



**HAL**  
open science

# Effet de l'administration d'une pression expiratoire positive sur l'œdème pulmonaire infra-clinique

Anaïs Verbrugge

► **To cite this version:**

Anaïs Verbrugge. Effet de l'administration d'une pression expiratoire positive sur l'œdème pulmonaire infra-clinique . Médecine humaine et pathologie. 2016. dumas-01310554

**HAL Id: dumas-01310554**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01310554>**

Submitted on 20 Jun 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble : **thesebum@ujf-grenoble.fr**

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



**UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES  
FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE**

Année : 2016

N°

**EFFET DE L'ADMINISTRATION D'UNE  
PRESSION EXPIRATOIRE POSITIVE SUR L'OEDEME  
PULMONAIRE INFRA-CLINIQUE**

THÈSE  
PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

DIPLÔME D'ÉTAT

**VERBRUGGE Anaïs**

Née le 22/08/1985 à Lille

Thèse soutenue publiquement à la faculté de médecine de Grenoble le

DEVANT LE JURY COMPOSE DE

Président du jury : Pr. ESTÈVE François

Directeur : Dr BOUZAT Pierre

Membres : Dr. FAVRE JUVIN Anne

Dr. DOUTRELEAU Stéphane

*\*La Faculté de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

## LISTE DES UNIVERSITAIRES

---

### Liste des Professeurs d'université – Praticiens hospitaliers

ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie réanimation
APTEL Florent	Ophthalmologie
ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie générale
BALOSSO Jacques	Radiothérapie
BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
BARRET Luc	Médecine légale et droit de la santé
BENHAMOU Pierre Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
BERGER François	Biologie cellulaire
BONAZ Bruno	Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie
BONNETERRE Vincent	Médecine et santé du travail
BOSSON Jean Luc	Biostatistiques, informatique et communication
BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
BOUILLET Laurence	Médecine interne
BRAMBILLA Christian	Pneumologie
BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardio- vasculaire
CAHN Jean-Yves	Hématologie
CARPENTIER Françoise	Thérapeutique, médecine d'urgence
CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
CESBRON Jean-Yves	Immunologie
CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
CHAFFANJON Philippe	Anatomie
CHARLES Julie	Dermatologie
CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardio- vasculaire
CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
COHEN Olivier	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
COUTURIER Pascal	Gériatrie et biologie du vieillissement
CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
CURE Hervé	Oncologie
DE GAUDEMARIS Régis	Médecine et santé au travail
DEBILLON Thierry	Pédiatrie
DEMATTEIS Maurice	Addictologie
DESCOTES Jean-Luc	Urologie
EPAULARD Olivier	Maladies Infectieuses et Tropicales
ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
FAGRET Daniel	Biophysique et médecine nucléaire
FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie générale
FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
FEUERSTEIN Claude	Physiologie
FONTAINE Eric	Nutrition
FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GARBAN Frédéric	Hématologie, transfusion
GAUDIN Philippe	Rhumatologie
GAVAZZI Gaétan	Gériatrie et biologie du vieillissement
GAY Emmanuel	Neurochirurgie
GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
GUEBRE-EGZIABHER Fitsum	Néphrologie
HAINAUT Pierre	Biochimie, biologie moléculaire
HENNEBICQ Sylviane	Génétique et procréation
HOFFMANN Pascale	Gynécologie obstétrique
HOMMEL Marc	Neurologie
IMBERT Patrick	Médecine Générale

JOUK Pierre-Simon	Génétique
JUVIN Robert	Rhumatologie
KAHANE Philippe	Physiologie
KRACK Paul	Neurologie
KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie Médicale
LABARERE José	Epidémiologie, Economie de la santé
LANTUEJOUL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénéréologie
LEROUX Dominique	Génétique
LEROY Vincent	Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie
LETOUBLON Christian	Chirurgie générale
LEVY Patrick	Physiologie
MACHECOURT Jacques	Cardiologie
MAGNE Jean-Luc	Chirurgie vasculaire
MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MAURIN Max	Bactériologie-virologie
MERLOZ Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
MORAND Patrice	Bactériologie-virologie
MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MORO Elena	Neurologie
MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie
MOUSSEAU Mireille	Cancérologie
MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brûlologie
PALOMBI Olivier	Anatomie
PARK Sophie	Hémato-transfusion
PASSAGGIA Jean-Guy	Anatomie
PAYEN DE LA GARANDERIE J-Hervé	Anesthésiologie réanimation
PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation
PERNOD Gilles	Médecine vasculaire
PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PISON Christophe	Pneumologie
PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
POLACK Benoît	Hématologie
POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes
PONS Jean-Claude	Gynécologie obstétrique
RAMBEAUD Jacques	Urologie
REYT Émile	Oto-rhino-laryngologie
RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
ROMANET J. Paul	Ophtalmologie
SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologique
SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
SCHWEBEL-CANALI Carole	Réanimation médicale
SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses, maladies tropicales
STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale
TAMISIER Renaud	Physiologie
TERZI Nicolas	Réanimation
TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologique
TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
VANZETTO Gérald	Cardiologie
VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
ZAOUI Philippe	Néphrologie
ZARSKI Jean-Pierre	Gastro-entérologie, hépatologie, addictologie

## Liste des Maitres de Conférences d'Université – Praticiens hospitaliers

BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
BOISSET Sandrine	Agents infectieux
BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
BOUZAT Pierre	Réanimation
BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
BRIOT Raphaël	Thérapeutique, médecine d'urgence
CALLANAN-WILSON Mary	Hématologie, transfusion
DERANSART Colin	Physiologie
DETANTE Olivier	Neurologie
DIETERICH Klaus	Génétique et procréation
DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
GUZUN Rita	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
LAPORTE François	Biochimie et biologie moléculaire
LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
LARRAT Sylvie	Bactériologie, virologie
LONG Jean-Alexandre	Urologie
MAIGNAN Maxime	Thérapeutique, médecine d'urgence
MALLARET Marie-Reine	Epidémiologie, Economie de la santé et prévention
MARLU Raphaël	Hématologie, transfusion
MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
MCLEER Anne	Cytologie et histologie
MOUCHET Patrick	Physiologie
PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
RAY Pierre	Génétique
RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale, pharmaco clinique, addictologie
ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie, toxicologie et pharmacologie
SATRE Véronique	Génétique
SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, Economie de la santé et prévention
STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire

## REMERCIEMENTS

---

**Au Dr Pierre Bouzat,**

Pour votre expertise dans le domaine de l'altitude et vos corrections précieuses. Pour m'avoir aidée dans le temps à finaliser ce travail. Pour m'avoir inspiré l'idée de ce sujet d'étude.

**A Samuel Vergès,**

Pour le temps que vous m'avez accordé au laboratoire de biologie sur l'altitude. Pour vos conseils dans la création du protocole. Pour m'avoir prêté le système de PEP.

**Au Dr Anne Favre Juvin,**

Pour sa bienveillance et sa disponibilité ce jour pour juger ma thèse.

**Au Pr François Estève,**

Pour avoir accepté de juger mon travail aujourd'hui et de prendre la présidence de ce jury.

**Au Dr Stéphane Doutreleau,**

Pour avoir accepté de juger mon travail aujourd'hui et de m'apporter le point de vue d'un physiologue spécialisé en médecine du sport.

**Au Dr Zellner,**

Pour m'avoir offert l'opportunité de médicaliser le trail du Solukhumbu et votre confiance.

**A Marc Henri Van Anderlecht,**

Pour sa gentillesse et pour avoir mis à ma disposition le matériel de sa société Unicom.

**A Dawa et Annie Dachhiri Sherpa,**

Pour m'avoir fait confiance sur votre trail du Solukhumbu et m'avoir fait découvrir ce pays merveilleux.

**A Phu Sterling,**

Pour être venu me chercher à l'aéroport. Pour ses cours de népalais et pour la tsampa de sa maman.

**A Chhiring, Dorje et Chhokpa Sherpa,**

Pour votre accueil, votre gentillesse et la recette des momos maison.

**A Sonam et sharma du lodge Gokyo resort kishor,**

Pour leur aide dans l'installation de l'échographe sur leur batterie externe.

**A Thalak et Lakpa Nuru Num Sherpa du Cholapass lodge ,**

Pour l'électricité qu'ils m'ont offerte pour réaliser les échographies.

**A tous les coureurs du Solukhumbu trail 2014,**

Pour leur participation, leur intérêt pour ce travail, leur soutien, leur gentillesse et leur joie de vivre.

**A Stéphane Barré,**

Pour avoir partagé cette expérience, pour ses conseils et la sérénité qu'il m'a apportée.  
Pour l'énergie intelligente qu'il met dans l'association Pharefuge.

**A Samuel Gay, du service de réanimation d'Annecy,**

Pour le temps qu'il a consacré à m'apprendre à réaliser des échographies pleuro-pulmonaires.

**Aux Membres de l'ANMSN et du DIUMUM,**

Pour la qualité de la formation et des connaissances qu'ils m'ont transmises.

**Au Dr Eric Carpentier,**

Pour l'enseignement qu'il m'a transmis avec gentillesse et bienveillance.

