

# L'oxygénothérapie hyperbare: au secours de l'ischémie

Dr Dominique Buteau<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Service de médecine hyperbare, CISSS Chaudière-Appalaches, Lévis, QC;

<sup>2</sup> Département de médecine familiale et médecine d'urgence, Université Laval

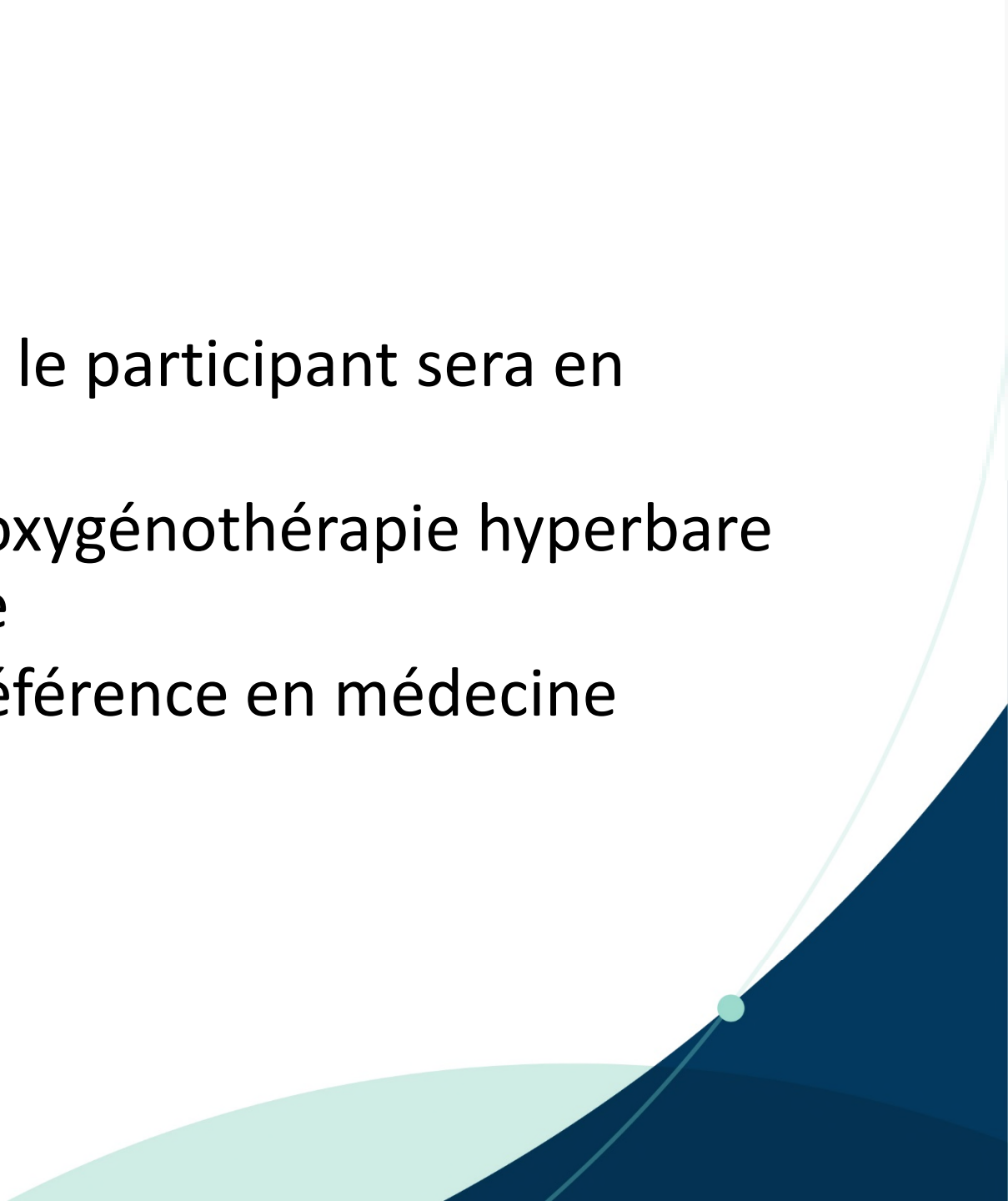
Congrès SSVQ  
19 novembre 2021



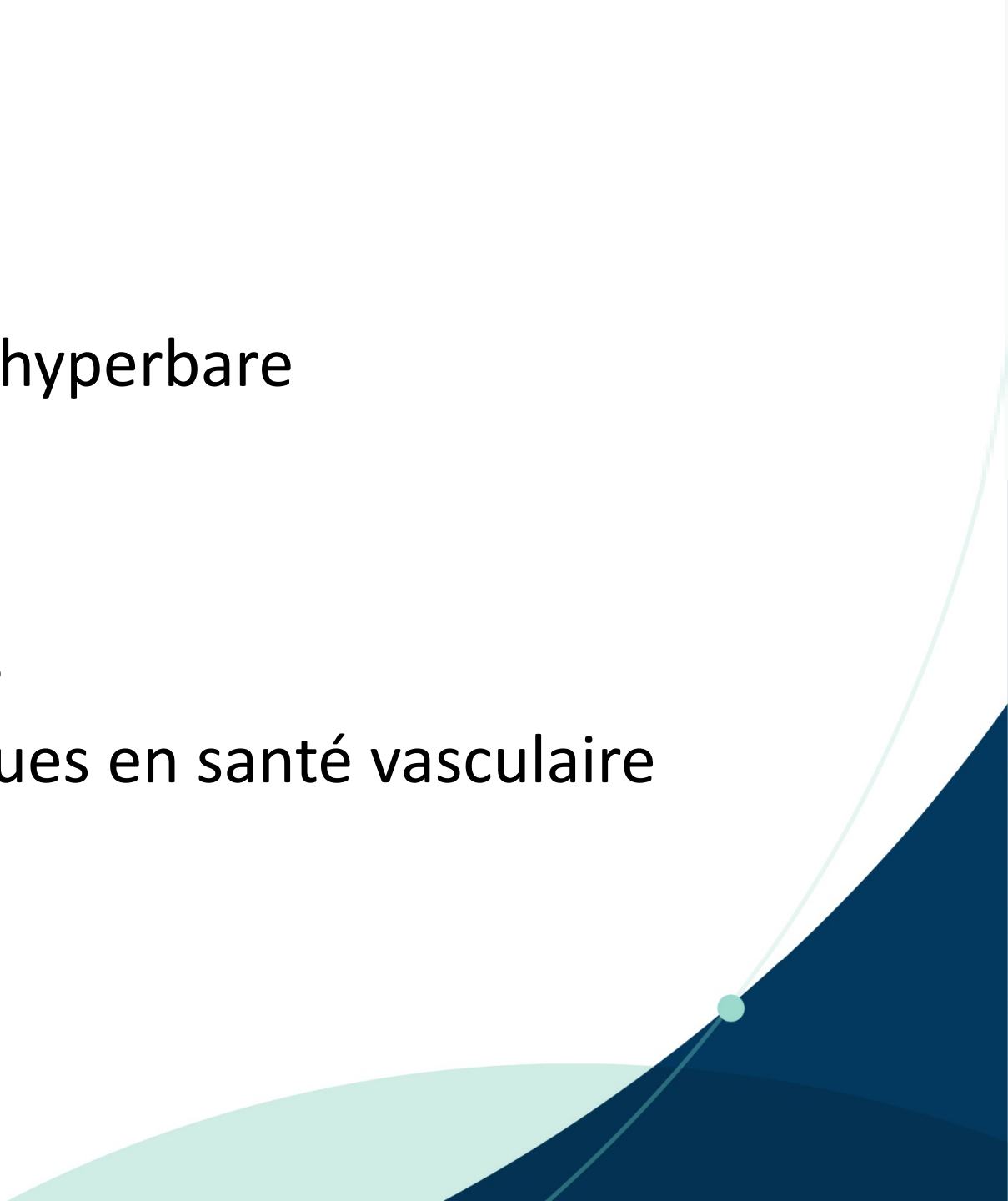
# Déclaration de conflits d'intérêt

- Aucun conflit d'intérêt à déclarer

# Objectifs

- Au terme de cette présentation, le participant sera en mesure de:
    - Renseigner les patients sur l'oxygénothérapie hyperbare comme option thérapeutique
    - Identifier les indications de référence en médecine hyperbare
- 

# Plan

- Définition de l'oxygénothérapie hyperbare
  - Les mécanismes d'action
  - Les indications reconnues
  - Le déroulement des traitements
  - Son utilité pour les problématiques en santé vasculaire
  - Les effets secondaires possibles
- 

# Oxygénothérapie hyperbare (OHB), définition:

Environnement avec **pression ambiante plus élevée** que la pression atmosphérique

-généralement plus de 2 fois la P atmosphérique ou  
2 atmosphères absolues (2 ATA)

ET



Administration systémique d'**oxygène à haute concentration**

# Mise en garde: ceci n'est pas de l'oxygénothérapie hyperbare

amazon.ca Bonjour Entrez votre adresse Maison et Cuisine   Bonjour, S'identifier Comptes et Listes Retours et Commandes  Panier

Toutes Meilleures ventes Prime Dernières nouveautés Service à la clientèle Mode Offres spéciales Électronique Les plus offerts Offres avant le Vendredi fou

Maison Meilleures ventes Cuisine Loisirs créatifs Ameublement Aspirateurs Linge de lit Rangement et Organisation Chauffage et climatisation Décoration intérieure Salle de bain Aubaines Découvrir

 Prenez de l'avance pour vos cadeaux. Cartes-cadeaux des Fêtes 

## Chambres à oxygène hyperbarique portable Bleu 80 x 200 cm

Marque : N\C

Prix : 5 198,70\$

Couleur: blue



- Pression de fonctionnement : 1,3 ATA.
- Le modèle le plus populaire pour un usage domestique ou commercial.
- Valve d'urgence - Accélère la réduction de la pression en cas d'urgence.
- Fonctionnement simple : une personne peut l'utiliser sans aide.
- Fournit 90 % d'oxygène sous pression à travers un casque/masque d'oxygène.

Avez-vous besoin de plus d'informations sur les produits en français? Contactez-nous


5 198,70\$

Livraison à 5,54 \$ : 30 nov. - 20 déc.

Livraison accélérée : lundi 15 nov.

 Entrez votre adresse

En stock.

