

*UNIVERSITE de BRETAGNE OCCIDENTALE*

**FACULTE DE MEDECINE**

| 1

ANNEE 2012/2013

**THESE N°**

# **DOCTORAT EN MEDECINE**

SPECIALITE : Médecine Générale

**PAR**

**KOLAKOWSKA Edyta**

Née le 02 mai 1983 à Jedrzejow, Pologne

---

**PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 31 octobre 2012**

**PLACE DE L'OXYGENOTHERAPIE HYPERBARE DANS LE  
TRAITEMENT DES GELURES : EVALUATIONS DES PRATIQUES  
EUROPEENNES**

**Président: Monsieur le Professeur BRESSOLLETTE Luc**

**Membres du Jury : Monsieur le Professeur AUFFRAY Jean-Pierre**

**Monsieur le Professeur L'HER Erwan**

**Monsieur le Docteur COULANGE Mathieu**

## SERMENT D'HIPPOCRATE

*Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels ou sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.*

*Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.*

*Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.*

*J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.*

*« Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas,  
C'est parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles »*

*Sénèque*

**UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE**

**FACULTE DE MEDECINE  
ET DES SCIENCES DE LA SANTE BREST**

| 4

**DOYENS HONORAIRES :**

Professeur H. H. FLOCH  
Professeur G. LE MENN  
Professeur B. SENECAIL  
Professeur J. M. BOLES  
Professeur Y. BIZAIS (†)  
Professeur M. DE BRAEKELEER

**DOYEN**

Professeur C. BERTHOU

**PROFESSEURS EMERITES**

---

Professeur BARRA Jean-Aubert  
Professeur LAZARTIGUES Alain

Chirurgie Thoracique & Cardiovasculaire  
Pédopsychiatrie

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES EN SURNOMBRE**

---

Professeur BLANC Jean-Jacques  
Professeur CENAC Arnaud

Cardiologie  
Médecine Interne

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS DE CLASSE EXCEPTIONNELLE**

---

BOLES Jean-Michel  
FEREC Claude  
GARRE Michel  
MOTTIER Dominique

Réanimation médicale  
Génétique  
Maladies Infectieuses-Maladies tropicales  
Thérapeutique

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS DE 1ERE CLASSE**

---

ABGRALL Jean-François  
BOSCHAT Jacques  
BRESSOLLETTE Luc  
COCHENER - LAMARD Béatrice  
COLLET Michel  
DE PARSCAU DU PLESSIX Loïc  
DE BRAEKELEER Marc  
DEWITTE Jean-Dominique  
FENOLL Bertrand  
GOUNY Pierre  
JOUQUAN Jean

Hématologie-Transfusion  
Cardiologie et Maladies vasculaires  
Médecine Vasculaire  
Ophtalmologie  
Gynécologie - Obstétrique  
Pédiatrie  
Génétique  
Médecine & Santé au Travail.  
Chirurgie Infantile  
Chirurgie Vasculaire  
Médecine Interne

KERLAN Véronique  
LEFEVRE Christian  
LEJEUNE Benoist

LEHN Pierre  
LEROYER Christophe  
LE MEUR Yannick  
LE NEN Dominique

LOZAC'H Patrick  
MANSOURATI Jacques  
OZIER Yves  
REMY-NERIS Olivier  
ROBASZKIEWICZ Michel  
SENECAIL Bernard  
SIZUN Jacques  
TILLY - GENTRIC Armelle

Endocrinologie, Diabète & maladies métaboliques  
Anatomie  
Epidémiologie, Economie de la santé & de la  
prévention  
Biologie Cellulaire  
Pneumologie  
Néphrologie  
Chirurgie Orthopédique et chirurgie  
traumatologique  
Chirurgie Digestive  
Cardiologie  
Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale  
Médecine physique et Réadaptation  
Gastroentérologie - Hépatologie  
Anatomie  
Pédiatrie  
Gériatrie & biologie du vieillissement

| 5

---

### PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS DE 2EME CLASSE

---

ARVIEUX Charles  
BERTHOU Christian  
BEZON Eric  
BLONDEL Marc  
BOTBOL Michel  
CARRE Jean-Luc  
COUTURAUD Francis  
DAM HIEU Phong  
DEHNI Nidal  
DELARUE Jacques  
DEVAUCHELLE-PENSEC Valérie  
DUBRANA Frédéric  
FOURNIER Georges  
GILARD Martine  
GIROUX-METGES Marie-Agnès  
HU Weigo

LACUT Karine  
LE GAL Grégoire  
LE MARECHAL Cédric  
L'HER Erwan  
MARIANOWSKI Rémi  
MISERY Laurent  
NEVEZ Gilles  
NONENT Michel  
NOUSBAUM Jean-Baptiste  
PAYAN Christopher  
PRADIER Olivier  
REMY-NERIS Olivier  
RENAUDINEAU Yves  
RICHE Christian  
SALAUN Pierre-Yves  
SARAUX Alain  
STINDEL Eric

TIMSIT Serge  
VALERI Antoine  
WALTER Michel

Anesthésie & Réanimation chirurgicale  
Hématologie — Transfusion  
Chirurgie thoracique et cardiovasculaire  
Biologie cellulaire  
Psychiatrie Infantile  
Biochimie et Biologie moléculaire  
Pneumologie  
Neurochirurgie  
Chirurgie Générale  
Nutrition  
Rhumatologie  
Chirurgie Orthopédique et Traumatologique  
Urologie  
Cardiologie  
Physiologie  
Chirurgie plastique, reconstructrice et  
esthétique-Brulologie  
Thérapeutique  
Médecine interne  
Génétique  
Réanimation Médicale  
Oto. Rhino. Laryngologie  
Dermatologie - Vénérologie  
Parasitologie et Mycologie  
Radiologie & Imagerie médicale  
Gastroentérologie - Hépatologie  
Bactériologie — Virologie; Hygiène  
Cancérologie - Radiothérapie  
Médecine physique et de réadaptation  
Immunologie  
Pharmacologie fondamentale  
Biophysique et Médecine Nucléaire  
Rhumatologie  
Biostatistiques, Informatique Médicale et  
technologies de communication  
Neurologie  
Urologie  
Psychiatrie d'Adultes

**PROFESSEURS ASSOCIES**

LE RESTE Jean Yves

Médecine Générale

6

**MAÎTRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES  
PRATICIENS HOSPITALIERS****HORS CLASSE**

ABALAIN-COLLOC Marie Louise	Bactériologie — Virologie; Hygiène
AMET Yolande	Biochimie et Biologie moléculaire
LE MEVEL Jean Claude	Physiologie
LUCAS Danièle	Biochimie et Biologie moléculaire
RATANASAVANH Damrong	Pharmacologie fondamentale
SEBERT Philippe	Physiologie

**1ERE CLASSE**

ABALAIN Jean-Hervé	Biochimie et Biologie moléculaire
AMICE Jean	Cytologie et Histologie
CHEZE-LE REST Catherine	Biophysique et Médecine nucléaire
DOUET-GUILBERT Nathalie	Génétique
JAMIN Christophe	Immunologie
MIALON Philippe	Physiologie
MOREL Frédéric	Médecine & biologie du développement et de la Reproduction
PERSON Hervé	Anatomie
PLEE-GAUTIER Emmanuelle	Biochimie et Biologie Moléculaire
UGO Valérie	Hématologie, transfusion
VALLET Sophie	Bactériologie — Virologie; Hygiène
VOLANT Alain	Anatomie et Cytologie Pathologiques

**2EME CLASSE**

DELLUC Aurélien	Médecine interne
DE VRIES Philine	Chirurgie infantile
HILLION Sophie	Immunologie
LE BERRE Rozenn	Maladies infectieuses-Maladies tropicales
LE GAC Gérald	Génétique
LODDE Brice	Médecine et santé au travail
QUERELLOU Solène	Biophysique et Médecine nucléaire
SEIZEUR Romuald	Anatomie-Neurochirurgie

**MAITRES DE CONFERENCES - CHAIRE INSERM**

MIGNEN Olivier	Physiologie
----------------	-------------

**MAITRES DE CONFERENCES**

AMOUREUX Rémy	Psychologie
HAXAIRE Claudie	Sociologie - Démographie
LANCIEN Frédéric	Physiologie
LE CORRE Rozenn	Biologie cellulaire
MONTIER Tristan	Biochimie et biologie moléculaire

**MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES MI-TEMPS**

---

BARRAINE Pierre	Médecine Générale
LE FLOC'H Bernard	Médecine Générale
NABBE Patrice	Médecine Générale

**AGREGES DU SECOND DEGRE**

---

MONOT Alain	Français
RIOU Morgan	Anglais

Avec tous mes remerciements,

À *notre Président de Thèse*

**Monsieur le Professeur Bressollette Luc**

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse, et pour l'intérêt qu'il y a porté. Veuillez trouver ici le témoignage de ma haute considération et mon profond respect.

| 8

À *notre Directeur de Thèse*

**Monsieur le Docteur Coulange Mathieu**

Vous m'avez fait l'honneur de guider ce travail à chaque étape. Je vous suis très reconnaissante pour la patience et pour l'aide précieuse que vous m'avez apporté.

À *notre CoDirecteur de Thèse*

**Monsieur le Professeur L'Her Erwan**

Pour m'avoir fait l'honneur de vous intéresser à ce travail et pour avoir accepté de codiriger ce travail. Veuillez recevoir l'expression de ma respectueuse considération.

À *notre Membre du Jury de Thèse*

**Monsieur le Professeur Auffray Jean-Pierre**

Pour m'avoir fait l'honneur de juger cette thèse. Veuillez trouver ici le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

*Aux Equipes des Centres Hyperbares ayant participé à ce projet*

*HBO-Zentrum Euregio Aachen, Dr Siekmann*

*HBO-Unit, Dept of Anesthesia, Aarhus Universitetshospital, Dr Jacobsen*

*Dr van Hulst Academical Medical Center Amsterdam*

*Département de Réanimation Médicale et Médecine Hyperbare CHU Angers, Dr Souday*

*Istituto Clinico Città di Brescia, Dr Moroni*

*Unité de Médecine Hyperbare Hôpital de la Cavale Blanche CHU Brest, Dr Cochard*

*Hyperbaric Unit, Department of Anesthesia, Copenhagen University Hospital, Dr Jansen*

*Centro di Medicina Iperbarica, Firenze, Dr Ruocco*

*Druckkammerzentrum Freiburg, Dr Schulz*

*Instytut Medycyny Morskiej i Tropikalnej w Gdyni, Klinika Medycyny Hiperbarycznej i Ratownictwa*

*Morskiego, Dr Sicko*

*Service de Réanimation Médicale et Médecine Hyperbare Hôpital Albert Calmette, CHU Lille, Pr Mathieu,*

*Dr Juillie*

*Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Pr Mekjavic*

*London Diving Chamber Hospital of St John & St Elisabeth, Dr Firth*

*Centre Hyperbare, Hôpital Edouard Herriot CHU Lyon, Dr Delafosse*

*Service de Réanimation Médicale et de Médecine Hyperbare Hôpital Sainte-Marguerite, CHU Marseille,*

*Dr Barthelemy*

*Service de Médecine Hyperbare, Hôpital Pasteur CHU Nice, Dr Lapoussiere, Dr Kauert*

*Service de Médecine Hyperbare, Clinique Saint-Pierre, Perpignan, Dr Miquel-Jean*

*Institute of Aviation Medicine, Prague, Dr Sazel*

*Institut for Hyaperbaric Medicine Regensburg, Dr Braumandl*

*Instituut voor Hyperbare Geneeskunde, Rotterdam, Dr Groenewegen*

*Druckkammer Zentrum Soltau, Dr Müller-Krotkamp*



*Hyperbaric Medicine Unit, Karolinska University Hospital, Stockholm, Dr Lind  
Druckkammerzentrum Traunstein, Dr Heiden*

Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans votre aide.

Veillez trouver ici l'expression de ma profonde et respectueuse reconnaissance pour m'avoir permis de réaliser ce travail.

| 9

*À mes Collègues*

Un grand merci à **Dr Robin**, à **Martine** et tout particulièrement à **Caroline** pour la relecture orthographique. Merci pour tous vos conseils précieux.

*À ma Famille*

**À mes Parents**

Pour leur soutien constant dans les moments critiques et pour leurs encouragements dans mes projets. Je vous dois d'être arrivée là aujourd'hui.

**À mes Grand-Parents**

Merci de m'avoir fait profiter de votre enthousiasme. Vous ne lirez pas ma thèse, mais je vous la raconterai.

**À ma Soeur**

Qui partage avec moi la passion pour la médecine.  
Merci de m'avoir soutenue toutes ces années.

*À tous mes Amis*

Qui me rendent tous les jours la vie belle par leur présence, quelque soit le nombre de kilomètres qui nous sépare.

**À Ewelina**, ma binôme d'externat.

Pour ces heures passées au téléphone pour s'encourager mutuellement.  
À notre amitié constante qui dure déjà depuis 14 ans.

**À Asia et à Pauline**, pour votre enthousiasme et votre soutien. À notre amitié constante.

*À ceux qui m'ont accompagné pendant ces passionnantes études*

**Mes Amis de la faculté à Cracovie, mes Co-Internes, les Membres d'IFMSA**

Pour tous les bons moments passés, et le travail accompli.

**À mes Collègues** avec qui j'ai travaillé durant ces dernières années.

**Aux Médecins et ceux qui, en m'encadrant, ont su me donner le goût de ce métier.**

Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma gratitude et mon admiration sincère.

## LISTE DES ABREVIATIONS

- AINS** - anti-inflammatoire non stéroïdien
- ATA** - atmosphère absolue = 101,3 kPa
- BAV** - bloc atrio-ventriculaire
- BBD** - bloc de branche droit
- BPCO** - broncho-pneumopathie chronique obstructive
- CaO<sub>2</sub>** - arterial oxygen content, l'oxygène dissous dans le sang artériel
- CDC** - Centers for Disease Control (USA)
- DDB** - dilatation des bronches
- DMTM** - Département de Médecine et de Traumatologie de Montagne de l'Hôpital de Chamonix
- ECHM** - European Committee for Hyperbaric Medicine
- FiO<sub>2</sub>** - Fraction Inspirée d'oxygène, le pourcentage de concentration d'oxygène dans le mélange inhalé
- HAS** - Haute Autorité de Santé
- HBPM** - l'héparine de bas poids moléculaire
- Hb** - l'hémoglobine, **HbO<sub>2</sub>** - l'oxyhémoglobine
- ICAM** - intracellular adhesion molecule
- IRM** - l'imagerie par résonance magnétique nucléaire
- I.V.** - injection intraveineuse
- NADPH** - la forme réduite du nicotinamide adénine dinucléotide
- O<sub>2</sub>** - l'oxygène
- OAP** - l'oedème aigu du poumon
- OHB** - oxygénothérapie hyperbare, elle est une modalité d'administration d'oxygène par voie respiratoire à des pressions supérieurs à la pression atmosphérique (760 mmHg, 1 bar, 1 ATA)
- p<sub>a</sub>O<sub>2</sub>** - pression partielle de l'oxygène artériel, une p<sub>a</sub>O<sub>2</sub> normale lors de l'inspiration de l'air ambiant indique une captation adéquate de l'oxygène au niveau des poumons
- P<sub>A</sub>O<sub>2</sub>** - pression partielle alvéolaire d'oxygène
- p<sub>i</sub>O<sub>2</sub>** - pression partielle de l'oxygène dans l'air inspiré
- PtcO<sub>2</sub>** - pression transcutanée en oxygène
- PUH** - Plan d'Urgence Hivernale (France)
- PGE1** - la prostaglandine E1, un métabolite de l'acide arachidonique, obtenu à partir de phospholipides membranaire par action de phospholipases. Fait partie de la classe des prostanoïdes, qui contient aussi les thromboxanes et les prostacyclines. Les prostanoïdes sont eux-mêmes une sous-catégorie des eicosanoïdes.
- PGI2** - la prostacycline
- RL, RLO** - radicaux libres, radicaux libres oxygénés
- rtPA** - l'activateur tissulaire du plasminogène
- SAU** - Service d'Accueil des Urgences
- SDRA** - syndrome de détresse respiratoire aiguë
- UHMS** - Undersea and Hyperbaric Medical Society
- UPTD** - Unit Pulmonary Toxic Dose

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	8
LISTE DES ABREVIATIONS.....	10
TABLE DES MATIERES.....	11
INTRODUCTION .....	12
PREMIERE PARTIE : LA GELURE.....	13
I. DEFINITION.....	13
II. EPIDEMIOLOGIE.....	13
III. PHYSIOPATHOLOGIE.....	17
IV. CLASSIFICATION CLINIQUE ET EXAMENS COMPLÉMENTAIRES.....	21
V.TRAITEMENTS CONVENTIONNELS.....	26
DEUXIEME PARTIE : OXYGÉNOTHÉRAPIE HYPERBARE.....	36
I. PRINCIPES D’ACTION.....	36
II. CONTRE-INDICATIONS À L’OHB.....	40
III. EFFETS SECONDAIRES LIÉS À LA TOXICITÉ DE L’OXYGÈNE.....	41
IV. MODALITÉS D’ADMINISTRATION.....	43
V. OXYMÉTRIE TRANSCUTANÉE.....	43
VI. Y A-T-IL UNE PLACE DE L’OHB DANS LE TRAITEMENT DES GELURES ?.....	45
1. ANALYSE DE LA LITTÉRATURE.....	45
2. EXPERIENCE MARSEILLAISE.....	50
3. EVALUATION DES PRATIQUES EUROPEENNES.....	52
A. DESCRIPTION DE L’ETUDE.....	52
B. RESULTATS.....	57
C. DISCUSSION.....	70
D. CONCLUSION.....	82
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	83
ANNEXES.....	89
RESUME.....	109

La gelure est une lésion tissulaire survenant lors d'une exposition prolongée et directe à une température inférieure à 0 °C.

La prise en charge des patients atteints de gelures, n'est pas encore bien définie. Parmi les différentes méthodes, l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) est proposée par certaines équipes.

L'OHB est une thérapeutique complémentaire aux traitements médicaux conventionnels et elle n'est pas actuellement une recommandation au traitement des gelures selon les consensus.

Au cours des dernières années l'équipe du centre hyperbare de l'Hôpital de Sainte-Marguerite à Marseille avait traité les victimes de gelures avec des résultats très encourageants, toutefois pour prouver de façon sûre l'effet positif de l'oxygénothérapie hyperbare sur la viabilité des tissus atteints d'une gelure, des études prospectives larges sont nécessaires.

En attendant, nous avons décidé d'évaluer les pratiques concernant l'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des gelures dans différents centres hyperbares Européens. Les informations recueillies par notre travail pourront aider à la réalisation ultérieure d'études prospectives.

# PREMIÈRE PARTIE :

## LA GELURE

### I. DÉFINITION

La gelure est une lésion tissulaire survenant lors d'une exposition prolongée et directe à une température inférieure à 0 °C **(1)**.

En ambiance froide, un refroidissement local du corps peut être accentué par le vent, l'humidité ou le contact avec des objets froids, surtout les objets métalliques.

L'extrémité devient froide et insensible. En fonction de la profondeur du refroidissement, les muscles, les nerfs et les os peuvent être atteints. Les plus touchées sont habituellement les parties distales, moins perfusées et plus exposées au froid : les mains et les pieds (90 %), le nez, les oreilles et les joues, plus rarement les fesses, les genoux ou les organes génitaux **(2)**.

Dans de rares cas, la gelure peut se produire à une température normale lors d'un contact avec des gaz réfrigérés ou comprimés.

### II. ÉPIDÉMIOLOGIE

#### 1. HISTORIQUE

La gelure est une pathologie vieille comme le monde.

Elle a été découverte sur une momie précolombienne datée de 5000 ans retrouvée dans les montagnes du Chili **(3, 4)**.

Depuis l'Antiquité, la gelure a été considérée comme une pathologie spécifiquement militaire **(5, 6, 7, 8)**. La première mention sur ce sujet remonte à 401 av. J.-C. et se trouve dans un ouvrage de Xénophon, « la Retraite de Dix Mille » décrivant la traversée de l'Arménie d'une armée de dix mille hommes **(3, 9)**.

En 1812, pendant la retraite de Russie, chirurgien militaire de Napoléon, le Baron Dominique Larrey, fait la première description de la physiopathologie de la gelure en décrivant l'artériolite de la « gangrène de congélation ». Il est l'auteur du concept de friction de la gelure avec de la neige et son effet bénéfique du réchauffement. Il montre également l'effet délétère du processus récurrent du gel et du dégel. Ses méthodes de traitement sont restées inchangées jusqu'en 1956, lorsque Hamill prouve l'efficacité de réchauffement rapide à 37.8°C dans la prise en charge de la gelure. Cette méthode est devenu un élément essentiel de l'approche thérapeutique d'aujourd'hui **(3, 10, 11)**.

Les gelures de haute altitude ont été observées pour la première fois pendant la Deuxième Guerre mondiale du XXème siècle, en 1943, chez les équipages de bombardiers **(3, 12)**.

## **2. PROFIL DE LA POPULATION ACTUELLE**

Le plus souvent il s'agit d'hommes entre 30 et 49 ans, même si les études semblent indiquer que physiologiquement les femmes, les enfants et les personnes âgées ont le plus grand risque de subir des lésions liées au froid **(2)**.

Depuis quelques décennies les cas de gelures sont observés de plus en plus souvent chez les populations civiles. La gelure est une pathologie encore mal connue par les médecins n'exerçant pas en montagne. Pourtant, contrairement à ce qu'on pourrait croire, une augmentation du nombre des cas des gelures n'est pas uniquement la conséquence d'une pratique accrue de la haute montagne **(3, 5, 13)**.

Aujourd'hui la fréquence des gelures dans la pratique de l'alpinisme tend à diminuer grâce au progrès de matériaux utilisés pour se protéger du froid et de l'humidité, la fiabilité des prévisions météorologiques ou l'utilisation des moyens de communication portables qui permettent de donner rapidement une alerte à des secours.

En conséquence, les gelures dans **la pratique de montagne** deviendront probablement de plus en plus exceptionnelles.

Le groupe étant le plus exposé au risque de gelure, surtout pendant les périodes hivernales, est la population de personnes sans ressources et **sans abri**. Ce risque est encore plus élevé en cas de présence d'une neuropathie alcoolique.

La consommation d'alcool ou des toxiques est, de nos jours, souvent responsable de la survenue de gelures (**14, 15**).

| 15

Pour finir, le froid peut constituer **un risque professionnel**, qui concerne :

- ✓ les personnes qui travaillent à l'extérieur,
- ✓ les travailleurs des entrepôts frigorifiques
- ✓ les travailleurs des établissements d'emballage et de transformation de la viande
- ✓ les travailleurs du secteur touristique (**16**)

La connaissance du traitement des gelures serait donc cruciale pour les médecins exerçant dans les milieux urbains et ruraux.

### **3. FACTEURS DE RISQUE**

Plusieurs facteurs favorisent l'apparition des gelures (**16**).

#### **Les prédispositions personnelles :**

- ✓ l'âge extrême (les nourrissons, les enfants, les personnes âgées)
- ✓ le morphotype
- ✓ les maladies limitant l'activité physique
- ✓ une maladie vasculaire périphérique (athérogène, diabète), les acrosyndromes, le syndrome ou la maladie de Raynaud
- ✓ une affection psychiatrique
- ✓ les antécédents de gelures
- ✓ l'acclimatation aux climats tropicaux

#### **Les pratiques individuelles :**

- ✓ la qualité de l'équipement vestimentaire
  - *le pouvoir d'isolement thermique*

- *l'humidité du vêtement diminue l'isolement thermique du fait de la conductibilité thermique élevée de l'eau<sup>1</sup>*
- *la gêne à la circulation (vêtements, chaussures trop serrées, mal adaptées)*
- ✓ la consommation d'alcool (**3, 14, 15**)
  - *augmente la vasodilatation cutanée, ce qui accélère le refroidissement*
  - *modifications du comportement*
- ✓ le tabagisme (effet vasoconstricteur majorant l'hypoxie des tissus) (**3, 13, 17**)
- ✓ l'usage de drogue
- ✓ l'usage de certains médicaments
  - *neuroleptiques (phénothiazines) par perturbation de la thermorégulation centrale*
  - *les psychotropes sédatifs (benzodiazépines, barbituriques, opiacés) par dépression du système nerveux central et l'altération de la vigilance*
- ✓ la déshydratation (hyperviscosité sanguine)
- ✓ la malnutrition (diminution de la couche adipeuse sous-cutanée et manque d'apport énergétique)
- ✓ l'effort physique important conduisant à l'épuisement (diminution de la résistance au froid de l'organisme)

### **Les conditions météorologiques et climatiques:**

- ✓ l'altitude (l'état d'hypoxie et la polyglobulie induite)
- ✓ la température extérieure négative et la durée d'exposition
- ✓ le vent
  - *l'augmentation de la vitesse majore la perte convective*
  - *cet effet est quantifié par la notion météorologique de refroidissement éolien (ANNEXE 1)*
  - *en plus, les molécules déplacées par le vent, perturbent la couche d'air protectrice autour du corps*
- ✓ le taux d'humidité (conduction)

**Les informations concernant la prévention contre le froid se trouvent dans l'ANNEXE 2.**

---

<sup>1</sup> Dans les conditions venteuses et humides, le pouvoir réchauffant des vêtements diminue de 90 % par rapport à des conditions sèches en l'absence du vent.



**Les informations concernant les blessures liées au froid sans congélation des tissus se trouvent dans l'ANNEXE 3.**

### **III. PHYSIOPATHOLOGIE**

| 17

Les lésions sont consécutives au gel, puis au réchauffement de la gelure (3, 18, 19, 20, 21, 117).

Les tissus commencent à geler lorsque leur température descend en dessous du point de congélation du plasma (- 0,52 °C). Cependant, les cellules peuvent rester à l'état liquide jusqu'à - 15°C (16).

La gelure va évoluer en trois phases :

#### **PHASE PRIMAIRE J0 : REFROIDISSEMENT ET ACTION DU GEL.**

Pendant une phase initiale, les lésions tissulaires se produisent selon un double mécanisme : la vasoconstriction périphérique trop intense et le cryotraumatisme. Ils sont la conséquence de l'action directe du froid.

Le mécanisme de **vasoconstriction** entraîne une occlusion artériolaire, ainsi qu'une diminution du gradient de perfusion au niveau des capillaires. Cela va favoriser l'apparition de phénomènes locaux de stase microcirculatoire, d'hyperviscosité et de thrombose en conduisant à l'anoxie cellulaire, à l'acidose métabolique locale et, au final, à **l'ischémie tissulaire**.

Le **cryotraumatisme** correspond à un gel des tissus et il est facilité par les phénomènes vasomoteurs décrits ci-dessus. Lors du gel tissulaire, la formation de cristaux de glace débute dans le compartiment extra-cellulaire où elle induit une augmentation de la pression osmotique. Cela provoque le passage passif de l'eau intra-cellulaire vers l'espace extra-cellulaire, et en conséquence, déshydrate la cellule et perturbe son équilibre osmotique. La concentration en électrolytes à l'intérieur des cellules devient très élevée et va initier la mort de ces dernières. Le processus de **microcristallisation**, par son action directe et mécanique, va, en plus, altérer la continuité des membranes cellulaires. Avec la température

continuant de baisser, les cristaux de glace présentes dans l'espace extra-cellulaire vont augmenter sa taille. Ils apparaîtront ensuite dans l'espace intracellulaire (congélation de - 15 °C) et provoqueront la destruction mécanique des cellules par une rupture des membranes et du cytoplasme.

La température à laquelle se produit la congélation intracellulaire dépend du type de cellule. Les plus rapidement touchés sont l'endothélium vasculaire et le tissu nerveux périphérique. Lorsque les cellules endothéliales sont altérées, l'activation de la voie de l'acide arachidonique dans les plaquettes entraîne la **libération de thromboxane A<sub>2</sub>** en conduisant aux **microthromboses**. L'agrégation plaquettaire est suivie d'une extravasation des hématies, ainsi qu'une activation et une adhésion des leucocytes qui migrent vers l'interstitium et libèrent des substances vasoactives comme la prostaglandine et les prostacyclines.

## CLINIQUE

A cette phase, cliniquement, il existe un aspect livide des tissus atteints avec une sensation de froid intense, remplacée ensuite par une anesthésie locale.

## PHASE SECONDAIRE J1-J2: RECHAUFFEMENT ET NECROSE PROGRESSIVE

Une phase secondaire se caractérise par la survenue d'un **syndrome d'ischémie-reperfusion**.

Une reperfusion est liée aux substances vasoactives qui apparaissent au niveau local lors de la phase ischémique. Elle conduira à la réoxygénation brutale et provoquera un «stress oxydatif» avec la création des radicaux libres. Les radicaux libres vont aggraver la désorganisation structurale membranaire déjà initiée pendant la phase primaire en conduisant à la mort cellulaire.

Pendant cette phase, trois types de lésions peuvent exister au niveau de la gelure : une zone d'hyperhémie, une zone de stase et une zone de coagulation.

