



ELSEVIER

Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ÉTUDE DE CAS

Cannabis et pratique de la plongée sous-marine. À propos de 2 accidents aux conséquences fatales

Cannabis and scuba diving. About 2 cases with fatal outcome

Pascal Kintz ^{a,*}, Jean-François Garnier ^a,
Bertrand Brunet ^c, Patrick Mura ^c,
Jean-Sébastien Raul ^b

^a X-Pertise Consulting, 84, route de Saverne, 67205 Oberhausbergen, France

^b Institut de médecine légale, 11, rue Humann, 67000 Strasbourg, France

^c Laboratoire de toxicologie, centre hospitalier universitaire, 2, rue de la Milétrie, 86000 Poitiers, France

Reçu le 9 mars 2017 ; reçu sous la forme révisée le 29 mars 2017 ; accepté le 29 mars 2017

MOTS CLÉS

Cannabis ;
Plongée ;
Accident ;
Analyses
toxicologiques ;
Stupéfiants ;
Addiction

Résumé La découverte et l'aventure sont inhérentes à l'humanité. La technologie du 21^e siècle permet désormais de visiter des régions inaccessibles jusqu'alors. Voilà pourquoi la plongée fait partie des sports d'aventure et des domaines scientifiques ayant connu une forte croissance ces dernières années. La notion de plongée-loisir, développée par l'organisme américain *Professional association of diving instructors* (PADI), inclut des exigences précises en matière de limites, de formation et d'équipement. Par définition, le plongeur doit pouvoir continuer à respirer sous l'eau. La plongée sous-marine consiste à explorer le monde sous-marin équipé d'un scaphandre autonome composé d'un gilet stabilisateur, d'un masque, de palmes, d'une bouteille de plongée et d'un détendeur. Ce sport, dont les lois et règles sont différentes selon les pays, est en plein essor. Compte tenu du nombre croissant de consommateurs de cannabis dans de très nombreux pays, il n'est pas surprenant d'être confronté aujourd'hui aux conséquences possibles de cette pratique sur la sécurité des plongeurs. Cette addiction est une contre-indication absolue à la pratique de la plongée. Tout comme sur terre, les effets psychoactifs délétères peuvent avoir des conséquences fatales. Les auteurs rapportent 2 accidents de plongée chez des pratiquants aguerris où l'expertise toxicologique a mis en

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : pascal.kintz@wanadoo.fr (P. Kintz).

évidence du cannabis, avec des concentrations sanguines de $\Delta 9$ -tétrahydrocannabinol à 0,8 et 1,4 ng/mL. Bien que la littérature scientifique soit pauvre sur ce sujet, les rares articles disponibles font état d'une prévalence de consommation de cannabis non négligeable chez les plongeurs. Les conséquences de la consommation de cannabis sur les performances en plongée seront discutées.

© 2017 Société Française de Toxicologie Analytique. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Cannabis;
Scuba diving;
Accident;
Forensic toxicology;
Drugs of abuse;
Addiction

Summary In recent years, great improvements in technology have allowed the emergence of new sports such as scuba diving. The business of scuba diving has demonstrated a regular increase the last years. The concept "diving is fun" has been established by Professional Association of Diving Instructors (PADI), the American world leader in diving education. Scuba diving is organized with standards, including depth limits, conditions of learning and practice and finally of equipment. Scuba diving simply means going through a session of underwater swimming and diving deep under the waters using what is known as a scuba set. This sport has different rules and laws, depending on the place it is done. All statistics around the world have demonstrated an increase in the number of certified divers. As a consequence, an increase of divers using cannabis was also observed. The use of cannabis is absolutely forbidden among divers, due to its psychoactive effects and potential fatal consequences. The authors report 2 fatal cases among certified divers where cannabis was detected during the toxicological investigations, with $\Delta 9$ -tetrahydrocannabinol concentrations at 0.8 and 1.4 ng/mL, respectively. Although the scientific international literature seems limited for the topic "cannabis and scuba diving", articles have pointed the prevalence of cannabis use among divers and the possible associated risks. These risks will be discussed in detail.

