# Activité clinique en centre hyperbare militaire

P. Constantin[a], S. De Rudnicki[a], J.-M. Pontier[b], C. Renaud[b], C. Pény[c], M. Hugon[d], J.-É. Blatteau[e]

*a Unité fonctionnelle hyperbarie et plongée de la Fédération anesthésie réanimation urgence hyperbarie bloc opératoire de l'HIA du Val-de-Grâce, 74 bd de Port Royal – 75005 Paris.*
*b Cellule École de plongée de l'antenne médicale Saint-Mandrier du CMA Toulon, BP 311 – 83800 Toulon Naval Cedex 9.*
*c Cellule plongée humaine et intervention sous la mer de la Force d'action navale – 83800 Toulon Cedex 9.*
*d Service de médecine hyperbare et expertise plongée de l'HIA Sainte-Anne, BP600 – 83800 Toulon Cedex 9.*
*e Équipe résidente de recherche subaquatique opérationnelle de l'Institut de recherche biomédicale des armées, BP600 – 83800 Toulon Cedex 9.*

**Résumé**

Initialement développée pour prendre en charge les urgences spécifiques comme les accidents de plongée ou les gangrènes gazeuses, la médecine hyperbare est également utile pour le traitement de pathologies dites « chroniques » telles que des lésions ischémiques ou post-radiques. Le traitement consiste à faire respirer au patient un mélange suroxygéné dans une enceinte multiplace mise en pression à l'air. Les conditions de délivrance du traitement sont encadrées par une réglementation précise. Sous réserve d'une organisation adaptée, la tarification actuelle et le recours aux actes nomenclaturés permettent d'obtenir l'équilibre économique. Avec trois centres hyperbares thérapeutiques et un centre de recherche, les armées sont aujourd'hui en possession d'un outil qui peut contribuer à la santé publique de demain.

Mots-clés : Aspects médico-économiques. Oxygénothérapie hyperbare. Réglementation.

**Abstract**

**Clinical activities in military hyperbaric centres;**

Originally developed to support specific emergencies such as diving accidents or gas gangrenes, hyperbaric medicine is also useful to treat "chronic pathologies" such as ischemic or late effect radiation-induced lesions. The treatment is based on oxygen inhalation by a patient in a compressed air multi-place chamber. The conditions of the treatment delivery are governed by specific regulations. Opting for a suitable organization, the medical acts pricing and registered medical acts can keep the budget balanced. With their three hyperbaric therapeutic centres and one research centre, the armies can now ensure future public health.

Keywords : Hyperbaric Oxygen Therapy. Medico-economic aspects. Regulation.

## Introduction – Historique

L'essor de la médecine hyperbare est lié au développement de la plongée à des fins militaires et industrielles après la Deuxième Guerre mondiale. Le challenge consistait à sécuriser les unités de plongeurs militaires et leur permettre également de travailler à des profondeurs plus élevées. En France, la Marine va ainsi créer une nouvelle unité, compétente en matière de plongée sous-marine : le Groupe de recherche sous-marine (GRS). Des médecins et des pharmaciens y sont affectés et vont contribuer à l'acquisition de connaissances fondamentales encore utilisées en hyperbarie (1). Les caissons vont se multiplier au sein des unités de plongeurs. Actuellement, la Marine possède toujours de nombreux caissons embarqués et maintient un Centre Hyperbare 500 mètres (CHM 500) à des fins de recherche au sein de la CEllule de Plongée Humaine et d'Intervention Sous la MER (CEPHISMER).

P. CONSTANTIN, médecin en chef, praticien certifié. S. DE RUDNICKI, médecin en chef, praticien certifié. J.-M. PONTIER, médecin en chef, praticien certifié. C. RENAUD, médecin en chef, praticien confirmé. C. PÉNY, médecin en chef, praticien certifié. M. HUGON, médecin chef des services, praticien certifié. J.-É. BLATTEAU, médecin en chef, praticien certifié.
**Correspondance :** Monsieur le médecin en chef P. CONSTANTIN, HIA du Val-de-Grâce, 74 bd de Port Royal – 75005 Paris.
E-mail : pascalconstantin@free.fr

