

# LA CRYOTHÉRAPIE CORPS ENTIER

## Expérience d'une équipe cycliste professionnelle

Dr Gérard Guillaume\*

### INTRODUCTION

L'utilisation thérapeutique du froid remonte à la nuit des temps. En Europe, on l'attribue à Hippocrate. Les bénéfices du froid sur la santé ont été vantés par les populations nordiques, adeptes des bains hivernaux en eau glacée ou dans la neige. Le nombre de Finlandais qui se baignent l'hiver en eau glacée dans le but de se maintenir en bonne santé est actuellement estimé à 120 000 (1). Ils font état, entre autres, d'une meilleure résistance aux affections broncho-pulmonaires, d'une diminution des douleurs rhumatismales, d'une meilleure récupération de la fatigue et d'une sensation de mieux-être en général. La cryothérapie corps entier (CCE), par exposition à des températures de -110° à -140°C, a vu le jour à la fin des années 1970 au Japon. Ses indications majeures étaient le traitement de la douleur, dans un 1<sup>er</sup> temps d'origine rhumatismale, puis post-traumatique, pour secondairement s'adresser aux sportifs.

Depuis 3 ans, l'expérience d'accompagnement d'une équipe cycliste professionnelle, avec une unité mobile de cryothérapie corps entier, confirme tout l'intérêt que peuvent y trouver des athlètes de haut niveau, tout en respectant l'éthique sportive et la réglementation antidopage (2).

\*Médecin de l'équipe cycliste de la FDJ.fr ;  
Cabinet de rhumatologie, traumatologie et diététique  
du sport, Paris

La température corporelle est le résultat de l'équilibre entre la production et la perte de chaleur.

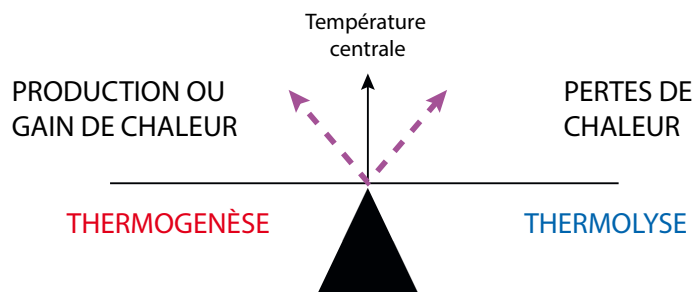


Figure 1 - La thermorégulation repose sur l'équilibre entre apports et pertes de chaleur.

### LA THERMORÉGULATION

#### ▷ Définition

L'Homme est un homéotherme (température régulée) ; sa température reste constante quelles que soient les variations du milieu extérieur. L'homéothermie est maintenue sous certaines conditions. La constance de la température ne s'applique pas à la totalité de l'individu, mais uniquement à sa partie centrale, dite "noyau". Ce noyau central est constitué par les viscères thoraciques et abdominaux, le système nerveux central et les muscles squelettiques. La température centrale de l'Homme est de l'ordre de 37°C et varie peu en fonction de la température extérieure. Elle correspond aux conditions optimales pour le bon fonctionnement de l'organisme. En effet, les réactions enzymatiques et l'activation des principaux mécanismes intracellulaires surviennent préférentielle-

ment autour de 37°C, température de référence. Les parties extérieures au noyau, dites "enveloppes" et "écorce", constituées de la peau et des tissus sous-cutanés, peuvent avoir une température variable, entre 10 et 40°C, selon la température extérieure. Entre les deux, se trouve le système vasculaire qui permet des échanges rapides d'énergie et de température.

Le maintien de la température constante du noyau n'est possible que lorsqu'il existe un équilibre entre les quantités de chaleur produite et reçue et la quantité de chaleur perdue : c'est la thermorégulation.

La thermorégulation représente l'ensemble des processus permettant à l'Homme de maintenir sa température interne dans des limites normales quel que soit son niveau métabolique ou la température du milieu ambiant. Elle repose sur un équilibre constant entre les apports et les pertes de chaleur (Fig. 1).

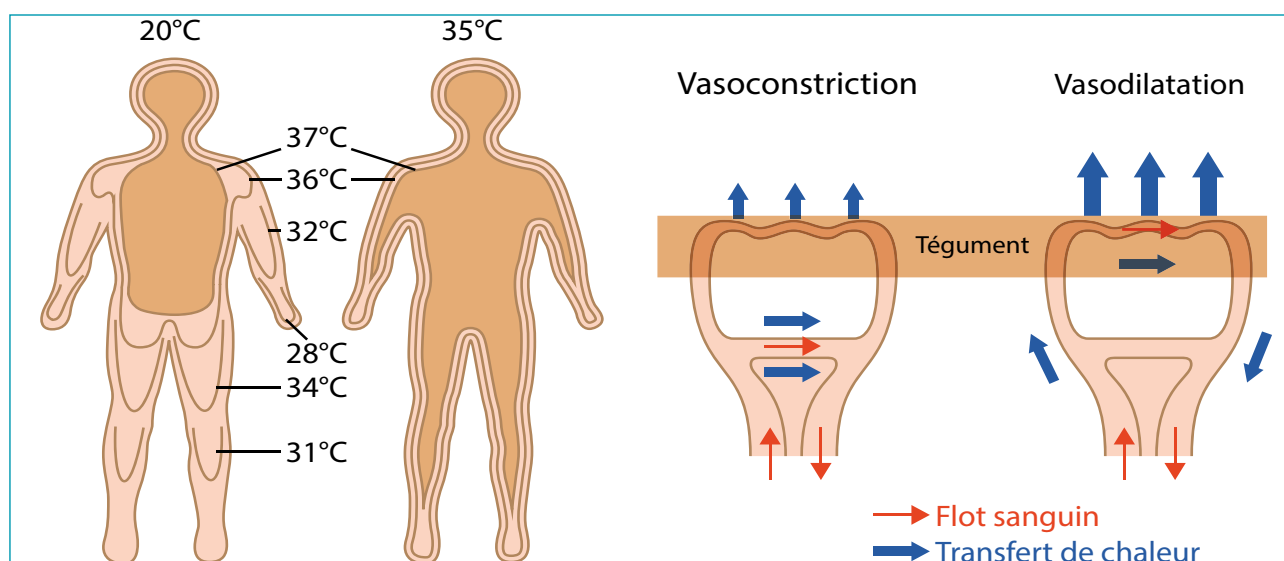


Figure 2 - En cas d'exposition au froid prolongée, les phénomènes de vasoconstriction et de vasodilatation se succèdent (D'après Aschoff et Wever et Université de Liège, 1959).

#### ▶ Quatre types d'échanges thermiques

L'Homme échange de la chaleur avec l'environnement selon les quatre modes suivants :

- **par conduction** : l'échange s'effectue entre la peau et un objet à son contact direct, de température différente ;
- **par convection** : l'échange se fait entre la peau et un fluide qui se déplace ou un gaz ambiant (c'est le cas de la cryothérapie corps entier) ;
- **par radiation** : la peau cède la chaleur sous forme de rayonnement ;
- **par évaporation** : l'échange a lieu par diffusion passive au niveau de la peau et des muqueuses, par la transpiration.

#### ▶ Réponses thermiques au froid

##### Augmentation de la thermogénèse

###### • Frisson musculaire

Il s'agit d'une majoration excessive du tonus musculaire avec des contractions désynchronisées des fibres musculaires voisines. Le tonus musculaire (donc le frisson) est commandé par les voies nerveuses extrapyramidales, via la substance réticulée. Lorsqu'il est intense, le frisson devient conscient, voire désagréable. Il prédomine au niveau de la mâchoire et à l'inspiration.

###### • Augmentation de la thermogénèse chimique

Il s'agit d'une augmentation du métabolisme cellulaire en réponse au froid. Cette augmentation se produit essentiellement au niveau d'un certain type de cellules graisseuses qui constituent la graisse brune, en réponse à une stimulation adrénérgique. Mais à l'âge adulte, il n'y a plus de graisse brune. Ce mécanisme est donc insuffisant pour permettre une adaptation satisfaisante au froid.

La thermogénèse chimique provoque une accélération du métabolisme, elle est induite par la sécrétion de certaines hormones : adrénaline, glucagon et glucocorticoïdes plutôt pour la réponse à court terme, et hormones thyroïdiennes pour l'adaptation à long terme.