Et plus personnellement :

**A mes parents,**

Pour leur amour, leur optimisme et leurs encouragements parfois insistants tout au long de ce travail de thèse. Pour m'avoir soutenue et accompagnée pendant le long processus d'apprentissage du métier de médecin. Pour leur investissement dans la re-lecture appréciable et rassurante.

**A Michael,**

Pour les fou-rires quotidiens, son amour et son courage.

**A ma sœur,**

Pour sa disponibilité et sa complicité. Pour m'avoir démontré qu'on finit toujours par soutenir sa thèse.

**A mon grand frère,**

Qui est un exemple de persévérance.

**A mon petit frère,**

Pour sa présence et sa démarche scientifique rigoureuse.

**A ma tante Isabelle et mon oncle Benoît,**

Pour leurs encouragements et leur présence pendant mes études de médecine.

**A Mylène,**

Pour son soutien à chaque fois que j'en ai eu besoin, son amitié et ses conseils.

**A Claire-Lise, Gaëlle et Stéphanie,**

Pour vos conseils, votre amitié, les vacances que l'on partage ensemble.

**A mes amies de girls to the top**

Pour nos projets, nos rêves et nos convictions. Pour les moments de bonheur passés avec vous.

**A mes copines du Groupe Féminin de Haute Montagne et Tanya, Luc, Seb et Victor,**

Pour nos joyeux weekends, votre amitié et ce projet fou d'expédition.

# TABLE DES MATIERES

---

Liste des universitaires.....	2
Remerciements.....	5
Table des matières.....	7
Abréviations.....	9
1. Résumé .....	10
1.1. Contexte.....	10
1.2. Objectif.....	10
1.3. Méthode .....	10
1.4. Résultats.....	11
1.5. Conclusion.....	11
2. Introduction.....	12
2.1. Contexte.....	12
2.2. Echographie pleuro-pulmonaire et comètes.....	12
2.3. La pression expiratoire positive.....	13
2.4. Objectif de l'étude.....	13
3. Matériel et méthode.....	14
3.1. Lieu et population de l'étude.....	14
3.2. Protocole.....	15
3.2.1. Examen clinique.....	15
3.2.2. La pression expiratoire positive (PEP).....	15
3.2.3. L'échographie pleuro-pulmonaire.....	16
3.2.4. Queues de comètes.....	18
3.2.5. Evaluation du confort respiratoire.....	18
3.3. Analyse statistique.....	19
4. Résultats.....	20
4.1. Sur le terrain.....	20
4.2. Effets cliniques de l'altitude.....	20
4.3. Effet de la PEP sur le nombre de comètes.....	21
4.4. Effet de la PEP sur la SpO <sub>2</sub> et symptômes.....	22
4.5. Effet de la PEP sur la PA.....	22
4.6. Effet de la PEP sur la FC.....	23
4.7. Tolérance de la PEP.....	23

5. Discussion.....	24
5.1. Limites.....	24
5.2. Validité externe.....	24
5.3. Biais.....	25
5. 4. En pratique.....	26
6. Conclusion.....	28
7. Bibliographie.....	29
8. Annexes.....	32
9. Serment d’Hippocrate.....	39

## ABRÉVIATIONS

---

**EPP** : Échographie Pleuro-Pulmonaire

**ESQ III AMS R** : respiratory subscore of the environmental Symptoms questionnaire

**FC** : Fréquence Cardiaque

**LLS** : Lake Louise Score

**LPEV** : Liquide Pulmonaire Extra Vasculaire

**MAM** : Mal Aigu de Montagne

**OCHA** : Oedème Cérébral de Haute Altitude

**OPHA** : Oedème Pulmonaire de Haute Altitude

**OPIC** : Oedème Pulmonaire infra-clinique

**PA** : Pression artérielle

**PEP** : Pression Expiratoire Positive

**SpO<sub>2</sub>** : Saturation pulsée en oxygène

**USLC** : Ultrasound Lung Comet

# 1. RESUME

---

## **1. 1. CONTEXTE**

Un œdème pulmonaire infra-clinique (OPIC) est fréquent chez les sujets exposés à la haute altitude. La quantité d'eau intra-pulmonaire peut être évaluée en échographie pleuro-pulmonaire (EPP) par l'intermédiaire du nombre de queues de comètes. Par ailleurs l'administration d'un masque avec pression expiratoire positive (PEP) est susceptible d'améliorer l'oxygénation systémique de sujets en haute altitude. Ainsi l'augmentation de l'oxymétrie de pouls induite par la PEP pourrait être liée à la réduction de l'extravasation d'eau intra-pulmonaire.

## **1. 2. OBJECTIF**

Le but de cette étude est d'évaluer par échographie pleuro-pulmonaire l'effet d'une PEP réglée à 10 cmH<sub>2</sub>O sur l'œdème pulmonaire infra-clinique d'altitude chez des sujets participants à un trail au Népal.

## **1. 3. MÉTHODE**

Une échographie pleuro-pulmonaire a été réalisée au repos chez 7 coureurs à PEP = 0 cmH<sub>2</sub>O puis à PEP = 10 cmH<sub>2</sub>O, à l'altitude habituelle de séjour, en-dessous de 3000 mètres et au-dessus de 3000 mètres pendant la réalisation du trail. Une mesure du nombre de queues de comètes a été effectuée sur 28 espaces intercostaux en antérieur et en latéral. La saturation pulsée en oxygène, la pression artérielle, le score de Lake Louise (LLS) et le confort ont également été évalués au moment de la réalisation de l'EPP. Les données sont exprimées en moyennes ± standard déviation. Les variables quantitatives ont été comparées à l'aide du test de Mann-Whitney et les variables qualitatives par test du Chi<sup>2</sup>. Un p <0,05 a été considéré comme statistiquement significatif.

## **1. 4. RÉSULTATS**

Au cours des 14 échographies en altitude nous avons retrouvé très peu d'images de comètes à 2700 mètres (n= 19 ou 2,71) comme à 4700 mètres d'altitude (n= 16 ou 2,29) et n'avons pas mis en évidence d'effet de la PEP sur le nombre de comètes. La mise en place d'une PEP 10 cmH<sub>2</sub>O a permis l'amélioration de la saturation pulsée en oxygène (SpO<sub>2</sub>= 93,14% sans PEP vs SpO<sub>2</sub>= 95,86% à PEP 10, p=0,04) à 2700 mètres comme à 4700 mètres (SpO<sub>2</sub>= à 85,14% sans PEP vs SpO<sub>2</sub>= 90,14% à PEP 10, p= 0,04).

## **1. 5. CONCLUSION**

Une acclimatation progressive chez des sujets masculins entraînés et non à risque permet de limiter l'apparition d'un œdème pulmonaire asymptotique. La mise en place d'une PEP 10 cmH<sub>2</sub>O permet une amélioration significative de la saturation pulsée en oxygène en hypoxie hypobarique en l'absence d'un œdème pulmonaire infra-clinique.

**Mots clefs:** PEP, EPP, altitude, comètes, SpO<sub>2</sub>, OPHA, l'œdème pulmonaire infra-clinique

## **2. INTRODUCTION**

---

### **2.1. CONTEXTE**

La diminution de la pression atmosphérique en altitude est responsable d'une hypoxie systémique à l'origine parfois d'un mal aigu de montagne (MAM), d'un œdème pulmonaire de haute altitude (OPHA) ou d'un œdème cérébral de haute altitude (OCHA). La sévérité de ces pathologies est reliée à la profondeur de la désaturation artérielle en oxygène. (Burtscher et al, 2004). L'OPHA résulte d'une vasoconstriction inhomogène des capillaires pulmonaires, de lésions ou de modifications de l'endothélium permettant une fuite protéique (érythrocytes et protéines de grande taille) et d'un défaut de réabsorption alvéolaire (rôle des canaux sodique) (Swenson et al, 2012) sans altération de la fonction cardiaque (Hulgren et al, 1996). Dans les 24 premières heures d'une exposition à l'altitude, une augmentation du liquide pulmonaire extra vasculaire (LPEV) a été décrite avec une prévalence de 74% (Cremona et al, 2002) et corrélée au score de Lake Louise et à la saturation en oxygène (Bouzat et al, 2013) sans signe clinique d'OPHA retrouvé.

### **2.2. ÉCHOGRAPHIE PLEURO-PULMONAIRE ET COMÈTES**

L'analyse de comètes, artefact en échographie pleuro-pulmonaire (EPP), est un outil validé dans l'évaluation du LPEV (Jambrik et al, 2004 ; Volpicelli et al, 2012 ; Picano et al, 2006). En haute altitude et en recherche, l'EPP a pour avantage d'être portatif, performant, non invasif, non irradiant, polyvalent, peu coûteux, reproductible, en temps réel, rapide et facile à maîtriser (Fagenholz et al, 2007 ; Lichtenstein et al, 1998). "Le mécanisme faisant qu'un œdème pulmonaire interstitiel évolue vers un œdème alvéolaire reste à élucider": c'est ce qu'écrivent Pratali et al, 2010 dans l'étude de 18 marcheurs en haute altitude pendant 3 semaines. Une augmentation du nombre de comètes a été observée chez l'ensemble des sujets avec un score corrélé à l'évaluation clinique par le score de Lake Louise et inversement à la saturation en oxygène. Trois sujets seulement présentaient des signes cliniques d'OPHA.

