



(11)

EP 2 719 617 A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
16.04.2014 Bulletin 2014/16

(51) Int Cl.:  
**B63C 11/32 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: 13198437.9

(22) Date de dépôt: 12.01.2009

(84) Etats contractants désignés:  
**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 SE SI SK TR**

(30) Priorité: 16.01.2008 FR 0800215

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s) initiale(s) en application de l'article 76 CBE:  
**09702365.9 / 2 262 678**

(71) Demandeur: **BF SYSTEMES**  
83500 La Seyne-sur-Mer (FR)

(72) Inventeur: **Barbaud, Axel**  
83000 TOULON (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Plasseraud**  
52, rue de la Victoire  
75440 Paris Cedex 09 (FR)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 19-12-2013 comme demande divisionnaire de la demande mentionnée sous le code INID 62.

## (54) Dispositif de sécurité pour la plongée sous-marine

(57) Dispositif de sécurité pour la plongée sous-marine, comportant un ordinateur portable (1) de réception et d'exploitation de signaux, comportant :  
- un capteur (2) de mesure de bulles de gaz générée dans le corps d'un plongeur, le capteur comprenant des moyens (2A) de fixation et de couplage fonctionnel au corps d'un plongeur,  
- des moyens de liaison (3) entre l'ordinateur (1) et le capteur (2), l'ordinateur (1) contenant des circuits (12) de calcul d'une table de base, de durée de paliers de décompression, et une unité centrale (11) agencée pour moduler chaque durée par ajout d'un supplément calculé selon une fonction croissante de l'importance de la mesure des bulles.

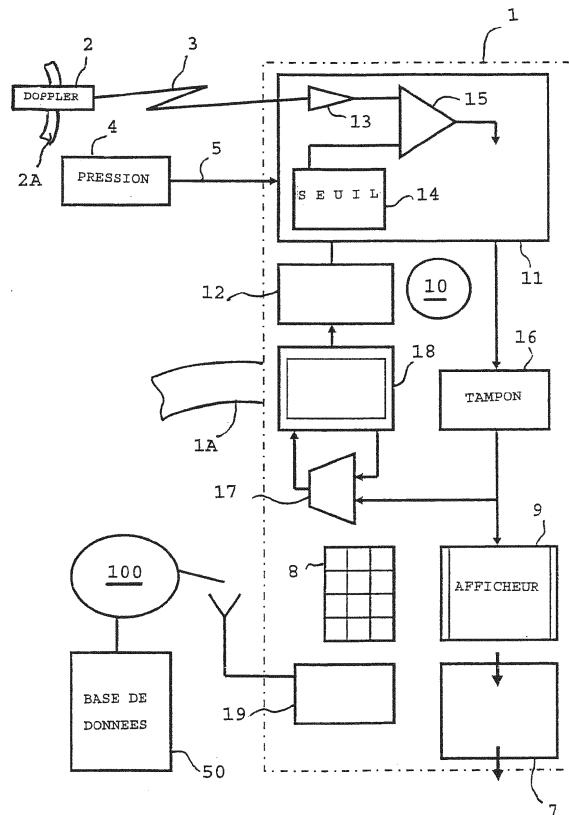


FIGURE 1

## Description

**[0001]** La présente invention concerne la plongée sous-marine avec des bouteilles.

**[0002]** Un plongeur portant un équipement de plongée avec bouteilles et qui est descendu à plusieurs dizaines de mètres sous la surface doit respecter un profil de remontée, c'est-à-dire limiter sa vitesse moyenne de remontée. En effet, lors de la descente, la pression croissante provoque une dissolution croissante du gaz respiré dans les tissus irrigués par le sang, c'est-à-dire un stockage qui croît avec la profondeur et avec la durée.

**[0003]** Lors de la remontée, la pression ambiante va évidemment décroître et le phénomène inverse va se produire. Si cette remontée est trop rapide, la désaturation du gaz dissous dans les tissus provoque la formation de bulles. Si celles-ci viennent à représenter un volume important, elles peuvent provoquer de graves troubles ou même des lésions puisqu'elles représentent un volume supplémentaire, qui va comprimer les tissus voisins. Les membres, les poumons et même le système nerveux central risquent d'être affectés. L'obstruction des vaisseaux sanguins par des bulles au niveau veineux ou artériel est responsable des conséquences les plus graves.

**[0004]** Classiquement, le plongeur porte au poignet un ordinateur de plongée qui calcule une intégrale du temps et de la profondeur de plongée pour, lors de la remontée, lire une table de remontée préalablement mémorisée, en affichant les durées à respecter pour une suite de paliers de décompression à des profondeurs étagées.

**[0005]** Le fabricant de l'ordinateur établit la table de profil temporel de remontée à partir d'un algorithme issu d'une modélisation des échanges gazeux au sein des tissus. Cet algorithme est construit d'après des données théoriques et expérimentales, c'est-à-dire physiques, physiologiques et biologiques.