##### Limitation de la thermolyse

###### • Vasoconstriction cutanée

Sous l'effet du froid, la circulation périphérique peut être réduite par la vasoconstriction des vaisseaux qui se traduit par la fermeture des boucles capillaires cutanées et le maintien de la chaleur dans les parties centrales et vitales du corps. Le débit sanguin, qui est de 20 mL/min, est susceptible d'être

réduit à 1 mL/min. Lorsque le froid persiste, la vasoconstriction est suivie d'une vasodilatation paradoxale qui correspond à une hyperhémie de protection. Si l'exposition au froid se prolonge, des périodes de vasodilatation et de vasoconstriction alternent (Fig. 2). Ce phénomène est connu sous le nom de "Huntington reaction". Pour observer cette réaction, la température tissulaire doit être entre 7 et 12°C.

La vasoconstriction cutanée a deux objectifs :

- diminuer la température cutanée, donc les déperditions thermiques ;
  - limiter les échanges entre le noyau et l'écorce, donc le refroidissement de la température centrale.
- Elle est limitée par la nécessité de maintenir une trophicité des tissus périphériques. Dans les cas extrêmes, elle peut parfois aboutir à une nécrose des territoires périphériques par anoxie.

###### • Diminution des pertes de chaleur

- L'*horripilation*, communément appelée "chair de poule", correspond à une érection des poils. Le but de ce mécanisme est d'emprisonner, entre les poils au contact de la peau, une couche d'air tampon qui va servir d'isolant. Ce principe marche bien

chez les animaux à poils et à plumes. Mais chez l'Homme, très peu velu, ce n'est qu'un système archaïque hérité de ses ancêtres animaux, qui n'a plus aucune efficacité réelle.  
- La diminution ou l'arrêt de la sudation permet de réduire les pertes de chaleur.

### ► Les voies de régulation

L'hypothalamus est le centre de contrôle de la thermorégulation. C'est là que se trouvent des récepteurs sensibles à la température (thermorécepteurs) qui enregistrent la température du noyau central. L'hypothalamus reçoit des informations complémentaires des thermorécepteurs de la peau et de la moelle épinière. Dans les centres thermorégulateurs de l'hypothalamus, la température effective du corps (valeur réelle) est comparée à la valeur de consigne. S'il existe une différence, l'organisme met en œuvre plusieurs mécanismes de régulation du bilan thermique.

Dans un environnement froid par exemple, la stimulation des récepteurs cutanés au froid active la production de chaleur et provoque une vasoconstriction cutanée avant que la température centrale ne chute (Fig. 3).

### Acteurs de la thermorégulation

Les thermorécepteurs périphériques et centraux permettent de détecter toute modification de la température.

#### • Les thermorécepteurs périphériques

Il s'agit de neurones sensitifs dont les terminaisons axonales sont disséminées dans la peau à proximité des capillaires sanguins. Ils détectent des modifications de la température cutanée, en étant particulièrement sensibles aux variations rapides (3). Les thermorécepteurs au froid sont plus nombreux que ceux au chaud. La plus grande densité de ce type

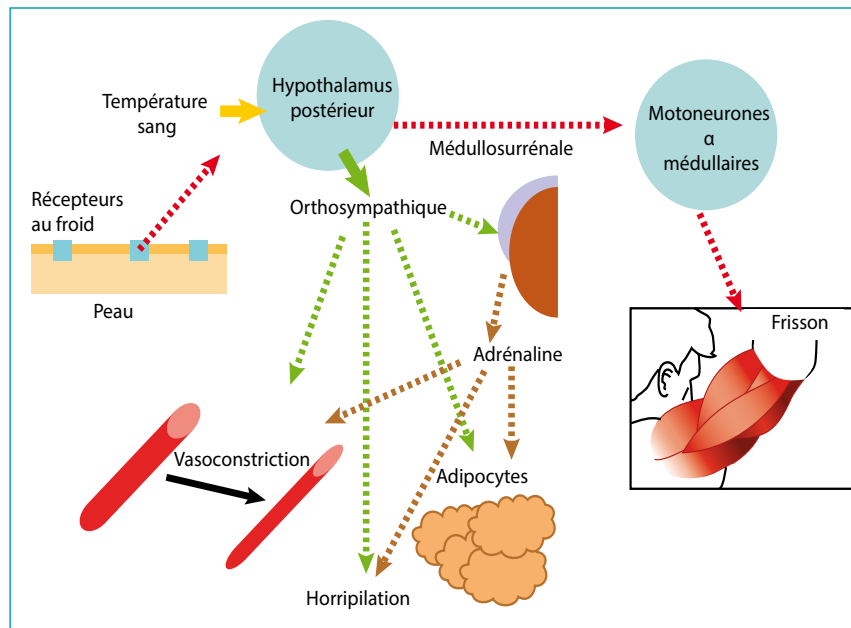


Figure 3 - Thermorégulation au froid.

de récepteurs se situe au niveau de la face.

Les thermorécepteurs sensibles au froid se situent dans l'épiderme. Ils émettent une fréquence maximale de potentiels d'action pour une température voisine de 30°C. On peut associer aux récepteurs périphériques les nombreux récepteurs du tube digestif qui ont un peu la même fonction (lorsque l'on mange une glace ou un plat chaud par exemple). Les thermorécepteurs périphériques sensibles au chaud, situés dans le derme, possèdent un optimum de décharges de potentiels d'action pour une température à 40°C.

#### • Les thermorécepteurs centraux

Les thermorécepteurs centraux se situent dans différentes zones profondes de l'organisme : l'aire préoptique au niveau de l'hypothalamus antérieur, la paroi des organes intra-abdominaux et des gros troncs veineux, et la moelle épinière. Leur fréquence de décharges varie en fonction de la température. Une variation de 1°C du sang irriguant l'hypothalamus suffit à provoquer une réaction de thermogenèse ou de thermolyse.

#### • Les voies afférentes

Les thermorécepteurs transmettent les informations concernant la température (cutanée, sanguine, profonde) sous forme d'influx nerveux, par l'intermédiaire de la moelle épinière, jusqu'à l'hypothalamus. La sensibilité au froid semble transmise préférentiellement par les fibres Aδ, celle à la chaleur par les fibres C. La plupart des informations thermiques sont transmises aux centres hypothalamiques par le faisceau spinothalamique.

## LA CRYOTHÉRAPIE CORPS ENTIER (CCE)

### ► Histoire

Le concept technologique de la cryothérapie corps entier fut présenté pour la première fois en 1979 lors du Congrès européen des Rhumatologues à Wiesbaden, par le professeur japonais Yamauchi (4). Initialement, cette technique était utilisée pour traiter des patients atteints d'affections rhumatismales. Progressivement, le recrutement s'est étendu aux patients douloureux post-traumatiques. Ainsi, des sportifs blessés ont pu bénéficier de cette technique.



**Figure 4 - Lors des séances de cryothérapie, le coureur se tient debout, la tête au-dessus du niveau des gaz froids.**

Très rapidement, les thérapeutes se sont rendus à l'évidence des bienfaits ressentis par les sportifs, qui allaient au-delà du traitement de la douleur. Non seulement la durée d'évolution était réduite, mais la fatigue liée à la pratique intensive du sport diminuait. Ainsi, dans les années 1980, cette technologie s'est diffusée en Union soviétique où elle a été mise à disposition des athlètes, tant pour la récupération que pour la préparation, notamment lors des Jeux Olympiques de Moscou. L'idée a été développée en Allemagne par le Pr Reinhard Fricke qui présenta, pour la 1<sup>re</sup> fois en 1984, en Europe, un appareil à air froid, à Sendenhorst (Allemagne). La technique a rapidement été relayée en 1983 en Pologne par les travaux du Pr Zdzislaw Zagrobelny, titulaire de la chaire de rééducation de l'Académie d'éducation physique de Wrocław.

En 1985, un appareil qui n'utilise plus l'azote liquide, mais le principe du réfrigérateur, est conçu. Trois gaz frigorigènes subissent trois cascades de compression afin d'obtenir un air sec et froid. Le système est constitué d'une chambre à -110°C à laquelle on accède par un ou deux sas afin de limiter les écarts brutaux de température, ainsi que le brouillard créé par l'humidité de l'air. À partir de cette date, la cryothérapie du corps entier va se développer et

la 1<sup>re</sup> chambre de froid est ouverte à la Weserland Klinik de Vlotho en Allemagne.

Le monde du sport des pays de l'Est s'est approprié cet outil et c'est aussi par le biais du sport qu'il est arrivé en France, où le premier centre s'est ouvert en 2002 au Centre européen de rééducation du sportif (CERS) de Capbreton, et le second en janvier 2009 à l'Institut national du sport de l'expertise et de la performance (Insep).

