

## Vers une modélisation biophysique de la décompression

### Résumé

En plongée, lors d'une décompression, une partie des gaz dissous dans l'organisme est éliminée sous forme de bulles qui peuvent être à l'origine d'accidents parfois sévères. Des modèles mathématiques permettent de déterminer des procédures de décompression par paliers fiables mais ne s'appliquent que pour certaines configurations de plongée (profondeur, durée, gaz respirés). Une extrapolation de ces modèles à de nouveaux types d'exposition comme la plongée profonde aux mélanges est actuellement hasardeuse. On suppose ici qu'une modélisation biophysique des mécanismes de la décompression doit apporter des solutions préventives plus sûres, même pour des expositions moins explorées combinant azote et hélium. Deux modèles ont été élaborés pour la prévention des accidents articulaires et neurologiques, formes d'accident les plus fréquentes. Ils ont été corrélés à partir de bases de données et d'analyses de risque existantes. Tous deux permettent de représenter l'apparition de symptômes tardifs. Pour l'accident articulaire, on montre 1/ l'impact de la diffusion intra-tissulaire (entre un tendon et son voisinage) de gaz inerte sur la dynamique d'amplification de la phase gazeuse générée 2/ une augmentation quantifiable du risque d'accident avec le volume de gaz généré 3/ une faible efficacité des paliers 4/ une efficacité modérée de la respiration d'oxygène pur aux paliers proches de la surface. Pour les accidents neurologiques, le modèle global proposé permet d'estimer le volume instantané des microbulles formées dans les tissus (muscles et graisses) et transférées (*via* le système lymphatique par *ex*) dans le sang veineux de retour. La surcharge du filtre pulmonaire par les bulles est supposée être un événement précurseur dans la genèse de l'accident. La méthode de corrélation du modèle, originale, utilise notamment des campagnes d'écoutes de bulles circulantes par système Doppler après plongées, dont une dédiée à cette thèse. Il ressort de ces investigations que I/ le risque d'accident peut être relié au volume des bulles transféré dans le sang sur une période donnée II/ l'introduction de paliers profonds ne diminue pas le risque III/ la respiration d'oxygène pur aux paliers est très efficace pour réduire ce risque. Un deuxième modèle neurologique dédié à la prévention des accidents médullaires se produisant rapidement après la décompression et à la détermination des premiers paliers requis est aussi proposé. L'ensemble de ces trois modélisations offre des perspectives de prévention intéressantes.

**Mots clés :** *décompression, modèle, bulles, Doppler, accident, oxygène, azote, hélium*

## Towards a biophysical modeling of decompression

### Abstract

During a scuba diving decompression, a part of the gas that is dissolved in the body is eliminated through bubbles that can generate potentially severe forms of decompression sickness (DCS). Known mathematical models allow the determination of safe decompression procedures by stages but can only be applied for a limited range of diving configurations (pressure, duration, breathing gas). An extrapolation of these models to new expositions such as deep/short dives using mixtures is currently hazardous. In the presented work it is deemed that a biophysical modeling of the decompression mechanisms can produce safer preventive solutions even for less explored expositions combining nitrogen and helium. Two models have been developed for the prevention of articular and neurological DCS, which are the most frequent forms of injury. Existing database and risk analyses have been used to correlate the models. Both predict potential delays for the occurrence of DCS symptoms after a decompression. For the articular model it is shown that 1/ the intratissular diffusion of inert gases between a target tendon and its neighborhood impacts the amplification dynamics of the generated gas phase 2/ the more the generated gas volume, the bigger the DCS risk 3/ stages of short and moderate durations have a low efficiency 4/ the efficiency of pure oxygen breathing in order to reduce the risk during the shallow stages is moderated. For neurological DCS, the proposed global model allows estimation of the instantaneous volume of microbubbles that are formed in tissues (muscles and adipose tissues) and that are transferred *via* the lymphatic system for instance in the venous blood. The overload of the pulmonary filter by bubbles is assumed to be a primary event in the DCS pathogenesis. The original model correlation method uses in particular the recording of circulating bubbles signals through Doppler detections campaigns. One of these campaigns is dedicated to the presented thesis work. The analysis leads to the following conclusions: I/ the DCS risk is linked to the total bubbles volume that is transferred into the blood over a given period II/ the introduction of deep stages does not decrease the risk III/ the breathing of pure oxygen during the shallow stages is very efficient in reducing this risk. A second neurological model is proposed: it is dedicated to the prevention of spinal cord DCS forms which occur early after the decompression and to the determination of the first required stops. The three developed models give interesting prevention perspectives.

**Key words :** *decompression, model, bubbles, Doppler, bends, oxygen, nitrogen, helium*