

(19)



(11)

EP 4 034 457 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

21.06.2023 Bulletin 2023/25

(21) Numéro de dépôt: **20790387.3**

(22) Date de dépôt: **21.09.2020**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B63C 11/02 (2006.01) B63C 11/22 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
B63C 11/02; B63C 11/22; B63C 2011/021

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/IB2020/058770

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2021/059108 (01.04.2021 Gazette 2021/13)

(54) **SYSTÈME DE SÉCURITÉ POUR LA PLONGÉE SOUS-MARINE**

SICHERHEITSSYSTEM ZUM TIEFSTAUCHEN

SAFETY SYSTEM FOR UNDERWATER DIVING

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **23.09.2019 FR 1910338**

(43) Date de publication de la demande:
03.08.2022 Bulletin 2022/31

(73) Titulaire: **Etat Français, Service de Santé des
Armées
représenté par le délégué général de l'armement
DGA/S2IE/SDSIE/BPI
75509 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

- **CASTAGNA, Olivier**
83190 Ollioules (FR)
- **SCHMID, Bruno**
83200 Le Revest les Eaux (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Chaillot**
16/20, avenue de l'Agent Sarre
B.P. 74
92703 Colombes Cedex (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-2009/022926 FR-A1- 3 075 160

EP 4 034 457 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de la plongée sous-marine et porte, en particulier, sur un système de sécurité pour la plongée sous-marine permettant de prévenir la survenue d'un oedème pulmonaire d'immersion lors d'une plongée.

[0002] Il a été montré que les plongeurs fournissant des efforts physiques et ventilatoires importants présentent un plus grand risque de développer un oedème pulmonaire d'immersion, et l'on a pu observer ces dernières années une augmentation de la prévalence de cet oedème pulmonaire d'immersion.

[0003] Actuellement, les ordinateurs de plongée que l'on trouve sur le marché ne font que mesurer la fréquence cardiaque du plongeur. Un exemple d'un tel ordinateur de plongée est décrit dans la demande de brevet européen EP1878654 A1.

[0004] Cependant, la mesure de ce seul paramètre ne permet pas de prévenir la survenue d'un oedème pulmonaire d'immersion.

[0005] Il a été observé que le risque de développer un oedème pulmonaire d'immersion est le plus élevé lorsque le plongeur est dans une situation de ventilation à pression négative alors qu'il réalise un effort physique. En effet, la ventilation à pression négative induit la mise en place d'une forte dépression transthoracique responsable d'une majoration du retour veineux, d'une congestion vasculaire pulmonaire et d'un déséquilibre entre les cavités cardiaques droites et gauches.

[0006] Une situation de ventilation à pression négative survient lorsque la pression alvéolaire moyenne est plus faible que la pression des gaz inspirés. Lorsqu'un plongeur utilise un appareil respiratoire à recyclage d'air, avec un sac ventilatoire placé sur le dos, la ventilation à pression négative est importante en raison de la différence de hauteur de la colonne d'eau existant entre le sac ventilatoire et les poumons du plongeur. Cette situation de ventilation à pression négative peut également survenir dans d'autres situations en plongée sous-marine, par exemple lorsque le détendeur est mal réglé, lorsqu'un plongeur utilisant un appareil respiratoire à circuit ouvert se trouve en position verticale, lors de la natation en surface avec une respiration à l'aide d'un tuba, etc.

[0007] Il a donc été identifié que la ventilation à pression négative induit une majoration du travail ventilatoire inspiratoire.

[0008] Il n'a toutefois pas encore été proposé de solution permettant d'effectivement prévenir la survenue d'un oedème pulmonaire d'immersion chez un plongeur.

[0009] La présente invention vise à pallier ce manque, en proposant un système de sécurité, dit système pneumo-baro-tachographe, apte à prévenir la survenue d'oedème pulmonaire d'immersion par la mesure, en temps réel, à la fois du travail ventilatoire du plongeur et de son déséquilibre hydrostatique, pour identifier les situations de ventilation à pression négative.

[0010] Le travail ventilatoire imposé au plongeur est la

résultante des résistances à l'écoulement des gaz au sein de l'appareil respiratoire de plongée (résistances dynamiques) et du gradient de pression existant entre le gaz délivré au plongeur et sa pression intrapulmonaire (résistances statiques).

[0011] On peut mentionner ici la demande de brevet français FR3075160 A1, qui elle décrit un système de contrôle de la pression expiratoire d'un plongeur pour un équipement de plongée. Ce système comprend une valve unidirectionnelle agissant sur une sortie expiratoire du circuit ventilatoire de l'équipement de plongée et un frein configuré pour exercer une contrainte réglable sur la valve unidirectionnelle afin de contrôler la pression du gaz issu de la sortie expiratoire, de manière à générer une pression positive dans le circuit respiratoire. Le système peut comprendre un capteur de pression placé dans le circuit expiratoire du circuit ventilatoire pour mesurer la pression du gaz expiré par le plongeur, et la contrainte exercée par le frein est réglée en tenant compte du pic de pression. Il est en outre indiqué que l'équipement de plongée peut comprendre une pluralité de capteurs permettant de fournir des données qui peuvent enrichir la détection de symptômes révélateurs d'un oedème pulmonaire d'immersion. Toutefois, il n'est pas fait mention de la mesure de débits ventilatoires ni de la pression thoracique différente. En effet, dans ce système, il s'agit uniquement de mesurer un pic de pression. De plus, il est explicitement indiqué que ces données servent à activer le système de contrôle de la pression expiratoire, de sorte que le choix a été fait, non pas d'alerter le plongeur ou l'un de ses coéquipiers, mais d'activer le système de contrôle pour qu'il génère une pression positive dans le circuit respiratoire de l'équipement de plongée.

[0012] Le système pneumo-baro-tachographe selon la présente invention est également adapté à d'autres applications, telles que la recherche en physiologie humaine, la validation de matériels de plongée, etc.

[0013] La présente invention a ainsi pour objet un système de sécurité destiné à être porté par un plongeur effectuant une plongée sous-marine en utilisant un appareil respiratoire de plongée, à l'aide duquel il respire par l'intermédiaire d'un embout buccal, le système de sécurité étant caractérisé par le fait qu'il comprend :

- des moyens d'acquisition de données ventilatoires du plongeur comprenant au moins un dispositif dit adaptateur interposé entre l'embout buccal et l'appareil respiratoire de plongée et configuré pour mesurer les débits et pressions ventilatoires du plongeur sur le circuit inspiratoire ou expiratoire de l'appareil respiratoire de plongée, et un capteur de pression thoracique différentielle, les moyens d'acquisition de données ventilatoires étant configurés pour déterminer le travail ventilatoire et le déséquilibre hydrostatique sur la base des mesures effectuées par le ou les dispositifs adaptateurs et le capteur de pression thoracique différentielle ;

- des moyens d'analyse en temps réel des données acquises par les moyens d'acquisition de données ventilatoires, placés dans un boîtier étanche destiné à être porté par le plongeur et configurés pour déterminer, sur la base desdites données acquises, la présence ou non d'un risque d'oedème pulmonaire d'immersion ; et
- des moyens d'alerte configurés pour, au cours de la plongée, émettre une alerte, pour le plongeur ou l'un de ses coéquipiers, dans le cas où il est déterminé, par les moyens d'analyse, qu'un risque d'oedème pulmonaire d'immersion est présent.