### ▷ Chambre cryogénique et cryosauna *La chambre cryogénique*

Elle est composée de deux chambres : la chambre préliminaire et la chambre principale. Dans la chambre préliminaire, la température est comprise entre -50 et -70°C. Dans la chambre principale, elle est réglée entre -110 et -120°C.

La source de froid de la chambre cryogénique est l'évaporation dans des générateurs de basse température d'azote liquide, fournis par un réservoir externe, qui permettent de refroidir l'air de la cabine. Le temps de traitement est réglé entre 1 et 3 min pour la chambre principale. Il est possible de régler individuellement la température et le temps de traitement de chaque groupe de patients. Ces derniers entrent vêtus d'un maillot de bain (de préférence en coton), de chaussettes en coton chaudes et de gants, ainsi que d'une protection pour la tête et d'un masque médical. Ils entrent tout d'abord dans la chambre préliminaire, puis une fois le temps requis écoulé, ils vont dans la chambre principale.

### *Le cryosauna*

La source de froid du cryosauna est l'évaporation dans le générateur de basse température d'azote liquéfié provenant du réservoir cryogénique extérieur. La température se situe entre -120 et -150°C. Le cryosauna est équipé d'un sol

mobile qui s'adapte à la hauteur de chaque utilisateur.

Un système d'extraction des gaz est installé pour aspirer les vapeurs d'azote émises lors du fonctionnement de l'appareil.

Lors d'une séance, l'utilisateur de la cabine est vêtu de vêtements de protection obligatoires : des gants et des chaussettes de coton épais, ainsi qu'un maillot de bain en coton.

L'utilisateur, debout, n'est immergé que jusqu'aux épaules, avec la tête au-dessus du niveau des gaz froids, ce qui lui permet de respirer l'air ambiant sans nécessiter le port d'une protection sur la bouche (Fig. 4).

À la fin d'une séance, le sol redescend automatiquement, l'opérateur aide l'utilisateur à sortir de la cabine et aide le suivant à y entrer.

### ▷ Principe et effets de la CCE

Lors de la CCE, les échanges thermiques se font par convection :

- **extracorporelle** entre la peau et le gaz ambiant ;
- **intracorporelle** entre le sang et le tissu cutané.

La baisse de la température corporelle est rapide, passant de 34 à 5-7°C, sans descendre sous les 5°C. C'est ce choc thermique qui rend la CCE efficace.

### *Effets thermiques*

Durant la CCE, la température cutanée descend rapidement, surtout au niveau des extrémités. Le retentissement sur la température centrale est diversement évalué. Taghawinejad (5) enregistre par voie orale une baisse de la température de 0,38°C après 90 secondes à -100°C. Joch (6) l'évalue par voie auriculaire à 0,02°C. Savalli, en 2006 (7), observe une diminution de 0,63°C au niveau de l'oreille 5 min après une séance de 4 min à -110°C, annulée après 20 min.

Cette baisse de la température centrale est suffisante pour générer un ensemble de processus

physiologiques qui explique les effets de la CCE (Fig. 5).

### Effets antalgiques

Le choc thermique provoque un ralentissement de la conduction nerveuse des fibres C et A $\delta$  de la voie de la sensibilité thermo-algique périphérique. Dans la CCE, l'ensemble du corps est exposé au froid, donc tous les récepteurs thermiques présents à la surface de la peau sont stimulés. Lorsque le cerveau reçoit des messages, qui proviennent de l'ensemble de l'organisme, l'intégration de la douleur est désorganisée. Cela explique la persistance du phénomène antalgique après la séance. La diminution des messages nociceptifs s'explique aussi par la diminution des médiateurs de l'inflammation.

### Effets anti-inflammatoires

Après cinq séances hebdomadaires de 2 min à -110°C, une seule fois par jour, chez des rugbymen, Banfi (9) a mis en évidence une légère augmentation des cytokines anti-inflammatoires IL-10 et une diminution des cytokines pro-inflammatoires IL-2 et IL-8. La diminution des prostaglandines 2 (PGE2) montre que l'inflammation est moins importante après la CCE. Lubkowska et al. (10) démontrent qu'à partir d'une dizaine d'expositions à une température de -130°C pendant 2 min, il y a une augmentation de la concentration des cytokines anti-inflammatoires IL-6 et IL-10, et une diminution de la concentration en cytokines pro-inflammatoires IL-1 $\alpha$ . Il semblerait, d'après cette étude, que 20 expositions soient plus efficaces que dix, cinq expositions n'étant pas suffisantes pour constater des changements significatifs. Leppaluoto et al. (11, 45) ne trouvent pas de différences significatives dans la concentration plasmatique des IL-1 $\beta$ , IL-6, ou des TNF $\alpha$  (cytokine pro-inflammatoire) pour l'exposition de femmes en bonne santé, à raison d'une exposi-

tion à -110°C pendant 2 min, une fois par semaine, pendant 12 semaines. La diminution des cytokines pro-inflammatoires et l'augmentation des cytokines anti-inflammatoires ont été retrouvées par l'équipe de l'INSEP en 2011 (12).

Selon Lubkowska (10), les concentrations en lactate, en histamine et en bradykinine diminuent fortement lors d'une exposition à un froid intense alors que la concentration en angiotensine augmente.

### Effets anti-œdémateux

On comprend que le rôle anti-inflammatoire de la cryothérapie puisse agir sur l'œdème post-traumatique. Nombreuses sont les publications qui valident cet effet lorsque la cryothérapie est appliquée localement (13).

### Effets cardiovasculaires

La fréquence cardiaque augmente, par stimulation du système sympathique, au décours d'une séance de CCE (14). Une adaptation survient après une exposition quotidienne. Après une exposition à -110°C, la pression artérielle systolique s'élève de

24 mmHg. La différence entre la pression artérielle systolique avant la CCE et après la CCE est de 24 mmHg alors que la pression artérielle diastolique augmente de 10 mmHg (14, 15).

Les passages répétés dans le caisson hypothermique ne montrent pas d'adaptation de la tension artérielle (14). Cet effet sur la tension artérielle justifie la contre-indication de la CCE en cas d'HTA non contrôlée. Une exposition de 2,5 min à la CCE à -110°C engendre une hausse significative de la variabilité du rythme cardiaque ( $p < 0,001$ ) (16).

Il n'existe pas d'effet délétère pour les fonctions cardiaques. On constate une légère augmentation de la NTproBNP, liée au stress induit par la cryothérapie corps entier, mais pas de modification des marqueurs cardiaques hsCRP et troponine (17) chez des rugbymen, après leur entraînement quotidien suivi d'une séance CCE (2 min à -110°C) pendant 5 jours. Cette absence de modification des fonctions cardiaques des athlètes (fréquence cardiaque, tensions artérielles systolique et diastolique) est confirmée par Bonomi et al (18).

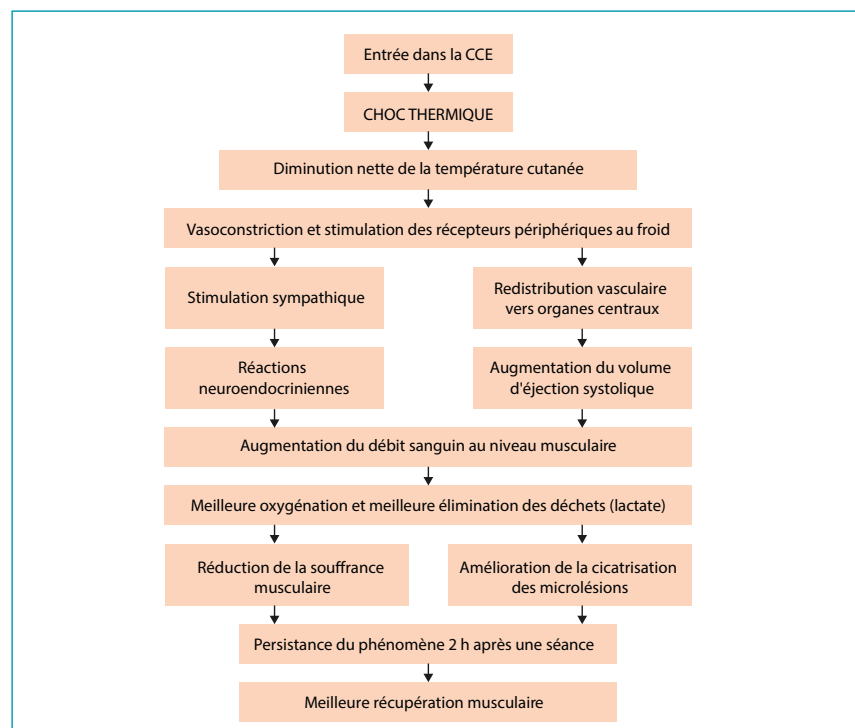


Figure 5 - Effets physiologiques de la CCE (8).

