

# Déclaration de consensus du Comité International Olympique portant sur les défis de thermorégulation et d'altitude chez les athlètes de haut niveau

MF Bergeron,<sup>1,2</sup> R Bahr,<sup>3</sup> P Bartsch,<sup>4</sup> L Bourdon,<sup>5</sup> JAL Calbet,<sup>6</sup> KH Carlsen, O Castagna,<sup>5</sup> J Gonzalez-Alonso,<sup>10</sup> C Lundby,<sup>11</sup> RJ Maughan,<sup>12</sup> G Millet,<sup>13</sup> M Mountjoy,<sup>14,16</sup> S Racinais,<sup>17</sup> P Rasmussen,<sup>11,18</sup> DG Singh,<sup>19,21</sup> AW Subudhi,<sup>22</sup> AJ Young,<sup>23</sup> T Soligard,<sup>24</sup> L Engebretsen<sup>24</sup>

Pour les affiliations numérotées voir la fin de l'article

**Correspondance à :**

Professeur Lars Engebretsen,  
University of Oslo/ IOC  
Medical & Scientific  
Department, Orthopaedic  
Surgery, Kirkeveien 111, Oslo  
0407, Norway;  
lars.engebretsen@  
medisin.uio.no

Reçu le 17 avril 2012  
Acceptée le 23 avril 2012

Première publication en ligne  
9 juin 2012

## RÉSUMÉ

Les conditions environnementales difficiles, comme la chaleur, l'humidité, le froid et l'altitude, présentent des risques particuliers pour les athlètes olympiques ou de haut niveau. Dans le cadre de son engagement en faveur de la sécurité (en termes de santé) des athlètes, la commission médicale du Comité International Olympique (CIO) a convoqué un groupe d'experts chargé de passer en revue les évidences scientifiques, de parvenir à un consensus, d'émettre des recommandations pratiques de sécurité et d'établir de nouvelles priorités de recherche concernant les défis environnementaux auxquels sont confrontés les athlètes de haut niveau. Pour les épreuves terrestres, la charge thermique externe dépend de la température ambiante, de l'humidité, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire, tandis que les vêtements et l'équipement de protection peuvent augmenter de façon significative le stress thermique et déclencher une fatigue prématuée. Chez les nageurs, la perte de chaleur corporelle est le résultat direct de la convection à un taux qui est proportionnel à la vitesse effective de l'eau autour du nageur et à la différence de température entre la peau et l'eau. D'autres expositions au froid et situations liées au froid, comme dans le ski alpin, le biathlon et d'autres sports de glisse, facilitent le transfert de la chaleur du corps vers l'environnement, pouvant provoquer une hypothermie et/ou des gelures, même si la production de chaleur métabolique durant ces activités compense amplement les pertes de chaleur corporelle, et que les vêtements de protection et une exposition limitée dans certaines épreuves réduisent ces risques cliniques. La plupart des événements sportifs se déroulent à des altitudes qui ne posent pas ou peu de risque pour la santé tandis que les expositions durant l'entraînement sont généralement brèves et bien tolérées. Même si ces menaces environnementales en termes de performances et de sécurité peuvent être réduites, voire évitées, grâce à la mise en œuvre de mesures préventives individuelles et événementielles, davantage de données probantes et de recommandations fondées sur la recherche sont requises. En attendant, la commission médicale du CIO et les fédérations sportives internationales ont émis de nouvelles recommandations et pris des mesures supplémentaires pour atténuer encore davantage les risques.

## INTRODUCTION

La protection de la santé des athlètes olympiques est la priorité absolue de la commission médicale du Comité International Olympique (CIO).<sup>1</sup> Pour souligner cet engagement, un système de surveillance des blessures a été mis en place pour tous les sports collectifs lors des Jeux olympiques d'Athènes en 2004.<sup>2</sup> Les sports individuels ont été par la suite inclus dans le système de surveillance des blessures du CIO, lors des Jeux de Pékin en 2008.<sup>3</sup> Enfin, lors des Jeux d'hiver de Vancouver en 2010, le système de surveillance a été étendu aux maladies nouvellement apparues.<sup>4</sup>

Les conditions environnementales difficiles, telles que la chaleur, l'humidité, le froid et l'altitude, constituent un risque particulier pour la santé des athlètes. Dans la mesure où les athlètes doivent également faire face aux exigences physiques propres à leur sport respectif, les recommandations de sécurité universelles ne constituent pas toujours une réponse suffisante face aux blessures et aux autres problèmes cliniques spécifiques au sport. L'interaction entre les exigences du sport et les conditions environnementales, y compris dans des environnements apparemment inoffensifs, qui représentent un danger limité pour la population générale pratiquant un sport de loisir et soumise à un effort moindre et/ou de plus courte durée, peut constituer un risque potentiel important pour la santé de l'athlète de haut niveau qui accomplit des efforts considérables durant une longue période de temps. À titre d'exemple, un coup de chaleur dû à l'effort a été signalé chez un marathonien en phase de récupération d'un syndrome viral lors d'une course organisée dans un environnement frais (entre 6,1 et 9,4 °C) mais humide (62 à 99 % d'humidité relative - RH).<sup>5</sup> À l'inverse, au cours d'une épreuve de 21 km dans des conditions chaudes et humides (WBGT : 26,0 à 29,2 °C), tous les coureurs ont achevé leur course sans présenter de coup de chaleur dû à l'effort malgré une température centrale du corps > 39 °C pour les 18 coureurs examinés. Par ailleurs, 10 des coureurs asymptomatiques examinés ayant terminé la course présentaient une température > 40 °C, tandis que deux d'entre eux avaient atteint 41 °C.<sup>6</sup> Il est intéressant de noter que plusieurs facteurs individuels (par exemple, l'expérience, les antécédents de santé récents et l'état de santé général, la condition physique, l'acclimatation, la préparation physique et psychologique, l'alimentation, le niveau d'hydratation et le taux de sudation) jouent chacun un rôle essentiel dans la capacité de l'athlète à bien s'adapter et à tolérer en toute sécurité des environnements nouveaux et exigeants, ce qui rend encore plus difficile l'élaboration et la mise en œuvre de recommandations de sécurité universellement efficaces.

Conscient de cette réalité, et pour renforcer l'engagement de la commission médicale du CIO en faveur de la sécurité des athlètes, un groupe d'experts a été convoqué en décembre 2011 pour passer en revue les évidences scientifiques, parvenir à un consensus, émettre des recommandations pratiques de sécurité et décider de nouvelles priorités de recherche pour les instances dirigeantes sportives, les organisateurs d'événements, les équipes d'assistance médicale, les entraîneurs et les athlètes, concernant les défis environnementaux uniques auxquels sont confrontés les athlètes de haut niveau. Les principales questions posées au groupe d'experts étaient les suivantes : quels sont les risques cliniques courus par l'athlète durant l'entraînement et la compétition dans des conditions

environnementales difficiles ? Quelles sont les conditions environnementales limites permettant à l'athlète de s'entraîner et de participer à une compétition en toute sécurité ? Quelles sont les méthodes les plus efficaces permettant à l'athlète de bien se préparer et de s'adapter à des conditions environnementales difficiles ? Quelles mesures préventives supplémentaires peuvent être mises en œuvre pour réduire au minimum les risques environnementaux liés à la santé ? Le groupe d'experts a abordé de manière systématique ces questions et émet ici des recommandations mises à jour en matière de sécurité et de recherche, fondées sur les dernières évidences scientifiques et cliniques disponibles.

Cette déclaration de consensus ne constitue pas une revue détaillée des défis environnementaux et ne présente pas toutes les procédures de sécurité recommandées pour l'entraînement et la compétition dans des conditions hostiles. Son objectif est plutôt de souligner certains facteurs de risque principaux liés à l'environnement qui continuent de poser un problème aux athlètes de haut niveau. Son autre priorité consiste à souligner une nouvelle fois les risques associés aux incidents récents et récurrents de maladies, de blessures et de décès dus aux conditions environnementales dans le sport, et à émettre de nouvelles recommandations pour y remédier et les réduire au minimum.