[0014] La présence d'un risque d'oedème pulmonaire pourra notamment correspondre au dépassement d'un ou plusieurs seuils prédéfinis pour le travail ventilatoire, en tenant compte du déséquilibre hydrostatique.

[0015] Selon un mode de réalisation particulier, le ou chaque dispositif adaptateur comporte un spiromètre à turbine, pour la mesure des débits et pressions ventilatoires du plongeur, et une prise de pression buccale, et le capteur de pression thoracique différentielle comprend, reçu dans le boîtier étanche, un capteur de pression différentielle dont un port est relié à la prise de pression buccale et dont l'autre port est relié à une poche souple de prise de pression hydrostatique.

[0016] Le spiromètre à turbine peut comprendre une turbine et un ensemble émetteur-récepteur infrarouge, la turbine ayant un corps transparent cylindrique et une pale opaque, l'ensemble émetteur-récepteur infrarouge comprenant un émetteur infrarouge et deux récepteurs infrarouges positionnés globalement diamétralement opposés à l'émetteur infrarouge et à la suite l'un de l'autre dans la direction circonférentielle du corps de la turbine.

[0017] Selon un mode de réalisation particulier, le système de sécurité comprend en outre des moyens d'acquisition de conditions environnementales comprenant des moyens de mesure de la profondeur d'immersion, des moyens de mesure de la température de l'eau au voisinage du plongeur et/ou des moyens de mesure de l'inclinaison du plongeur, les moyens de mesure de la profondeur d'immersion comprenant par exemple un capteur de pression absolue reçu dans le boîtier étanche et les moyens de mesure de l'inclinaison du plongeur comprenant par exemple un inclinomètre destiné à être porté par le plongeur.

[0018] Selon un mode de réalisation particulier, le système de sécurité comprend en outre des moyens d'acquisition de données physiologiques du plongeur comprenant un cardiofréquencemètre pour la mesure de la fréquence cardiaque du plongeur et/ou un accéléromètre pour la mesure de la cadence de palmage du plongeur destiné à être placé sur la jambe du plongeur.

[0019] Les moyens d'analyse peuvent comprendre au moins un calculateur.

[0020] Selon un mode de réalisation particulier, le système de sécurité comprend en outre, montés sur le circuit inspiratoire de l'appareil respiratoire de plongée, des

analyseurs de PpO_2 et $PpCO_2$.

[0021] Selon un mode de réalisation particulier, le système de sécurité comprend en outre un afficheur pour informer le plongeur en temps réel, lequel afficheur est disposé dans le boîtier étanche.

[0022] Selon un mode de réalisation particulier, les moyens d'alerte comprennent une alarme sonore et/ou visuelle.

[0023] Selon un mode de réalisation particulier, le système de sécurité comprend deux dispositifs adaptateurs, dont un premier dispositif adaptateur disposé sur le circuit inspiratoire de l'appareil respiratoire de plongée et un second dispositif adaptateur disposé sur le circuit expiratoire de l'appareil respiratoire de plongée.

[0024] Le système de sécurité pourra avantageusement intégrer un logiciel de type ordinateur de plongée apte à informer le plongeur des durées et des profondeurs limites à ne pas dépasser et à proposer des paliers de désaturation lors de la remontée du plongeur.

[0025] Pour mieux illustrer l'objet de la présente invention, on va décrire ci-après, à titre indicatif et non limitatif, un mode de réalisation particulier avec référence au dessin annexé.

[0026] Sur ce dessin :

[Fig.1] est un schéma de principe du système de sécurité selon la présente invention, porté par un plongeur ;

[Fig.2] est une vue de dessus du dispositif adaptateur selon la présente invention ;

[Fig.3] est une vue de côté du dispositif adaptateur de la Figure 2 ;

[Fig.4] est un schéma montrant le principe de la détermination du nombre de tours de la pale du dispositif adaptateur ;

[Fig.5] est un schéma montrant le principe de la détermination du sens de rotation de la pale du dispositif adaptateur ;

[Fig.6] est un schéma, vue de face, du boîtier étanche ; et

[Fig.7] est un schéma montrant les capteurs de pression.

[0027] Si l'on se réfère à la Figure 1, on peut voir qu'un système de sécurité 1, ou système pneumo-baro-tachographe, selon un mode de réalisation particulier de la présente invention est destiné à être porté par un plongeur lors de la plongée sous-marine. En particulier, le système de sécurité 1 est destiné à être couplé à un appareil respiratoire de plongée 2 utilisé par le plongeur.

[0028] Le système de sécurité 1 comprend, d'une manière générale, un boîtier ou caisson étanche 3, des moyens d'analyse de données en temps réel, des moyens d'affichage et d'alerte, des moyens d'acquisition de données ventilatoires du plongeur, des moyens d'acquisition de données physiologiques du plongeur, et des moyens d'acquisition de conditions environnementales.

[0029] Le boîtier étanche 3 est représenté schématiquement

quement de face sur la Figure 6. Il est destiné à être porté par le harnais du plongeur.

[0030] Dans ce mode de réalisation, le boîtier étanche 3 comprend un corps 30 et un couvercle 31. Le corps 30 peut être avantageusement réalisé à partir d'une pièce en acétal évidée et le couvercle peut être avantageusement réalisé en PMMA (poly(méthacrylate de méthyle)) transparent de 5 mm d'épaisseur. La zone évidée pourra présenter, par exemple, des dimensions de 80x65x21 mm.

[0031] Sur un côté du corps 30 sont prévus trois trous filetés 32 destinés à recevoir des presse-étoupes (non représentés).

[0032] Un joint 33 suit le bord de la zone évidée du corps 30 pour garantir l'étanchéité entre ce dernier et le couvercle 31.

[0033] Le couvercle 31 est maintenu en place sur le corps 30 au moyen de vis 34 dont seules les têtes ont été représentées schématiquement sur la Figure 6.

[0034] Le boîtier 3 sert à contenir, et ainsi protéger de l'immersion et de la pression, l'ensemble des équipements électroniques constituant en tout ou partie lesdits moyens mentionnés ci-dessus.

[0035] Les moyens d'acquisition de données ventilatoires du plongeur comprennent des moyens de mesure des débits et pressions ventilatoires et des moyens de mesure 5 de la pression thoracique différentielle.

[0036] Les moyens de mesure des débits et pressions ventilatoires comprennent un ou plusieurs dispositifs dits adaptateurs 4, comme représenté sur la Figure 1.