Zalewski (19) constate que la CCE stimule fortement les réflexes des barorécepteurs cardiaques en réponse aux variations hémodynamiques qui modulent la fréquence cardiaque et la tension artérielle.

#### Effets sur les fonctions respiratoires

Une CCE de 2 min à -110°C, trois fois par semaine, pendant 12 semaines, induit une bronchoconstriction minime chez les sujets sains, sans conséquence néfaste.

On constate une légère diminution du volume expiratoire maximale 30 min après la CCE ( $2,3 \pm 0,8\%$ ) (20).

Alors que Yamauchi (21) rapportait que des expositions froides très intenses (jusqu'à -175°C) pendant plusieurs semaines amélioreraient les fonctions respiratoires des asthmatiques, Engel et al. (22) observaient un effet légèrement bronchodilatateur.

#### Effets neuroendocriniens

Une étude menée par Smolander (23) montre que la répétition des séances de CCE ne modifie pas les taux de sécrétions hormonales de GH, TSH et PRL. Seule la noradrénaline est stimulée par la CCE.

Selon Lubkowska (24), les concentrations en lactate, en histamine et en bradykinine diminuent fortement lors d'une exposition à un froid intense alors que la concentration en angiotensine augmente.

Une diminution de la testostérone et de l'œstradiol a été observée chez des footballeurs après dix séances de CCE à -110°C pendant 2 à 3 min (25), sans modification de la LH et de la DHEA.

La production d'ACTH, de  $\beta$ -endorphine et de cortisol n'est pas modifiée après trois séances par semaine de 2 min à -110°C, pendant 12 semaines, chez des femmes saines (26). Seule la production d'adrénaline est augmentée.

Une étude effectuée sur 63 patients atteints de polyarthrite rhumatoïde a montré qu'il y avait une augmentation du niveau d'ACTH, de cortisol

et des  $\beta$ -endorphines dans le sang, après une seule session de CCE de 2 min entre -110 et -160°C.

Cependant, il n'y a aucune modification du niveau de TSH, T4, T3 et GH (27).

#### Effets sur le système immunitaire

Selon Lubkowska (28), le système immunitaire subit des modifications après le passage en caisson hypothermique. Les taux de leucocytes et d'IL-6 augmentent tandis que le statut oxydatif total et le statut anti-oxydatif total diminuent. Malgré les variations, les valeurs restent dans les normes physiologiques.

Une des premières études menées par Jansky (29) après immersion dans l'eau à 14°C pendant 1 h, trois fois par semaine, pendant 6 semaines, a mis en évidence des modifications des marqueurs de l'immunité : une élévation significative des lymphocytes CD25 et des monocytes CD14, une tendance à l'augmentation de l'IL-6, de TNF $\alpha$ , des lymphocytes T CD4 et CD8, de la fraction C3 et C4 du complément. La CRP, la macroglobuline et l'orosomucoïde demeuraient inchangés.

L'élévation de l'IL-6 a été retrouvée par Dugué sur des nageurs en eau froide (30).

Cette incidence sur l'élévation de l'IL-6 a été retrouvée en 2009 par Lubkowska (31) et Banfi (32). Ces travaux ont besoin d'être confirmés, ce qui validerait l'expérience empirique populaire que les bains en eau froide amélioreraient la résistance aux infections.

#### Stress oxydatif

La CCE semble avoir un effet positif sur le stress oxydant lié à la pratique sportive.

Dugué et al. (2005) (33) ont observé une augmentation significative de l'activité antioxydante après 2 min d'exposition à -110°C, à raison de trois séances hebdomadaires pendant 3 mois, chez des femmes en bonne santé.

Une séance de CCE avant chaque entraînement diminue l'activité oxydante et l'apparition des radicaux libres chez des kayakistes (34).

Lubkowska et al. (31) ont observé en 2008 une modification du rapport pro-oxydant-antioxydant après une exposition de 3 min à -130°C chez 15 sujets masculins sains.

Une augmentation de l'activité totale anti-oxydante, après exposition répétée au froid est observée, avec élévation de la superoxyde dismutase (SOD), de la glutathion peroxydase (GPx) et des TBARS (*Thiobarbituric acid reactive substances*) (35).

Lubkowska (36) a mené une évaluation du stress oxydatif sur 30 athlètes, bénéficiant de 20 séances de CCE, à raison d'une séance quotidienne à -130°C. Cette évaluation est réalisée avant et 30 min après la CCE, le lendemain matin (J1), puis à J10, et à J20. Les paramètres SOD, catalase (CAT), GPx, glutathion réductase, glutathion réduit et oxydé et isoprostanes varient selon le nombre de séances. Après J20, on observe une augmentation de la SOD, du ratio SOD/CAT et une diminution de la concentration en glutathion réduit et oxydé et de l'activité de la GPx.

Miller et al. (37) confirme la diminution du stress oxydatif après CCE. En effet, ils ont démontré que 10 jours d'exposition successifs à une température de -130°C et pendant 3 min augmentait significativement l'activité antioxydante, les concentrations d'acide urique dans le plasma et de l'enzyme SOD dans les érythrocytes. De plus, les auteurs n'ont pas observé d'augmentation de l'enzyme TBARS, produit de la peroxydation lipidique qui témoigne de la présence des radicaux libres.

La même équipe était arrivée à la conclusion que la CCE diminuait le stress oxydatif de patients atteints de sclérose en plaque et de dépression (38).

### Hématologie

Une absence de modification des concentrations en leucocytes, érythrocytes, réticulocytes et plaquettes a été constatée après cinq séances de CCE de 2 min à  $-110^{\circ}\text{C}$  chez dix rugbymen. En revanche, une baisse de la concentration corpusculaire en hémoglobine a été relevée (39).

Une autre étude de Banfi et al. (9) démontre qu'il n'y a pas d'augmentation du taux d'hémoglobine due à la CCE. Ce même auteur a également montré que la CCE permet de lutter contre l'hémolyse due au sport (40).

Les résultats de Dybek et al. (41) ont montré une hausse significative des paramètres hématologiques : érythrocytes, leucocytes, concentration d'hémoglobines et plaquettes, mais pas de variation de l'hématocrite.

Alors qu'en 2010, Lubkwoska et al. (42) observaient que 15 séances de CCE de 3 min à  $-130^{\circ}\text{C}$  en 15 jours, sur 25 hommes, diminuaient de façon significative la concentration en hémoglobine et en érythrocytes, et augmentaient le nombre des leucocytes, Klimek et al. (2010) (43) constatent une diminution des érythrocytes, du taux et de la concentration en hémoglobine et une absence de modification des leucocytes et des plaquettes. En revanche, aucun changement des leucocytes et des thrombocytes n'a été observé.

L'étude la plus récente, réalisée chez des rugbymen (44), rapporte une baisse des érythrocytes, de l'hématocrite, de l'hémoglobine, de l'hémoglobine corpusculaire, de la transferrine, de la ferritine, une augmentation des récepteurs solubles à la transferrine et une absence de variation des réticulocytes, mais surtout, la CCE réduirait le *off-score* et pourrait être assimilée à une pratique dopante !

Tous ces résultats sont contradictoires, en grande partie en raison des défauts de méthodologie, d'une trop grande hétérogénéité des séances de CCE : température, durée, nombre de séances, programmation...

### Présentation d'un cryosauna

Un cryosauna disposant des certifications et homologations CE, médical et électrique, est équipé (Fig. 6) :

- d'un sol mobile qui s'adapte à la hauteur de chaque utilisateur ;
- de nombreux capteurs à l'intérieur et à l'extérieur (température, hygrométrie, oxygène, gaz carbonique (cellules d'analyses MX 15 de OLDHAM)) ;
- d'une interface d'acquisition dédiée qui assure le suivi en temps réel des paramètres de

fonctionnement et d'ambiance ;

- d'un processeur qui enregistre toutes les données de traitement et d'ambiance permettant leur traitement sur l'instant ou ultérieurement ;
- d'un tableau de contrôle assurant le suivi en temps réel des paramètres de fonctionnement du cryosauna, gérant par exemple le temps de passage désiré (15 s à 3 min), la température choisie (jusqu'à  $-140^{\circ}\text{C}$ ).



Figure 6 - Cryosauna JUKA de la société CRYOENCOORA.

### Humeur et dépression

Malgré le petit échantillon, les résultats suggèrent un rôle possible, à court terme, de la CCE comme adjuvant thérapeutique des troubles de l'humeur et de l'anxiété (45, 46).