Dans une **zone d'hyperhémie**, où l'action du froid n'a pas été aussi intense, les lésions cellulaires initiales sont potentiellement récupérables spontanément en moins de dix jours.

Dans une **zone de stase** on n'observe pas initialement de dommages irréversibles, mais ces lésions ont tendance à se transformer en zone de coagulation en 48 heures.

Si l'action du froid a été maximale, on constate la prédominance de la nécrose dès les premières heures. C'est la **zone de coagulation**.

| 19

La phase secondaire commence lors du **réchauffement**. À ce moment, la vasoconstriction artériolaire va céder pour rétablir le flux sanguin dans les tissus qui présentent initialement seulement des lésions peu importantes de l'endothélium (zone d'hyperhémie, zone de stase). Dans ces tissus, surtout au niveau de la zone de stase, la "**nécrose vasculaire progressive**" peut apparaître lors des 24 à 48 heures suivant le réchauffement. Elle est liée aux deux phénomènes: une hyperhémie réactionnelle et une recristallisation.

## **HYPERHEMIE REACTIONNELLE**

Lors d'une **levée de la vasoconstriction**, le flux sanguin revient massivement dans le tissu. Les vaisseaux sanguins sont d'abord revascularisés, car ils ne présentent que des discontinuités partielles d'endothélium. Cela augmentera le passage liquidien vers les espaces extra-cellulaires et provoquera une augmentation de la viscosité sanguine.

Les lésions endothéliales vont déclencher des mécanismes de réparation avec des phénomènes inflammatoires locaux, une agrégation plaquettaire et une thrombose secondaire irréversible (ralentissement du flux sanguin dans la microcirculation locale, entraînant le rétrécissement de la lumière vasculaire, l'ischémie et la nécrose).

## **RECRISTALLISATION**

Lors de la phase primaire, surtout en cas de refroidissement rapide, les cristaux de glace sont petits et thermodynamiquement instables. En cas d'un réchauffement lent, ils auront une tendance à s'unir pour former des cristaux de plus grandes tailles, plus agressifs pour les cellules.

Ce phénomène de **recristallisation** pourrait être inhibé lorsque le réchauffement est rapide. Ce type de réchauffement favorise la fonte des cristaux avant qu'ils n'augmentent de taille.

Une recristallisation serait par contre amplifiée par une succession de phases de gel, dégel, regel.

## **CLINIQUE**

Cette phase est la plus riche en manifestations cliniques.

Le début de cette phase est accompagné par des douleurs vives qui apparaissent lors du processus de réchauffement. On va également observer un oedème local des tissus mous superficiels et des masses musculaires pouvant induire un syndrome compartimental.

La phase secondaire se caractérise par la démarcation de la lésion initiale, grise, cyanosée, peu sensible au toucher. Elle évolue remontant de la pulpe vers la racine des membres.

Absentes pour des gelures superficielles, les phlyctènes peuvent être hématiques, séro-hématiques voire hémorragiques quand les gelures sont plus graves. Elles apparaissent en 12 heures en moyenne. Les phlyctènes sont parfois volumineuses et compressives et peuvent persister pendant plusieurs jours. En l'absence d'excision chirurgicale, elles finissent par se rompre spontanément.

## **UNE PHASE TARDIVE J7-J45 : UNE PHASE DE LÉSIONS DÉFINITIVES, COMPLICATIONS ET SÉQUELLES**

Cette phase est lente et progressive. Elle débute 48 à 72 heures après le réchauffement et peut se prolonger durant des semaines, en laissant des lésions permanentes. Initialement, on va observer des phlyctènes et une nécrose cutanée. Plus tard, les tissus revascularisés se réorganisent et se cicatrisent, alors que les tissus dévitalisés évoluent vers la gangrène sèche.

Dans les cas, où l'intensité du froid n'a pas provoqué la mort de la cellule, elle peut entraîner des troubles trophiques de la peau et des phanères avec hyperhidrose, cyanose,

oedème chronique ou une ankylose des doigts en flexion. On constate régulièrement des troubles sensitifs qui peuvent persister longtemps (douleurs, hypo- ou hyperesthésie au froid). À plus long terme (plusieurs années), on peut observer l'apparition de l'ostéoporose et de l'arthrose précoce par atteinte du cartilage.

## **POLYMORPHISME CLINIQUE**

Les gelures sont rarement la résultat d'un seul mécanisme.

Cependant, pour des températures très **froides**, le mécanisme est essentiellement lié au **gel** de la cellule et se caractérise par une **nécrose**.

Dans le cas où le froid est moins intense et dans l'ambiance **humide**, les lésions sont plutôt **vasculaires** et c'est l'**oedème** qui prédomine.

## **IV. CLASSIFICATION CLINIQUE ET EXAMENS COMPLÉMENTAIRES**

Contrairement aux brûlures, il est impossible d'apprécier immédiatement le degré de profondeur de la gelure.

Dans tous les cas, la perte de sensibilité est le premier signe qui apparaît. Les extrémités deviennent froides et livides ou présentent un aspect cyanosé. Deux à trois jours d'évolution sont habituellement nécessaires pour savoir s'il s'agit d'une gelure superficielle ou profonde. Ensuite, dans le cas d'une gelure profonde, il faut attendre encore quelques semaines afin de pouvoir bien déterminer le niveau de la nécrose.

Pendant les premières heures de réchauffement, plusieurs éléments orientent le pronostic. Certains des signes seront en faveur d'une évolution favorable et d'autres pourront suggérer une évolution défavorable. Parmi les signes favorables on retrouve: la sensation de picotement ou de brûlure, la coloration normale de la peau, la chaleur des extrémités, les phlyctènes claires, l'oedème autour de la lésion, la déformabilité de la peau à la pression. Parmi les signes défavorables seront l'insensibilité totale, la cyanose persistante à la pression, les extrémités froides, les phlyctènes foncées et volumineuses, l'absence d'oedème sur la lésion, la maladresse dans la gestuelle.

Les premières classifications des gelures donnaient qu'une évaluation imprécise de la gravité et elles étaient capables d'évaluer la probabilité d'une amputation osseuse qu'après plusieurs semaines.

Les gelures étaient habituellement classées en trois (ou quatre) stades de gravité suivant l'aspect clinique et l'évolution.

## **CLASSIFICATION INTERNATIONALE (TRADITIONNELLE) (20, 21)**

### L'onglée :

L'onglée n'est pas une gelure. C'est un spasme réactionnel au froid, qui apparaît juste au début de gelure de 1<sup>er</sup> degré.

L'onglée est limitée aux troubles fonctionnels. On n'observe jamais des lésions tissulaires. Il se produit lors d'un changement brutal de la température corporelle, entraînant un fort gradient de température entre le corps et les extrémités. La peau devient froide et insensible. La levée du spasme, lors de réchauffement, est très douloureuse.

### 1<sup>er</sup> degré :

Un premier degré se caractérise par une pâleur ou une cyanose transitoire qui disparaîtra au réchauffement et laissera la place à un érythème.

Il existe une perte de sensibilité pouvant persister pendant quelques jours. La guérison se fait sans séquelles.

### 2<sup>ème</sup> degré :

Un deuxième degré est marqué par l'apparition de phlyctènes et évolue en plusieurs semaines.

Un deuxième degré superficiel se caractérise par un oedème cyanosé persistant pendant 48 heures minimum, des phlyctènes claires (à contenu séreux) qui apparaissent en 6 à 12 heures en moyenne (J1-J3) et les troubles de la sensibilité superficielle. La guérison se fait en 10 à 15 jours, mais les troubles sensitifs à type d'hypoesthésie ou de paresthésie peuvent persister jusqu'aux plusieurs mois.

Un deuxième degré profond est marqué par l'apparition des phlyctènes hémorragiques, un oedème important et une anesthésie complète.

Les phlyctènes deviennent nécrotiques. Cette nécrose ne dépasse pas le derme. Les séquelles sont fréquentes.

3<sup>ème</sup> degré :

Un troisième degré, identifiable qu'après une semaine d'évolution, est caractérisé par une nécrose tissulaire profonde dépassant le derme et conduisant souvent à l'amputation. Il existe une anesthésie complète.

## CLASSIFICATION DMTM

Une nouvelle classification DMTM a été proposée par l'équipe de Chamonix. Elle est plus pratique dans la prise en charge initiale et facilite l'organisation des soins extra-hospitaliers. Elle repose sur deux critères d'évaluation qui se font sur l'extension des lésions à J0 (juste après avoir réchauffé l'extrémité) et sur les résultats de la scintigraphie osseuse effectuée 48 heures plus tard. (20, 22).

	Stade I (fig. 7)	Stade II (fig. 8)	Stade III (fig. 9)	Stade IV (fig. 10)
Extension de la lésion initiale après réchauffement rapide	Absence de lésion initiale	Lésion initiale sur la phalange distale	Lésion initiale sur la phalange intermédiaire et proximale	Lésion initiale sur le carpe/tarse et au-dessus
Scintigraphie osseuse à J2	Inutile	Hypofixation	Zones de non-fixation sur les doigts/orteils	Zones de non-fixation sur le carpe/tarse
Phlyctènes à J2	Absence de phlyctènes	Phlyctènes translucides	Phlyctènes hémorragiques	Phlyctènes hémorragiques
Pronostic à J2	Pas d'amputation Pas de séquelle	Amputation tissulaire Atteinte des phanères	Amputation osseuse digitale Séquelles fonctionnelles	Amputation des membres Séquelles importantes ± sepsis voire amputation en urgence

Tableau 2. Nouvelle classification des gelures sévères des extrémités.

Tableau 1. 1. Classification DMTM d'après (22)

## CLASSIFICATION PRÉHOSPITALIÈRE – J0

Une partie de classification préhospitalière permet de sélectionner des gelures plus sévères (grade III et IV) qui nécessiteront une prise en charge hospitalière et une réévaluation par une scintigraphie osseuse à J2 (48 h depuis le début de la prise en charge) et à J8 -12 (une dizaine de jours plus tard).

| 24

Il existe une bonne corrélation entre le degré d'extension des lésions initiales et le risque potentiel d'amputation osseuse.

Basé sur une étude rétrospective, le risque d'amputation a été évalué par l'équipe de Chamonix à 1 % si la lésion initiale ne dépasse pas de la phalange distale. Le risque augmente jusqu'à 31 % en cas d'atteinte d'une phalange intermédiaire et jusqu'à 67 % en cas d'une lésion touchant la phalange proximale. Si la lésion est plus étendue, mais ne dépasse pas de l'articulation métacarpo/métatarso-phalangienne, le risque est de 98 %. La lésion au-delà de cette limite présente enfin le risque de 100 %.

## CLASSIFICATION HOSPITALIÈRE– J2

Une partie de classification hospitalière, 48 heures après la première évaluation, établit le pronostic en déterminant le niveau de l'amputation plus précisément.

Quatre degrés de gravité ont été défini :

Si la lésion initiale évolue vers une **récupération totale** et rapide, la gelure est classée comme un stade I.

Si la lésion s'étend à la **phalange distale**, la gelure est classée comme un stade II. Elle évolue vers une amputation tissulaire de la pulpe, sans atteinte osseuse.

Si la lésion s'étend jusqu'à la **phalange intermédiaire et/ou proximale**, on parle d'un stade III, aboutissant à une amputation osseuse distale.



Atteinte de l'articulation **métacarpo/métatarso** phalangienne est un stade IV et évolue vers une amputation majeure avec séquelles fonctionnelles importantes.

Stade I	absence de phlyctène, pas d'amputation ni séquelles
Stade II	phlyctènes translucides à J2, amputation tissulaire et atteinte des phanères
Stade III	phlyctènes hémorragiques, amputation osseuse distale, séquelles fonctionnelles
Stade IV	amputation des membres, séquelles importantes +/- sepsis, voire amputation en urgence

Tableau 1.2. Classification DMTM d'après (20)

## EXAMENS COMPLÉMENTAIRES

Les **analyses biologiques** n'apportent aucun élément diagnostique ou pronostic (20).

La **thermographie infrarouge** et la **thermographie aux micro-ondes** sont des examens atraumatiques, mais restent imprécises (20, 23) (ANNEXE 4).

La **capillaroscopie** n'est pas quantifiable (20).

L'**artériographie** est un examen agressif et donne beaucoup de faux négatifs (20).

La **biopsie musculaire** reste un examen expérimental et elle est agressive (20).

Le **laser doppler scanner** (*Laser Doppler Imager*) aurait pu être un examen très utile. Il permettrait d'estimer la profondeur d'une gelure en visualisant de façon non invasive la perfusion des tissus superficiels ainsi que les variations de cette perfusion sanguine. Pour l'instant il nécessite encore plus d'évaluation (20).

La **scintigraphie osseuse** au Technétium99m (Tc99m) est actuellement le **seul examen qui apporte des éléments objectifs sur la gravité d'une gelure** et sur son pronostic (20, 24, 25).

La scintigraphie se déroule en trois temps avec une phase immédiate ou vasculaire, une phase précoce ou tissulaire et une phase tardive ou osseuse (à 3 heures). La phase tardive présente

une excellente corrélation entre la zone de non-fixation osseuse du radiotracer au deuxième jour et le niveau d'amputation. Cette corrélation a été démontrée par une étude rétrospective effectuée à l'hôpital de Chamonix, en France. Lorsque la scintigraphie montrait une fixation normale du traceur au temps tardif, l'amputation n'a pas été nécessaire. Dans le cas contraire, si le cliché tardif montrait une hypofixation franche, le patient a dû être amputé.

Auparavant, le temps pour confirmer le niveau d'amputation était de l'ordre de 30 - 45 jours. Grâce à la scintigraphie, il est possible de raccourcir ce délai, psychologiquement insupportable pour le patient.

La scintigraphie est habituellement réalisée dans les 48 heures de la prise en charge et ensuite 5-12 jours après (selon différentes équipes) pour apprécier l'efficacité du traitement.

Cet examen ne doit pas être effectué avant 48 heures suivant la survenue de gelure. En phase trop précoce, il peut être faussement rassurant, car une nécrose progressive n'a pas eu encore le temps de s'installer.

Un examen d'avenir, qui pourrait être encore plus précise que la scintigraphie, sur les zones de nécrose tissulaire, est **l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM)**. IRM peut donner un indice de vitalité cellulaire par une visualisation directe des vaisseaux occlus **(20)**.

## V. TRAITEMENTS CONVENTIONNELS

Le pronostic de gelure dépend non seulement de la profondeur des lésions initiales ou des facteurs de risque associés, mais aussi de la rapidité et de la qualité des premiers gestes de secourisme et de la prise en charge médicale. Plus le traitement est entrepris rapidement, plus les chances de récupération sont importantes.

Traitement classique associe un traitement médical et un traitement chirurgical.

### 1. CONDUITE A TENIR SUR LE TERRAIN

Évaluer rapidement les fonctions vitales, surveiller la conscience.

Rassurer.

Prendre le contact le plus tôt possible avec une équipe médicale spécialisée et suivre leurs indications.

Pour la victime étant en altitude, si possible, la descendre dans la vallée pour lutter contre l'hypoxie.

| 27

Mettre à l'abri du froid (l'évacuation vers un refuge si possible). Ôter les vêtements mouillés. Isoler du sol.

Toujours pratiquer un réchauffement général de l'organisme, par exemple par l'utilisation de couverture de survie (sans oublier la tête). Empêcher que la région atteinte se refroidisse davantage.

En l'absence de troubles de la conscience, d'autres traumatismes ou de malaise, donner à boire abondamment (pour limiter l'hyperviscosité sanguine et diminuer le risque de thrombose vasculaire) avec de préférence des boissons chaudes (réchauffement interne).

Alimenter en l'absence de contre-indications (pour augmenter les capacités de résistance au froid).

En cas de perte de connaissance : libérer les voies aériennes supérieures et mettre de façon prudente la personne en position latérale de sécurité.

En cas d'hypothermie grave, le risque d'un arrêt cardiaque brutal par fibrillation ventriculaire n'est pas négligeable et il peut être favorisé par des manipulations de la victime ou lors de son réchauffement.

Ne jamais débiter le réchauffement actif sauf si une évacuation sera possible. La situation la plus dramatique est celle d'une "regelure" sur une lésion réchauffée. Le réchauffement doit être durable et permanent jusqu'à l'arrivée des secours. Il doit pouvoir s'effectuer en refuge.

Il est interdit d'enlever les chaussures de ski ou de montagne lorsqu'on suspecte une gelure du pied. L'œdème qui s'installe ultérieurement empêche généralement la personne de se rechausser, et le regel doit être évité à tout prix. On doit desserrer un peu les chaussures

et les vêtements pour limiter la compression locale. Il en est de même pour des gants trop étroits, car l'oedème empêcherait de recouvrir les mains lors de la redescente.

Éviter l'aggravation des lésions initiales. Pour la gelure concernant le pied, la victime est considérée comme ayant un traumatisme du membre inférieur. Il lui est donc théoriquement interdit de marcher sauf en cas d'alerte ou d'un acheminement rapide par les secours impossible. | 28

Enlever les bijoux susceptibles de gêner la circulation sanguine en cas d'apparition d'oedème.

Si la personne est douloureuse, administrer des antalgiques.

Si la décision d'un réchauffement a été prise, il faut que celle-ci s'effectue correctement.

Ne jamais placer la partie gelée dans la neige. Ne jamais pratiquer de frictions (les cristaux de glace présents dans les tissus risqueraient d'aggraver les lésions). Ne jamais réchauffer par contact direct avec une source de chaleur qui ajoute une brûlure à la gelure.

Proscrire la consommation de tabac qui est un facteur aggravant d'ischémie par vasoconstriction périphérique.

## **2. APPROCHE THÉRAPEUTIQUE**

Il faut bien évaluer le degré de gravité des gelures dans sa phase initiale. Il s'agit d'identifier rapidement les gelures qui devront être prises en charge au milieu hospitalier dans les plus brefs délais. L'action thérapeutique est souvent moins efficace sur les gelures datant de plusieurs jours.

En cas de prise en charge hospitalière, il est indispensable de documenter les lésions en forme des photos à l'admission, ensuite 24 heures plus tard et toutes les 48 à 72 heures jusqu'à la sortie.

L'approche thérapeutique repose sur la physiopathologie et comprend :

- le réchauffement
- la lutte contre le vasospasme, l'hyperviscosité et la thrombose
- la prévention de l'inflammation et de la surinfection **(19)**

Un bon état nutritionnel doit être maintenu.

Une prise en charge psychologique est parfois indispensable.

Les modalités de prise en charge sont assez variables selon les équipes et plus ou moins agressives selon la gravité des lésions.

Pour les gelures du I<sup>er</sup> et II<sup>ème</sup> stade<sup>2</sup>, en absence de contre-indications, le traitement repose sur l'hydratation, l'administration d'un anti-agrégant plaquettaire, un anti-inflammatoire et un vasodilatateur.

Dans les cas plus graves, dans la plupart de temps, un traitement expérimental par l'analogue de la prostacycline (PGI<sub>2</sub>) et parfois un thrombolytique est utilisé. L'anti-agrégant plaquettaire est toujours indiqué.

#### **A. RÉCHAUFFEMENT RAPIDE - UNE URGENCE THÉRAPEUTIQUE (3, 19, 20, 21, 26, 27)**

Une fois à l'abri, le traitement le plus efficace est le réchauffement immédiat pendant 30 à 60 minutes dans un bain tiède proche de 38 - 40°C, à laquelle on ajoute un liquide antiseptique du type Bétadine ou Dakin.

Les bains sont répétés deux fois par jour.

Le réchauffement ne devra pas être trop rapide, car cela provoque une dilatation des vaisseaux périphériques, avec un risque de troubles circulatoires importants. En même temps, le réchauffement lent peut favoriser la majoration de nécrose en profondeur.

Le réchauffement ne doit pas être interrompu avant que la zone gelée se recolorise ou redevient sensible. La surveillance constante de la température de l'eau permet de s'assurer qu'elle ne dépasse pas 42°C- 43,3 °C. Si on n'a pas de thermomètre, on peut évaluer la température en trempant notre coude dans le bain. On ne doit pas avoir d'une sensation de brûlure.

Le processus d'immersion peut être très douloureux. L'apparition de la douleur est habituellement de bon pronostic.

---

<sup>2</sup> selon classification DMTM

Certains auteurs recommandent de maintenir la température constante du bain, les autres, en cas de douleurs très vives, conseillent plutôt de diminuer légèrement la température du bain en y ajoutant progressivement de l'eau froide. L'arrêt prématuré du processus de réchauffement en raison de douleurs de reperfusion serait une erreur.

## **B. PRÉVENTION DE L'INFLAMMATION ET DE LA SURINFECTION**

L'utilisation des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) ainsi que des antalgiques de paliers I à III serait indispensable pendant et après le réchauffement.

Les **AINS** (l'ibuprofène), qui inhibent la cyclo-oxygénase, sont aussi intéressants dans la réduction de l'œdème qui se développe en amont de la gelure et qui, s'il est circulaire, peut compromettre la vascularisation d'aval. En général, la posologie recommandée d'ibuprofène est de 400 mg toutes les 12 heures (**3, 19**).

Les extrémités gelées doivent rester légèrement surélevées, tant que l'œdème persiste. Après une semaine environ, dès que l'œdème disparaîtra, le patient doit débiter la rééducation physique pour éviter les rétractions tendineuses.

Le respect des règles d'**asepsie** est essentiel. Entre les bains, les gelures doivent être emballées dans des linges propres ou pansements stériles et non adhérents. Les pansements doivent être changés quotidiennement. Certaines sources américaines recommandent de changer les pansements jusqu'à 2-4 fois par jour.

L'application de compresses vaselinées et pansements aux hydrocolloïdes aidera à la cicatrisation.

Les surinfections peuvent compliquer les gelures sévères, surtout au niveau des pieds. Dans ce cas, le traitement antibiotique est parfois nécessaire. Il doit cibler sur les Streptocoques, Staphylocoques, Entérocoques et Pseudomonas, qui sont souvent retrouvés dans ce type de plaies.

L'antibioprophylaxie devrait être envisagée en cas de gelures profondes (phlyctènes hémorragiques).

À l'heure actuelle, les antibiotiques à base de pénicilline (Augmentin®, 1 à 2 g/ jour) ou pristnamycine (Pyostacine®, 1 à 2 g/ jour) sont indiqués pendant 48 à 72 heures (**21, 28**).

La prophylaxie antitétanique est systématique (29).

## C. LUTTE CONTRE LE VASOSPASME, L'HYPERVISCOSITE ET LA THROMBOSE

| 31

L'hémodilution normovolémique diminue l'hyperviscosité sanguine et améliore l'oxygénation tissulaire. L'obtention d'un taux d'hématocrite de 30% permettrait d'assurer une oxygénation tissulaire optimale (19, 20).

Le dextran de bas poids moléculaire est parfois utilisé en phase précoce pour lutter contre le ralentissement du flux micro-circulatoire (19, 20).

### Antiagrégant plaquettaire

L'**aspirine** est un antiagrégant plaquettaire utilisé dans le traitement des gelures. Elle inhibe de façon irréversible la synthèse du thromboxane A2 au niveau plaquettaire, tout en permettant aux cellules endothéliales de reprendre rapidement leur synthèse de prostacycline. L'aspirine doit être débutée le plus tôt possible. La dose recommandée habituellement est 250 mg/j en une prise pendant 7 à 8 jours (3, 19, 20, 30).

Plusieurs auteurs ont signalé l'efficacité de l'**Aloe vera** en application cutanée pour sa fonction inhibitrice locale sur la synthèse de thromboxane et donc sur son action vasoconstrictive locale (19, 20, 31).

### Vasodilatateurs

A l'heure actuelle, les vasodilatateurs pouvant être indiqués dans la prise en charge des gelures, sont :

- la **nifédipine** (Adalate®), un inhibiteur calcique, la posologie recommandée est d'une gélule de 10 mg/j
- la **pentoxifylline** (Torental®) – un vasodilatateur périphérique, qui, en plus, augmente la déformabilité des globules rouges, la posologie recommandée est d'un comprimé de 400mg/j (31).

En 2002, **Purkayastha et coll.** ont souligné l'effet bénéfique d'une association de la **pentoxifylline**, de l'**aspirine** et de la **vitamine C** (32).

Le buflomédil (Fonzylane®), un vasodilatateur encore souvent utilisé l'année dernière en France, n'est plus disponible sur le marché. Ce médicament a été supprimé le **16.02.2011** à la demande de l'Afssaps, en raison d'effets indésirables cardiaques et neurologiques pouvant conduire au décès, en particulier en cas de doses élevées ou inadaptées à l'insuffisance rénale **(33)**.

### **Analogue de la prostacycline PGI2**

L'analogue de la prostacycline PGI2 - iloprost (Iloméline®) - diminue les phénomènes d'activation et d'agrégation plaquettaire à la paroi vasculaire, grâce à l'inhibition de la formation de thromboxane A2. Elle inhibe l'activation leucocytaire et la libération des facteurs cytotoxiques. L'iloprost apporte aussi un effet vasodilatateur puissant, en ayant une action relaxante directe sur les fibres musculaires lisses. La posologie recommandée est de 0,5 à 2 ng par kilogramme de poids corporel par minute pendant 6 heures par jour pendant 5 à 7 jours. La posologie maximale est de 50 µg par jour **(19, 20, 34)**.

Récemment quelques publications informent sur la possibilité de l'utilisation de la **PGE1** par voie artérielle ou orale dans les mêmes indications **(35, 36)**.

### **HBPM**

Parmi les autres traitements, on retrouve l'héparine de bas poids moléculaire **(19, 20)**, qui limite la thrombose et donc pourrait être utile en cas de gelures sévères et étendues, surtout au niveau des membres inférieurs. Afin de prévenir une phlébite lorsque la victime reste allongée, il est administré un traitement anticoagulant par injection sous-cutanée, par exemple énoxaparine (Lovenox®, 0,4 ml/injection, 1/j).

### **Thrombolytiques**

Les thrombolytiques activent la transformation du plasminogène en plasmine. Plasmine exerce une action protéolytique sur la fibrine du thrombus pathologique, mais comporte, également, un risque hémorragique lié à la fibrinolyse du clou hémostatique.

**L'urokinase (37), la streptokinase (38) et le rTPa (39)** sont des thrombolytiques déjà essayés et ayant des résultats prometteurs. Ils permettent de lever la thrombose installée dans les heures qui suivent le réchauffement, ainsi que d'empêcher sa réapparition.



La streptokinase et l'urokinase, les thrombolytiques de première génération, sont actuellement beaucoup moins utilisées en raison des réactions allergiques fréquentes.

L'activateur tissulaire du plasminogène (rtPA, alteplase, Actilyse ®), un thrombolytique de deuxième génération, est une molécule de choix. Alteplase lyse plus rapidement le thrombus par rapport aux thrombolytiques de première génération et comporte moins de risques allergiques. Elle est utilisée à l'admission, en prise unique de 30 à 50 mg. **Cauchy et coll.** proposent une dose de 100 mg (40). | 33

Dès le début du traitement thrombolytique, l'héparine est administrée en bolus de 5000 UI et ensuite poursuivie à la dose de 1000 UI/heure avec une infusion ajustée au TCA pendant 48 heures. Son but est de prévenir la ré-occlusion de l'artère responsable. L'aspirine est systématiquement employée à la dose de 250 mg/jour.

Une étude prospective contrôlée a été réalisée par **Cauchy et coll.** entre 1996 et 2008 sur une série de 47 patients présentant des gelures dépassant l'articulation interphalangienne distale (40). Chacun des patients a bénéficié pendant 8 jours d'un traitement par aspirine associé soit au buflomédil (400 mg pendant 1 heure par jour), soit à l'iloprost (0.5 - 2 ng/kg/min/6h/j), soit à l'iloprost (2 ng/kg/min/6h/j) et au rt-PA (100 mg une seule fois). Le risque d'amputation dans le groupe traité par buflomédil était de 60 %. Dans les deux autres groupes le taux d'amputation était significativement inférieur ( $p < 0,001$ ), notamment 19 % dans le groupe recevant iloprost et rt-PA, et 0 % dans le groupe traité par iloprost seul. Les résultats de cette étude n'ont pas permis de confirmer ou d'infirmer un effet additif du rt-PA lorsqu'il est associé à l'iloprost. L'équipe propose alors de traiter tous les patients victimes de gelures graves par l'association aspirine - iloprost. L'utilisation de rt-PA devrait être discutée collégalement, au cas par cas, pour des lésions qui dépassent l'articulation métacarpo/métatarsophalangienne et qui sont prises en charge au plus tard dans les premières 48h tout en respectant toutes les contre-indications médicales et traumatiques.

#### **D. BLOCAGE SYMPATHIQUE PHARMACOLOGIQUE**

Il aurait une action préventive des séquelles neuro-vasculaires. Son effet bénéfique pourrait être dû à l'augmentation globale du flux dans le territoire concerné. Il est rapporté plus efficace au niveau des gros troncs (19,41).

## E. STIMULATION NEUROSPINALE

Son mécanisme serait lié à la vasodilatation neurovégétative et à la stimulation de la production de prostacycline (19, 42).

