. En absence d'une légende explicite, la rumeur se répand selon laquelle Michael Jackson, désireux de vivre jusqu'à 150 ans, passerait désormais une bonne partie de ses journées dans un coffre qui rappelle beaucoup le cercueil de Dracula. N'oublions pas que nous sommes en pleine époque de promotion du disque *Thriller* qui mêle la pop musique à l'univers Gore. Le clan Jackson laisse dire. Et voilà comment est née la légende.



Michael Jackson, un chanteur à coffre

linéaire avec la production d'énergie et pour chaque pour cent supplémentaire, on perd aussi 1 à 2% de  $VO_2$  max (4). Dans l'expérience en question, on comparait les performances des sujets dans le cadre de deux sessions d'effort. Dans la première, les sujets respiraient un air parfaitement normal entre les séries. Lors de la seconde, on leur donnait un air constitué de 99,5% d'oxygène. Première constatation: ils ont tous trouvé l'air enrichi en oxygène plutôt efficace! D'après les témoignages, ils se sentaient plus en forme après ces quelques goulées et mieux capables d'enchaîner les efforts. Au plan physiologique, on remarquait aussi que la méthode permettait un rétablissement plus rapide de la saturation artérielle de l'hémoglobine (\*\*). Cepen-

dant, l'analyse des habituels marqueurs du stress cellulaire n'a pas permis de mettre en évidence une éventuelle amélioration de la récupération. Ainsi le dosage des protéines pro-inflammatoires (IL-6) variait peu selon qu'on s'entraîne avec ou sans phase d'hyperoxie. Ces résultats corroborent ceux d'une autre étude menée par le Docteur Christoph Zinner à l'université de Wurtzbourg en Allemagne. En 2014, il avait montré que le recours à l'hyperoxie lors des récupérations dans le cadre d'une séance d'entraînement par intervalles permettait de recharger plus rapidement ses batteries (5). Surtout lorsqu'on s'entraîne en altitude! Cent dix ans après le combat malheureux contre Jeffries, la méthode Corbett semblait enfin faire ses preuves.

(\*) Cette mesure (Sa O<sub>2</sub>) s'effectue habituellement sur la base d'une prise de sang artérielle. Plus simple: on peut aussi se servir d'appareils d'oxymétrie qui donnent une valeur similaire: la saturation pulsée en oxygène (SpO<sub>2</sub>). Cette valeur repose sur le principe d'absorbance des rayons lumineux selon que l'hémoglobine est chargée ou non en oxygène.

(\*\*) Note pour les spécialistes: on sait que certains sportifs très entraînés peuvent pousser leur effort jusqu'à atteindre des stades de désaturation artérielle en oxygène (NB: ce sont les fameux athlètes HIE). Chez eux, l'hyperoxie donne d'excellents résultats. En respirant un air enrichi en oxygène, ils améliorent sensiblement leur VO<sub>2</sub> max. Curieusement, ce gain ne s'accompagne pas d'une amélioration de même ampleur des niveaux de performance. Tout se passe comme si l'apport supplémentaire d'oxygène déreglait un peu la mécanique musculaire. Les muscles sont mieux approvisionnés. Mais ils gaspillent davantage. Quant à savoir si l'on conserve un avantage de ces séances hyperoxiques lorsqu'on revient dans des conditions normoxiques: c'est tout à fait possible. Mais cela n'a jamais été démontré. Ou plus exactement, cela n'a jamais été publié. Il se pourrait cependant que les athlètes qui utilisent ces méthodes à leur profit ne soient pas très soucieux de partager ce secret avec leurs adversaires.