Quantité: 1 

Ajouter au panier

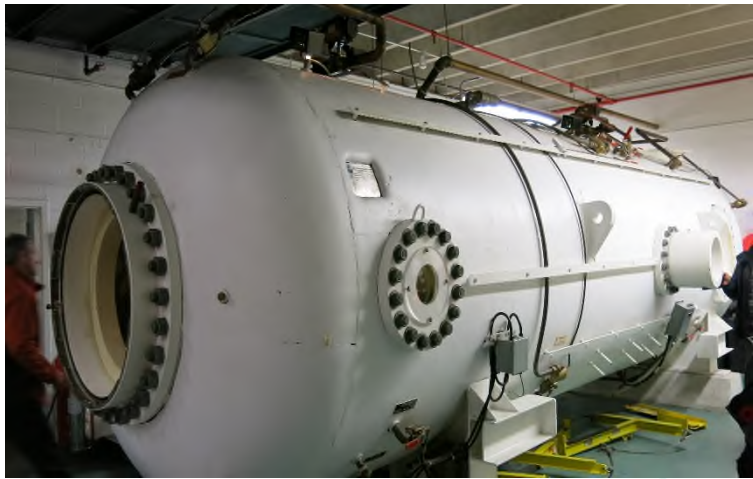
Acheter maintenant

 Transaction sécurisée

Ships from China and sold by GuangZhouWenDaKeJiYouXianGongSi



# Types de caissons hyperbares

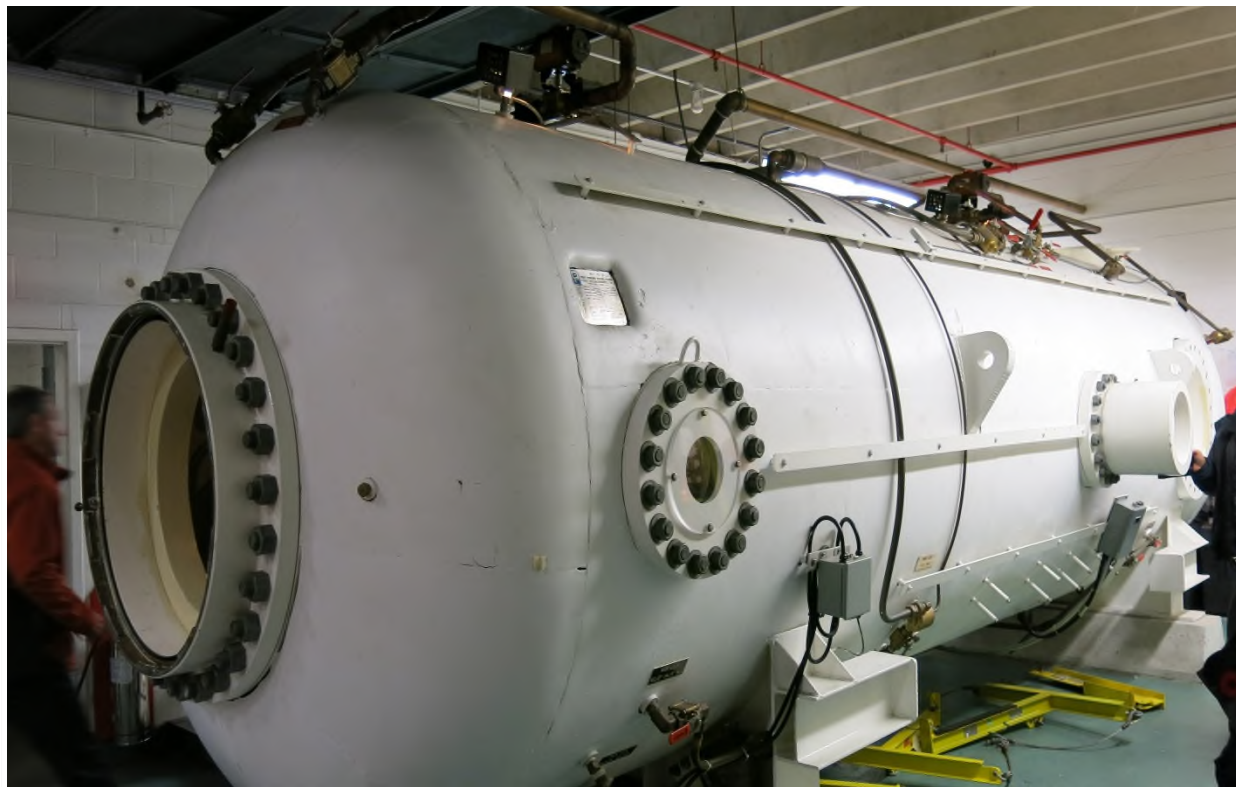


# Caisson monoplace





# Caissons multiplace



# Caisson multiplace, Hôtel-Dieu de Lévis





# Intérieur du compartiment principal

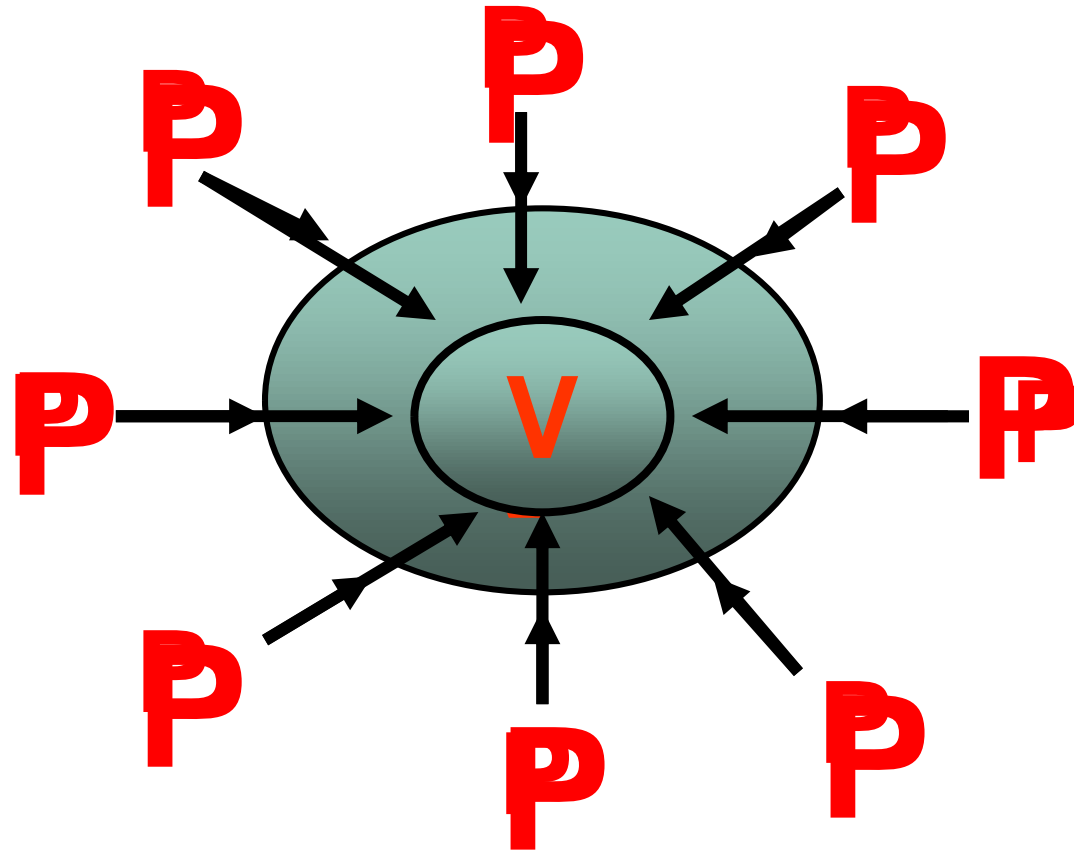


# Principes physiques de l'oxygénothérapie hyperbare

- Réduction de volume des bulles de gaz inerte
  - Hyperoxygénation tissulaire
- 

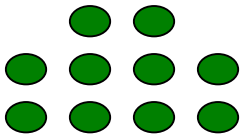
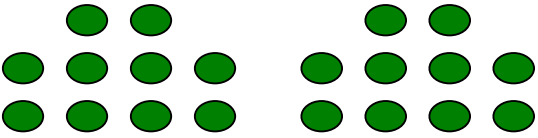
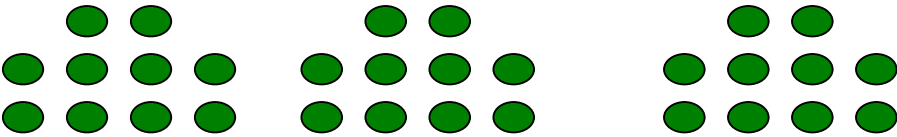


# Phénomène physique volume-pression (Loi de Boyle)



**3 ATA = 1 / 3 DU VOLUME INITIAL !!!**

# Loi des pressions partielles – Hyperoxygénation

Pression ambiante	Représentation du mélange gazeux ( 100 % oxygène)	Pression partielle respirée	Oxygène mesuré a/n artériel
1 ATA (surface)		O <sub>2</sub> : 1 ATA	600 mmHg
2 ATA ( 10 m )		O <sub>2</sub> : 2 ATA	1200 mmHg
3 ATA ( 20 m )		O <sub>2</sub> : 3 ATA	1800 mmHg

● : oxygène  
○ : azote

ATA = atmosphère absolue

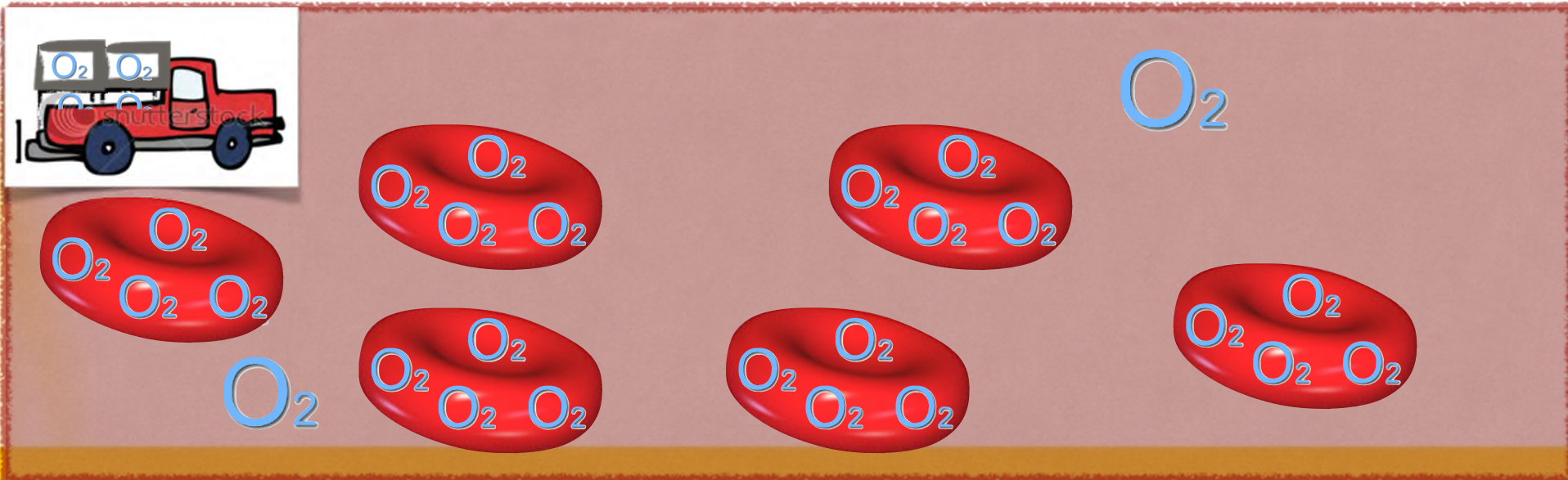
# TRANSPORT DE L'OXYGÈNE EN MILIEU AIR AMBIANT

**GLOBULES ROUGES = CAMION**

**Quatre molécules d'O<sub>2</sub> par hémoglobine, pas plus pas moins**

**À 1 ATA: 20.4 ml d'O<sub>2</sub> / 100 ml de sang transporté**

**0.3 ml d'O<sub>2</sub> dissous / 100 ml de plasma NEGLIGEABLE**

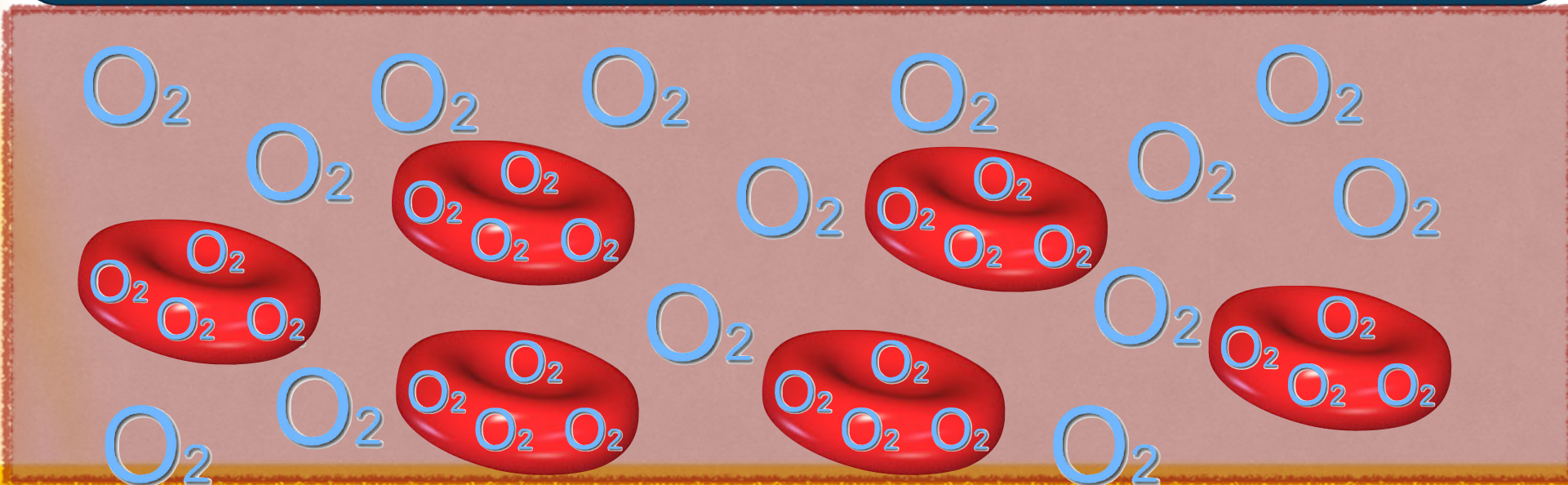


## TRANSPORT DE L'OXYGÈNE EN MILIEU HYPERBARE

À 3 ATA:  $PO_2$  artériel de 2000 mmHg  
Le plasma TRANSPORTE alors l'oxygène

6 ml d' $O_2$  dissous / 100 ml sang

Il faut 5.0 ml d' $O_2$  / 100 ml de sang = Survie





# Effets généraux de l'OHB

- Stimulation de la synthèse du collagène et des fibroblastes (cicatrisation)
- Stimulation de l'angiogénèse par augmentation du « vascular endothelium growth factor » produit par les macrophages
- Réduction de l'œdème tissulaire par vasoconstriction
- Effet bactériostatique sur les germes anaérobiques
- Effet bactéricide par production de radicaux libres
- Effet de synergie avec certains antibiotiques

↑ Niveaux cellulaires en O<sub>2</sub>

↑ Dérivés réactifs de l'O<sub>2</sub>

↑ Facteurs de croissance dans la plaie

Mobilisation des cellules souches dans la moelle osseuse

Diminution de l'adhérence des neutrophiles à l'endothélium vasculaire

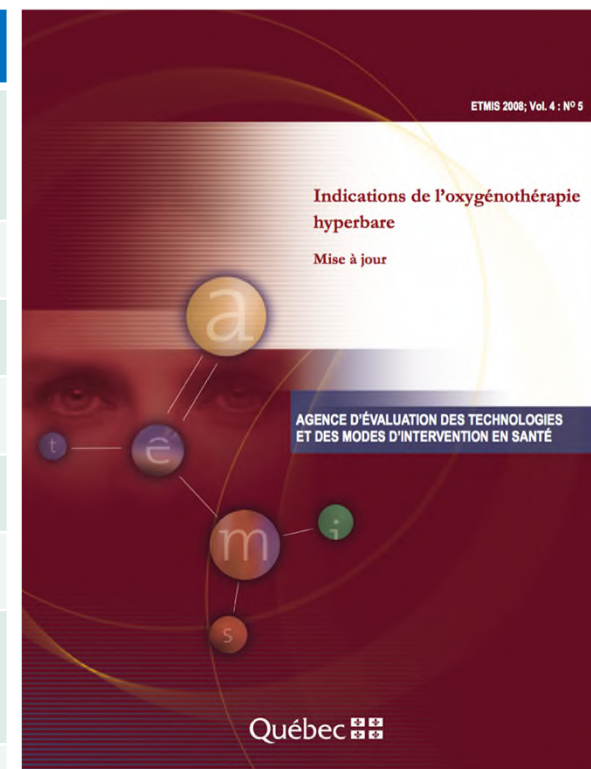
↓ Cytokines

Angiogénèse  
Cicatrisation

Survie tissulaire post-ischémique améliorée

# Clientèles desservies en médecine hyperbare

Conditions urgentes	Conditions chroniques
Intoxication au monoxyde de carbone	Radionécrose des tissus mous (ex. cystite radique, colite radique)
Accident de décompression	Ostéoradionécrose (ORN)
Embolie gazeuse artérielle cérébrale	Prévention d'ORN
Grefe et lambeau chirurgical compromis	Ostéomyélite chronique réfractaire
Infections nécrosantes	<b>Plaie avec guérison compromise</b>
Gangrène gazeuse	
Ischémie périphérique traumatique aiguë	
Perte sanguine exceptionnelle	
Surdité subite neurosensorielle idiopathique	