## F. TRAITEMENT CHIRURGICAL

**"Gelure en Janvier, amputation en juillet." (3, 30, 43)** Grâce aux progrès accomplis au cours des dernières années dans la prise en charge des gelures, cet adage reste de moins en moins vrai. Les nouvelles méthodes d'imagerie, ainsi que les nouvelles thérapeutiques adjuvantes nous ont permis d'avoir un recours plus précoce à la chirurgie et de raccourcir la durée moyenne d'hospitalisation. Dans ces conditions, une prise en charge fonctionnelle devient plus efficace.

Généralement, le traitement chirurgical n'est pas urgent sauf en cas d'un sepsis important ou d'un syndrome des loges.

Initialement, il repose sur l'excision des phlyctènes et l'exérèse des nécroses superficielles.

La conservation des phlyctènes est discutée. Le temps d'attente acceptable est environ une semaine (5-7 jours), sauf si elles sont volumineuses, compressives, ou en cas d'infection. Selon **McCauley et coll.** nous allons débrider plus volontiers les phlyctènes claires et nous aurons une tendance à laisser les phlyctènes hémorragiques intactes, afin d'éviter une surinfection (3, 27).

Dans les cas les plus péjoratifs, les lésions vont évoluer vers une nécrose et nécessiteront une amputation. L'amputation ne s'envisage qu'après l'installation de délimitation naturelle entre les tissus nécrosés et les tissus sains. Elle peut être pratiquée qu'après un bilan vasculaire rigoureux, et orientée par la scintigraphie au Tc99m. Habituellement, l'intervention a lieu en deux temps. La première intervention a lieu entre 4 à 6 semaines. Elle est peu esthétique. La deuxième intervention, à visée réparatrice et reconstructive, est pratiquée beaucoup plus tardivement, parfois après plus d'un an.

## EN PRATIQUE :

Réchauffement rapide + aspirine + vasodilatateur + AINS + antalgiques paliers I – III			
évaluation de la gravité des lésions initiales			
STADE 1	STADE 2	STADE 3	STADE 4
disparition de la lésion initiale	persistance de la lésion initiale sur la dernière phalange	persistance de la lésion initiale remontante sur les phalanges intermédiaires et proximales	persistance de la lésion initiale remontante sur le carpe/tarse et au- dessus
prise en charge ambulatoire	consultation médicale dans les 24 heures, prise en charge ambulatoire ± hospitalisation 48 h	évacuation urgente hospitalisation 8 j	évacuation urgente hospitalisation aux soins intensifs
traitement oral vasodilatateur + aspirine	traitement oral/IV vasodilatateurs+ aspirine	traitement IV vasodilatateur +aspirine 1/j pendant 8 j (protocole iloprost 5-7 j ) HBPM	-traitement IV vasodilatateur + aspirine 1/j pendant 8 j (protocole iloprost 5-7 j ± rTPA en une seule fois à l'admission) HBPM ± antibiotiques
pas de scintigraphie osseuse	± scintigraphie osseuse	scintigraphie osseuse à J2 et à J8	scintigraphie osseuse
guérison en quelques jours- pas d'amputation osseuse pas de séquelles	pas d'amputation osseuse- troubles des phanères	amputation osseuse après 30 j environ en regard du sillon d'élimination	amputation en urgence si sepsis ou syndrome de loges

**Tableau 1.3. Prise en charge des gelures selon le stade. Ce tableau a été préparé sur la base d'algorithme de prise en charge du département de médecine et de traumatologie de montagne, Chamonix. Il a été modifié par rapport à l'original. Le buflomédil, qui n'est plus utilisé en France, a été remplacé par un vasodilatateur.**

## DEUXIEME PARTIE : OXYGÉNOTHÉRAPIE HYPERBARE

L'oxygénothérapie hyperbare est une modalité d'administration d'oxygène par voie respiratoire à une pression supérieure à la pression atmosphérique, permettant l'augmentation de la pression partielle d'oxygène **(18)**. Elle est proposée par certaines équipes dans la prise en charge des gelures en réponse à l'hypothèse d'une lésion vasculaire.

| 36

L'évolution de la gelure est marquée par le syndrome d'ischémie-reperfusion qui survient au décours du réchauffement rapide. Ce phénomène est également rencontré au cours des pathologies entraînant une ischémie transitoire, pour lesquelles l'oxygénothérapie hyperbare avait été démontrée efficace **(18)**.

### I. PRINCIPES D'ACTION

#### a. Effet de suppléance

– **Substitution de l'oxyhémoglobine (HbO<sub>2</sub>) par l'oxygène dissous (↑CaO<sub>2</sub>) au niveau de la microcirculation.**

L'oxygène est transporté dans le sang sous deux formes : une forme liée à l'hémoglobine et une forme dissoute. La forme d'oxygène liée à l'hémoglobine est la forme la plus importante et la plus proche de la saturation à l'air ambiant sur le poumon sain. La capacité de fixation complète est de 1,34 ml d'O<sub>2</sub> par gramme d' Hb. Un sang normal contenant 15 g d'Hb par 100 ml peut donc transporter, à saturation complète, 20,1 ml d'O<sub>2</sub> combiné pour 100 ml de sang. Pour cette concentration en Hb, c'est un maximum qui ne peut être dépassé **(18, 44)**. La forme dissoute est en faible quantité dans l'air ambiant (~0,3 ml/100 ml de sang), mais indispensable, car c'est une forme de passage obligé de l'oxygène de l'alvéole vers le globule rouge et du globule rouge vers le tissu. **(18, 44)**.

Quand un sujet sain respire de l'air ambiant, la P<sub>A</sub>O<sub>2</sub> est de 100 mmHg et la P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> de 95 à 98 mmHg. Quand la même pression de 1 ATA, le sujet respire de l'oxygène pur, la P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> atteint 650 mmHg. Lorsque le sujet est sous OHB à 3 ATA, sa P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> est de l'ordre de 2 150 mmHg. La quantité d'oxygène dissous passe donc de 0,3 ml/100 ml en air ambiant, à 1,88 ml/100 ml à 1 ATA/100 % d'O<sub>2</sub> et à 6 ml/100 ml à 3 ATA/100% d'O<sub>2</sub> .

À 3 ATA/100 % O<sub>2</sub>, la quantité d'oxygène dissous dans le sang est égale à la différence artério-veineuse globale et suffisante pour assurer les besoins totaux de l'organisme (sous condition du débit cardiaque maintenu) (18). Cela a été vérifié dans un modèle expérimental d'hémodilution extrême, où l'oxygénothérapie hyperbare à 3 ATA a permis la survie en augmentant l'oxygène dissous assurant à lui seul l'oxygénation tissulaire (18, 44, 45). À forte concentration, l'oxygène dissous diffuse passivement du capillaire vers les tissus ischémiques et restaure le gradient des pressions d'oxygène suffisantes aux échanges métaboliques selon la loi de Henry (18, 44).<sup>3</sup>

<b>Air ambient FiO<sub>2</sub> = 0,21 1 ATA</b> $\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times \text{SaO}_2 \times 1,34) + (0,003 \times \text{PaO}_2)$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;">combinée ~20 ml/100 ml (98 %)</span> <span>dissoute ~0,3 ml/100</span> </p>	<b>HBO FiO<sub>2</sub> = 1 3 ATA</b> $\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times \text{SaO}_2 \times 1,34) + (0,003 \times \text{PaO}_2)$ <p style="text-align: center;"> <del>combinée ~20 ml/100 ml (98 %)</del> <span style="margin-left: 100px;">dissoute ~6 ml/100 ml</span> </p>
--	---

Figure 1.1. Représentation de l'effet de suppléance d'oxygène.

	Air ambient	Oxygène pur		
	1	1	2	3
<b>Pression en ATA</b>	1	1	2	3
<b>P<sub>A</sub>O<sub>2</sub> (mmHg)</b>	100	673	1 433	2 193
<b>P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> (mmHg)</b>	98	660	1 400	2 150
<b>O<sub>2</sub> oxyhémoglobinique (ml O<sub>2</sub>/100 ml)</b>	19,7	20,1	20,1	20,1
<b>O<sub>2</sub> plasmatique (ml O<sub>2</sub>/100 ml)</b>	0,285	1,88	3,8	6,1

Tableau 1.4. Variations des quantités d'O<sub>2</sub> dissoute et liée en fonction des ambiances (Hb : 15 g/100 ml) (18)

## b. Effet microcirculatoire

**Réponse locale à l'augmentation de p<sub>a</sub>O<sub>2</sub>, régulation du débit aux besoins du tissu perfusé :**

- **Vasoconstriction artériolaire hyperoxique des territoires sains**
- **Redistribution du flux vers les territoires mal perfusés ( l'effet de Robin Hood )<sup>4</sup>**
- **Réapparition de vasomotricité (vasomotion) dans les territoires hypoxiques**

<sup>3</sup> à la température donnée et saturation constante, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression de ce gaz à la surface du liquide ; la quantité d'oxygène dissous dans le sang est directement proportionnelle à la P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> et n'est pas sujet à limitation comme la quantité liée à l'Hb.

<sup>4</sup> **L'effet de Robin Hood** = lors de l'administration de l'oxygène hyperbare, le flux sanguin est redistribué vers les territoires mal perfusés. Dans les zones normalement perfusées, on observe une vasoconstriction artérielle hyperoxique limitant la toxicité cellulaire de l'oxygène.

L'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare chez le patient avec des lésions ischémiques peut sembler peu logique, car elle entraîne une vasoconstriction hyperoxique artériolaire **(116)**. En fait, ce phénomène ne concerne que les territoires des tissus sains où la diminution du flux sanguin par vasoconstriction a un effet protecteur contre la toxicité cellulaire de l'oxygène. La vasoconstriction hyperoxique permet de redistribuer le flux sanguin vers les territoires mal perfusés **(46, 47)** et réduire l'extravasation plasmatique en limitant l'apparition de l'oedème interstitiel (un facteur aggravant l'ischémie) **(46, 48, 49)**.

L'inhibition de l'action du thromboxane A2 libéré par les plaquettes, entraîne la réapparition de vasomotion<sup>5</sup> dans les zones atteintes par l'ischémie et permet de rétablir la microcirculation efficace **(46, 50)**.

Lors de la phase de l'ischémie, il existe une production accrue de radicaux libres oxygénés<sup>6</sup> par le canal de la xanthine oxydase des cellules hypoxiques et du fait de l'activation des neutrophiles, par le biais de la NADPH oxydase. Lors de la phase de reperfusion, l'agression de l'endothélium par ces RLO conduit à une obstruction vasculaire micro-circulatoire et favorise une ischémie secondaire **(18)**.

Pour minimaliser la destruction de l'endothélium et les phénomènes obstructifs, l'oxygénothérapie hyperbare empêche paradoxalement la formation de RLO par l'inhibition du système de la xanthine oxydase et par la séquestration pulmonaire de polynucléaires neutrophiles. L'inhibition de l'ICAM-1 endothéliale permet de diminuer l'adhésion des polynucléaires neutrophiles à l'endothélium des veinules post-capillaires **(18, 46, 48, 51)**. Par ailleurs, grâce à l'augmentation de l'activité de la superoxyde dismutase (SOD), la concentration des piègeurs de radicaux libres semble être plus élevée. En favorisant la production de monoxyde d'azote, l'OHB diminue la peroxydation lipidique des membranes des cellules endothéliales **(18)**.

---

<sup>5</sup> *l'intermittence du débit sanguin capillaire qui est provoquée par la contraction intermittente de la métartériole et du sphincter pré-capillaire*

<sup>6</sup> *les molécules dont une orbite contient un électron non apparié, hyperactifs, capable d'extraire un électron des molécules voisines pour combler la vacance de leur orbite*

### **c. Effet rhéologique**

L'OHB améliore la circulation sanguine capillaire par augmentation de la déformabilité des hématies (52, 53).

| 39

**degré de déformabilité = déterminant de la viscosité**

### **d. Effet anti-infectieux**

- **Bactéricidie + bactériostase**
- **Potentialisation des antibiotiques**
- **Restauration de la phagocytose**

L'OHB exerce une action bactéricide sur les microorganismes anaérobies et une action bactériostatique sur les aérobies (54).

Elle favorise la pénétration intracellulaire de certains antibiotiques, nettement diminuée en atmosphère pauvre en oxygène.

- Effet équivalent à certaines molécules (Céfalotine) (55)
- Effet additif avec les pénicillines (56)
- Effet synergique avec les aminosides (57)

On observe la réduction de la fonction phagocytaire si  $p_aO_2$  est inférieur à 30 mm Hg. Si le  $p_aO_2$  est égal à 0, le pouvoir bactéricide des polynucléaires diminue de 50 % par diminution de la production des RL. L'OHB restaure la fonction phagocytaire des polynucléaires oxygène-dépendants en cas d'hypoxie tissulaire et augmente leur pouvoir bactéricide. (58, 59, 60).

### **e. Effet pro-cicatrisant**

L'oxygène est un facteur de cicatrisation et son absence est responsable de la non-cicatrisation des plaies. De plus, l'hypoxie retarde la régénération osseuse et réduit la consolidation post-fracturaire.

L'OHB exerce plusieurs actions sur une cicatrisation, notamment :

- ✓ une augmentation de la prolifération et de l'activité fibroblastique (61)
- ✓ une augmentation de la synthèse de collagène (61)
- ✓ une augmentation de l'index mitotique des cellules épithéliales (62, 63, 64, 65)
- ✓ une augmentation de la néoangiogenèse (↑VEGF) (66, 67)
- ✓ une diminution de l'œdème et de la stase capillaire (64, 65)
- ✓ une activation d'ostéosynthèse - restitution de capacités normales de synthèse et de prolifération ostéoblastique
  - reprise d'activité ostéoclastique (68, 69, 70)

| 40

**En conséquence, l'OHB permettrait de délimiter rapidement les lésions et de diminuer le niveau d'amputation.**

## II. CONTRE-INDICATIONS À L'OHB (71)

### Absolues

- angor instable, infarctus en phase évolutive
- pneumothorax non drainé
- crise d'asthme sévère
- grossesse (sauf intoxication au monoxyde de carbone)
- instabilité hémodynamique
- laryngocèle

### Relatives (en fonction de l'indication et du bénéfice attendu)

- antécédents de traumatisme crânien, comitialité
- emphysème, insuffisance respiratoire chronique, syndrome obstructif : DDB, asthme, BPCO, mucoviscidose, bronchomalacie, tumeur pulmonaire
- insuffisance cardiaque décompensée, OAP lésionnel, les troubles de conduction : BAV > 1 non appareillé, BBD avec l'hémibloc gauche
- polyposé nasale grave non opérée, déviation cloison nasale importante, rhinite et sinusite chroniques
- troubles psychiatriques, claustrophobie



– cataracte, décollement de rétine

### **Temporaires**

– rhinite et sinusite aiguës, dent cariée non soignée, dent de sagesse en désinclusion, extraction dentaire de moins de 10 jours

| 41

## **III. EFFETS SECONDAIRES LIÉS À LA TOXICITÉ DE L'OXYGÈNE**

Ce n'est pas l'O<sub>2</sub> qui est toxique mais ses dérivés radicaux libres produits par interactions entre l'O<sub>2</sub> moléculaire et la cellule.

Ils concernent les patients.

### **a. toxicité cérébrale (effet Paul Bert):**

- la toxicité aigue avec une tolérance individuelle très marquée;
  - la crise convulsive de type « grand mal », puis l'état de mal si O<sub>2</sub> poursuivi, exceptionnellement les crises partielles ;
  - les prodromes sont inconstants: des nausées, des vertiges, des acouphènes, des myoclonies, une dyspnée, des paresthésies, une tachycardie
  - la physiopathologie : lipoperoxydation cérébrale par production excessive de radicaux libres (l'inhibition de la phosphorylation oxydative, ce qui provoque un arrêt de la production d'ATP, l'inhibition de la glutamine décarboxylase responsable de la synthèse du GABA<sup>7</sup>), la levée de la vasoconstriction cérébrale hyperoxique
  - la prévention
    - les limites de la sécurité : 2.8 ATA pour FIO<sub>2</sub>= 1,
    - l'alternance O<sub>2</sub> (20 à 30 minutes) et de l'air (5 minutes)
  - le traitement : l'arrêt de l'oxygène est habituellement suffisant, sinon le traitement est symptomatique, pas de décompression en urgence (risque de la surpression pulmonaire)
- (18, 71, 72, 73)**

---

<sup>7</sup> L'insuffisance de l'activité du GABA est retrouvé dans l'épilepsie

**b. toxicité pulmonaire** (effet Lorrain-Smith):

- la toxicité chronique, les séances régulières en très grandes quantités, variabilité inter-individuelle, dès que  $PiO_2 > 0,5$  ATA, extrêmement rare ;
- l'irritation trachéo-bronchique et une douleur rétro-sternale puis atteinte fonctionnelle avec une diminution de la capacité vitale puis fibrose, SDRA ;
- la physiopathologie : phase exsudative (lésions de l'endothélium capillaire dans la membrane alvéolo- capillaire - l'augmentation de la perméabilité membranaire - l'oedème interstitiel – l'exsudat alvéolaire), phase chronique proliférative, phase de cicatrisation

1 UPTD (Unit Pulmonary Toxic Dose) = l'action de 1 ATA  $O_2$  pendant 1 minute

Ex. : 615 UPTD : diminution de la capacité vitale de 2%

2190 UPTD : diminution de la capacité vitale de 20%

Le nombre d'UPTD est proportionnel à la durée d'exposition continue et à un coeff.  $K_p$  qui dépend de  $pO_2$

$$UPTD = t \times K_p$$

Ex. 1,5 bar ( $K_p = 1,78$ ) 3 bar ( $K_p = 3,82$ )

- la prévention : l'alternance  $O_2$  (20 à 30 min) et de l'air (5 min), 3 séances maximum par jour, espacées de 3 à 4 h, réversibilité initiale dans 48 - 72 heures (**71, 74, 75, 76, 77**).

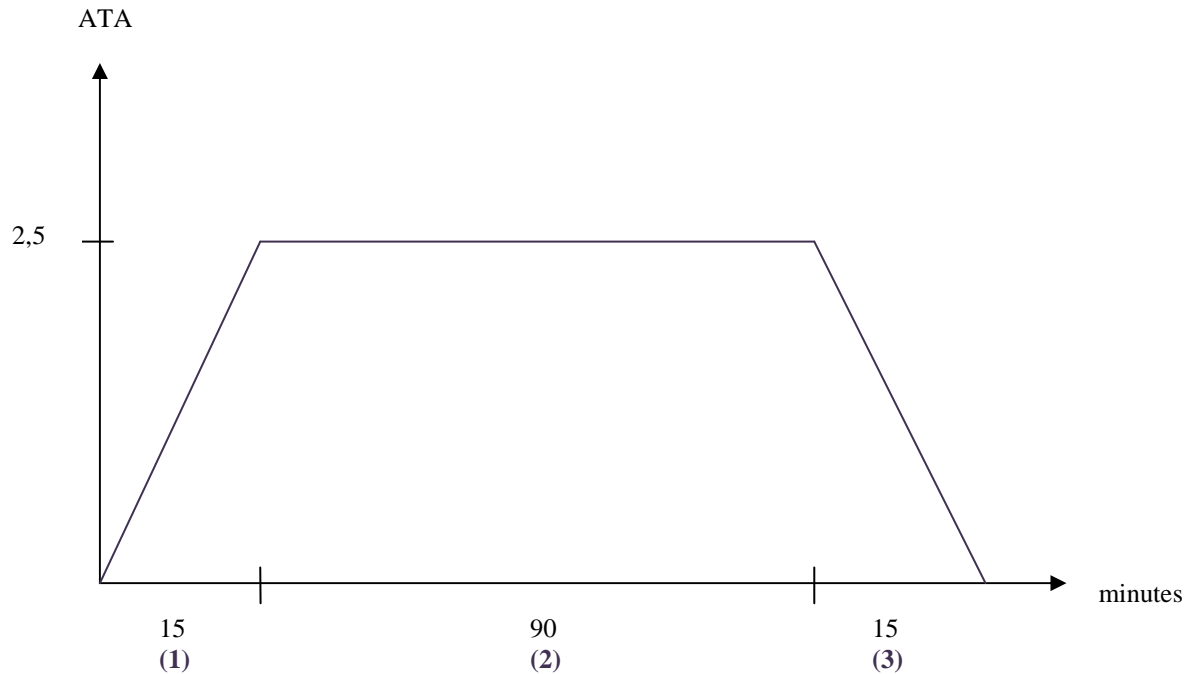
**c. toxicité oculaire:** décollement de la rétine, myopie réversible, cataracte - rôle des RLO sur les protéines du cristallin (**71, 78**).

**d. génotoxicité:** lésions oxydatives de l'ADN, la réparation et l'adaptation dans 72 heures (**79**).

#### IV. MODALITÉS D'ADMINISTRATION

Les séances d'oxygénothérapie hyperbare durent de 90 min à plusieurs heures, d'un à plusieurs 10<sup>aines</sup> de séances et, en général, à des pressions de l'ordre de 2,5 ATA.

| 43



1. compression (valsalva)
2. palier de traitement: l'O<sub>2</sub> (par masque facial/sonde d'intubation ou canule de trachéotomie)
3. décompression (l'O<sub>2</sub> pour l'accompagnant)

#### V. OXYMÉTRIE TRANSCUTANÉE

La mesure de l'oxymétrie transcutanée (TcPO<sub>2</sub>) est une valeur pronostique de l'oxygénothérapie hyperbare **(80, 81)**. Elle permet d'évaluer le débit sanguin d'oxygène, la pression partielle d'oxygène P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> et la capacité d'extraction d'oxygène au niveau des tissus hypoxiques **(80, 82)**. À l'air ambiant, une TcPO<sub>2</sub> basse peut correspondre à un bas débit sanguin et/ou à une extraction accrue d'oxygène. En atmosphère hyperbare, sous 2,5 ATA et à l'oxygène pur, la TcPO<sub>2</sub> supérieur à 100 mmHg est en faveur d'une réponse favorable (le débit sanguin local conservé) **(80, 83)**. Dans le cas contraire l'OHB ne semble pas apporter de bénéfice (le débit sanguin reste bas) et donc le pronostic est mauvais.

Les valeurs de TcPO<sub>2</sub> varient selon l'âge, la pathologie, le type de masque utilisé et la compliance du patient à la technique.

La TcPO<sub>2</sub> est mesurée à trois étapes : à l'air, sous oxygène à la pression atmosphérique (1 ATA) et sous l'oxygène à 2,5 ATA. Après 5 à 10 minutes d'équilibre à l'air ambiant à 1 ATA, la valeur de référence doit être supérieure à 50 mmHg. Une valeur en périphérie de la lésion inférieure à 20 mmHg indique une hypoxie tissulaire. Après 10 à 15 minutes d'équilibre sous oxygène à 2,5 ATA, la valeur de référence est habituellement supérieure à 1 000 mmHg. La valeur en périphérie de la lésion détermine un seuil critique en deçà duquel l'oxygénothérapie hyperbare est probablement inefficace et au-delà, très certainement recommandable (80, 84).

Air ambiant PtcO<sub>2</sub> > 30mmHg: guérison

PtcO<sub>2</sub> < 30mmHg: non guérison

OHB PtcO<sub>2</sub> OHB > 200mmHg: guérison

PtcO<sub>2</sub> OHB < 100mmHg: amputation

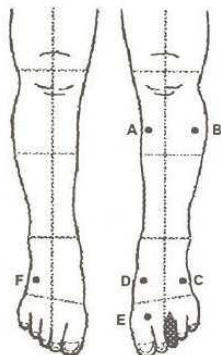


Figure 1.2. Le placement des électrodes. (85)

La mesure de la TcPO<sub>2</sub> proche de la lésion, comparée à la fois au membre controlatéral et à une zone de référence (la région sous-claviculaire gauche), est utile pour la surveillance de l'efficacité de l'oxygénothérapie hyperbare (80). Des mesures répétées servent à suivre l'évolution.

#### La technique :

En chauffant la peau à 44-45 °C à l'aide d'une électrode, on effectue la mesure de la P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>. Cette mesure est possible grâce à la réduction électrochimique de l'oxygène

au contact d'une cathode en or ou en platine recouverte d'une solution hydrophobe perméable à l'oxygène. Le courant généré par la réduction de l'oxygène est proportionnel à la quantité d'oxygène présente. Ce courant est ensuite converti en voltage et transformé grâce à un ordinateur en un signal directement exprimé en millimètres ou centimètres de mercure. La valeur obtenue reflète le transport en oxygène au niveau des tissus ainsi que leur perfusion (80, 86).

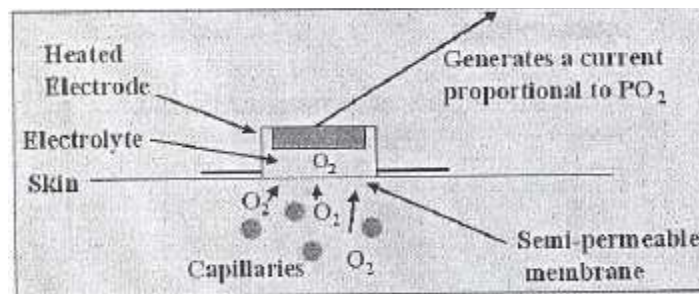


Figure 1.3. Schéma d'électrode et technique de mesure de la  $P_aO_2$  (87).

Algorithme d'évaluation du débit sanguin d'oxygène au niveau des tissus hypoxiques avec  $PtcO_2$  se trouve dans l'ANNEXE 5.

## VI. Y A-T-IL UNE PLACE DE L'OHB DANS LE TRAITEMENT DES GELURES ?

### 1. ANALYSE DE LA LITTÉRATURE

Les premières études animales décrivant l'effet de l'OHB sur la perte tissulaire ont été contradictoires. Les expériences menés par **Bigelow** chez la souris (1964) (46, 88) et par **Okuboye et coll.** chez le lapin (1968) (46,89) ont démontré un effet favorable, si le délai d'administration est inférieur à 24 heures, alors que **Gage et coll.** chez le lapin (1969) (46, 90), ainsi que **Hardenburgh et coll.** chez la souris (1972) (46, 91) n'ont pas noté de bénéfice par rapport au traitement conventionnel.

En 1963 **Ledingham** (46, 92, 93) pour la première fois a rapporté l'utilisation de l'OHB dans la prise en charge des gelures dans l'article *Some clinical and experimental application of high pressure oxygen*. L'autre cas a été décrit en 1964 par **Smith** (93) (*Therapeutic applications of oxygen at two atmospheres pressure*) et en 1965 par **Perrin**

et **Bissonnette (94, 95)** (*Frostbite, a new adjunct in treatment*). Trois ans plus tard, en **1968**, **Wilson et coll. (96)** ont présenté *Cold injury : report of an unusual case* en Alaska.

En **1968** l'une des premières revues de la littérature concernant des gelures est publié par **Ward et coll. (95)** et intitulé *Frostbite: General Observations and Report of Cases Treated by Hyperbaric Oxygen*. Les auteurs décrivent plusieurs cas des gelures traitées par l'OHB. Ils rappellent également que l'oxygène (normobare) a été utilisé pour la première fois dans le traitement des gelures par **Greene et Rutledge (95)** en **1934** à 7500 mètres d'altitude sur le Mont Everest avec un bénéfice dans l'un des deux cas.

| 46

Dans la revue on retrouve **Cade en 1944 (95, 97)** qui décrit un groupe des hommes d'âge similaire ayant subi une exposition au froid au cours d'un vol à haute altitude. Dans cette étude, pendant laquelle les patients recevaient le traitement par l'oxygénothérapie hyperbare, la guérison survenait en 5 à 12 semaines. L'un d'entre eux avait déjà présenté des antécédents de gelures avec une guérison en 6 semaines et la persistance de troubles de la sensibilité pendant plusieurs mois. Cette fois, en sortant de l'hôpital, il signalait une récupération totale.

**Ward** rapporte aussi le cas de quatre hommes de 24 à 32 ans atteints de gelures lors d'un séjour dans les Alpes. Ils ont été hospitalisés dans l'Unité de Soins Intensifs à l'Hôpital de Londres où ils recevaient le traitement par l'OHB en plus du traitement conventionnel. Le traitement a commencé 5 – 10 jours après des lésions initiales, donc assez tardivement. Dans le protocole de la prise en charge l'oxygène avait été utilisé à raison d'une pression de 2 ATA, 2 heures par jour jusqu'à 19ème jour. Le traitement a été arrêté lorsqu'il n'y avait plus d'amélioration significative **(95)**.

En **1971**, **Cooke (46, 98)**, le médecin militaire du Royal Air Force Hospital, dans son article *Hyperbaric oxygen treatment in the Royal Air Force*, présente une étude sur un groupe de 65 patients traités à l'Hôpital Princesse Alexandra de la Royal Air Force entre 1965 et 1969. Ces cas sont très variés avec seulement 3 cas de gelures.