**[0006]** Or, il s'avère qu'il se produit encore beaucoup d'accidents de plongée alors que le plongeur considéré a respecté la table de décompression. En fait, la susceptibilité individuelle de chaque plongeur, en particulier sa condition physique le jour de la plongée, constitue un facteur important d'incertitude quant à la validité de la table.

**[0007]** La présente invention vise à réduire cette incertitude, et donc le risque associé.

**[0008]** A cet effet, l'invention concerne tout d'abord un dispositif de sécurité pour la plongée sous-marine, selon la revendication 1.

**[0009]** Ce dispositif peut être utilisé par un plongeur équipé d'un appareil respiratoire à base de bouteilles avec éventuellement un dispositif de recyclage, ou un plongeur scaphandrier utilisant un narguilé ou un dispositif de plongée par système, c'est-à-dire un caisson hyperbare et une cloche mobile remplissant les fonction d'ascenseur sous-marin. Il peut également être utilisé par toute personne en phase de décompression dans un caisson hypobare, par exemple pour un astronaute avant une sortie en scaphandre dans l'espace.

**[0010]** Le calculateur contient avantageusement des circuits de calcul d'une table de base, de durées de paliers de décompression, et une unité centrale est agencée pour modular chaque durée par ajout d'un supplément calculé selon une fonction croissante de la mesure de flux. Comme exposé plus haut, les informations chiffrées de durée de décompression facilitent le respect d'un profil de remontée déterminé, et le dispositif sert à signaler que ce profil n'est pas respecté ou qu'il est pour l'instant inadapté pour le plongeur considéré. La table peut prendre en compte une valeur de réserve de gaz calculée par mesure et intégration du débit de gaz consommé à partir d'une bouteille de contenance connue, pour ainsi fournir, en cas de quasi épuisement de la réserve, une vitesse de remontée maximale restant toutefois compatible avec le risque lié à la présence de bulles. La modulation ci-dessus peut porter sur des paliers de durée nulle, c'est-à-dire que l'on peut ajouter des paliers intermédiaires entre les paliers de durée non nulle.

**[0011]** L'unité centrale peut alors être agencée pour faire évoluer, avec mémorisation, la table de base en fonction de la dite modulation.

**[0012]** Il est ainsi constitué une sorte d'historique des corrections apportées. Comme, toutefois, ces corrections dépendent en partie de la condition physique du plongeur le jour considéré, elles ne sont donc pas totalement valables d'un jour à l'autre. L'évolution "en fonction" de la modulation représente donc, de préférence, une correction amortie, c'est-à-dire partielle, de la table par rapport au supplément calculé ci-dessus. Il s'agit alors d'un filtrage passe-bas, c'est-à-dire d'une fonction de filtre intégrateur dont la sortie tend à se caler progressivement, d'une plongée à l'autre, sur le dit supplément, sachant que ce dernier tendra à diminuer puisque le dispositif va s'adapter progressivement aux réactions du plongeur, en termes de génération de bulles.

**[0013]** Les moyens de fixation sont avantageusement agencés pour que le capteur de flux soit couplé sur un site vasculaire.

**[0014]** On peut ainsi par exemple détecter le flux sanguin veineux au niveau des cavités cardiaques droites, par exemple au niveau de l'artère pulmonaire ou détecter le flux sanguin artériel au niveau carotidien ou temporal. Les moyens de liaison comportent de préférence un émetteur de liaison sans fil, par exemple de signaux acoustiques ou électromagnétiques.

**[0015]** On évite ainsi la gêne que constitue un fil de liaison de données.

**[0016]** Dans une application particulière, le dispositif est associé à une base de données de mise au point d'un profil temporel de plongée universel, le dispositif comportant des moyens de mémorisation pour mémoriser un historique d'un profil temporel de décompression suivi par le plongeur, en association avec les éventuels signaux d'alarme sur des tronçons à risque du profil alternant avec des tronçons à sécurité, et la base de données étant agencée pour recueillir les données d'historique du dit dispositif ainsi que d'autres mêmes dispositifs, et pour

déterminer une courbe enveloppe des tronçons à risques.

**[0017]** La base de données peut être interne à l'ordinateur ou bien externe si la puissance de calcul nécessaire excède celle d'un microprocesseur classique. En pareil cas, l'ordinateur dispose de circuits de liaison avec la base de données, par exemple pour y accéder par le réseau Internet, ou bien encore les moyens de mémorisation sont amovibles, par exemple une mémoire à bulles magnétiques, qui est transférée temporairement dans la base de données pour y être recopiée. L'historique va donc indiquer quels sont les tronçons exempts de danger et les tronçons à risque, associés à la présence du signal d'alarme.