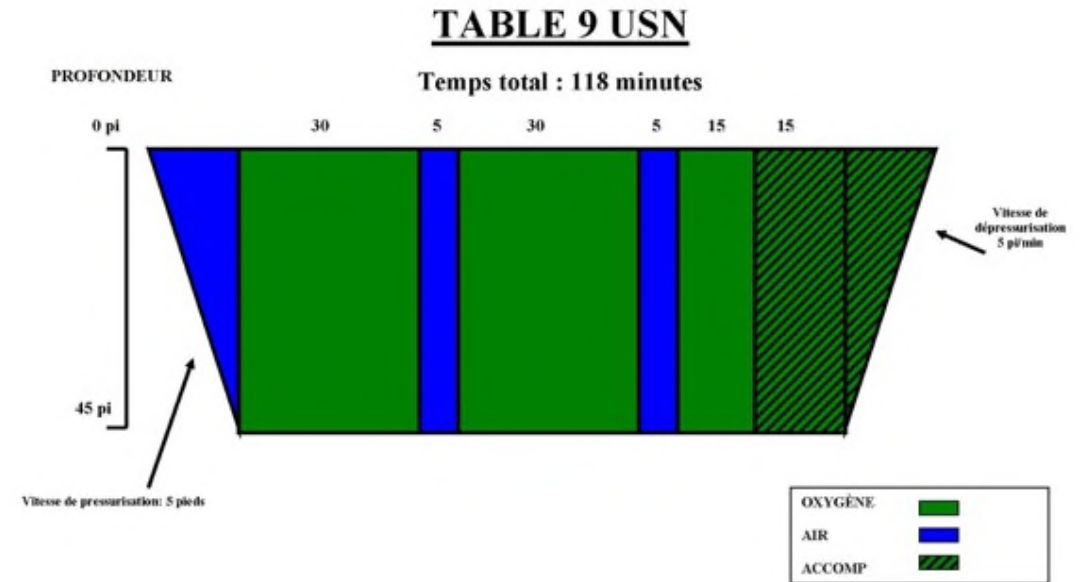
# Comment se déroulent les traitements





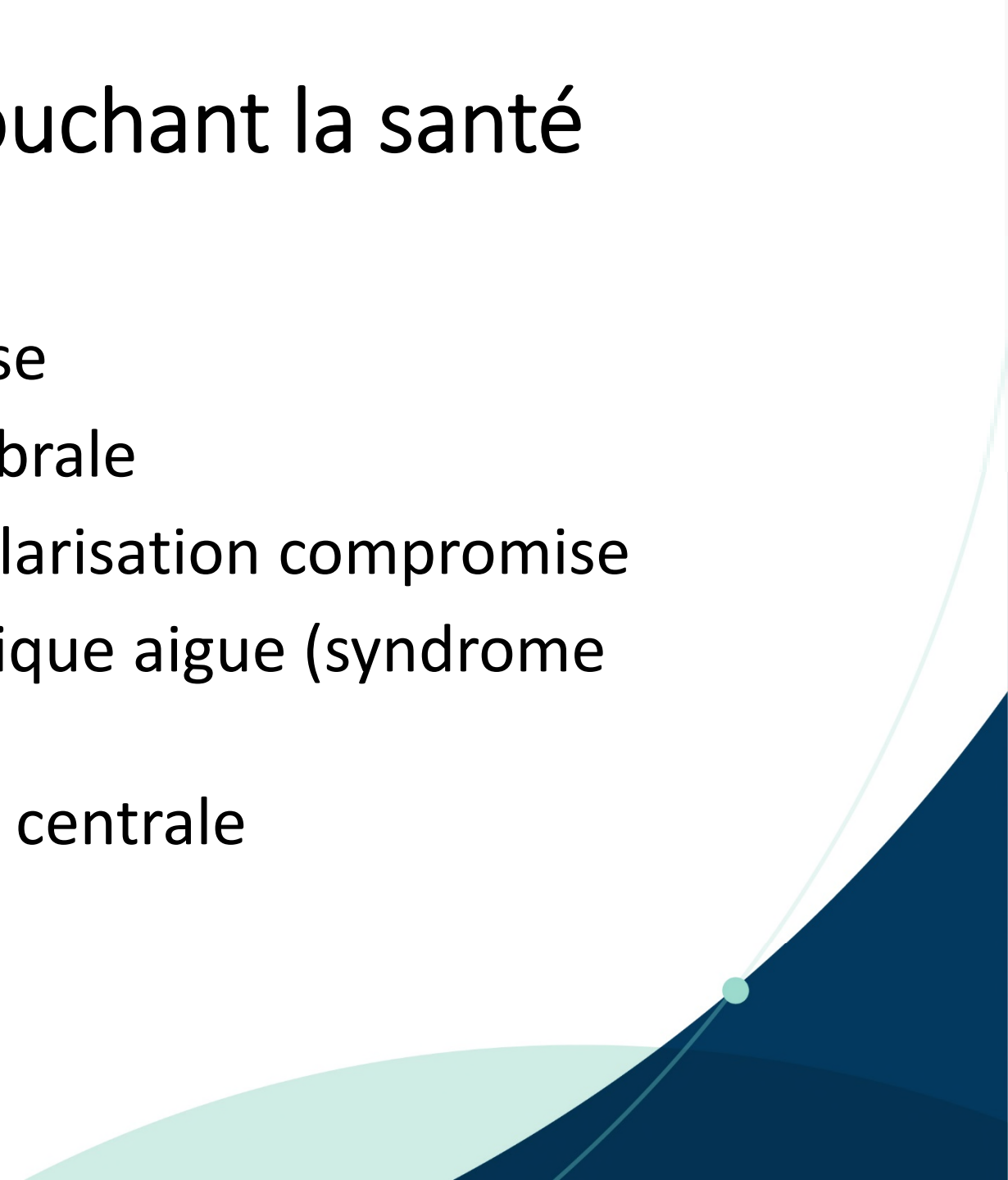
# Traitements électifs en caisson hyperbare

- 2,4 ATA (45 pi), 90 min d'O<sub>2</sub>
- Temps total dans le caisson :
  - env. 120 min
- 1 traitement/jr
- 5 jrs/sem
- De 20 à 60 séances selon la condition



Nota : La vitesse de pressurisation peut être ralenti à 1 pi/min le temps en oxygène débute à 45 pieds.  
L'accompagnant respire de l'oxygène pour les derniers 15 minutes à 45 pieds mètres et durant la remontée.  
Si le patient ne peut tolérer la profondeur à 45 pieds cette table pourrait être modifiée pour la profondeur de 30 pieds.

# Principales indications touchant la santé vasculaire

- Plaies avec guérison compromise
  - Embolie gazeuse artérielle cérébrale
  - Greffes et lambeaux avec vascularisation compromise
  - Ischémie périphérique traumatique aiguë (syndrome compartimental)
  - Occlusion de l'artère rétinienne centrale
- 

# Débutons par un cas clinique

- F 70 ans, ATCD de pontage aorto-bifémoral avec prothèse aortique
- Problématique de fistule aorto-duodénale sur prothèse aortique
- Reconstruction aorto-iliaque (procédure NAIS) et cure de fistule aorto-duodénale et anastomose duodéno-jéjunale
- Bonne évolution post-op

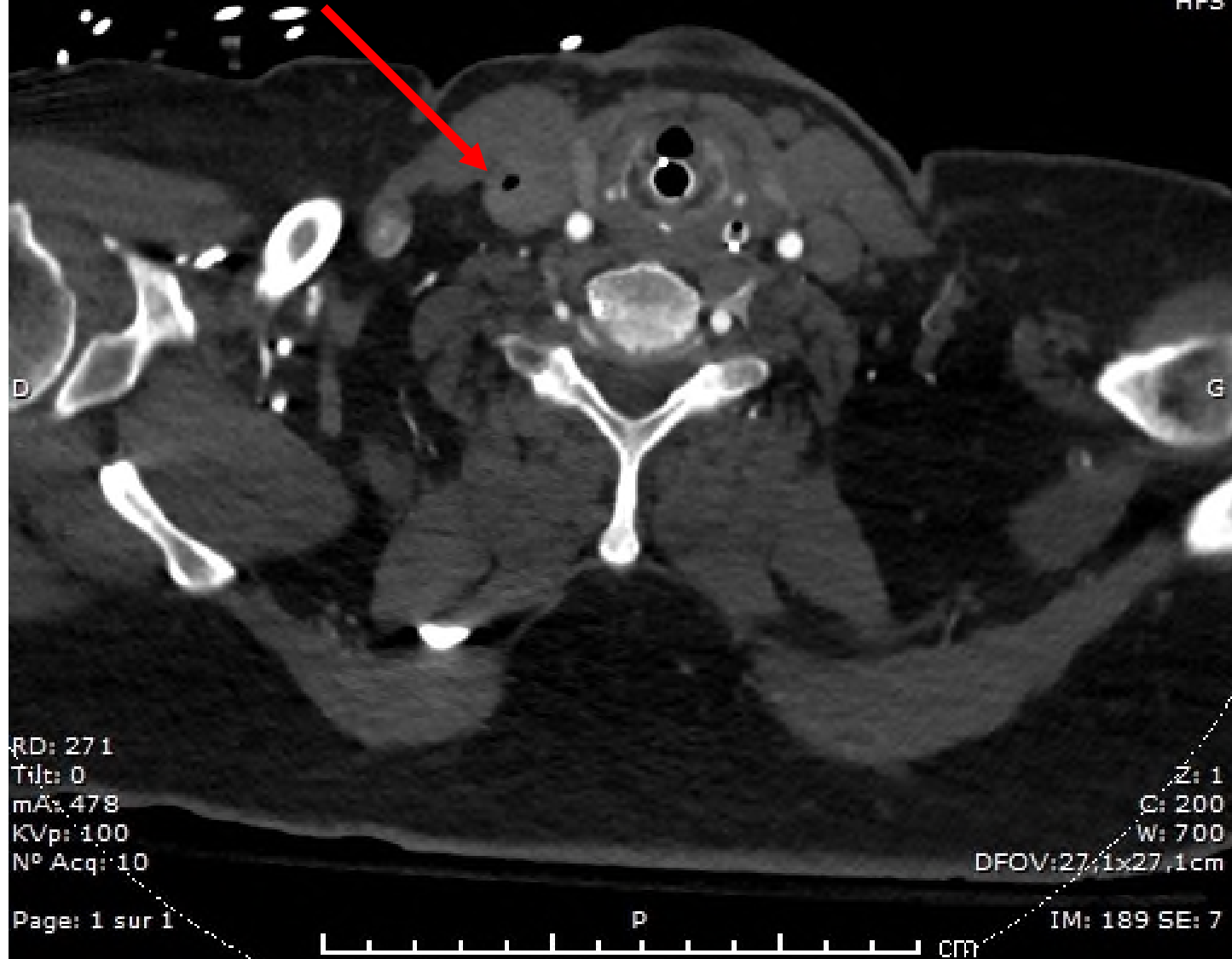
# Cas clinique

- Au 5<sup>e</sup> jour post-op, prête à sortir des SI
- On retire cathéter de voie centrale en jugulaire D
- Suite à cette manœuvre, hypo TA subite avec désaturation et perte de conscience (Glasgow 6)
- Regard dévié à D
- Bouge moins l'hémicorps G
- Intubation endo-trachéale
- Transférée au TDM cérébral et angioTDM



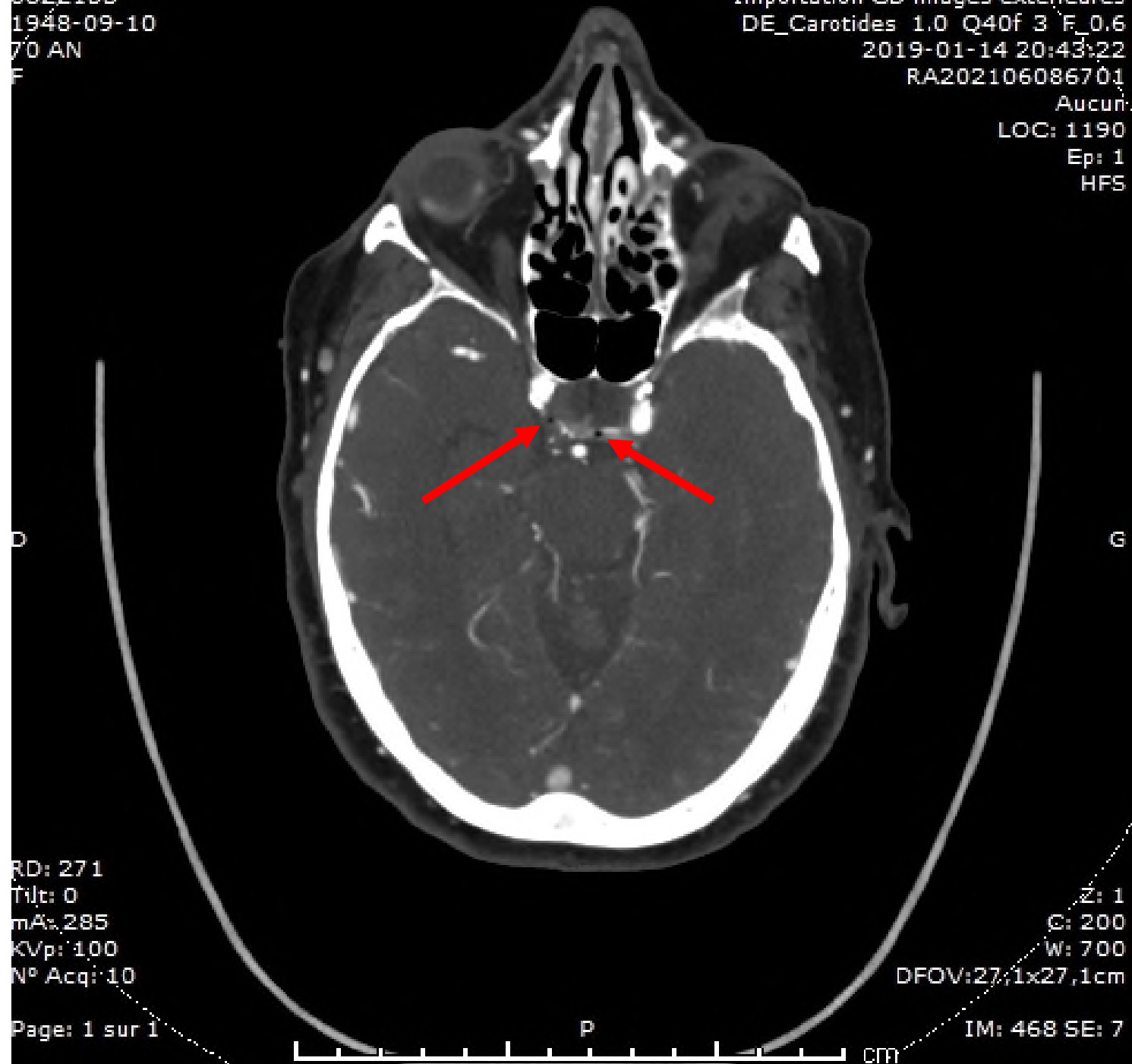
0822155  
1948-09-10  
70 AN  
F

Importation CD images extérieures  
DE\_Carotides 1.0 Q40f 3 F\_0.6  
2019-01-14 20:43:20  
RA202106086701  
Aucun  
LOC: 1050,50  
Ep: 1  
HFS