### **2. 3. LA PRESSION EXPIRATOIRE POSITIVE**

La pression expiratoire positive (PEP) est utilisée en médecine d'urgence afin d'améliorer les échanges gazeux respiratoires. Elle permet d'augmenter la pression intra-alvéolaire et donc d'améliorer les capacités de diffusion pulmonaire (modification du rapport A/E) ainsi que la saturation artérielle en oxygène (Agonstini et al, 2010). Plusieurs études ont mis en évidence l'amélioration de la saturation pulsée en oxygène via l'administration d'une PEP en condition d'hypoxie normobarique courte (Nespoulet et al, 2013), chez des sujets atteints de MAM (Johnson et al) ou d'œdème pulmonaire de haute altitude (OPHA) (Larson et al, 1985 ; Schoene et al, 1985). L'utilisation de la PEP dans le traitement des OPHA fait partie des recommandations de la Wilderness Medical Society grade 2B (Luks et al, 2014).

### **2. 4. OBJECTIF DE L'ÉTUDE**

Notre étude a pour but d'évaluer l'effet d'une PEP (10 vs 0 cm H<sub>2</sub>O) sur l'œdème pulmonaire interstitiel asymptotique en EPP via un score de queues de comètes et sur les signes cliniques (saturation en oxygène, pression artérielle, LLS) en haute altitude sur les coureurs d'un trail au Solukhumbu (Népal, Dawa experience) pendant 15 jours.

### 3. MATERIEL ET METHODE

#### 3.1. LIEU ET POPULATION DE L'ÉTUDE

Sept coureurs masculins (âge moyen  $51 \pm 13$  ans, IMC  $22,1 \pm 1,2$ ) d'un trail en haute altitude ont été interrogés et examinés à Katmandu (altitude 1350 mètres) afin d'éliminer des antécédents ou pathologies pouvant modifier leur adaptation à l'altitude (annexe 1, tableau 1). Le trail se déroule sur 15 jours, en novembre, dans les vallées du Solukumbu entre 1950 et 5550 mètres d'altitude et comprend 8 nuits au-dessus de 3000 mètres d'altitude (annexe 2). Aucun sujet n'a séjourné au-dessus de 1500 mètres le mois précédent. L'altitude moyenne de vie des sujets est de  $140 \pm 141$  mètres. Tous les sujets sont en bonne santé, normo-tendus, sans pathologie évidente métabolique ou cardiaque et non-fumeurs. La prise en charge médicale n'a pas été modifiée par l'étude et l'organisateur (dawa expérience) a donné son accord. Les coureurs sont tous volontaires et ont signé un consentement éclairé.

patient	Age (ans)	sexe	Alt de vie (m)	IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	ATCD MAM	ATCD	TAS /TAD (mmHg)	Pouls (/min)	Sat O <sub>2</sub> %
1	50	M	40	20,5	-	BBD/claustrophobie	130/79	57	98
2	50	M	480	21	oui	Migraine /TVPsur fracture de jambe /myopie opérée	135/87	67	98
3	62	M	82	24,1	-	diverticulose	176/74	62	97
4	43	M	82	22,1	-	claustrophobie	130/72	60	96
5	68	M	82	21,9	-	Hemothorax sur fractures costales	145/98	53	98
6	58	M	82	22	-	bronchite	125/71	73	97
7	27	M	135	23,4	-	Psychologique (lithium)	140/82	61	98

m : mètres, Kg : kilogrammes, ATCD : antécédents, MAM : mal aigu de montagne, TAS : tension artérielle systolique, TAD : tension artérielle diastolique, min : minutes, Sat O<sub>2</sub> : saturation en oxygène, BBD : bloc de branche droit, TVP : thrombose veineuse profonde

Tableau 1 : population de l'étude.

### **3. 2. PROTOCOLE**

Le même protocole a été répété sur les 7 sujets à leur altitude de vie, en-dessous de 3000 mètres puis au dessus de 3000 mètres. Un temps minimum de repos de 3 heures a été respecté entre la fin du temps de course et le début du protocole.

#### **3. 2. 1. EXAMEN CLINIQUE**

Une évaluation du mal aigu de montagne était réalisée par un questionnaire du score de Lake Louise, un respiratory subscore of the environmental Symptoms questionnaire (ESQ III AMS R) et la recherche de symptômes d'OPHA (au moins deux de ces signes : dyspnée de repos, toux, asthénie, oppression thoracique, associés à au moins deux de ces signes : crépitants à l'auscultation pulmonaire, cyanose, tachypnée, tachycardie en début et en fin de protocole (annexe 3). La présence d'un MAM était défini par un LLS >3 et un AMS-R >0,5, l'OPHA par la présence de 4/8 des signes cliniques (Pratali et al, 2010).

La saturation pulsée en oxygène et la fréquence cardiaque (FC) sont mesurés après réchauffement des extrémités dans le duvet et stabilisation du signal 30 secondes (oxymètre de pouls Nonin onyx vantage 9095) sans PEP, après 3 minutes de PEP 0 puis après 3 minutes de PEP 10.

La pression artérielle (PA) est prise au bras droit (Tensiomètre électronique à bras MICROLIFE TRAVEL KIT) sans PEP, au changement de champ pulmonaire sous PEP 0 et PEP 10.

#### **3. 2. 2. LA PRESSION EXPIRATOIRE POSITIVE (PEP)**

Chaque participant a réalisé une séance d'entraînement avec une PEP réglée à 0 puis 10 cmH<sub>2</sub>O durant 15 minutes à Katmandu. Il s'agit d'un modèle intrabuccal dont la valve est reliée à un système mécanique de résistance (Ambu PEEP®, 0-10 cmH<sub>2</sub>O, Ballerup, Danmark). Après 3 minutes d'installation du système de PEP réglé sur 0 cmH<sub>2</sub>O, une échographie pleuro-pulmonaire était réalisée et renouvelée après 3 minutes sous PEP 10cmH<sub>2</sub>O.

### 3. 2. 3. L'ÉCHOGRAPHIE PLEURO-PULMONAIRE

L'échographie pleuro-pulmonaire (EPP) était pratiquée après l'examen clinique sur les participants allongés, tête rehaussée, dans un duvet, au repos. L'appareil d'échographie portable est un modèle dDopp, uni-com medical, prêté par le fabricant via l'Ifremmont. La sonde utilisée est une sonde droite lin 40 fréquence centrale 9.0, champs 38mm (image 1 et 1bis). Le recensement des queues de comètes était réalisé selon le protocole décrit par Jambrik et al, 2004. Les images étaient enregistrées sur 28 espaces intercostaux localisés en parasternal, médio-claviculaire, antéro-axillaire et médio-axillaire du second au quatrième espace intercostale sur l'hémithorax gauche et jusqu'au cinquième espace intercostale sur l'hémithorax droit (image 2).



Image 1 : installation à Gokyo Ri 4800 mètres



Image 1bis : installation à Lobuche 4700 mètres.

## Anterior-lateral thorax

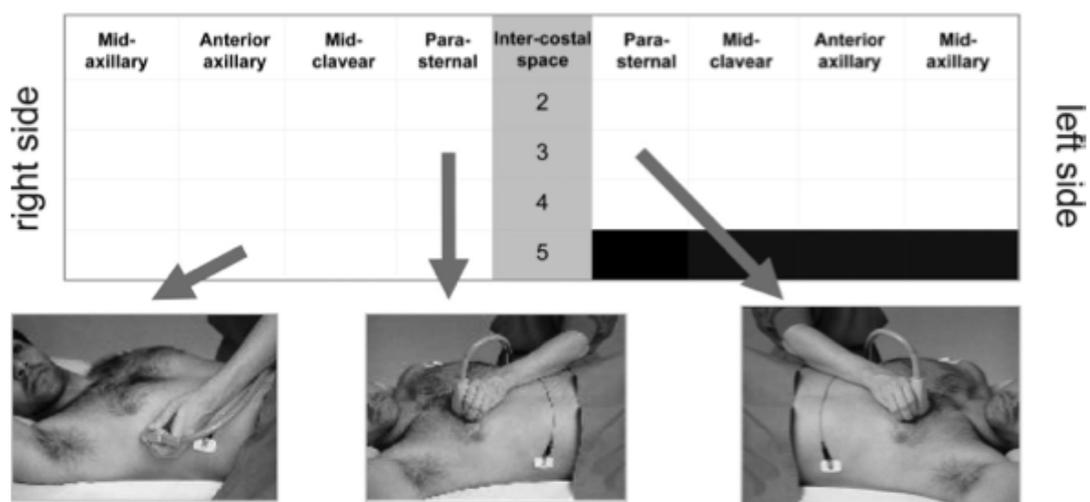
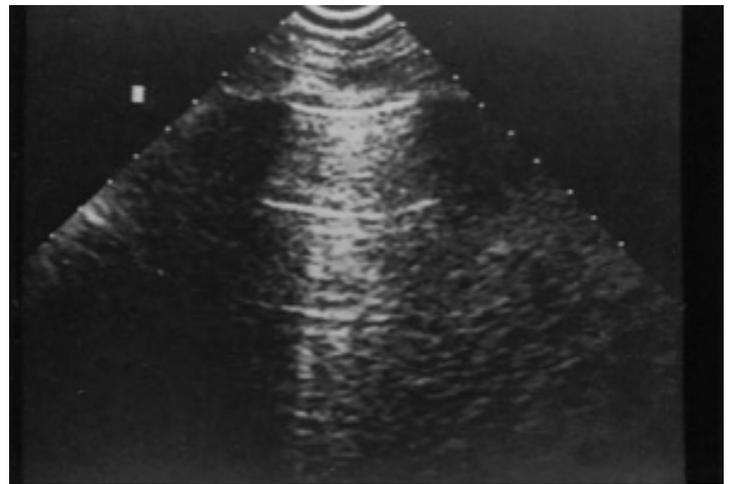
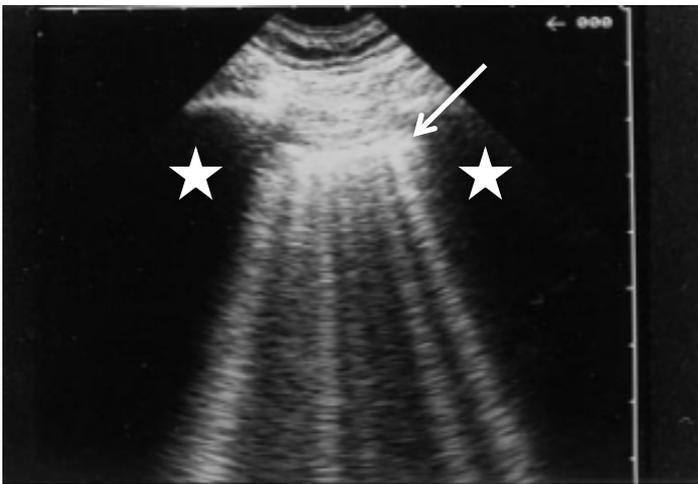