### Ostéogenèse

Une évaluation chez dix rugbymen des marqueurs du remodelage osseux (RANK, RANK L, OPG) a mis en évidence une élévation significative des niveaux d'ostéoprotégérine (OPG) (47).

### ▷ CCE et sport

La CCE à  $-110^{\circ}\text{C}$  a des effets bénéfiques pour les activités sportives d'endurance (48). La fréquence car-

diacque est diminuée de 8 à 10 bpm, le taux de lactate est abaissé, la variabilité cardiaque est accrue, ce qui témoigne d'une bonne stimulation parasymphatique.

### Capacité aérobie et anaérobie

Selon Klimek (2010), la CCE augmente la puissance maximale anaérobie de l'Homme (49, 50). Aucune influence de la CCE sur les capacités aérobie et anaérobies n'a été démontrée (51, 52).

### Entraînement

La CCE est utilisée dans le cadre de la reprise d'entraînement ou en tant que traitement préventif avant l'entraînement. En raison de ces effets

antalgiques, anti-inflammatoires et anti-oedémateux, la cryothérapie corps entier favorise la rééducation, la reprise sportive et diminue les effets liés aux entraînements intenses (53).

#### Diminution des CPK

La CCE induit une baisse des CPK et des LDH après une semaine de traitement chez des rugbymen (54).

La réduction des microlésions des fibres musculaires engendrées par l'activité physique a été confirmée par Wozniak qui a suivi les séances d'entraînement post-cryothérapie des kayakistes de l'équipe nationale polonaise.

Les résultats montrent que les enzymes sont présents en quantité moindre, après l'effort, par rapport au groupe contrôle (55).

#### Stimulation parasympathique

La CCE a un effet positif sur la régulation du système parasympathique au niveau cardiaque en limitant les effets d'un entraînement physique (56).

Dans une étude récente, l'équipe de l'INSEP a comparé la chambre au cryosauna. La stimulation du système nerveux autonome, plus particulièrement parasympathique (fréquence cardiaque, variabilité du rythme cardiaque) est plus marquée avec la chambre, vraisemblablement parce que le cryosauna n'implique ni la tête ni la face (57).

#### Réparation tissulaire et récupération

Une différence statistiquement significative en faveur de la CCE est mise en évidence dans les délais de récupération (58).

#### Contre-indications

Elles relèvent essentiellement de pathologies cardiovasculaires récentes et des affections sensibles au froid. Elles ont fait l'objet d'un consensus à Bad Vöslau, en Autriche, en février 2006 (59).

#### Contre-indications absolues

- Hypertension artérielle non contrôlée
- Infarctus du myocarde de moins de 6 mois
- Insuffisance respiratoire
- Insuffisance circulatoire
- Angine de poitrine
- Pacemaker
- Artériopathie de stade 3 ou 4
- Thrombose veineuse profonde
- Infection respiratoire aiguë
- Colique néphrétique
- Anémie profonde
- Allergie au froid
- Cryoglobulinémie
- Infection cutanée aiguë bactérienne ou virale
- Infection profonde aiguë
- Prise d'alcool ou de drogues

#### Contre-indications relatives

- Trouble du rythme cardiaque
- Insuffisance valvulaire
- Rétrécissement valvulaire
- Artériopathie stade 1 et 2
- Cardiopathie ischémique
- Syndrome de Raynaud
- Polyneuropathies
- Grossesse > 4 mois
- Claustrophobie

#### Indications

Elles ont fait l'objet d'une conférence de consensus à Bad Vöslau, en Autriche, en février 2006 (59).

#### Indications validées

- Rhumatismes inflammatoires
- Spondylarthropathie ankylosante
- Spasticité musculaire
- Neurodermites
- Psoriasis et lichen plan
- Contusion musculaire
- Tendomyopathie
- Amélioration de la rééducation du sportif blessé, en phase de renforcement

Quelques études récentes confirment l'intérêt que représente la CCE dans la prise en charge de maladies rhumatismales.

Une étude prospective, portant sur 60 patients, 48 polyarthrites rhumatoïdes et 12 spondylarthrites ankylosantes, rapporte une réduction des échelles EVA et DAS28 à 2 mois (60), confirmée en 2008 par Lange (61).

Notre expérience personnelle témoigne de la réalité des bénéfices attendus dans les spondylarthrites ankylosantes axiales.

Une étude pilote sur 120 patients conclut que la CCE représente une part importante du programme de réhabilitation de ces patients (62).

La durée d'évolution de la capsulite rétractile de l'épaule est raccourcie (63).

Au congrès de l'Eular 2012, Bettoni a rapporté son expérience positive dans le traitement de 49 fibromyalgies, confirmée en 2013 sur 100 patients (64).

#### Indications à valider

- Trouble du sommeil
- Dépression
- Asthme
- Trouble de la proprioception de l'appareil locomoteur
- Migraine
- Autre pathologie chronique du derme

## L'EXPÉRIENCE DE LA FRANÇAISE DES JEUX

Les premières expériences de soins des coureurs cyclistes professionnels de la Française des Jeux ont débuté en 2009.

Dès 2010, elle mettait à disposition les moyens destinés à mettre au point un projet d'accompagnement de l'équipe par une unité mobile de cryothérapie. Au cours de l'année 2011, la première expérimentation a été réalisée en stage et en compétition



sur le Critérium du *Dauphiné Libéré*, ce qui a permis de régler les problèmes techniques posés par cette innovation.

Trois modèles de cryosaunas étaient à notre disposition : un russe, un ukrainien et un polonais.

Nous avons retenu ce dernier modèle en raison de sa plus grande fiabilité, de la qualité de la température délivrée et surtout de la garantie du CE médical européen. En effet, c'est à partir des travaux du professeur Zdzislaw Zagrobelny qu'une tradition de recherche en matière de cryothérapie s'est développée en Pologne jusqu'à aboutir à une génération de matériel ultra-moderne, simple d'utilisation et offrant des coûts d'installation et de fonctionnement réduits.

S'appuyant sur l'évaporation de gaz liquéfiés comme l'azote liquide, ou l'air liquide pour produire le froid, les machines de la société PPH JUKA cumulent de nombreux avantages. Contrairement aux modèles développés ailleurs, cette technologie ne nécessite pas d'équipements frigorifiques lourds comme des chambres froides successives et des compresseurs.

L'évaporation de gaz liquéfiés permet d'obtenir dans des temps très courts des températures très basses, tout en remplissant tous les critères de sécurité indispensables lors de la mise en place de traitements de ce type.

Depuis cette date, nous avons accompagné les classiques du début de saison, trois Tours de France et deux Tours d'Espagne, avec cette unité mobile (Fig. 7, 8, 9, 10).

#### ► Déroulement des séances sur les grands Tours

Deux séances quotidiennes de 3 min sont proposées aux neuf coureurs de l'épreuve :

- une le matin, à -120°C, de préférence au lever, avant le petit déjeuner, 3 h avant le départ ;



Figure 7 - Intérieur d'une unité mobile avec cryosauna.



Figure 8 - Unité mobile CRYOENCOORA.



Figure 9 - Unité mobile CRYOENCOORA  
Un camion de 19 tonnes qui assure confort, sécurité et performance (surface disponible = 25 m<sup>2</sup>).

En plus du cryosauna, l'unité mobile est équipée comme un cabinet médical, avec table d'examen, canapé, frigidaire, service de boissons chaudes et froides, espace de rangement, liaison Internet, télévision, climatisation et chauffage.

- une le soir à l'hôtel à -140°C, soit 2 h après l'arrivée de l'étape, de préférence avant la séance de massage dont la qualité est améliorée par la cryothérapie.

La première semaine, ce rythme est observé par les coureurs, puis nous leur laissons le choix du planning. Il ressort des données de la littérature



Figure 10 - La source de froid

La source de froid du cryosauna est l'évaporation, dans le générateur de basses températures, d'azote liquéfié provenant du réservoir cryogénique extérieur.

Caractéristiques :

- deux réservoirs d'azote liquide de 450 L, soit 900 L
- autonomie de 6 à 7 jours à raison de 30 séances quotidiennes
- temps de mise en route à -140°C = 12 min
- consommation de mise en route = 15 L d'azote
- ravitaillement sur site possible, organisé par CRYOENCOORA
- temps de ravitaillement pour 900 L = 45 min
- température entre -120 °C et -150°C
- consommation par passage de 3 min = 1,5 L d'azote.