## **EFFETS DU STRESS THERMIQUE SUR LA SANTÉ ET LES PERFORMANCES DE L'ATHLÈTE DE HAUT NIVEAU**

### **Facteurs environnementaux contribuant à l'hyperthermie**

La charge thermique externe dépend de la température ambiante, de l'humidité, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire, et est généralement mesurée par l'indice de température au thermomètre-globe mouillé (indice WBGT pour *Wet-Bulb-Globe-Temperature*). Tous ces facteurs environnementaux sont pris en compte dans le calcul de l'indice WBGT à partir de la température sèche (thermomètre standard), de la température humide (qui indique la capacité réelle de l'air à évaporer l'eau en fonction de son humidité relative et de sa vitesse), et du rayonnement solaire (température du globe). L'indice WBGT donne la température de l'air immobile saturé qui imposerait la même charge thermique que l'environnement réel. Par temps chaud, l'échange thermique par conduction entre l'air et la peau est la plupart du temps minime car la différence de température (c'est-à-dire le gradient de température entre l'environnement et la peau ou vice versa) est généralement faible. On remarque que l'humidité de l'air joue un rôle majeur dans le risque de coup de chaleur dû à l'effort, en particulier dans des conditions très chaudes. Au cours d'un effort par temps chaud, la chaleur corporelle excessive est évacuée pour l'essentiel par évaporation de la sueur à la surface de la peau. En cas de forte humidité, la pression de vapeur d'eau de l'air étant plus élevée, rend la sudation beaucoup moins efficace en termes de libération de chaleur corporelle, du fait de l'inhibition de l'évaporation.<sup>7</sup> La vitesse du vent joue également un rôle important car le vent peut contribuer à améliorer le transfert de chaleur depuis la peau. Par ailleurs, l'air en mouvement remplace facilement l'air de la surface de la peau qui a été enrichi par l'évaporation de l'eau avec de l'air plus sec, favorisant ainsi l'évaporation de la sueur. Certaines épreuves sportives impliquant une vitesse élevée (par exemple en cyclisme) ne seront pas autant impactées par une chaleur et une humidité élevées que d'autres sports impliquant peu de mouvement corporel ou une vitesse bien inférieure (par exemple en athlétisme, au beach-volley), car la dissipation de chaleur augmente avec la vitesse du vent tandis que l'augmentation de la température ambiante diminue la densité de l'air et la résistance aérodynamique.<sup>8 9</sup> Enfin, la lumière infrarouge du soleil (rayonnement solaire) doit également être prise en compte car elle peut constituer une source de chaleur mesurable à la surface du corps et provoquer des brûlures de la peau. Les coups de soleil peuvent exacerber la sensation thermique durant l'exercice et limiter la thermorégulation en raison d'un effet local sur la réactivité et la capacité des glandes sudoripares.<sup>10</sup>

Dans l'eau, la perte de chaleur corporelle est une conséquence directe de la convection entre la peau et l'eau à une vitesse déterminée par le coefficient de transfert de chaleur par convection, qui est proportionnel à la vitesse de l'eau et à la différence de température entre la peau et l'eau. Il est donc généralement admis que les nageurs ne souffriront pas d'hyperthermie dans une eau dont la température est inférieure à 31 °C.

Toutefois, quelle que soit la température de l'eau, les propriétés thermiques et la conception des vêtements des nageurs sont des aspects essentiels à prendre en compte afin de maintenir un bon équilibre thermique. Malheureusement, il existe peu de données empiriques mesurées en laboratoire et en provenance du terrain, permettant d'avoir une idée précise des effets spécifiques des plages de température de l'eau sur les athlètes.

Pour toutes les épreuves terrestres, les vêtements et l'équipement de protection peuvent augmenter de manière significative le stress thermique, en particulier par temps chaud. L'impact négatif est particulièrement présent dans certains sports, comme l'équitation ou le BMX, en raison du type de protection porté qui peut fortement gêner l'évaporation de la sueur. Ces effets sur le stress thermique des athlètes doivent être pris en compte pour chaque sport spécifique, car les modifications des équipements de protection obligatoires et des vêtements techniques pour la performance ne sont pas faciles à mettre en œuvre.

### **Difficultés physiologiques durant l'entraînement et la compétition dans un environnement chaud**

Les performances physiques et sportives d'un grand nombre d'activités, de durée et d'intensité variables, peuvent être fortement diminuées en cas d'entraînement et de compétition dans des environnements chauds.<sup>11</sup> Ce phénomène se traduit par une perte de force, de puissance, de vitesse, d'endurance et, en fin de compte, par une perte des capacités neuromotrices spécifiques au sport, provoquée par une fatigue prématuée résultant d'un processus complexe impliquant de nombreux systèmes et mécanismes physiologiques. L'entraînement et la compétition sportive dans des environnements chauds peuvent avoir de graves conséquences sur les fonctions cardiovasculaires, thermorégulatrices, métaboliques, neuronales et cognitives, et provoquer une perception accrue de l'effort accompli.<sup>12-17</sup> L'ampleur des effets délétères du stress thermique sur les performances dépend de la discipline mais, d'une manière générale, le stress physiologique augmente avec un effort soutenu et prolongé au fur et à mesure de la progression d'une session d'entraînement ou d'une compétition. Une activité physique non contrôlée accompagnée d'un stress thermique sévère, conduisant à une fatigue et à un épuisement hyperthermique, se caractérise par une forte déshydratation et une réduction concomitante progressive du volume systolique, du débit sanguin dans le cerveau et les muscles actifs (dû à l'hypotension), et de leur apport systémique en oxygène, associées à une augmentation du métabolisme cérébral, à une perte de substrats et à une augmentation progressive de la température centrale du corps et de celle du cerveau. Si elle n'est pas maîtrisée, cette progression peut conduire à l'épuisement par la chaleur et, dans des cas extrêmes, à un coup de chaleur à l'effort potentiellement mortel lors d'activités d'endurance et/ou très intenses que l'on retrouve dans de nombreux sports olympiques d'été.

### **Facteurs modifiables de réduction des risques d'hyperthermie et de coups de chaleur dus à l'effort**

#### **Hydratation**

Une hydratation suffisante avant, pendant et au cours de la récupération fait partie intégrante de la performance sportive et de la sécurité pendant les périodes d'entraînement et de compétition dans un environnement chaud. Cependant, en raison des variations importantes de perte hydrique d'une personne à l'autre et en fonction du sport pratiqué,<sup>18</sup> il est difficile d'émettre des recommandations universelles quant à l'apport nécessaire en liquides. Les changements du poids corporel avant et après l'exercice, ainsi que la couleur et le volume des urines, peuvent aider les athlètes à évaluer correctement la perte hydrique due à la sudation et à estimer leur état d'hydratation.<sup>19</sup> Il est important de noter que les recommandations publiques de santé en matière de consommation quotidienne de sel (par exemple, < 6 g par jour) ne s'appliquent pas toujours aux athlètes de haut niveau. Il est souvent nécessaire d'exercer une surveillance spécifique de l'homéostasie du sodium (consommation par rapport à la sudation) et d'augmenter volontairement la prise de sel avant, pendant et après l'entraînement et les épreuves sportives, afin de maintenir un taux adéquat du sodium, et de contribuer ainsi à retenir et à bien répartir l'eau ingérée, en particulier dans un environnement de stress thermique lorsque la

sudation et les pertes concomitantes d'électrolytes sont importantes.<sup>20</sup>

#### Acclimatation à la chaleur

L'acclimatation à la chaleur fait généralement référence aux adaptations physiologiques progressives qui permettent d'améliorer la tolérance à la chaleur pendant l'exercice ainsi que la sécurité de l'athlète, en proposant un entraînement soit par temps chaud en plein air, soit par l'intermédiaire de protocoles de simulation en laboratoire avec des effets adaptatifs similaires.<sup>21</sup> Il est important de noter que l'acclimatation naturelle à la chaleur est plus complète que l'acclimatation artificielle,<sup>22</sup> car elle inclut d'autres facteurs qui vont au-delà d'une adaptation physiologique à la chaleur, comme l'apprentissage de stratégies d'allure. Un entraînement sportif suffisant dans un environnement tempéré permet d'obtenir une adaptation partielle<sup>23</sup> mais ne remplace pas complètement l'acclimatation à la chaleur.<sup>24</sup>

