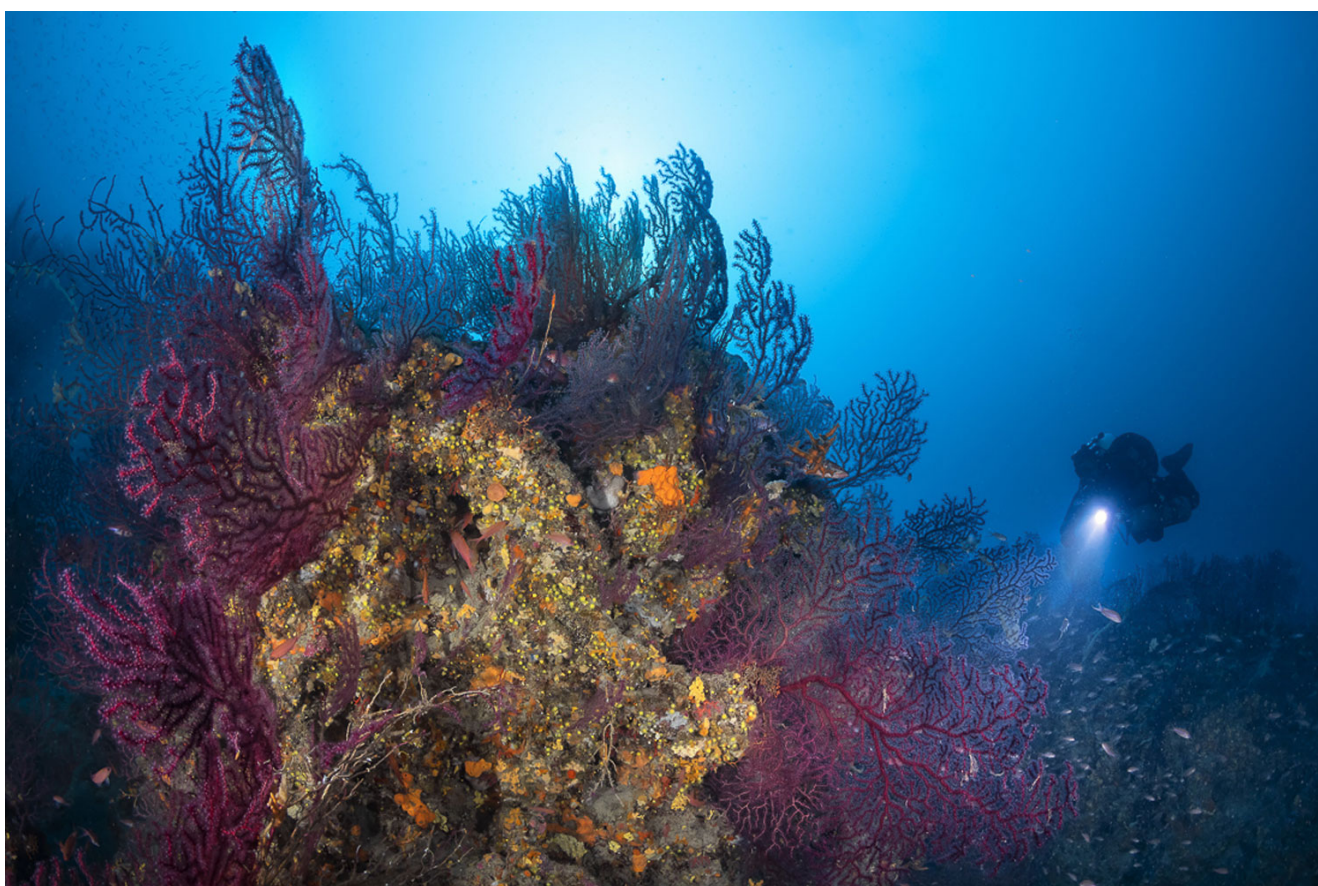


# Mesures de la narcose aux gaz inertes

Bien que nous en apprenions toujours davantage sur les mécanismes et les effets de la narcose aux gaz inertes, phénomène poétiquement surnommé « ivresse des profondeurs » par Jacques Cousteau, cette narcose est depuis longtemps connue comme un facteur de risque majeur pour la sécurité des plongeurs. En effet, les plongeurs loisir ont bien plus de chances d'être touchés par une narcose que par une maladie de décompression. S'il a été prouvé que les plongeurs ne développent pas de tolérance à la narcose, ils peuvent tout de même, dans une certaine mesure, apprendre à la gérer.

Au tout début de l'histoire de la plongée, la narcose à l'azote était le facteur limitant principal pour la plongée à une profondeur supérieure à 30-40 m. Les plongeurs devaient alors gérer l'intensification des troubles à mesure que la profondeur augmentait, et ce, à leurs risques et périls. Aujourd'hui, grâce aux mélanges gazeux, il est plus facile de réduire les risques réels de narcose aux gaz inertes.