Les aléas économiques et le développement de la robotique sous-marine ont freiné la plongée humaine *offshore* et la course aux profondeurs. Cependant, on assiste ces dernières années à une explosion de la plongée de loisir partout dans le monde avec comme conséquence la prise en charge de nombreux accidents de plongée en particulier dans les centres hyperbares méditerranéens, comme celui de l'Hôpital d'instruction des armées (HIA) Sainte-Anne à Toulon. Par ailleurs depuis les années 60, des médecins réanimateurs ont introduit l'Oxygène hyperbare (OHB) dans l'arsenal thérapeutique pour leurs malades, ce qui a contribué à dégager les indications de l'OHB dans le domaine de l'urgence et de la réanimation, telles l'intoxication au monoxyde de carbone, la gangrène gazeuse ou l'embolie gazeuse iatrogène.

De nos jours, cette discipline émergente s'est consolidée par une augmentation du nombre d'études publiées dans ce domaine ainsi que par une approche multidisciplinaire, permettant la validation périodique d'indications raisonnées qui font l'objet d'analyses par des comités d'experts tant au niveau national qu'au niveau international. Le centre hyperbare apparaît ainsi comme un lieu de rencontre privilégié des différents spécialistes concernés par telle ou telle pathologie relevant de l'OHB et qui décident de concert de la conduite à tenir pour leur patient.

Au sein du Service de santé des armées (SSA), il existe aujourd'hui trois centres hyperbares dans les HIA de Toulon, Paris et Metz. Le premier centre hyperbare militaire hospitalier a été mis en place en 1965 à l'HIA Sainte Anne. En 1993, un nouveau caisson est installé, qui sera transféré dans le nouvel hôpital en 2007, bénéficiant d'une modernisation des installations hyperbares et d'une intégration dans des locaux plus fonctionnels au sein du Service de médecine hyperbare et expertise plongée (SMHEP). Chaque année le centre hyperbare de l'HIA Sainte-Anne accueille plus d'une centaine de cas d'accidents de plongée civils, ce qui représente le tiers des accidents de plongée traités en France. Inauguré en 1979, le nouvel HIA du Val-de-Grâce est alors un hôpital moderne d'une capacité de 360 lits. C'est en tant qu'outil à la disposition du service de réanimation qu'est mis en place un caisson hyperbare de type COMEX 1 800, toujours en fonctionnement. L'hyperbarie débute au Centre hospitalier des armées (CHA) Legouest en 1986, avec un caisson thérapeutique mobile CX 1 500 provenant du 1er régiment du Génie et mis à disposition par l'État-major de l'armée de Terre. L'HIA, qui souhaite développer un service de médecine hyperbare dès 1994, en fait l'acquisition en 2000. En 2009, un nouveau caisson est installé dans l'unité d'OHB, intégrée à la Fédération d'anesthésie réanimation urgence.

## Qu'est-ce que l'oxygénothérapie hyperbare ?

L'oxygénothérapie hyperbare (OHB), telle que définie par la Haute autorité de santé (HAS) (2) est une modalité thérapeutique d'administration de l'oxygène par voie respiratoire à une pression supérieure à la pression atmosphérique standard (1 bar ou 1 atmosphère absolue [ATA]). Elle est définie comme l'inhalation d'oxygène pur ($O_2$ à 100 %) par un sujet placé dans un caisson d'acier ou de polymère, à des pressions partielles d'oxygène supra-atmosphériques (en général de 2 à 2.8 ATA) pendant au moins 90 minutes. Pour certaines indications (accident neurologique de plongée, embolie gazeuse) des pressions ambiantes plus élevées peuvent être utilisées (4 à 6 ATA) avec inhalation de mélanges suroxygénés pendant plusieurs heures.

## Physiopathologie

Outre l'effet mécanique de la pression sur les volumes gazeux, l'élévation de la pression partielle d'oxygène induit des modifications biochimiques et cellulaires (3).

La compression des volumes gazeux et la dénitrogénation sont à la base du traitement des accidents de décompression, des embolies gazeuses et d'autres pathologies bullaires. La variation des volumes gazeux au cours des modifications de pression peut cependant être responsable d'accidents barotraumatiques, qu'il convient de prévenir.

L'augmentation de la $PO_2$ artérielle et capillaire améliore le transport de l'oxygène sous forme dissous et élève la $PO_2$ tissulaire. La vasoconstriction hyperoxique dans les tissus sains entraîne une redistribution sanguine au profit des tissus hypoxiques.

