

Survie des plongeurs et prévention de l'hypothermie grâce aux métamatériaux

Ayant moi-même été exposé à une hypothermie légère dans les montagnes de l'Atlas, l'idée m'est venue de m'intéresser à des personnes très exposées au froid, que ce soit dans le cadre d'un sport qu'ils pratiquent ou de leur travail : les plongeurs.

Le froid est, pour les plongeurs, un adversaire de taille. La durée d'une plongée sous-marine est conditionnée par ce principal facteur qui affecte la santé et peut entraîner la mort, et je souhaite choisir un modèle pour l'estimer puis tenter de l'augmenter en tenant compte de ce facteur astreignant.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique de la Matière), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).

Positionnement thématique (ETAPE 2)

PHYSIQUE (Physique Théorique), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Thermodynamique</i>	<i>Thermodynamics</i>
<i>Hypothermie</i>	<i>Hypothermia</i>
<i>Echanges thermiques</i>	<i>Thermal exchanges</i>
<i>Combinaison de plongée</i>	<i>Wetsuit</i>
<i>Métamatériaux</i>	<i>Metamaterials</i>

Bibliographie commentée

L'activité de la plongée sous-marine s'étend sur plusieurs domaines, du loisir à la recherche scientifique. C'est en plongée scientifique où les accidents les plus graves se produisent, et en même temps où la nécessité de rester en apnée une longue durée est souhaitable. Ce besoin m'amène au sujet auquel je me consacre, dont le but est de prévenir l'hypothermie chez les plongeurs [1]. Ce phénomène est difficile à détecter, et les symptômes se succèdent rapidement sans laisser à la victime un temps de réaction suffisant pour remonter à la surface. Cela entraîne des frissons sans gravité au début, et la situation se complique avec une perte de raison, des délires, la perte d'un membre comme la main et le bras ou encore l'évanouissement, donc une mort inévitable au fond de l'océan. [2]

L'angle d'attaque que j'ai choisi pour prévenir l'hypothermie chez les plongeurs est de modéliser ce phénomène physiquement, afin de calculer le temps de survie maximal. Cela consiste à m'intéresser particulièrement au système *plongeur-eau*, vu comme un système fermé, siège de transferts thermiques qui dictent les modifications de température de l'un comme de l'autre, et à en faire une

représentation la plus réaliste possible, en m'appuyant largement sur des études faites en [3]. La pertinence du modèle est un critère essentiel à vérifier pour être convaincu de la validité de l'étude menée, et cela va être établi en confrontant les résultats obtenus aux relevés expérimentaux faits sur le terrain par les professionnels, tenant compte de la réactivité propre de chaque plongeur au froid, qui va dépendre légèrement du métabolisme et de la physiologie de chacun. [4]

L'isolation thermique est ce vers quoi je me tourne pour tenter de réfléchir aux propriétés que peuvent avoir les combinaisons de plongée afin de contrer le froid. Aujourd'hui, toutes sont fabriquées à partir de néoprène, premier caoutchouc synthétisé au laboratoire en 1931, connu pour sa résistance thermique, mais cependant moyennement satisfaisant pour les chercheurs qui s'aventurent dans les eaux polaires. D'autre part, les transferts thermiques s'effectuent par trois modes : la conduction, la convection et le rayonnement. Arriver à contrôler les flux thermiques générés par chaque mode, simultanément, me semble très difficile, c'est pour cela que je m'intéresse uniquement aux éventuelles solutions pour atténuer l'effet d'un seul mode, par le biais de matériaux récents qui n'ont pas encore d'applications réelles connues, et qui représentent aujourd'hui un grand défi scientifique et technologique : les métamatériaux. [5] [6] [7]

Problématique retenue

Proposer un modèle physique précis pour calculer la durée de survie face au danger de l'hypothermie en plongée, et augmenter cette durée grâce aux métamatériaux.

Objectifs du TIPE

1. Mettre en évidence les dangers de l'hypothermie sur les plongeurs et la nécessité d'y remédier.
2. Mettre au point un modèle physique satisfaisant pour calculer la durée maximale d'une plongée sous-marine.
3. Confronter les résultats obtenus à des valeurs expérimentales et conclure quant à la pertinence du modèle.
4. Investiguer les pistes possibles pour augmenter cette durée et maximiser la sécurité des plongeurs en immersion.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] HERVÉ MICHEL : Pourquoi a-t-on froid en plongée sous-marine : <https://savoir-plonger.fr/a-t-on-froid-plongee-marine/>
- [2] CNEREA : L'hypothermie de l'adulte : <http://www.cnerea.fr/UserFiles/File/national/desc-des/livre-masson-2015/environnement/hypothermie.pdf>
- [3] MARCEL AGUILELLA-ARZO, ANTONIO ALCARAZ, VICENTE M.AGUILELLA : Heat Loss And Hypothermia In Free Diving : *American Journal of Physics* 71, 333 (2003), <https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.1531581>
- [4] W R KEATINGE, M G HAYWARD, N K MCIVER : Hypothermia During Saturation Diving In The

North Sea : *British Medical Journal*, 291 (1980),

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/ppmc/articles/PMC1600157/pdf/brmedj00005-0025a.pdf>

[5] HILAL REDA : Modeling And Computation Of The Effective Static And Dynamic Properties Of Network Materials Accounting For Microstructural Effects And Large Deformations :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01547222/document>

[6] JUN WANG, GAOLE DAI : Thermal Metamaterial: Fundamental, Application, and Outlook :

https://www.researchgate.net/publication/345387051_The_rmal_Metamaterial_Fundamental_Application_and_Outlook

[7] GWANWOO PARK, SUNGGU KANG, HOWON LEE, WONJOON CHOI : Tunable Multifunctional Thermal Metamaterials: Manipulation of Local Heat Flux via Assembly of Unit-Cell Thermal Shifters : <https://www.nature.com/articles/srep41000>

Références bibliographiques (ETAPE 2)

[1] SOPHIA R SKLAN, BAOWEN LI : Thermal metamaterials: Functions and prospects :

https://www.researchgate.net/publication/326845013_Thermal_metamaterials_Functions_and_prospects

[2] SÉBASTIEN GUENNEAU, CLAUDE AMRA, DENIS VEYNANTE : Transformation thermodynamics: cloaking and concentrating heat flux : <https://opg.optica.org/aop/fulltext.cfm?uri=oe-20-7-8207&id=231514>

DOT

[1] Octobre 2021 : Après une nuit de froid, je m'intéresse à l'hypothermie et je me renseigne sur les plongeurs.

[2] Novembre 2021 : A cause de la difficulté et du danger d'effectuer une expérience, je m'intéresse à l'aspect théorique et je m'aide du modèle introduit par Marcel Aguilera-Arzo, Antonio Alcaraz et Vincente Aguilera.

[3] Novembre 2021 : Compréhension du modèle et formulation des bonnes hypothèses.

[4] Décembre 2021 : Lecture d'un article sur les métamatériaux et leurs propriétés surprenantes. Je cherche en quoi ils peuvent être utiles pour isoler thermiquement le plongeur.

[5] Février 2022 : Je m'intéresse à leurs propriétés thermiques, et en particulier la fabrication d'un Cloak à partir de métamatériaux. Je contacte les auteurs spécialisés, en vain.

[6] Mars 2022 : Je développe un modèle théorique d'une combinaison de plongée, d'agilité semblable à celles présentes sur le marché, mais de conductivité thermique plus basse.

[7] Mars 2022 : Je vérifie par un calcul informatique que le plongeur endure le froid plus efficacement.