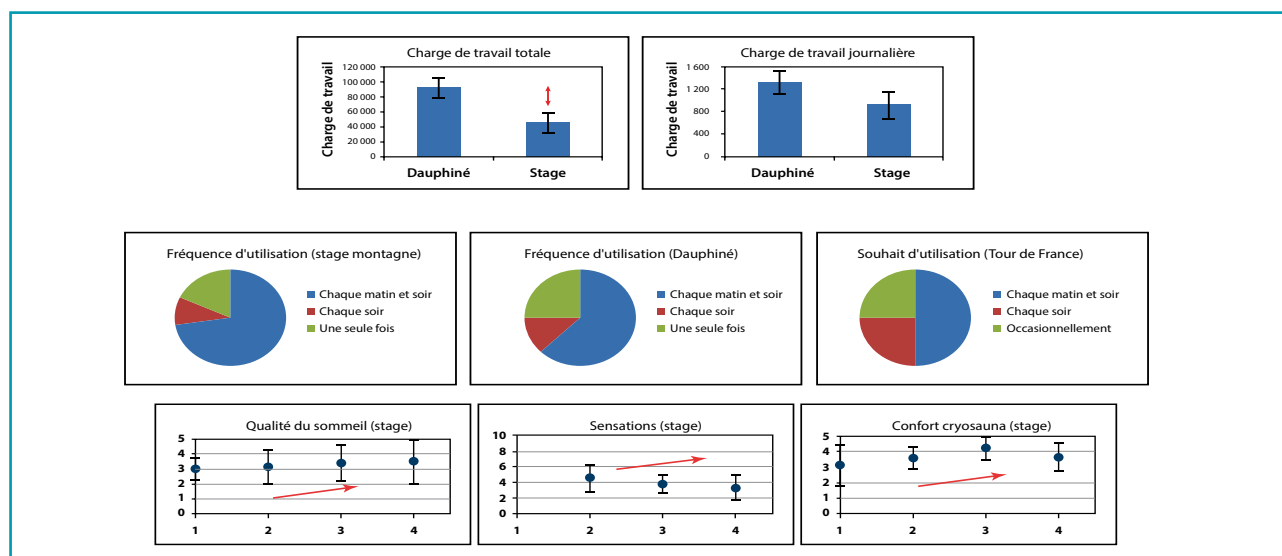


Figure 11 - Bilan CCE.

que les bénéfices attendus de la CCE s'observent au-delà de dix séances. Certains coureurs feront les deux séances quotidiennes jusqu'à la fin des Tours.

Lors de la séance, le coureur est en sous-vêtements secs, les pieds sont protégés par des chaussettes et chaussons, les mains sont posées sur le rebord supérieur du cryosauna ; il ne porte aucun objet métallique (bijoux...). En cas de plaies, les mains sont protégées.

Au terme de la séance, le sportif répond aux différents questionnaires d'évaluation.

La 1<sup>re</sup> année, chaque jour, la tolérance de la séance de cryothérapie, l'intensité des efforts fournis lors de l'étape, les sensations ressenties, la qualité du sommeil, la température centrale et cutanée, la tension artérielle, la variabilité du rythme cardiaque et les paramètres biologiques en cours, en fin de Tour et à distance du Tour, étaient évalués.

Afin d'analyser l'évolution de la récupération générale à travers la qualité du sommeil, les sensations et le confort de la nouvelle technique en fonction de l'accumulation des charges de travail, les coureurs répondaient quotidiennement à dif-

férents questionnaires présentés sous forme d'échelles d'évaluation.

Nous reproduisons ici quelques données recueillies lors des premiers essais en 2011 (Fig. 11).

Les coureurs étaient invités à donner leur avis sur le vécu de la séance et leur souhait (Fig. 12) :

- Je souhaite utiliser la méthode en compétition le matin et le soir
- Je ne souhaite utiliser la méthode en compétition que le matin
- Je ne souhaite utiliser la méthode en compétition que le soir
- Je ne souhaite utiliser la méthode en compétition que quelques fois
- Je ne souhaite pas du tout utiliser la méthode en compétition
- Je n'ai pas d'avis

Le confort général de la séance de cryosauna n'a cessé de s'améliorer entre le 1<sup>er</sup> jour du stage et la fin du Dauphiné puisque la note (sur une échelle de 5) passe en moyenne de 3 (début du stage) à 4,5 (dernier jour de course).

Pour finir, 50 % des coureurs souhaitaient utiliser la méthode deux fois par jour, une autre partie (25 %) préférant l'utiliser une seule fois (après l'entraînement) et une dernière partie (25 %) seulement quelques fois. Tous les coureurs étaient unanimes pour utiliser la technique en com-

pétition en fonction de leurs besoins personnels et aucun ne souhaitait s'en passer.

#### Discussion

C'est à la demande des coureurs que l'expérience a été poursuivie et le cryosauna accompagne depuis les Grands Tours (Tour de France et Vuelta) et certaines courses classiques. Il faut se rendre compte que l'équipe est en compétition, avec des contraintes d'horaires et de déplacement qui rendent impossible un travail d'évaluation répondant aux exigences scientifiques classiques.

Nous nous sommes contentés d'enregistrer des données de terrain et de recueillir le ressenti des coureurs. Il s'agit plus d'un témoignage d'expérience vécue avec toutes les limites qui en découlent.

À souligner que les températures proposées varient de -120 à -140°C, alors que la plupart des études sont réalisées à -110°C. De même, les chambres cryogéniques sont plus souvent testées que les cryosaunas. Le contrôle régulier de la fréquence cardiaque avant et après les séances enregistre une augmentation immédiate d'une dizaine de pulsations par minute qui se rétablit très rapidement. De même, la tension artérielle

**Indice du niveau de fatigue = (Indice de sensation + indice d'humeur) / 2**

**Échelle de sensations**

- 1 • Super forme, grande envie d'aller s'entraîner et de faire des compétitions
- 2 •
- 3 • Forme, sensations et récupérations acceptables
- 4 •
- 5 • Sensations et récupération variables pour des raisons diverses
- 6 •
- 7 •
- 8 • Mauvaises sensations
- 9 •
- 10 • Épuisé, rien envie de faire, très mauvaise récupération générale

**Échelle d'humeur**

Je me sens :

- 1 • De très bonne humeur, très heureux
- 2 •
- 3 • Bien
- 4 •
- 5 • Détendu
- 6 •
- 7 •
- 8 • Anxieux
- 9 •
- 10 • Déprimé

Figure 12 - Questionnaire d'évaluation.

**Investissement**

- Coût d'unité mobile complète : 75 000 € HT
- Coût du cryosauna seul : 39 000 € HT
- Coût de revient moyen par passage individuel : 45 €
- Coût forfaitaire d'une semaine = 3 600 € HT

grands Tours, renforce l'impression que la CCE trouve sa place dans l'accompagnement des athlètes en compétition. Il se confirme que c'est un outil qui améliore leur récupération, tant en post-traumatique qu'au niveau de la fatigue physique et psychologique liée à la compétition.

Les règles de l'éthique sportive sont respectées, aucune amélioration de la performance n'est objectivée. Il n'y a pas d'effet délétère, les séances sont bien tolérées par la totalité des sportifs. Nous confirmons qu'une dizaine de séances minimum est souhaitée pour en tirer un bénéfice.

L'évaluation scientifique de l'impact réel sur la performance reste à codifier. Les différentes publications disponibles ne permettent pas de trancher. Elles sont trop hétérogènes, tant sur :

- le type de sport (endurance, résistance, vitesse, force) ;
- le nombre de séances (total et quotidien) ;
- la température optimale des séances ;
- la durée des séances ;
- le moment d'intervention, en pré-compétition et post-compétition ;
- les paramètres à évaluer ;
- l'existence ou non de groupes témoins.

augmente systématiquement de 10 à 20 mmHg après la séance, cette différence affectant plus la tension systolique. Les résultats montrent une variabilité de la fréquence cardiaque, qui diminue immédiatement après le passage dans le cryosauna, pour se redéployer dans les heures suivantes (Fig. 13).

Le suivi biologique réalisé au départ des Tours, puis après 10 jours et en fin d'épreuves, porte sur l'hématologie, le bilan hormonal, le statut vitaminique et le bilan minéral. Il ne permet pas de mettre en évidence des variations significatives par rapport à l'expérience que nous avons de ce type d'épreuve avant de disposer de la CCE. En particulier, aucune modification ne laisserait penser qu'il existerait une stimulation assimilable à une technique dopante. Nous ne constatons aucune modification significative de l'hématocrite, de l'hémoglobine, du taux de réticulocytes, de la cortisolémie, de la tes-

tostérone, des statuts vitaminique et minéral et des oligo-éléments.

Les effets positifs que nous constatons concernant la récupération post-traumatique et la fatigue de fin de Tour.