© 2017 Société Française de Toxicologie Analytique. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Introduction

La découverte et l'aventure sont inhérentes à l'humanité. La technologie du 21^e siècle permet désormais de visiter des régions inaccessibles jusqu'alors. Voilà pourquoi la plongée fait partie des sports d'aventure et des domaines scientifiques ayant connu une forte croissance ces dernières années. La notion de plongée-loisir, développée par l'organisme américain *Professional association of diving instructors* (PADI), inclut des exigences précises en matière de limites, de formation et d'équipement. Par définition, le plongeur doit pouvoir continuer à respirer sous l'eau.

La plongée sous-marine consiste, en général, à explorer le monde sous-marin équipé d'un scaphandre autonome spécifique composé d'une combinaison isothermique, d'un masque, de palmes et, à la différence de la plongée en apnée, d'une bouteille de plongée et d'un détendeur. On estime, en France, le nombre de pratiquants à environ 360 000 plongeurs, dont seulement 150 000 licenciés à la Fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM). Il s'agit d'une activité réglementée, qu'elle soit pratiquée dans le cadre d'une association ou d'une structure commerciale.

La plongée présente des risques potentiels, essentiellement représentés par les barotraumatismes et les accidents de désaturation (ADD). Les barotraumatismes sont des

accidents touchant les tissus du corps humain, causés par un changement de pression des gaz dans l'organisme. Ils surviennent lorsqu'il y a une difficulté d'équilibration entre la pression d'air à l'intérieur d'une cavité de l'organisme et la pression externe. Au bord de la mer, la pression atmosphérique est de 1 bar. En plongée, soumise à la pression hydrostatique, la pression de l'eau augmente à un rythme de 1 bar tous les 10 m. Ainsi, à 30 m, la pression ambiante est de 4 bar. Cette pression répondant à la loi de Boyle (pression \times volume = constante), le volume pulmonaire s'en trouve affecté.

La loi de Dalton énonce que dans un mélange gazeux, chaque gaz exerce une pression proportionnelle à la pression totale. Dans le cas de l'air, $P_{\text{total}} = ppO_2 + ppN_2$, soit 0,21 + 0,79. C'est l'azote qui est responsable de la narcose en plongée (ivresse des profondeurs) du fait de l'augmentation de la ppN_2 au-delà de 30 m. Par ailleurs, l'azote dissous dans le sang pendant la plongée risque de former des bulles (selon la loi de Henry) lors d'une remontée trop rapide ou un non-respect des paliers, conduisant au fameux accident de décompression. Les ADD sont dus à une mauvaise élimination de l'azote restitué par nos tissus, menant à l'apparition de microbulles dans l'organisme qui provoquent des lésions multiples par ischémie des tissus. Ils surviennent lorsque la pression ambiante diminue, c'est-à-dire pendant ou après la phase de remontée de la plongée.

Parmi tous les facteurs de risque existants, la prise de médicaments ou autre toxiques avant la plongée ne peut être négligée. Un effet bénin à la surface pouvant devenir fatal sous l'eau, il convient de prendre toutes les précautions nécessaires quant à l'absorption de toute substance avant la plongée, et cela, y compris lors du traitement d'une pathologie, de décourager toute automédication et d'empêcher l'usage de substances psychoactives [1].

Les statistiques de consommation sont sans appel [2]. Le cannabis, qu'il se présente sous la forme d'herbe ou de résine, est un produit très disponible en France, quels que soient les aléas qui peuvent survenir sur certains marchés locaux. Au cours des décennies précédentes, cette substance a eu tendance à se banaliser et son usage concerne désormais les milieux sociaux les plus divers. On observe une hausse de la disponibilité de l'herbe, due notamment au développement de l'autoculture.