Un minimum d'une semaine (même si quelques jours suffisent) et un maximum de deux semaines d'acclimatation sont généralement recommandés aux athlètes, avant une compétition dans un environnement plus chaud et/ou plus humide que celui auquel ils sont habitués.<sup>25</sup> Toutefois, les besoins et les réponses de chacun sont très variables,<sup>26</sup> et les entraîneurs doivent adapter dans la mesure du possible la période et le processus d'acclimatation à la chaleur à chaque athlète. Plusieurs mois avant une compétition majeure prévue dans un environnement chaud, les athlètes devraient s'exercer dans des conditions similaires à celles qu'ils vont rencontrer afin de déterminer leur capacité d'adaptation à la chaleur et pouvoir ainsi planifier la durée et le protocole d'acclimatation à la chaleur qu'ils devront suivre les semaines précédant immédiatement la compétition. Les progrès réalisés en termes d'acclimatation à la chaleur peuvent être observés de manière objective par la diminution du taux de sodium dans la sueur, ainsi que l'augmentation de la sudation, la baisse de la température centrale et de la fréquence cardiaque, en réponse à un protocole d'exercice standard dans des conditions de chaleur,<sup>27-29</sup> même si ces changements ne sont pas toujours faciles à mesurer. Lorsque cela est possible, les médecins du sport peuvent également mesurer la variation du volume plasmatique avant, pendant et après l'acclimatation à la chaleur, afin de prédire la capacité des athlètes de haut niveau à affronter la chaleur en situation de compétition, et d'individualiser leur préparation en fonction des résultats.<sup>26</sup> Une acclimatation à la chaleur réussie permet d'augmenter la capacité d'exercice par temps chaud et tempéré<sup>29-32</sup> et réduit le risque de coup de chaleur dû à l'effort.

#### Échauffement et refroidissement avant une épreuve

L'échauffement est essentiel dans la pratique sportive. L'un des principaux objectifs de la période d'échauffement est d'augmenter la température musculaire et de favoriser la dilatation des capillaires dans le but d'accroître la perfusion et le transport de l'oxygène vers les muscles. Lorsqu'il est effectué par temps chaud, l'échauffement peut toutefois entraîner un stockage indésirable de la chaleur corporelle. En conséquence, l'activité physique qui suit débutera avec une température corporelle centrale plus élevée, pouvant conduire à un stress thermique plus précoce et donc réduire la performance. Il convient par conséquent de limiter l'intensité et la durée de l'échauffement lors des épreuves d'endurance se déroulant par temps chaud, et de prévoir un temps de récupération suffisant avant le début de la compétition en le consacrant à la réhydratation et à un retour à la normale de la température centrale. Les stratégies de pré-refroidissement comme l'immersion en eau froide/glacée, le port d'un gilet ou d'autres vêtements/équipements réfrigérants avant l'activité physique, pendant l'échauffement actif et entre les exercices, afin de réduire la température centrale, ont mené à des améliorations de performance dans certaines expérimentations, en particulier pour les activités aérobies,<sup>33</sup> mais nous manquons de données de terrain en compétition. Plus récemment, l'ingestion, en laboratoire, de glace pilée avant l'exercice s'est avérée aussi efficace que l'immersion dans l'eau froide pour améliorer les performances.<sup>34</sup> Le pré-refroidissement peut donc se justifier par temps chaud, en particulier avant un effort physique de longue durée ou entre plusieurs épreuves se déroulant le même jour, afin de réduire le stress thermique et améliorer les performances.

#### Vêtements

Les vêtements de sport doivent bloquer le moins possible l'évaporation de la sueur tandis que la surface de peau nue disponible pour la déperdition de chaleur par évaporation doit être optimisée. Les fédérations sportives doivent donc tenir compte des conditions météorologiques chaudes et humides potentielles lorsqu'elles réglementent les vêtements portés par les athlètes durant les compétitions.

#### Recommandations faites aux fédérations sportives et aux instances dirigeantes du sport pour réduire le risque de coup de chaleur

##### Installations

Les organisateurs et les administrateurs d'épreuves sportives doivent veiller à fournir les meilleures installations et infrastructures possibles afin de réduire au maximum le stress thermique imposé aux athlètes tout au long de la compétition, ainsi que durant les périodes de préparation et de récupération. Parmi ces mesures, il convient de prévoir, sans pour autant s'y limiter, des salles de réunion et des vestiaires climatisés pour les athlètes et le personnel d'encadrement, pendant toute la durée de l'épreuve, ainsi que des zones ombragées facilement accessibles pour réduire l'exposition globale à la chaleur, sans oublier des postes de rafraîchissement sur le site de la compétition ou à proximité immédiate. Un plan d'action d'urgence détaillé doit être prévu, avec un personnel qualifié et en nombre suffisant afin de pouvoir refroidir rapidement sur site l'ensemble du corps des athlètes et de surveiller leur température centrale.

##### Programmation

Les organisateurs et les instances dirigeantes du sport doivent autoriser la reprogrammation des épreuves à un moment de la journée où le stress et l'exposition thermique sont moins forts et permettre des pauses plus longues et plus fréquentes pendant la compétition en cas d'augmentation de la chaleur et de l'humidité. L'heure de la journée peut aussi influencer les performances sportives d'autres façons, par exemple, les performances des sprinteurs sont, semble-t-il, meilleures en fin d'après-midi que le matin.<sup>35</sup> Certaines épreuves ou sports collectifs comme les courses de relais ou le football peuvent aussi en tirer parti. Par conséquent, de nombreux athlètes préfèrent concourir plus tard dans la journée. En revanche, les performances d'endurance par temps chaud peuvent tirer parti de la température centrale plus basse du matin.<sup>36</sup> Un effet d'échauffement passif provoqué par une augmentation diurne de la température corporelle qui culmine en fin d'après-midi, ou par un environnement lui-même chaud voire très chaud (mais pas les deux simultanément), peut contribuer à améliorer les capacités et les performances musculaires. Par conséquent, pour certaines épreuves, une forte exposition à la chaleur le matin a le potentiel d'améliorer la fonction musculaire et peut donc permettre aux sprinteurs par exemple, d'atteindre leur pic de performance plus tôt dans la journée alors qu'en temps normal, ce pic ne serait atteint qu'en fin d'après-midi.<sup>37</sup> Cela devrait rassurer les athlètes dont les tours de qualification sont prévus plus tôt dans la journée, et pourrait même représenter un avantage pour ces derniers. Par ailleurs, cette tactique pourrait aussi offrir davantage de flexibilité aux organisateurs pour programmer leurs épreuves.

#### Recommandations en matière de recherche

Malgré notre grande connaissance sur le sujet et une grande quantité de protocoles mis en œuvre pour améliorer la sécurité, des lacunes subsistent. Par conséquent, et ayant conscience que la recherche et les recommandations qui en résultent doivent être spécifiques au sport pratiqué, le groupe d'experts recommande de nouvelles recherches pour :

- Mieux caractériser les profils de stress thermique et cardiovasculaire spécifiques aux sports et aux épreuves des athlètes de haut niveau concourant en conditions chaudes, en utilisant des capteurs ingérables (capsule) et d'autres dispositifs de surveillance adaptés au terrain.
- Déterminer des seuils de sécurité spécifiques au sport, fondés sur des évidences (à l'aide de mesure du WBGT ou d'un autre indice de chaleur sur site) afin de limiter voire d'annuler une compétition.