Subsistent toutefois quelques désaccords : quel danger représente la narcose ? Dans quelle mesure peut-on la gérer ? L'oxygène joue-t-il un rôle dans le pouvoir narcotique du gaz respiratoire d'un plongeur ? Il en résulte que **les pratiques sont très diverses au sein de la grande famille des plongeurs loisir**.

L'une des difficultés majeures de l'étude de la narcose aux gaz inertes est l'absence de moyens fiables et objectifs pour en évaluer les manifestations et la sévérité. Il a été observé que les plongeurs n'étaient pas en mesure d'autoévaluer des symptômes subjectifs de façon fiable. Les tests psychométriques traditionnels, quant à eux, peuvent être difficiles à réaliser sous l'eau.

Néanmoins, durant la dernière décennie, les chercheurs chez DAN Europe ont publié une série de travaux visant à évaluer l'efficacité d'un nouvel outil permettant d'observer les fonctions cognitives d'un plongeur, la fréquence critique de fusion (CFFF, de l'anglais *Critical Flicker Fusion Frequency*), qui constituerait une

mesure objective de la narcose et serait facile à mettre en œuvre.

Cet article aura pour objet de présenter deux études offrant de nouvelles perspectives surprenantes sur la narcose aux gaz inertes. La première, publiée en 2016, « [Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity?](#) » [Les conditions extérieures jouent-elles un rôle dans la survenue de la narcose et dans la sévérité des symptômes ?], observe les effets de divers environnements hyperbares sur la narcose aux gaz inertes. Les chercheurs en ont conclu que la pression et le gaz seraient les seuls facteurs externes jouant un rôle dans la survenue de la narcose. Il a également été observé que la narcose survenait après une brève période d'acuité mentale élevée lors de la descente, et que ses effets persistaient au moins 30 minutes après la séance de plongée.

La seconde, « [Early detection of diving-related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion frequency](#) » [Détection précoce de troubles cognitifs liés à la plongée utilisant divers mélanges gazeux d'azote et d'oxygène, grâce à la fréquence critique de fusion du scintillement], a comparé les narcoses aux gaz inertes survenant lors de plongées à l'air et à l'air enrichi nitrox (EANx) au moyen de la CFFF et de tests psychologiques traditionnels. Les chercheurs ont conclu que des pressions partielles élevées en oxygène dans l'EAN pourraient constituer un puissant régulateur des effets de la narcose à gaz inerte.

## **La fusion du scintillement (Fréquence Critique de Fusion): kézako ?**

La fréquence critique de fusion du scintillement (CFFF) est la fréquence à laquelle un clignotement est perçu comme continu et constant. Tout d'abord développée au début du XX<sup>e</sup> siècle pour l'étude de la physiologie de la vision, la CFFF est devenue un outil de mesure majeur de la vigilance et de l'acuité mentale dans des cas de pathologies, d'anesthésie et d'exposition professionnelle dans le domaine de l'aviation.



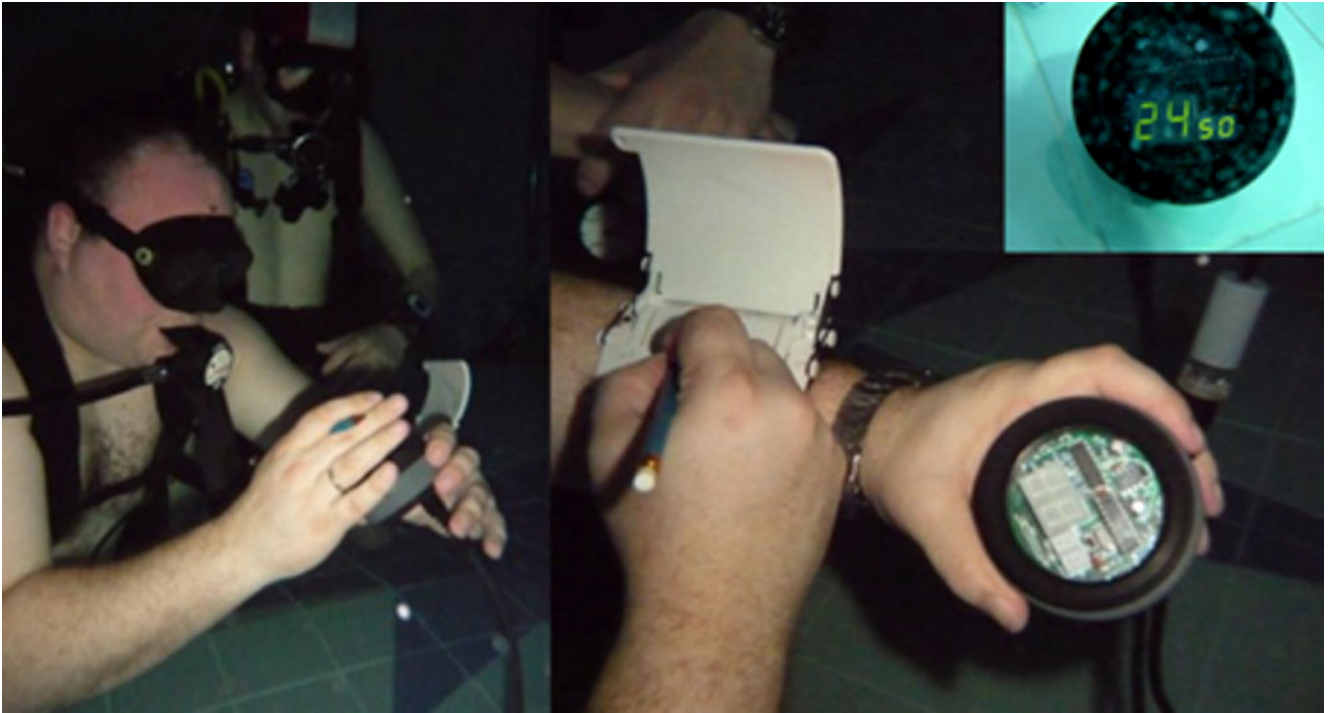
Plus les fonctions cognitives du sujet diminuent ou sont altérées, plus la fréquence à laquelle il perçoit le scintillement comme continu, la fameuse « fréquence de fusion », décroît. À contrario, lorsque le sujet est dans un état de vigilance accrue, la fréquence de fusion augmente. Puisque les individus perçoivent des fréquences différentes, la valeur de référence de la fréquence de fusion d'un sujet est considérée comme étant 100 %, et la CFFF est mesurée en pourcentage de cette valeur de référence.