Diagnostic	Nombre de patients
gangrène gazeuse	3
embolie gazeuse	2
cas orthopédique	25
ulcères variqueux	14
maladie vasculaire périphérique	9
maladie vasculaire post-opératoire	3
blessure par balle, accident de la route, lésions vasculaires périphériques	4
greffes cutanées	2
gelure	3

Tableau 1.5. Présentation des cas traités par l'OHB par Cooke à l'Hôpital Princesse Alexandra de la Royal Air Force entre 1965 et 1969.

Pour Cooke et ses collègues, l'OHB apparaissait irremplaçable dans la prise en charge de gangrènes et d'embolies gazeuses. En cas de lésions orthopédiques surinfectées, l'OHB en association avec des antibiotiques, paraissait accélérer la cicatrisation en permettant parfois d'éviter les greffes ou amputations. L'OHB semblait aussi avoir des indications s'il s'agissait des atteintes vasculaires périphériques.

Cooke avait l'impression que cette méthode pourrait être utilisée pour traiter les gelures, en particulier pour assurer de bons résultats dans le cas où une greffe s'avérait nécessaire. Dans son article, il a conclu également, qu'il n'est jamais trop tard pour essayer l'OHB, d'autant plus que peu d'effets secondaires étaient relevés (otites barotraumatiques, problèmes d'ordre psychologiques tels que crises d'angoisse ou claustrophobie).

La même année, en France, **Maurel (99)** présente sa thèse de médecine *Les gelures à propos de 5 observations traitées par OHB à Grenoble.*

En **1979 Sainty et coll. (100)**, rapportent deux cas de gelures guéris après traitement par l'OHB.

En **1985, Thom et Strauss (101)** préparent une revue *Frostbite: pathophysiology, treatment and role of hyperbaric oxygen. HBO review.*

Ensuite, il fallait attendre l'année **2000**, pour que **Murphy et coll. (3)** présentent une mise à jour concernant les dernières recherches sur la physiopathologie des gelures. Ils rappellent la conduite à tenir devant une gelure et discutent les avantages des différentes thérapies adjuvantes y compris l'OHB. Dans leur article, ils essaient d'attirer notre attention sur le problème du nombre croissant de cas de cette pathologie dans la population générale au cours des vingt dernières années.

En **2001 von Heimburg (102)** dans son article *Hyperbaric oxygen treatment in deep frostbite of both hands in a boy* décrit le cas d'un jeune garçon de 11 ans qui a souffert de gelures profondes sur les six doigts. Il accompagnait un adulte lors d'une partie de chasse en Pologne pendant une durée de quatre heures dans des conditions climatiques extrêmes (-32°C), alors qu'il ne portait pas de gants. L'enfant n'a consulté un médecin que trois jours plus tard. Devant la gravité des lésions et le retard des soins, une amputation des doigts a été très fortement probable. Sa famille, n'acceptant pas ce pronostic, avait transféré le garçon à l'hôpital universitaire de Aachen en Allemagne. En arrivant dans un service à J7, il présentait des gelures du 3<sup>ème</sup> degré sur 4 doigts de la main droite et sur 2 doigts de la main gauche. Il a été décidé de réaliser des séances de l'OHB selon le schéma de 90 minutes à 2,4 ATA sous oxygène pur en alternance avec l'air ambiant, à raison d'une séance quotidienne sur 14 jours. Une récupération totale des lésions a été observée au 14<sup>ème</sup> jour de traitement par l'OHB. Vingt-huit mois plus tard, les troubles sensitifs n'existaient plus. La radiographie standard ne montrait aucune atteinte épiphysaire ou métaphysaire des régions concernées.

En **2002 FINDERLE et CANKAR (103)** rapportent eux aussi, une observation concernant un cas de traitement de gelure débuté tardivement. Dans l'article *Delayed treatment of frostbite injury with hyperbaric oxygen therapy* ils décrivent l'effet bénéfique de l'OHB chez une victime de gelures qui a été prise en charge deux semaines (à J15) après l'accident. Une évaluation du traitement était réalisée par fluxmétrie par laser Doppler et capillaroscopie. Les mesures faites juste après la fin de la séance, ont montré en zone saine (la face dorsale du pied) une diminution de perfusion<sup>8</sup>, alors que le nombre de capillaires en zone atteinte (les orteils) a augmenté de 2 à 12 par mm<sup>2</sup>. Les auteurs ont donc conclu que l'OHB est capable d'améliorer le flux de sang capillaire dans les zones atteintes par des gelures, même après le délai de deux semaines.

---

<sup>8</sup> voir l'effet de Robin Hood



En **2005 McCrary et coll. (104)** dans l'article *Hyperbaric oxygen therapy for a delayed frostbite injury* rapportent, également, un cas de prise en charge tardive, 22 jours après l'accident, d'une randonneuse de 28 ans présentant des gelures du 3ème degré sur plusieurs doigts des deux mains justifiant cliniquement et radiologiquement une amputation distale. Après 5 semaines et 21 séances d'OHB, la guérison est complète.

À la même année, **Ay et coll. (105)** rapportent deux cas de gelures traités par l'oxygénothérapie hyperbare dans l'article *The treatment of deep frostbite with hyperbaric oxygen*.

La première victime était un homme de 50 ans, atteint de gelures des pieds du 3ème degré avec l'indication d'une amputation. Il commence sa première séance au 14<sup>ème</sup> jour, à raison d'une séance par jour, six jours sur sept. Après 34 séances de 90 minutes à 2,4 ATA, les lésions se cicatrisent et la sensibilité est normale. À 12 mois, lors de la visite de contrôle, l'épithélialisation est complète et il n'y a aucune plainte.

La deuxième victime est un randonneur de 45 ans présentant des gelures sévères de deux pieds en totalité, jusqu'aux chevilles. Son état justifie une amputation haute. Il est admis dans le centre hyperbare au sixième jour avec un diagnostic des gelures du 3ème degré. Il reçoit 30 séances de l'OHB selon le même protocole. Au 14ème jour, la nécrose est délimitée et l'amputation se limite alors au niveau trans-métatarsien.

Ces deux cas sont encore des exemples justifiant l'utilisation de l'OHB en complément des autres thérapeutiques, même dans le cas où une amputation serait déjà indiquée et semblerait inévitable.

En **2005, Mekjavic et coll. (106)** présentent les résultats des études menées sur 10 alpinistes expérimentés ayant des gelures du 1er, 2ème et 3ème degré selon classification proposée par Cauchy et coll. (scintigraphie disponible dans 60% des cas). L'équipe a analysé dans quelles conditions de la prise en charge, une amputation s'avérait indispensable. Dans leur évaluation, l'équipe a pris en compte le premier secours correctement conduit, la prise en charge médicale sur le terrain, stade de gelures, l'utilisation

de l'oxygénothérapie hyperbare (protocole: 2,5 ATA, 90 minutes par séance, 1 par jour, 11-30 séances par personne), l'utilisation de l'Iloomedine (0.5 ng/kg/min, I.V., 7 à 10 jours).

Patients	Proper first aid	On - site medical care	Number of days to clinical evaluation	FCI Grade	Scintigraphy	HBOT	Iloomedine	Amputation
1	yes	yes	2	1	no	no	no	no
2	yes	no	7	1	no	no	no	no
3	no	yes	2	3	yes	yes	yes	yes
4	yes	yes	2	2	yes	yes	no	no
5	yes	yes	2	3	yes	yes	no	no
6	yes	yes	2	3	yes	yes	yes	yes*
7	yes	yes	4	3	yes	yes	yes	no
8	no	yes	7	3	no	no	yes	yes
9	yes	no	3	2	yes	no	no	no
10	yes	yes	2	1	no	no	no	no

\* wet gangrene

Tableau 1.6. Nécessité de l'amputation en fonction de la prise en charge chez 10 patients atteints de gelures (106).

Selon les conclusions de cette étude, l'OHB apporte un effet bénéfique aux victimes de gelures et devrait être utilisé le plus tôt possible pour donner de meilleurs résultats.

En 2007 **Folio et coll. (107)** décrivent un cas de gelure touchant tous les doigts chez un alpiniste. Il est pris en charge par l'OHB. Mise à part une déformation inesthétique de l'extrémité du doigt le plus atteint, les auteurs rapportent la guérison fonctionnelle totale.

## 2. EXPÉRIENCE MARSEILLAISE

L'une des études rétrospectives les plus récentes est présentée par **Coulange et coll. en 2006 (46)**. Dans cette étude, une série de quinze personnes est analysée. Tous les participants présentent des gelures à un grade supérieur au 1er degré (principalement des gelures profondes) et sont pris en charge par traitement conventionnel (réchauffement rapide, hémodilution, anti-agrégants plaquettaires, vasodilatateurs et soins locaux) associé à l'OHB. Le but de l'étude est de tirer les conclusions sur les modalités et le délai au-delà duquel l'OHB n'est plus efficace.

Le traitement par oxygénothérapie hyperbare est réalisé selon le protocole de 90 minutes sous pression de 2,5 ATA, 1 à 2 séances par jour. Une moyenne de 14 séances (9 à 32) est effectuée par patient sur 7 à 28 jours.

L'OHB est débutée entre le 1er et le 21ème jour suivant la gelure. Les patients sont divisés en 2 groupes.

Le groupe 1, contient 7 personnes prises en charge avec un délai inférieur ou égal à 72 heures. L'auteur décrit un cas représentatif de ce groupe. Il s'agit d'un randonneur de 45 ans, adressé au centre hyperbare 72 heures après l'apparition de gelures du 2ème degré, au niveau des phalanges distales des deux mains avec cyanose, oedème et anesthésie, sans atteinte fonctionnelle. À la 10ème séance, le patient se plaint uniquement d'une hyperesthésie au froid qui persiste toujours à 8 semaines.

Le groupe 2, contenant 8 personnes, est pris en charge avec un délai supérieur à 72 heures. Le cas typique pour ce groupe est celui d'un jeune psychotique de 25 ans qui présente les gelures bilatérales des pieds du 3ème degré suite à un voyage pathologique<sup>9</sup> dans la neige. Malgré le traitement conventionnel, une surinfection de l'avant pied droit avec aspect de gangrène «humide» est diagnostiquée au 6ème jour. Le patient est alors adressé au centre hyperbare après une évaluation chirurgicale. À l'entrée, une des phalanges distales est nécrotique et malodorante. Les résultats du prélèvement bactériologique indiquent la présence de *Staphylococcus aureus* et de *Pseudomonas aeruginosa*. Il n'y a pas de critères cliniques de sepsis, mais les marqueurs biologiques de l'infection sont élevés. À la 20ème séance d'OHB, l'évolution est favorable. Les signes infectieux disparaissent et la cicatrisation est en cours, malgré l'ablation à la pince de la phalange distale au 15ème jour. Huit semaines plus tard, il présente une complète cicatrisation et une dysesthésie au froid.

Dans cette série de 15 patients, atteints principalement de lésions profondes, 4 guérissent sans séquelle à 8 semaines, 6 cicatrisent avec des troubles sensitifs mineurs, 4 présentent des séquelles trophiques avec dysesthésies et 1 conserve des lésions invalidantes.

---

<sup>9</sup> En psychiatrie, un déplacement d'une personne qui a pour seule motivation des raisons psychopathologiques (chez les patients présentant un trouble délirant, au cours d'états anxieux graves avec des troubles dissociatifs, dans certains cas d'épilepsie, lors d'atteinte cérébrale toxique, traumatique, tumorale).

Selon les résultats de ce travail, l'OHB est justifiée également à une phase tardive de la gelure. Cette notion d'efficacité «tardive» de l'OHB a été déjà rapportée par d'autres auteurs.

Suite à l'expérience acquise pendant cette étude, **Coulange et coll.** proposent deux protocoles de traitement par l'OHB.

| 52

Les lésions du 2ème degré et/ou précoces (inférieures ou égales à 72 heures) doivent bénéficier de 10 à 15 séances de 90 minutes à 2,5 ATA, une à deux fois par jour.

Les gelures du 3ème degré nécessiteraient jusqu'à 30 séances, y compris à un stade tardif, après traitement conventionnel, pour limiter le niveau d'amputation, prévenir la surinfection et diminuer les séquelles.

### **3. EVALUATION DES PRATIQUES EUROPEENNES**

#### **A. DESCRIPTION DE L'ÉTUDE**

##### **a. CONTEXTE ET JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE**

La médecine hyperbare est une discipline médicale jeune et dont les indications sont très codifiées.<sup>10</sup> Elles font l'objet d'une validation périodique par un comité d'experts ou d'un consensus établi lors de conférences européennes, à partir de recommandations proposées par un jury international **(18)**.

Aucune des études réalisées jusqu'à présent n'a permis de prouver un bénéfice thérapeutique certain de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des lésions induites par des gelures. En effet, à l'heure actuelle, les recommandations exactes concernant l'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare chez les victimes de gelures ne sont pas clairement établies.

---

<sup>10</sup> Recommandations de l'OHB se trouvent dans l'ANNEXE 6.

Selon notre hypothèse, l'oxygénothérapie hyperbare représente une thérapeutique adjuvante pouvant faciliter la guérison et réduire le risque d'amputation majeure chez les victimes de gelures.

Lors d'une séance d'oxygénothérapie hyperbare, l'augmentation de la quantité d'oxygène dissous au niveau des tissus ischémiés, permet de rétablir un métabolisme cellulaire de base. Cela facilite la réapparition d'une vasomotricité dans les tissus hypoperfusés et donc devrait améliorer les conditions métaboliques locales. De plus, ses effets pro-cicatrisants et anti-infectieux, ainsi qu'une délimitation précoce de la nécrose<sup>11</sup> rapportée par certains auteurs (46) devraient permettre une prise en charge chirurgicale moins mutilante et plus rapide.

Le traitement complémentaire des gelures par l'oxygénothérapie hyperbare pourrait être légitime devant sa physiopathologie. Elle est identique à celle des autres pathologies ischémiques aiguës post-traumatiques (18), où la survenue du syndrome d'ischémie-reperfusion conduit vers l'aggravation de l'état initial. Le rétablissement de la perfusion dans le tissu ischémié est un véritable « stress oxydatif ». Il conduit, par vasoconstriction artériolaire, à un collapsus microcirculatoire entraînant une ischémie secondaire et une nécrose tissulaire (18, 46). Paradoxalement, des études cliniques ont démontré que l'oxygène hyperbare s'oppose efficacement aux conséquences de la réoxygénation (18). L'oxygénothérapie hyperbare trouve actuellement son indication dans le syndrome d'écrasement et dans le syndrome de reperfusion post-traumatique, ainsi que dans la chirurgie de recouvrement (lambeau musculo-cutané) (18).

## **b. PROTOCOLE DE L'ÉTUDE**

### **OBJECTIF PRINCIPAL DE L'ÉTUDE**

Son objectif principal est évaluer les pratiques professionnelles au sein des centres hyperbares Européens et connaître les motifs d'utilisation ou non utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge de gelures. Cela pourrait aider à établir un état de lieu avant la mise en place d'études comparatives randomisées.

---

<sup>11</sup> *tout en restant limitée*

## **OBJECTIFS SECONDAIRES**

En fixant nos objectifs, nous avons cherché à démontrer qu'il existe un bénéfice thérapeutique de l'oxygénothérapie hyperbare chez les victimes de gelures.

## **C. MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### **TYPE D'ÉTUDE**

C'est une étude rétrospective multicentrique, ayant pour but d'évaluer les pratiques professionnelles dans différents centres hyperbares Européens.

Il s'agit également d'une observation de l'efficacité d'une thérapeutique (l'oxygénothérapie hyperbare). C'est une étude « avant - après » où la situation « avant » sert de référence pour évaluer l'efficacité du traitement.

### **POPULATION ÉTUDIÉE**

Il s'agit d'une étude réalisée à partir des dossiers de patients présentant des gelures traitées par l'oxygénothérapie hyperbare sur une période de 7 ans (2005-2011) dans les centres hyperbares Européens.

### **CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION**

L'étude retient comme critère d'inclusion les patients atteints des gelures (au moins 2<sup>ème</sup> degré) traitées par oxygénothérapie hyperbare dans les centres hyperbares en Europe entre 2005 et 2011.

Les patients souffrant de gelures du 1<sup>er</sup> degré sont exclus.

Le diagnostic d'une gelure est posé par des médecins de différentes spécialités (médecin généraliste, urgentiste, chirurgien).

Selon le protocole de l'étude, les gelures devaient être diagnostiquées en prenant en compte deux classifications: une classification internationale et une nouvelle classification DMTM proposée par l'équipe de Chamonix.

Dans cette étude, l'oxygénothérapie hyperbare est une thérapeutique complémentaire aux traitements médicaux initiés selon des recommandations existantes ou la pratique locale.

## **DÉSCRIPTION DE L'ENQUÊTE**

### **type de l'enquête**

C'est une enquête sous forme d'un questionnaire. Le questionnaire comprend 13 questions (à choix simple ou multiple) concernant la description des lésions initiales, la prise en charge thérapeutique avant l'OHB, les modalités de l'OHB et l'évolution. Il a été créé avec l'aide d'un logiciel Google Docs permettant de partager les documents en ligne. Une version anglaise et française ont été réalisées (**ANNEXE 7 et 8**).

Le questionnaire a été réduit au minimum, afin d'obtenir un questionnaire court et rapide, pour avoir le meilleur taux de réponse possible.

### **période de l'enquête**

L'enquête a été menée entre octobre 2011 et juin 2012. Le recueil des données a été arrêté le 28.06.2012. L'étude a duré 9 mois.

### **technique de recrutement**

L'enquête a été effectuée auprès des médecins exerçant aux caissons hyperbares. Une enquête sous forme d'un questionnaire et une lettre d'explications (**ANNEXE 9 et 10**) ont été adressées par mail aux 134 centres hyperbares en Europe (dont 17 en France) susceptible d'avoir pris en charge des gelures et ayant mis ses coordonnées e-mails sur le site OXYNET - ressource d'information sur l'oxygénothérapie hyperbare pour les professionnels médicaux et scientifiques ([www.oxyenet.org](http://www.oxyenet.org)) (**ANNEXE 11**).

## **population cible**

La population étudiée correspond aux patients pris en charge par des centres hyperbares ayant répondu à l'enquête et présentant nos critères d'inclusion.

## **variables étudiés**

Les variables étudiées sont orientées par les données de la littérature et réadaptées au cours de la lecture d'une enquête et/ou des dossiers.

Elles sont les suivantes :

### les caractéristiques de la population

- l'âge
- le sexe
- le statut du patient et la nature de l'accident

### la sémiologie de gelures

- l'atteinte initiale sur le plan cutané et neurologique
- surinfection
- la localisation des lésions

### le traitement

- le traitement initial conventionnel
- le délai entre les premiers signes et le traitement hyperbare
- le nombre de séances d'OHB
- le traitement chirurgical

### l'évolution

- l'évolution immédiate et à distance (à 1 mois, à 6 mois)
- le nombre de patients guéris
- le nombre de patients avec des séquelles invalidantes
- le nombre de patients amputés

## **recueil et traitement des données**

Le recueil des données a été effectué par Internet, à l'aide du logiciel Google Docs.



Dans certains cas, le questionnaire a été complété par des données venant d'autres sources (dossiers hospitaliers, dossiers de consultation, dossiers du SAU, les courriers de sortie récupérés dans le système informatique hospitalier).

Les données ont ensuite été traitées par le programme Microsoft Excel 2000.

### **aspects juridiques réglementaires**

Pour assurer l'anonymat du patient, aucune donnée nominative n'est recueillie lors de l'étude. Chaque patient est identifié par un numéro sur la liste d'inclusion.

## **d. ANALYSE DE DONNÉES**

Notre analyse consiste à décrire les différentes variables d'ordre qualitatif et quantitatif recueillies par Internet et dans les dossiers médicaux.

L'étude analyse d'abord chaque opinion personnelle des spécialistes de la médecine hyperbare sur l'indication de l'OHB dans la prise en charge des gelures.

Ensuite, tous les patients de la population sont classés en fonction de leur statut (civile, militaire), de la gravité des lésions, des conditions de la mise en place de l'OHB et de l'effet thérapeutique du traitement.

Concernant l'efficacité thérapeutique, le critère de jugement est construit par le taux d'échecs et le taux de succès. Les critères de succès vont dépendre de la gravité initiale et seront: le taux de récupération totale (les patients guéris) et le taux de patients améliorés. L'échec du traitement serait la non amélioration de l'état initial.

## **B. RÉSULTATS**

### **a. LA PARTICIPATION DES CAISSONS**

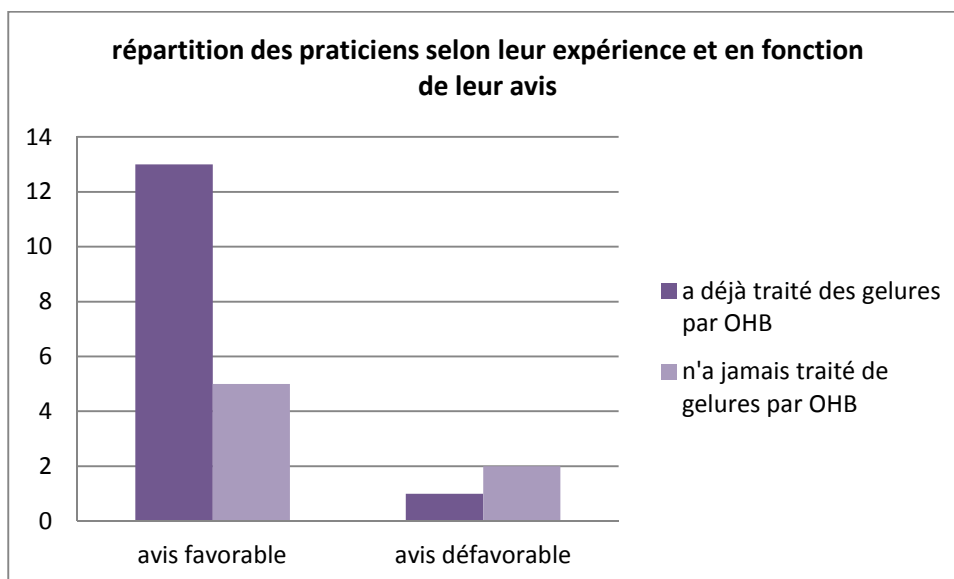
Lors de l'étude, 134 questionnaires ont été envoyés. Au total, 24 réponses ont été obtenues, soit 18 %. Parmi les caissons ayant répondu à l'enquête, nous retrouvons 7 caissons en France (Angers, Brest, Lille, Lyon, Marseille, Nice, Perpignan),

6 en Allemagne (Aachen, Freiburg, Regensbourg, Rammstein, Soltau, Traunstein), 1 en Angleterre (Londres), 2 au Danemark (Aarhus, Copenhague), 2 en Italie (Brescia, Florence), 2 aux Pays-Bas (Amsterdam, Rotterdam), 1 en Pologne (Gdynia), 1 en République Tchèque (Prague), 1 en Slovénie (Ljubljana) et 1 en Suède (Stockholm). Dans l'ensemble, le questionnaire a été accepté sans remarques, plusieurs médecins ont émis des encouragements sympathiques.

Trois médecins (soit 12,5 % de 24 praticiens ayant répondu à l'enquête) n'ont pas rempli le questionnaire.

Parmi les 21 médecins ayant rempli le questionnaire, 14 (soit 67 %) avaient déjà traité les gelures avec l'oxygénothérapie hyperbare et 18 (soit 86 %) estimaient, que l'oxygénothérapie hyperbare pourrait être indiquée dans la prise en charge des gelures.

Dans le groupe de 18 médecins, 13 (soit 72 %) avaient déjà traité les gelures avec l'oxygénothérapie hyperbare. Certains d'entre eux, soulignaient avoir observé une très bonne et très rapide réponse de ses patients à l'OHB. Dans le groupe de 3 médecins ayant donné un avis défavorable concernant l'indication d' OHB dans la prise en charge des gelures, un médecin avait déjà traité un patient souffrant de gelures. Ce patient a été pris en charge très tardivement (après le délai supérieur à 14 jours). Le traitement par l'oxygénothérapie hyperbare n'a pas malheureusement amélioré son état (**figure 3.1.**).



**Figure 3.1.**

## **Remarques des praticiens sur l'indication de l'OHB dans la prise en charge de victimes de gelures :**

La plupart des praticiens ayant répondu à l'enquête confirment, que théoriquement l'oxygénothérapie hyperbare pourrait être utile. Ils justifient la non-utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des gelures par faute de preuves suffisantes sur son efficacité et indiquent la nécessité d'études expérimentales. Par ailleurs, les victimes de gelures sont rarement adressées par les autres spécialistes (par exemple les chirurgiens vasculaires), soit adressées beaucoup trop tard (après plusieurs semaines d'évolution). De plus, le traitement par l'OHB n'est pas pris en charge par la Sécurité Sociale dans la plupart des pays. Il peut être éventuellement remboursé par l'assurance complémentaire, type mutuelle.

Les caissons n'ayant pas pris en charge des patients avec des gelures se trouvent souvent dans les régions géographiques où l'hiver est relativement doux et où les gelures arrivent rarement.

Un médecin interrogé dans notre étude, indique que les hôpitaux dans sa région sont assez nombreux pour garantir une prise en charge initiale rapide. Cela aurait réduit le risque de mauvaise évolution des gelures (et donc pas de prise en charge par l'OHB souvent considérée comme une thérapeutique du dernier recours).

Lors du recueil des données, 2 équipes étaient en cours de préparation d'articles concernant leur propre expérience dans la prise en charge des victimes de gelures. L'une des deux équipes nous a transmis ses résultats, afin de les inclure dans les statistiques.

### **b. CARACTERISTIQUES SOCIODEMOGRAPHIQUES DE LA POPULATION**

Après lecture de l'enquête et des dossiers, sur les 37 patients, 25 (soit 68 %) répondaient aux critères d'inclusion.

L'analyse de l'étude a pu être réalisée sur les dossiers provenant des centres : Perpignan, Gdynia, Brescia, Marseille, Prague, Amsterdam.

## **caracteristiques générales**

### **l'âge de population**

Sur les 25 sujets inclus, on observait une moyenne d'âge à 35 ans (écart type à 14 ans), des extrêmes à 16 et 72 ans et une médiane à 33 ans.

| 60

### **le sexe**

L'effectif était constitué de 4 (16 %) patients de sexe féminin et 21 (84 %) de sexe masculin. Pour l'ensemble, le ratio était de 5,25 hommes pour 1 femme.

### **le statut du patient et la nature de l'accident**

Le statut du patient (civil ou militaire) et la nature de l'accident ont été renseignées pour 20 patients.

Sur l'effectif total nous retrouvons 5 militaires (4 hommes et 1 femme) et 15 civils.

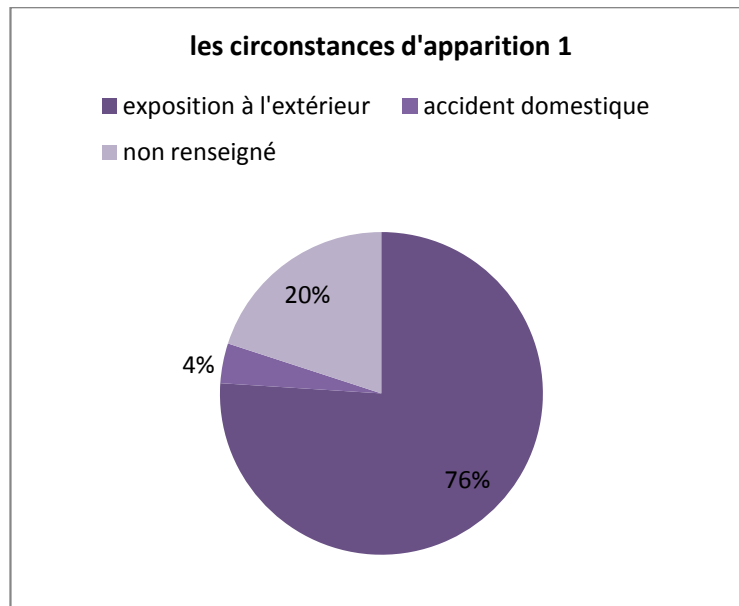
Parmi les victimes d'accident du travail nous avons retrouvé: des militaires, un gendarme (entraînement dans la nuit), un pompier, un maçon, un sylviculteur, une profession inconnue.