[0037] Le ou chaque dispositif adaptateur 4 est destiné à être couplé à l'appareil respiratoire de plongée 2, en particulier en étant interposé dans le circuit respiratoire, entre l'embout buccal et l'appareil respiratoire. Le ou chaque dispositif adaptateur 4 se présente ainsi sous la forme d'un adaptateur.

[0038] Comme on peut le voir sur les Figures 2 à 5, un dispositif adaptateur 4 selon un mode de réalisation particulier de la présente invention comprend un spiromètre à turbine 40 et une prise de pression buccale 41, tous les deux portés par un corps 42 du dispositif adaptateur 4.

[0039] Le corps 42 est réalisé en deux parties, une première partie formée par un bloc 420 creux globalement parallélépipédique, dont l'espace intérieur creux est cylindrique et dont une première ouverture 420a, à une extrémité du bloc 420, est destinée à être reliée à l'appareil respiratoire, et une seconde partie formée par un couvercle 421 fermant de manière étanche l'ouverture du bloc 420 qui est opposée à la première ouverture 420a, le couvercle 421 comprenant lui-même une ouverture traversante 421a qui communique avec l'espace intérieur creux du bloc 420 et est destinée à être reliée à l'embout buccal. De l'air peut ainsi circuler à travers le corps 42 du dispositif adaptateur 4.

[0040] Le principe à la base du fonctionnement du spiromètre à turbine 40 est connu en soi. Dans le présent mode de réalisation, le spiromètre à turbine 40 est de type médical, interchangeable et il comprend une turbine

400.

[0041] Le corps 401 de la turbine 400 est une pièce cylindrique transparente positionnée de manière fixe dans l'espace creux du bloc 420, et maintenue en position par appui du couvercle 421 sur une première face d'extrémité du corps 401, l'autre face d'extrémité du corps 401 étant en appui contre un siège 420b prévu à cet effet dans le bloc 420, l'étanchéité étant assurée par un joint torique 423 reçu dans une gorge ménagée dans la paroi intérieure du bloc 420.

[0042] La pale 402 de la turbine 400 est opaque et très légère. Des ailettes fixes (non représentées) sont présentes de part et d'autre de la pale 402 et servent à communiquer un mouvement hélicoïdal à l'air avant qu'il atteigne la pale 402.

[0043] Le spiromètre à turbine 40 comprend également un ensemble émetteur-récepteur infrarouge 403 qui comporte un émetteur infrarouge 404 et deux récepteurs infrarouges 405a et 405b, placés chacun dans un trou 420c respectif ménagé dans le bloc 420 et débouchant dans l'espace intérieur creux de celui-ci. Les récepteurs infrarouges 405a et 405b sont en particulier positionnés l'un à la suite de l'autre dans la direction circumférentielle et sont globalement diamétralement opposés à l'émetteur infrarouge 404. De préférence, l'émetteur infrarouge 403 est une diode électroluminescente émettant un faisceau infrarouge. Deux trous obliques 402d sont prévus pour le passage des câbles pour l'ensemble émetteur-récepteur infrarouge 403.

[0044] Le débit ventilatoire du plongeur est déterminé à l'aide du système 4 à partir de la mesure de la vitesse de rotation de la pale 402. Plus particulièrement, le flux d'air entrant ou sortant des poumons du plongeur, mis en mouvement hélicoïdal par les ailettes fixes, met en rotation la pale 402 et le nombre de tours de la pale 402, et donc sa vitesse de rotation, est détecté par l'intermédiaire de l'ensemble émetteur-récepteur infrarouge 403. Cette vitesse de rotation est corrélée au débit d'air exprimé à la pression ambiante par un étalonnage, suivant lequel la turbine est fixée sur une seringue calibrée de 3 litres qui est activée à différents régimes, et le nombre de tours effectués par la pale de la turbine est compté et une relation entre le nombre de tours et le volume de 3 litres est établie.

[0045] La détection du nombre de tours de la pale 402 par l'intermédiaire de l'ensemble émetteur-récepteur 403 se fait de la manière suivante, comme représenté sur la Figure 4. L'émetteur infrarouge 404 émet un faisceau infrarouge. La pale 402 étant opaque et la turbine 400 étant transparente, lorsque la pale 402 ne se trouve pas dans le passage du faisceau infrarouge, les deux récepteurs 405a et 405b captent le faisceau émis. Lorsque la pale 402 qui tourne se trouve dans le passage du faisceau infrarouge, les récepteurs 405a et 405b ne captent plus le faisceau émis, il y a donc une interruption de la réception du faisceau. Lorsque les récepteurs 405a et 405b captent à nouveau le faisceau infrarouge, cela implique que la pale 402 a effectué un demi-tour. Ainsi, le

nombre de tours de pale est détecté sous la forme d'interruptions du faisceau infrarouge émis.

[0046] La turbine 400 permet également de détecter le sens de rotation de la pale 402, comme représenté sur la Figure 5, dans laquelle l'ombre générée par la pale 402 est représentée par une zone hachurée. En effet, il est déterminé que la pale 402 tourne dans le sens horaire lorsque le récepteur infrarouge situé en deuxième position, dans le sens horaire de la turbine, à savoir le récepteur 405a, est coupé par le faisceau infrarouge très peu de temps avant le récepteur situé en première position, à savoir le récepteur 405b. Inversement, il est déterminé que la pale 402 tourne dans le sens antihoraire lorsque le récepteur infrarouge 405a, situé en deuxième position, dans le sens horaire de la turbine, est coupé par le faisceau infrarouge avant le récepteur 405b. En effet, l'ombre générée par la pale 402 rejoint moins vite le récepteur 405b lorsque la pale 402 tourne dans le sens antihoraire, que lorsque la pale 402 tourne dans le sens horaire.

[0047] Le dispositif adaptateur 4 est conçu pour être le plus compact et le plus robuste possible, tout en offrant les pertes de charges les plus faibles. Ses dimensions sont, de préférence, de l'ordre de 65x60x44 mm. Dans un mode de réalisation particulier, le corps 401 de la turbine 400 a un diamètre de 34 mm.

[0048] De plus, le bloc 420 comporte un trou traversant 420e qui est aligné avec un trou traversant 401a ménagé dans le corps 401 de la turbine 400, et la prise de pression buccale 41 est montée de façon à communiquer avec lesdits trous traversants 420e et 401a, et donc avec l'espace intérieur du corps 401 de la turbine 400. Cette prise de pression buccale 41 sert aux moyens 5 de mesure de la pression thoracique différentielle.

[0049] Comme on peut le voir sur la Figure 7, ces moyens 5 comprennent un capteur de pression différentielle 50 et une poche souple 51 de référence de pression hydrostatique.

[0050] De préférence, le capteur de pression différentielle 50 présente une plage de mesure de -70 à +70 mbars, une précision de +/- 0,7 mbar, a une pression différentielle maximale tolérée de +/- 700 mbars et une pression absolue maximale de 11 bars, soit une immersion maximale d'environ 100 mètres.