0822155  
1948-09-10  
70 AN  
F

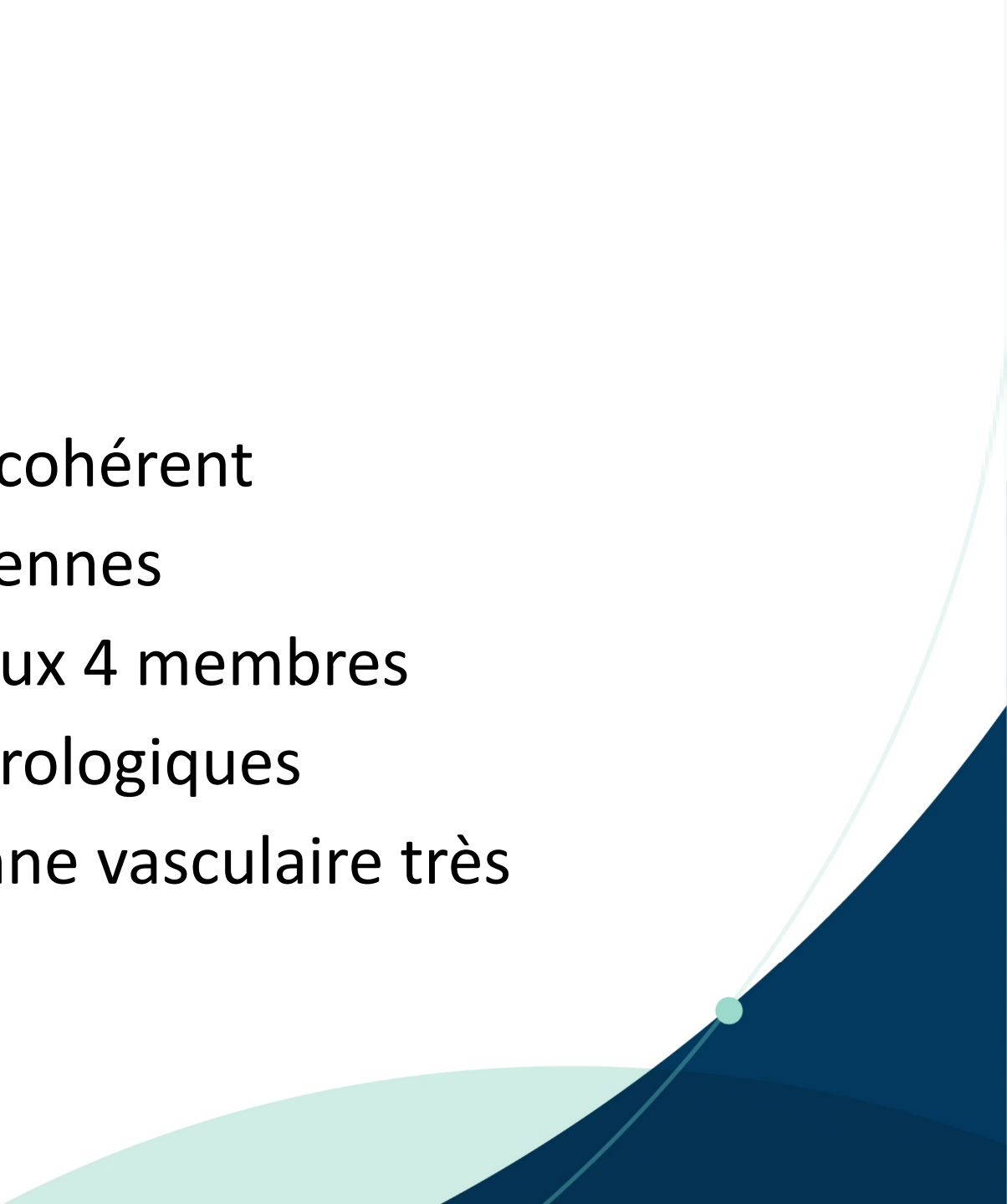
Importation CD images extérieures  
DE\_Carotides 1.0 Q40f 3 F\_0.6  
2019-01-14 20:43:22  
RA202106086701  
Aucun  
LOC: 1190  
Ep: 1  
HFS



# Cas clinique

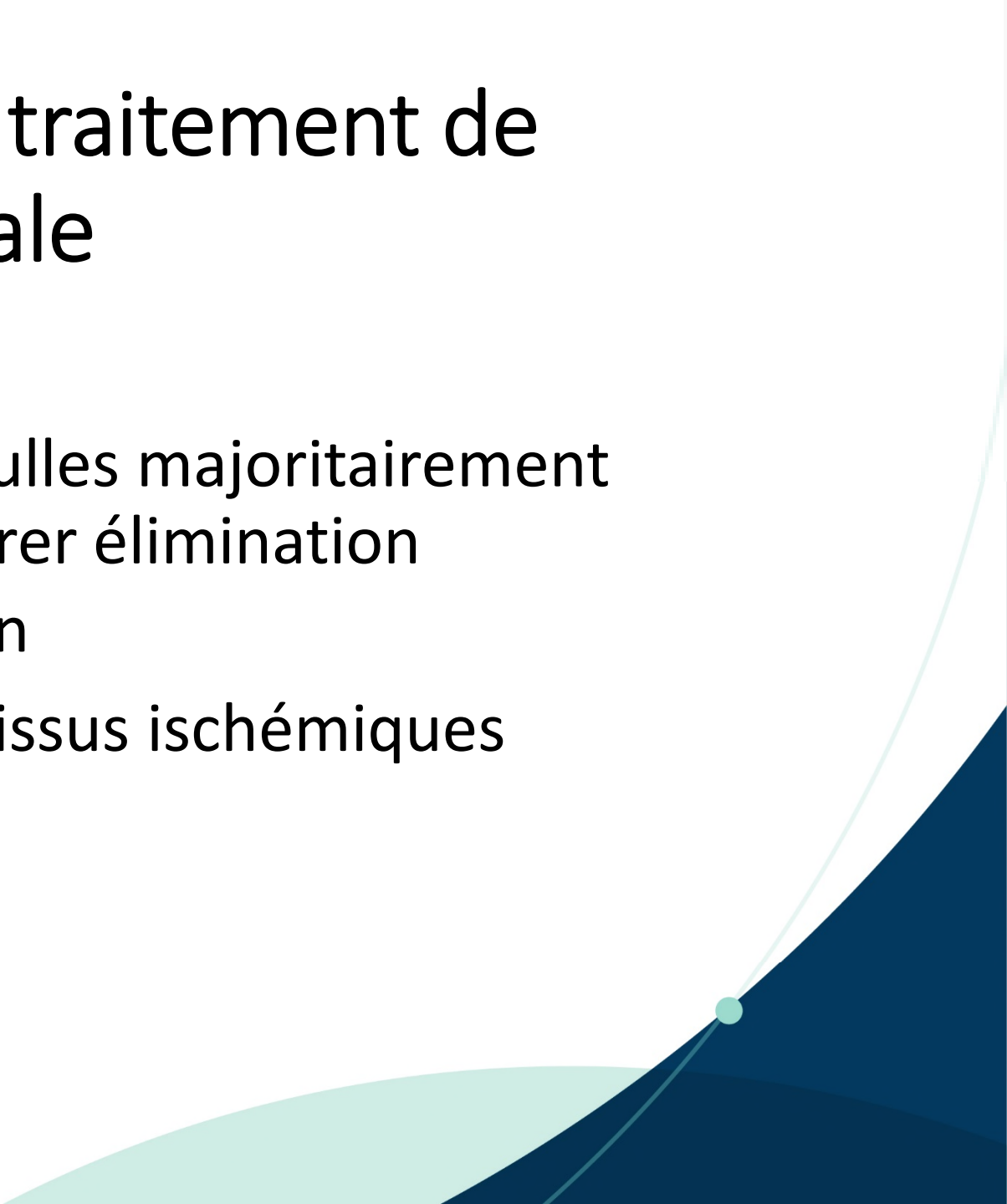
- Diagnostic : embolie gazeuse veineuse rétrograde
- Tx hyperbare débuté environ 6,5 h post-événement
- Table de traitement 6
  - 2,8 ATA d'oxygène, durée total environ 5 heures

# Cas clinique

- 24 h post-traitement hyperbare
  - Extubée, bien éveillée, discours cohérent
  - Examen normal des paires crâniennes
  - Forces segmentaires normales aux 4 membres
  - Donc résolution des déficits neurologiques
  - Très bonne évolution, chirurgienne vasculaire très heureuse...
- 



# Oxygène hyperbare pour traitement de l'embolie gazeuse cérébrale

- Compression des bulles de gaz
  - Crée un gradient de diffusion (bulles majoritairement composées d'azote) pour accélérer élimination
    - Concept de la dénitrogénéation
  - Améliore oxygénation dans les tissus ischémiques
- 

# Dénitrogénéation

L'hyperoxygénation vient aider à corriger l'ischémie tissulaire en aval de l'occlusion et vient aussi aider à réduire le volume des bulles d'azote par contre-diffusion de l'azote hors des bulles

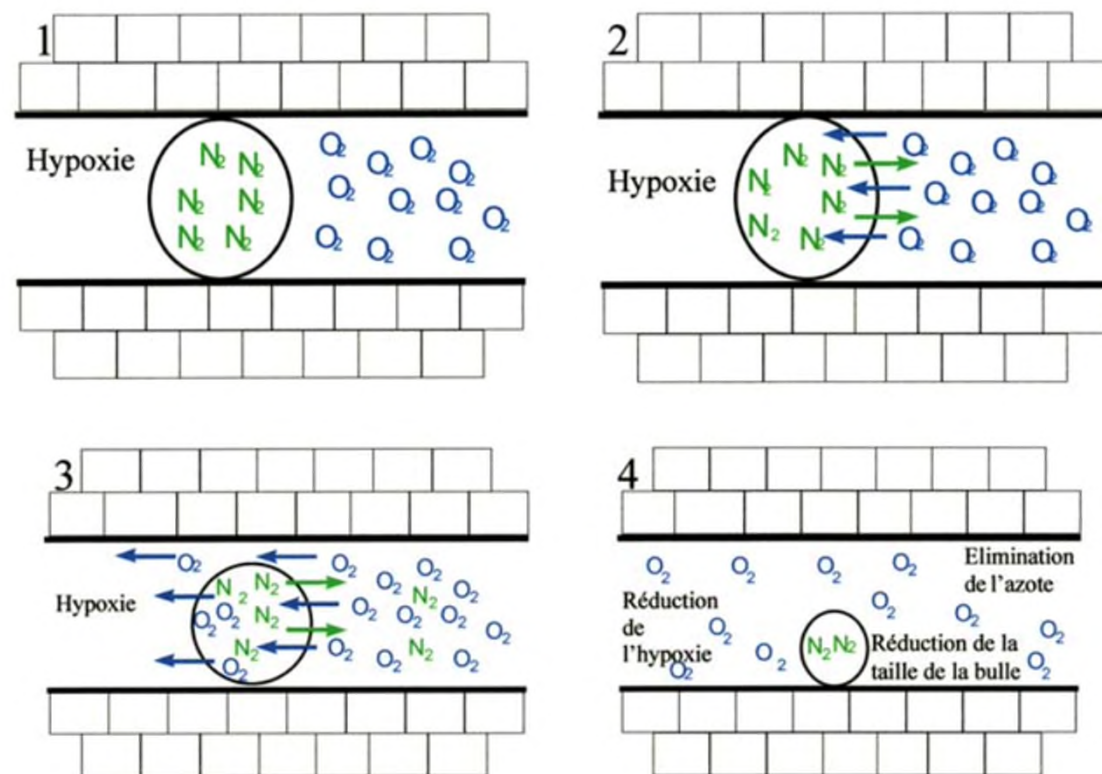


Fig. 3. Principe de la dénitrogénéation (modifié d'après référence [29]). Une bulle d'air comporte essentiellement de l'azote. Obstruant la lumière vasculaire, elle fait obstacle à l'apport d'oxygène et est responsable d'une hypoxémie en aval (1). Dans un deuxième temps, les gradients de pressions en oxygène et en azote ainsi créés sont responsables d'une diffusion de l'oxygène dans la bulle et de la sortie d'azote de celle-ci (2) permettant d'amorcer une réduction de volume de la bulle et la diffusion de l'oxygène vers l'aval du vaisseau sanguin (3). L'azote étant éliminé de l'organisme par l'émonctoire pulmonaire et l'oxygène consommé, la bulle disparaît peu à peu alors que l'hypoxémie se corrige (4).

# Oxygène hyperbare-importance du délai

- Amélioration du pronostic passe par l'application la plus précoce possible de l'OHB dès la suspicion d'embolie gazeuse (EG), **idéalement dans les trois à six heures** que l'embolie soit artérielle ou veineuse.
- Un délai de  $4 \pm 3,4$  heures (1–12 heures) dans les EGA est retrouvé chez les patients récupérant totalement contre  $18 \pm 2$  heures (16–20 heures) chez les patients décédés (réf. Ziser et al, 1999).
- Un délai de deux heures 15 minutes avant l'OHB est retrouvé dans les EGV récupérant totalement contre 4 heures pour ceux présentant des séquelles (réf: Blanc et al, 2002).

# Maintenant, les plaies diabétiques





# Plaies avec guérison compromise

- L'oxygène est un co-facteur essentiel dans plusieurs processus au niveau cellulaire impliqué pour la cicatrisation:
  - Multiplication des fibroblastes
  - Déposition du collagène
  - Angiogénèse
  - Résistance à l'infection
  - Activité bactéricide des leucocytes

# OHB et guérison des plaies diabétiques: Quelles sont les évidences ?

## A systematic review and meta-analysis of hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcers with arterial insufficiency



Robin J. Brouwer, MD,<sup>a</sup> Rutger C. Lalieu, MD,<sup>b</sup> Rigo Hoencamp, MD, PhD,<sup>a,c,d</sup> Rob A. van Hulst, MD,<sup>e</sup> and Dirk T. Ubbink, MD,<sup>f</sup> *Leiderdorp, Rijswijk, Utrecht, Leiden, and Amsterdam, The Netherlands*

Journal of Vascular Surgery  
Volume 71, Number 2

*Brouwer et al*


J Vasc Surg 2020 Feb.