Les civils non-victimes d'accident du travail, étaient exposés à des températures extérieures inférieures à 0 °C lors de :

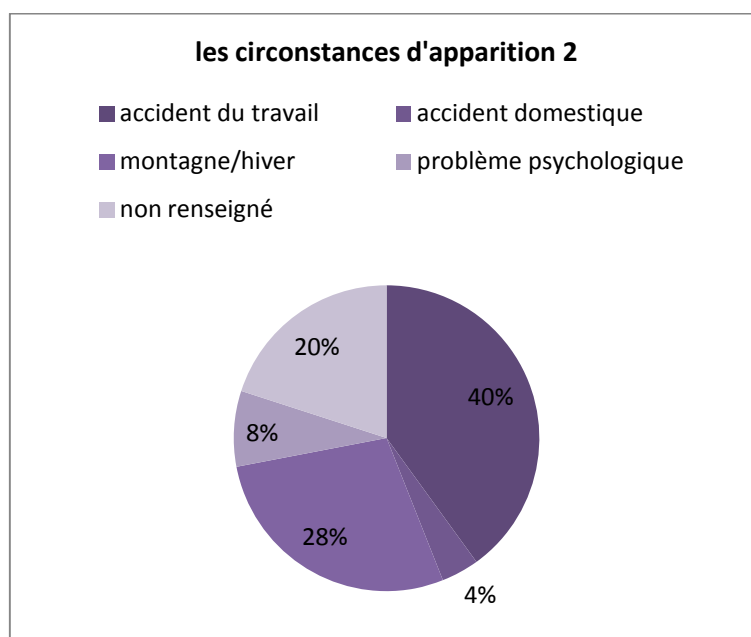
- une randonnée diurne en montagne et le port des gants inadaptés
- des gants mouillés en haute montagne
- un snowboarding nocturne sans protection adaptée
- une nuit passée en montagne avec des conditions atmosphériques dégradées
- une tentative de suicide par intoxication médicamenteuse volontaire - personne retrouvée dans la neige
- un voyage pathologique

L'un des patients a subi des gelures lors d'un accident domestique (est resté enfermée dans une chambre froide).

La répartition des patients en fonction des circonstances d'apparition des gelures est détaillée par les **figures 3.2 et 3.3.**



**Figure 3.2.**



**Figure 3.3.**

## la sémiologie de gelures

### localisation

Parmi les sujets inclus, nous n'avons pas disposé des renseignements concernant 5 patients. Les lésions concernaient les membres supérieurs, les membres inférieurs, ainsi que les oreilles. La **figure 3.4** représente la répartition des patients en fonction de la localisation des gelures.

| 62

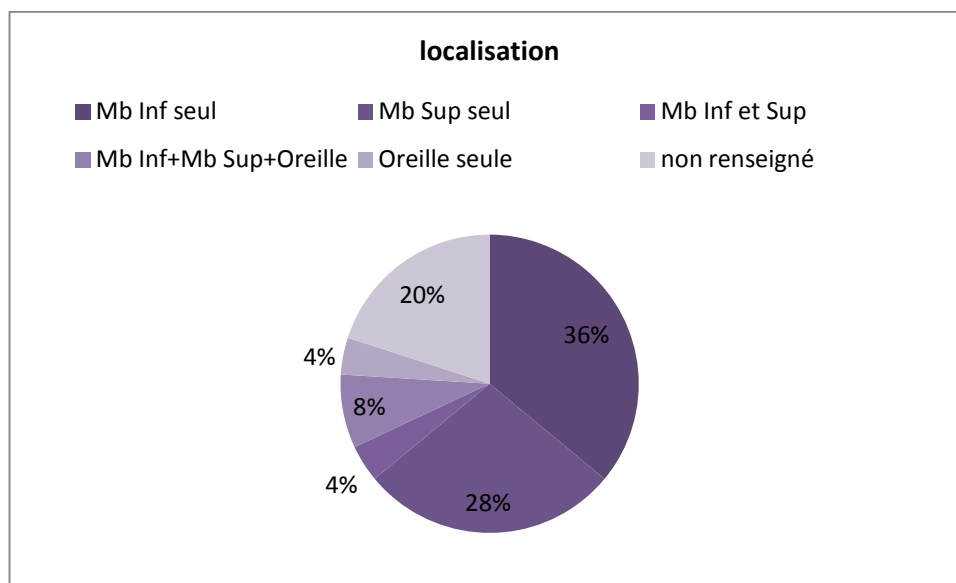


Figure 3.4. Légende : Mb – membre, Inf – inférieur, Sup - supérieur

### description des lésions

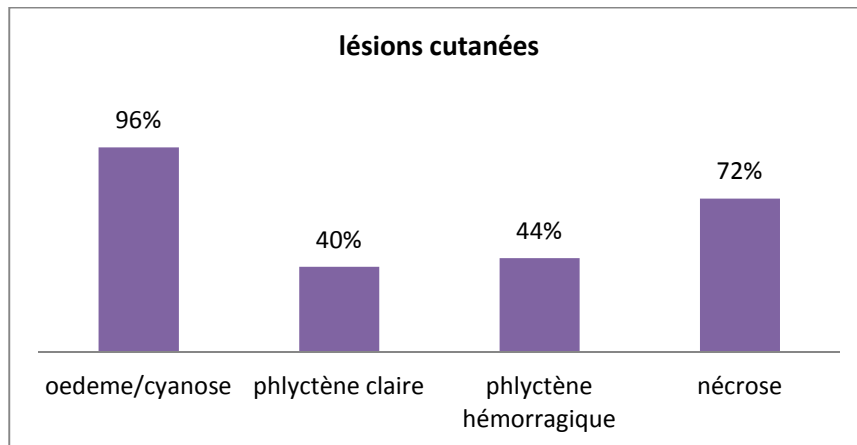
#### - atteinte cutanée

Dans l'ensemble de l'étude, au moment de la prise en charge, chaque victime de gelures présentait au moins 2 types des lésions suivantes : une cyanose voir de l'œdème, des phlyctènes claires, des phlyctènes hémorragiques, une nécrose.

24 patients (soit 96 %) présentaient soit une cyanose, soit de l'œdème au niveau de la gelure.

Parmi les sujets inclus, 10 personnes (soit 40 %) ont été admises avec présence des phlyctènes claires et 11 personnes (soit 44 %) présentaient des phlyctènes

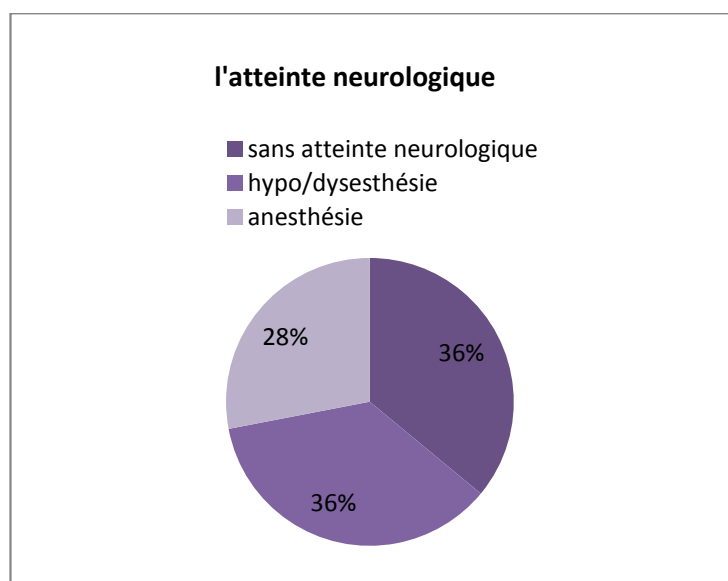
hémorragiques. Des lésions nécrotiques étaient observées chez 18 patients (soit 72 %). La fréquence des lésions dans notre population a été détaillée sur la **figure 3.5**.



**Figure 3.5.**

### - atteinte neurologique

Dans l'ensemble de l'étude, au moment de la prise en charge l'atteinte neurologique concernait 16 patients (soit 64 %), dont 7 présentaient une anesthésie complète au niveau de la lésion. La **figure 3.6** spécifie la présence, le type et la fréquence de l'atteinte neurologique de façon plus détaillée.



**Figure 3.6.**

## C. LE TRAITEMENT

### le traitement initial conventionnel

Parmi les sujets inclus, nous n'avons pas disposé des renseignements concernant 5 patients.

Les 17 sujets bénéficiaient du traitement initial conventionnel, notamment au moins un antiagrégant, un vasodilatateur et une réhydratation (**figure 3.7**).

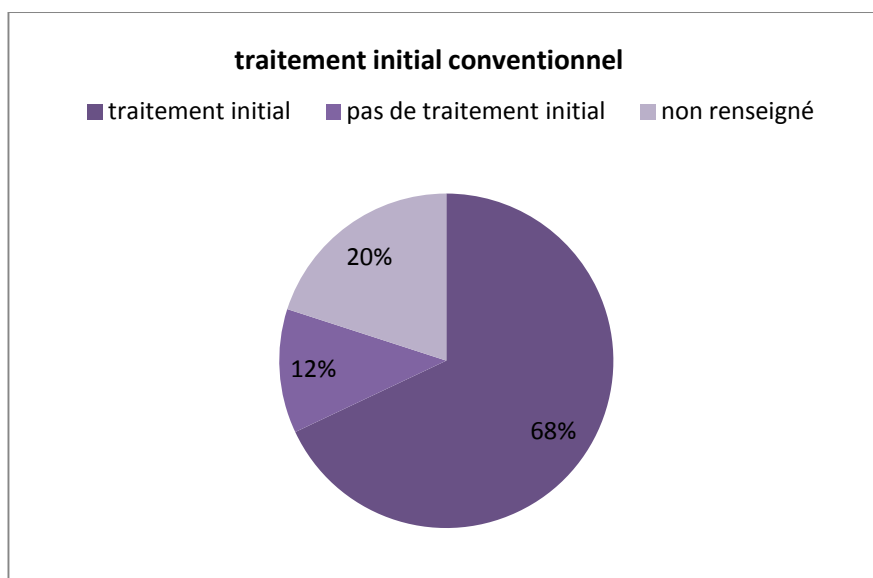


Figure 3.7.

### le délai entre les premiers signes et le traitement hyperbare (figure 3.8).

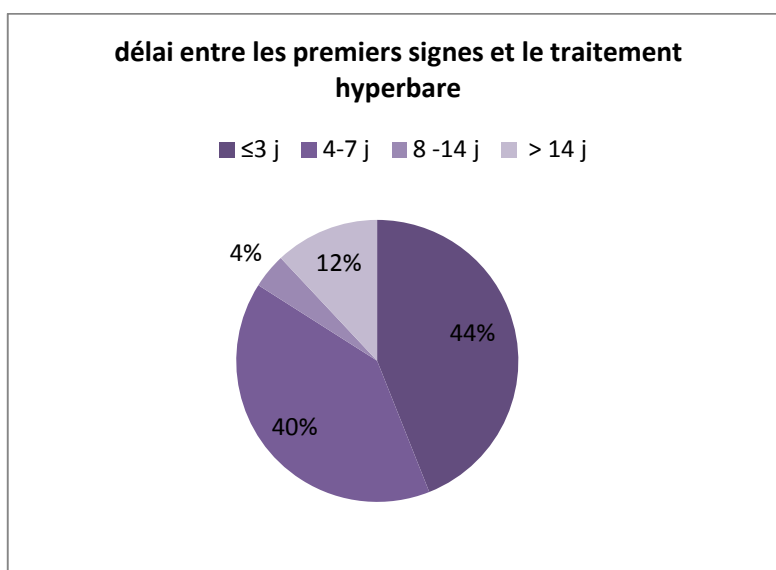


Figure 3.8.



## le nombre de séances d'OHB

La **figure 3.9** présente la répartition des patients en fonction du nombre de séances.

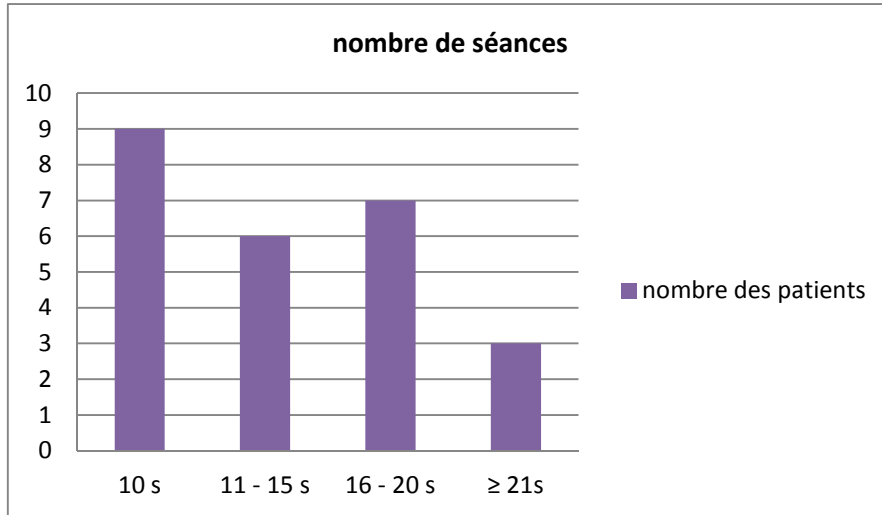


Figure 3.9.

Le nombre de séances en fonction du délai de la prise en charge par l'OHB a été détaillé sur la **figure 3.10**.

Parmi les 21 personnes ayant été pris en charge dans un délai inférieur ou égal à 1 semaine, 43 % des patients ont bénéficié de 10 séances, 24 % des patients ont bénéficié entre 11 à 15 séances, 24 % des patients ont bénéficié entre 16 et 20 séances. Seulement 9 % des patients ont bénéficié d'un nombre de séances supérieur ou égal à 21.

Parmi les 4 personnes ayant été prises en charge dans un délai supérieur à 1 semaine, 25 % (1 personne) a bénéficié entre 11 et 15 séances 50 % ont bénéficié entre 16 et 20 séances, 25% ont bénéficié d'un nombre de séances supérieur ou égal à 21.

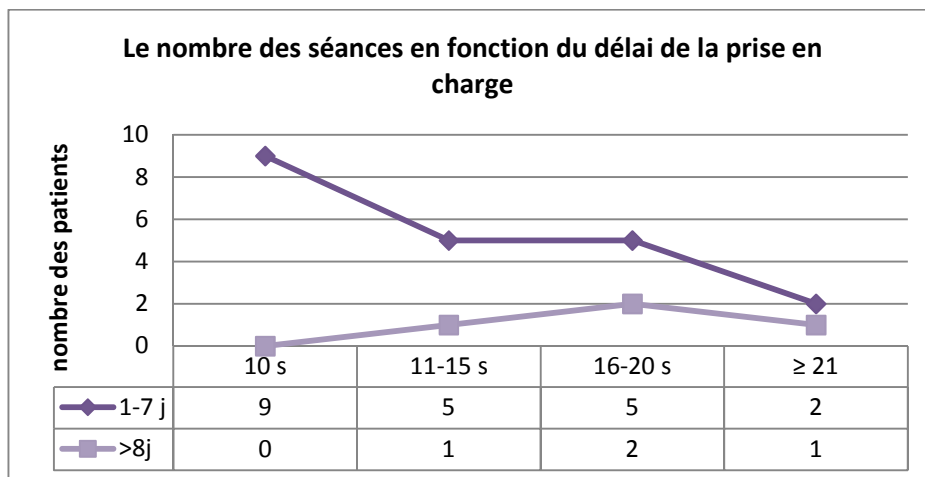


Figure 3.10.

## surinfection et traitement antibiotique

Dans notre population, 5 patients (soit 20 %) ont été mis sous antibiothérapie en raison d'une surinfection accompagnant les gelures, et 20 patients (soit 80 %) n'étaient pas traités par des antibiotiques (**figure 3.11**).

| 66

Aucun patient n'a été mis sous antibiotique à visée prophylactique.

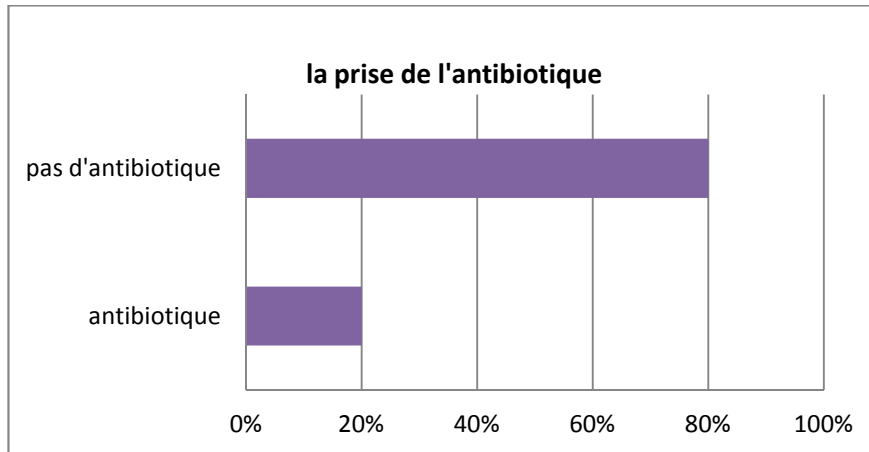


Figure 3.11.

## le traitement chirurgical

Parmi des 25 personnes incluses, 6 (soit 24 %), ont fait l'objet d'un geste chirurgical pour leur(s) lésion(s) pendant le premier mois d'évolution.

### d. L'ÉVOLUTION

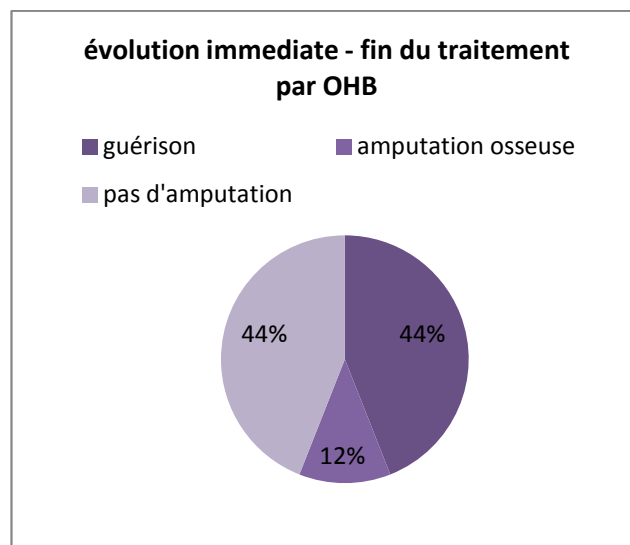
#### L'évolution immédiate

Parmi l'ensemble des sujets inclus, 22 personnes (soit 88 %) présentaient une amélioration immédiate à la fin du traitement par OHB.

La non amélioration de l'état cutané concernait 3 personnes soit 12 % de notre échantillon. Ces patients présentaient des lésions nécrotiques et ils avaient été admis au centre hyperbare avec un délai supérieur à 72 heures. 2 personnes ont été prises en charge entre 4 et 7 jours suivant le début des lésions et pour une personne le délai était supérieur à 14 jours. 2 sur 3 personnes, n'ont pas reçu de traitement initial conventionnel.

Dans le groupe de 17 sujets montrant les signes d'amélioration, une personne n'a pas reçu de traitement initial. Pour 5 personnes (soit 100 %) n'ayant pas eu de renseignement sur traitement initial, une amélioration a été observée au cours du traitement par l'oxygénothérapie hyperbare.

À la fin du traitement par l'OHB, sur 25 sujets, la guérison a été constatée chez 11 victimes de gelures (soit 44 %) et 3 personnes (soit 12 %) ont été amputées<sup>12</sup> (**figure 3.12**).



**Figure 3.12.**

### **l'évolution à 3 mois**

Selon des données dont nous disposons, dans la période comprise entre la fin du traitement par l'OHB et 3 mois d'évolution, sur 25 sujets, au moins 1 personne a été amputée et 2 personnes ont guéri (**figure 3.13**).

Sur 4 amputations osseuses confirmées depuis le début de la prise en charge, une amélioration partielle, limitant le niveau d'amputation, a été évoquée chez 3 patients. Ces patients présentaient des phlyctènes hémorragiques avec une nécrose et ils ont été pris en charge avec un délai différent (4-7 jours, 8-14 jours, > 14jours). Chaque patient a bénéficié d'un nombre de séances supérieur ou égal à 16, dont 2 sur 3 personnes ont bénéficié d'un nombre de séances supérieur ou égal à 21.

<sup>12</sup> Il s'agit d'une amputation osseuse

patient	délai de la prise en charge par l'OHB (jours)	localisation des gelures	niveau d'amputation
1.	4-7	gelures au niveau des deux membres inférieurs au-dessus du tarse : les pieds et les parties inférieures des jambes	deux pieds
2.	8-14	deux membres inférieurs : gros orteils et 2 <sup>ème</sup> doigt du pied, bilatéral deux membres supérieurs : les doigts de deux mains	phalange distale du 2 <sup>ème</sup> doigt du pied droit, 2 <sup>ème</sup> doigt du pied gauche au niveau métatarsophalangienne
3.	> 14	dépassement de l'articulation métatarsophalangienne, gelures au niveau de deux membres inférieurs : les orteils et les avant-pieds	deux gros orteils au niveau métatarsophalangienne

Tableau 3.1. Le délai de la prise en charge par l'OHB , la localisation des gelures et le niveau d'amputation dans la sous-population de 3 patients amputés.

Le nombre exact de patients avec des séquelles invalidantes n'est pas connu.

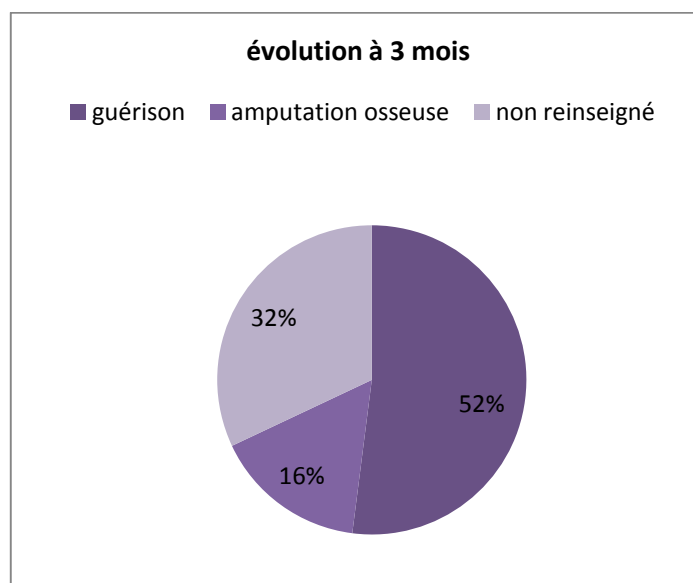


Figure 3.13.

## e. RÉSULTATS SELON LA CLASSIFICATION INTERNATIONALE

Le **tableau 3.2** et la **figure 3.14.** présentent nos résultats en fonction du degré de la gelure selon la classification internationale. Nous avons considéré que le patient avait été atteint d'au moins du 2<sup>ème</sup> degré profond devant la présence des phlyctènes hémorragiques et/ou une anesthésie complète et/ou une évolution nécrotique. Au moins 4 personnes avaient été atteintes de gelures du 3<sup>ème</sup> degré.

69

2 <sup>ème</sup> degré superficiel	≥ à 2 <sup>ème</sup> degré profond ( 2 <sup>ème</sup> degré profond + 3 <sup>ème</sup> degré)
phlyctènes claires troubles de sensibilité superficielles ( hypo/dysesthésie)	phlyctènes hémorragiques, anesthésie complète, évolution nécrotique 3 <sup>ème</sup> degré – nécrose tissulaire profonde, diagnostique impossible avant 1 semaine d'évolution, conduit souvent à l'amputation
4 (16%)	21 (84%) dont au moins 4 avec des gelures du 3 <sup>ème</sup> degré (amputation osseuse)

Tableau 3.2. Répartition des patients en fonction du degré de la gelure selon la classification internationale.

Selon la classification internationale, 21 patients dans notre population (soit 84 %) avaient été atteints de gelures à un grade supérieur au deuxième degré. Parmi les patients atteints du deuxième degré superficiel (16 %, 4 personnes) trois quarts des patients avaient bénéficié de 10 séances d'oxygénothérapie hyperbare. 57 % des patients atteints de gelures d'un grade égal voire supérieur au deuxième degré profond avaient bénéficié d'un nombre de séances supérieur à 10 (**figure 3.14.**).

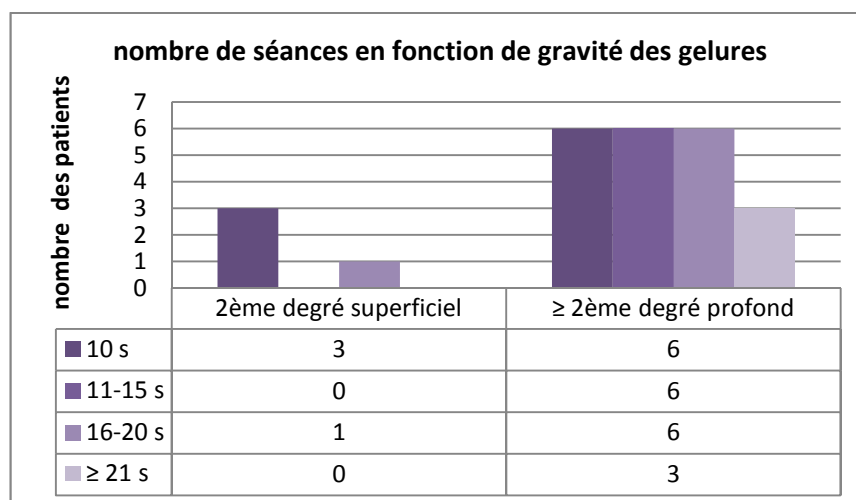


Figure 3.14.

À 3 mois d'évolution 100 % des patients atteints de gelures du deuxième degré superficiel avaient guéri tandis que dans la population des patients atteints de gelures d'un grade égal voire supérieur au deuxième degré profond nous avons observé seulement 43 % de guérison (9 sur 21 personnes). Dans cette population 72 % des patients avaient bénéficié d'un nombre de séances supérieur à 10.

## **C. DISCUSSION**

### **a. CRITIQUE DE L'ÉTUDE**

Notre étude nous a permis d'évaluer l'effet thérapeutique de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des gelures en étudiant les pratiques professionnelles dans différents centres hyperbares Européens.

Le manque de puissance statistique du fait de faible effectif de notre population et de nombreux biais limitent considérablement l'interprétation des résultats obtenus.

Malgré ces défauts, nous avons choisi de présenter notre travail puisqu'il apporte des éclairages intéressants sur l'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des gelures en Europe.

### **b. POINTS FAIBLES - LIMITES ET BIAIS DE L'ÉTUDE**

#### **- BIAIS DE SÉLECTION**

##### **Sélection des médecins interrogés**

La population des médecins interrogés dans notre étude n'était probablement pas représentative de la population générale des praticiens exerçant dans les services de médecine hyperbare.

Notre enquête a été effectuée seulement auprès des médecins exerçant aux caissons hyperbares susceptibles d'avoir pris en charge des gelures et ayant inscrit ses coordonnées e-mails sur le site OXYNET. Cela pouvait donc influencer le nombre de médecins ayant rempli le questionnaire.

D'autre part, les questionnaires étaient remplis sur la base du volontariat. Les médecins étant d'accord avec notre hypothèse ont peut être décidé de remplir plus souvent notre questionnaire.

L'existence de difficultés liée à la langue pour les étrangers pouvait également porter sur l'impact des informations que nous avons recueillies.

### **Sélection des patients**

La sélection de notre échantillon a été réalisée à partir de dossiers de patients traités pour des gelures dans différents centres hyperbares Européens. Notre population des patients n'était probablement pas représentative de la population générale, car il s'agissait souvent d'un traitement de la dernière chance pour des formes plus graves et ne répondant pas au traitement conventionnel.

### **Réalisation du questionnaire**

Notre questionnaire a été réduit au minimum pour qu'il soit le plus simple et rapide à remplir, afin d'avoir un meilleur taux de réponses. Il était donc impossible de recueillir une partie des informations potentiellement intéressantes et utiles dans notre étude.

Malheureusement, suite à une erreur, il manque une sous-question dans la question 4 de la version française. Cette erreur n'a pas eu, au final, d'influence sur les résultats de l'enquête.

### **- BIAIS D'INFORMATION et DE CONFUSION**

Certaines variables étaient manquantes ou approximatives, en particulier celles concernant l'évolution à distance (les patients perdus de vue).

Par ailleurs, il est difficile de prendre en compte d'autres facteurs pouvant influencer simultanément le critère de jugement et le facteur d'exposition, par exemple les antécédents personnels, les circonstances exactes de l'accident, l'instauration du traitement conventionnel (le début du traitement, la durée, les molécules utilisées et leur dosage).

## C. POINTS FORTS DE L'ÉTUDE

L'originalité de cette étude est de réaliser le recueil de données dans plusieurs centres hyperbares en Europe. À notre connaissance, aucune autre étude multicentrique concernant la prise en charge de gelures par l'oxygénothérapie hyperbare n'a été publiée jusqu'à présent en Europe.

| 72

Lors du recueil de données, aucune équipe en Europe n'a inclus un nombre aussi important de patients pour étudier la prise en charge des gelures par l'oxygénothérapie hyperbare.

La réalisation de cette enquête nous a permis de recueillir les opinions des spécialistes de médecine hyperbare sur l'indication de l'OHB dans la prise en charge des gelures et d'analyser les pratiques professionnelles actuelles concernant les gelures dans différents centres hyperbares.

Ainsi, il n'est pas possible d'arriver dans cette étude à des conclusions très solides, toutefois, les informations recueillies par notre travail sont un préliminaire indispensable à la réalisation ultérieure d'études prospectives.