En 1960, le Dr Peter Bennett, le fondateur de DAN US, a été le premier à évoquer la corrélation entre l'état mental des plongeurs, la CFFF et l'électroencéphalogramme. Des travaux ultérieurs ont montré que les variations de CFFF lors de la plongée saturée à l'hélium correspondaient peu ou prou aux variations constatées sur l'électroencéphalogramme. Cependant, des chercheurs qui se sont penchés sur le phénomène par la suite n'ont pas été en mesure d'obtenir ces résultats, et la CFFF a été mise de côté.

Ces dernières années, grâce aux chercheurs chez DAN, cette mystérieuse mesure est remontée à la surface et a donné des résultats probants. Il a été montré que les tests utilisant la CFFF permettaient d'obtenir des [mesures fiables sous l'eau](#) (2012), ainsi qu'une évaluation des fonctions cognitives d'un plongeur comparable aux évaluations obtenues via les tests PEBL ([Psychology Experiment Building Language](#)), [lors de l'inspiration d'air et d'oxygène à pression atmosphérique](#) (2014).

Les tests ayant recours à la CFFF sont généralement plus faciles à effectuer sous l'eau que les tests PEBL, et sont probablement moins influencés par le sujet. Les tests sont réalisés au moyen d'un petit dispositif cylindrique avec une LED bleue et un anneau rotatif qui modifie la fréquence de scintillement. Durant le test, le plongeur regarde fixement la LED. Le chercheur fait alors varier la fréquence de scintillement. Lorsque le plongeur constate que la LED est continue, donc que la fusion est atteinte, le test s'arrête et la fréquence de fusion est enregistrée. Les résultats sont alors comparés à la CFFF du sujet avant la séance de plongée, qui sert de valeur de référence. Une augmentation de la fréquence de fusion est alors le signe d'une amélioration des fonctions cognitives tandis qu'une diminution constituerait la preuve d'une narcose

à gaz inerte.