Image 2 : Méthode d'échographie pulmonaire selon le protocole de Jambrik

### **3.2.4. QUEUES DE COMÈTES**

Une queue de comète (USLC : Ultrasound Lung Comet) est définie comme une image hyperéchogène linéaire verticale bien définie qui prend son origine au niveau de la ligne pleurale, s'étend sur l'ensemble de l'écran sans faiblir et se déplaçant avec les mouvements de glissement du poumon (Volpicelli et al, 2011). Un nombre total de comètes inférieur ou égal à 5 était considéré comme physiologiquement normal (Jambrick et al, 2010).



A gauche : images en comètes typique chez un patient atteint d'un œdème pulmonaire aigu.

★ Ombre acoustique costale et ligne pleurale (flèche)

A droite : image chez un sujet normal avec réverbération de la ligne pleurale à intervalles réguliers sous forme de ligne hyperéchogènes parallèles.

Image 3 : IMAGES ECHOGRAPHIQUES, QUEUES DE COMETES ET SUJET NORMAL

### **3.2.5. ÉVALUATION DU CONFORT RESPIRATOIRE**

Une échelle visuelle analogique de 0-10 a été utilisée pour évaluer le confort de la PEP 0 et de la PEP 10.

### **3.3. ANALYSE STATISTIQUE**

Un test non paramétrique (Wilcoxon) a été utilisé pour comparer les conditions avec PEP 0 et avec PEP 10. Un seuil de significativité à  $p < 0,05$  a été utilisé pour déterminer les différences statistiquement significatives.

## 4. RESULTATS

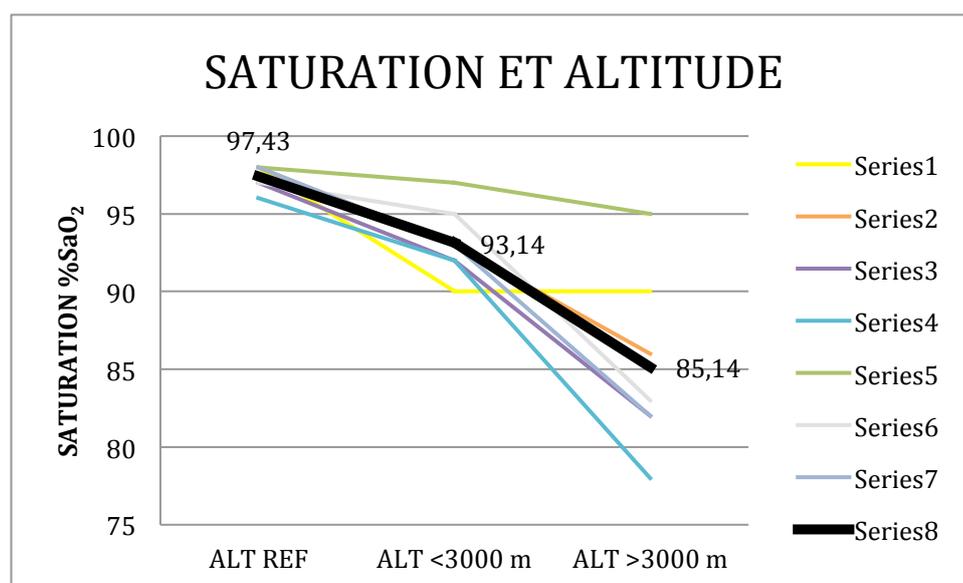
### 4.1. SUR LE TERRAIN

Nous avons réalisé une échographie à  $140 \pm 141$ m, à  $2684 \pm 88$  m puis à  $4729 \pm 45$  m). Un des sujets a une échographie de référence pathologique qui s'améliore en altitude. Deux participants ont été médicalisés : à J4 par acétalozamide pour un MAM et à J12 par de l'adalate en prise unique pour une dyspnée/toux ressentie à l'effort. Un autre participant a présenté une amélioration de ses capacités physiques notables vers 4700 mètres.

### 4.2. EFFETS CLINIQUES DE L'ALTITUDE

Le score de Lake Louise n'a été modifié qu'à partir de l'altitude 4729 mètres avec un score moyen de  $5 \pm 3,3$ . Il s'agissait d'asthénie dans 86% des cas, de troubles du sommeil dans 57% des cas, de difficulté respiratoire dans 43% des cas et de céphalées et de toux dans 29% des cas.

La saturation en oxygène a chuté en altitude de manière significative (Figure 1).



TREF : altitude de vie des sujets. ALT : altitude. REF : référence. m: mètres

Figure 1 : Evolution de la saturation en oxygène en fonction de l'altitude.

La pression artérielle n'a pas été modifiée par la progression en altitude.

### **4.3. EFFET DE LA PEP SUR LE NOMBRE DE COMÈTES**

Il n'y a pas eu d'épisode d'OPHA. Seules 3 des 14 échographies en altitude montrent un nombre de comètes pathologiques (> 5 USLC). La mise en place de la PEP n'a pas eu d'effet sur le nombre de comètes quelle que soit l'altitude (Figure 2 et Tableau 2).

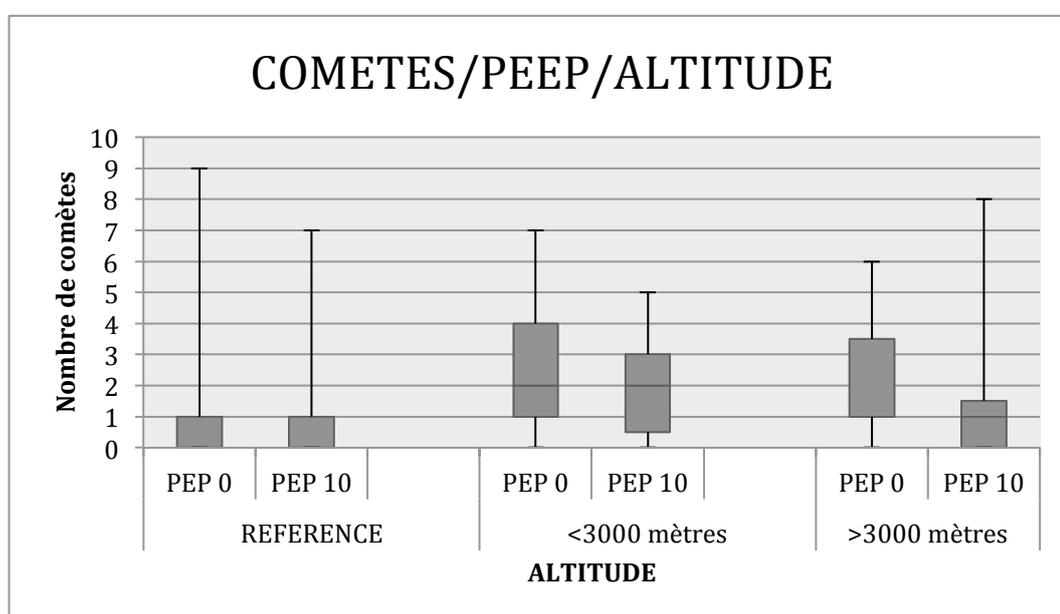


Figure 2 : Nombres de comètes observées aux trois altitudes étudiées avec ou sans mise en place de PEP.