[0051] Le capteur de pression différentielle 50 a deux ports. L'un des deux ports tolère l'air humide et est connecté à un capillaire 52 destiné à être relié, directement ou indirectement, à la prise de pression buccale 41. L'autre port est conçu pour de l'air sec et est connecté, directement ou indirectement, à la poche souple 51 par l'intermédiaire de plusieurs capillaires 53, 54.

[0052] La poche souple 51, représentée schématiquement sur la Figure 1, est destinée à être positionnée sur le flanc du plongeur, notamment sous son aisselle. Plus particulièrement, la poche souple 51 est placée de telle sorte que sa position correspond à la position du centroïde pulmonaire du plongeur. Un tel positionnement permet de mesurer la pression différentielle entre la pression respiratoire dans l'embout buccal et la pression de

l'eau au niveau de la poche souple 51, donc au niveau des poumons.

[0053] Le capteur de pression différentielle 50 est disposé dans le boîtier étanche 3.

[0054] Les capillaires 52, 53, 54 reliés au capteur de pression différentielle 50 sont des tubes, de préférence transparents et flexibles, en polyuréthane, résistants par exemple à 11 bars.

[0055] La poche souple 51 est réalisée, de préférence, en film de polyuréthane, et peut avoir une épaisseur de 110 microns. La poche souple 51 peut avoir des dimensions de 4x2 cm.

[0056] En outre, les moyens d'acquisition de données ventilatoires du plongeur peuvent comprendre des analyseurs PpO₂ et PpCo₂. Ces analyseurs sont des capteurs classiquement utilisés en plongée sous-marine, tels que la cellule oxygène Teledyne R17-VAN et le capteur CO₂ AP Diving RB120.

[0057] Ces analyseurs sont fixés sur le circuit inspiratoire de l'appareil respiratoire de plongée 2 et transmettent leurs informations au système de sécurité 1.

[0058] De préférence, le système de sécurité 1 comporte deux dispositifs adaptateurs 4, un sur la boucle inspiratoire et un sur la boucle expiratoire. Les analyseurs sont donc présents également sur la boucle inspiratoire et sur la boucle expiratoire.

[0059] Ainsi, il est possible d'analyser, cycle à cycle, la teneur en oxygène des gaz inspirés par le plongeur, de façon à contrôler la qualité du mélange inhalé par le plongeur. Cela permet d'éviter une éventuelle hypoxie ou hyperoxie.

[0060] Les analyseurs permettent également d'analyser la teneur en CO₂ des gaz inhalés afin de contrôler la performance de décarbonatation de la cartouche de chaux dosée de l'appareil respiratoire de plongée 2.

[0061] Sur la boucle expiratoire, l'analyse de la teneur en CO₂ des gaz expirés par le plongeur permet de prévenir tout risque d'hypocapnie ou d'hypercapnie.

[0062] Les moyens d'acquisition de données physiologiques du plongeur peuvent comprendre des moyens de mesure de la fréquence cardiaque du plongeur et des moyens de mesure de l'intensité de palmage.

[0063] Les moyens de mesure de la fréquence cardiaque du plongeur peuvent comprendre un cardiofréquencemètre, comme par exemple un cardiofréquencemètre porté au poignet.

[0064] Les moyens 6 de mesure de l'intensité de palmage peuvent comprendre un accéléromètre x, y, z, de préférence de petite dimension, qui pourra avantageusement être placé sur la jambe du plongeur.

[0065] Les moyens d'acquisition de conditions environnementales peuvent comprendre des moyens 7 de mesure de la profondeur d'immersion, des moyens de mesure de la température et des moyens 8 de mesure de l'inclinaison du plongeur.

[0066] Les moyens 7 de mesure de la profondeur d'immersion peuvent comprendre un capteur de pression absolue 70, reçu dans le boîtier étanche 3, ou un profondi-

mètre.

[0067] Dans un mode de réalisation préféré de la présente invention, le capteur de pression absolue 70 est apte à mesurer des pressions comprises entre 0 et 10 bars, et donc entre 0 et 100 mètres d'immersion, est apte à supporter une pression momentanée de 17 bars, autrement dit 170 mètres d'immersion, et présente une précision de l'ordre de 1% donc 100 mbars, autrement dit 1 mètre d'immersion.

[0068] Les moyens de mesure de la température comprennent un capteur de température (non représenté) reçu dans le boîtier étanche 3, et qui pourra être basé sur toute technologie permettant la mesure de la température de l'eau au voisinage immédiat du plongeur.

[0069] Les moyens 8 de mesure de l'inclinaison du plongeur peuvent comprendre un inclinomètre x, y, z, destiné à être placé avantageusement sur la bretelle du harnais de sanglage de l'appareil respiratoire de plongée 2. L'inclinomètre permet ainsi de connaître la position angulaire du plongeur.

[0070] Chacun des moyens de mesure est relié, par une liaison par câble et par l'intermédiaire de capillaires déconnectables, à des moyens d'analyse de données en temps réel.

[0071] Ces moyens d'analyse en temps réel peuvent comprendre au moins un calculateur, de préférence deux calculateurs dans le cas où le dispositif comporte deux dispositifs adaptateurs 4.

[0072] Le ou chaque calculateur est placé dans le boîtier étanche 3.

[0073] Le ou chaque calculateur pourra également faire partie des moyens d'acquisition de données ventilatoires du plongeur, en ce qui déterminera, par calcul, le travail ventilatoire et le déséquilibre hydrostatique du plongeur sur la base des mesures effectuées par le ou les dispositifs adaptateurs 4 et le capteur de pression différentielle 50.

[0074] Le ou chaque calculateur sera configuré pour déterminer, sur la base du déséquilibre hydrostatique calculé, si le plongeur se situe en situation de ventilation à pression négative et, dans l'affirmative, si le travail ventilatoire calculé dépasse ou non un seuil prédéfini.

[0075] Le calculateur peut intégrer un logiciel de type « ordinateur de plongée » apte à fournir au plongeur les durées et profondeurs limites à ne pas dépasser, et à proposer des paliers de désaturation au cours de la remontée du plongeur.

[0076] Le système de sécurité 1 peut comporter en outre des moyens d'affichage, tel qu'un écran ou afficheur, intégré dans le boîtier étanche 3.

[0077] Un tel écran ou afficheur, relié au calculateur, permet au plongeur de connaître, en temps réel, les résultats de l'ensemble des mesures.

[0078] Le système de sécurité 1 comporte en outre des moyens d'alerte. Ces moyens d'alerte permettent, en cours de plongée, d'avertir le plongeur ou l'un de ses coéquipiers d'un risque d'accident de plongée et donc de modifier le comportement du plongeur afin d'éviter cet

accident de plongée.