Le cannabis est de loin la substance illicite la plus consommée en France. Parmi les 18–64 ans, 42 % l'ont déjà expérimenté (50 % parmi les hommes et 33 % parmi les femmes) et 11 % déclarent en avoir consommé au cours de l'année (15 % parmi les hommes, 7 % parmi les femmes). La proportion d'usagers au cours du mois atteint 6 %, ces usages étant principalement le fait des plus jeunes générations : 17 % des 18–25 ans ont fumé du cannabis au cours du dernier mois, 8 % en sont usagers réguliers et 4 % quotidiens. Après avoir presque doublé au cours des années 1990, les usages de cannabis au cours de l'année ou au cours du mois se sont stabilisés depuis 2000. Depuis 2011, les indicateurs de consommation de cannabis repartent à la hausse. La France est l'un des pays les plus concernés en Europe. En 2014, 17 millions de personnes déclaraient avoir déjà pris du cannabis au cours de leur vie, 4,6 millions au cours de l'année, 1,4 million au moins 10 fois au cours du mois et 700 000 quotidiennement [2].

La consommation de cannabis est une contre-indication absolue à la pratique de la plongée. Tout comme sur terre, les effets psychoactifs délétères peuvent avoir des conséquences fatales. Les auteurs présentent ici 2 cas d'accidents de plongée chez des pratiquants réguliers où l'analyse toxicologique a montré un usage récent de cannabis, ainsi qu'une approche qualitative des effets spécifiques du cannabis sous l'eau, en regard de la littérature médicale internationale.

Étude de cas

Cas 1

Selon les enquêteurs, M. E. est décédé sur son lieu de travail. Il est plongeur professionnel. Ce jour, il réalise une plongée en narguilé à 24 m de profondeur. Il se plaint d'une décompression anormalement longue de ses oreilles lors de la descente. Au bout de quelques minutes, ses collègues à la surface ne l'entendent plus parler, ni même respirer. Un de ses collègues part donc en plongée autonome, et le retrouve inconscient sous l'eau. Il le remonte à la surface ; son corps est cyanosé. Ils tentent un massage cardiaque en attendant l'arrivée des secours, qui poursuivent une réanimation cardiopulmonaire sans succès. L'autopsie de la victime, âgée de 43 ans, retrouve une quantité importante de gaz dans le

système vasculaire et les tissus extravasculaires, un œdème pulmonaire massif et un œdème cérébral. Il existe également des lésions d'athérome très évoluées sur le réseau coronaire, sans image macroscopique pouvant évoquer un infarctus. Il n'existe pas d'autre signe macroscopique pathologique. Des prélèvements à visée toxicologique ont été réalisés et envoyés au laboratoire [3].

Cas 2

Pendant ses vacances au bord de la mer, M. T, âgé de 37 ans, plongeur certifié niveau 3, fait un malaise en remontant d'une profondeur de 37 m. Pris en charge par son binôme, il est hissé sur le bateau, mais tombe dans le coma. Malgré l'administration immédiate d'oxygène par le directeur de plongée et une prise en charge cardiorespiratoire, la victime décède sur place. La levée de corps ne met pas en évidence de lésion traumatique, mais il est noté un surpoids manifeste et selon l'entourage une addiction tabagique. Un échantillon de sang cardiaque a été prélevé et le Parquet n'a pas ordonné d'autopsie.

Analyses toxicologiques

Les investigations toxicologiques ont été de type standard : éthanol par Head-Space chromatographie en phase gazeuse, couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GC/FID Perkin Elmer), substances volatiles par Head-Space chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur par spectrométrie de masse (GC/MS Thermo Fisher), monoxyde de carbone sur un CO-oxymètre (Radiometer), criblage immunochimique par Elisa (Alere), criblage médicaments, dont les produits de la soumission chimique (sédatifs et hypnotiques de plusieurs classes pharmacologiques) et stupéfiants par chromatographie en phase liquide, couplée à un détecteur à barrette de diodes (LC/DAD Waters), GC/MS (Agilent) et chromatographie en phase liquide couplée à un détecteur à spectrométrie de masse en tandem (LC/MS–MS Waters).