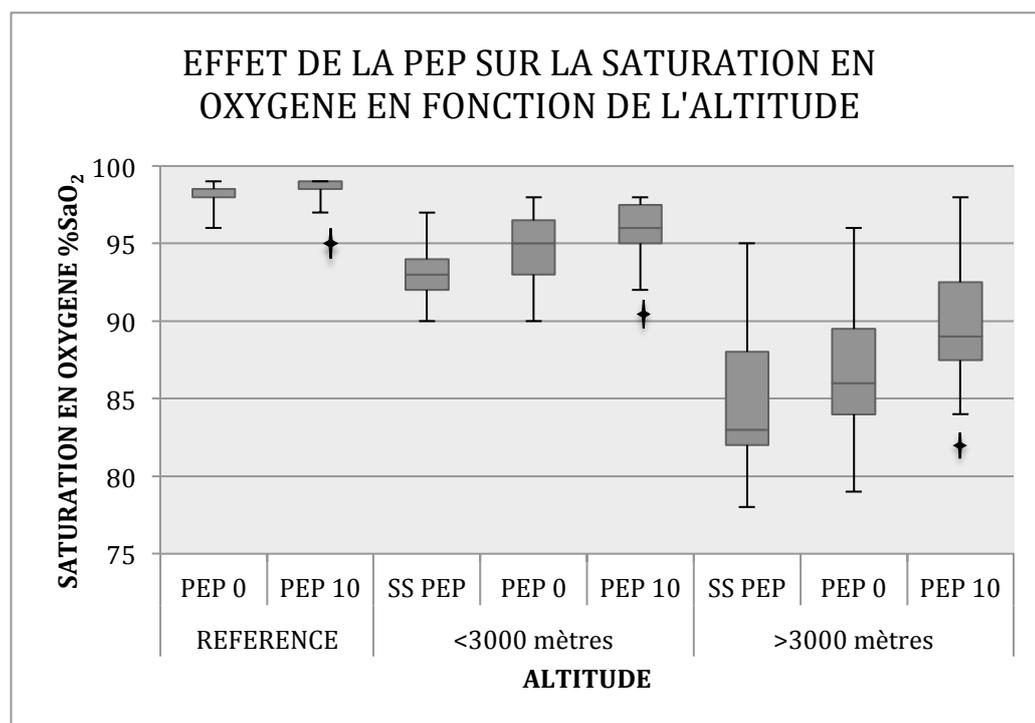
patient	Ref PEP 0	Ref PEP10	<3000 m PEP 0	<3000 m PEP10	>3000 m PEP 0	>3000 m PEP10
1	9	7	5	5	5	8
2	1	0	0	0	1	0
3	0	2	7	2	1	0
4	1	0	1	4	2	1
5	1	0	3	2	0	2
6	0	0	1	1	6	1
7	0	0	2	0	1	0

Ref : altitude de référence de vie. PEP : pression expiratoire positive. M : mètres

Tableau 2 : Nombres de comètes observées en fonction de l'altitude et du réglage de la PEP.

#### **4. 4. EFFET DE LA PEP SUR LA SaO<sub>2</sub> ET SYMPTÔMES**

Aux trois altitudes choisies, on retrouve une amélioration significative de la saturation en oxygène par la PEP 10 vs sans PEP (p= 0,018 à altitude de référence, p= 0,04 à 2700m et p= 0,04 à 4700m). (Figure 3)

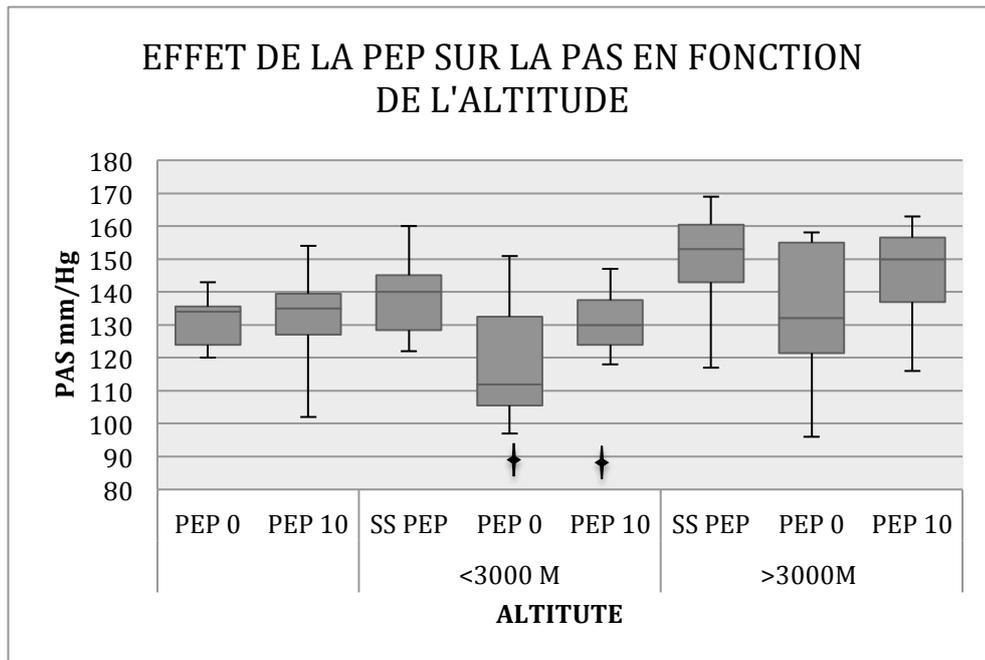


↓ effet significatif de le PEEP 10 versus sans PEP sur la saturation en oxygène.  
PEP : pression expiratoire positive

Figure 3 : Effet de la mise en place de la PEP 0 puis 10 sur la saturation en oxygène aux 3 altitudes étudiées.

#### **4. 5. EFFET DE LA PEP SUR LA PA**

Le système de PEP a diminué de manière significative la PAS à l'altitude 2700 mètres sous PEP 0 et 10 (p=0,03 et p=0,02) vs sans PEP (Figure 4).



PEP : pression expiratoire positive PAS : pression artérielle systolique  
 † Effet significatif de la PEP sur la PAS

Figure 4 : Effet de la mise en place du PEP 0 puis 10 cmH<sub>2</sub>O sur la pression artérielle systolique aux trois altitudes étudiées.

#### **4. 6. EFFET DE LA PEP SUR LA FC**

On ne retrouve aucune variation significative de la FC par la mise en place de la PEP.

#### **4. 7. TOLÉRANCE DE LA PEP**

En haute altitude, la mise en place de la PEP 10 était moins bien tolérée que réglée sur PEP 0.

## 5. DISCUSSION

---

### **5. 1. LIMITES**

Dans notre étude réalisée chez sept sujets réalisant un trail à haute altitude, l'application d'un masque de PEP réglé sur 10 cmH<sub>2</sub>O a permis l'amélioration de la saturation pulsée en oxygène. Nous n'avons pas retrouvé une grande incidence de l'œdème pulmonaire infra-clinique, n'autorisant pas l'étude de l'effet de la PEP sur l'accumulation de liquide intra-pulmonaire.

### **5. 2. VALIDITE EXTERNE**

L'amélioration de la SpO<sub>2</sub> par la PEP 10 cmH<sub>2</sub>O chez des sujets hypoxiques a déjà été décrite par Nespoulet et al, 2013 dès les 5 premières minutes d'installation suivie d'un plateau. Agostini et al, 2010 retrouvent les mêmes résultats sur une ascension courte (2 jours) mais pas sur une ascension prolongée avec acclimatation (10 jours) comme dans notre étude.

Tout comme Launay et al, 2004 et Savourey et al, 1998, nous n'avons pas observé de modification de la pression artérielle et de la FC par l'installation d'une PEP.

Le choix d'une PEP 10 cmH<sub>2</sub>O correspond aux valeurs utilisées pour traiter un OPHA par Schoene et al, 1985. Dans les études de Savourey et al, et Nespoulet et al, l'utilisation d'une PEP 5 cmH<sub>2</sub>O n'avait pas permis une amélioration significative de la SaO<sub>2</sub>.

Par ailleurs, la tolérance de la PEP diminue avec l'altitude mais reste bien tolérée au repos. Savourey et al, 1997 décrivent un inconfort lorsqu'elle est utilisée à l'effort et au froid contrairement à Schoene et al, 1998 où elle est bien tolérée mais chez des sujets déjà atteints d'OPHA.

### **5. 3. BIAIS**

La faible prévalence du MAM, de l'œdème interstitiel asymptomatique ou de l'OPHA dans notre étude peut être expliquée par la réalisation tardive des échographies : à J4 < 3000mètres et à J14 > 3000 mètres après une phase importante d'acclimatation. En effet l'œdème pulmonaire infra-clinique se développe dans les 1-3 premiers jours chez des sujets sensibles ou mal acclimatés puis régresse au cours du séjour en altitude (Bouzat, Vallot). Ainsi nous avons observé une augmentation de l'eau pulmonaire extra vasculaire chez deux des participants seulement et aucun OPHA. La présence de liquide pulmonaire extra vasculaire était définie par un nombre de comètes >5, seuil choisi par Bouzat et al, 2013 sur les bases des résultats de Jambrik et al, 2004.

Par ailleurs le syndrome interstitiel est défini comme la présence d'au moins 2 régions positives sur une évaluation des 28 espaces intercostaux antéro-latéraux (recommandation grade B Volpicelli et al, 2011). Une région positive est définie par la présence de plus de 2 comètes (Grade A). Nos résultats diffèrent de ceux de Cremona et al, mais celui-ci utilisait des critères de jugement ventilatoires, mais aussi des résultats de Pratali et al, 2010 dont le protocole est davantage superposable au nôtre.