[0079] En particulier, les moyens d'alerte peuvent comprendre une alarme sonore et/ou visuelle, telle qu'une diode clignotante. Les moyens d'alerte seront avantageusement configurés pour émettre une alarme sonore et/ou visuelle lorsqu'une ou plusieurs variables mesurées dépassent un seuil prédéfini.

[0080] Des moyens d'alimentation électrique, comme par exemple des piles ou une batterie, pour tous les moyens décrits ci-dessus seront logés dans le boîtier étanche 3.

[0081] Les moyens d'acquisition et d'analyse du dispositif de sécurité selon la présente invention permettent donc, au cours d'une plongée, d'analyser simultanément les performances d'un appareil respiratoire de plongée, les caractéristiques ventilatoires et physiologiques du plongeur et les conditions environnementales.

[0082] Après une plongée, l'ensemble des données et conditions mesurées pourront être téléchargeables par liaison sans fil Bluetooth, afin d'être stockées dans un ordinateur. Ainsi, à l'issue de la plongée, le plongeur peut connaître son travail ventilatoire total. De plus, en cas d'accident, l'analyse de ces données permet de mieux comprendre la survenue de cet accident de plongée et donc de la prévenir.

[0083] Il est bien entendu que le mode de réalisation ci-dessus de la présente invention a été donné à titre indicatif et non limitatif et que des modifications pourront y être apportées sans sortir de la portée définie par les revendications.

Revendications

1. Système de sécurité (1) destiné à être porté par un plongeur effectuant une plongée sous-marine en utilisant un appareil respiratoire de plongée (2), à l'aide duquel il respire par l'intermédiaire d'un embout buccal, le système de sécurité (1) étant **caractérisé par le fait qu'il comprend :**

- des moyens d'acquisition de données ventilatoires du plongeur comprenant au moins un dispositif dit adaptateur interposé entre l'embout buccal et l'appareil respiratoire de plongée (2) et configuré pour mesurer les débits et pressions ventilatoires du plongeur sur le circuit inspiratoire ou expiratoire de l'appareil respiratoire de plongée (2), et un capteur de pression thoracique différentielle, les moyens d'acquisition de données ventilatoires étant configurés pour déterminer le travail ventilatoire et le déséquilibre hydrostatique sur la base des mesures effectuées par le ou les dispositifs adaptateurs et le capteur de pression thoracique différentielle ;
- des moyens d'analyse en temps réel des données acquises par les moyens d'acquisition de données ventilatoires, placés dans un boîtier

- étanche (3) destiné à être porté par le plongeur et configurés pour déterminer, sur la base desdites données acquises, la présence ou non d'un risque d'oedème pulmonaire d'immersion ; et
- des moyens d'alerte configurés pour, au cours de la plongée, émettre une alerte, pour le plongeur ou l'un de ses coéquipiers, dans le cas où il est déterminé, par les moyens d'analyse, qu'un risque d'oedème pulmonaire d'immersion est présent.
2. Système de sécurité (1) selon la revendication 1, **caractérisé par le fait que** le ou chaque dispositif adaptateur (4) comporte un spiromètre à turbine (40), pour la mesure des débits et pressions ventilatoires du plongeur, et une prise de pression buccale (41), et **par le fait que** le capteur de pression thoracique différentielle comprend, reçu dans le boîtier étanche (3), un capteur de pression différentielle (50) dont un port est relié à la prise de pression buccale (41) et dont l'autre port est relié à une poche souple (51) de prise de pression hydrostatique.
 3. Système de sécurité (1) selon la revendication 2, **caractérisé par le fait que** le spiromètre à turbine (40) comprend une turbine (400) et un ensemble émetteur-récepteur infrarouge (403), la turbine (400) ayant un corps transparent cylindrique (401) et une pale opaque (402), l'ensemble émetteur-récepteur infrarouge (403) comprenant un émetteur infrarouge (404) et deux récepteurs infrarouges (405a, 405) positionnés globalement diamétralement opposés à l'émetteur infrarouge (404) et à la suite l'un de l'autre dans la direction circonférentielle du corps (401) de la turbine (400).
 4. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé par le fait qu'il** comprend en outre des moyens d'acquisition de conditions environnementales comprenant des moyens (7) de mesure de la profondeur d'immersion, des moyens de mesure de la température de l'eau au voisinage du plongeur et/ou des moyens (8) de mesure de l'inclinaison du plongeur, les moyens (7) de mesure de la profondeur d'immersion comprenant par exemple un capteur de pression absolue (70) reçu dans le boîtier étanche (3) et les moyens (8) de mesure de l'inclinaison du plongeur comprenant par exemple un inclinomètre destiné à être porté par le plongeur.
 5. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé par le fait qu'il** comprend en outre des moyens d'acquisition de données physiologiques du plongeur comprenant un cardiofréquence-mètre pour la mesure de la fréquence cardiaque du plongeur et/ou un accéléromètre (6)
- pour la mesure de la cadence de palmage du plongeur destiné à être placé sur la jambe du plongeur.
6. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé par le fait que** les moyens d'analyse comprennent au moins un calculateur.
 7. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé par le fait qu'il** comprend en outre, montés sur le circuit inspiratoire de l'appareil respiratoire de plongée, des analyseurs de PpO₂ et PpCO₂.
 8. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé par le fait qu'il** comprend en outre un afficheur pour informer le plongeur en temps réel, lequel afficheur est disposé dans le boîtier étanche (3).
 9. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé par le fait que** les moyens d'alerte comprennent une alarme sonore et/ou visuelle.
 10. Système de sécurité (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé par le fait qu'il** comprend deux dispositifs adaptateurs (4), dont un premier dispositif adaptateur (4) disposé sur le circuit inspiratoire de l'appareil respiratoire de plongée (2) et un second dispositif adaptateur (4) disposé sur le circuit expiratoire de l'appareil respiratoire de plongée (2).