## d. ANALYSE DES RÉSULTATS

### - POPULATION MÉDICALE

#### Taux de réponse

Le taux de réponse est très faible (18 %). Sur les 134 questionnaires distribués, seules 24 réponses ont été renvoyés. Parmi eux, 3 questionnaires n'ont pas été remplis. 1 questionnaire a été récupéré après la date de clôture de l'enquête, mais les données de ce dernier n'ont pas pu être intégrées à l'analyse des résultats. Au final, 21 questionnaires ont été traités.

Ce faible taux de réponse pourrait avoir plusieurs explications. Premièrement, une partie des médecins n'a pas été intéressée par le sujet de l'enquête et ils ont possiblement été dissuadés de participer à l'enquête, par manque de temps ou simple défaut de volonté.



Deuxièmement, les médecins qui n'ont pas répondu, n'avaient probablement jamais traité de gelures (pas de recommandation, une région géographique où l'hiver est relativement doux). Troisièmement, il faudra aussi prendre en compte le fait que des destinataires potentiels n'ont pas pu être joints pour des raisons techniques (serveurs mail indisponibles, boîtes aux lettres pleines, adresses email inscrites caduques, messages considérés comme un spam).

### **Représentativité de l'échantillon**

L'échantillon de l'étude est trop faible pour pouvoir être représentatif et donc les données sont à interpréter avec précaution.

### **Avis sur l'indication de l'OHB**

Au sein de la population médicale interrogée, deux tiers des spécialistes (67 %) avaient déjà traité les gelures avec l'oxygénothérapie hyperbare. Certains d'entre eux, soulignaient avoir observé une très bonne et très rapide réponse de ses patients à l'OHB. 86 % des praticiens estimaient que l'oxygénothérapie hyperbare pourrait être indiquée dans la prise en charge de gelures. 93 % des praticiens (13 sur 14) ayant déjà traité les gelures avec l'OHB étaient en faveur de cette méthode thérapeutique (**figure 3.1.**). Seulement 14 % des médecins (3 spécialistes) avaient donné un avis défavorable concernant l'indication d'OHB dans la prise en charge des gelures. Un avis défavorable semblerait être en lien avec soit la manque d'expérience soit avec la mauvaise expérience lors de traitement des gelures. Même si les résultats de l'enquête montrent que la majorité des spécialistes seraient en faveur de l'utilisation de l'OHB, il est possible que les médecins étant défavorables (et donc n'étant pas intéressés par le sujet de cette étude), n'ont pas répondu à notre message. Par ailleurs, notre étude ne concernait que les spécialistes de médecine hyperbare. Il serait intéressant de connaître l'avis d'autres spécialistes impliqués dans la prise en charge de gelures, car ce sont eux qui adressent ou n'adressent pas leurs patients au caisson. En outre, d'après les médecins interrogés dans notre enquête, les victimes de gelures sont rarement adressées par d'autres spécialistes (soit sont adressées beaucoup trop tard, après plusieurs semaines d'évolution), car l'OHB est souvent considérée comme une thérapeutique de dernier recours.

La plupart des praticiens ont confirmé, que théoriquement l'oxygénothérapie hyperbare pourrait être utile. Cependant, ils justifient la non-utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des gelures par faute de preuves suffisantes sur son efficacité et indiquent la nécessité d'études expérimentales. Au niveau européen, cette indication n'a pas été retenue dans la conférence de Consensus de Lille ni en 1994 ni en 2004 (108). Elle n'a pas fait non plus partie des recommandations de l'UHMS. Au niveau national, elle n'a pas été mentionnée dans le rapport de l'HAS de 2007. D'autre part, le traitement par l'OHB n'est pas pris en charge par la Sécurité Sociale dans la plupart des pays et il peut être éventuellement remboursé par l'assurance complémentaire.

Lors du recueil des données, 2 équipes étaient en cours de préparation d'articles concernant leur propre expérience dans la prise en charge des victimes de gelures. L'une des deux équipes nous a transmis ses résultats, afin de les inclure dans les statistiques. L'inclusion des données d'une autre équipe de recherche aurait pu modifier nos résultats de façon considérable.

#### - POPULATION DES PATIENTS

##### **Représentativité de l'échantillon**

L'échantillon de l'étude est trop faible pour pouvoir être représentatif et donc les données sont à interpréter avec précaution.

##### **Profil sociodémographique de la population**

Sur 37 dossiers qui nous ont été envoyés, seuls 25 dossiers (environ 70 %) correspondaient aux critères exigés par l'étude.

Concernant le sexe, nous avons pu observer, que les hommes dans notre étude, étaient atteints des gelures 5 fois plus souvent que les femmes. Concernant l'âge, la moyenne de notre effectif était à 35 ans avec des extrêmes à 16 et 72 ans et une médiane à 33 ans.

En ce qui concerne le statut du patient et la nature de l'accident, 40 % des patients étaient victimes d'accident du travail et 28 % avaient subi des lésions à la suite

d'une exposition à la température extérieure inférieure à 0 °C, dans la plupart des cas, lors de la pratique du sport. 8 % des lésions semblaient être liées avec des pathologies psychologiques et enfin 4 % en lien avec un accident domestique. Nous n'avons pas disposé de renseignements concernant 20 % des patients (**figure 3.2. et 3.3.**).

### **Sémiologie de gelures**

- **localisation**

En ce qui concerne la localisation de gelures, 36 % des gelures concernaient des membres inférieurs et un 28 % touchaient des membres supérieurs. Chez 12 % des patients, les gelures étaient localisées au niveau des 4 membres et plus ou moins sur les oreilles. Seulement 4 % des gelures concernaient les oreilles seules. Nous n'avons pas disposé de renseignements concernant 20 % des patients (**figure 3.4.**).

- **description des lésions**

Les patients dans notre population présentaient souvent des gelures de différents stades simultanément. Pour simplifier l'analyse, nous avons évalué les gelures selon la lésion cutanée la plus grave présentée par le patient. Pour des raisons pratiques, nous n'avons pas pu étudier le niveau d'extension des lésions cutanées<sup>13</sup> (données manquantes pour certains patients) ce qui pouvait influencer les résultats de cette étude.

**Sur le plan cutané**, quasiment tous les patients présentaient soit une cyanose, soit de l'œdème au niveau de la gelure. 40 % des patients ont été admis avec présence des phlyctènes claires. 44 % présentaient des phlyctènes hémorragiques. Nous avons considéré que le patient n'avait pas été atteint de phlyctènes sauf si cela avait été mentionné dans son dossier. L'absence d'informations concernant la présence de phlyctènes pourrait créer une erreur dans nos résultats. Des lésions nécrotiques étaient observées chez 72 % (**figure 3.5.**). La présence des lésions nécrotiques chez environ 70 % des patients traités dans l'échantillon pourrait être en faveur de l'hypothèse selon laquelle l'OHB est souvent considérée comme une thérapeutique de dernier recours.

---

<sup>13</sup> partie d'un diagnostic de la gravité selon nouvelle classification

**Sur le plan neurologique**, deux tiers des patients avaient présenté des troubles de la sensibilité, notamment une hypo/dyesthésie et/ou une anesthésie complète (**figure 3.6.**). Pour simplifier l'analyse, nous avons évalué l'atteinte neurologique selon les troubles de sensibilité les plus grave présentés par le patient. Un tiers des patients de notre échantillon présentait des troubles de type anesthésie. Un tiers des patients n'avait pas présenté d'atteinte neurologique. Dans notre étude, nous avons considéré que le patient n'avait pas été atteint de troubles de la sensibilité sauf si cela avait été mentionné dans son dossier. En effet, le manque d'informations concernant l'atteinte neurologique pourrait créer une erreur dans nos résultats.

## **Traitement**

### **le traitement initial conventionnel**

La plupart des patients (environ 70 %) ont bénéficié du traitement initial conventionnel (au moins un antiagrégant, un vasodilatateur et une réhydratation). Environ 10 % n'a pas reçu de traitement initial (le plus probablement en raison d'une prise en charge tardive). Nous n'avons pas disposé de renseignements concernant 20 % des patients (**figure 3.7.**).

### **OHB**

- **le délai entre les premiers signes et le traitement hyperbare**

On constatait, que le délai entre l'apparition des lésions et le début du traitement hyperbare était inférieur à une semaine pour 84 % des personnes traitées pour des gelures. 44 % des patients ont bénéficié d'une prise en charge dans les premières 72 heures (**figure 3.8.**).

- **le nombre de séances d'OHB**

Nous pouvons constater que dans notre échantillon 60 % des patients avaient bénéficié d'un nombre de séances inférieur ou égal à 15 (**figure 3.9.**).

Le nombre de séances jugé nécessaire pour traiter les gelures semblait être lié avec le délai de prise en charge. La majorité des personnes ayant été prises en charge dans un délai

inférieur ou égal à une semaine avaient bénéficié jusqu'à 10 séances. Le nombre de personnes ayant besoin d'un plus grand nombre de séances était de moins en moins important. Une prise en charge supérieure à 1 semaine nécessitait un nombre de séances supérieur à 10. Le nombre de personnes ayant besoin d'un plus grand nombre des séances était de plus en plus important (**figure 3.10.**).

- **la surinfection et le traitement antibiotique**

Dans notre population 20 % des patients avaient été mis sous antibiothérapie en raison d'une surinfection accompagnant les gelures. Aucun patient n'a été mis sous antibiotique à visée prophylactique (**figure 3.11.**).

- **le traitement chirurgical**

Un quart des patients a fait l'objet d'un geste chirurgical pour leur(s) lésion(s) pendant le premier mois d'évolution.

## **L'évolution**

- **l'évolution immédiate**

Parmi l'ensemble des sujets inclus, 88 % présentaient une amélioration immédiate à la fin du traitement par l'OHB..

La non-amélioration de l'état cutané concernait 12% de notre échantillon. Ces patients présentaient des lésions nécrotiques et ils avaient été admis au centre hyperbare avec un délai supérieur à 72 heures.

Nous avons pu constater qu'à la fin du traitement par l'OHB la guérison a été prononcée chez 44 % des patients traités par l'oxygénothérapie hyperbare et 12 % ont été amputés. Pour 44 % des personnes atteintes de gelures, l'évolution des lésions est restée incertaine (**figure 3.12.**).

- **l' évolution à 3 mois**

Malheureusement, nous ne disposons que de très peu d'informations sur l'avenir des patients à distance. Les patients inclus dans notre étude, sont pris en charge en ambulatoire. Chaque personne vient d'un établissement hospitalier différent. Une fois les séances hyperbares terminées, la plupart des patients sont perdus de vue. Par conséquent, le nombre exact de patients avec des séquelles invalidantes n'est pas connu. | 78

Selon des données dont nous disposons, au bout de 3 mois d'évolution, la moitié des patients traité par l'OHB aurait été guéris et 16 % aurait subi une amputation (**figure 3.13.**). Nous avons également remarqué que 54 % des personnes guéries présentaient des lésions nécrotiques.

Sur 4 **amputations osseuses** confirmées, depuis le début de la prise en charge, une amélioration partielle, limitant le niveau d'amputation, a été évoquée chez 3 patients (**tableau 3.1.**). Ces patients présentaient des phlyctènes hémorragiques avec une nécrose et ils ont été pris en charge avec un délai supérieur à 72 heures. Chaque patient a bénéficié d'un nombre de séances supérieur ou égal à 16.

### **Résultats selon la classification internationale**

Afin de présenter nos résultats en fonction de la gravité des lésions selon la classification internationale, nous avons considéré que le patient est atteint d'au moins du 2<sup>ème</sup> degré profond devant la présence des phlyctènes hémorragiques et/ou une anesthésie complète et/ou une évolution nécrotique. Selon la classification internationale, un peu plus de 80 % des patients avaient été atteints de gelures d'un grade supérieur au deuxième degré superficiel (**tableau 3.2.**). Parmi les patients atteints du deuxième degré superficiel (16 %, 4 personnes) la majorité avait bénéficié de 10 séances d'oxygénothérapie hyperbare. Un peu moins de 60 % des patients atteints de gelures d'un grade égal voire supérieur au deuxième degré profond avait bénéficié d'un nombre de séances supérieur à 10 (**figure 3.14.**).

Au moins 4 personnes avaient été atteintes de gelures du 3<sup>ème</sup> degré et elles avaient subi d'une amputation osseuse. Comme nous avons déjà mentionné plus haut, une

amélioration partielle, limitant le niveau d'amputation, avait été évoqué pour 3 patients de ce groupe ayant bénéficié d'un nombre de séances supérieur ou égal à 16.

Nous avons constaté qu'à 3 mois d'évolution, 100 % des patients atteints de gelures du deuxième degré superficiel avaient guéri. Dans la population des patients atteints de gelures d'un grade égal voire supérieur au 2<sup>ème</sup> degré profond nous avons observé seulement 43 % de guérison. Dans cette population un peu plus que 70 % des patients avaient bénéficié d'un nombre de séances supérieur à 10 (**figure 3.14.**). Nous rappelons que la plupart (75 %) des patients atteints de gelures du deuxième degré superficiel avaient nécessité de 10 séances pour guérir.

| 79

### III. COMPARAISON PAR RAPPORT A LA LITTÉRATURE

Notre étude est difficilement comparable par rapport aux données de la littérature. **Cauchy et coll. (22)** dans *Retrospective study of 70 cases of severe frostbite lesions* avait présenté une série de 70 sujets traités sans OHB. La majorité de patients dans cette étude étaient atteints de lésions superficielles (70 %), tandis que notre étude, ayant un effectif plus petit (25 sujets), concernait environ 80 % des patients atteints de lésions profondes.

**Cauchy et coll. (22)** obtenaient une restitution complète dans 8 % des cas. La persistance de l'hypersensibilité avait été observé chez 46 % des sujets et des troubles subjectifs et/ou trophiques avaient été évoqués dans 36 % des cas. Les auteurs avaient constaté une efficacité médiocre du traitement dans 10 %.

L'une des publications les plus récentes de **Cauchy et coll. (40)**, *A controlled trial of a prostacyclin et rt - PA in the treatment of severe frostbite*, concernait 47 patients (44 hommes et 3 femmes) atteints du stade 3 et 4 selon la classification DMTM (dépassant l'articulation interphalangienne distale) et analysait le risque d'amputation en fonction du schéma de traitement initial conventionnel. Comme nous avons déjà mentionné dans le chapitre consacré au traitement, chacun des patients inclus dans cette étude prospective, avait été traité pendant 8 jours selon l'un de 3 protocoles, notamment par l'aspirine associée soit au buflomédil (400 mg pendant 1 heure par jour), soit à l'iloprost (0.5 to 2 ng /kg/min/6h/j), soit à l'iloprost (2 ng/kg/min/6h/j) et au rt-PA (100 mg une seule fois). Le risque d'amputation dans le groupe traité par buflomédil était de 60 %.

Dans les deux autres groupes le taux d'amputation était significativement inférieur ( $p < 0,001$ ), notamment 19 % dans le groupe recevant iloprost et rt-PA, et 0 % dans le groupe traité par iloprost seul. Les résultats de cette étude n'ont pas permis de confirmer ou d'infirmier un effet additif du rt-PA lorsqu'il est associé à l'iloprost. L'équipe proposait alors de traiter tous les patients victimes de gelures graves par l'association aspirine-iloprost. Selon **Cauchy et coll. (40)** l'utilisation de rt-PA devrait être à envisager pour des lésions qui dépassent l'articulation métacarpo/métatarsophalangienne et qui sont prises en charge au plus tard dans les premières 48h.

Nos données semblaient être proches des données de l'équipe **Coulangue et coll. (46)** Cette étude concernant principalement des patients atteints de lésions profondes avait déjà été mentionnée dans le chapitre *Revue de la littérature*. Nous rappelons que sur une série de 15 patients, 5 patients présentaient des lésions du 2<sup>ème</sup> degré superficiel et 10 patients présentaient des lésions égales ou supérieures au 2<sup>ème</sup> degré profond (la moitié atteinte du 3<sup>ème</sup> degré). Dans leur échantillon, les gelures touchaient préférentiellement les hommes et la moyenne d'âge de l'effectif était à 37 +/-17 ans. Les gelures étaient localisées aux membres inférieurs pour plus de 80 %.

**Coulangue et coll. (46)** avait divisé son échantillon sur 2 groupes. Le groupe 1 concernait 7 patients pris en charge dans premières 72 heures [2<sup>ème</sup> degré superficiel (2) et 2<sup>ème</sup> degré profond (5)]. Après le nombre moyen de séances d'OHB de  $11 \pm 2$ , les auteurs constataient une évolution globalement favorable avec une cicatrisation complète parfois associée à des troubles sensitifs mineurs. Le groupe 2 concernait 8 patients pris en charge avec un délai supérieur à 72 heures [2<sup>ème</sup> degré profond (3) et 3<sup>ème</sup> degré (5)]. À huit semaines et avec le nombre moyen de séances d'OHB de  $17 \pm 7$ , les auteurs avaient observé une évolution favorable pour 2 patients et une meilleure cicatrisation pour le reste du groupe. Lorsque la chirurgie avait été indiquée, elle était moins invalidante avec des amputations limitées aux interphalangiennes. Au total, dans une série de **Coulangue et coll. (46)**, à huit semaines d'évolution 4 patients guérissaient sans séquelle, 6 cicatrisaient avec des troubles sensitifs mineurs, 4 présentaient des séquelles trophiques avec dysesthésies et 1 conservait des lésions invalidantes.



Devant leurs résultats et les données de la littérature, l'équipe **Coulange et coll. (46)** avaient proposé un protocole du traitement par OHB dépendant de la gravité des lésions et du délai de la prise en charge.

**Selon ce protocole les lésions du 2<sup>ème</sup> degré et/ou précoces (inférieures ou égales à 72 heures) doivent bénéficier de 10 à 15 séances de 90 minutes à 2,5 ATA, 1 à 2 fois par jour. Les gelures du 3<sup>ème</sup> degré nécessitent jusqu'à 30 séances, y compris à un stade tardif après traitement conventionnel par les centres de références, pour limiter le niveau d'amputation, prévenir la surinfection et diminuer les séquelles.**

## CONCLUSIONS :

La gelure est une lésion tissulaire survenant lors d'une exposition prolongée et directe à une température inférieure à 0 °C.

La prise en charge des gelures est complexe et multidisciplinaire. L'oxygénothérapie hyperbare n'est pas actuellement une recommandation au traitement des gelures selon les consensus, mais les bons résultats thérapeutiques obtenus avec cette méthode par certains auteurs suggèrent son intérêt dans un traitement adjuvant des gelures, quelque soit leur stade, y compris tardivement.

Parmi des spécialistes de médecine hyperbare interrogés lors de notre étude, 86 % estiment que théoriquement l'oxygénothérapie hyperbare pourrait être indiquée dans la prise en charge de gelures. L'OHB pourrait être utile par le biais de l'amélioration de l'oxygénation locale, la limitation de l'œdème, la lutte contre l'infection et la stimulation des processus de cicatrisation.

Dans notre étude, nous avons décrit les pratiques dans différents centres hyperbares Européens. On constatait que seulement 44 % des patients avaient bénéficié d'une prise en charge dans les premières 72 heures. 84 % des patients avaient été atteints de gelures profondes.

Nous avons retrouvé une amélioration sur le plan cutané par rapport à l'état initial chez 88 % des patients traités dans les centres hyperbares. Nous avons constaté qu'à 3 mois d'évolution, 100 % des patients atteints de gelures du deuxième degré superficiel avaient guéri en bénéficiant dans la plupart de cas de 10 séances. Dans la population des patients atteints de gelures d'un grade égal voire supérieur au deuxième degré profond nous avons observé seulement 43 % de guérison. Dans cette population un peu plus de 70 % des patients avaient bénéficié d'un nombre de séances supérieur à 10. L'oxygénothérapie hyperbare s'avèrerait inefficace dans la prise en charge d'environ 10 % des patients. Tous ces patients avaient été admis au centre hyperbare avec un délai supérieur à 72 heures. Sur les 4 amputations osseuses confirmées, depuis le début de la prise en charge, une amélioration partielle, limitant le niveau d'amputation, a été évoquée chez 75 % des patients.

Bien que notre étude ne soit pas d'une grande valeur statistique, elle permet toutefois de s'apercevoir du bénéfice thérapeutique que l'oxygénothérapie hyperbare pourrait apporter dans cette pathologie. Il serait dommage de priver les patients de ce moyen de traitement et de le considérer comme une thérapeutique de dernier recours. En effet, de larges études cliniques, prospectives, seront nécessaires et justifiées.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Herry J.P., Aspects médicaux., In : Ancey C., Guide Neige et Avalanches, éd. 2nd ed., Edisud, Aix-en-Provence, 1998, 267-310 disponible sur [www.toraval.fr/livre/chap11.pdf](http://www.toraval.fr/livre/chap11.pdf)
2. Boswick J.A., Thompson J.D., Jonas RA. The epidemiology of cold injury. *Surg Gynecol Obstet.* 1979;149:326–332.
3. Murphy J.V., Banwell P.E., Frostbite: pathogenesis and treatment. *J Trauma.* 2000; 48 (1): 171-8.
4. Post P.W., Donner D.D., Frostbite in a pre-Columbian mummy. *Am J Phys Anthropol.* 1972; 37:187–191.
5. Edlich R.F., Chang D.E., Cold injuries. *Compr Ther.* 1989;15:13–21.
6. Candler W.H., Ivey H., Cold weather injuries among US soldiers in Alaska: a five-year review. *Mil Med.* 1997; 162:788–791.
7. Vaughn P.B., Local cold injury: menace to military operations. *Mil Med.* 1980;145:305–309.
8. Taylor M.S., Kulungowski M.A., Frostbite injuries during winter maneuvers: a long-term disability. *Mil Med.* 1989;154:411–413.
9. Schechter D.C., Sarot R.A., Historical accounts of injuries due to cold. *Surgery.* 1968; 63:527–533.
10. Larrey D.J., *Memoirs of Military Surgery and Campaigns of the French Armies.* Baltimore: Cushing; 1814:156–164.
11. Mills W.J., Whaley R., Frostbite: experience with rapid rewarming and ultrasonic therapy. *Alaska Med.* 1961; 3:28–35.
12. Dembert M.L., Dean L.M., Cold weather morbidity among US Navy and Marine Corps personnel. *Mil Med.* 1981;146:771–775.
13. Hashmi M.A, Rashid M.T., Frostbite: epidemiology at high altitude in the Karakoram mountains. *Ann R Coll Surg Engl.* 1998;80:91-95.
14. Urschel J.D., Frostbite. Predisposing factors and predictors of poor outcome. *J Trauma.* 1990;30:340–342.
15. Reamy B.V., Frostbite: review and current concepts. *J Am Board Fam Pract.* 1998;11:34–40.
16. Exposition au froid, site du Centre Canadien d'Hygiène de Sécurité au Travail disponible sur [www.cchst.ca](http://www.cchst.ca)
17. Kyosola K., Clinical experiences in the management of cold injuries: a study of 110 cases. *J Trauma.* 1974;14:32–36.
18. Wattel F., Mathieu D., eds. 2nd ed. *Traité de médecine hyperbare.* Paris: Ellipses, 2002; 20, 24, 29, 52-54, 92, 100 - 08, 351, 637-38
19. Marsigny B., Gelures de montagne, *Revue de l'Acomen*, 1999 ; 5(1) : 41-46
20. Cauchy E., Gelures, *Urgence pratique*, Mars 2001 ; (45) 41-44
21. Cauchy E., Bégoc R., Les maladies de montagnes, In: *Petit Manuel de Médecine de Montagne*, 17-29

22. Cauchy E., Chetaille E., Retrospective study of 70 cases of severe frostbite lesions: a proposed new classification scheme. *Wild Environ Med* 2001; 12 (4): 248-55.
23. Mamouni A., Principes de la thermographie microonde par corrélation., *Revue Phys. Appl.* 19 (1984) 265
24. Cauchy E., Chetaille E., The role of bone scanning in severe frostbite of the extremities. A retrospective study of 88 cases., *Eur J Nud Med.* 2000; 48: 497-502.
25. Cauchy E., Marsigny B., The value of Technetium 99 Scintigraphy in the Prognosis of Amputation in Severe Frostbite Injuries of the Extremities: A Retrospective Study of 92 Severe Frostbite Injuries., *J Hand Surg Am.*, 2000; 25: 969-78.
26. Carpenter H.M., *Vascular injury due to cold. Effects of rapid rewarming.*, *Arch. Pat.* 1971 ; 92 : 151-61.
27. McCauley R.L., Hing D.N., Frostbite injuries: a rational approach based on the pathophysiology. *J Trauma.* 1983;23:143-147.
28. Kroeger K., Janssen S., Frostbite in a mountaineer, *VASA* 2004; 33:173-176
29. Brig B.M., Nagpal V.S.M., Cold Injuries : The Chill Within *MJAFI* 2004; 60 : 165-171
30. Britt L.D., Dascombe W.H., New horizons in management of hypothermia and frostbite injury, *Surg. Clin. North Am.*, 1991; 71: 345-370
31. Miller M.B., Koltai P.J., Treatment of experimental frostbite with pentoxifylline and aloe vera cream. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1995 Jun; 121(6) : 678-680
32. Purkayastha S.S., Bhaumik G., Immediate treatment of frostbite using rapid rewarming in tea decoction followed by combined therapy of pentoxifylline, aspirin & vitamin C. *Indian J Med Res* 2002;116:29-34.
33. Buflomédil, disponible sur : <http://www.eurekasante.fr/medicaments/vidal-famille/medicament-gp316-BUFLOMEDIL-EG.html>
34. Groecheinig E., Treatment of frostbite with iloprost. *Lancet* 1994 Oct 22; 344(8930) : 1152-1153.
35. Yeager R.A., Champion T.W., Treatment of frostbite with intra-arterial prostaglandin E1. *Am Surg* 1983 Dec;49(12):665-667.
36. Saito S., Shimada H., Effect of prostaglandin E1 analogue administration on peripheral skin temperature at high altitude., *Angiology* 1994 Jun; 45(6) : 455-460.
37. Zdeblick T.A., Field G.A., Treatment of experimental frostbite with urokinase. *J Hand Surg [Am]* 1988 Nov; 13(6) : 948-953
38. Salimi Z., Wolverson M.K., Treatment of frostbite with i.v. streptokinase: an experimental study in rabbits. *AJR Am J Roentgenol*, 1987 Oct; 149 (4) : 773-776
39. Skolnick A.A., Early data suggest clot-dissolving drug may help save frostbitten limbs from amputation. *JAMA* 1992 Apr 15; 267 (15) : 2008-2010.
40. Cauchy E., Cheguillaume B., A controlled trial of a prostacyclin and rt-PA in the treatment of severe frostbite. *N Engl J Med.* 2011 Jan 13; 364(2): 189-90.
41. Bouwman D.L., Morrison S., Early sympathetic blockade for frostbite - is it of value? *J Trauma* 1980 Sep;20(9):744-749.
42. Arregui R., Morandeira J.R., Epidural neurostimulation in the treatment of frostbite. *Pacing Clin Electrophysiol* 1989 Apr; 12(4 Pt 2) : 713-717.

43. McCauley R.L, Smith DJ, Frostbite and other cold-induced injuries. In: Auerbach P.S., ed. *Wilderness Medicine*. 3rd ed. St. Louis: Mosby; 1995:129 –145.
44. Bauer P., Larcen A., Oxygénothérapie hyperbare dans le traitement des ulcères ischémiques, *Sang Thrombose Vaisseaux* 1997 ; 9(8): 497-503
45. Boerema I., Meyne N.G, Life without blood. A study of the influence of high atmospheric pressure and hypothermia on dilution of the blood. *J Cardiovasc Surg* 1960 ; 1 : 133-46.
46. Coulange M., Barthélémy A., Intérêt de l’oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge des gelures. *JPC* 2006 ; 53 (27) : 61-66.
47. Bird A.D., Effect of hyperbaric oxygen on limb circulation. *Lancet* 1965 ; 1 : 355-7.
48. Zamboni W.A., Roth A.C., Morphologic analysis of the microcirculation during reperfusion of ischemic skeletal muscle and the effect of hyperbaric oxygen. *Plast Reconstr Surg* 1993 ; 91 : 1110-23.
49. Nylander G, Lewis D, Reduction of post-ischemic edema with hyperbaric oxygen. *Plast Reconstr Surg*. 1985;76(4):596–603.
50. Mathieu D., Effets hémodynamiques et microcirculatoires de l’oxygénothérapie hyperbare. Thèse, Université de Lille II, 1994.
51. Zamboni W.A., Wong H.P., Effect of hyperbaric oxygen on neutrophil concentration and pulmonary sequestration in reperfusion injury. *Archives of Surgery*, 1996 ; 131 : 756-760.
52. Amin H.M., Kaniewski W.S., Effects of acute exposure to hyperbaric oxygen on the rheology and morphology of red blood cells in the rat, *Microvasc. Res.* 50(3), 417-428 (1995).
53. Mathieu D., Coget J.M., Filtrabilité érythrocytaire et oxygénothérapie hyperbare. *Med Sub Hyp* 1984; 3: 100-4.
54. Park M.K., Oxygen tensions and infections : modulation of microbial growth, activity of antimicrobial agents and immunologic responses. *Clin Infect Dis* 1992 ;14 : 720-40.
55. Mader J.T., Therapy with hyperbaric oxygen for experimental osteomyelitis due to *Staphylococcus* in rabbits., *J. Infect. Dis.*, 1978; 138 : 312-318.
56. Knighton D.R., Halliday B., Oxygen as an antibiotic: the effect of inspired oxygen on infection. *Arch Surg.*, 1984; 119:199-204
57. Mader J.T., Adams K.R., Infectious diseases: Pathophysiology and mechanisms of hyperbaric oxygen. *J Hyperbar Med* 1987; 2 : 133-40
58. Hunt TK, Linsey M, The effect of different ambient oxygen tensions of wound infection. *Ann Surg* 1975 ; 181 : 35-9.
59. Hohn DC., The effect of oxygen tension on the microbicidal function of leucocytes in wounds and in vitro. *Surg Forum* 1976; 27: 18-20.
60. Hunt T.K., Impairment of microbicidal function in wounds: correction with oxygenation, *Soft and hard tissue repair*1984, 455-468.
61. Zhao L.L., Effect of hyperbaric oxygen and growth factors on rabbit ear ischemic ulcers. *Arch Surg* 1994; 129: 1043-9.