Pour ce qui est de la traumatologie, les délais de récupération sont indiscutablement raccourcis et la résorption des hématomes est accélérée. S'il est difficile de juger de l'impact de la CCE sur la fatigue pendant le Tour, en raison d'un trop grand nombre de variables qui interviennent, à l'unanimité les coureurs constatent que l'après-Tour est beaucoup moins pénible que ce qu'ils avaient pu connaître avant la pratique de la CCE, ce qui justifie à leurs yeux de renouveler annuellement l'expérience.

**CONCLUSION**

L'expérience de terrain de l'équipe cycliste de la Française des Jeux, validée sur trois saisons, dont cinq

**MOTS-CLÉS**

Cryothérapie corps entier, Thermorégulation, Cryosauna, Récupération

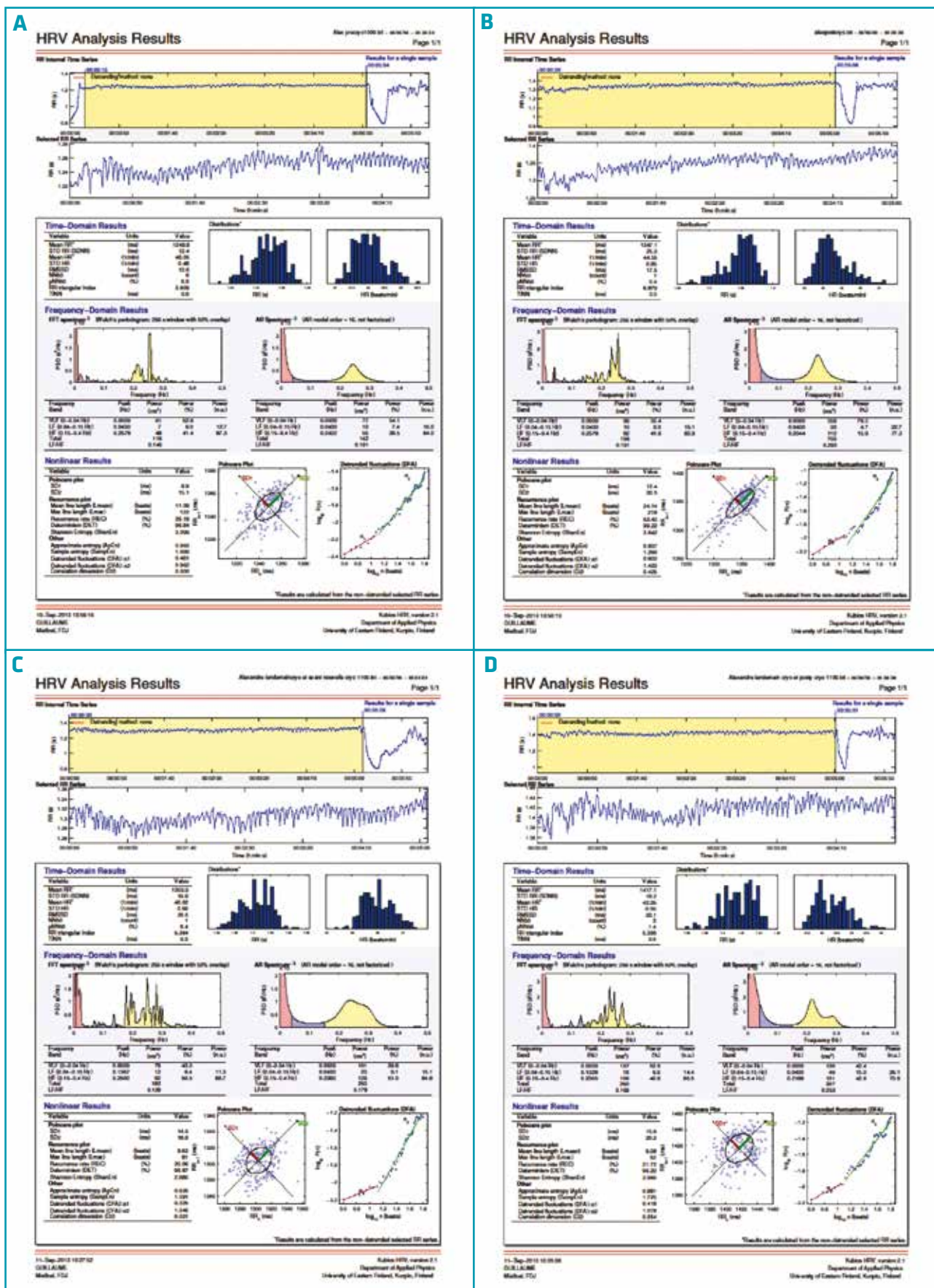


Figure 13 - Enregistrement HRV pré- et post-cryothérapie. A- Pré-cryothérapie. B - Post-cryothérapie immédiat. C - Lendemain des trois séances de cryothérapie. D - Lendemain de quatre séances.