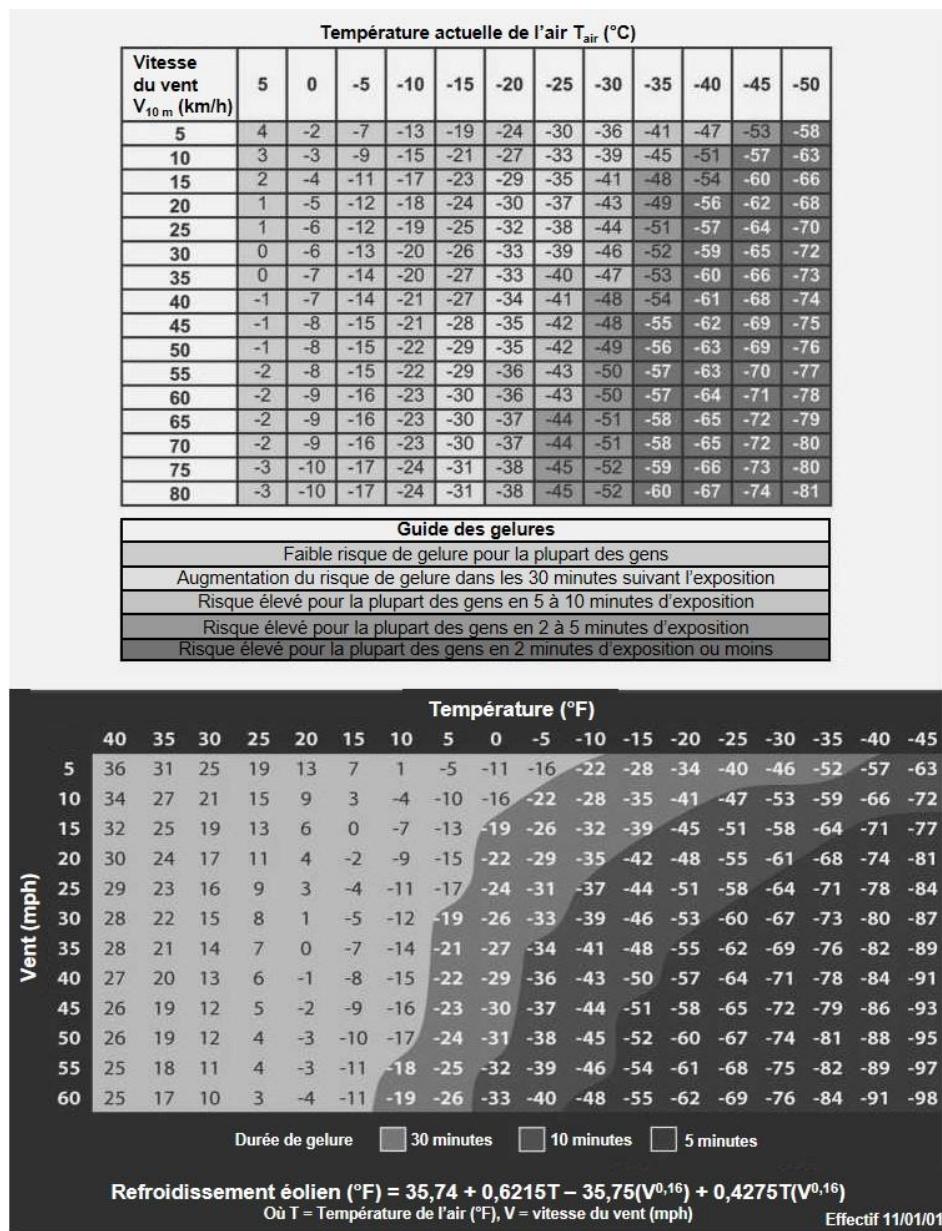
- Déterminer des seuils de sécurité spécifiques au sport, fondés sur des évidences (à l'aide de mesure du WBGT ou d'un autre indice de chaleur sur site) afin de limiter voire d'annuler une compétition.
- Élaborer et mettre en œuvre un système automatique de surveillance de la sécurité (en termes de santé) permettant de repérer et de suivre un ralentissement anormal de la part d'un participant, et de prévoir des procédures de prise en charge rapide.
- Améliorer le remplacement des fluides pendant les compétitions d'endurance, définir en quoi consiste une hydratation optimale avant une épreuve très intense (par exemple, le 5 000 et le 10 000 m en athlétisme), et préciser les meilleures méthodes applicables à des sports spécifiques (par exemple, les sports collectifs) avec des stratégies efficaces d'optimisation de l'hydratation.
- Déterminer l'efficacité et les meilleures pratiques en matière d'échauffement, de pré-refroidissement et de refroidissement périodique pendant les périodes de repos pour l'athlète de haut niveau.
- Établir des réponses concernant l'acclimatation de l'athlète de haut

niveau en matière de performances et de sécurité, et des mécanismes à l'origine des larges variabilités interindividuelles (par exemple, base génétique).

## EFFETS DE L'EXPOSITION AU FROID SUR LA SANTÉ ET LES PERFORMANCES DES ATHLÈTES DE HAUT NIVEAU

### Les effets d'un environnement froid

Dans certains sports olympiques, les athlètes sont régulièrement exposés au froid pendant l'entraînement et la compétition (figure 1). L'exposition au froid facilite le transfert de la chaleur du corps vers l'environnement, pouvant provoquer une hypothermie et/ou des gelures, si la perte de chaleur corporelle est importante. Dans ces conditions, malgré les réponses comportementales et physiologiques visant à préserver la température corporelle, les températures centrale ou cutanée peuvent baisser jusqu'à atteindre un niveau critique, compromettant les fonctions métaboliques et physiologiques normales et menant à l'apparition de lésions de la peau et d'autres tissus.<sup>38</sup> Le pouvoir de refroidissement de l'environnement n'est pas uniquement déterminé par la température ambiante, mais aussi



**Figure 1** Indice de refroidissement éolien en Celsius<sup>46</sup> et Fahrenheit.<sup>47</sup> Les temps de gelure correspondent à une exposition de la peau du visage.

par le vent, qui facilite la perte de chaleur par convection, et par les vêtements mouillés qui, à leur tour, augmentent la perte de chaleur par évaporation.<sup>8</sup> La température de l'eau et le courant peuvent également avoir des effets de refroidissement importants. De plus, l'inhalation d'air froid, en particulier durant une activité physique, peut produire des effets indésirables supplémentaires sur la santé tant pour les athlètes asthmatiques que pour ceux en bonne santé.

### Hypothermie et sports

Au cours des trois derniers Jeux olympiques d'hiver, les températures ambiantes ont oscillé entre -5 et +8 °C. Néanmoins, la production de chaleur métabolique pendant l'exercice augmente généralement bien au-delà du taux de perte de chaleur corporelle avec ce type de températures, voire même avec des températures ambiantes encore plus froides.<sup>39</sup> Par exemple, pour le ski alpin et d'autres sports de glisse, les athlètes peuvent être exposés à un froid considérable (basse température de l'air et vent faible ou nul). Mais la production de chaleur métabolique pendant ces activités est très élevée (6 à 11 METS, 600 à 1000 W) tandis que chaque manche pendant ce type d'événement se déroule en 3 minutes ou moins. De telles expositions très brèves au froid, associées à des taux métaboliques aussi élevés, éliminent avec une quasi-certitude tout risque d'hypothermie pendant la compétition.<sup>38</sup> Et si certaines épreuves de ski nordique et de biathlon se déroulent sur 2 heures, la production de chaleur métabolique pendant ces activités est encore plus élevée, atteignant souvent 13 à 18 METS (1250-1800 W).<sup>40,41</sup> Par conséquent et malgré des expositions plus longues, ces taux métaboliques très élevés compenseront la perte de chaleur et empêcheront les athlètes de subir une hypothermie pendant la compétition dans des conditions semblables à celles des trois derniers Jeux olympiques d'hiver, et probablement même dans des conditions de froid beaucoup plus extrêmes.<sup>41</sup>

Les Jeux olympiques d'été prévoient une épreuve de natation en eau libre de 10 km. Pour une même température, la perte de chaleur corporelle pendant l'immersion dans l'eau peut être plusieurs fois supérieure à celle de l'exposition à l'air, ce qui suscite des inquiétudes quant au risque d'hypothermie pendant la natation en eau libre.<sup>8,38,39</sup> La Fédération internationale de natation (FINA), qui réglemente les compétitions aquatiques, précise toutefois dans ses directives que la limite la plus basse de la température de l'eau (mesurée à 1 m sous la surface) doit être de 16 °C. Si la température de l'eau est inférieure, l'épreuve sera annulée. Les modèles de thermorégulation suggèrent que les nageurs et nageuses en eau libre, nageant à la vitesse habituelle de compétition, ont peu de probabilités de subir une baisse dangereuse de leur température centrale lorsque la température de l'eau est supérieure ou égale à 16 °C.<sup>42</sup> Toutefois, certains athlètes ont rapporté des limites fonctionnelles dues à l'eau froide, ayant entraîné un grand nombre d'abandons lors d'un récent championnat international de natation en eau libre (Québec, 2010), où la température de l'eau se situait à la limite inférieure fixée par la fédération, soit 16 °C. Ces observations soulignent la nécessité de conduire des recherches examinant la justesse de ce seuil d'annulation.