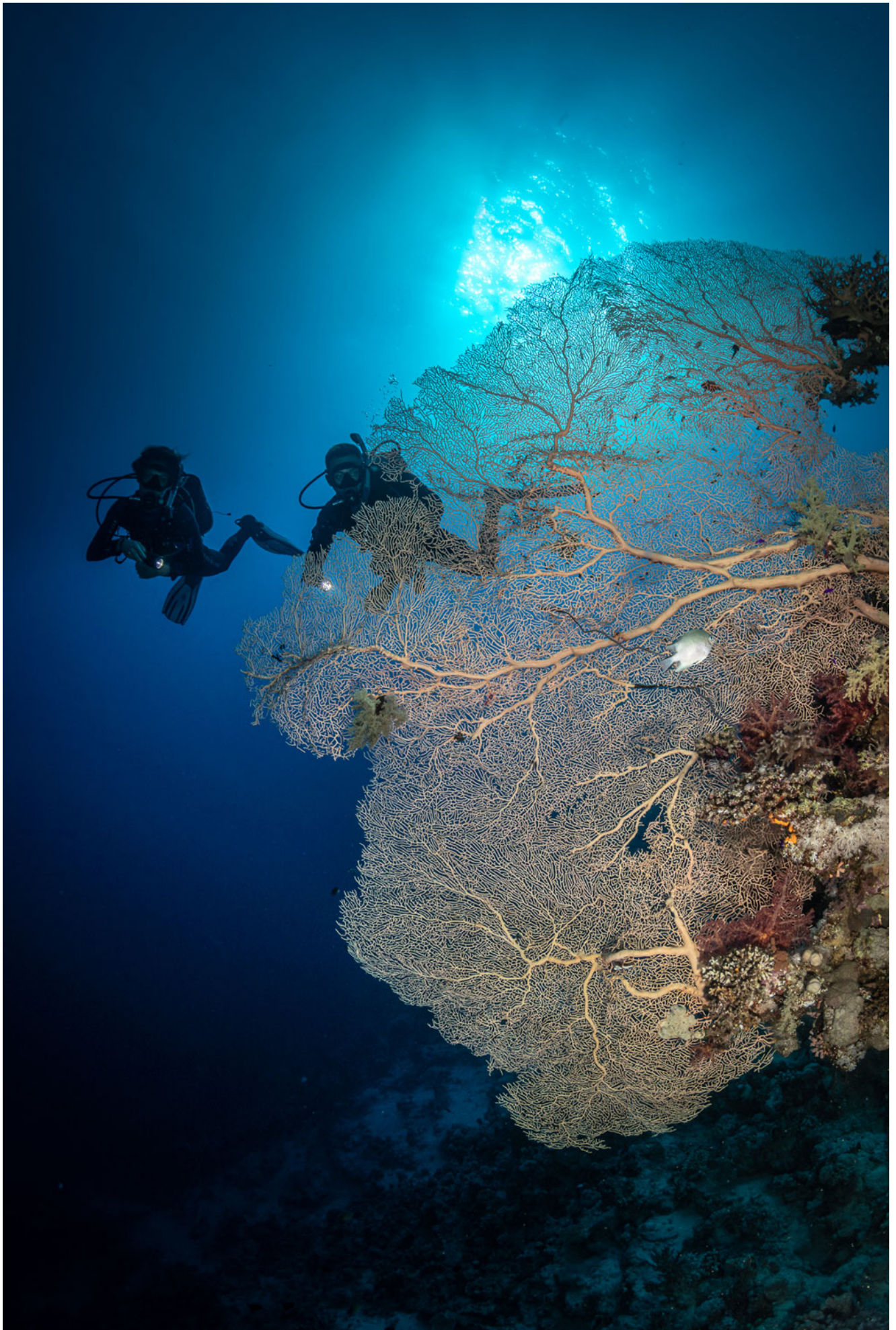


## Quel est le rôle de l'environnement ?

Puisque les plongeurs s'adaptent lorsqu'ils sont sous l'eau, il est communément admis que l'environnement en soi est susceptible d'influencer la performance par le biais d'une combinaison de facteurs. En ce sens, on a identifié de nombreux facteurs jouant un rôle dans la survenue et la sévérité de la narcose à gaz inerte.

En premier lieu, la pression partielle élevée en dioxyde de carbone ( $p\text{CO}_2$ ) due à un effort physique, à la natation intensive ainsi qu'au mouvement respiratoire, est le suspect n°1. Des  $p\text{CO}_2$  élevées dilateraient les vaisseaux sanguins cérébraux, ce qui entraînerait une augmentation du taux d'azote dans le cerveau. Le froid est également un facteur probable, puisqu'il provoque la vasoconstriction des vaisseaux périphériques : du fait que les vaisseaux sanguins du cerveau ne peuvent se rétracter, il en résulte une augmentation de la quantité d'azote dans le cerveau.

D'autres facteurs de la survenue d'une narcose aux gaz inertes seraient la consommation d'alcool ou la prise de drogues, la consommation d'alcool la veille, la fatigue, l'anxiété, une surcharge de travail, le stress, une visibilité réduite, le taux de descente, le vertige ou encore les troubles d'orientation dans l'espace. Toutefois, d'un point de vue scientifique, les preuves concernant ces facteurs n'ont pas été suffisantes. Plus de données sont nécessaires. C'est d'ailleurs pour cette raison que la première étude traitait spécifiquement des facteurs externes.