L'OPHA a davantage une définition clinique (Luks et al, 2007) et sa prévalence est de 3% chez les sujets acclimatés, jusqu'à 10-15% en très haute altitude (Hackett et al, 2001). Le sujet traité par Nifédipine ne présentait pas de crépitant. L'OPHA est très bien étudié par EPP en milieu hostile permettant un suivi dans le temps et d'évaluer l'efficacité des thérapeutiques (Fagenholz et al, 2007), ce qui ne doit pas faire reporter la perte d'altitude (Luks et al, 2014).

Notre étude comporte de nombreuses limites. Le choix de la sonde linéaire est lié à l'absence de sonde cardiaque sur le modèle d'échographe portable choisi. L'ajout de cette fonctionnalité aurait alourdi le système qui a été porté sur les 15 jours. Le choix de cet appareil nous a permis d'utiliser un écran unique pour l'EPP, l'électrocardiogramme et le téléphone satellite. Baldi et al, 2012 ont également utilisé une sonde linéaire pour valider la pertinence de l'EPP dans l'évaluation du liquide pulmonaire extra vasculaire. Lichtenstein et al, 2007 propose l'utilisation de sondes

de tailles différentes. Dans le cadre de recherche sur l'OPHA, la sonde cardiaque permet l'évaluation des fonctions cardiaques et le doppler trans-cranien. Dans le cadre d'un trail la sonde linéaire permet l'évaluation des lésions traumatiques.

Un autre biais de notre étude pourrait être la lecture unique des images par un médecin peu expérimenté. En effet, la relecture en aveugle n'a pu être réalisée à cause d'un problème d'encodage des fichiers vidéo. L'étude de Bedetti et al, 2006 ne retrouve pas de différence significative entre les images décrites par des cardiologues expérimentés et équipés de haute technologie versus des médecins débutants (formés sur 30 minutes) équipés d'un échographe basique. D'autres études ne retrouvent pas de variabilité interprofessionnel (Agricola et al, 2005 ; Jambrik et al, 2004 ; Lichtenstein et al, 2007).

#### **5. 4. EN PRATIQUE**

La meilleure compréhension de l'effet de la PEP permettrait de proposer ce système aux sujets atteints de MAM. Johnson et al, 2013 ont montré une nette amélioration des symptômes cliniques et de la SaO<sub>2</sub> par une PEP 7 cmH<sub>2</sub>O, tout comme Larson et al, 1985 dans le cadre d'OPHA. La PEP améliore également les fonctions ventilatoires avec une diminution de la fréquence respiratoire (Savourey et al, 1999) et une augmentation du volume courant.

Par ailleurs Oelz, 1983 et Schoen et al, 1985 soulignent le potentiel néfaste de la PEP sur l'œdème cérébrale de haute altitude. En effet la PEP pourrait augmenter la pression intra thoracique (évaluée par la pression expiratoire œsophagienne) gênant le retour veineux (Nespoulet et al, 2013 et Luecke et al, 2005) et augmenter la PaCO<sub>2</sub> favorisant la vasoconstriction cérébrale. McGuire et al, 1997 et Videtta et al, 2002, décrivent une augmentation de la pression cérébrale sous PEP 10 et 15 cmH<sub>2</sub>O mais pas sous PEP 5 cmH<sub>2</sub>O et sans modification de la pression de perfusion cérébrale associée. Apuzzo et al, 1977 retrouvent eux des modifications de la pression de perfusion cérébrale avec un retour à des niveaux de base à l'arrêt de la PEP. Par ailleurs d'autres auteurs décrivent un retour veineux possible pendant le temps inspiratoire (Larson et al, 1985) et une étude en hypoxie retrouve une amélioration

des fonctions cognitives par une PEP 5cmH<sub>2</sub>O chez des sujets prédisposés au MAM (Stivalet et al, 2000). Les conséquences cérébrales de la mise en place d'une PEP dépendent surtout du niveau de compliance pulmonaire, du réglage de la PEP et de lésions cérébrales pré-existantes ou non.

## 5. CONCLUSION

---

THESE SOUTENUE PAR : Anaïs VERBRUGGE FUSELIER

TITRE :

**EFFET DE L'ADMINISTRATION D'UNE  
PRESSION EXPIRATOIRE POSITIVE SUR L'OEDEME  
PULMONAIRE INFRA-CLINIQUE**

**CONCLUSION :**

La mise en place d'une PEP 10 cmH<sub>2</sub>O améliore la SpO<sub>2</sub> chez les sujets sains et atteints de MAM en condition réelle. Cette amélioration ne semble pas liée à résorption du liquide intra-alvéolaire pulmonaire.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le

25/03/15

LE DOYEN  
J.P. ROMANET

Pour la Présidence  
et par délégation  
Le Doyen de Médecine  
Pr. Jean-Paul HUMAÏET

LE PRESIDENT DU JURY  
PROFESSEUR F. ESTEVE



## 7. BIBLIOGRAPHIE

---

1. Agostoni P, Caldara G, Bussotti M, Revera M, Valentini M et al. (2010) Continuous positive airway pressure increases haemoglobin O<sub>2</sub> saturation after acute but not prolonged altitude exposure. *Eur Heart J* 31: 457-463.
2. Agricola, E., Bove, T., Oppizzi, M., Marino, G., Zangrillo, A., Margonato, A., Picano, E. (2005) "Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 127, 1690–1695.
3. Apuzzo JL, Wiess MH, Petersons V, Small RB, Kurze T, Heiden JS. (1977) Effect of positive end expiratory pressure ventilation on intracranial pressure in man. *J Neurosurg.* 1977 Feb;46(2):227-32.
4. Baldi G, Gargani L, Abramo A, D'Errico L, Caramella D, Picano E, Giunta F, Forfori F. (2013) Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study. *Intensive Care Med.* 2013 Jan;39(1):74-84.
5. Bedetti G, Gargani L, Corbisiero A, et al: Evaluation of ultrasound lung comets by hand-held echocardiography. *Cardiovasc Ultrasound* 2006; 4:34.
6. Bouzat P, Walther G, Rupp T, Doucende G, Payen J.F, Levy P, Verges S. 2013. Time course of asymptomatic interstitial pulmonary oedema at high altitude. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 186, 16–21.
7. Bartscher M, Flatz M, Faulhaber M (2004) Prediction of susceptibility to acute mountain sickness by SaO<sub>2</sub> values during short-term exposure to hypoxia. *High Alt Med Biol* 5: 335-340.
8. Cremona, G., Asnaghi, R., Baderna, et al. (2002). Pulmonary extravascular fluid accumulation in recreational climbers: a prospective study. *Lancet* 359, 303–309.
9. Fagenholz, P.J., Gutman, J.A., Murray et al, (2007). Chest ultrasonography for the diagnosis and monitoring of high-altitude pulmonary edema. *Chest* 131, 1013–1018.
10. Hackett, P.H., Roach, R.C., 2001. High-altitude illness. *New England Journal of Medicine* 345, 107–114.
11. Hultgren HN. High-altitude pulmonary edema: current concepts. *Annu Rev Med* 1996;47:267-84.
12. Jambrik Z<sup>1</sup>, Gargani L, Adamicza A et al. B-lines quantify the lung water content: a lung ultrasound versus lung gravimetry study in acute lung injury. *Ultrasound Med Biol.* 2010 Dec;36(12):2004-10.
13. Jambrik, Z., Monti, S., Coppola, V. et al. 2004. Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *American Journal of Cardiology* 93, 1265–1270.

14. Johnson PL, Johnson CC, Poudyal P et al. Continuous positive airway pressure treatment for acute mountain sickness at 4240 m in the Nepal Himalaya. *High Alt Med Biol.* 2013 Sep;14(3):230-3.
15. Larson EB (1985) Positive airway pressure for high-altitude pulmonary oedema. *Lancet* 1: 371-373
16. Launay JC, Nespoulos O, Guinet-Lebreton A, Besnard Y, Savourey G (2004) Prevention of acute mountain sickness by low positive end-expiratory pressure in field conditions. *Scand J Work Environ Health* 30: 322-326
16. Lichtenstein, D., Meziere, G., Biderman, P., Gepner, A., Barre, O., 1997. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 156, 1640–1646.
17. Lichtenstein, Daniel A. MD. Ultrasound in the management of thoracic disease. *Critical Care Medicine.* May 2007 - Volume 35 - Issue 5 - pp S250-S261
18. Luecke T, Pelosi P (2005) Clinical review: Positive end-expiratory pressure and cardiac output. *Crit Care* 9: 607-621.
19. Luks AM, Swenson ER. Comet tails in high-altitude pulmonary edema: diagnostic portent or streak in the sky? *Chest.* 2007 Apr;131(4):951-3.
20. McGuire G1, Crossley D, Richards J, Wong D. Effects of varying levels of positive end-expiratory pressure on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure. *Crit Care Med.* 1997 Jun;25(6):1059-62.
21. Nespoulet H, Rupp T, Bachasson D, Tamisier R, Wuyam B, Lévy P, Verges S. Positive Expiratory Pressure Improves Oxygenation in Healthy Subjects Exposed to Hypoxia. *PLoS One.* 2013 Dec 23;8(12).
22. Oswald Oelz. high altitude cerebral oedema after positive airway pressure breathing at high altitude. *the lancet.* Volume 322, No. 8359, p1148, 12 November 1983.
23. Picano, E., Frassi, F., Agricola, E., Gligorova, S., Gargani, L., Mottola, G., 2006. Ultra- sound lung comets: a clinically useful sign of extravascular lung water. *Journal of the American Society of Echocardiography* 19, 356–363.
24. Pratali, L., Cavana, M., Sicari, R., Picano, E., 2010. Frequent subclinical high-altitude pulmonary edema detected by chest sonography as ultrasound lung comets in recreational climbers. *Critical Care Medicine* 38, 1818–1823.
25. Savourey G, Caterini R, Launay JC, Guinet A, Besnard Y et al. (1998) Positive end expiratory pressure as a method for preventing acute mountain sickness. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77: 32-36
26. Savourey G1, Besnard Y, Launay JC et al.1999; Short hypobaric hypoxia and breathing pattern: effect of positive end expiratory pressure. *Aviat Space Environ Med.* 1999 Sep;70(9):863-6