**[0018]** L'historique peut par exemple porter des données environnementales telles que la pression ou le niveau de flux de bulles, et des données individuelles telles que la taille, le poids, l'âge du plongeur.

**[0019]** Chaque historique équivaut donc à une équation d'un certain nombre de paramètres ou variables tels que ceux indiqués ci-dessus. Disposant alors d'un grand nombre de telles équations, on peut donc effectuer un calcul de régression pour estimer la pondération à affecter à chaque variable et même les corrélations pouvant exister entre certaines de celles-ci. Le calcul de régression consiste à fixer une valeur a priori à chaque variable, ce qui donne un résultat d'équation a priori erroné pour la plupart de celles-ci. Dans une première étape, en faisant varier l'une des variables, on peut alors déterminer une valeur optimale locale pour laquelle la somme des erreurs des équations est minimale. Dans une deuxième étape, on fait de même pour une deuxième variable. Dans une troisième étape, on fait de même pour une troisième variable, ou bien on affine ainsi la valeur d'optimum local de la première variable, qui a pu se trouver modifiée par les changements apportés à la deuxième variable. L'ensemble des variables est ainsi traité, avec au besoin plusieurs passes pour chaque variable, comme indiqué. Cette analyse par régression permet donc de dissocier l'effet causal de chaque variable, c'est-à-dire de discerner des vecteurs propres dans un espace vectoriel constitué par ces variables. L'effet causal ci-dessus est en particulier le niveau de bulles.

**[0020]** La base de données permet ainsi à un exploitant, humain ou électronique, par compilation des historiques de plusieurs tels dispositifs, de déterminer la courbe enveloppe des tronçons à risque. Il s'agit donc d'un recueil de connaissance des effets causaux ci-dessus. Partant de là, un utilisateur pourra définir tout profil souhaité de table universelle de décompression statistiquement toléré par la grande majorité des plongeurs possibles, puisque la base de données lui indiquera tout tronçon éventuel à risque de ce profil. Une marge de sécurité par rapport à la courbe enveloppe est de préférence prévue, par exemple un temps supplémentaire par palier est ajouté pour tenir compte de cas isolés de futurs plongeurs "hors normes", c'est-à-dire dont les tissus seraient un peu plus sujets à produire prématurément des bulles.

**[0021]** Pour définir la courbe enveloppe, donc pour prendre en compte chaque segment à risque, qui définit une tranche de profondeurs de plongée sur laquelle il y a alarme et la vitesse de remontée dans celle-ci, il faut de préférence prendre aussi en compte la partie de début de l'historique, qui précède le segment, puisque la quantité stockée du gaz respiré dépend des différentes profondeurs atteintes et de la durée correspondante. En d'autres termes, une même vitesse de remontée entre deux paliers pourra, d'une plongée à une autre, provoquer ou non une alarme, selon que la plongée aura été profonde et/ou de longue durée ou, respectivement, peu profonde et/ou courte.

**[0022]** L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante d'une forme de réalisation d'un dispositif de sécurité selon l'invention, en référence au dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 en est un diagramme schématique des éléments constitutifs, et
- la figure 2 est un synoptique illustrant les calculs effectués dans le dispositif.

**[0023]** La figure 1 représente un ordinateur portatif 1 dont le boîtier est muni d'un bracelet 1A pour qu'un plongeur puisse le porter facilement et en consulter un afficheur 9 de durées de paliers de décompression et de signaux de sécurité ou d'alarme. L'ordinateur portatif 1 est même, ici, portatif, c'est-à-dire qu'il ne présente qu'un poids de quelques centaines de grammes, sachant toutefois que c'est l'aspect "volume limité" qui est primordial pour la commodité d'emploi, puisque la pression de l'eau exerce une force ascendante, inférieure, égale ou supérieure au poids. Il est aussi prévu un clavier 8 pour interroger une unité centrale 11, et pour établir une liaison externe au moyen de circuits émetteurs-récepteurs 19. Les circuits 19 sont de préférence de type acoustique pour des liaisons à travers l'eau et de préférence radio pour des liaisons dans l'air. Il peut être prévu de disposer des deux types de circuits 19.

**[0024]** Fondamentalement, l'invention vise à fournir un signal d'alarme signalant que des bulles de gaz apparaissent dans le corps du plongeur, qui est donc en phase de décompression par remontée en surface, et que ces bulles viennent d'atteindre un volume global alarmant. Le plongeur est donc implicitement invité à interrompre sa remontée vers la surface. A titre de publications concernant la plongée, on peut citer les titres suivants : "Physiology and medicin of diving", 5e édition, 2003, auteurs Bennett et Elliot, éditeurs Alf O Brubakk et Tom S Neuman, collection SAUNDERS ; "Physiologie et médecine de la plongée", auteurs Broussolle et Meliet, éditions Ellipses, 2006 ; Évaluation automatique du degré de bulles dans le sang : méthodes paramétriques, dans : Traitement du signal, FR, vol. 9, n° 2, 1992, pages 201-210, éditeur GRETSI, Saint-Martin d'Hères, France ; "On the Use of a Bubble Formation Model to Calculate Diving Tables", Aviation, Space, and Environ-

nment Medicine, auteurs DE Yount, DC Hoffman.