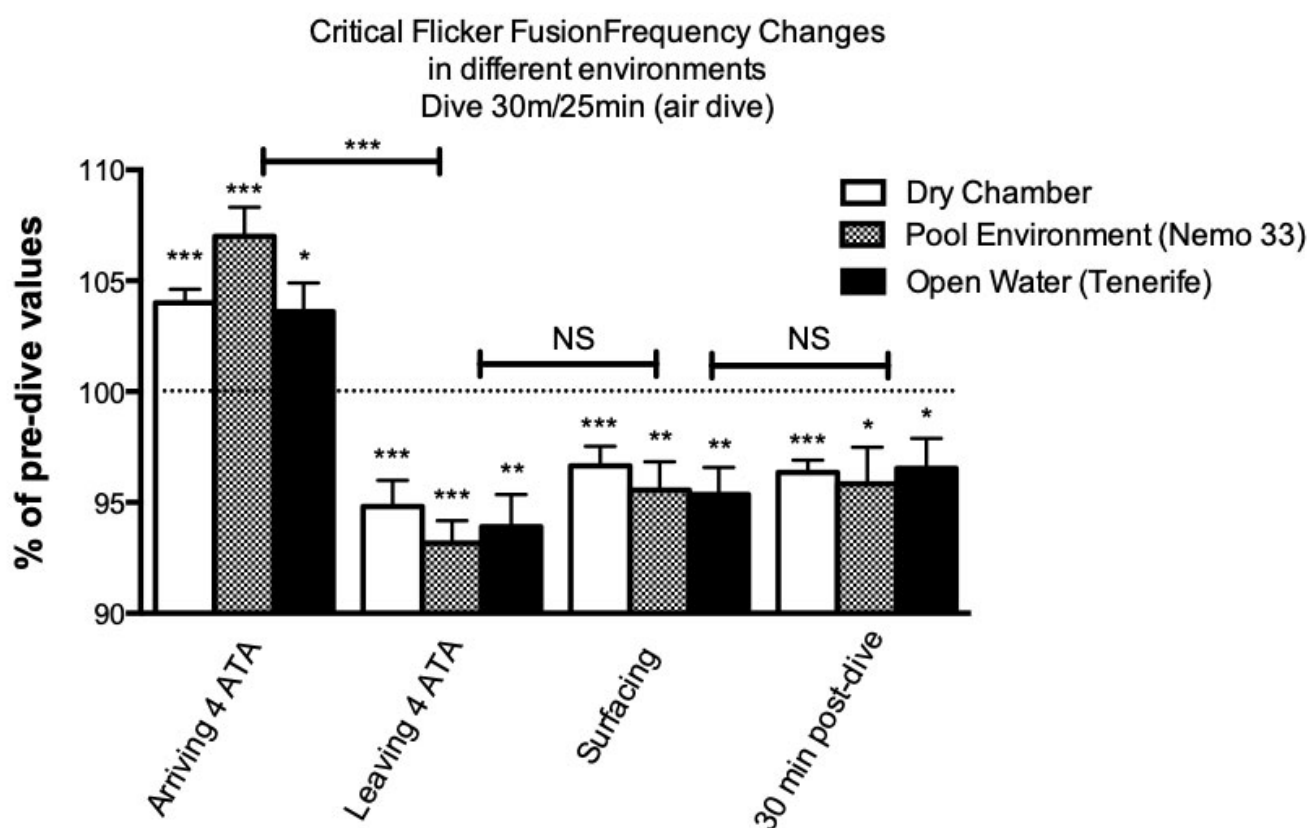
Les chercheurs ont travaillé avec un groupe homogène composé de 40 plongeurs de sexe masculin, non-fumeurs et âgés de 30 à 40 ans, faisant de l'exercice régulièrement et ayant un IMC situé entre 20 et 25. Les plongeurs se sont abstenus de boire de l'alcool dans les 72 heures précédant l'étude.

Les tests de plongée ont été effectués à une profondeur de 30 m pour une durée de 20 minutes au fond, dans trois environnements différents : une chambre hyperbare, la piscine profonde du centre Nemo33 (Bruxelles) et l'océan. La température de l'eau dans la piscine était de 33 °C, et aucune protection thermique n'était nécessaire. La température de l'océan était de 19 °C, et les plongeurs portaient une combinaison de plongée adéquate.

La CFFF a été mesurée cinq fois par séance de plongée. Les mesures étaient les suivantes :

- Pré-plongée pour définir la valeur de référence
- Lors de l'arrivée à la profondeur de 30 m
- Cinq minutes avant d'atteindre la surface
- Lors de l'arrivée à la surface
- 30 minutes après la séance

Selon les auteurs, c'est la première fois que les effets de la narcose à gaz inerte ont été mesurés auprès d'une population standard dans diverses conditions externes (au sec vs mouillé, avec une combinaison vs sans combinaison, en eau libre vs en piscine). Les conclusions ont été surprenantes.



Comme le montre la figure 1, les valeurs de la CFFF étaient d'une cohérence remarquable entre les trois environnements testés. Tout d'abord, les valeurs de la CFFF augmentent lors de l'arrivée à ladite profondeur, révélant une amélioration des fonctions cognitives. 15 minutes plus tard est observée une dégradation des fonctions cognitives qui se traduit par une baisse des valeurs de la CFFF et qui laisse supposer que la narcose à gaz inerte débute. Fait surprenant : ce trouble persiste lors de l'arrivée à la surface et 30 minutes après la plongée.