Cette première approche a permis d'identifier les marqueurs du cannabis. Ce stupéfiant a alors été dosé dans le sang par GC/MS selon une méthode publiée et validée [4].

Résultats et discussion

On peut raisonnablement penser que toutes les substances agissant sur le système nerveux central, sur le système cardiovasculaire ou pulmonaire peuvent interférer sur la physiologie du plongeur. Il existe beaucoup de variables qui influencent la réponse d'un individu aux xénobiotiques, telles que le sexe, l'âge ou le poids de celui-ci mais encore ses capacités d'élimination, ses pathologies, les médicaments associés et les conditions environnementales. En plongée, la profondeur, la température, la visibilité ou encore les courants sont des facteurs défavorables à la pratique sereine de cette activité.

L'analyse toxicologique, pratiquée sur le sang des victimes (sang périphérique pour la victime 1 et sang cardiaque pour la victime 2) a donné les résultats suivants :

Tableau 1 Concentrations (ng/mL) en cannabinoïdes dans le sang des 2 victimes.

Victime	THC	11OH-THC	THC-COOH
1	0,8	< 0,5	1,9
2	1,4	0,6	10,5

- alcoolémie nulle dans les 2 cas ;
- carboxyhémoglobinémie à 0,8 et 1,3 % ;
- absence de médicament, en particulier à visée psychoactive ou cardiaque ;
- absence de médicament de substitution et présence de cannabis.

Les résultats quantitatifs figurent dans le **Tableau 1**. Il a été observé des concentrations sanguines de Δ^9 -tétrahydrocannabinol à 0,8 et 1,4 ng/mL, soit des valeurs proches du seuil de dangerosité (1 ng/mL) établi par la SFTA [5]. Il est donc raisonnable sur le plan scientifique de considérer que les 2 victimes étaient sous l'influence du cannabis au moment de leur décès.

Le risque de narcose à l'azote (aussi nommée ivresse des profondeurs, due à l'excès d'azote qui agit sur le système nerveux entraînant des troubles du comportement) et de somnolence seraient majorés par la prise de dépresseurs du système nerveux central [1]. Inversement, les effets des sédatifs seraient intensifiés par la narcose des profondeurs. On conçoit aisément que les effets du cannabis vont renforcer ceux de la narcose :

- une sensation de bien-être ;
- une euphorie ;
- une baisse de l'attention ;
- des troubles de la concentration ;
- une désorientation temporo-spatiale particulièrement marquée par une incapacité à évaluer le temps écoulé ;
- un rétrécissement du champ visuel ;
- une altération du raisonnement ;
- une perte de mémoire ;
- des hallucinations, voire exceptionnellement des états délirants...

Ainsi, les performances intellectuelles et la dextérité manuelle se détériorent à mesure que la narcose augmente.

En France (source magazine *Plongée*, avril 2011), il y aurait environ 450 accidents de plongée par an, dont 350 font l'objet d'une hospitalisation, touchant surtout les plongeurs ayant une grande expérience (niveau 3 et plus, divemaster et plus). Parmi les accidents de plongée, 74 % sont des accidents de désaturation, 9 % des atteintes pulmonaires et 8 % des barotraumatismes graves. Les 9 % restants sont des accidents toxiques, des noyades ou sans lien avec l'immersion.

Les effets recherchés du cannabis sont l'exacerbation des facultés sensorielles, la relaxation, la désinhibition et l'euphorie. Les effets secondaires les plus fréquents sont des palpitations, la sensation de bouche sèche, des nausées, des vertiges, de la somnolence et des troubles de la concentration. Peuvent survenir des hallucinations, des distorsions du réel, des modifications de la personnalité ou des angoisses incoercibles.