Un effet arythmogène potentiel de l'eau est une autre préoccupation pour les nageurs. La combinaison de l'exposition à l'eau froide, de l'apnée volontaire et de l'immersion du visage peut entraîner une augmentation de l'activité sympathique et parasympathique, pouvant provoquer des battements ventriculaires prématurés.<sup>43</sup> Ainsi, l'eau froide en elle-même pourrait contribuer à des cas de mortalité lors de la natation en eau libre.

### Gelures et sports

La gelure intervient lorsque la température des tissus descend en dessous de 0 °C.<sup>38,44,45</sup> Le vent notamment, augmente la perte de chaleur par convection de la peau exposée, augmentant ainsi le risque de gelure. Il s'agit de la base de l'indice de refroidissement éolien (figure 1). Par ailleurs, la course à pied et le ski génèrent du vent sur le corps, qui s'ajoute au refroidissement éolien. Lorsque l'indice éolien tombe en dessous de 27 °C, des gelures peuvent apparaître au niveau de la peau exposée en 30 minutes voire moins.<sup>38</sup> Pendant les épreuves de ski nordique et de biathlon, les concurrents atteignent des vitesses de 24 à 27 km/h. À cette vitesse du vent, le risque de gelure apparaît à une température de l'air de -20 °C ou

inférieure. En revanche, lors de certaines épreuves de ski alpin et de glisse, les compétiteurs atteignent des vitesses de 60 à 100 km/h. À ces vitesses de vent, le risque de gelure peut apparaître dès que la température de l'air atteint -15 °C. Cependant, une fois encore, chaque descente se déroule généralement en 3 minutes ou moins et le risque de gelure est donc peu probable. Par ailleurs, le refroidissement éolien et le risque de gelure à ces températures ne concernant que la peau exposée, les vêtements coupe-vent permettent par conséquent d'éliminer de manière quasi certaine ce type de risque. Si la course d'un individu peut ne durer que quelques minutes, l'épreuve elle-même peut durer de nombreuses heures pendant lesquelles l'activité métabolique est considérablement réduite, voire quasi inexistante. Le risque de gelure au cours de ces périodes prolongées, en particulier pour les entraîneurs, le personnel d'encadrement et les officiels qui doivent souvent rester debout ou assis dans le froid, doit également être pris en compte (figure 1).

### Exposition au froid et problèmes respiratoires des athlètes

Plus de 50 % des skieurs de fond<sup>48</sup> et des nageurs<sup>49</sup> connaissent des épisodes d'asthme induit par l'exercice (AIE), ou asthme d'effort, et d'hyperréactivité bronchique (HRB). On estime que l'AIE est dû à la perte de chaleur<sup>50</sup> et à la perte hydrique<sup>51</sup> via la respiration, tandis que l'inhalation d'air froid augmente fortement l'importance de la bronchoconstriction induite par l'exercice (BIE),<sup>52</sup> et réduit les performances.<sup>53</sup> La température froide sur le visage augmente la BIE même si l'air inhalé est chaud,<sup>54</sup> ce qui indique un réflexe nerveux parasympathique. Les sports d'endurance avec exposition au froid, dont le ski de fond, le combiné nordique, le biathlon et le patinage de vitesse, présentent une forte prévalence d'asthme et d'HRB.<sup>55</sup> Une lésion épithéliale de la muqueuse respiratoire semble en être la cause principale comme le montrent les études réalisées sur des animaux.<sup>56</sup> L'inflammation des voies respiratoires, indiquée par le pourcentage de neutrophiles dans les expectorations induites, est corrélée au nombre d'heures d'entraînement par semaine chez les skieurs de fond et les nageurs,<sup>57</sup> alors que l'âge et le nombre d'années de compétition des skieurs de fond sont associés au niveau d'HRB.<sup>55</sup> Par ailleurs, la participation à des compétitions de ski de fond durant l'hiver augmente de façon importante l'inflammation des voies respiratoires comme le montrent les biopsies bronchiques pratiquées sur de jeunes skieurs avec et sans asthme.<sup>58</sup> Chez les athlètes présentant un test d'HRB à la métacholine positif, l'excrétion de sueur, la production de salive et le flux lacrymal étaient très réduits, lorsqu'ils sont comparés à ceux d'athlètes présentant un test d'HRB à la métacholine négatif, indiquant ainsi une augmentation de l'activité parasympathique.<sup>59</sup> La protection contre la BIE conférée par l'inhalation de bromure d'ipratropium chez les coureurs de fond lors de températures froides<sup>60</sup> et chez les enfants souffrant de BIE,<sup>61</sup> supporte également un lien entre une activité parasympathique (vagale) plus importante et la BIE. Dans l'ensemble, ces études désignent la lésion épithéliale respiratoire comme étant le principal contributeur aux problèmes respiratoires des athlètes d'endurance, ce phénomène étant accentué par l'exposition au froid qui augmente l'inflammation des voies respiratoires. De plus, il a été montré que les cellules épithéliales bronchiques en culture provenant d'asthmatiques guérissaient plus lentement après une cicatrisation que chez des sujets sains. Le taux de guérison a toutefois considérablement augmenté avec l'ajout de corticoïdes à la culture cellulaire.<sup>62</sup>

La vasoconstriction cutanée provoquée par l'exposition à l'eau froide peut augmenter le retour veineux, élévant ainsi la pression artérielle et le volume vasculaire central. Cela peut provoquer un œdème pulmonaire aigu et une hémoptysie chez les nageurs, similaire à la congestion pulmonaire induite par la natation ou l'immersion.<sup>63,64</sup>

### Acclimatation

Les effets de l'acclimatation au froid chez l'homme sont minimes et n'offrent aucun ou peu d'intérêt pour maintenir la température centrale à un niveau normal et prévenir les lésions dues au froid.

## Résumé concernant l'exposition au froid

Les athlètes de haut niveau reposés et en bonne santé, portant des vêtements coupe-vent et dont les épreuves se déroulent dans des conditions météorologiques semblables à celles des trois derniers Jeux olympiques d'hiver, ont peu de risque de connaître des problèmes d'hypothermie et/ou de gelures car les taux métaboliques élevés et les expositions brèves au froid limitent les pertes de chaleur corporelle. Une limite très prudente de la température de l'air ambiant de -15 °C pendant les épreuves pourrait être justifiée pour atténuer le risque de gelure. Le risque peut augmenter pour les athlètes pendant l'entraînement en cas de surentraînement ou de fatigue, tandis que des températures anormalement froides pourraient augmenter le risque de gelure durant les épreuves de ski alpin et de glisse en raison des vitesses élevées (vent) atteintes.<sup>65-67</sup> Même si les modèles de thermorégulation montrent qu'un athlète nageant dans une eau à 16 °C a peu de risque de se retrouver en hypothermie, des signalements montrent qu'un grand nombre de nageurs peuvent percevoir des limitations fonctionnelles dans l'eau froide, soulignant ainsi la nécessité de mener des recherches sur le terrain.