27. Schoene RB, Roach RC, Hackett PH, Harrison G, Mills WJ Jr (1985) High altitude pulmonary edema and exercise at 4,400 meters on Mount McKinley. Effect of expiratory positive airway pressure. *Chest* 87: 330-333
28. Stivalet P<sup>1</sup>, Leifflen D, Poquin D, Savourey G, Launay JC, Barraud PA, Raphel C, Bittel J.  
Positive expiratory pressure as a method for preventing the impairment of attentional processes by hypoxia. *Ergonomics*. 2000 Apr;43(4):474-85.
29. Swenson ER1, Bärtzsch P. High-altitude pulmonary edema. *Compr Physiol*. 2012 Oct;2(4):2753-73.
30. Videtta W1, Villarejo F, Cohen M, Domeniconi G, Santa Cruz R, Pinillos O, Rios F, Maskin B.  
Effects of positive end-expiratory pressure on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure.  
*Acta Neurochir Suppl*. 2002;81:93-7.
31. Volpicelli G<sup>1</sup>, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA et al.  
International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS)  
for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS).  
International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound.  
*Intensive Care Med*. 2012 Apr;38(4):577-91

## 8. ANNEXES

---

### ANNEXE 1

#### QUESTIONNAIRE MEDICAL

NOM: Sexe: F M  
Prénom:  
Date de naissance/âge coureur/marcheur?  
Telephone:  
Adresse:  
Mail:

Altitude du lieu de vie: .....  
Avez-vous séjourné à plus de 3500m d'altitude ces 3 derniers mois?  
 Oui  
 Non

#### Antécédents:

##### Cardiologiques?

- HTA
- Troubles du rythme
- Pathologie coronarienne
- Insuffisance cardiaque
- Pathologie thrombo embolique
- Artériopathie des membres inferieurs
- Pathologie de l'hémoglobine
- Anémie, carence en fer
- Syndrome de Raynaud
- gelure

Autre:.....  
.....  
.....

##### Respiratoires?

- Pneumothorax
- Asthme
- BPCO
- Ronflements
- Apnée du sommeil
- Épenchement pulmonaire
- Tabac
- Pneumopathie
- Fractures costales multiples

Autre:.....  
.....  
.....

##### Neurologiques?

- Epilepsie
- Migraine
- AVC/AIT
- Psychiatrie
- Tendance anxieuse
- Tendance depressive

Autre:.....  
.....  
.....

Urologie et gynécologiques?

- Colique néphrétique
- Insuffisance urinaire
- Insuffisance rénale
- Gynécologique
- Menopause

Endocriniens?

- Thyroïdiens
- DID
- Autre.....

Ophtalmo et ORL?

- Myopie?
- Infection ORL et sinusite a repetition
- Dentaire.....

Avez vous déjà eu des chirurgies? Liste et année.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Allergie?

- Aux antibiotiques notamment aux sulfamides?
- Autre?.....

Prenez- vous des médicaments?

- Tous les jours en france?
- En preparation du trail?
- Pendant le trail?

Merci de préciser:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Avez vous realise une VO2max?

Quand?        /        /        résultat: .....

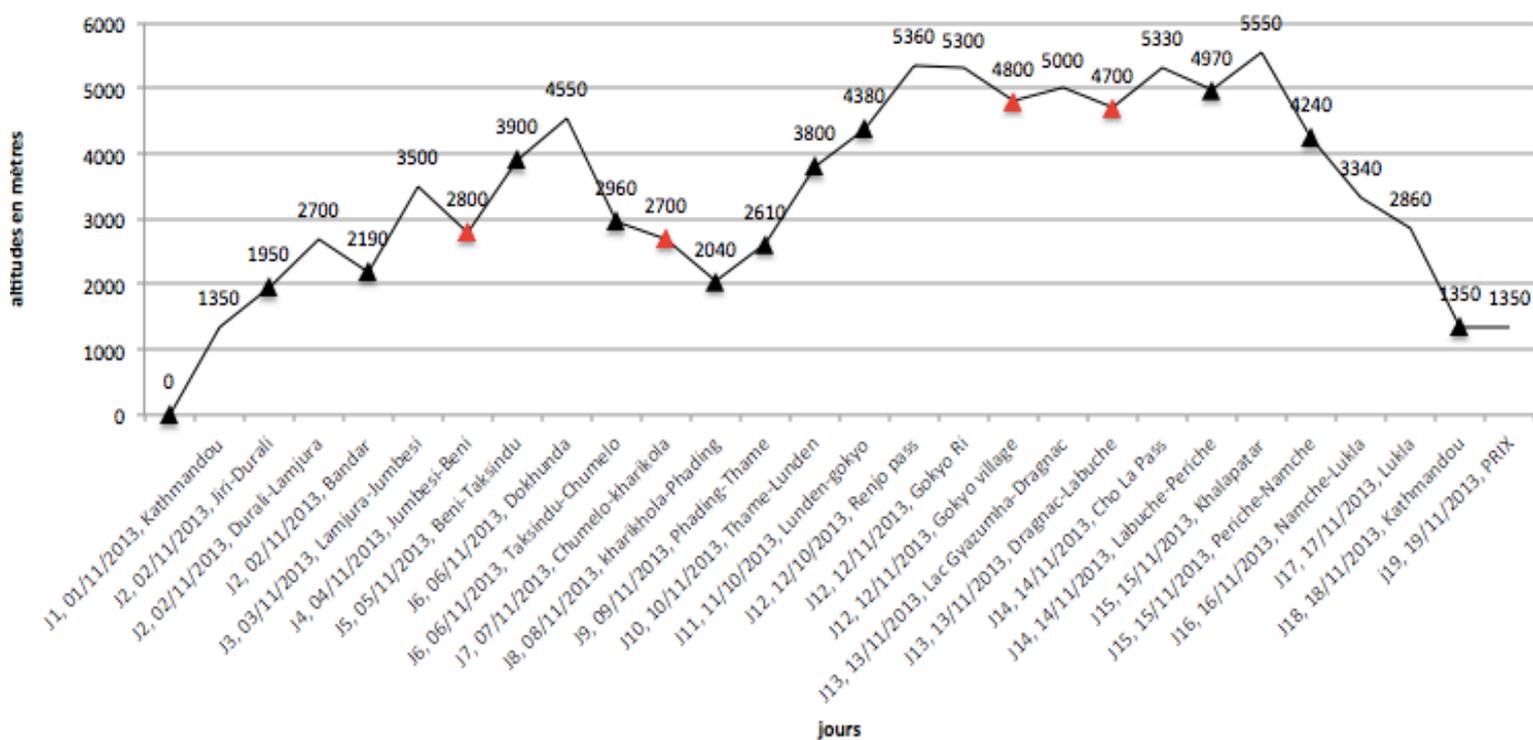
**Symptômes déjà ressentis en montagne:**

- Céphalées
- Céphalées ne cédant pas (aspirine / paracétamol)
- Dyspnée repos
- Nausées - Anorexie
- Fatigue anormale
- Insomnies
- Vomissements
- Baisse diurèse
- Vertiges

## ANNEXE 2

### PROFIL DE LA COURSE

#### ALTITUDE ET CAMPS



- ▲ Camps
- ▲ Réalisation des échographies au camp

# ANNEXE 3

numéro  
fiche

## FICHE PROTOCOLE

NOM:  
Prénom:  
Date:                    /11/2013      Heure:                    délai depuis l'arrivée:

Altitude :  
Km parcourus:  
Dénivelé parcouru:  
Dénivelé max:  
Temps de course:  
Météo:

PEEP 10-5min



	Echo PEEP 0				↓	Echo PEEP 10			
Sat O <sub>2</sub> %									
Pouls/min									
TAS									
TAD									
TAM									
LLS A/21									
LLS B/10									
LLS C/ 4									
LLS/ 35									
ESQ-III AMS-R									

OAPH:

Clinique 2/4


- Dyspnée de repos
- Toux
- Asthénie
- Oppression thoracique

Examen 2/4:


- Crépitants ou sibilents dans un poumon (auscultation)
- Cyanose
- Tachypnée
- Tachycardie >90

Medication:

Sans PEP:

Medio-axillaire	Antéro-axillaire	Médio-clav	Para-sternale	IKSpace	Para-sternale	Médio-clav	Antéro-axillaire	Médio-axillaire
				2				
				3				
				4				
				5				