62. Uhl E., Hyperbaric oxygen improves wound healing in normal and ischemic skin tissue. *Plas Reconst Surg* 1994;93:835-41.
63. Hehenberger K., Brismar K., Dose-dependent hyperbaric oxygen stimulation of human fibroblast proliferation. *Wound Rep Reg* 1997 ; 5 : 147-150.
64. Winter G.D., Oxygen and epidermal wound healing. *Adv Exp Med Biol.* 1977 Jul 4-7;94:673-8.
65. Perrins D.J., Influence of hyperbaric oxygen on the survival of split skin grafts. *Lancet.* 1967 Apr 22;1(7495):868-71.
66. Marx R.E., Relationship of oxygen dose to angiogenesis induction in irradiated tissue. *Am J Surg* 1990.
67. Méchine A., La cicatrisation sous oxygénothérapie hyperbare : Etude expérimentale de sa phase angiogénique chez le rat. *Ann Chir*, 1999, vol. 53, no4, pp. 307-313.
68. Barth et al., Animal model for evaluating bone repair with and without adjunctive hyperbaric oxygen therapy. *J Invest Surg* 1990, 3:387-392.
69. Niinikoski J., Hunt T.K., Oxygen tensions in healing bone. *Surg Gynecol Obstet* 1972, 134:746-750
70. Makley J.T., The effect of reduced barometric pressure on fracture healing in rats. *J Bone Joint Surg Am.* 1967 Jul;49(5):903-14.
71. Green Y., La thérapie hyperbare dans la prise en charge des plaies chroniques, Journée «plaies et cicatrisation», Hôpitaux Universitaires de Genève, 16.06.2011
72. Doherty M.J., Partial seizure provoked by HBO: possible mechanisms and implications. *Epilepsia* 2005; 46: 974-6.
73. Poisot D., Accidents survenus au cours de traitements hyperbares dans le service du centre hospitalier de Bordeaux. *Bull Medsubhyp* 1987;6:84-91.
74. Clark J.M., Rate of development of pulmonary O<sub>2</sub> toxicity in man during O<sub>2</sub> breathing at 2.0 Ata. *J Appl Physiol* 1971; 30: 739-52.
75. Louge P., SDRa après OHB prolongée: un cas d'intoxication pulmonaire à l'O<sub>2</sub> ? *Ann Fr Anesth Réanim* 2001; 20: 559-62.
76. Clark J.M., Oxygen Toxicity. In: BennettP, ElliottD, Eds. *The physiology and medicine of diving.* 5th edit. Londres: WB Saunders Company Ltd; 2003
77. Harabin A.L., An analysis of decrements in vital capacity as an index of pulmonary oxygen toxicity. *J Appl Physiol* 1987; 63: 1130-5.
78. Palmqvist B.M., Nuclear cataract and myopia during hyperbaric oxygen therapy. *B J Ophthalmo* 1984;68:113-7.
79. Dennog C., Detection of DNA damage after hyperbaric oxygen therapy. *Mutagenesis* 1996; 11: 603-9.
80. Millien J.P., Neviere R., Intérêt de la mesure des PtcO<sub>2</sub> et du flux Doppler laser en oxygénothérapie hyperbare : Laboratoire d'explorations fonctionnelles vasculaires non invasives, *Artères et veines*, 1994 ;13(6) : 325-332
81. Oriani G., Campagnoli P., Transcutaneous oxymetry. In : Oriani G, Marroni A, Wattel F, eds. *Handbook on hyperbaric medicine.* Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag, 1996 : 661-9.
82. Rossetti M., Oriani G., Monitoring of clinical parameters in hyperbaric chamber. In : Oriani G, Marroni A, eds. *Handbook on hyperbaric medicine.* Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag, 1996 : 625-45.

83. Campagnoli P., Oriani G., Prognostic value of tcPO<sub>2</sub> during hyperbaric oxygen therapy. *J Hyperb Med* 1992 ; 7 : 223-8.
84. Mathieu D., Nevière R., Transcutaneous oxymetry in hyperbaric medicine. In : Oriani G, Marroni, eds. *Handbook on hyperbaric medicine*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag, 1996 : 687-98.
85. Sheffield P.J., Measuring tissue oxygen tension, *Undersea Hyper Med*, 1998; 25(3): 186
86. Sheffield P.J., Workmann W.T., Non-invasive tissue oxygen measurements in patients administered normobaric and hyperbaric oxygen by mask. *Hyperb Oxygen Rev* 1985 ; 6 : 47-62.
87. Smart D.R., Bennett M.H., Transcutaneous oximetry, problem wounds and hyperbaric oxygen therapy, *Diving and Hyperbaric Medicine*, 2006; 36(2):72-77
88. Bigelow W.G., The microcirculation: some physiological and philosophical observations concerning the peripheral vascular system. *Can J Surg* 1964; 7: 237-50.
89. Okuboye J.A., Colin C., The use of hyperbaric oxygen in the treatment of experimental frostbite. *Can J Surg* 1968; 11:78-84.
90. Gage A.A., Ishikawa H., Experimental frostbite. The effect of hyperbaric oxygenation on tissue survival. *Cryobiology*. 1970; 7 (1): 1-8.
91. Hardenbergh E., Hyperbaric oxygen treatment of experimental frostbite in the mouse. *J Surg Res* 1972; 12 (1): 34-40.
92. Ledingham IM. Some clinical and experimental applications of high pressure oxygen. *Proc Roy Soc Med* 1963; 56: 999-1002.
93. Smith G., Therapeutic applications of oxygen at two atmospheres pressure. *Dis Chest* 1964; 45: 15-23.
94. Perrins E.R., Bissonnette R., Frostbite, a new adjunct in treatment. *JAMA* 1965; 194:211.
95. Ward M.P., Garnham J.R., Frostbite: general observations and report of cases treated by hyperbaric oxygen. *Proc Roy Soc Med* 1968; 61 (8): 787-9.
96. Wilson J.A., Cold injury : report of an unusual case. *Alaska Med*. 1968;10(4):172-174.
97. Cade S., *Brit J Surg* 1944; 32 : 12
98. Cooke J.N., Hyperbaric oxygen treatment in the Royal Air Force. *Proc Roy Soc Med* 1971; 64 (9): 881-2.
99. Maurel J.L., Les gelures à propos de 5 observations traitées par OHB à Grenoble. Thèse, Université de Grenoble, 1971.
100. Sainty J.M., Amoros J.F., A propos de deux cas de gelures guéris après traitement par OHB. *Med Aero Spat et Med Sub Hyp* 1979; 18 (70).
101. Thom S.R., Strauss M.B., Frostbite: pathophysiology, treatment and role of hyperbaric oxygen. *Hyperbaric Oxygen Rev* 1985; 6: 99-113.
102. Von Heimburg D., Noah E.M., Sieckmann U.P., Hyperbaric oxygen treatment in deep frostbite of both hands in a boy. *Burns* 2001; 27 (4): 404-8.
103. Finderle Z, Cankar K., Delayed treatment of frostbite injury with hyperbaric oxygen therapy: a case report. *Aviat Space Environ Med* 2002; 73 (4): 392-4.
104. McCrary B., Hursh T., Hyperbaric oxygen therapy for a delayed frostbite injury. *Wounds* 2005; 17 (12): 327-31.

105. Ay H., Yildiz S., The treatment of deep frostbite with hyperbaric oxygen. *Injury Extra* 2005; 36: 499-502.
106. Mekjavic I.B., Hyperbaric oxygen as an adjunct treatment of freezing cold injury. In *Prevention of Cold Injuries* (pp. 16-1 – 16-4). Meeting Proceedings RTO-MP-HFM-126, Paper 16. Neuilly-sur-Seine, France: RTO. Available from: <http://www.rto.nato.int/abstracts.asp>.
107. Folio L.R., Arkin K., Frostbite in a mountain climber treated with Hyperbaric oxygen: a case report. *Mil Med* 2007; 172 (5): 560-3.
108. 7th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine, Lille, 2004
109. Acclimatement au froid – DU Ergonomie disponible sur [www.ergonomie.chups.jussieu.fr](http://www.ergonomie.chups.jussieu.fr)
110. Froid et santé. Eléments de synthèse bibliographique et perspectives. Rapport d'investigation, Institut de Veille Sanitaire, disponible sur [www.invs.fr](http://www.invs.fr)
111. Refroidissement éolien, site d'Environnement Canada, disponible sur [www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=5FBF816A-1#table1](http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=5FBF816A-1#table1)
112. Richalet J.P., Herry J.P., La thermorégulation, Médecine de l'alpinisme, éd. 2nd ed., Masson, Paris, 1999.
113. Gelures ; Vent; GuM - club de montagne; disponible sur <http://club.ffme.fr/gum38/securite/vent.htm>
114. Savourey G., Physiopathologie et prévention des troubles liés à l'exposition à la chaleur ou au Froid., 2003 Dec 45 ; 4-9
115. Thermographie infrarouge disponible sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermographie\\_infrarouge](http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermographie_infrarouge)
116. Dooley J.W., Mehm W.J., Non-invasive assessment of the vasoconstrictive effects of hyperoxygenation. *J Hyperb Med* 1990 ; 4 : 177-87.
117. Morandeira J.R., Bases Physiologiques pour un traitement rationnel des gelures, *Revue de l'Acomen*, 1999 ; 5(1) : 38 - 40



## ANNEXE 1.

### LE REFROIDISSEMENT EOLIEN DE SIPLE-PASSEL

Le refroidissement éolien de Siple-Passel (appelée aussi la température ressentie et windchill) est une tentative de quantifier ce que ressent la peau nue sèche en fonction de la température ambiante et de la vitesse du vent. | 89

L'indice de refroidissement éolien permet de prendre des mesures pour éviter les blessures causées par le froid.

Le risque de gelure augmente rapidement lorsque les valeurs de refroidissement éolien passent -27.

#### The wind chill index :

I. Confort avec les précautions normales.

II. Très froid, les déplacements deviennent inconfortables par temps couvert.

III. Froid mordant, les déplacements deviennent inconfortables, mêmes par temps clair et ensoleillé.

IV. Des gelures commencent à s'observer, selon le degré d'activité, l'intensité du rayonnement solaire, la circulation sanguine et les caractéristiques de la peau. Les déplacements et la vie dans des abris temporaires deviennent désagréables.

V. Des efforts sont nécessaires pour survivre. Les régions du corps exposées gèlent en moins d'une minute.

#### The wind chill chart d'après (109)

Vitesse du vent en km/h	Température lue au thermomètre ambiant											
	10,0	4,4	-1,1	-6,7	-12,2	-17,8	-23,3	-28,9	-34,4	-40,0	-45,6	en C°
8	9	2,8	-2,8	-8,9	-14,4	-20,6	-26,1	-32,2	-37,8	-43,9	-49,4	en C°
16	4	-2,2	-8,9	-15,6	-22,8	-31,1	-36,1	-43,3	-50,0	-56,7	-63,9	en C°
24	2	-5,6	-12,8	-20,6	-27,8	-35,6	-42,8	-50,0	-57,8	-65,0	-72,8	en C°
32	0	-7,8	-15,6	-23,3	-31,7	-39,4	-47,2	-55,0	-63,3	-71,1	-73,3	en C°
40	-1	-8,9	-17,8	-26,1	-33,9	-42,2	-50,6	-58,9	-66,7	-75,6	-83,3	en C°
48	-2	-10,6	-18,9	-27,8	-36,1	-44,4	-52,8	-61,7	-70,0	-78,3	-87,2	en C°
56	-3	-11,7	-20,0	-28,9	-37,2	-46,6	-55,0	-63,3	-72,2	-80,6	-89,4	en C°
64	-3	-12,2	-21,1	-29,4	-38,3	-47,2	-56,1	-65,0	-73,3	-81,7	-91,1	en C°

#### **Risque de gelures :**

risque modéré, pas de danger si les vêtements sont adéquats

risque sévère, danger de gelures en 1 minute

risque très sévère, danger de gelures en 30 s.

Le Canada a été le premier pays à recommander une norme internationale pour le refroidissement éolien.

L'indice de refroidissement éolien (the wind chill index) d'Environnement Canada est exprimé en unités de température. Comme cet indice n'est pas la véritable température, mais représente le degré de « refroidissement » ressenti par la peau, il est indiqué sans le signe du degré.

L'indice de refroidissement éolien est basé sur la perte de chaleur au niveau du visage, la partie du corps la plus exposée aux températures basses extrêmes.

Par exemple, un vent soufflant à 32 km/h avec une température réelle de 10°C entraîne la même sensation au niveau du visage qu'une température de 0°C par temps calme.

**Grille du refroidissement éolien utilisé par Environnement Canada (110, 111)**

Refroidissement éolien	Risques de gelure	Autres risques pour la santé	CAT
0 à -9	<b>faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>légère augmentation de l'inconfort;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>s'habiller chaudement;</li> <li>demeurer au sec;</li> </ul>
-10 à -27	<b>faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>inconfortable.</li> <li>risque d'<u>hypothermie</u> si la personne se trouve à l'extérieur pendant de longues périodes sans protection adéquate ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>porter des couches de vêtements chauds, avec une couche extérieure résistante au vent ;</li> <li>porter un chapeau, des gants isolants, un foulard et des chaussures isolantes et imperméables ;</li> <li>demeurer au sec;</li> <li>rester actif;</li> </ul>
-28 à -39	<b>risque</b> : la peau exposée peut geler en 10 à 30 minutes	<ul style="list-style-type: none"> <li>risque de <u>gelure très superficielle</u> ou de <u>gelure</u> ; surveiller les engourdissements ou les blancheurs au visage et aux extrémités ;</li> <li>risque d'<u>hypothermie</u> si la personne se trouve à l'extérieur pendant de longues périodes sans vêtements adéquats ou sans abri contre le vent et le froid ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>porter des couches de vêtements chauds, avec une couche extérieure résistante au vent ;</li> <li>couvrir la peau exposée;</li> <li>porter un chapeau, des gants isolants, un foulard, un masque, des chaussures isolantes et imperméables ;</li> <li>demeurer au sec;</li> <li>rester actif;</li> </ul>
-40 à -47	<b>risque élevé</b> : la peau exposée peut geler en 5 à 10 minutes*	<ul style="list-style-type: none"> <li>risque élevé de <u>gelure</u> : surveiller les engourdissements ou les blancheurs au visage et aux extrémités ;</li> <li>risque d'<u>hypothermie</u> si la personne se trouve à l'extérieur pendant de longues périodes sans vêtements adéquats ou sans abri contre le vent et le froid ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>porter des couches de vêtements chauds, avec une couche extérieure résistante au vent ;</li> <li>couvrir toute la peau exposée ;</li> <li>porter un chapeau, des gants isolants, un foulard un masque, des chaussures isolantes et imperméables ;</li> <li>demeurer au sec;</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• rester actif;</li> </ul>
-48 à -54	<b>risque très élevé</b> : la peau exposée peut geler en 2 à 5 minutes*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• risque très élevé de gelure : surveiller souvent les engourdissements ou la blancheur du visage et des extrémités ;</li> <li>• risque sérieux d'hypothermie si la personne se trouve à l'extérieur pendant de longues périodes sans vêtements adéquats ou abri du vent et du froid ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• être prudent. Porter des couches de vêtements chauds, avec une couche extérieure résistante au vent ;</li> <li>• <b>couvrir toute la peau exposée</b> ;</li> <li>• porter un chapeau, des gants isolants, un foulard, un masque, des chaussures isolantes et imperméables ;</li> <li>• <b>être prêt à réduire la durée de vos activités extérieures et même, à les annuler</b> ;</li> <li>• demeurer au sec;</li> <li>• rester actif;</li> </ul>
-55 et plus froid	<b>risque extrêmement élevé</b> : la peau exposée peut geler en moins de 2 minutes*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DANGER!</b> Les conditions extérieures sont <b>dangereuses</b> ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>demeurer à l'intérieur;</b></li> </ul>

\*En présence de vents soutenus de plus de 50 km/h, des gelures peuvent apparaître plus rapidement qu'indiquée.

## ANNEXE 2. PRÉVENTION DES GELURES

Le danger des gelures vient de leur installation insidieuse et leurs séquelles fonctionnelles potentiellement invalidantes (**1, 16, 21, 111, 112, 113**).

### LA PROTECTION VESTIMENTAIRE

Pour une protection maximale, le mieux est de :

- ✓ Recouvrir systématiquement toutes les parties découvertes pour laisser un minimum de la peau sans vêtement.
- ✓ Préférer plusieurs couches à un seul vêtement épais et ensuite les recouvrir par une couche imperméable. L'air contenu entre les différentes couches va augmenter l'isolation vis-à-vis au froid et une couche imperméable permettra de garder les vêtements au sec.
- ✓ Préférer les vêtements en laine.
- ✓ Assurer une bonne protection thermique de la tête, par exemple le bonnet prenant bien les oreilles (jusqu'à 40 % de la chaleur corporelle est perdue par la tête).
- ✓ Protéger les yeux par des lunettes.
- ✓ Prévoir des chaussures, des chaussettes et des gants bien isolants, n'entraînant aucune striction ni compression.
- ✓ Des gants avec sous-gants ainsi que les chaussettes doivent être régulièrement séchés.

- ✓ Éviter le contact direct des mains avec des objets métalliques froids.
- ✓ Il faudra apporter beaucoup de soin au choix des vêtements. Ils doivent être adaptés au refroidissement éolien.

**Adaptation des tenues au refroidissement éolien. D'après (112)**

Type de tenue	Pouvoir isolant (Clo)*
Ensemble de couchage arctique	10
Vêtement d'expédition arctique	5
Vêtement d'hiver	2
Vêtement moyen	1
Tenue légère d'été	0,5
Tenue de sport	0,3

\*Clo : 1 Clo=isolation vestimentaire nécessaire pour obtenir la neutralité thermique d'un sujet au repos dans une ambiance à 21°C sans vent.

Il existe sur le marché à notre disposition, de nouvelles fibres permettant une bonne protection de la peau contre le froid, tout en limitant les phénomènes de transpiration. C'est par exemple Tee-shirt Technical wear Gibaud ®. On peut également retrouver des articles chauffants (chaussettes, ceintures, poignets, genouillères, etc Gamme Thermotherapy de Gibaud ®).

**LA PREVENTION CONTRE LE FROID REPOSE ÉGALEMENT SUR :**

- ✓ Un réchauffement régulier des extrémités.
- ✓ La perte de sensibilité est le premier signe de gelure qui apparaît. Dès que cela arrive, il faudra agiter et masser les membres, laisser pendre les jambes quelques minutes et éventuellement desserrer les sangles (par exemple les sangles de sac à dos) qui compriment les racines des membres.
- ✓ L'absorption de boissons chaudes en grande quantité pour éviter la déshydratation.
- ✓ En groupe, une surveillance mutuelle et régulière du nez, des oreilles et des joues.
- ✓ L'élimination du tabagisme et de la consommation de caféine qui induisent une vasoconstriction périphérique.
- ✓ L'alcool est à éviter. La consommation d'alcool aggrave l'hypothermie par vasodilatation périphérique.
- ✓ Avoir toujours dans son sac le kit de survie contenant la nourriture (des barres de céréales, des fruits secs), les boissons (un thermos idéalement, pour conserver des boissons chaudes en réserve), une paire de chaussettes et des gants de rechange, un traitement à visée préventive par un antiagrégant plaquettaire et un vasodilatateur, une substance grasse protectrice (la vaseline), une lampe de poche, un téléphone portable.

- ✓ Prévention médicamenteuse est parfois proposée par aspirine 500 mg le matin de la course pendant la pratique de haute altitude.
- ✓ Dans les mesures d'acclimatation, certains auteurs conseillent également des immersions répétées des extrémités dans l'eau froide (quelques degrés) à raison de 2 fois par jour pendant 1 mois. Cela pourrait induire une adaptation locale...
- ✓ **...et avant tout... prévenir quelqu'un de sa destination et de son heure prévue d'arrivée !**

### **ANNEXE 3. BLESSURES LIEES AU FROID SANS CONGELATION DES TISSUS**

#### **LE PIED D'IMMERSION<sup>14</sup> (16, 21)**

Il survient lorsque les pieds sont humides, mais non gelés, pendant plusieurs jours ou semaines. Il se produit à des températures positives et se caractérise par l'atteinte, surtout, des muscles et des nerfs. Le pied d'immersion est une lésion érythémateuse (ou parfois cyanotique), douloureuse et se manifeste par une sensation de prurit, des picotements et des paresthésies. Il peut être accompagné par l'oedème et des phlyctènes. Dans les cas sévères, il peut conduire vers une nécrose.

#### **LE PIED DE TRANCHEE (trench foot) (16, 21, 114)**

Il est considéré par certains comme une variante clinique des gelures. Il peut survenir suite à une exposition prolongée (24 à 36 heures) des extrémités inférieures à un froid humide, à la température supérieure à 0 °C mais inférieur à 15 °C .

Elle est favorisée par le port de vêtements et de chaussures serrés. L'apparition des symptômes peut survenir entre quelques heures et plusieurs jours. Le pied est froid, blanc jaunâtre, avec un oedème important. Au réchauffement, on observe une hyperhémie douloureuse et parfois des phlyctènes. Il existe des troubles de la sensibilité qui peuvent persister pendant des mois.

Très rarement il conduit vers une gangrène.

**Le pied de tranchée risque davantage de se produire à basses températures, alors que le pied d'immersion survient généralement à des températures plus élevées et après une exposition plus longue.**

#### **LES ENGELURES (16, 21, 114)**

Ce sont des lésions érythro-cyaniques des extrémités, associées à un oedème et un prurit intense qui se majore au réchauffement. On peut parfois observer des phlyctènes qui se transforment ensuite en érosions superficielles.

---

<sup>14</sup> Plus rarement, il peut s'agir de la main

Les engelures n'ont rien à voir avec les gelures. Elles font partie de l'hypersensibilité au froid et sont déclenchées par l'exposition prolongée (plusieurs heures) à des températures situées entre 0°C et 16°C.

Les engelures apparaissent au niveau des orteils, des talons, des doigts, du nez ou des oreilles, dans le contexte d'un terrain vasculaire particulier (le phénomène de Raynaud<sup>15</sup> ou l'acrocyanose<sup>16</sup>). Elles siègent préférentiellement aux pieds.

Leur pathogénie n'est pas bien connue. Histologiquement, ce sont des lésions inflammatoires épidermiques et dermiques, caractérisées par un infiltrat lymphocytaire périvasculaire et périsudoral et conduisant à une spongiose. Il n'y a pas de vascularite nécrosante. Des thrombus sont rarement retrouvés dans les capillaires.

La cause des engelures est une vasoconstriction prolongée, déclenchée par le froid, provoquant une hypoxie cutanée.

La prise de certains médicaments serait donc déconseillée (vasoconstricteurs par voie orale ou nasale, bêtabloquants).

Les engelures pouvant être aussi favorisées par des traumatismes locaux (blessures par des chaussures neuves ou des chaussures de ski)

Les engelures ont été rapportées cinq fois plus souvent chez les femmes. Elles sont habituellement chroniques. Elles régressent spontanément en 2 à 3 semaines, sans séquelles, mais peuvent récidiver dans 80 % des cas. Des antécédents familiaux ont été également retrouvés.

L'engelure peut parfois évoluer en passant par une phase ecchymotique, laissant des petites taches brunes, ce qui facilite le diagnostic a posteriori.

C'est une pathologie bénigne. Les engelures sont réversibles après un réchauffement des zones atteintes

---

<sup>15</sup> **Le phénomène de Raynaud** est un accès d'ischémie au niveau des doigts et parfois des orteils, déclenché par le froid. Le syndrome n'atteint jamais le pouce. Ce phénomène est réversible en quelques minutes. Les doigts deviennent blancs, puis bleus, puis rouges au fur et à mesure qu'ils se réchauffent.

La phase blanche s'accompagne d'une sensation de peau cartonnée et rétractée, généralement au niveau des deux dernières phalanges (21).

Pendant la phase bleue les doigts raidissent comme des « baguette de tambour ».

La phase rouge termine la crise en donnant aux doigts un aspect congestif mais indolore.

<sup>16</sup> **L'acrocyanose** est une hypersensibilité au froid permanente. Elle se présente par une cyanose indolore et symétrique des extrémités, associées souvent à l'hyperhidrose (21).

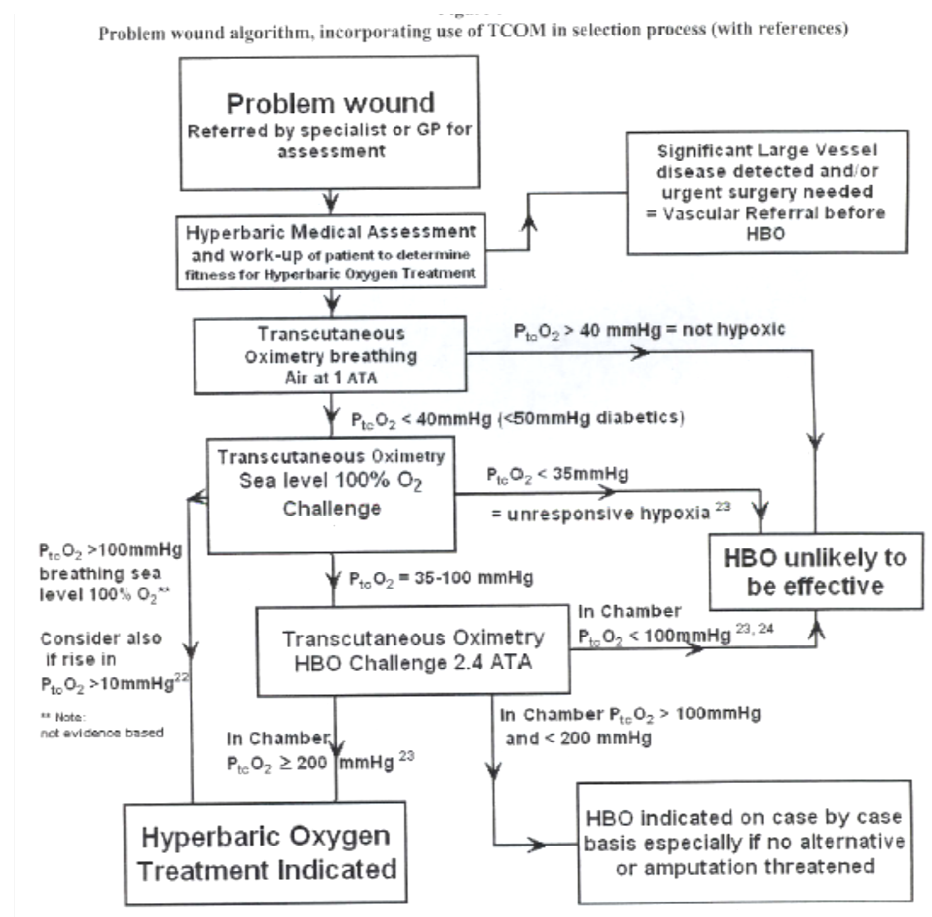
**ANNEXE 4 (115).**

*La thermographie infrarouge permet de mesurer la température d'un objet cible à partir des ses émissions d'infrarouges en utilisant la caméra infrarouge. La simple visualisation thermique, mais sans mesure de température, s'effectue au moyen d'un imageur infrarouge. La thermographie infrarouge étudie les gradients de température dans les parties touchées par des troubles vasculaires.*

*La thermographie aux micro-ondes détermine la température de l'objet à partir de la mesure des signaux de bruits thermiques émis par cet objet. Cette méthode diagnostique met en évidence l'existence de gradients thermiques dans les tissus sous investigation.*

**ANNEXE 5 (87).**

**Algorithme d'évaluation du débit sanguin d'oxygène au niveau des tissus hypoxiques avec PtcO<sub>2</sub>.**



## **ANNEXE 6. (18, 108)**

Indications de l'OHB acceptées par l'ensemble de la Communauté médicale en Europe et définies selon la méthodologie des Conférences de Consensus.