Les synthèses cellulaires diminuées en milieu hypoxique sont améliorées par l'élévation du gradient de $PO_2$ et les alternances d'hypoxie-hyperoxie. Il s'ensuit une stimulation de l'angiogénèse, de l'activité des macrophages et une synthèse de collagène par les fibroblastes.

L'OHB agit sur les processus infectieux à trois niveaux : effet bactériostatique et bactéricide, potentialisation de l'action de certains agents antimicrobiens, amélioration du pouvoir phagocytaire des polynucléaires. La formation de radicaux libres dérivés de l'oxygène pourrait expliquer l'effet bactériostatique et bactéricide, mais également les effets toxiques de l'oxygène en particulier la toxicité neurologique sous forme de crises convulsives (« effet Paul Bert ») qui est peu fréquente en pratique courante et régressive à l'arrêt de l'inhalation d'oxygène.

## Qu'est-ce qu'un centre hyperbare ?

### *Réglementation*

Les caissons hyperbares entrent dans la catégorie des équipements lourds et sont soumis à autorisation pour mise en place. De plus, une installation hyperbare pour son fonctionnement, doit se conformer à certains textes : la norme 14931 (8) ; le décret hyperbare en vigueur (4), le Code européen de bonne pratique (5), et la décision du 26 mai 2010 de l'Union nationale des caisses d'assurance maladie (6) relative à la liste des actes et prestations pris en charge. Ces éléments précisent l'indication pour chaque acte hyperbare, la formation du médecin cotant l'acte et l'environnement spécifique de cet acte. La figure 1 extrait du Code européen de bonne pratique illustre les différentes composantes d'un centre hyperbare (fig. 1).