TOTAL:

Avec PEP:

Medio-axillaire	Antéro-axillaire	Médio-clav	Para-sternale	IKSpace	Para-sternale	Médio-clav	Antéro-axillaire	Médio-axillaire
				2				
				3				
				4				
				5				

TOTAL:

Échelle de confort :

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

### Questionnaire du Score de Lake Louise

Test nr. : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

N°: \_\_\_\_\_ Heure: \_\_\_\_\_

<b>A. Evaluation personnelle du MAM</b>	<b>Mal de tête</b>	pas du tout	0
		mal de tête léger	1
		modéré	2
		sévère et invalidant	3
	<b>Symptômes gastro-intestinaux</b>	bon appétit	0
		faible appétit et nausées	1
		nausées modérées et vomissements	2
		nausées et vomissements sévères	3
	<b>Fatigue et/ou faiblesse</b>	pas fatigué, ni faible	0
		fatigue et faiblesse légère	1
	fatigue et faiblesse modérées	2	
	fatigue et faiblesse sévères	3	
<b>Vertiges / étourdissements</b>	aucun	0	
	léger	1	
	modéré	2	
	sévère et invalidant	3	
<b>Problèmes de sommeil</b> (la nuit précédente)	sommeil aussi bon que d'habitude	0	
	n'a pas dormi aussi bien que d'habitude	1	
	s'est réveillé de nombreuses fois, nuit pauvre en sommeil	2	
	n'a pu dormir du tout	3	
<b>Dans l'ensemble, si un ou plusieurs de ces symptômes se sont manifestés, comment affectent-ils votre activité?</b>	pas du tout	0	
	légère diminution	1	
	diminution modérée	2	
	réduction sévère (resté(e) au lit)	3	
<b>Cotez les symptômes suivants selon que vous les ressentez :</b>			
	malade _____		
0 Pas du tout	confus mentalement ou désorienté _____		
1 Légèrement	difficultés de respiration _____		
2 Moyennement	toux _____		
3 Fortement	absence de coordination _____		
<b>B. Estimation clinique</b> <i>(Réponses obtenues par l'investigateur)</i>	<b>Changement de l'état mental</b>	pas de changement	0
		léthargie, lassitude	1
		désorientation, confusion	2
		stupor, demi-conscience	3
		coma	4
	<b>Ataxie</b> (marche sur les talons-orteils)	aucune	0
		balancements	1
		marche pieds à côté de la ligne	2
		chutes	3
		incapacité de tenir debout	4
<b>Oedème périphérique</b>	aucune	0	
	une localisation	1	
	deux localisations ou plus	2	
<b>C. Estimation fonctionnelle</b> <i>(Etablie par l'investigateur)</i>		pas de symptômes	0
		symptômes, mais pas de changements dans l'activité	1
		doit réduire ses activités	2
		réduit à un repos au lit	3
		risque de mort	4

TOTAL

Faible: 2-4, modéré 5-10, sévère >11

## 7.2.2 'Environmental Symptoms Questionnaire-III' ('ESQ-III')

La quantification de la gravité des symptômes se fait entre 0 (absence de symptôme) et 5 (symptômes très sévères). Le chiffre de chaque réponse est ensuite multiplié par un poids factoriel spécifique au symptôme. Les résultats obtenus sont additionnés et cette somme est finalement divisée par 25.95, pour les questions relatives au MAM neurologique (abrégé 'AMS-C' pour 'Acute Mountain Sickness-Cerebral') et par 35.69 pour les questions du MAM respiratoire ('AMS-R' pour 'Acute Mountain Sickness-Respiratory'). La personne est considérée comme étant atteinte d'un MAM neurologique si son score 'AMS-C' est supérieur ou égal à 0.7 et d'un mal des montagnes respiratoire si son score 'AMS-R' est supérieur ou égal à 0.6.

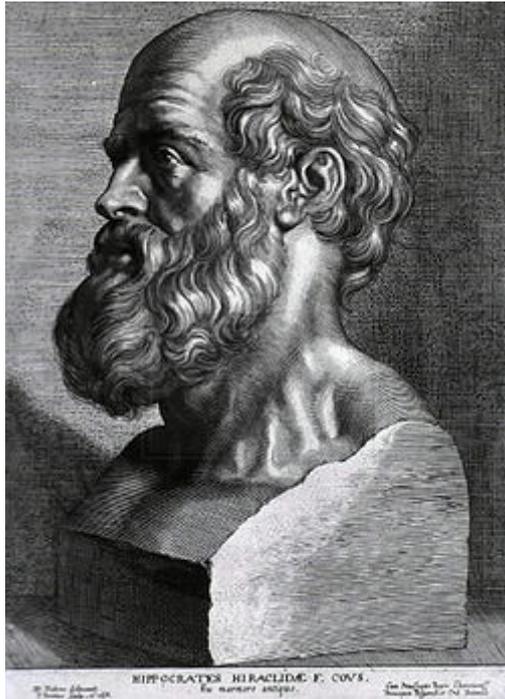
Les douze symptômes relatifs au 'MAM respiratoire' sont :

1. céphalées (0.312)		
2. souffle court (0.745)		
3. difficulté à respirer (dyspnée ; 0.763)		
4. respiration douloureuse (0.734)		
5. crampes d'estomac (0.516)		
6. douleurs dorsales (0.686)		
7. maux d'estomac (0.744)		
8. nausées (0.691)		
9. nez bouché (0.534)		
10. saignement de nez (0.578)		
11. insomnie (0.355)		
12. sensation d'être déprimé (0.480)		

Formule de calcul du score AMS-R <sup>55</sup>

$$\text{AMS-R} = Y / 35.69$$

$$Y = (R1 \times .312) + (R2 \times .745) + (R3 \times .763) + (R4 \times .734) + (R5 \times .516) + (R6 \times .686) + (R7 \times .744) + (R8 \times .691) + (R9 \times .534) + (R10 \times .578) + (R11 \times .355) + (R12 \times .481)$$



## **SERMENT D'HIPPOCRATE**

*En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,*

*Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerais mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.*

*Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient. Je garderai le respect absolu de la vie humaine.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.*

## EFFET DE L'ADMINISTRATION D'UNE PRESSION EXPIRATOIRE POSITIVE SUR L'OEDEME PULMONAIRE INFRA-CLINIQUE

CONTEXTE : Un œdème pulmonaire infra-clinique (OPIC) est fréquent chez les sujets exposés à la haute altitude. La quantité d'eau intra-pulmonaire peut être évaluée en échographie pleuro-pulmonaire (EPP) par l'intermédiaire du nombre de queues de comètes. Par ailleurs l'administration d'un masque avec pression expiratoire positive (PEP) est susceptible d'améliorer l'oxygénation systémique de sujets en haute altitude. Ainsi l'augmentation de l'oxymétrie de pouls induite par la PEP pourrait être liée à la réduction de l'extravasation d'eau intra-pulmonaire.

OBJECTIF : Le but de cette étude est d'évaluer par échographie pleuro-pulmonaire l'effet d'une PEP réglée à 10 cmH<sub>2</sub>O sur l'œdème pulmonaire infra-clinique d'altitude chez des sujets participants à un trail au Népal.

METHODE : Une échographie pleuro-pulmonaire a été réalisée au repos chez 7 coureurs à PEP = 0 cmH<sub>2</sub>O puis à PEP = 10 cmH<sub>2</sub>O, à l'altitude habituelle de séjour, en-dessous de 3000 mètres et au-dessus de 3000 mètres pendant la réalisation du trail. Une mesure du nombre de queues de comètes a été effectuée sur 28 espaces intercostaux en antérieur et en latéral. La saturation pulsée en oxygène, la pression artérielle, le score de Lake Louise (LLS) et le confort ont également été évalués au moment de la réalisation de l'EPP. Les données sont exprimées en moyennes ± standard déviation. Les variables quantitatives ont été comparées à l'aide du test de Mann-Whitney et les variables qualitatives par test du Chi2. Un p < 0,05 a été considéré comme statistiquement significatif.

RESULTATS : Au cours des 14 échographies en altitude nous avons retrouvé très peu d'images de comètes à 2700 mètres (n= 19 ou 2,71) comme à 4700 mètres d'altitude (n= 16 ou 2,29) et n'avons pas mis en évidence d'effet de la PEP sur le nombre de comètes. La mise en place d'une PEP 10 cmH<sub>2</sub>O a permis l'amélioration de la saturation pulsée en oxygène (SpO<sub>2</sub>= 93,14% sans PEP vs SpO<sub>2</sub>= 95,86% à PEP 10, p=0,04) à 2700 mètres comme à 4700 mètres (SpO<sub>2</sub>= à 85,14% sans PEP vs SpO<sub>2</sub>= 90,14% à PEP 10, p= 0,04).

CONCLUSION : Une acclimatation progressive chez des sujets masculins entraînés et non à risque permet de limiter l'apparition d'un œdème pulmonaire asymptotique. La mise en place d'une PEP 10 cmH<sub>2</sub>O permet une amélioration significative de la saturation pulsée en oxygène en hypoxie hypobarique en l'absence d'un œdème pulmonaire infra-clinique.

**Mots clefs:** PEP, EPP, altitude, comètes, SpO<sub>2</sub>, OPHA, l'œdème pulmonaire infra-clinique