## A systematic review and meta-analysis

- Effets de OHB sur pieds diabétiques avec MVAS périphérique
- Mesures de « Primary outcome »:
  - Taux d'amputations, taux de survie sans amputation, guérison complète de l'ulcère et mortalité

# J Vasc Surgery 2020 Feb.

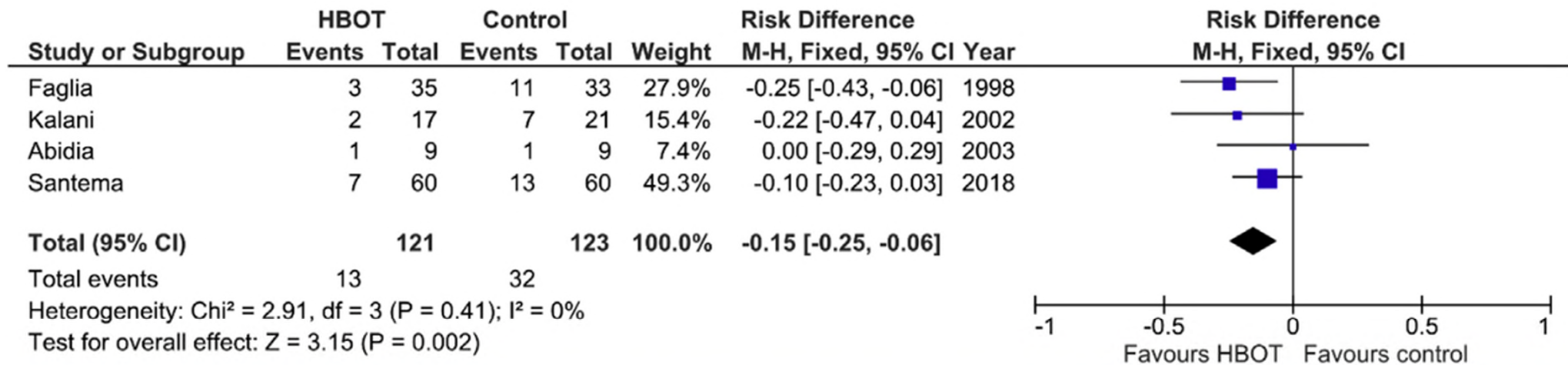
## Résultats

- 11 études
    - 7 études randomisées
    - 2 études contrôlées
    - 2 études rétrospectives de cohortes
  - Total de 729 patients
- 



# J Vasc Surgery 2020 Feb.

## Effet sur amputations majeures



**Fig 2.** Forest plot showing the effect of hyperbaric oxygen therapy (*HBOT*) on major amputations. *CI*, Confidence interval; *M-H*, Mantel-Haenszel test.

# J Vasc Surgery 2020 Feb

Mesure	Groupe OHB	Groupe contrôle	P value	NNT (intervalle de confiance)
Taux d'amputation majeure	10,7 %	26,0 %	0,002	7 (4-20)
Taux d'amputation mineure	24 %	17,6 %	0,46	
Taux de mortalité	8,1 %	13,3 %	0,28	

**Conclusion: OHB réduit le risque d'amputation majeure, mais n'améliore pas la guérison des ulcères**

# Une autre revue systématique Mais portant sur les plaies diabétiques sans MVAS

## **Hyperbaric oxygen therapy for nonischemic diabetic ulcers: A systematic review**

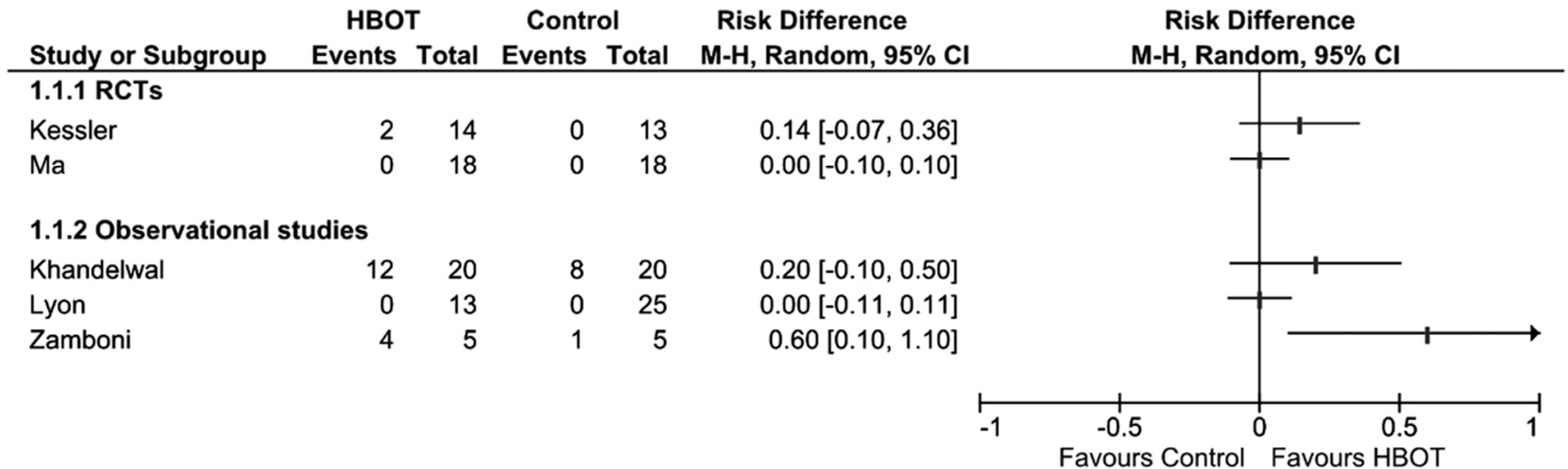
Rutger C. Laliu<sup>1†</sup> ; Robin J. Brouwer<sup>2†</sup>; Dirk T. Ubbink<sup>3</sup>; Rigo Hoencamp<sup>2,4,5</sup>; René Bol Raap<sup>1</sup>; Rob A. van Hulst<sup>3,6</sup>

1. Hyperbaar Geneeskundig Centrum, Rijswijk, The Netherlands,
2. Department of Surgery, Alrijne Hospital, Leiderdorp, The Netherlands,
3. Academic Medical Center, Department of Surgery, Amsterdam University Medical Centers, Amsterdam, The Netherlands,
4. Ministry of Defense, Defense Healthcare Organization, Utrecht, The Netherlands,
5. Department of Surgery, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands, and
6. Academic Medical Center, Department of Anesthesiology, Amsterdam University Medical Centers, Amsterdam, The Netherlands

Wound Rep Reg (2020) 28, 266-275

# OHB pour plaie diabétique sans MVAS

## Guérison des plaies

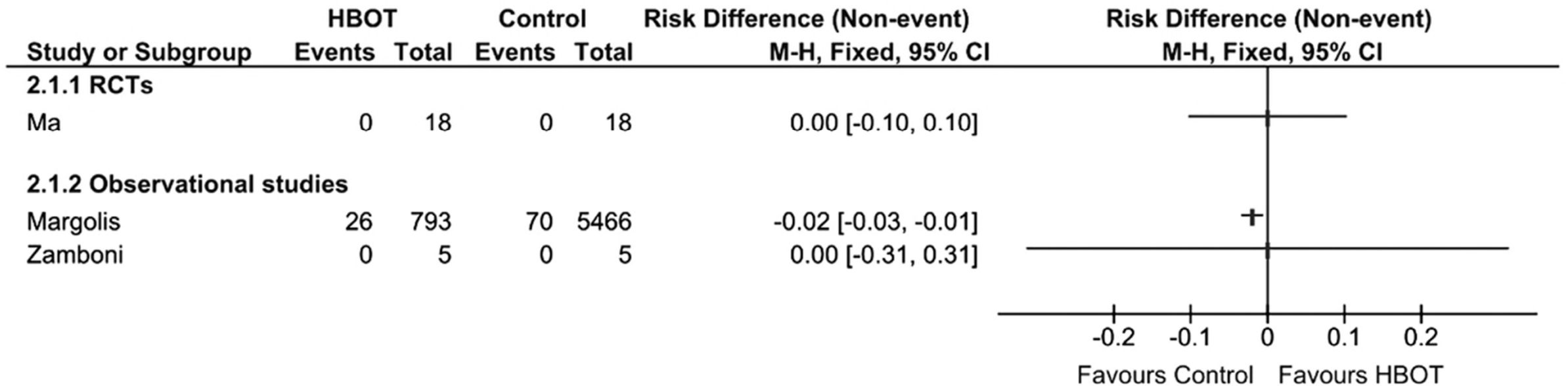


**Figure 3.** Forest plot of complete ulcer healing results.



# OHB pour plaie diabétique sans MVAS

## Amputations majeures



**Figure 4.** Forest plot of major amputation rates.

Mais on a parfois de bons résultats...

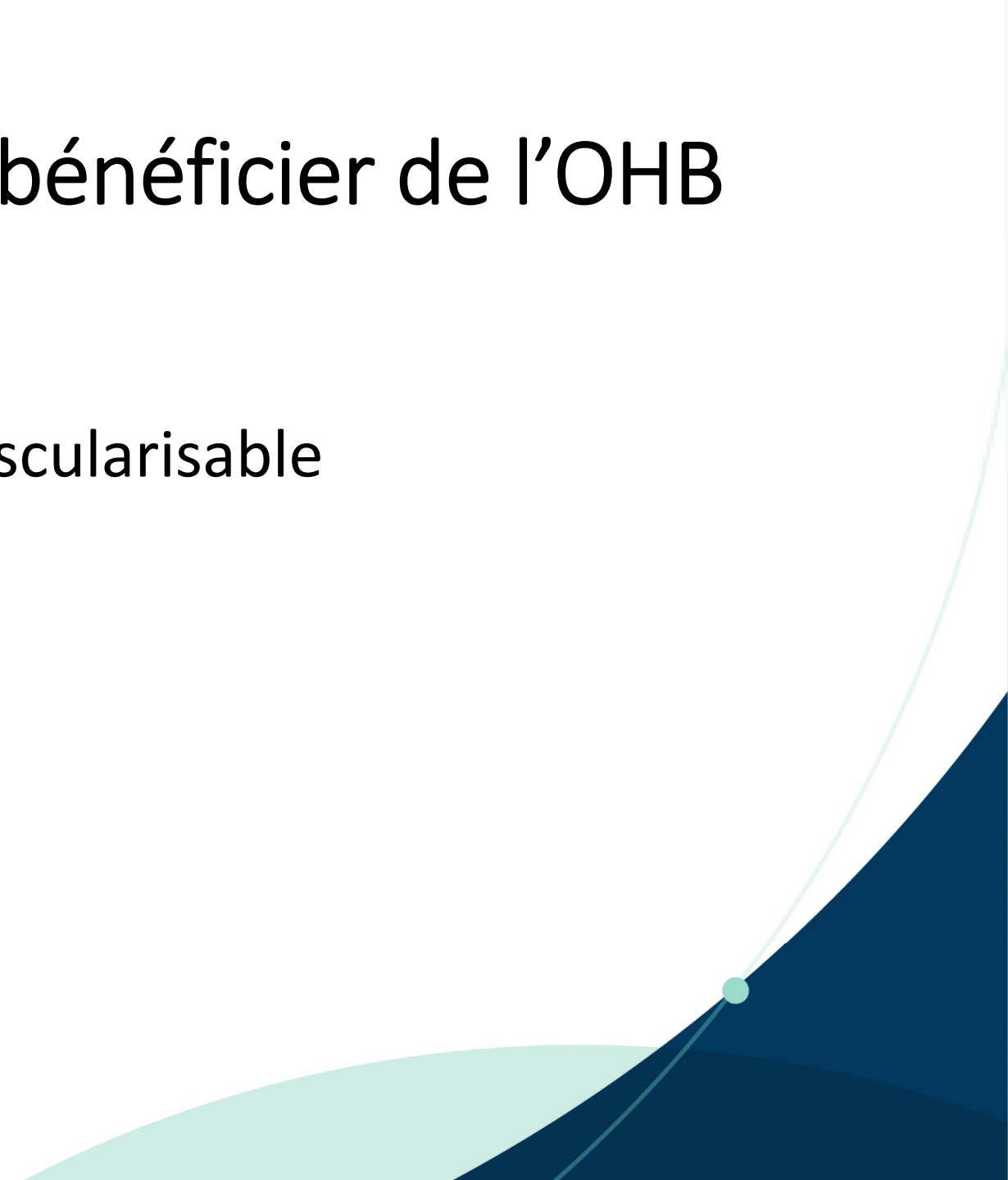


Après 20 séances

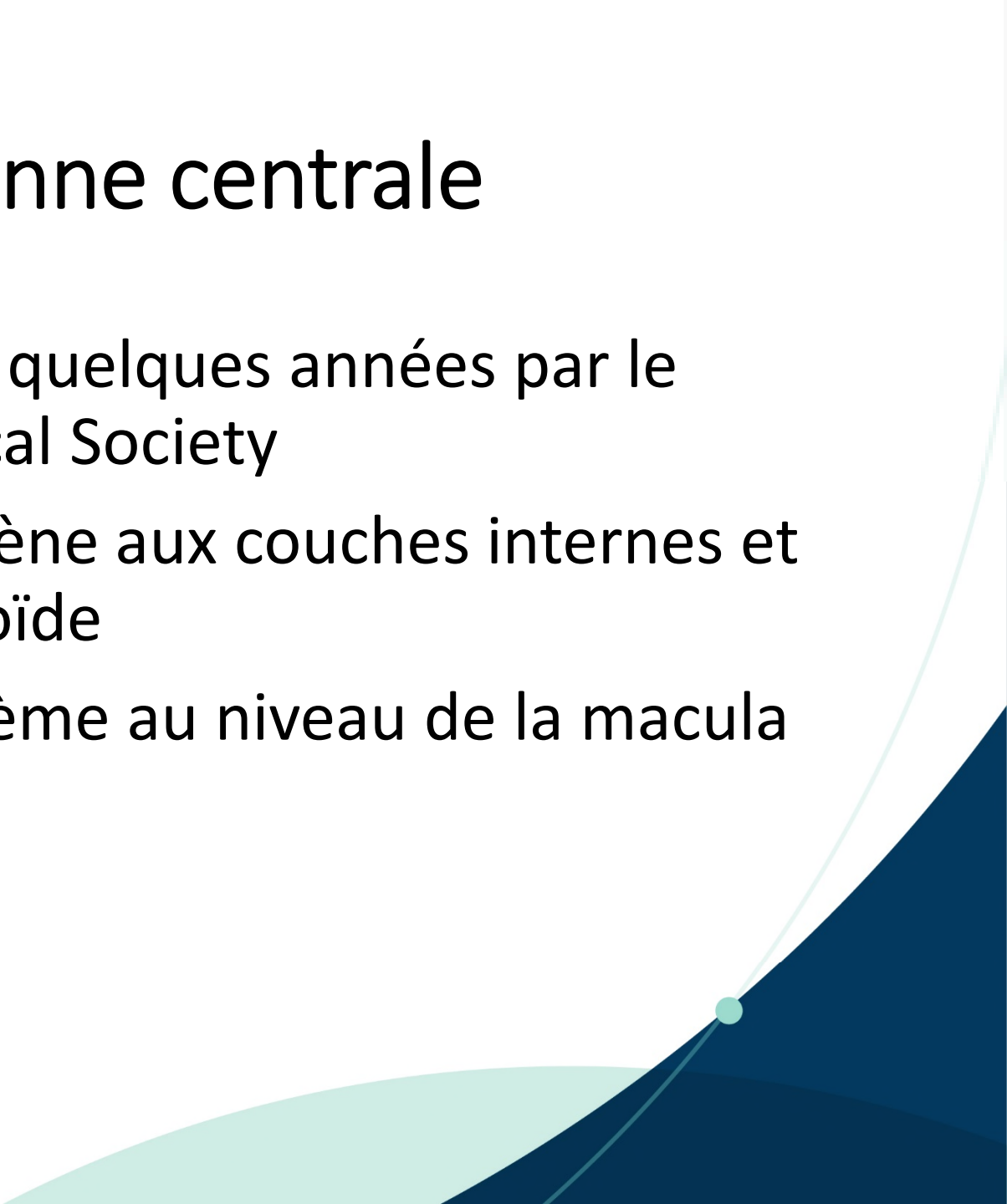
# Évolution finale



# Types de plaies pouvant bénéficier de l'OHB

- Pied diabétique
  - Insuffisance artérielle non-revascularisable
  - Calciphylaxie
  - Pyoderma gangrenosum
  - Sclérodermie
  - Ulcère de stase veineuse
- 