Le cannabis a un effet marqué sur la mémoire de travail et la mémoire épisodique. La mémoire de travail permet de stocker et de manipuler des informations pendant de courtes périodes et lors de la réalisation d'une activité. Elle est coordonnée par un système central qui permet deux choses simultanément : un stockage de quelques secondes des informations et une réponse (traitement de l'information). On peut imaginer son fonctionnement pendant la plongée :

- mémorisation de la profondeur où l'on se trouve, ce qu'il reste d'air dans la bouteille... ;
- réalisation des actions en conséquences (réalisation d'un palier de décompression, remonter de quelques mètres, prendre la décision de faire demi-tour vers le bateau...).

La mémoire épisodique porte sur les faits ou événements qui proviennent de différentes périodes de la vie antérieure ; elle stocke les caractéristiques liées aux événements pour les retrouver. Le processus de rappel des événements est conscient. La récupération d'information en mémoire épisodique se fait à partir d'une information de la situation présente, rappel, indice, reconnaissance. En plongée, l'altération de la mémoire épisodique peut conduire à la perte du binôme ou à une difficulté à retrouver le matériel embarqué (parachute, couteau, dévidoir...). Les effets du cannabis sur ces 2 types de mémoire sont plus importants chez le consommateur occasionnel que chez le consommateur régulier [6].

Le cannabis présente le même risque que le tabac pour le barotraumatisme pulmonaire. Les effets du cannabis seraient cumulables avec ceux de la narcose. La consommation de cannabis augmenterait aussi l'hypothermie.

Enfin, les effets cardiovasculaires du cannabis sont à discuter. Après consommation d'un joint, il est noté dans les 10 min une augmentation de la fréquence cardiaque et du tonus sympathique. Le risque de faire un infarctus du myocarde est multiplié par 5 dans l'heure qui suit un joint [7]. Après une tachycardie initiale, la fréquence cardiaque va baisser, entraînant une augmentation des résistances artérielles, une augmentation de la vélocité systolique, une diminution du débit sanguin cérébral, avec comme conséquence un risque de spasme vasculaire [8,9].

L'assureur DAN [10] décrit des effets potentiellement nocifs pour les plongeurs tels que des distorsions dans la perception du temps et de l'espace, des troubles de la mémoire récente, une confusion, une baisse de concentration, une baisse de la force musculaire et de l'équilibre, une baisse du débit sanguin, de l'émotivité, l'augmentation du rythme cardiaque, une sécheresse de la bouche et de la gorge. Ces effets sont incompatibles avec une plongée sécuritaire et le cannabis augmenterait de 2,5 fois le risque d'accident de plongée. Selon une étude épidémiologique, 21 % des plongeurs admettant une consommation de cannabis auraient fumé dans les 5 min à 6 heures avant l'immersion [11]. Cette étude a démontré la relation évidente entre l'utilisation de produits illicites et l'état dépressif ainsi que celle entre l'utilisation de produits illicites et l'anxiété. Elle a été confirmée par une autre équipe [12]. Les substances récréatives changent les fonctions métaboliques et la perception de la réalité, des distances et du temps et peuvent donc laisser penser que leur consommation augmente le risque d'incidents pendant une plongée.

Enfin, pour une équipe hollandaise [13], la recommandation de ne pas plonger sous l'influence de stupéfiants n'a jamais été validée par des études cliniques. Il s'agit très certainement d'un cri d'alarme face à la pauvreté de la littérature et des évaluations pratiques sur le sujet cannabis et plongée.