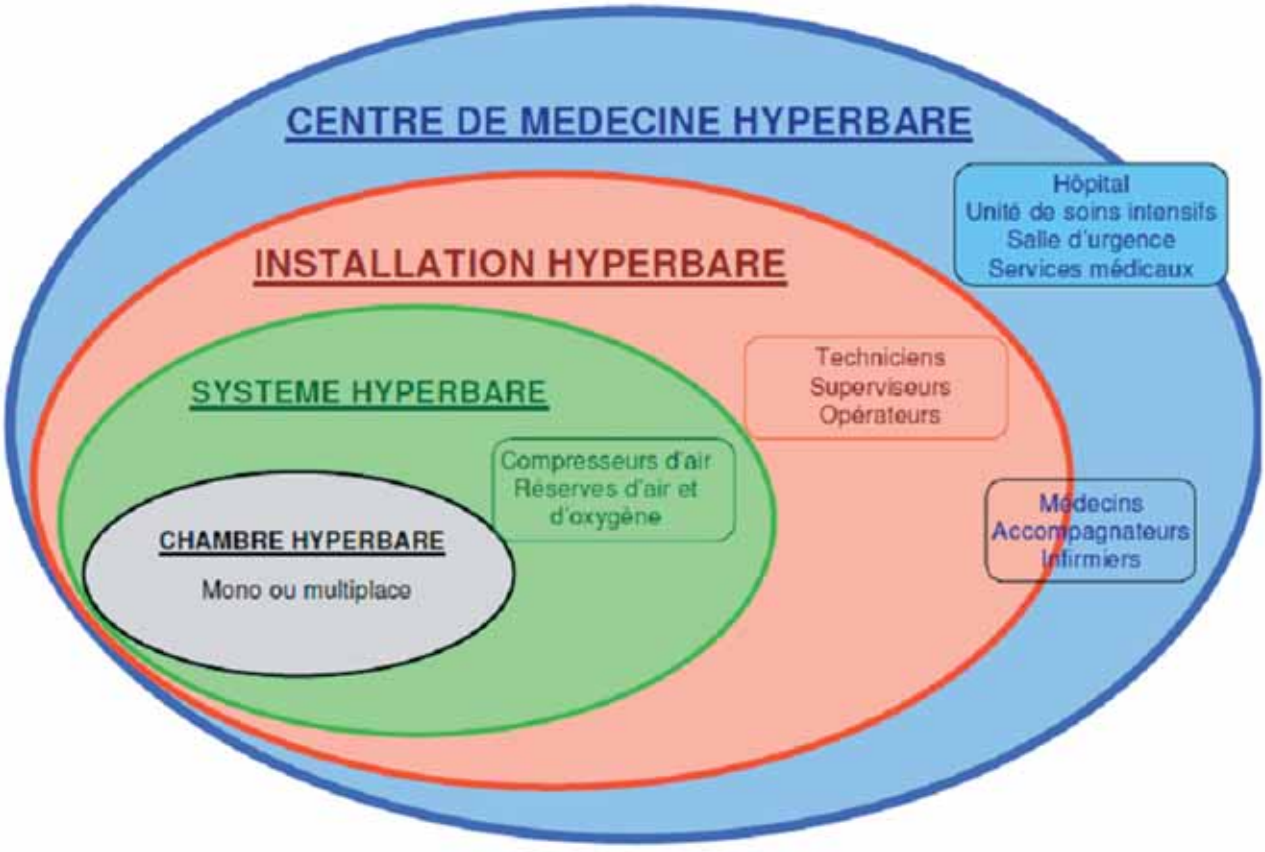



**Figure 1. Organisation d'un centre hyperbare.**

## *Matériels (7)*

### Chambre hyperbare

En France, les caissons thérapeutiques sont multiplaces. Ils comportent au moins une chambre thérapeutique (recevant les malades), un sas permettant au personnel de l'équipe soignante d'aller et venir à l'intérieur et d'un sas à médicament pour échanger du matériel ou des médicaments. Par ailleurs, d'autres éléments caractérisent, en termes de sécurité, les chambres hyperbares actuelles. Elles doivent disposer entre autres :

– d'une soupape de sécurité tarée à la pression maximale d'utilisation ;

– un système permettant de visualiser à l'intérieur de la chambre ;

– un système de communication acoustique permettant d'écouter en permanence l'intérieur de la chambre ;

– un système de lutte contre l'incendie ;

– un système de ventilation automatique permettant de remplacer une partie de l'air enrichi en oxygène tout en ne modifiant pas la pression de la chambre ; ce système devra être équipé de silencieux pour que le niveau sonore reste acceptable pendant le traitement ;

– un système de mesure de la concentration en oxygène dans la chambre ;

– un manomètre pour mesurer la pression au niveau de la chambre et au niveau du sas.

### Les dispositifs techniques à l'intérieur de l'enceinte

Les dispositent avoir été validés pour être utilisés comme tels. Certains appareils sont classiquement utilisés.

#### *Ventilateurs hyperbares*

La ventilation mécanique en hyperbarie induit des contraintes techniques supplémentaires par rapport à la gestion du patient intubé/ventilé en surface. Les centres hyperbares militaires sont équipés du respirateur SIARETRON de la société Siare.

#### *Pousses seringues hyperbares*

Les pousse-seringues hyperbares sont alimentés de l'extérieur pour des raisons de sécurité électrique/incendie par l'intermédiaire des batteries grâce à un passage de coque à travers l'enceinte.

#### *Monitorage ($TCPO_2$ – $TCPCO_2$)*

La mesure des pressions transcutanées en oxygène est indispensable pour évaluer l'intérêt de l'oxygène hyperbare dans certaines indications (pathologies ischémiques). La mesure de la pression transcutanée en

$CO_2$ est un apport intéressant lors de la prise en charge d'un patient en ventilation mécanique hyperbare.

### Les fluides

#### *L'air de compression*

Maintenant produit (pour des raisons économiques) grâce à des compresseurs « basse pression » ; la qualité de l'air fourni est « médicale », ce gaz permet également de faire les pauses à l'air (le patient enlève son masque toutes les 25 min et respire alors en ambiance).

#### *Gaz thérapeutiques*

##### L'oxygène

La solution la plus commode est de se brancher sur le réseau hospitalier, les pressions d'arrivée de l'ordre de huit bars sont suffisantes avec, en cas de panne, la possibilité de se brancher sur des bouteilles de secours.

##### Les mélanges suroxygénés

Pour certains traitements, il est intéressant d'utiliser des tables thérapeutiques dont la pression dépasse 2.8 ATA. Dans ce cas, sont utilisés des mélanges suroxygénés, c'est-à-dire des mélanges dans lesquels la proportion d'oxygène est supérieure à celle de l'air (21 %) avec un gaz diluant (hélium ou azote), sous la forme d'un mélange Nitrox (oxygène/azote) ou Héliox (oxygène/hélium).