# Thrombose artère rétinienne centrale

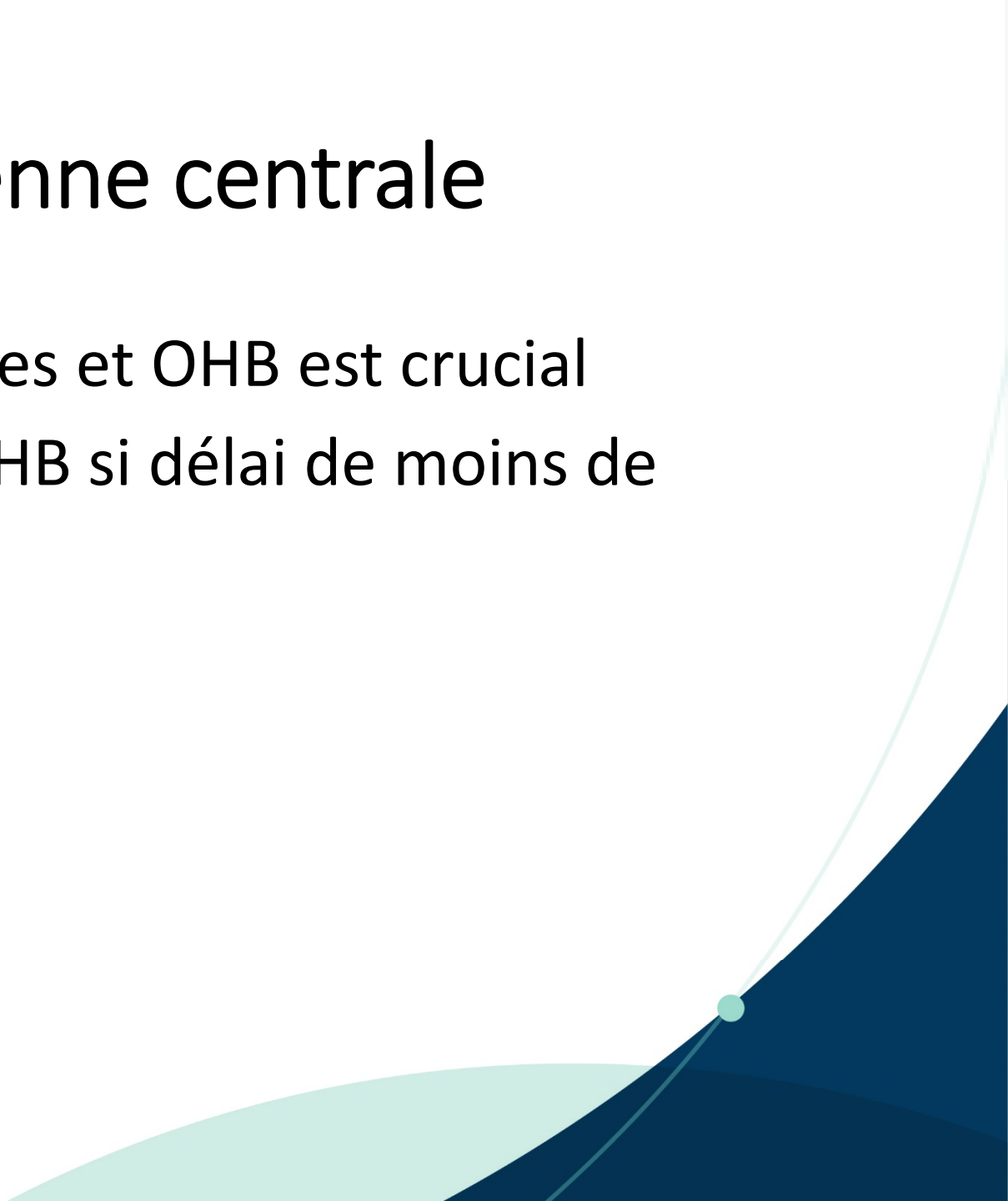
- Une indication reconnue depuis quelques années par le Undersea and Hyperbaric Medical Society
  - OHB permettrait d'amener oxygène aux couches internes et externes de la rétine via la choroïde
  - OHB pourrait aussi réduire l'œdème au niveau de la macula
- 



# Thrombose artère rétinienne centrale

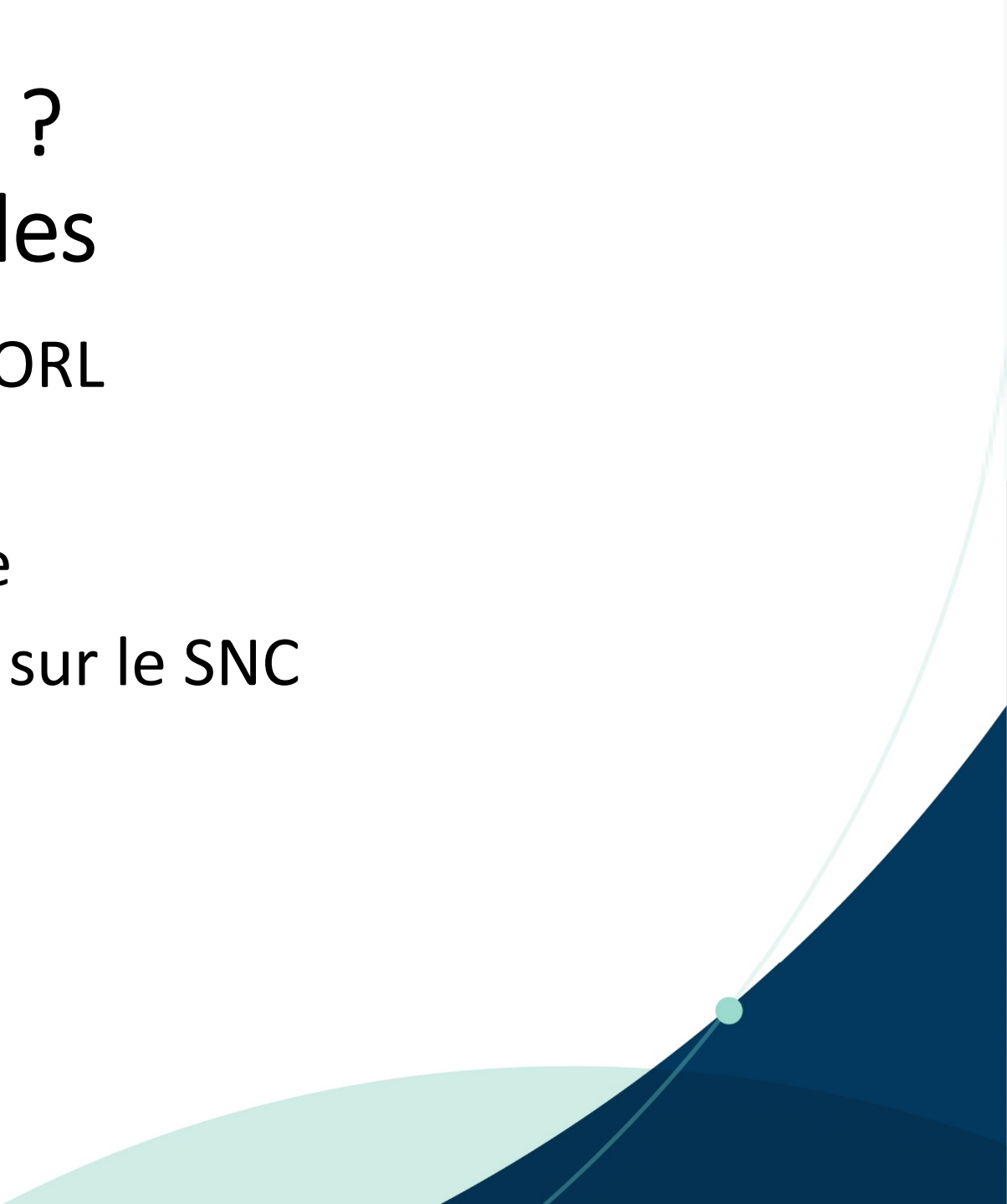
- Seulement des séries rétrospectives de cas avec cas-contrôles
- Aucune étude prospective randomisée contrôlée
- Au total : 927 patients dans les différentes études
- Pourcentage des cas améliorés : 66 %
- Niveau d'évidence pour OHB selon le AHA: Niveau IIb

# Thrombose artère rétinienne centrale

- Délai entre apparition symptômes et OHB est crucial
  - Plus haut taux de succès avec OHB si délai de moins de 12 heures
- 

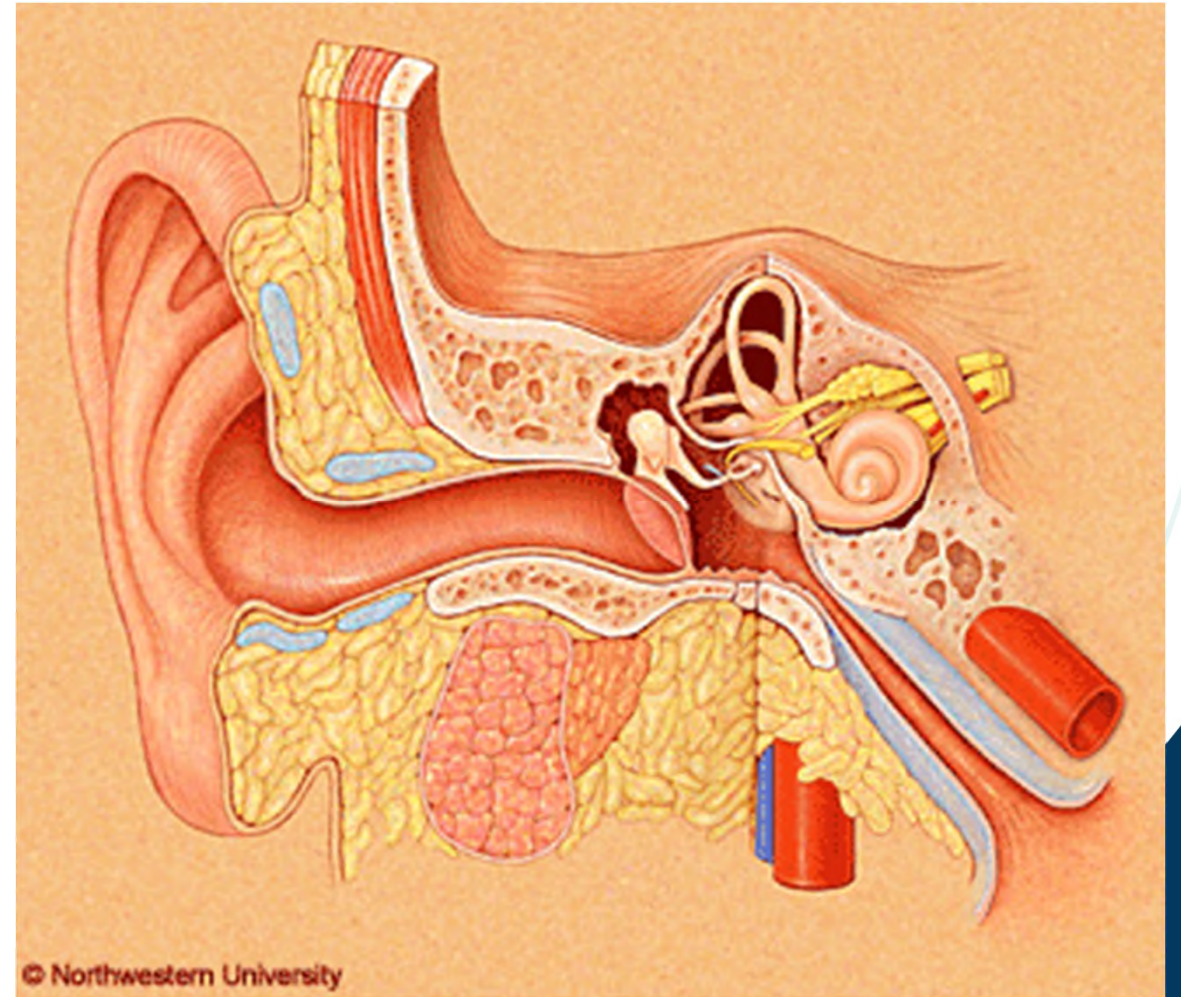
# Y a-t-il des risque à l'OHB ?