## Bibliographie

- Kauppinen K, Vuori I. Health status of active winter swimmers. *Arct Med Res* 1988 ; 47 : 71-82.
- Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med* 2010 ; 40 : 509-17.
- Schepers RJ, Ringkamp M. Thermoreceptors and thermosensitive afferents. *Neurosci Biobehav Rev* 2009 ; 33 : 205-212.
- Yamauchi T, Nogami S, Miura K, Sakawoto K. The cryogenic therapy, the exercising therapy and the 24 hours rehabilitation. IX Europäischer Kongress für Rheumatologie 1979 ; 1025.
- Taghawinejad M, Birwe G, Fricke R, Hartmann R. Ganzkörperkältetherapie-Beeinflussung von kreislauf und stoffwechselfparametern. *Z Phys Med Baln Med Klim* 1989 ; 18 : 23-30.
- Joch W, Fricke R, Ückert S. Der Einfluss von Kälte auf die sportliche Leistung. *Leistungssport* 2002 ; 2 : 11-5.
- Savalli L, Olave P, Sendin MIH et al. . Cryothérapie corps entier à -110°C. Mesure des températures cutanées et centrale chez le sportif. *Science & Sports* 2006 ; 21 : 36-8.
- Barbiche E. Intérêt de la cryothérapie du corps entier en terme de récupération musculaire et fonctionnelle chez le sportif en phase de renforcement d'une ligamentoplastie du genou. Thèse d'exercice, Médecine, Rouen 2006 ; 121.
- Banfi G, Melegati G, Barassi A et al. Effects of whole body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *J Thermal Biol* 2009 ; 35 : 5-9.
- Lubkowska A, Szygula Z, Chlubek D, Banfi G. The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men. *Scand J of Clinical & laboratory investigation* 2011 ; 71 : 419-25.
- Leppaluoto J, Westerlund T, Huttunen P et al. Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *Scand J of Clinical & laboratory investigation* 2008 ; 68 : 145-53.
- Pournot H, Bieuzen F, Louis J et al. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLoS One* 2011 ; 6 : e22748.
- Adie S, Naylor JM, Harris IA. Cryotherapy after total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Arthroplasty* 2010 ; 25 : 709-15.
- Westerlund T. Thermal, circulatory and neuromuscular responses to whole-body cryotherapy. *Universitatis Ouluensis (Finland)*. Thèse 2009 : 76.
- Lubkowska A, Szygula Z. Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and in the level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men. *Int J Occup Med Environ Health* 2010 ; 23 : 367-75.
- Ückert S, Joch W. Der einfluss von kälte auf die herzfrequenzvariabilität. *Österreichisches Journal für Sportmedizin* 2003 ; 33 : 14-20.
- Banfi G, Melegati G, Barassi A, d'Eril GM. Effects of the whole body cryotherapy on NTproBNP, hs CRP and troponin I in athletes. *J Sci Med Sport* 2009 ; 12 : 609-10.
- Bonomi FG, De Nardi M, Fappani A et al. Impact of different treatment of whole-body cryotherapy on circulatory parameters. *Arch Immunol Ther Exp (Warsz)* 2012 ; 60 : 145-50.
- Zalewski P, Klawe JJ, Pawlak J et al. Thermal and hemodynamic response to whole-body cryostimulation in healthy subjects. *Cryobiology* 2013 ; 66 : 295-302.
- Smolander J, Westerlund T, Usitalo A et al. Lung function after acute and repeated exposures to extremely cold air (-110°C) during whole-body cryotherapy. *Clinical physiology and functional imaging* 2006 ; 26 : 232-4.
- Yamauchi T. Whole-body cryotherapy is a method of extreme cold (-175°C) treatment initially used for rheumatoid arthritis. *Z Phys Med Baln Med Klim* 1988 ; 15 : 311.
- Engel P, Fricke R, Taghawinejad M, Hildebrandt G. Ganzkörperkaltebehandlung bei patienten mit chronischer Polyarthrit. *Phys Med Baln Med Klim* 1989 ; 18 : 37-43.
- Smolander J, Leppaluoto J, Westerlund T et al. Effects of repeated whole-body cold exposures on exposures on serum concentrations of growth hormone, thyrotropin, prolactin and thyroid hormones in healthy women. *Cryobiology* 2009 ; 58 : 275-8.
- Lubkowska A, Chudecka M, Klimek A et al. Acute effect of a single whole-body cryostimulation on prooxidant-antioxidant balance in blood of healthy, young men. *J Thermal Biol* 2008 ; 33 : 4.
- Korzonek-Szlacheta I, Wielkoszynski T, Stanek A et al. Influence of WBC on the levels of some hormones in professional footballers. *Polish Journal of Endocrinology* 2007 ; 58 : 27-32.
- Leppaluoto J, Westerlund T, Huttunen P et al. Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *Scand J of Clinical & laboratory investigation* 2008 ; 68 : 145-53.
- Zagrobelyny Z, Halawa B, Negrusz-Kawecka M et al. Hormonal and hemodynamic changes caused by whole body cooling in patients with rheumatoid arthritis. *Polskie Archiwum Medycyny Wewnetrznej* 1992 ; 87 : 34-40.
- Lubkowska A, Szygula Z, Klimek AJ, Torii M. Do sessions of cryostimulation have influence on white blood cell count, level of IL-6 and total oxidative and antioxidative status in healthy men? *Eur J Appl Physiol* 2010 ; 109 : 67-72.
- Jansky L, Pospisilova D, Honzova H et al. Immune system of cold-exposed and cold-adapted humans. *Eur J Appl Physiol* 1996 ; 72 : 445-50.
- Dugué B, Leppänen E. Adaptation related to cytokines in man: effect of regular swimming in ice-cold water. *Clin Physiol* 1999 ; 2 : 114-21.
- Lubkowska A, Dolegowska B, Szygula Z, Klimek A. Activity of selected enzymes in erythrocytes and level of plasma antioxidants in response to single whole-body cryostimulation in humans. *Scand J of Clinical and laboratory Investigation* 2009 ; 69 : 387-94.
- Banfi G, Melegati G, Barassi A et al. Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *J Thermal Biol* 2009 ; 34 : 55-9.
- Dugue B, Smolander J, Westerlund T et al. Acute and long-term effects of winter swimming and whole-body cryotherapy on plasma antioxidative capacity in healthy women. *Scand Journal of clinical and laboratory investigation* 2005 ; 65 : 395-402.
- Wozniak A, Wozniak B, Drewa G, Mila-Kierzenkowska C. The effect of whole-body cryostimulation on the prooxidant-antioxidant balance in blood of elite kayakers after training. *European J of applied physiol* 2007 ; 101 : 533-7.
- Mila-Kierzenkowska C. Whole-body cryostimulation in kayaker women: a study of the effect of cryogenic temperatures on oxidative stress after the exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 2009 ; 49 : 201-7.
- Lubkowska A, Dolegowska B, Szygula Z. Whole-body cryostimulation-potential beneficial treatment for improving antioxidant capacity in healthy men-significance of the number of sessions. *Plos one* 2012 ; 7 : e46352.
- Miller E, Markiewicz L, Saluk J, Majsterek I. Effect of short-term cryostimulation on antioxidative status and its clinical applications in humans. *European J of applied physiol* 2012 ; 112 : 1645-52.
- Miller E, Mrowicka M, Malinowska K et al. Effects of whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of antioxidative enzymes in blood of depressive multiple sclerosis patients. *World J Biol Psychiatry* 2011 ; 12 : 223-7.
- Banfi G, Krajewska M, Melegati G, Patacchini M. Effects of whole-body cryotherapy on haematological values in athletes. *Br J Sports Med* 2008 ; 42 : 858.
- Banfi G, Melegati G, Barassi A, d'Eril GM. Beneficial effects of the whole-body cryotherapy on sport haemolysis. *J Hum Sport Exerc* 2009 ; 24 : 189-193.
- Dybek T, Szygula R, Klimek A, Tubek S. Impact of 10 sessions of whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity and on selected blood count parameters. *Biology of Sport* 2012 ; 23 : 39-43.
- Lubkowska A, Dolegowska B, Szygula Z, Klimek A. Activity of selected enzymes in erythrocytes and level of plasma antioxidants in response to single whole-body cryostimulation in humans. *Scand J of Clinical and laboratory Investigation* 2009 ; 69 : 387-94.
- Klimek AT, Lubkowska A, Szygula Z, Chudecka M, Fraczek B. Influence of the ten sessions of the whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity. *International J of occupational medicine and environmental health* 2010 ; 23 : 181-9.
- Lombardi G, Lanteri P, Porcelli S et al. Hematological profile and marital status in rugby players during whole body cryostimulation. *PLoS One* 2013 ; 8 : e55803.
- Rymaszewska J, Ramsey D, Chludzinska-Kiejna S. Whole-body cryotherapy as adjunct treatment of depressive and anxiety disorders. *Arch Immunol Ther Exp* 2008 ; 56 : 63-8.
- Szczepanska-Gieracha J. Mental state and quality of life after 10 sessions whole-body cryotherapy. *Psychol Health Med* 2013.
- Galliera E, Dogliotti G, Melegati G et al. Bone remodelling biomarkers after whole-body cryotherapy (WBC) in elite rugby players. *Injury*. 2013 ; 44 : 1117-21.
- Joch W, Fricke R, Ückert S. Der Einfluss von Kälte auf die sportliche Leistung. *Leistungssport* 2002 ; 32 : 11-5.
- Klimek AT, Lubkowska A, Szygula Z, Chudecka M, and Fraczek B. Influence of the ten sessions of the whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity. *International J of occupational medicine and environmental health* 2010 ; 23 : 181-9.
- Klimek AT, Lubkowska A, Szygula Z et al. The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power. *International J of occupational medicine and environmental health* 2011 ; 24 : 184-91.
- Dybek T, Szygula R, Klimek A, Tubek S. Impact of 10 sessions of whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity and on selected blood count parameters. *Biology of Sport* 2012 ; 23 : 39-43.
- Lubkowska A, Szygula Z, Chlubek D, Banfi G. The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men. *Scand J of Clinical and laboratory investigation* 2011 ; 71 : 419-25.
- Hauswirth C, Bieuzen F, Barbiche E, Brisswalter J. Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier : effets sur la récupération après un exercice musculaire. *Sci Sports* 2010 ; 25 : 121-31.
- Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med* 2006 ; 40 : 260-3.
- Wozniak A, Wozniak B, Drewa G et al. The effect of whole-body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training. *Eur J Appl Physiol* 2007 ; 100 : 137-42.
- Westerlund T, Usitalo A, Smolander J, Mikkelsen M. Heart variability in women exposed to very cold air (-110°C) during whole-body cryotherapy. *J Thermal Biol* 2006 ; 31 : 342-6.
- Hauswirth C, Schaal K, Le Meur Y et al. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. *Plos one* 2013 ; 8 : e72658.
- Fonda B, Sarabon N. Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study. *Scand J Med Sci Sports* 2013 ; 23 : e270-8.
- Consensus declaration on whole body cryotherapy. *Bad Vöslau, State of Lower Austria, Austria* February 2006.
- Braun KP, Brookman-Amisshah S, Geissler K et al. Whole-body cryotherapy in patients with inflammatory rheumatic disease. A prospective study. *Med Klin (Munich)* 2009 ; 104 : 192-6.
- Lange U, Uhlemann C, Müller-Ladner U. Serial whole-body cryotherapy in the crestroom for inflammatory rheumatic diseases. A pilot study *Med Klin (Munich)* 2008 ; 103 : 383-8.
- Metzger D, Zwingmann C, Protz W, Jäckel WH. Whole-body cryotherapy in rehabilitation of patients with rheumatoid diseases-pilot study. *Rehabilitation (Stuttg)* 2000 ; 39 : 93-100.
- Ma SY, Je HD, Jeong JH et al. Effects of whole-body cryotherapy in the management of adhesive capsulitis of the shoulder. *Arch Phys Med Rehabil* 2013 ; 94 : 9-16.
- Bettoni L. Congrès EULAR , Berlin, juin 2012 *Ann Rheum Dis* 2012 ; 71 (supp3) : 27264 - Grappe F : Cyclisme et optimisation de la performance. *De Boeck* 2009.