### Centrale de production d'air

Les compresseurs sont classiquement disposés dans des enceintes insonorisées dans un local technique à l'extérieur des pièces contenant les chambres hyperbares. Trois sources de production d'air sont préconisées dans le respect de la norme NF EN 14931 (7). Il peut s'agir d'un compresseur réservé à l'usage hyperbare, d'un rack d'air respirable en sécurité et de la possibilité de se brancher sur l'air hôpital.

### Environnement médical

Bien que les urgences ne représentent qu'une petite partie de l'activité en médecine hyperbare, il est important que la chambre hyperbare se trouve à proximité du service d'urgence ou de réanimation. D'une part, pour les urgences, qui nécessiteront une prise en charge collégiale pour valider l'indication et stabiliser le patient avant de débuter le traitement hyperbare, et d'autre part, de façon à mutualiser un certain nombre de contraintes de fonctionnement.

## *Personnels*

### Médecins

La médecine subaquatique et hyperbare est une véritable spécialité. Elle a de nombreux aspects transverses avec d'autres spécialités (dermatologie, urgences, réanimation, physiologie) qui la rendent difficile et passionnante. Il n'existe cependant pas de DESC permettant d'obtenir une compétence validée par un cursus. La formation minimale est le Diplôme inter universitaire (DIU) de médecine subaquatique et hyperbare qui permet la délivrance d'une qualification Classe II mention C (hyperbariste médical) par le ministère du Travail. Ce DIU doit venir s'ajouter à une compétence initiale. La réanimation ou l'urgence conviennent tout à fait pour la prise en charge des patients aigus, tandis que la chirurgie ou la dermatologie permettent de mieux aborder les problématiques de cicatrisation. Au sein du Service de santé, l'EVDG (CFMN) a mis en place le Certificat de médecine appliquée à la plongée (CMAPSM) qui permet de délivrer au médecin la qualification classe II mention C.

### Infirmiers

L'EVDG (CFMN) a mis en place la formation d'Infirmier sécurité plongée mention hyperbare (ISP-H). Il s'agit d'un diplôme spécifiquement militaire, accessible à tout infirmier DE devant surveiller un chantier de plongée dans une unité dotée de moyens hyperbares. La durée du stage ISP-H est de cinq semaines. À l'issue, l'intéressé devra être notamment capable, en l'absence de médecin, d'identifier un accident de plongée, de le prendre en charge dès la sortie de l'eau et d'appliquer une procédure thérapeutique spécifique, sans, mais surtout avec des moyens hyperbares. Dans un centre hyperbare, il doit être capable de mettre en œuvre en toute sécurité l'installation (hospitalière ou en unité) et de prendre en charge un patient. Le cours ISP-H permet la délivrance d'une qualification classe II mention C (hyperbariste médical) par le ministère du Travail.

### Opérateurs caisson thérapeutique

Pour les opérateurs caisson thérapeutique, l'autorisation d'exercice est délivrée par l'employeur. Il s'agit donc généralement d'une formation interne facile à organiser. Dans certains cas, ces personnels peuvent également bénéficier d'une qualification classe IIC.

## En 2014, à qui s'adresse principalement le traitement hyperbare ?

Les indications reconnues varient entre les organisations de santé et les pays (9). Il n'existe que peu d'études contrôlées randomisées. En France, le service évaluation des actes professionnels a conduit en janvier 2007 un travail de synthèse sur les indications de l'oxygénothérapie hyperbare en analysant le niveau de preuve des principales études et les conférences de consensus dans le domaine (2).

L'HAS est favorable à l'inscription des actes à la liste prévue des actes à l'article L. 162-1-7 du Code de la sécurité sociale dans les indications suivantes (tab. I) :

Pathologies aiguës :

– accident de décompression en traitement initial ;

– embolie gazeuse ;

– intoxication au monoxyde de carbone chez les patients à haut risque de complications à court ou long terme (perte de conscience à l'admission ou après l'admission ; signes neurologiques, cardiaques, respiratoires ou psychologiques ; grossesse) ;

– infection nécrosante des tissus mous ;

– écrasement de membre (fracture ouverte de type III Gustilo B et C).