## Effets secondaires possibles

- Barotraumatismes de la sphère ORL
  - Barotraumatismes pulmonaires
  - Changements de l'acuité visuelle
  - Toxicité potentielle de l'oxygène sur le SNC
  - Impact sur niveau de glycémie
  - Impact au niveau cardiaque
  - Claustrophobie
- 

# Barotraumatisme ORL

- Tout espace contenant de l'air va subir les changements de pression
- L'oreille moyenne et les sinus sont des espaces aériques
- Le patient doit pouvoir équilibrer la pression dans l'oreille moyenne via le passage d'air par la trompe d'Eustache



# Barotraumatisme ORL

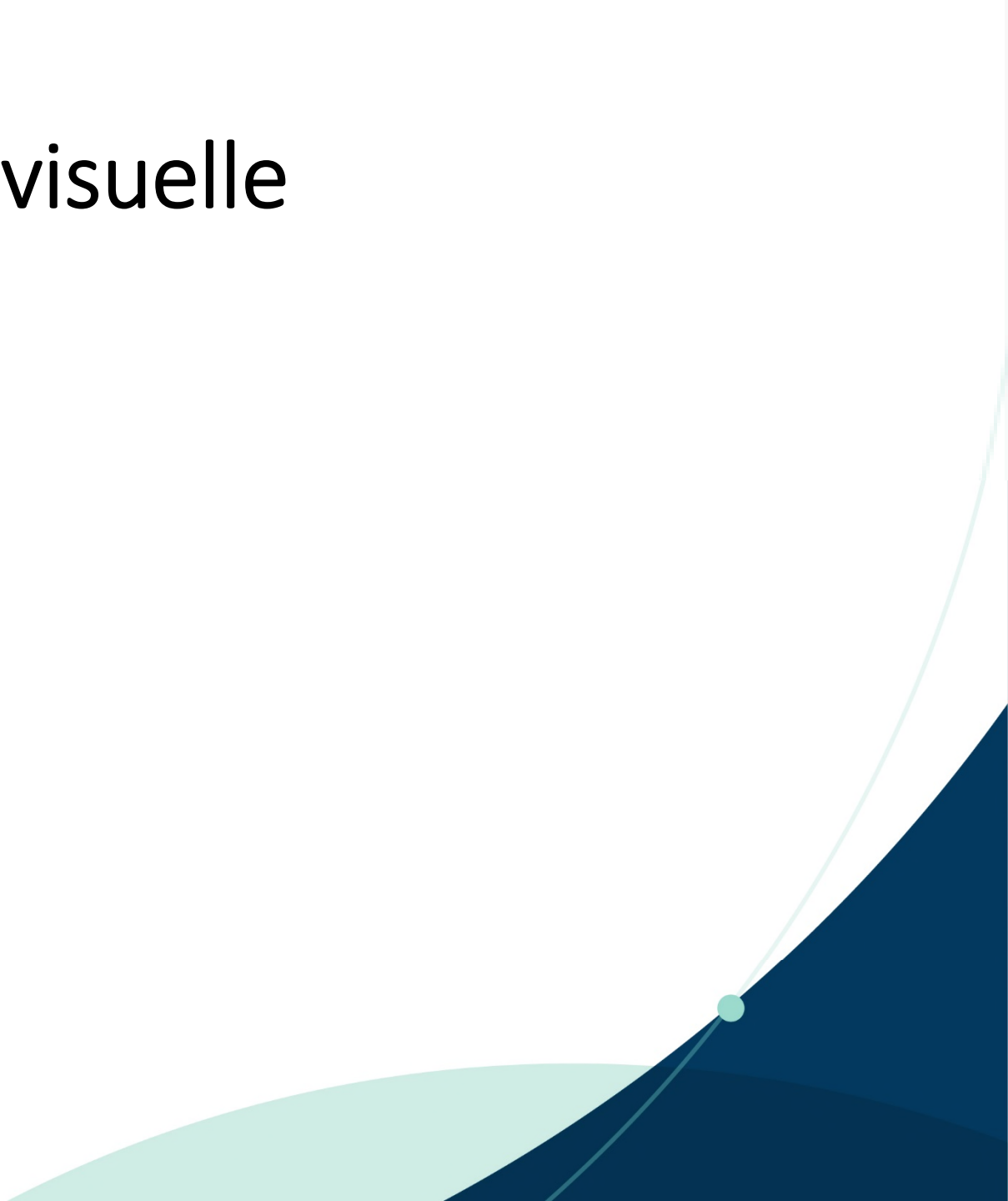
- Barotrauma de l'oreille moyenne est l'effet secondaire le plus fréquent, avec une incidence d'environ 10 %. De ces cas, la vaste majorité sont de faible sévérité
- Généralement auto-résolutif
- Peut nécessiter installation de tubes trans-tympaniques afin de pouvoir compléter la série de traitements
- Peut être évité par un bon enseignement des techniques d'équilibration de l'oreille moyenne et une vitesse de pressurisation lente



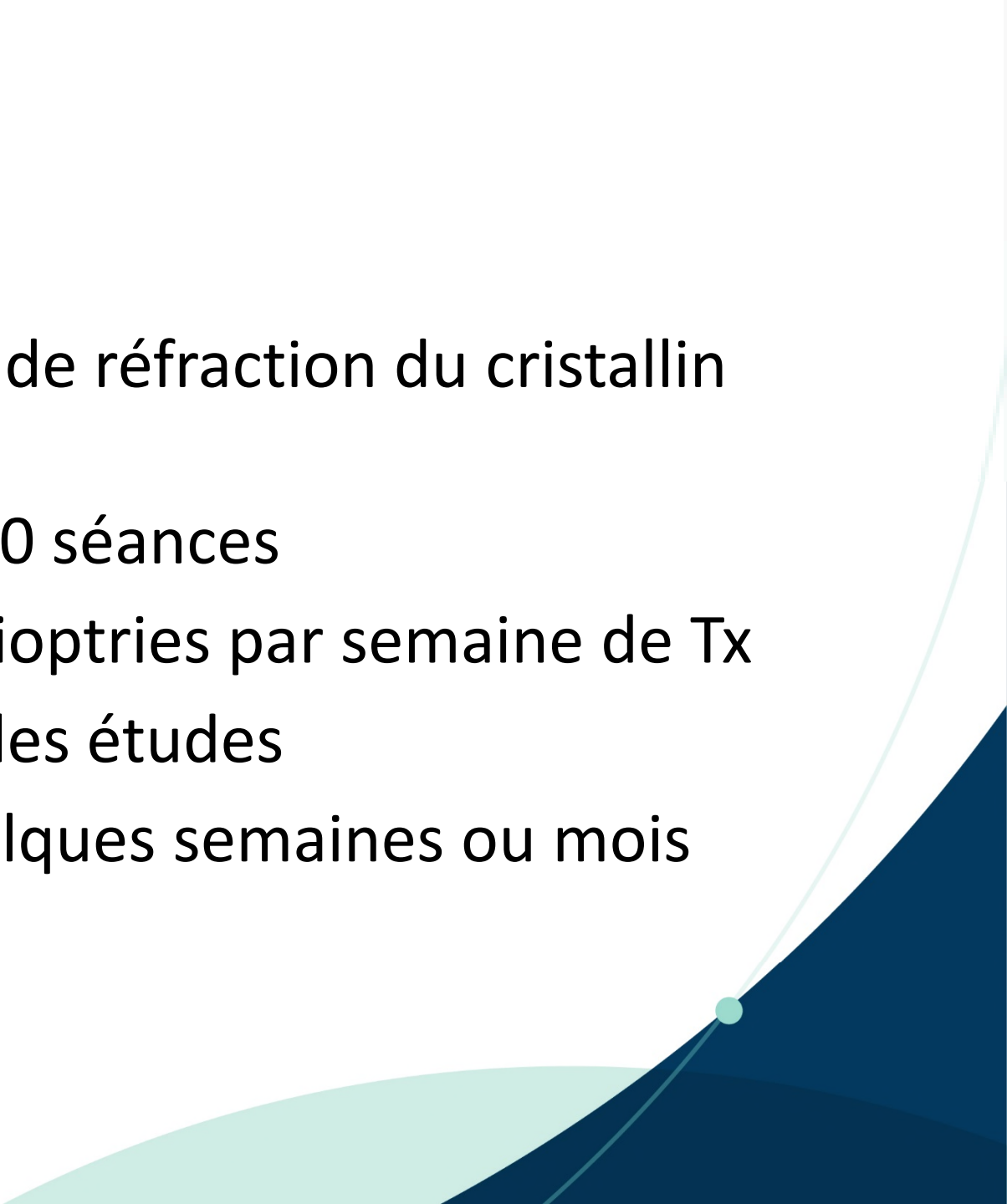
# Barotraumatisme pulmonaire

- Risque théorique de « trapping » d'air dans des zones des poumons qui seraient mal ventilées (ex. bulles d'emphysème)
- Barotraumatisme pulmonaire pourra se manifester par:
  - Pneumothorax, pneumomédiastin, emphysème sous-cutané
- Incidence très rare rapportée dans la littérature
- En plus de 20 ans d'opération, nous n'avons jamais eu de barotrauma pulmonaire

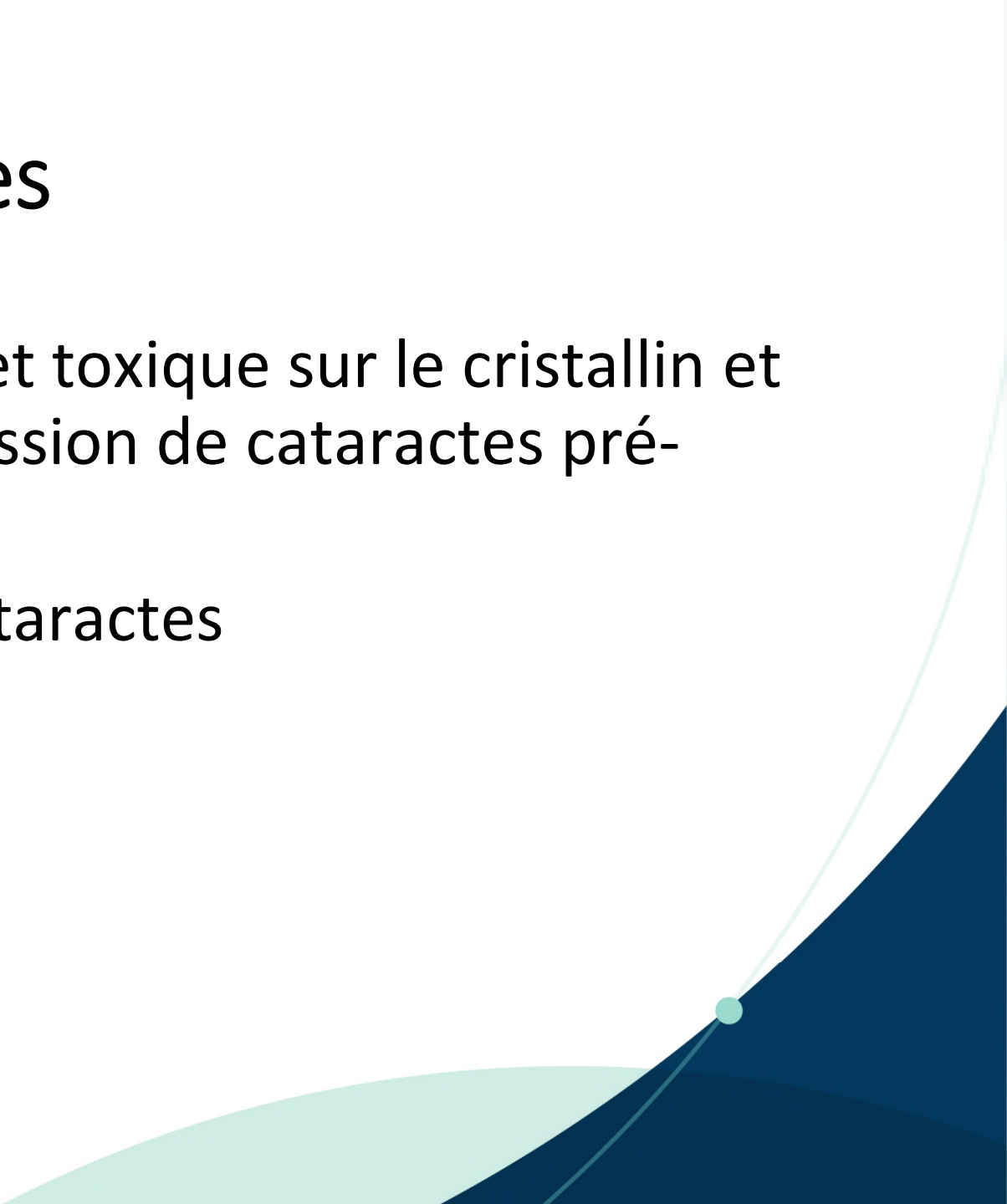
# Changements de l'acuité visuelle

- 2 phénomènes:
    - Myopie hyperoxique
    - Progression des cataractes
- 

# Myopie hyperoxique

- Serait reliée à des changements de réfraction du cristallin induits par l'hyperoxygénation
  - Survient habituellement après 20 séances
  - Vitesse d'apparition: env. 0,25 dioptries par semaine de Tx
  - Incidence : de 25 à 100 % selon les études
  - Généralement réversible en quelques semaines ou mois
- 

# Progression des cataractes

- Hyperoxygénation aurait un effet toxique sur le cristallin et accélérerait la vitesse de progression de cataractes pré-existantes
  - Mais ne vient pas générer de cataractes
  - Effet non-réversible
- 

# Toxicité potentielle de l'oxygène sur le système nerveux central (SNC)

- Mécanisme toxicité : serait lié à interaction entre radicaux libres d'oxygène et la membrane cellulaire des neurones
- Manifestations cliniques:
  - Changements du champ visuel
  - Acouphènes, hyperacousie
  - Irritabilité
  - Nausée, vomissement
  - Étourdissements
  - Fasciculations
  - Convulsion tonico-clonique généralisée