Cela suggère que le bon vieux conseil consistant à remonter de quelques mètres lorsque la narcose se fait sentir serait une stratégie inefficace. L'augmentation initiale des valeurs de CFFF indiquant une stimulation psychique dès l'arrivée à ladite profondeur a également surpris les chercheurs.

Selon ces derniers, ces observations concordent avec la [théorie protéique de la narcose](#), qui suscite davantage d'intérêt ces derniers temps. Elle est considérée comme le mécanisme dominant et est privilégiée face à la plus ancienne [loi de Meyer-Overton](#) avançant l'hypothèse de la corrélation entre l'anesthésie et la solubilité des lipides. Toutefois, les deux mécanismes semblent intervenir. On pense, en effet, que la narcose aux gaz inertes et l'anesthésie ont des mécanismes similaires.

Les auteurs émettent l'hypothèse que la stimulation psychique observée et la dégradation des fonctions cognitives qui s'ensuit résultent d'une différence entre les effets immédiats de l'azote et de l'oxygène (comparables à ceux de « drogues ») sur les récepteurs GABA et la pharmacocinétique de ces interactions. L'oxygène a des effets stimulants sur les neurotransmetteurs, alors que l'azote a une action inhibitrice (voir [Rostain et coll. 2011](#); [Balestra et coll. 2018](#)).

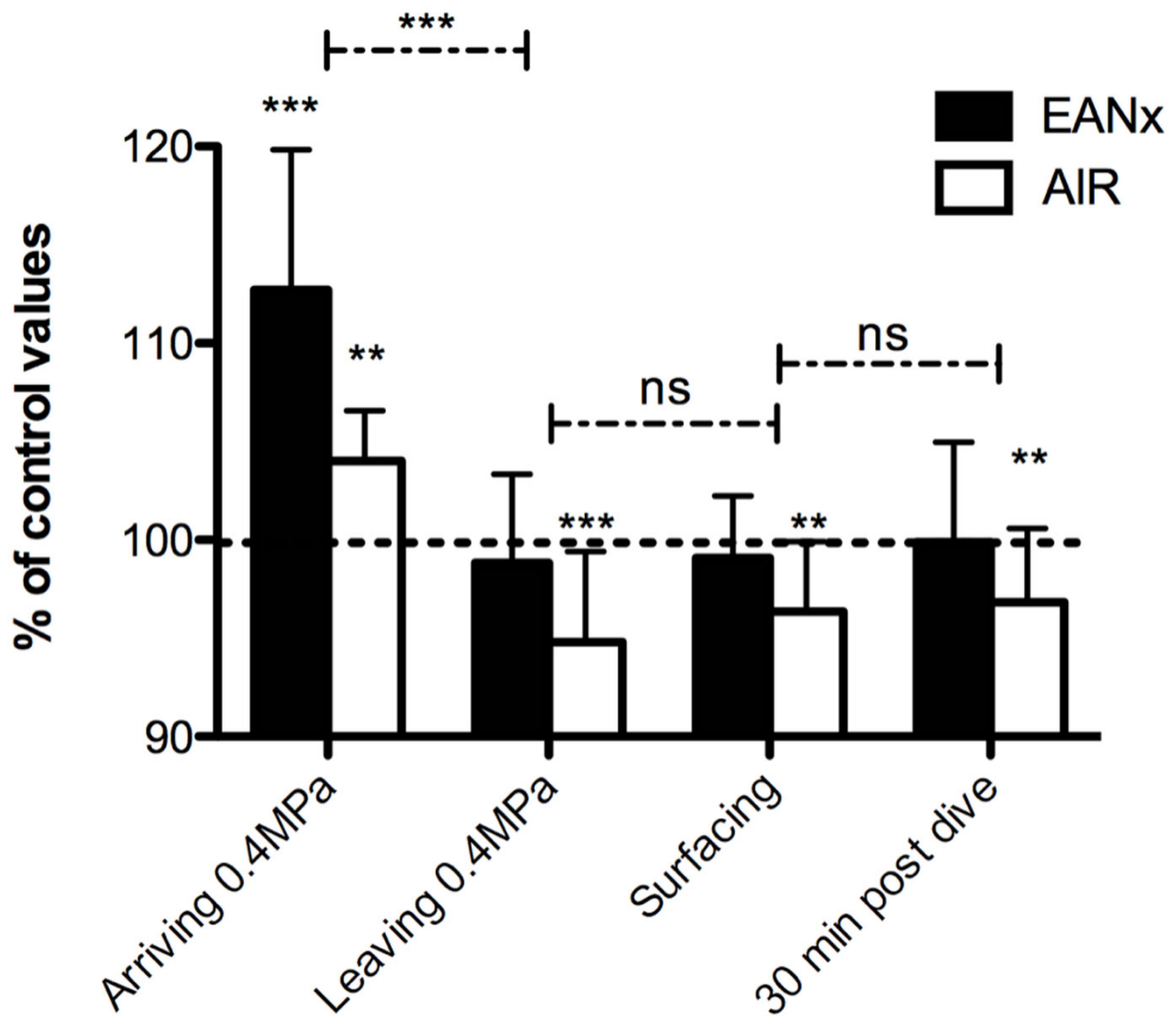
Après avoir pu mesurer la pression et le gaz objectivement, les chercheurs en ont conclu qu'ils constituaient les seuls facteurs externes intervenant dans la survenue de la narcose. [Toutefois, du fait que l'étude n'a pas contrôlé le facteur de l'effort physique \(soit une pCO<sub>2</sub> élevée\), ce dernier pourrait bien s'avérer être un facteur majeur, ce qui est probable.](#)