1ère Conférence Européenne de Consensus sur la Médecine Hyperbare, Lille, 1994.

### **Classement selon le type de recommandation :**

**Pathologies avec recommandation de type I** : pathologies pour lesquelles l'utilisation de l'OHB, dans les délais les plus brefs est **hautement recommandée**, car celle-ci peut modifier le pronostic vital.

**Pathologies avec recommandation de type II** : pathologies pour lesquelles l'utilisation de l'OHB est **recommandée** car celle-ci peut modifier ou empêcher l'apparition de troubles fonctionnels sérieux.

**Pathologies avec recommandation de type III** : pathologies pour lesquelles l'utilisation de l'OHB est **optionnelle**.

### **Classement selon le niveau de preuves médicales:**

**Niveau A** : recommandation basée sur au moins deux vastes études prospectives contrôlées, randomisées et en double aveugle, ne présentant pas ou seulement un faible niveau d'erreur méthodologique.

**Niveau B** : recommandation basée sur des études contrôlées, randomisées et en double aveugle mais présentant un biais méthodologique, soit concernant un petit échantillon de sujets soit encore concernant une seule étude.

**Niveau C** : recommandation basée sur des indications consensuelles

**Niveau D** : recommandation basée sur des études non contrôlées (études rétrospectives, études de cohorte, etc...) sans indications consensuelles.

**Niveau E** : absence d'évidence d'une action bénéfique ou biais méthodologique ou biais d'interprétation qui ne permet pas de préjuger d'une conclusion.

**Niveau F** : existence d'une évidence selon laquelle l'OHB n'apporte pas d'action bénéfique



### Indications de l'OHB reconnues ECMH /UHMS, recommandations de type I et II

CONDITION	ACCEPTED			NON ACCEPTED		
	Level of Evidence			Level of Evidence		
	A	B	C	D	E	F
<b>Type I</b>						
CO poisoning		X				
Crush syndrome		X				
Prevention of osteoradionecrosis after dental extraction		X				
Osteoradionecrosis (mandible)		X				
Soft tissue radionecrosis (cystitis)		X				
Decompression accident			X			
Gas embolism			X			
Anaerobic or mixed bacterial anaerobic infections			X			
<b>Type II</b>						
Diabetic foot lesion		X				
Compromised skin graft and musculocutaneous flap			X			
Osteoradionecrosis (other bones)			X			
Radio-induced proctitis / enteritis			X			
Radio-induced lesions of soft tissues			X			
Surgery and implant in irradiated tissue (preventive action)			X			
Sudden deafness			X			
Ischemic ulcer			X			
Refractory chronic osteomyelitis			X			
Neuroblastoma Stage IV			X			

| 97

### Indications de l'OHB, recommandations de type III

CONDITION	ACCEPTED			NON ACCEPTED		
	Level of Evidence			Level of Evidence		
	A	B	C	D	E	F
<b>Type III</b>						
Post anoxic encephalopathy			X			
Larynx radionecrosis			X			
Radio-induced CNS lesion			X			
Post-vascular procedure reperfusion syndrome			X			
Limb replantation			X			
Burns >20 % of surface area and 2nd degree			X			
Acute ischemic ophthalmological disorders			X			
Selected non healing wounds secondary to inflammatory processes			X			
Pneumatosis cystoides intestinalis			X			
<b>Others indications</b>						
Post sternotomy mediastinitis				X		
Stroke				X		
Sickle cell disease				X		
Malignant otitis externa				X		
Acute myocardial infarction				X		
Femoral head necrosis				X		
Retinitis pigmentosa					X	
Tinnitus					X	
Interstitial cystitis					X	
Facial (Bell's) palsy					X	
Cerebral palsy						X
Multiple sclerosis						X
Fetoplacental insufficiency						X

## ANNEXE 7.

### Questionnaire de l'étude. Version française.

Nom du médecin et Coordonnées mail :

| 98

Nom du centre hyperbare :

Nombre de places dans le centre hyperbare :

Nombre de séances par an :

#### 1. Y a-t-il, selon vous, une indication d'OHB dans le traitement des gelures ?

- OUI
- NON

#### 2. Avez-vous déjà traité des gelures dans votre centre hyperbare ?

- OUI
- NON

#### 3. Si oui à la question 2 :

3.1 Combien de patients avez-vous traité de 2006 à 2010 :

3.2 Sexe-ratio (hommes/femmes) :

3.3 Age moyen de ces patients :

#### 4. Gravité initiale sur le plan cutané :

4.1 Nombre de patients avec phlyctène clair :

4.2 Nombre de patients avec phlyctène hémorragique :

4.3 Nombre de patients avec nécrose :

4.3 Nombre de patients surinfecté :

| 99

#### 5. Gravité initiale sur le plan neurologique :

5.1 Nombre de patients sans atteinte neurologique :

5.2 Nombre de patients avec hypo ou dysesthésie :

5.3 Nombre de patients avec anesthésie :

#### 6. Traitement initial conventionnel (avec au moins antiagrégant, vasodilatateur et réhydratation) :

6.1 Nombre de patients ayant eu le traitement initial :

6.2 Nombre de patients n'ayant pas eu le traitement initial :

#### 7. Délai entre les premiers signes et le traitement hyperbare :

7.1 Nombre de patients traité par OHB dans les 72ères heures :

7.2 Nombre de patients traités par OHB entre J4 et J7 :

7.3 Nombre de patients traités par OHB entre J7 et J14 :

7.4 Nombre de patients traités après J14 :

#### 8. Nombre de séances d'OHB :

8.1 Nombre de patients ayant eu un maximum de 10 séances :

8.2 Nombre de patients ayant eu entre 11 et 15 séances :

8.3 Nombre de patients ayant eu entre 16 et 20 séances

8.4 Nombre de patients ayant eu plus de 20 séances :

### 9. Evolution immédiate après OHB :

9.1 Nombre de patients guéri :

9.2 Nombre de patients amélioré :

9.3 Nombre de patients paré chirurgicalement :

9.4 Nombre de patients amputé :

### 10. Evolution à 1 mois du traitement hyperbare

10.1 Nombre de patients guéri :

10.2 Nombre de patients avec séquelles invalidantes :

10.3 Nombre de patients amputé :

### 11. Evolution à 6 mois du traitement hyperbare

11.1 Nombre de patients guéri :

11.2 Nombre de patients avec séquelles invalidantes :

11.3 Nombre de patients amputé :

### 12. Si non à la question 2, précisez la ou les raisons de l'absence de traitement hyperbare :

- Indication non reconnue
- Indication non remboursée par les assurances
- Eloignement géographique du centre hyperbare
- Other:

13. Remarques :



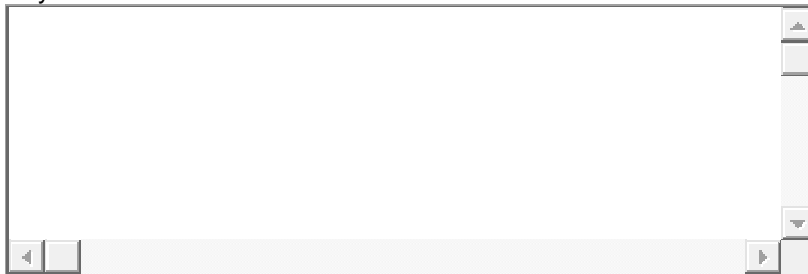
**Merci pour votre aide !**

Powered by [Google Docs](#)

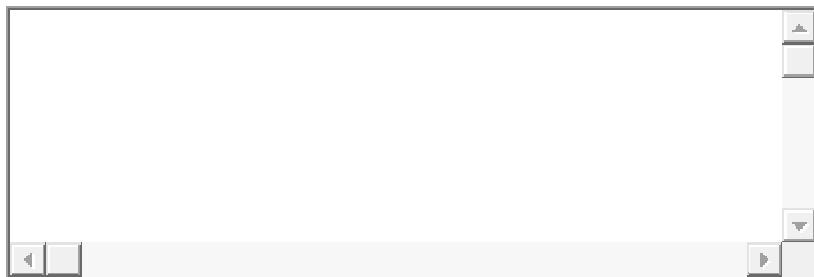
**ANNEXE 8.**

**Questionnaire de l'étude. Version anglaise.**

Physician's Name and Contact Email:



Name of the hyperbaric center:



Number of places in the hyperbaric center:

Number of sessions per year:

**1. Is there, in your opinion, an indication of HBO in the treatment of frostbites?**

- YES
- NO

**2. Have you ever treated frostbites in your center?**

- YES
- NO

**3. If you replied yes to question 2:**

| 102

3.1 How many patients with frostbites have you treated from 2006 to 2010 ? :

3.2 Sex-ratio (males/females)? :

3.3 The average age of these patients:

**4. Initial severity of the skin lesions:**

4.1 The number of patients with cyanosis and /or edema:

4.2 The number of patients with blister clear:

4.3 The number of patients with hemorrhagic blisters:

4.4 The number of patients with necrosis:

4.5 The number of patients with wound infection symptoms:

**5. Initial severity of nerve damage :**

5.1 The number of patients without any loss of feeling:

5.2 The number of patients with hypo-or dysesthesia:

5.3 The number of patients with anesthesia:

**6. Initial conventional treatment (at least antiplatelet, vasodilator and rehydration therapy):**

6.1 The number of patients with initial treatment :

6.2 The number of patients who did not have initial treatment:

**7. Delay between first symptoms and HBO treatment:**

7.1 The number of patients treated with HBO in the first 72 hours:

7.2 The number of patients treated with HBO between day 4 and day 7:

7.3 The number of patients treated with HBO between day 7 and day 14:

7.4 The number of patients treated after day 14:

### 8. The number of sessions of HBO:

8.1 The number of patients with a maximum of 10 sessions:

8.2 The number of patients who had between 11 and 15 sessions:

8.3 The number of patients who had between 16 and 20 sessions:

8.4 The number of patients with more than 20 sessions:

### 9. HBO therapy immediate effects:

9.1 The number of cured patients :

9.2 The number of patients showing improvement:

9.3 The number of patients surgically treated:

9.4 The number of amputee patients:

### 10. HBO treatment - 1 month evaluation :

10.1 The number of cured patients :

10.2 The number of patients with disabling sequelae:

10.3 The number of amputee patients:

### 11. HBO treatment – 6 months evaluation :

11.1 The number of cured patients:

11.2 The number of patients with disabling sequelae:

11.3 The number of amputee patients:

**12. If you replied NO to question 2, describe the reason for the absence of HBOT:**

- Indication unrecognized
- No insurance refund
- Geographical distance to the hyperbaric center
- Other:

| 104

Comments:

**THANK YOU FOR YOUR HELP !**

Powered by [Google Docs](#)

## **ANNEXE 9.**

**Lettre adressée aux caissons hyperbares, expliquant le but de l'étude.**

**Version française.**

Chers Collègues,

Je suis interne en troisième année de médecine générale à Brest en France. Cette année, j'ai suivi l'enseignement du DIU de Médecine Subaquatique et Hyperbare dans le cadre de mon projet professionnel. Le sujet particulièrement intéressant pour moi est celui de gelures. Malheureusement, actuellement, il existe très peu d'études sur l'efficacité de l'oxygénothérapie hyperbare dans la prise en charge de ce type de lésion.

L'objectif de cette étude européenne, étant le sujet de ma thèse, est d'évaluer rétrospectivement les effets bénéfiques de l'oxygénothérapie hyperbare sur les gelures en Europe. Son but est de fournir la preuve que l'OHB, comme traitement adjuvant, augmente le taux de guérison de gelures et réduit le risque d'amputation majeure chez ces patients.

Les résultats de cette enquête serviront également à initier l'essai clinique multicentrique prospectif randomisé impliquant l'utilisation de l'OHB comme adjuvant à la thérapeutique conventionnelle.

Je vous serais très reconnaissante de bien vouloir répondre à ce questionnaire.

Vos commentaires seront les bienvenus.

Cordialement,

Kolakowska Edyta



## **ANNEXE 10.**

**Lettre adressée aux caissons hyperbares, expliquant le but de l'étude.**

**Version anglaise.**

Dear Colleagues,

| 105

I am a third year resident of general medicine in Brest in France. This year, I have completed the training of the Underwater and Hyperbaric Medicine. While this training, I have found the use of Hyperbaric Oxygen Treatment (HBOT) to be particularly interesting in the management of frostbites. Unfortunately, currently, there are very few studies available.

The aim of this European study, being the subject of my thesis, is to retrospectively evaluate the beneficial effects of HBO on the healing of frostbites in Europe. Its purpose is to provide the evidence that HBOT as an adjunctive therapy has increased the healing rate of frostbites and has reduced the risk of major amputation in these patients.

The results of this investigation will also serve to initiate the prospective randomized multicenter clinical trial involving the use of HBOT as an adjunct to conventional therapy.

I would be most grateful if you could complete this questionnaire.

This questionnaire is available also in French. It is necessary to fill in only one version (depending on your personal choice).

All your comments are welcome.

Sincerely,

Edyta Kolakowska

## ANNEXE 11.

### Coordonnées e-mail des caissons hyperbares qui ont été sollicités lors de l'étude .

France (17)

[abarthelemy@ap-hm.fr](mailto:abarthelemy@ap-hm.fr) , [bertrand.delafosse@chu-lyon.fr](mailto:bertrand.delafosse@chu-lyon.fr) , [bjourne@chu-reims.fr](mailto:bjourne@chu-reims.fr) , [caisson@cmcpp.com](mailto:caisson@cmcpp.com) , [centre.hyperbare@chu-toulouse.fr](mailto:centre.hyperbare@chu-toulouse.fr) , [dmathieu@chru-lille.fr](mailto:dmathieu@chru-lille.fr) , [Eric.Bergmann@ch-toulon.fr](mailto:Eric.Bergmann@ch-toulon.fr) , [georges.gbikpi-benissan@chu-bordeaux.fr](mailto:georges.gbikpi-benissan@chu-bordeaux.fr) , [guy.cochard@chu-brest.fr](mailto:guy.cochard@chu-brest.fr) , [hyperbare@chu-nice.fr](mailto:hyperbare@chu-nice.fr) , [isarouq@club-internet.fr](mailto:isarouq@club-internet.fr) , [legouest.daru@dial.oleane.com](mailto:legouest.daru@dial.oleane.com) , [medsubhyp@wanadoo.fr](mailto:medsubhyp@wanadoo.fr) , [ohb.perpignan@wanadoo.fr](mailto:ohb.perpignan@wanadoo.fr) , [Pascal.Bilbault@chru-strasbourg.fr](mailto:Pascal.Bilbault@chru-strasbourg.fr) , [philippe.gajdos@rpc.ap-hop-paris.fr](mailto:philippe.gajdos@rpc.ap-hop-paris.fr) , [reanimationmedicale@chu-angers.fr](mailto:reanimationmedicale@chu-angers.fr)

| 106

Austria (2)

[frejja.smolle@kfunigraz.ac.at](mailto:frejja.smolle@kfunigraz.ac.at) , [harald.andel@meduniwien.ac.at](mailto:harald.andel@meduniwien.ac.at)

Belgium (11)

[idemeyer@olvz-aalst.be](mailto:idemeyer@olvz-aalst.be) , [karen.schoonheydt@zna.be](mailto:karen.schoonheydt@zna.be) , [Rea.arlon@clinsudlux.be](mailto:Rea.arlon@clinsudlux.be) , [Karel.vandevelde@azbrugge.be](mailto:Karel.vandevelde@azbrugge.be) , [medhyper@mil.be](mailto:medhyper@mil.be) , [daniel.jacobs@chu-charleroi.be](mailto:daniel.jacobs@chu-charleroi.be) , [alain.juvenois@chu-charleroi.be](mailto:alain.juvenois@chu-charleroi.be) , [luc.beaucourt@uza.be](mailto:luc.beaucourt@uza.be) , [hbo@zol.be](mailto:hbo@zol.be) , [fxnoel@chrcitadelle.be](mailto:fxnoel@chrcitadelle.be) , [hvbogaert@unicall.be](mailto:hvbogaert@unicall.be)

Bulgaria (1)

[oxygena@mail.bg](mailto:oxygena@mail.bg)

Czech Republic (5)

[michalhajek@email.cz](mailto:michalhajek@email.cz) , [michal.hajek@mnof.cz](mailto:michal.hajek@mnof.cz) , [info@polytech.cz](mailto:info@polytech.cz) , [sazel@ulz.cz](mailto:sazel@ulz.cz) , [almedea@centrum.cz](mailto:almedea@centrum.cz)

Denmark (2)

[finnjaco@rm.dk](mailto:finnjaco@rm.dk) , [hbo@rh.dk](mailto:hbo@rh.dk)

Finland (5)

[hei@kuorsaus.com](mailto:hei@kuorsaus.com) , [jari.suvilehto\(at\)kolumbus.fi](mailto:jari.suvilehto(at)kolumbus.fi) , [medioxygen\(at\)kolumbus.fi](mailto:medioxygen(at)kolumbus.fi) , [juha.perttila@tyks.fi](mailto:juha.perttila@tyks.fi) , [mikko.lappi@mil.fi](mailto:mikko.lappi@mil.fi)

Germany (26)

[HBO-Aachen@t-online.de](mailto:HBO-Aachen@t-online.de) , [druckkammer@khf.de](mailto:druckkammer@khf.de) , [hbo@hbo-bielefeld.de](mailto:hbo@hbo-bielefeld.de) , [hbo.bs@t-online.de](mailto:hbo.bs@t-online.de) , [hbobremen@aol.com](mailto:hbobremen@aol.com) , [hbo@med.uni-duesseldorf.de](mailto:hbo@med.uni-duesseldorf.de) , [info@hbo-duesseldorf.de](mailto:info@hbo-duesseldorf.de) , [info@hbo-rmt.de](mailto:info@hbo-rmt.de) , [info@hbo-freiburg.de](mailto:info@hbo-freiburg.de) , [hbo@medizin.uni-halle.de](mailto:hbo@medizin.uni-halle.de) , [mail@hbo-hh.de](mailto:mail@hbo-hh.de) , [info@hbo-h.de](mailto:info@hbo-h.de) , [dkzhd@t-online.de](mailto:dkzhd@t-online.de) , [info@ralfbusch.com](mailto:info@ralfbusch.com) , [hbo@bgu-murnau.de](mailto:hbo@bgu-murnau.de) , [tauchmedizin@bayern-mail.de](mailto:tauchmedizin@bayern-mail.de) , [hbo\\_offenbach@yahoo.com](mailto:hbo_offenbach@yahoo.com) , [info@hbo-osnabrueck.de](mailto:info@hbo-osnabrueck.de) , [info@oxymed.de](mailto:info@oxymed.de) , [post@oxymed.de](mailto:post@oxymed.de) , [info@HBO-Regensburg.de](mailto:info@HBO-Regensburg.de) , [praxis@mueller-kortkamp.de](mailto:praxis@mueller-kortkamp.de) , [hbo-zentrum-stuttgart@t-online.de](mailto:hbo-zentrum-stuttgart@t-online.de) , [info@dcs1-stuttgart.de](mailto:info@dcs1-stuttgart.de) , [info@hbo-rmt.de](mailto:info@hbo-rmt.de) , [HBO-Traunstein@t-online.de](mailto:HBO-Traunstein@t-online.de)

Hungary (1)

[info@baromedical.hu](mailto:info@baromedical.hu)

Ireland (2)

[hbot4u@gmail.com](mailto:hbot4u@gmail.com) , [info@oxygentherapycentre.co.uk](mailto:info@oxygentherapycentre.co.uk)

Luxemburg (1)

[hyperbar@chem.lu](mailto:hyperbar@chem.lu)

Norway (1)

[trykktanken@gmail.com](mailto:trykktanken@gmail.com)

Poland (4)

[hyperbar@ucmmit.gdynia.pl](mailto:hyperbar@ucmmit.gdynia.pl) , [hiperbaria@hiperbaria.pl](mailto:hiperbaria@hiperbaria.pl) , [oth@creator.wroc.pl](mailto:oth@creator.wroc.pl) ,  
[oth-lodz@creator.wroc.pl](mailto:oth-lodz@creator.wroc.pl)

Romania (1)

[info@medicinahiperbara.ro](mailto:info@medicinahiperbara.ro)

Scotland, United Kingdom (1)

[info@hyperbaricoxygentherapy.org.uk](mailto:info@hyperbaricoxygentherapy.org.uk)

Serbia (2)

[kbczdir@ptt.rs](mailto:kbczdir@ptt.rs) , [chm@scnet.rs](mailto:chm@scnet.rs)

Slovakia (2)

[svehlik@dodo.sk](mailto:svehlik@dodo.sk) , [hbo@hyperbarickakomora.sk](mailto:hbo@hyperbarickakomora.sk)

Slovenia (1)

[igor.mekjavic@ijs.si](mailto:igor.mekjavic@ijs.si)

Sweden (5)

[per.arnell@vgregion.se](mailto:per.arnell@vgregion.se) , [christer.hammarlund@skane.se](mailto:christer.hammarlund@skane.se) , [dag.benoni@ltblekinge.se](mailto:dag.benoni@ltblekinge.se) ,  
[folke.lind@karolinska.se](mailto:folke.lind@karolinska.se) , [lars.spetz@vgregion.se](mailto:lars.spetz@vgregion.se)

Switzerland (2)

[joerg.schmutz@hin.ch](mailto:joerg.schmutz@hin.ch) , [Jean-Yves.Berney@hcuge.ch](mailto:Jean-Yves.Berney@hcuge.ch)

The Netherlands (4)

[hbo@amc.uva.nl](mailto:hbo@amc.uva.nl) , [info@ivhg.nl](mailto:info@ivhg.nl) , [ivhg-rotterdam@planet.nl](mailto:ivhg-rotterdam@planet.nl) ,  
[woundcare@hyperbare-zuurstof.nl](mailto:woundcare@hyperbare-zuurstof.nl)

United Kingdom (13)

[hmu@hyperchamber.com](mailto:hmu@hyperchamber.com) , [maglover1@qinetiq.com](mailto:maglover1@qinetiq.com) , [pabothma@dsl.pipex.com](mailto:pabothma@dsl.pipex.com) ,  
[gerardladen@aol.com](mailto:gerardladen@aol.com) , [Lonsdalef@aol.com](mailto:Lonsdalef@aol.com) , [hyperbaric@manx.net](mailto:hyperbaric@manx.net) , [mdjs@dml.ac.uk](mailto:mdjs@dml.ac.uk) ,  
[doctor@londondivingchamber.co.uk](mailto:doctor@londondivingchamber.co.uk) , [mail@londonhyperbaric.com](mailto:mail@londonhyperbaric.com) , [enquiries@ddrc.org](mailto:enquiries@ddrc.org),

[enquiries@atlanticenterprise.co.uk](mailto:enquiries@atlanticenterprise.co.uk) , [admin@hyperbaricsystems.co.uk](mailto:admin@hyperbaricsystems.co.uk) ,  
[info@hyperbaric-medicine.co.uk](mailto:info@hyperbaric-medicine.co.uk)

Italy (25)

[analisi@tiscalinet.it](mailto:analisi@tiscalinet.it) , [anestpatinico@tiscali.it](mailto:anestpatinico@tiscali.it),  
[cameraiperbarica@aziendaospedalierapapardo.it](mailto:cameraiperbarica@aziendaospedalierapapardo.it) , [ciperbar@iperbole.bologna.it](mailto:ciperbar@iperbole.bologna.it) ,  
[cmi@villasalus.it](mailto:cmi@villasalus.it) , [dir@ilmi.it](mailto:dir@ilmi.it) , [gdeiaco@tin.it](mailto:gdeiaco@tin.it) , [gvezzanihyper@polaris.it](mailto:gvezzanihyper@polaris.it) ,  
[hboaneria.siracusa@libero.it](mailto:hboaneria.siracusa@libero.it) , [ibarica@compunet.it](mailto:ibarica@compunet.it) , [info@icedri.it](mailto:info@icedri.it) ,  
[info@iperbaricobolzano.it](mailto:info@iperbaricobolzano.it) , [info@iperbaricoravenna.it](mailto:info@iperbaricoravenna.it) , [info@otiservices.it](mailto:info@otiservices.it) ,  
[ipersrl@libero.it](mailto:ipersrl@libero.it) , [iperbaricabenevento@libero.it](mailto:iperbaricabenevento@libero.it) , [istiper@pccom.it](mailto:istiper@pccom.it) ,  
[istituto@terapiaiperbarica.com](mailto:istituto@terapiaiperbarica.com) , [luigimele74@hotmail.com](mailto:luigimele74@hotmail.com) , [m.brauzzi@usl9.toscana.it](mailto:m.brauzzi@usl9.toscana.it) ,  
[monica.rocco@uniroma1.it](mailto:monica.rocco@uniroma1.it) , [NIKE.OTI@TIN.IT](mailto:NIKE.OTI@TIN.IT) , [otimed@libero.it](mailto:otimed@libero.it) ,  
[rianimazione.marino@tiscali.it](mailto:rianimazione.marino@tiscali.it) , [uomispba@tin.it](mailto:uomispba@tin.it)

Kolakowska Edyta, Place de l'oxygénothérapie hyperbare dans le traitement des gelures : évaluations des pratiques européennes.

### **RESUME**

À l'heure actuelle, l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) ne fait pas partie des recommandations pour le traitement des gelures et pourtant elle est proposée par plusieurs spécialistes.

La gelure est une lésion tissulaire survenant lors d'une exposition prolongée et directe à une température inférieure à 0 °C. L'OHB pourrait être utile par le biais de l'amélioration de l'oxygénation locale, la limitation de l'œdème, la lutte contre l'infection et la stimulation des processus de cicatrisation. L'équipe du centre hyperbare de l'Hôpital de Sainte-Marguerite à Marseille avait traité les victimes de gelures avec des résultats très encourageants, ce qui nous a motivé à évaluer les pratiques concernant l'utilisation de l'OHB dans la prise en charge des gelures dans différents centres hyperbares Européens et vérifier, s'il avait existé un bénéfice thérapeutique. Il s'agit d'une étude réalisée à l'aide d'un questionnaire auprès des médecins exerçant aux caissons hyperbares en Europe. Sur 134 messages envoyés, 21 médecins avaient rempli le questionnaire. 86 % des spécialistes estimaient que théoriquement l'OHB pourrait être indiquée dans la prise en charge de gelures. Parmi les 25 patients inclus, 84 % avaient été atteints de gelures profondes et seulement 44% avaient bénéficié d'une prise en charge dans les premières 72 heures. Malgré la gravité des lésions et le délai de la prise en charge, nous avons constaté, qu'à 3 mois d'évolution, 88 % des patients avaient présenté une amélioration sur le plan cutané par rapport à l'état initial. Bien que notre étude ne soit pas d'une grande valeur statistique, elle permet toutefois de s'apercevoir du bénéfice thérapeutique que l'OHB pourrait apporter dans cette pathologie, y compris tardivement. En effet, des études prospectives larges seront nécessaires et justifiées.

### **ABSTRACT**

Role of hyperbaric oxygen therapy in the treatment of frostbite: evaluation of common practices in Europe.

Frostbite is a medical condition where the efficacy of hyperbaric oxygen therapy (HBOT) remains controversial and has not yet been proved scientifically. Frostbite is a tissue damage that occurs during prolonged and direct exposure to a temperature below 0°C. HBO is worth consideration as an adjunct therapy in frostbite management as it improves local oxygenation, reduces oedema, increases bactericidal activity and stimulates the healing process. Our study has been motivated by good clinical results in treatment of frostbites reported by the team of Hyperbaric Center in the Hospital of Sainte-Marguerite in Marseille. The main goal of this work was to describe the common practices while frostbite treatment in hyperbaric centers in Europe. Secondary endpoints were to verify if there was a therapeutic benefit of HBO in frostbite patients. Our questionnaire was sent to 134 hyperbaric chambers in Europe. 21 physicians completed the questionnaire. 86 % of these specialists agreed that HBO could theoretically be indicated in frostbite treatment. Among the 25 patients included in the study, 84 % were suffering from severe frostbites and only 44 % received HBO in the first 72 hours. Despite these facts, during the first 3 months of evolution, 88 % of patients showed improvement of skin lesions. Although the results did not meet statistical significance, these data suggest that using HBO as an adjunct therapy may be beneficial for patients suffering from frostbites, even at a late stage. Therefore, large prospective studies are necessary and justified.

**MOTS CLES** : gelure, oxygénothérapie hyperbare, adjuvant, pratiques

**KEY WORDS** : frostbite, hyperbaric oxygen therapy, adjunctive, common practices

### **JURY**

Président : Monsieur le Professeur BRESSOLLETTE Luc  
Membres : Monsieur le Professeur AUFFRAY Jean-Pierre  
Monsieur le Professeur L'HER Erwan  
Monsieur le Docteur COULANGE Mathieu

**DATE DE SOUTENANCE** : 31 octobre 2012

**ADRESSE DE L'AUTEUR** : ul. Kamienna 12 32 200 Miechow Pologne