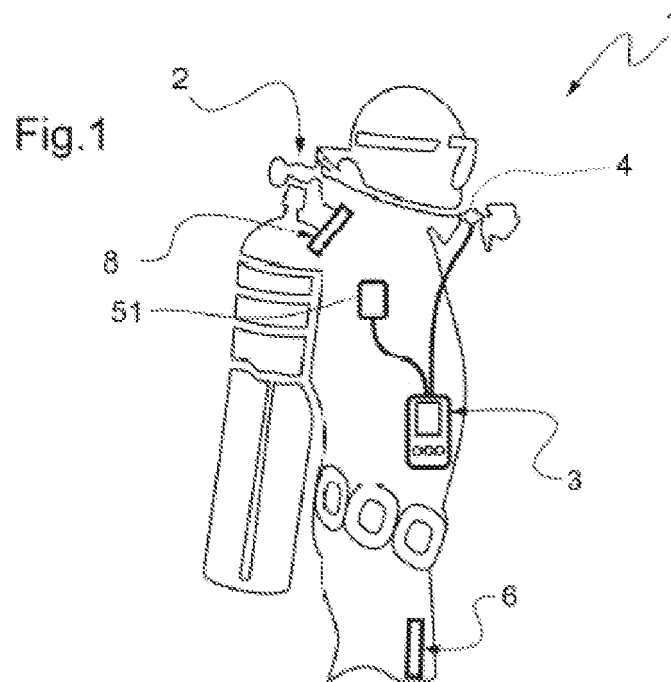
Patentansprüche

1. - Sicherheitssystem (1), das zum Tragen durch einen Taucher bestimmt ist, der unter Verwendung eines Tauchatemgeräts (2), mit dem er über ein Mundstück atmet, taucht, wobei das Sicherheitssystem (1) **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es umfasst:
 - Mittel zum Erfassen von Atmungsdaten des Tauchers, die mindestens eine Adaptervorrichtung, die zwischen dem Mundstück und dem Tauchatemgerät (2) angeordnet und ausgelegt ist, um die Atmungsleistungen und -drücke des Tauchers im Einatmungs- oder Ausatemungskreis des Tauchatemgeräts (2) zu messen, und einen Thorax-Differentialdrucksensor umfassen, wobei die Mittel zum Erfassen von Atmungsdaten ausgelegt sind, um die Atemarbeit und das hydrostatische Ungleichgewicht auf der Basis der Messungen zu bestimmen, die von dem oder den Adaptervorrichtungen und dem Thorax-Differentialdrucksensor durchgeführt werden;

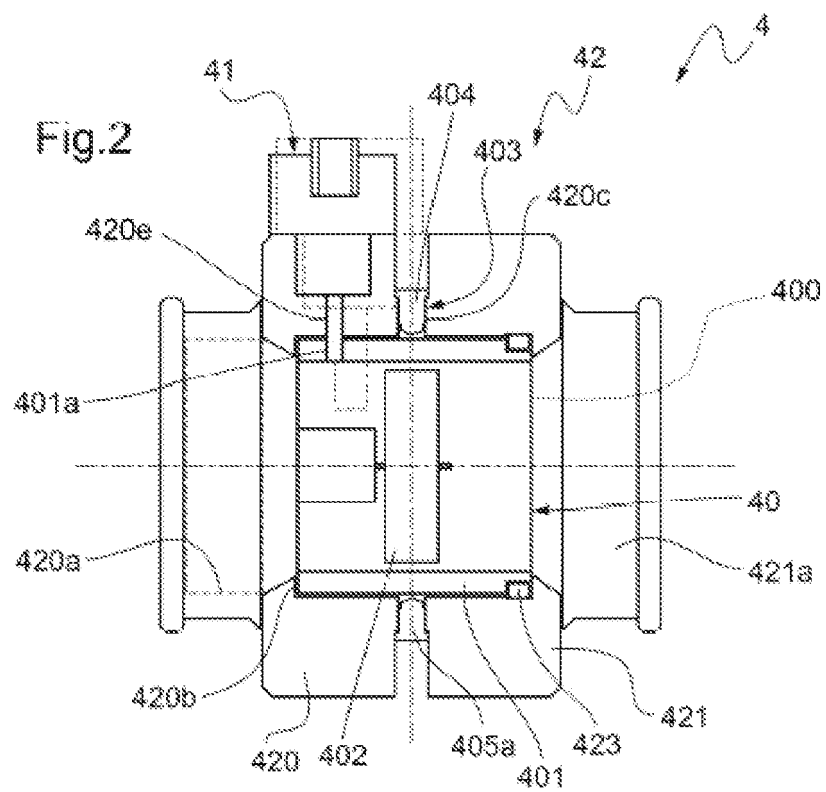
- Mittel zur Echtzeit-Analyse der von den Mitteln zum Erfassen von Atmungsdaten erfassten Daten, die in einem dichten Gehäuse (3) platziert sind, das bestimmt ist, von dem Taucher getragen zu werden und ausgelegt sind, um auf der Basis der erfassten Daten die Anwesenheit oder nicht eines Risikos für ein Taucher-Lungenödem zu bestimmen; und
- Warnmittel, die ausgelegt sind, um beim Tauchen eine Warnung für den Taucher oder eines seiner Teammitglieder zu senden, wenn von den Analysemitteln bestimmt wurde, dass ein Risiko für ein Taucher-Lungenödem vorliegt.
2. - Sicherheitssystem (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Adaptervorrichtung (4) ein Turbinen-Spirometer (40) für die Messung der Atmungsleistungen und -drücke des Tauchers und eine Mundstück-Druckerfassung (41) aufweist und dadurch, dass der Thorax-Differentialdrucksensor, in dem dichten Gehäuse (3) aufgenommen, einen Differentialdrucksensor (50) umfasst, von dem ein Port mit der Mundstück-Druckerfassung (41) verbunden ist und dessen anderer Port mit einem flexiblen Beutel (51) für die hydrostatische Druckerfassung verbunden ist.
 3. - Sicherheitssystem (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Turbinen-Spirometer (40) eine Turbine (400) und eine Infrarot-Sender-Empfänger-Anordnung (403) umfasst, wobei die Turbine (400) einen zylindrischen transparenten Körper (401) und eine undurchsichtige Schaufel (402) hat, wobei die Infrarot-Sender-Empfänger-Anordnung (403) einen Infrarot-Sender (404) und zwei Infrarot-Empfänger (405a, 405) umfasst, die global diametral entgegengesetzt zum Infrarot-Sender (404) und nacheinander in der Umfangsrichtung des Körpers (401) der Turbine (400) positioniert sind.
 4. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner Mittel zum Erfassen von Umweltbedingungen umfasst, die Mittel (7) zum Messen der Tauchtiefe, Mittel zum Messen der Temperatur des Wasser in der Nähe des Tauchers und/oder Mittel (8) zum Messen der Neigung des Tauchers umfassen, wobei die Mittel (7) zum Messen der Tauchtiefe beispielsweise einen in dem dichten Gehäuse (3) aufgenommenen Sensor des absoluten Drucks (70) umfassen und die Mittel (8) zum Messen der Neigung des Tauchers beispielsweise einen Neigungsmesser umfassen, der bestimmt ist, von dem Taucher getragen zu werden.
 5. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner Mittel zum Erfassen physiologischer Daten des Tauchers umfasst, die einen Herzfrequenzmesser zum Messen der Herzfrequenz des Tauchers und/oder einen Beschleunigungsmesser (6) zum Messen der Flossenschlagfrequenz des Tauchers umfassen, der bestimmt ist, auf dem Bein des Tauchers befestigt zu sein.
 6. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Analysemittel mindestens einen Rechner umfassen.
 7. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner PpO₂- und PpCO₂-Analysevorrichtungen umfasst, die auf dem Einatemungskreis des Tauchatemgeräts angebracht sind.
 8. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner eine Anzeige umfasst, um den Taucher in Echtzeit zu informieren, wobei die Anzeige in dem dichten Gehäuse (3) angeordnet ist.
 9. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Warnmittel einen Ton- und/oder visuellen Alarm umfassen.
 10. - Sicherheitssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zwei Adaptervorrichtungen (4) umfasst, davon eine erste Adaptervorrichtung (4), die auf dem Einatemungskreis des Tauchatemgeräts (2) angeordnet ist, und eine zweite Adaptervorrichtung (4), die auf dem Ausatemungskreis des Tauchatemgeräts (2) angeordnet ist.
- ### Claims
1. - A safety system (1) intended to be worn by a diver diving underwater using an underwater breathing apparatus (2), by means of which he/she breathes via a mouthpiece, the safety system (1) being **characterised in that** it comprises:
 - means for acquiring ventilatory data of the diver comprising at least one so-called adapter device interposed between the mouthpiece and the underwater breathing apparatus (2) and configured to measure the ventilatory flow rates and pressures of the diver on the inhalation or exhalation circuit of the underwater breathing apparatus (2), and a thoracic differential pressure sensor, the ventilatory data acquisition means being configured to determine the ventilatory work and the hydrostatic imbalance based on the measurements done by the adapter de-