Conclusion

Le cannabis semble être le stupéfiant préféré des plongeurs [11]. Les effets comportementaux et physiologiques du cannabis apparaissent dans les 10 minutes suivant sa prise et, donnée importante pour les plongeurs, peuvent persister entre trois et cinq heures. Ces effets peuvent augmenter considérablement le risque d'accident de plongée. Tout comme l'alcool, le cannabis altère la perception et le jugement, réduit les inhibitions et entraîne des changements d'humeur, autant d'effets pouvant être amplifiés par les effets de la narcose à l'azote. Le cannabis provoque également une vasodilatation des vaisseaux sanguins, augmente le risque d'hypothermie et réduit la coordination motrice, limitant les aptitudes techniques du plongeur. Par ailleurs, fumer du cannabis ou du tabac augmente le taux de monoxyde de carbone se liant à l'hémoglobine dans le sang, ce qui réduit de 10 % la capacité de l'organisme à transporter de l'oxygène. Cela peut affecter la résistance du plongeur à l'effort physique et sa capacité à réagir en cas d'urgence. Enfin, les risques cardiovasculaires liés à l'usage du cannabis peuvent également conduire à des situations catastrophiques sous l'eau.

Outre les effets aigus de la prise de cannabis, sa consommation prolongée peut entraîner d'autres problèmes pour le plongeur. Comme pour le tabagisme, une exposition chronique au cannabis peut causer des problèmes respiratoires, tels qu'une bronchite et une sinusite chroniques, lesquelles augmentent le risque de barotraumatisme avec ses conséquences potentiellement mortelles.

Une mini-revue à but de vulgarisation est disponible sur Internet [14].

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Kintz P, Villain M. Accident de plongée sous influence de médicaments : à propos d'un cas et revue de la littérature. *Ann Toxicol Anal* 2011;23:169–74.
- [2] <http://www.ofdt.fr/produits-et-addictions/de-z/cannabis/>, site consulté le 8 mars 2017.
- [3] Brunet B, Delbreil A, Sapanet M, Mura P, Kintz P. Diving under the influence of cannabis. *Ann Toxicol Anal* 2012;S1:23–4.
- [4] Kintz P, Cirimele V. Testing human blood for cannabis by GC/MS. *Biomed Chromatogr* 1997;11:371–3.
- [5] SFTA. Consensus cannabis. Adopté le 14 juin 2013. *Toxicol Anal Clin* 2014;26:3–5.
- [6] Schoeler T, Bhattacharyya S. The effect of cannabis use on memory function: an update. *Subst Abuse Rehabil* 2013;4:11–27.
- [7] Thomas G, Kloner RA, Rezkalla S. Adverse cardiovascular, cerebrovascular, and peripheral vascular effects of marijuana inhalation: what cardiologists need to know. *Am J Cardiol* 2014;113:187–90.
- [8] Herning RI, Better WE, Tate K, Cadet JL. Marijuana abusers are at increased risk for stroke. Preliminary evidence from cerebrovascular perfusion data. *Ann NY Acad Sci* 2001;939:413–5.
- [9] Mathew RJ, Wilson WH, Davis R. Postural syncope after marijuana: a transcranial Doppler study of the hemodynamics. *Pharmacol Biochem Behav* 2003;75:309–18.
- [10] <https://alertdiver.eu/fr.FR/articles/plonger-en-etat-d-ivresse>, site consulté le 8 mars 2017.
- [11] Dowse MS, Shaw S, Cridge C, Smerdon G. The use of drugs by UK recreational divers: illicit drugs. *Diving Hyperb Med* 2011;41:9–15.
- [12] Chesneau P, Thomas L, Mehdaoui H, Drault JN, Ketterle J. Does cannabis play a role in scuba diving accident? *Presse Med* 2000;29:188–9.
- [13] Verster JC, Kienhorst EAM, van Hulst RA. Alcohol, drugs and diving: implications for health and fitness to dive. *Curr Drug Abuse Rev* 2012;5:85–6.
- [14] <https://alertdiver.eu/fr.FR/articles/la-marijuana-et-la-plongee-l-avis-des-experts>, site consulté le 24 mars 2017.