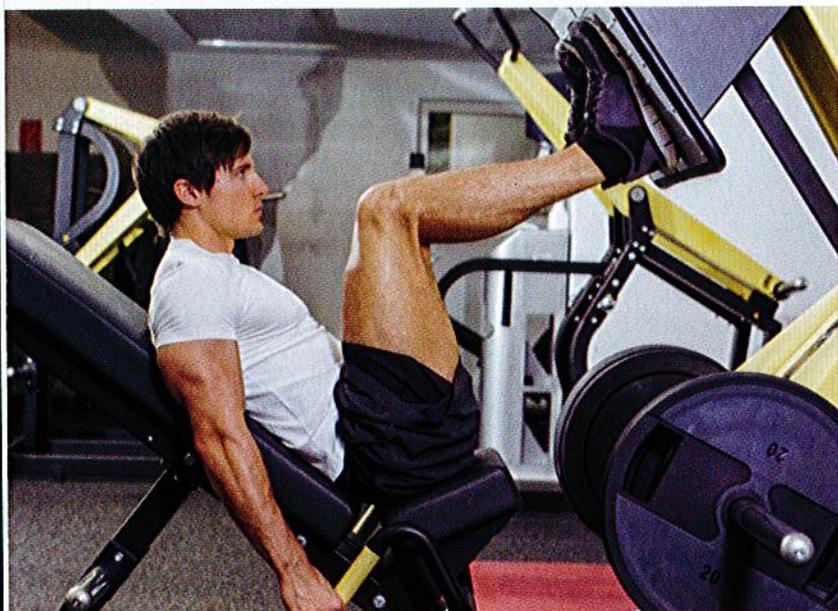
## En direct de Fukushima

Pour l'expérience suivante, on prend la direction d'une ville japonaise dont le nom reste associé au pire drame survenu dans l'histoire industrielle du nucléaire civil: Fukushima. Après la catastrophe de 2011, l'établissement plutôt spécialisé dans les sciences humaines et l'économie a ouvert une nouvelle section de recherche sur l'environnement. On y travaille en collaboration étroite avec d'autres laboratoires dans le monde sur les capacités adaptatives de l'homme. Dans le cadre d'une de ces expériences, le Docteur Yuka Yokoi a testé la capacité de sujets à refaire neuf fois de suite (3 séries de 3 répétitions) un exercice relativement intense puisqu'il s'agit de résister pendant 30 secondes à une lourde charge à la seule force des jambes (6). La charge elle-même correspondait à 70% du maximum.

après un exercice intense. Par quel miracle? C'est là que les choses se compliquent. Car aucun des trois autres paramètres testés ne révélait de variations. Il se pourrait donc que l'effet de l'inhalation d'oxygène agisse sur le système nerveux central à la manière d'un coup de fouet. Un peu comme l'ammoniac que sniffent les haltérophiles avant de monter sur le plateau. Par ailleurs, on sait que l'hyperoxie facilite la resynthèse de l'ATP et de la phosphocréatine: deux paramètres qui influencent le résultat lors d'un test de force maximale. Quoi qu'il en soit, cela fait trois publications qui, malgré des protocoles très différents, concluent finalement en faveur de l'hyperoxie. Il ne serait pas du tout étonnant de la voir progressivement réapparaître dans l'arsenal des adjuvants de l'effort. Si tant est qu'elle en soit jamais sortie.

## Les hockeyeuses ne répondent pas

Lorsqu'il s'agit d'expérimenter de nouvelles méthodes de préparation, les athlètes anglo-saxons sont souvent à la pointe, on le sait. Au vu des études concordantes sur les bienfaits de l'hyperoxie, le Docteur Kimberley Murray (Scotland Sport Institute) s'est proposée pour la tester auprès de joueuses internationales de hockey sur gazon (7). Pendant 6 semaines, une partie d'entre elles ont suivi un programme d'entraînement fractionné en respirant entre les efforts un air enrichi à 100% d'oxygène! On comparait leur progression avec les filles de l'autre groupe sans hyperoxie. Les auteurs ne constatèrent aucune différence pour ce qui concerne la vitesse maximale aérobie (VMA) ou l'évolution des taux de lactates dans le sang en regard des différents niveaux d'efforts. Cela ne changeait rien non plus pour tout ce qui concerne la perception subjective de l'effort. La seule (petite) différence concernait la fréquence cardiaque maximale, plus faible chez les athlètes entraînées en hyperoxie. Pourquoi? Bien malin qui pourra le dire! Pour les auteurs qui s'attendaient sûrement à une nouvelle confirmation de l'efficacité de la méthode, la désillusion dut être cruelle. En conclusion, ils se demandaient si l'absence de résultats ne venait pas du choix de la population. Chez des athlètes très entraînés, on se trouve face à une combinaison de paramètres

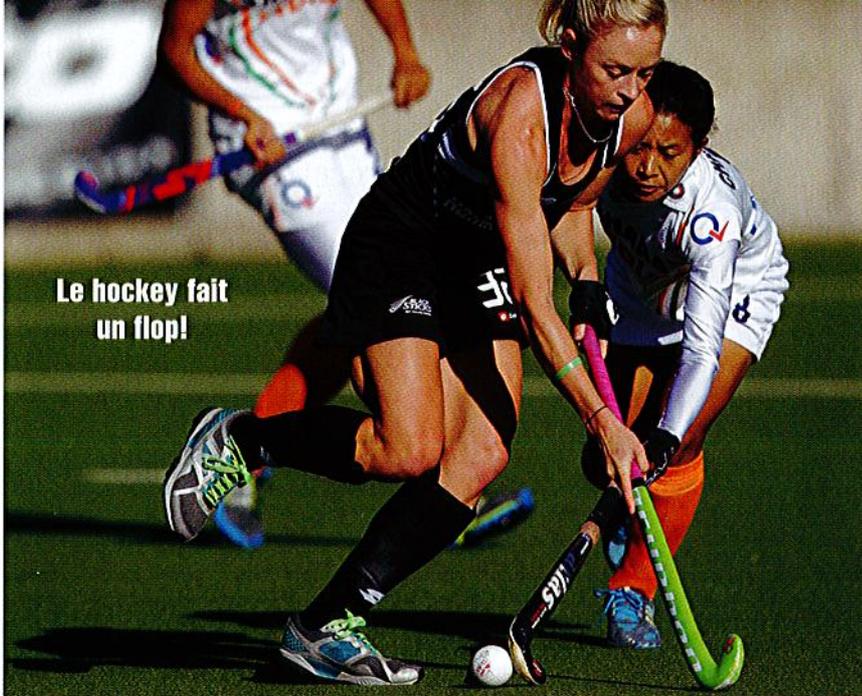


**Quinze pour cent de force en plus!**

**Le 13 mai 2007: Chris Hoy fait le plein d'O<sub>2</sub> avant de battre le record du 500 mètres sur le vélodrome de La Paz en Bolivie.**