## Air vs Nitrox

Quelques études comparables observant les effets de l'inspiration de l'air et de l'EAN sur la narcose aux gaz inertes ont été réalisées. Certaines d'entre elles ont fait état de performances psychomotrices moindres lors de l'inspiration d'O<sub>2</sub> ou d'EANx. D'autres ont signalé que les troubles dus à la narcose étaient similaires, bien que perçus différemment par les plongeurs. L'étude visait à mieux mesurer la variation des fonctions cognitives en fonction des pressions partielles de l'oxygène, et à montrer l'efficacité de la CFFF comme outil de mesure.

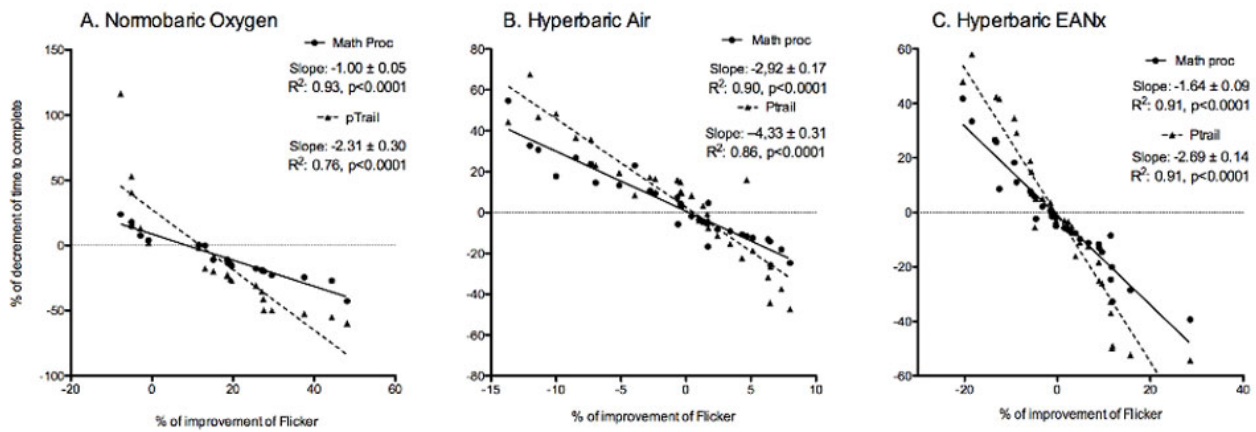
Pour réaliser cette étude, les chercheurs ont sélectionné huit plongeurs de sexe masculin, également âgés de 30 à 40 ans et ayant un IMC entre 20 et 25. Des sessions tests de plongée ont été réalisées avec de l'air ou de l'EANx 40 dans un ordre aléatoire, dans une chambre sèche où les gaz étaient inspirés via un masque facial. Le profil de plongée était conçu pour provoquer une narcose : 30 m ou 4 ATA avec un temps de 22 minutes au fond, puis une décompression linéaire de 12 minutes à 3 m par minute et un palier de sécurité de 3 minutes à 3 m.

Les performances cognitives des plongeurs ont été évaluées durant les sessions de plongées, en utilisant le dispositif de test de la CFFF et une batterie de tests informatisés PEBL consistant en des traitements mathématiques, un test perceptif de vigilance ainsi qu'un trail making test. Comme dans la précédente étude, les mesures ont été effectuées avant la séance, lors de l'arrivée à 4 ATA, avant la remontée, lors de l'arrivée à la surface et 30 minutes après la séance.



Comme le montre la figure 2, l'évolution des valeurs de CFFF pour l'air et l'EANx était similaire à celle de la première étude. Lorsque de l'air était inspiré, les valeurs de CFFF augmentaient lors de l'arrivée à 4 ATA, puis baissaient 15 minutes plus tard. Ce dysfonctionnement a persisté lors de l'arrivée à la surface et 30 minutes après la plongée. Lorsque de l'EANx était inspiré, les valeurs de CFFF augmentaient à la fin de la descente puis baissaient après 15 minutes. Cependant, la diminution était suivie d'un retour à la ligne de base. La première mesure seule était significativement différente (augmentée).