Une ventilation accrue pendant les entraînements physiques répétés et la compétition, entraînant une inflammation des voies respiratoires et l'augmentation de l'activité parasympathique renforcée par l'exposition au froid, est la cause probable de l'augmentation de la prévalence d'asthme et d'HRB par temps froid. Les corticoïdes inhalés jouent un rôle important dans le processus de guérison et il a été démontré qu'ils n'amélioraient pas les performances des athlètes en bonne santé. Le phénotype de l'asthme de l'athlète se caractérise par la présence d'HRB, de toux et de mucosités. Les symptômes apparaissent plus fréquemment lorsque les compétitions sont rapprochées et sont souvent exacerbés en cas d'infections virales respiratoires. Les premiers symptômes de l'asthme apparaissent souvent lorsque l'athlète participe à une compétition tout en souffrant d'une infection des voies respiratoires.

## Recommandations pratiques

Certaines recommandations pratiques essentielles peuvent contribuer à améliorer le confort et à réduire les risques liés à l'exposition au froid des athlètes qui s'entraînent et participent à des épreuves se déroulant par temps froid. Les principales recommandations sont :

- ▶ Mesures environnementales :
  - ▶ Les conditions météorologiques (vent, température de l'air) doivent être mesurées et enregistrées avant et pendant les épreuves se déroulant à l'extérieur. Ces mesures doivent être réalisées au plus près de l'endroit où les sportifs seront le plus exposés aux conditions météorologiques.
  - ▶ Des tableaux standardisés permettant de calculer le refroidissement éolien à partir de la température de l'air et de la vitesse du vent doivent être fournis aux officiels concernés en ajoutant à ce même tableau les vitesses des sportifs en fonction des épreuves hivernales, vitesses qui seront utilisées pour calculer le refroidissement éolien lorsque la vitesse naturelle du vent est inférieure à la vitesse du sportif.
  - ▶ Les compétitions doivent être évitées lorsque les sportifs sont exposés à des combinaisons de température de l'air et de vitesse du vent (incluant la vitesse de l'athlète) qui atteignent un refroidissement éolien inférieur à -27 °C.
  - ▶ Des équipements de protection contre l'exposition à l'air froid doivent être utilisés lors des entraînements à basse température.
  - ▶ Il est important de fournir un suivi médical régulier aux sportifs d'endurance de haut niveau exposés au froid afin de détecter rapidement toute gelure, HRB ou BIE.
  - ▶ Un traitement et un suivi optimal de l'asthme devraient miser sur :
    - ▶ Un traitement anti-inflammatoire précoce (corticoïdes inhalés) (éviter une éventuelle suppression surrenalienne durant l'effort).<sup>68</sup>
    - ▶ Bronchodilatateur nécessaire avant l'exercice avec prise régulière si nécessaire en se concentrant sur le traitement anticholinergique inhalé (veiller à ne pas développer de tolérance en cas de consommation régulière d'agonistes β-2 inhalés).<sup>69</sup>
    - ▶ Autres traitements contre l'asthme indiqués.
  - ▶ Comme certains traitements liés à l'asthme figurent sur la liste des

interdictions de l'Agence mondiale antidopage (AMA), les médecins traitants doivent consulter les dernières recommandations de l'AMA relatives aux autorisations d'usage à des fins thérapeutiques (AUT) pour les sportifs soumis à la réglementation antidopage.<sup>70</sup> Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2012, seul l'agoniste β-2 terbutaline par voie inhalée nécessite une AUT. Les autres agonistes β-2 inhalés couramment utilisés, le salbutamol, le salmétérol et le formotérol, ainsi que tous les corticoïdes inhalés ne figurent plus sur la liste des interdictions et peuvent donc être utilisés.

- ▶ Les athlètes qui participent à des épreuves de natation en eau libre où la température de l'eau peut être froide doivent veiller à se familiariser avec le lieu et à s'entraîner dans cette eau avant l'épreuve, tout en prévoyant un échauffement suffisant.

## Recommandations en matière de recherche

Pour renforcer davantage la sécurité des sportifs par temps froid, le groupe d'experts recommande la mise en œuvre de nouvelles recherches visant à examiner :

- ▶ Des mesures fiables des taux de production de chaleur métabolique pendant toutes les épreuves sportives se déroulant par temps froid.
- ▶ Des modèles prédictifs permettant d'estimer les changements probables de la température corporelle et de la peau exposée pendant toutes les épreuves sportives se déroulant par temps froid, de manière à dresser une image réaliste des différentes conditions climatiques qui permettrait de fixer des limites de conditions météorologiques et de température de l'eau appropriées et sûres pour le bon déroulement d'une épreuve.
- ▶ Le recours à des « capsules » ingérables de température centrale et autres dispositifs de télémétrie pour mesurer directement la température centrale ainsi que tout changement physiologique au cours de chaque épreuve se déroulant par temps froid (réelle ou simulée).
- ▶ Les lésions épithéliales respiratoires et l'inflammation des voies respiratoires dues à une exposition à l'air froid qui sont impliqués dans l'apparition de l'HRB chez les athlètes en hiver.
- ▶ Les nouvelles possibilités thérapeutiques visant à prévenir les lésions épithéliales dues à une exposition à l'air froid et à favoriser la réparation de l'épithélium.

## EFFETS DE L'ALTITUDE SUR LA SANTÉ ET LES PERFORMANCES DE L'ATHLÈTE DE HAUT NIVEAU

Selon les définitions conventionnelles de l'altitude (tableau 1),<sup>71</sup> la plupart des épreuves sportives sont organisées à des altitudes qui ne présentent que peu ou pas de risques pour la santé. Malgré cela, force est de constater que même à des altitudes relativement basses, les performances des athlètes peuvent diminuer. La baisse de la pression barométrique en altitude réduit la densité de l'air et la pression partielle de l'oxygène inspiré (PO<sub>2</sub>). Ces deux facteurs ont des effets différents, souvent opposés, sur l'endurance, la force/puissance et les habiletés nécessaires aux performances des sportifs de haut niveau. La réduction de la PO<sub>2</sub> altère la capacité aérobie maximale et les performances d'endurance des disciplines sportives où la réduction

**Tableau 1** Caractéristiques des zones d'altitude<sup>71</sup>

Altitude	Définition
0 à 500 m	« Proche du niveau de la mer »
Entre 500 et 2 000 m	« Basse altitude » : détection d'une légère dégradation des performances aérobies
Entre 2 000 et 3 000 m	« Moyenne altitude » : apparition potentielle du mal des montagnes et acclimatation de plus en plus nécessaire pour préserver les performances
Entre 3 000 et 5 500 m	« Haute altitude » : risque accru du mal aigu des montagnes et acclimatation indispensable d'un point de vue médical. Les performances sont considérablement diminuées
Au-dessus de 5 500 m	« Altitude extrême » : une exposition prolongée peut entraîner une détérioration clinique progressive

de la résistance à l'air associée à une moindre densité de l'air n'apporte que peu de bénéfices (par exemple, la course de fond et le ski de fond).<sup>72</sup> Les baisses de performances individuelles sont sujettes en grande partie à la variation physiologique spécifique au sport pratiqué. Pour les sports de vitesse (par exemple, le patinage de vitesse, le cyclisme et le sprint), les avantages qu'apporte la réduction de la résistance à l'air peuvent l'emporter sur les limitations de la capacité aérobie et ainsi augmenter les performances.<sup>73</sup> La force et la puissance maximales (par exemple, en haltérophilie) ne sont pas affectées par l'altitude. En revanche, des efforts répétés très intenses (par exemple, des sprints dans un sport collectif) peuvent être davantage impactés.<sup>74</sup> Étant donné que la projection d'objets dépend de la réduction de la densité de l'air, l'altitude peut affecter les habiletés spécifiques en relation avec le timing, la précision et la position dans des disciplines particulières telles que les sports collectifs, de lancer et de tir ou encore le saut à ski.<sup>75</sup> L'effet général de l'altitude est donc spécifique au sport et au type d'épreuve.