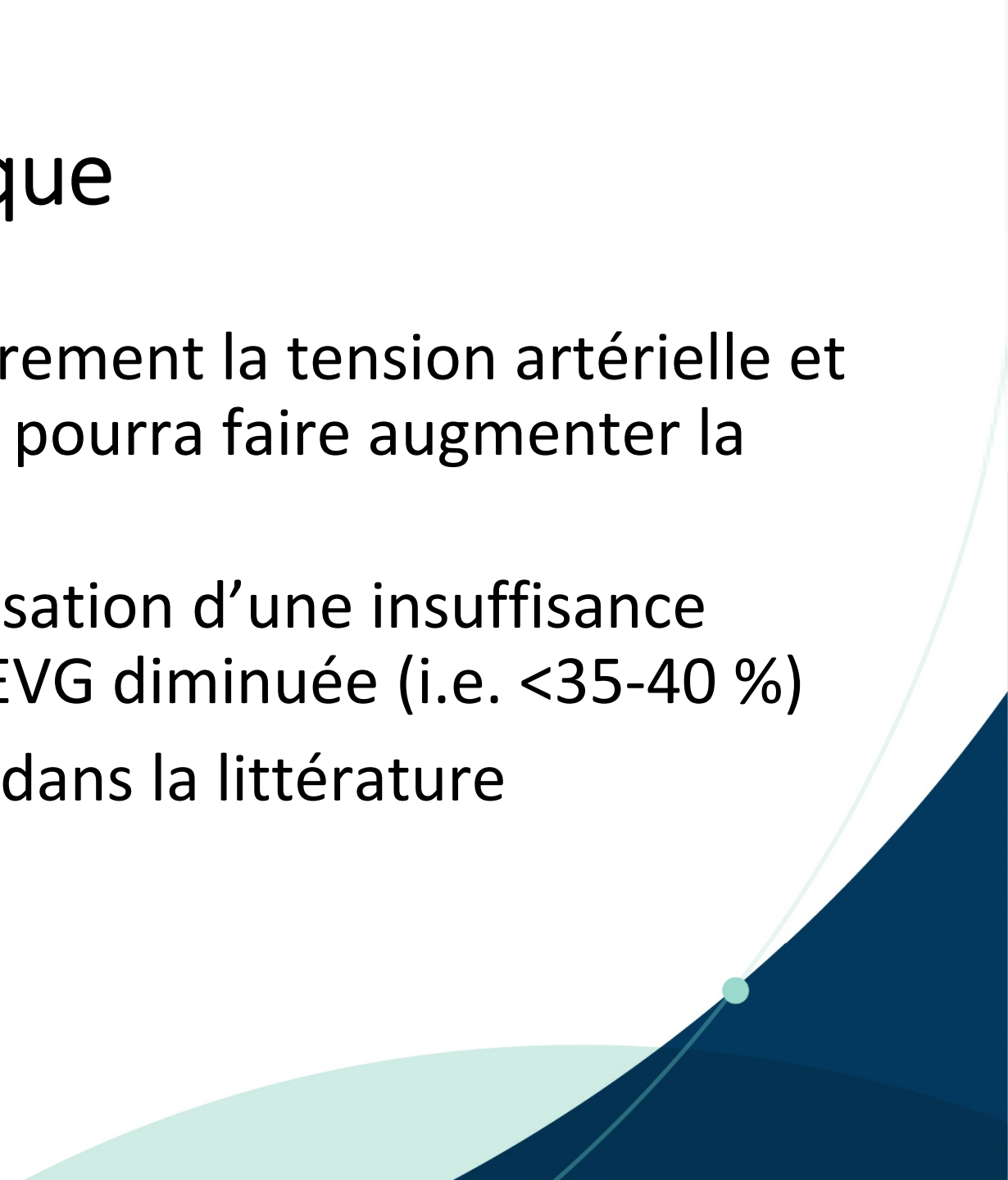
# Toxicité potentielle de l'oxygène sur le SNC

- Incidence:
  - Environ 1 sur 3 725 patient-traitements pour symptômes de toxicité autre que convulsion
  - Environ 1 sur 6 700 patient-traitements pour convulsion
- Prévention: pauses à l'air durant le traitement hyperbare
- On stoppe oxygène et convulsion va cesser
- Pas de séquelles suite à convulsion induite par oxygène

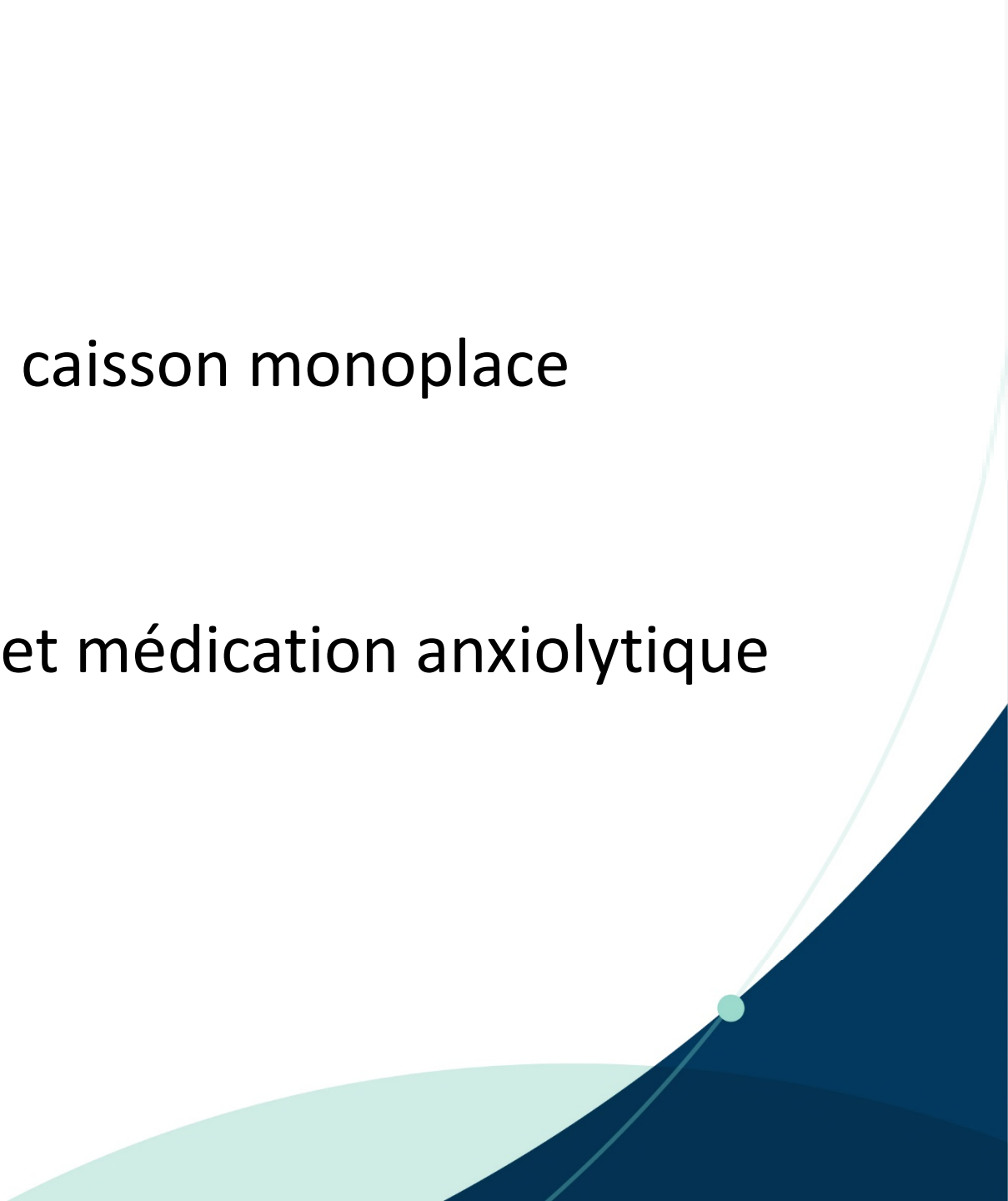
# Impact sur la glycémie

- OHB stimule la sécrétion d'insuline et augmente l'utilisation du glucose au niveau cellulaire
- Études montrent diminution de l'ordre de 1,5 à 3 mmol/L avec séance d'OHB
- Incidence hypoglycémie quand même rare: environ 1,5 %
- Prévention: maintenir glycémie > 6,7 mmol/L en pré-traitement, vérification glycémie capillaire pré et post-Tx

# Impact au niveau cardiaque

- OHB peut faire augmenter légèrement la tension artérielle et induire vasoconstriction, ce qui pourra faire augmenter la post-charge
  - Risque théorique de décompensation d'une insuffisance cardiaque chez patients avec FEVG diminuée (i.e. <35-40 %)
  - Mais très peu de cas rapportés dans la littérature
- 

# Claustrophobie

- Peut survenir principalement en caisson monoplace
    - moins de 10 % des patients
  - Très rare en caisson multiplace
  - Peut être contrôlé par coaching et médication anxiolytique
- 

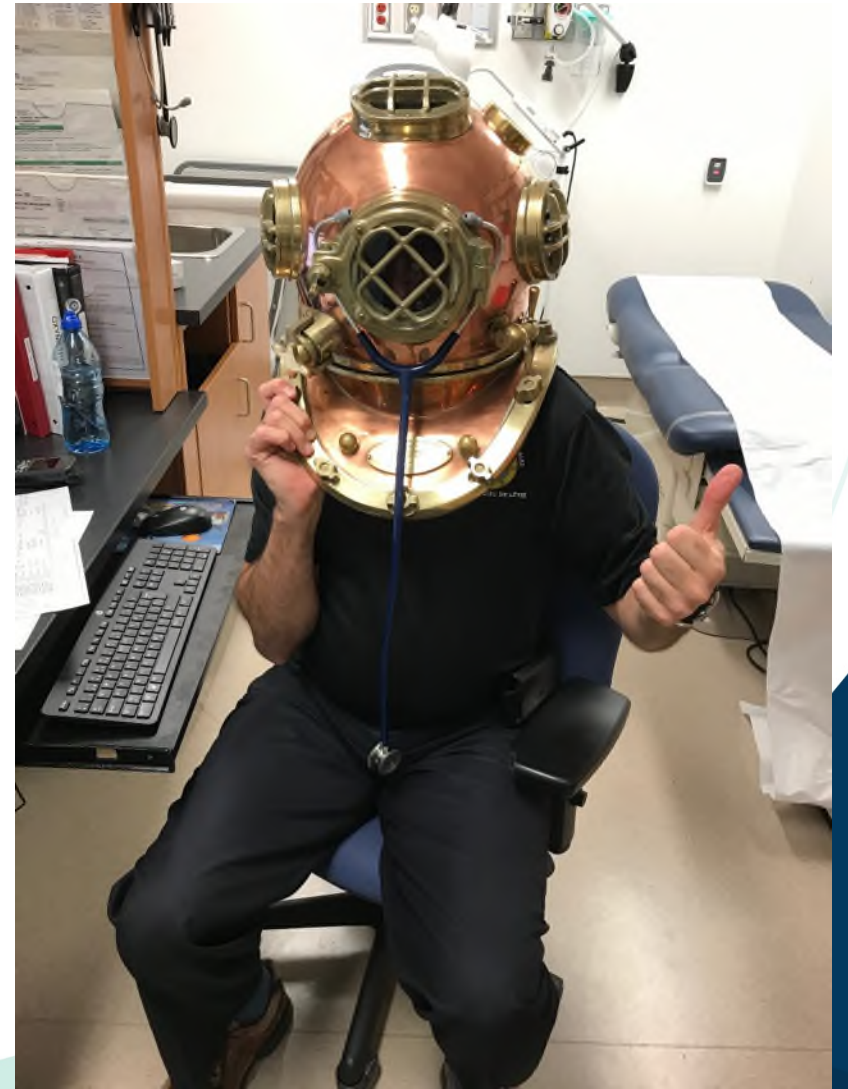
# Messages à retenir

- Effets de l'OHB sont d'ordre systémique
  - Augmentation substantielle de l'oxygénation tissulaire
  - Promotion de l'angiogénèse et de la cicatrisation
- Différentes conditions vasculaires aiguës et chroniques peuvent bénéficier de l'OHB
- OHB pourrait diminuer les risques d'amputation majeure chez patients avec plaies diabétiques et MVAS
- Bénéfices moins bien définis chez patients avec plaies diabétiques sans MVAS, mais peut mériter d'être envisagé
- Thérapie qui est considérée sécuritaire



# Merci pour votre attention

- N'hésitez pas à communiquer avec moi  
[Dominique.Buteau.med@ssss.gouv.qc.ca](mailto:Dominique.Buteau.med@ssss.gouv.qc.ca)



# Références

- [A systematic review and meta-analysis of \*\*hyperbaric\*\* oxygen therapy for \*\*diabetic foot\*\* ulcers with arterial insufficiency.](#) Brouwer RJ, Laliou RC, Hoencamp R, van Hulst RA, Ubbink DT. J Vasc Surg. 2020 Feb;71(2):682-692.
- [\*\*Hyperbaric\*\* oxygen therapy for nonischemic \*\*diabetic ulcers\*\*: A systematic review.](#) Laliou RC, Brouwer RJ, Ubbink DT, Hoencamp R, Bol Raap R, van Hulst RA. Wound Repair Regen. 2020 Mar;28(2):266-275.
- [\*\*Hyperbaric\*\* Oxygen Therapy for the Treatment of \*\*Diabetic Foot Ulcers\*\*: A Health Technology Assessment.](#) Health Quality Ontario. Ont Health Technol Assess Ser. 2017 May 12;17(5):1-142. eCollection 2017.
- [\*\*Hyperbaric\*\* Oxygen Therapy: \*\*Side Effects\*\* Defined and Quantified.](#) Heyboer M 3rd, Sharma D, Santiago W, McCulloch N. Adv Wound Care (New Rochelle). 2017 Jun 1;6(6):210-224.

# Références

- [Hyperbaric oxygen: its mechanisms and efficacy.](#) Thom SR. *Plast Reconstr Surg.* 2011 Jan;127 Suppl 1(Suppl 1):131S-141S.
- [Hyperbaric oxygen therapy for massive arterial air embolism during cardiac operations.](#) Ziser A, Adir Y, Lavon H, Shupak A. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1999 Apr;117(4):818-21.
- [Iatrogenic cerebral air embolism: importance of an early hyperbaricoxygenation.](#) Blanc P, Boussuges A, Henriette K, Sainty JM, Deleflie M. *Intensive Care Med.* 2002 May;28(5):559-63.
- [Hyperbaric Oxygen Therapy for Central Retinal Artery Occlusion: Patient Selection and Perspectives.](#) Celebi ARC. *Clin Ophthalmol.* 2021 Aug 13;15:3443-3457.

# Références

- [Hyperbaric Oxygen Therapy: Exploring the Clinical Evidence](#). Lam G, Fontaine R, Ross FL, Chiu ES. Adv Skin Wound Care. 2017 Apr;30(4):181-190.
- [Hyperbaric oxygen for the treatment of diabetic foot ulcers: a systematic review](#). Stoekenbroek RM, Santema TB, Legemate DA, Ubbink DT, van den Brink A, Koelemay MJ. Eur J Vasc Endovasc Surg. 2014 Jun;47(6):647-55.
- [Hyperbaric oxygen therapy for chronic wounds](#). Kranke P, Bennett MH, Martyn-St James M, Schnabel A, Debus SE, Weibel S. Cochrane Database Syst Rev. 2015 Jun 24;2015(6):CD004123.
- [Middle ear barotrauma during hyperbaric oxygen therapy; a review of occurrences in 5,962 patients](#). Nasole E, Zanon V, Marcolin P, Bosco G. Undersea Hyperb Med. 2019 Mar-Apr-May;46(2):101-106.