La figure 3 montre une corrélation inverse significative entre les variations des valeurs de CFFF et le temps nécessaire à la réalisation des tests PEBL pour les deux mélanges gazeux. De la même façon que pour les valeurs de CFFF, le temps nécessaire pour réaliser les tests était moins long après la fin de la descente, et ce, pour les deux gaz, puis augmentait au fil de la session. Ce dysfonctionnement persiste jusqu'à 30 minutes après la session. Cela a permis de démontrer l'efficacité de la CFFF comme outil de mesure dans des conditions hyperbares et suggère que les résultats fournis par la CFFF sont comparables à ceux obtenus via PEBL.

## L'air comprimé, n'est-ce pas plutôt pour les pneus ?

Si l'évolution constatée durant les séances était comparable, il y avait cependant une différence significative entre les deux gaz. Lorsque l'EANx a été utilisé, on a constaté une stimulation cérébrale plus importante que lors de la plongée à air et des troubles en fin de séance ou post-séance moins importants. Ces observations concordent avec les résultats de la première étude sur les facteurs externes.

Les auteurs ont émis l'hypothèse que la part plus importante d'oxygène inspiré avait un effet bénéfique stimulant sur les fonctions cognitives. Cela a été démontré par d'autres études sur l'inspiration d'oxygène, et suggère également que les plongeurs sujets à la narcose aux gaz inertes seraient également sujets aux effets provoqués par des  $pO_2$  élevées. Par ailleurs, même avec une légère réduction de la  $pN_2$ , on a pu constater [un effet bénéfique de l'EANx 28](#) (28 % d'oxygène) sur les fonctions cognitives lors d'une précédente étude.

Résultat : l'étude semble confirmer l'affirmation de Global Underwater Explorers (GUE) : « L'air comprimé, c'est pour les pneus. » Les plongeurs auraient moins de chances de subir une narcose en utilisant du nitrox que de l'air. Le nitrox a, de surcroît, des avantages lors de la décompression.

## Références (en anglais)

Rocco M, Pelaia P, Di Benedetto P, Conte G, Maggi L, Fiorelli S, Mercieri M, Balestra C, De Blasi RA & Investigators RP. (2019). Inert gas narcosis in scuba diving, different gases different reactions. *Eur J Appl Physiol* 119, 247-255.

Lafere P, Hemelryck W, Germonpre P, Matity L, Guerrero F & Balestra C. (2019). [Early detection of diving-](#)

[related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion frequency.](#) *Diving Hyperb Med* 49, 119-126.

Balestra C, Machado ML, Theunissen S, Balestra A, Cialoni D, Clot C, Besnard S, Kammacher L, Delzenne J, Germonpre P & Lafere P. (2018). [Critical Flicker Fusion Frequency: A Marker of Cerebral Arousal During Modified Gravitational Conditions Related to Parabolic Flights.](#) *Front Physiol* 9, 1403.

Lafere P, Balestra C, Hemelryck W, Guerrero F & Germonpre P. (2016). [Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity?](#) *International journal of sports medicine* 37, 1124-1128.

Freiberger JJ, Derrick BJ, Natoli MJ, Akushevich I, Schinazi EA, Parker C, Stolp BW, Bennett PB, Vann RD, Dunworth SA & Moon RE. (2016). [Assessment of the interaction of hyperbaric N2, CO2, and O2 on psychomotor performance in divers.](#) *J Appl Physiol (1985)* **121**, 953-964.

Balestra C, Lafere P & Germonpre P. (2012). [Persistence of critical flicker fusion frequency impairment after a 33 mfw SCUBA dive: evidence of prolonged nitrogen narcosis?](#) *Eur J Appl Physiol* 112, 4063-4068.

Rostain, J. C., Lavoute, C., Risso, J. J., Vallee, N., and Weiss, M. (2011). [A review of recent neurochemical data on inert gas narcosis.](#) *Undersea Hyperb. Med.* 38, 49-59.

## **Ressources supplémentaires :**

*The Science of Diving: Things your instructor never told you* ([DAN Member's link](#) - [NON Member's link](#))

---

## **À propos de l'auteur**

Michael est un journaliste et technologue récompensé qui a écrit sur la plongée et la technologie de la plongée pendant des décennies. Il a inventé l'expression « plongée technique ». Son travail a été publié dans des magazines tels que Alert Diver, DIVER, Quest, Scientific American, Scuba Times, Sports Diver, Undercurrent, Undersea Journal, WIRED ou encore X-Ray. Il a fondé aquaCORPS et en a été le rédacteur en chef, qui a contribué à faire entrer la plongée technique dans le courant dominant de la plongée sportive. Il a également produit les premières conférences Tek, EuroTek et AsiaTek.