### Système cardiovasculaire et pulmonaire

Pendant un effort sous-maximal, le débit cardiaque (Q) et le flux sanguin des muscles locomoteurs augmentent, compensant ainsi la réduction de la saturation artérielle en oxygène. Au cours d'un effort maximal (et supra-maximal) à moyenne altitude, Q et le flux sanguin des muscles locomoteurs atteignent des valeurs maximales qui sont similaires à celles observées au niveau de la mer.<sup>76-78</sup> La réponse en termes de pression artérielle pendant l'effort en hypoxie modérée aiguë est comparable à celle observée lors d'un effort fourni au niveau de la mer. Par conséquent, la demande en oxygène du cœur est également la même. On ne constate toutefois pas de réduction de la contractilité du myocarde pendant un effort maximal, même à une altitude plus élevée.<sup>79-80</sup> Les risques cardiovasculaires encourus à l'effort à moyenne altitude peuvent par conséquent être considérés comme étant similaires à ceux encourus pour le même effort fourni au niveau de la mer. Il peut y avoir une différence toutefois pour les quelques athlètes d'endurance de haut niveau présentant une hypoxémie artérielle sévère induite par l'effort au niveau de la mer. Ces athlètes peuvent développer une hypoxémie encore plus sévère à basse altitude ;<sup>81</sup> mais il n'y a aucune évidence d'une augmentation du risque cardiovasculaire pour les athlètes de haut niveau pratiquant à moyenne altitude. Par précaution, les personnes (par exemple, les entraîneurs et autres personnels d'encadrement) souffrant de maladies cardiovasculaires ou pulmonaires, qui accompagnent des athlètes sur des sites situés à moyenne ou haute altitude, devraient consulter un médecin.

### Mal aigu des montagnes

Des personnes non acclimatées exposées à moyenne altitude peuvent souffrir du mal aigu des montagnes (MAM), qui disparaît spontanément et qui s'apparente à une sensation de « gueule de bois » ou à une crise de céphalée (migraine).<sup>82</sup> Le repos contribue à faire disparaître le MAM qui peut être évité par une ascension lente et progressive ou par des expositions préalables (pré-acclimatation).<sup>83</sup> La prévalence du MAM est de 0 à 25 % à moyenne altitude, en fonction de la sensibilité de chacun.<sup>84</sup> L'obésité sévère et les maladies pulmonaires sont des facteurs de risque supplémentaires du MAM qui doivent être pris en compte par le personnel d'encadrement des athlètes. La prévalence du MAM ne diffère pas entre l'hypoxie normobare et l'hypoxie hypobare pour une même PO<sub>2</sub> ambiante.<sup>85-86</sup> Séjourner ou dormir à moyenne altitude pendant 8 à 16 h/jour n'entraîne pas de malaise attribuable à l'hypoxie.<sup>87</sup> Par ailleurs, une exposition hypoxique plus sévère (équivalente à une altitude comprise entre 5 000 et 6 000 m) allant de quelques minutes à 2 à 3 heures, est trop courte pour provoquer un MAM et est bien tolérée par les athlètes en bonne santé, que ce soit au repos ou à l'exercice. L'œdème pulmonaire et l'œdème cérébral de haute altitude mettant en danger la vie d'une personne surviennent rarement en dessous de 3 000 et 4 000 m d'altitude, respectivement, et seulement après plusieurs jours d'exposition. Le risque d'un accident de ce type ne se manifeste donc pas aux altitudes où se déroule la plupart des compétitions sportives.<sup>88</sup>

### Préparation et autres aspects concernant des compétitions se déroulant à basses et moyennes altitudes

Une arrivée sur le lieu de compétition ou sur un site situé à une altitude équivalente quelques temps avant le déroulement de l'épreuve reste le meilleur moyen pour réduire le risque clinique et optimiser les performances.<sup>89</sup> Il est généralement recommandé d'arriver 2 semaines avant une compétition lorsque celle-ci a lieu à moyenne altitude, et de s'accorder 1 ou 2 jours de repos avant de reprendre un entraînement régulier. À cette altitude, la plupart des athlètes s'acclimatent en 2 semaines maximum. Une acclimatation partielle permettant une amélioration des performances peut être atteinte en 5 à 7 jours, mais certaines personnes peuvent nécessiter davantage de temps. L'acclimatation à basse altitude pourra être plus courte. Il n'est pas certain que des approches telles que « s'entraîner en hypoxie tout en vivant en normoxie » ou « vivre en altitude et s'entraîner au niveau de la mer » (LHTL pour « live high train low ») soient bénéfiques pour les athlètes de haut niveau participant à une compétition à moyenne altitude. Une période d'acclimatation d'environ 2 semaines est également importante pour les sports qui sont impactés par une faible densité de l'air (voir ci-dessus, section consacrée aux performances).<sup>88</sup>

### Nutrition

La concentration d'hémoglobine augmente fortement avec l'altitude en raison de la diurèse et, avec le temps, par une hausse de l'érythropoïèse. À moyenne altitude, la réponse diurétique est faible et peut passer inaperçue. Chez les athlètes ayant une carence en fer, il est probable que l'érythropoïèse soit altérée.<sup>91</sup> C'est la raison pour laquelle les athlètes doivent subir un contrôle de la ferritine sérique environ 8 à 10 semaines avant de séjourner en moyenne altitude en vue d'un entraînement ou d'une compétition sportive. Sur la base des connaissances scientifiques actuelles, il est souvent recommandé aux athlètes de suivre un régime alimentaire riche en fer ou de prendre un complément en fer par voie orale en présence de taux de ferritine sérique inférieurs à 30 µg/l pour les femmes ou à 40 µg/l pour les hommes.<sup>92</sup>

### Hypoxie visant à améliorer les performances au niveau de la mer

Des études en double aveugle contrôlées par placebo montrent qu'une exposition hypoxique passive pendant plusieurs heures n'améliore pas les performances aérobies ou anaérobies.<sup>93-95</sup> La question de savoir si « s'entraîner en hypoxie tout en vivant en normoxie » est supérieur à l'entraînement en normoxie pour améliorer les performances au niveau de la mer des athlètes de haut niveau, doit être vérifiée par des études en double aveugle soigneusement contrôlées. Par ailleurs, les gains de performances générés par un séjour de type LHTL en altitude simulée<sup>91</sup> a été récemment remise en question.<sup>96</sup>

### Recommandations en matière de recherche

En ce qui concerne spécifiquement les effets de l'altitude sur la santé et les performances des athlètes, le groupe d'experts recommande la conduite de nouvelles investigations pour :

- ▶ Étudier les effets de l'entraînement en hypoxie et ceux de l'approche LHTL, sur les performances réalisées au niveau de la mer ainsi qu'à basse et moyenne altitude à l'aide d'études en double aveugle contrôlées par placebo.
- ▶ Déterminer l'effet de la durée de l'acclimatation en altitude sur les performances : combien de jours faut-il pour améliorer de façon optimale les performances à une altitude particulière ?
- ▶ Obtenir des données (invasives) de haute qualité en matière de réponse cardiovasculaire à l'exercice à basse et moyenne altitude chez les athlètes de haut niveau.
- ▶ Étudier les effets de la combinaison du stress à la chaleur, au froid et de la concurrence des stress sur les performances ou le MAM à basse et moyenne altitude.

## FÉDÉRATIONS SPORTIVES INTERNATIONALES : RECONNAÎTRE LES RISQUES

Les données épidémiologiques des États-Unis montrent qu'environ 5 946 personnes ont été traitées chaque année dans les services d'urgence américains entre 2001 et 2009 pour des coups de chaleur liés à l'effort lors de la pratique d'un sport ou d'une activité de loisir.<sup>97</sup> D'après l'*Annual Survey of (American) Football Injury Research*, 132 décès dus à un coup de chaleur ont été rapportés entre 1931 et 2009, dont deux à cinq cas par an ces dernières années.<sup>98</sup> Dans le cyclisme, lors de l'Argus Cycle Tour 2002 en Afrique du Sud, cinq décès dus à un coup de chaleur à l'effort ont été signalés.<sup>99</sup> Ces données montrent qu'il existe un risque mesurable de maladies et de lésions sévères liées à l'exercice ou à la chaleur dans certains sports. On notera toutefois que la plupart des participants à ces études sont des adolescents, des étudiants ou des sportifs amateurs. Par conséquent, il existe à ce jour peu d'évidences indiquant un risque élevé de coup de chaleur à l'effort chez les athlètes qui participent à des épreuves olympiques ou de niveau mondial. Malgré tout, on ne peut pas affirmer non plus que ce risque n'existe pas, et qu'il n'est pas nécessaire d'examiner en profondeur les problèmes liés à la chaleur ni d'élaborer des normes visant à réduire encore davantage le risque potentiel de maladies dues à la chaleur à l'effort, même chez ces athlètes de haut niveau.