- vice(s) and thoracic differential pressure sensor;
 - means for analyzing in real-time the data acquired by the ventilatory data acquisition means, placed in a sealed housing (3) intended to be worn by the diver and configured to determine, based on said acquired data, the presence or absence of a risk of immersion pulmonary edema; and
 - alert means configured, during diving, to emit an alert, for the diver or one of his/her teammates, in the event it is determined, by the analysis means, that a risk of immersion pulmonary edema is present.
2. - The safety system (1) according to claim 1, **characterised in that** the or each adapter device (4) includes a turbine spirometer (40), for measuring the ventilatory flow rates and pressures of the diver, and an oral pressure measurement (41), and **in that** the thoracic differential pressure sensor comprises, received in the sealed housing (3), a differential pressure sensor (50) whereof one port is connected to the oral pressure measurement (41) and the other port is connected to a flexible pouch (51) for hydrostatic pressure measurement.
3. - The safety system (1) according to claim 2, **characterised in that** the turbine spirometer (40) comprises a turbine (400) and an infrared transceiver assembly (403), the turbine (400) having a transparent cylindrical body (401) and an opaque blade (402), the infrared transceiver assembly (403) comprising an infrared transmitter (404) and two infrared receivers (405a, 405) positioned globally diametrically opposite the infrared transmitter (404) and one after the other in the circumferential direction of the body (401) of the turbine (400).
4. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** it further comprises means for acquiring environmental conditions comprising means (7) for measuring the immersion depth, means for measuring the temperature of the water near the diver and/or means (8) for measuring the incline of the diver, the means (7) for measuring the immersion depth for example comprising an absolute pressure sensor (70) received in the sealed housing (3) and the means (8) for measuring the incline of the diver for example comprising an inclinometer intended to be worn by the diver.
5. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** it further comprises means for acquiring physiological data of the diver comprising a heart rate monitor for measuring the heart rate of the diver and/or an accelerometer (6) for measuring the kicking rate of the diver intended to be placed on the diver's leg.
6. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** the analysis means comprise at least one computer.
7. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 6, **characterised in that** it further comprises, mounted on the inhalation circuit of the underwater breathing apparatus, PpO₂ and PpCO₂ analyzers.
8. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 7, **characterised in that** it further comprises a display to inform the diver in real time, which display is arranged in the sealed housing (3).
9. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 8, **characterised in that** the alert means comprise a sound and/or visual alarm.
10. - The safety system (1) according to any one of claims 1 to 9, **characterised in that** it comprises two adapter devices (4), including a first adapter device (4) arranged on the inhalation circuit of the underwater breathing apparatus (2) and a second adapter device (4) arranged on the exhalation circuit of the underwater breathing apparatus (2).

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

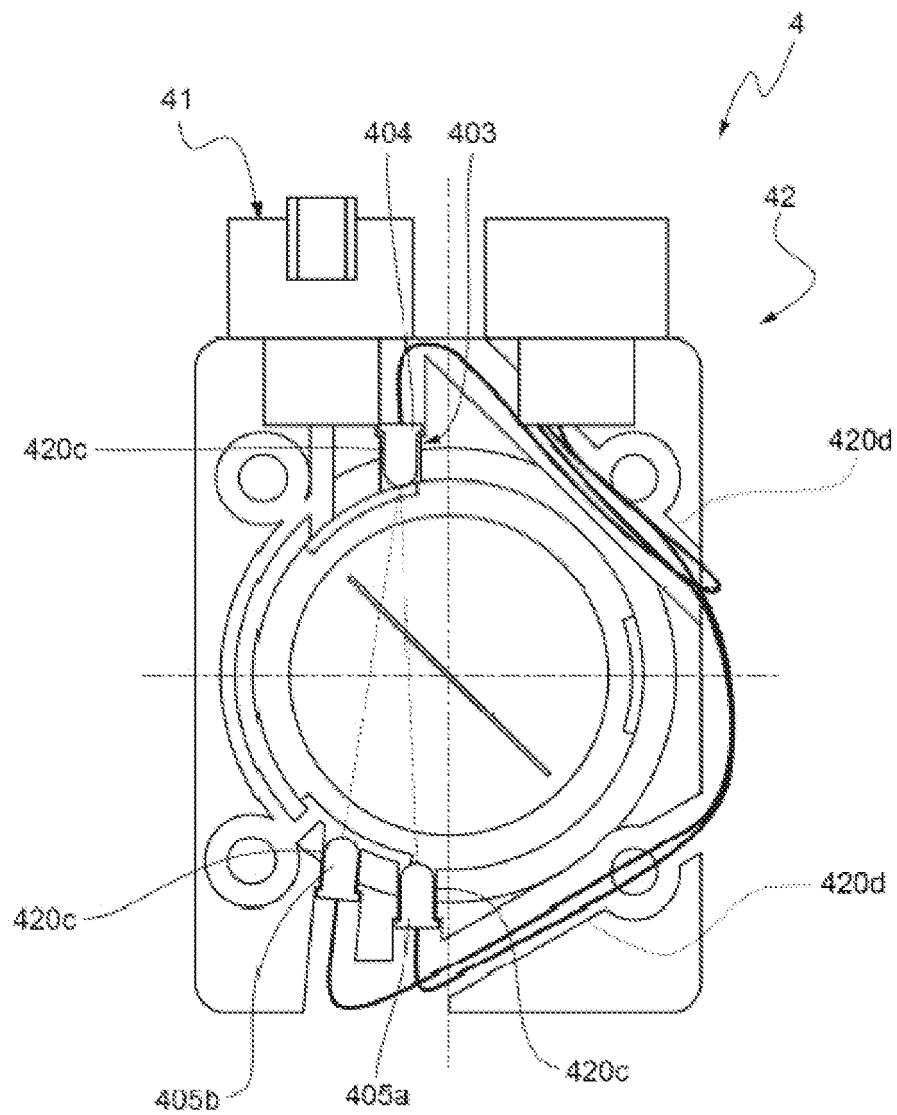


Fig.3

[Fig. 4]