Entre les séries, on respectait une période de repos de 15 minutes et on faisait respirer aux sujets soit un air normal (20,9%) soit un air légèrement enrichi en oxygène (30%). Afin d'évaluer les effets potentiellement bénéfiques de l'hyperoxie, les auteurs de cette étude quantifièrent 4 paramètres: la contraction maximale volontaire en mode isométrique, le temps d'endurance jusqu'à épuisement, les taux de lactate sanguin et la sensation de fatigue perçue. Les résultats furent probants en ce qui concerne la contraction maximale volontaire isométrique avec une différence de presque 15% en faveur du groupe hyperoxique! En respirant plus d'oxygène entre les séries, on est donc capable d'améliorer la récupération





**Le hockey fait un flop!**

physiologiques déjà optimale et donc difficile à améliorer. L'efficacité serait peut-être plus grande si l'on appliquait les mêmes méthodes à des athlètes de moindre niveau ou à des non sportifs. A vérifier. D'autres pensent que l'hyperoxie pourrait améliorer certains paramètres mais en réprimer d'autres, ce qui lui vaudrait cette équation à somme nulle. On la soupçonne notamment de jouer un rôle négatif sur la forme en empêchant les adaptations induites précisément par un état transitoire de déficit d'oxygène. Une recherche menée dans un laboratoire de Toronto en 2007 avait déjà montré que les méthodes hyperoxiques utilisées à

l'entraînement ne permettaient ni d'optimiser la fonction mitochondriale dans le temps ni d'induire une augmentation supplémentaire de l'aptitude aérobie (8). Tout reste drôlement compliqué. On conclura néanmoins que l'hyperoxie est efficace pour reproduire une série d'efforts maximaux à échéances rapprochées, mais qu'elle a échoué jusqu'à présent à faire la preuve de son efficacité dans le long terme. Jusqu'à la prochaine découverte!

**Anthony MJ Sanchez (Université de Perpignan, Font-Romeu), Thomas Chaillou (Karolinska Institute, Stockholm), Robin Candau (Université de Montpellier)**

#### REFERENCES

- (1) "The Effects on the respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air" dans *The Journal of Physiology*, juillet 1954.
- (2) "Dictionnaire du dopage" par Jean-Pierre de Mondenard, Ed. Masson 2004
- (3) "Effect of supplemental oxygen on post-exercise inflammatory response and oxidative stress" dans *European Journal of Applied Physiology*, avril 2013.
- (4) "Exercise-induced arterial hypoxemia" dans *The Journal of Applied Physiology*, décembre 1999.
- (5) "Influence of Hypoxic Interval Training and Hyperoxic Recovery on Muscle Activation and Oxygenation in Connection with Double-Poling Exercise" dans *PLoS One*, octobre 2015.
- (6) "Recovery effects of repeated exposures to normobaric hyperoxia on local muscle fatigue" dans *The Journal of Strength & Conditioning Research*, août 2014.
- (7) "Normobaric Hyperoxia training in elite female hockey players" dans *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, octobre 2015.
- (8) "The effects of training in hyperoxia vs. normoxia on skeletal muscle enzyme activities and exercise performance" dans *The Journal of Applied Physiology*, mars 2007.
- (9) "O(2) regulates skeletal muscle progenitor differentiation through phosphatidylinositol 3-kinase/AKT signaling" dans *Molecular and Cellular Biochemistry*, janvier 2012.
- (10) "Hyperbaric oxygen in the treatment of acute muscle stretch injuries Results in an animal model" dans *American Journal of Sports Medicine*, mai-juin 1998.
- (11) "Hyperbaric oxygen increases the contractile function of regenerating rat slow muscles" dans *Medicine & Science in Sports & Exercise*, avril 2002.
- (12) "Effects of Hyperbaric Oxygen at 1.25 Atmospheres Absolute with Normal Air on Macrophage Number and Infiltration during Rat Skeletal Muscle Regeneration" dans *PLoS One*, décembre 2014.
- (13) "Time course changes of oxidative stress and inflammation in hyperoxia-induced acute lung injury in rats" dans *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, janvier 2015.



## Les formations au coaching sportif professionnel



### LE MENTAL

- Améliorer la **confiance en soi** et son engagement dans l'action pour un effort consenti !
- Analyser les formes de travail collectif dans la **relation entraîneur – entraîné(s)** !
- Construire **des équipes efficaces** et productives.
- Développer des habiletés de **leadership** !

### LE PHYSIQUE : Prévention santé

- **Par l'activité physique :**  
Personnes à risque : protocoles de prise en charge, ordonnances et applications pratiques.
- **Par l'alimentation :**  
- La santé par l'alimentation.  
- L'alimentation adaptée à l'entraînement.

**Inscrivez-vous !**

Tél. : 0144263989  
contact@globaltraining-formation.fr

Nos formations se déroulent à l'Aquaboulevard de Paris