Les fédérations internationales ont par conséquent réagi face à ces défis environnementaux et aux risques pour la santé liés au sport. Par exemple, même si aucun décès lié à la chaleur dans le football ou le beach-volley de haut niveau n'a été enregistré, la Fédération Internationale de Football Association (FIFA) et la Fédération Internationale de Volleyball (FIVB) ont émis des recommandations pour éviter la programmation de matchs pendant les périodes les plus chaudes de la journée, afin de réduire le risque de coup de chaleur pour les joueurs. D'autres mesures consistent à autoriser des « pauses fraîcheur » (lors de la finale olympique de football masculin de 2008, des pauses fraîcheur ont été programmées à la 30<sup>e</sup> et à la 75<sup>e</sup> minute), autoriser des changements de côté ou des temps morts plus fréquents (utilisés sur le circuit mondial de beach-volley de la FIVB pour permettre aux joueurs de se reposer et de se réhydrater). Par ailleurs, de la glace, des serviettes froides, des brumisateurs d'eau fraîche et de l'eau/des liquides de réhydratation sont mis à disposition des athlètes pour leur permettre de se rafraîchir. Une autre mesure préventive consiste à exercer une surveillance systématique des conditions météorologiques. Dans certains sports, dont le marathon et les compétitions de la FIFA et de la FIVB, des enregistrements de l'indice WBGT sont utilisés par les instances sportives pour mettre en œuvre d'éventuelles mesures supplémentaires sur le terrain afin de garantir la sécurité des athlètes.

Pour les épreuves sportives se déroulant par temps froid, les fédérations de sports d'hiver comme la Fédération Internationale de Ski (FIS) surveillent de près la température de l'air et le vent, pour pouvoir émettre les recommandations les plus pertinentes afin de limiter l'exposition au froid de ces athlètes, de manière à éviter au maximum tout risque d'hypothermie, de gelure et tout autre problème lié au froid. Les épreuves de ski nordique ainsi que le biathlon prévoient des limites de température imposées aux organisateurs de la Coupe du monde. Un grand nombre de fédérations nationales imposent même des règles et des mesures encore plus complètes pour limiter l'exposition au froid.

Une autre préoccupation reconne concerner la discipline du marathon en natation, avec des défis environnementaux spécifiques et des problèmes de sécurité en eau libre posés par la météo, les courants et les marées, les éléments polluants, la flore ainsi que la faune. En réponse à ces menaces liées à l'environnement, la FINA a modifié son règlement pour protéger la santé et augmenter la sécurité des nageurs. Elle a notamment ajouté des limites basse et haute de température dans ses règlements, ainsi que des recommandations pour ne pas exposer les athlètes à des températures extrêmes de l'eau potentiellement dangereuses. Par ailleurs, des protocoles stricts concernant la qualité de l'eau et les procédures d'urgence visant à garantir la sécurité des athlètes ont été mis en œuvre.

Alors que l'altitude augmente sensiblement le stress physiologique, inhibe les performances et provoque divers symptômes cliniques chez les personnes non préparées et non acclimatées, les épreuves concernant les athlètes de haut niveau se déroulent rarement à plus de 2 000 m d'altitude. Un très grand nombre d'athlètes s'entraîne en revanche régulièrement au-

dela de cette altitude dans le but d'améliorer leurs performances à basse ou moyenne altitude. Par conséquent, les recommandations et les mesures visant à améliorer l'acclimatation, la tolérance et la sécurité en altitude ont été passées en revue et méritent une attention particulière.<sup>75</sup>

## CONSENSUS GÉNÉRAL – QUE POUVONS-NOUS FAIRE D'AUTRE ?

Alors que la physiologie et la médecine s'occupent depuis des siècles des organismes sains et pathologiques, la physiologie de l'exercice est une discipline relativement récente. La physiologie de l'exercice a été principalement étudiée dans le domaine professionnel, militaire et en laboratoire. Par conséquent, il est nécessaire que les fédérations sportives, les médecins et les chercheurs collaborent pour collecter beaucoup plus de données et publier leurs conclusions concernant la population spécifique des athlètes de haut niveau. Le défi consiste maintenant à passer de la connaissance des « réponses physiologiques humaines standard » à la détermination et à la prise en compte des caractéristiques, des réponses et des comportements spécifiques de l'athlète de haut niveau, qui s'entraîne et participe à des compétitions dans toute la gamme de conditions environnementales extrêmes existantes.

Le groupe d'experts tient ainsi à saluer l'engagement de la commission médicale du CIO et des fédérations sportives internationales en faveur de la sécurité des athlètes. Toutefois, nous encourageons fortement la commission et les dirigeants des fédérations à s'affirmer dans ce domaine et à aller plus loin, en faisant preuve d'ouverture dans leur quête d'une meilleure appréciation, d'une surveillance étroite et d'une réponse appropriée aux problèmes de santé et de sécurité dans toutes les compétitions sportives, afin que chaque athlète de haut niveau soit bien protégé et ait ainsi la possibilité d'optimiser ses performances sportives.

**Remerciements** Le groupe tient à remercier le président de la commission médicale du CIO, Monsieur Arne Ljungqvist, ainsi que le directeur scientifique et médical du CIO, Monsieur Patrick Schamasch, pour leur contribution durant la réunion de consensus du CIO.

**Conflit d'intérêts** Aucun.

**Provenance et examen par les pairs** Commandé ; examen externe par les pairs.

**Affiliations des auteurs**

<sup>1</sup>National Youth Sports Health & Safety Institute, USA;

<sup>2</sup>Department of Paediatrics, Sanford School of Medicine of The University of South Dakota, Sanford Children's Health Research Center, Sioux Falls, SD, USA;

<sup>3</sup>Oslo Sports Trauma Research Center, Department of Sports Medicine, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway

<sup>4</sup>Department of Internal Medicine, Division VII: Sports Medicine, University Hospital, Heidelberg, Germany

<sup>5</sup>Institut de recherche biomédicale de défense - École du Val-de-Grace (IRBA- EVDG), Paris, France

<sup>6</sup>Department of Physical Education, University of Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, Spain

<sup>7</sup>Faculty of Medicine, University of Oslo, Oslo, Norway <sup>8</sup>Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway <sup>9</sup>Department of Paediatrics, Rikshospitalet, Oslo University Hospital, Oslo, Norway <sup>10</sup>Centre for Sports Medicine and Human Performance, Brunel University, Uxbridge, United Kingdom

<sup>11</sup>ZIHP and Institute of Physiology, University of Zurich, Zurich, Switzerland <sup>12</sup>School of Sport, Exercise and Health Sciences, Loughborough University, Loughborough, United Kingdom

<sup>13</sup>ISSUL Institute of Sport Sciences, Department of Physiology, Faculty of Biology and Medicine, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

<sup>14</sup>Medical Commission, Federation Internationale de Natation, Lausanne, Switzerland

<sup>15</sup>Medical Commission, International Olympic Committee, Lausanne, Switzerland

<sup>16</sup>McMaster University, Hamilton, Canada

<sup>17</sup>ASPETAR, Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Research and Education Centre, Doha, Qatar

<sup>18</sup>Department of Neuroscience and Pharmacology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark

<sup>19</sup>Medical Committee, Federation Internationale de Football Association, Zurich, Switzerland

<sup>20</sup>Medical Commission, Badminton World Federation, Kuala Lumpur, Malaysia

<sup>21</sup>Medical Committee, Asian Football Confederation, Bukit Jalil, Kuala Lumpur, Malaysia

<sup>22</sup>Department of Biology and Altitude Research Center, University of Colorado, Colorado Springs and Anschutz Medical Campuses, USA

<sup>23</sup>Military Nutrition Division, US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA, USA

<sup>24</sup>Medical & Scientific Department, International Olympic Committee, Lausanne, Switzerland

### RÉFÉRENCES

Voir article original