Pathologies chroniques :

– lésions radio-induites : cystite radio-induite et ostéo-radionécrose mandibulaire en cas d'extraction dentaire ;

**Tableau I. Récapitulatif des indications reconnues par l'HAS.**

| Indications validées | Pression | Durée de la séance | Nombre habituel de séances | Population cible : Nb de patients/an |
|---|---|---|---|---|
| Accidents de décompression | 2,8 à 4 ATA | jusqu'à 7h | 1 à 2 puis 10 séances à 2,5 ATA | 350-400 |
| Embolies gazeuse | 4 à 6 ATA | jusqu'à 7h | 1 ou plus selon évolution | 80-100 |
| Intoxications au CO | 2,5 ATA | 90 min | 1 séance (jusqu'à 5) | 600 |
| Infections nécrosantes | 2,5 ATA | 90 min | 2 à 3 séances/24h puis 10 séances | 250 |
| Écrasements de membre | 2,5 ATA | 90 min | > 10 séances (selon évolution) | 400-500 |
| Lésions radio-induites | 2,5 ATA | 90 min | 20-60 séances (selon évolution) | 300-400 |
| Pieds diabétiques | 2,5 ATA | 90 min | 20-40 séances sur 3-4 semaines | 400 |
| Plaies chroniques ischémiques | 2,5 ATA | 90 min | 10 séances/semaine | 150-300 |

– ostéomyélite chronique réfractaire ;
– ulcères ou gangrène ischémiques (pied, orteils) chez les patients diabétiques en ischémie critique chronique, sans possibilité de revascularisation ou persistant après vascularisation optimale si la pression d'oxygène transcutanée ($PTCO_2$) sous OHB > 100 mmHg ;
– ulcères ou gangrène ischémiques (pied, orteils) chez les patients non diabétiques en ischémie critique chronique, sans possibilité de revascularisation ou lésions persistant après revascularisation optimale si $PTCO_2$ sous OHB > 50 mmHg.

Par ailleurs, l'HAS est favorable en tant qu'acte en phase de recherche clinique (pouvant faire l'objet d'une convention HAS – Uncam définie dans l'article L. 162-1-7 du Code de la sécurité sociale), pour les indications suivantes :
– abcès intracrânien, pleuro-pulmonaire, hépatique ;
– brûlures supérieures à 20 % et du second degré ;
– rectite radio-induite ;
– neuroblastome de stade IV ;
– surdité brusque.

Contre-indications à l'OHB :

En dehors du cas particulier du pneumothorax non drainé, les contre-indications absolues sont relativement rares et fonction du bénéfice attendu. L'épilepsie non stabilisée par le traitement est une contre-indication au traitement par l'OHB, en l'absence d'une indication vitale comme l'embolie gazeuse ou l'intoxication sévère au monoxyde de carbone. Enfin, il existe un risque de barotraumatisme dentaire ou ORL qui est à prendre en compte et à prévenir.

## Aspects médico-économiques

### *Activité clinique quantitative*

L'équipe hyperbare doit envisager un programme de développement de l'activité pour atteindre des objectifs de traitement conformes aux recommandations. Mais le volume d'acte potentiel est d'une part lié à la démographie médicale dans un rayon (de 40-60 min de transport) autour du centre hyperbare et d'autre part lié à l'épidémiologie locale en fonction des indications princeps. À cela, il convient de préciser que les patients sont aiguillés vers le centre hyperbare par des praticiens appartenant à des spécialités diverses et variées. Le manque d'informations sur l'OHB dans ce contexte peut être un frein au recrutement. Il est ainsi nécessaire de réaliser régulièrement des informations et des formations à l'OHB dans l'entourage médical du centre hyperbare en ciblant des spécialités spécifiques.