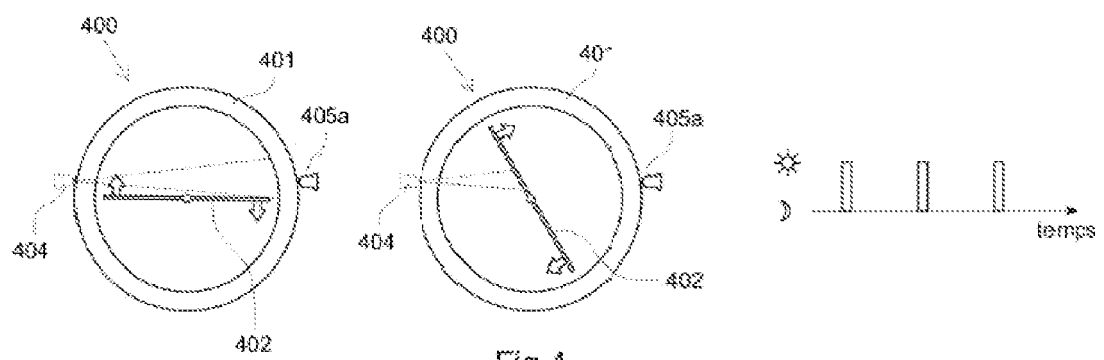


Fig.4

[Fig. 5]

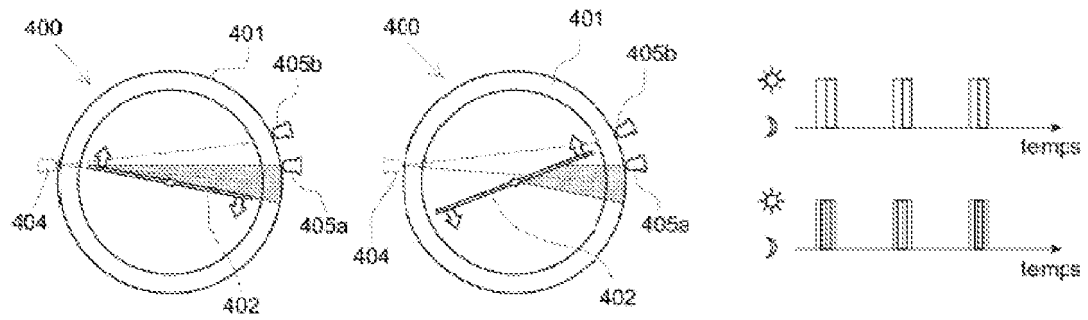


Fig.5

[Fig. 6]

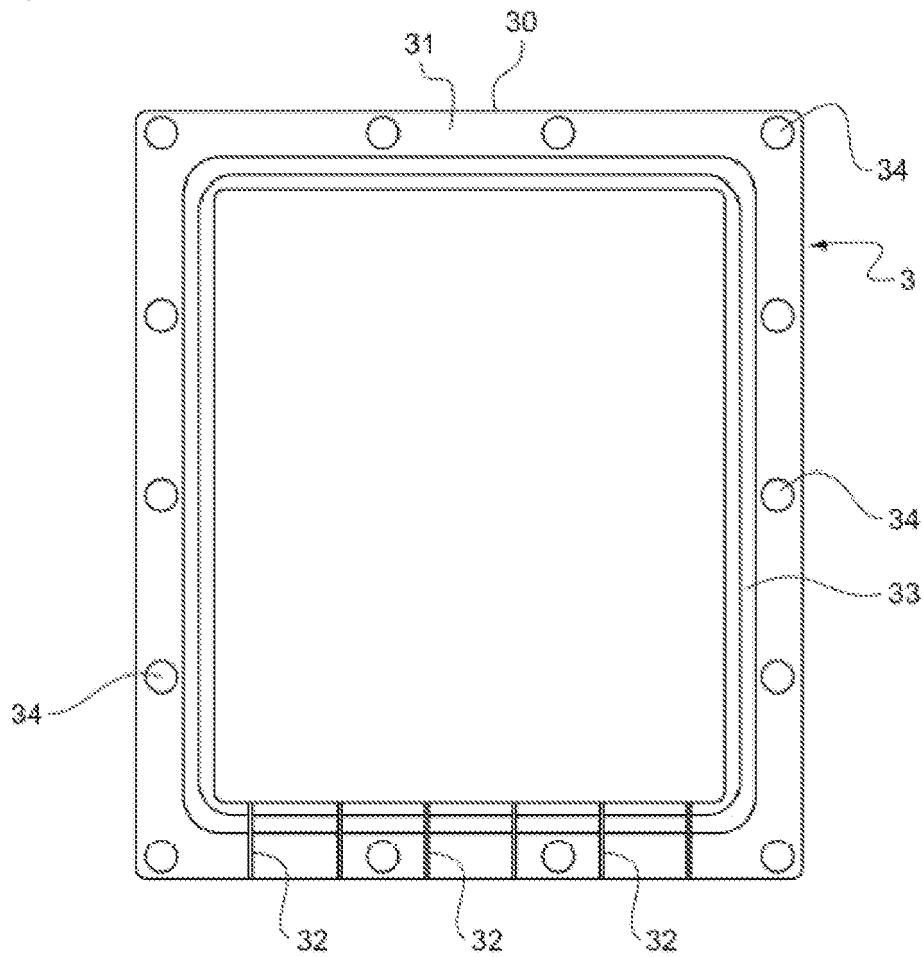


Fig.6

[Fig. 7]

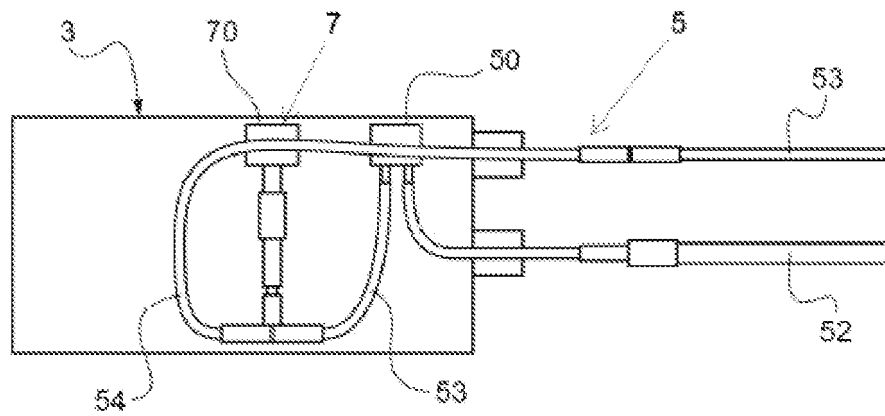


Fig.7

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1878654 A1 [0003]
- FR 3075160 A1 [0011]