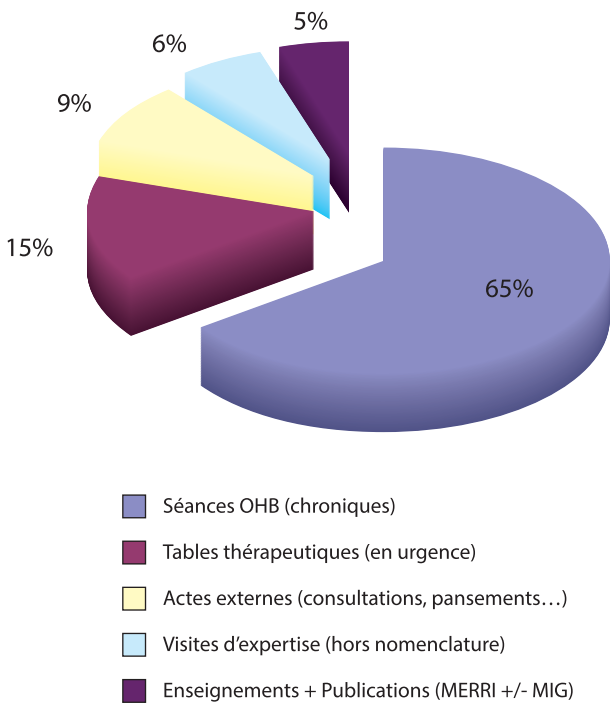



**Figure 2. Exemple de fonctionnement d'un service de médecine hyperbare.**

### Valorisation de l'activité

L'activité est classiquement répartie entre la surveillance des séances, les consultations, les visites d'expertises, l'enseignement, et le travail de publication (fig. 2). Le coût global de production brut est faible rapporté à la dimension hospitalière (6 pour mille pour l'HIA Sainte-Anne en 2010) et la séance hyperbare est actuellement valorisée à 285 € (avec une revalorisation de plus de 100 % dans les quatre dernières années). Avec une organisation raisonnée, il s'agit aujourd'hui de structures qui peuvent devenir rentables. Par exemple, la rentabilité en 2012 dépassait les 10 % pour le centre hyperbare de l'HIA du Val-de-Grâce (10), celle-ci s'est améliorée mécaniquement depuis du fait des augmentations tarifaires.

## Conclusion

Du fait de la diversité du mode d'action de l'OHB et de la multiplicité des indications proposées, la crédibilité de cette thérapeutique a longtemps été mise en défaut par l'absence d'essais cliniques valides permettant de justifier un traitement considéré comme onéreux. Actuellement la médecine hyperbare est utilisée comme traitement principal ou adjuvant dans de nombreuses maladies aiguës ou chroniques. Elle répond à un besoin de santé publique et permet finalement d'apporter, après analyse bénéfice/coût, des solutions peu onéreuses, efficaces et non invasives (intoxication au monoxyde de carbone, pieds diabétiques, lésions post radiques…). Ambulatoire, et principal recours dans certaines affections, la médecine hyperbare est particulièrement légitime dans le domaine militaire en particulier pour le traitement des accidents neurologiques de plongée et des gangrènes. La poursuite d'une recherche clinique dynamique et de bonne qualité reste indispensable pour valider de nouvelles indications.

**Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.**

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES


1. Mougeot B. Contribution des officiers du Service de santé des armées au développement de la plongée sous-marine de 1945 à nos jours. Lyon : Université Claude Bernard, Thèse de doctorat en médecine 2000 :32-48.
2. Oxygénothérapie hyperbare, Service évaluation des actes professionnels, Haute Autorité de santé 2007.
3. Edwards ML. Hyperbaric oxygen therapy. Part2 : application in disease. Veterinary Emergency and Critical Care 2010 ; 20 (3) : 28997.
4. Décret n° 2011-45 du 11 janvier 2011 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare.
5. Un code européen de bonne pratique pour l'oxygénothérapie hyperbare. Élaboré par le groupe de travail « sécurité » de l'action COST B14 « oxygénothérapie hyperbare » 2004.
6. Décision du 26 mai 2010 de l'Union nationale des caisses d'assurance maladie relative à la liste des actes et prestations pris en charge par l'assurance maladie. Journal officiel de la république française. 2010.
7. Damien D, Creste R, De Lastelle P, Mathieu D, Wattel F. Installations hyperbares in Traité de médecine hyperbare, Ellipses Édition, 2002.
8. Chambres hyperbares multiplaces à usage thérapeutique. Norme Européenne NF EN 14931 ; 2006.
9. Vincenti-Rouquette I, Borne M, Bargues L, Brinquin L. Oxygénothérapie hyperbare principes indications et limites. Médecine et Armées 1999 ; 27 : 347-53.
10. Collas M. Évaluation du coût du caisson hyperbare de l'HIA du Val-de-Grâce ; 2012.