**[0025]** L'ordinateur 1 est renseigné à ce sujet par un capteur apte à détecter ces bulles et à en mesurer l'importance. Dans cet exemple, cette détection s'effectue par une mesure phonique effectuée au moyen d'un capteur Doppler 2 dont le boîtier est muni d'une sangle 2A pour maintenir le capteur 2 sur une région du corps dans laquelle on peut percevoir le bruit de la circulation sanguine, affectée éventuellement par la présence de bulles de gaz. Ici, la sangle 2A maintient le capteur phonique 2 sur la poitrine, à proximité de la cavité cardiaque droite ou artère pulmonaire, c'est-à-dire sur le bord gauche du sternum.

**[0026]** Le niveau de bruit est habituellement classé selon cinq plages, partant d'un degré 0, à absence totale de bulles, un degré 1, à présence de bulles isolées, un degré 2, à présence de bulles dans moins de la moitié des cycles cardiaques, un degré 3, à présence de bulles dans tous les cycles cardiaques sans couvrir les bruits de coeur, et un degré 4, pour lequel les bulles couvrent les bruits du coeur. La mesure du débit de bulles peut être affinée par utilisation d'indices de célérité ou par l'intermédiaire d'autres quantificateurs mathématiques.

**[0027]** L'ordinateur 1 comporte une base de temps 10 rythmant le fonctionnement de l'unité centrale 11 associée à des circuits 12 de calcul d'une table de base qui fournit des durées de paliers de décompression. Ces durées sont calculées en fonction d'un cumul pondéré de chaque durée de maintien aux différentes profondeurs de plongée atteintes. La pondération tient compte du fait que le stockage de gaz dissous, dans les tissus, ne croît pas linéairement avec la pression. De plus, comme ce stockage s'effectue progressivement, il croît avec la durée de maintien à une profondeur déterminée.

**[0028]** Les circuits de calcul 12 sont donc un intégrateur pondérateur multi-variables, c'est-à-dire pression et durée, qui calcule cycliquement la quantité de gaz respiré qui est supposé être dissous dans les tissus. Les paramètres permettant ce calcul ont été préalablement déterminés de manière empirique d'après des données théoriques, précisément biologiques, physiologiques et mathématiques, et des données expérimentales, pour former un algorithme de calcul d'intégration. (référence)

**[0029]** Lorsque le plongeur veut remonter en surface, il peut donc voir, sur l'afficheur 9, la profondeur d'un palier inférieur de décompression, au niveau duquel il peut remonter en principe sans danger, et la durée minimale pendant laquelle il doit y rester. Ensuite, l'ordinateur 1 ayant ainsi vérifié que le palier a été respecté, en pression et en durée, il valide l'affichage d'un palier suivant, pour ainsi recommencer une série de cycles de décompression et finalement autoriser la remontée jusqu'à la surface.

**[0030]** La pression ambiante est fournie par un capteur 4 associé à l'ordinateur 1 et relié en sortie par une liaison 5 ici filaire, ou même intégré avec celui-ci.

**[0031]** Le capteur de flux sanguin 2 fournit un signal traduisant le niveau acoustique de bruit au niveau du

thorax. Ce bruit peut en particulier provenir en partie de la circulation d'un flux de bulles de gaz s'échappant des tissus où le gaz respiré s'est trouvé stocké. Un signal correspondant est transmis par une liaison 3, par exemple filaire ou comme ici de préférence radio, c'est-à-dire à émetteur électromagnétique, à un récepteur correspondant 13 relié en sortie à une première entrée d'un comparateur 15 de l'unité centrale 11, dont une seconde entrée est commandée par une mémoire 14 de seuil haut

5 de bruit. La valeur de seuil haut représente ici un bruit correspondant au degré 1 ci-dessus, éventuellement le degré 2.

**[0032]** Il peut être prévu un filtre sélectif, passe-bande, pour éliminer une bande du spectre acoustique non concernée par le bruit du flux de bulles circulantes. Le comparateur 15 effectue ainsi un traitement du signal électrique reçu, représentant un signal sonore émis par la sonde Doppler 2 et renvoyé vers celle-ci par une zone vasculaire cible, avec un décalage en fréquence significatif du niveau de densité en bulles. Ce décalage est ainsi traduit en niveau de flux de bulles par le comparateur 15 pour fournir en sortie un signal d'alarme si le niveau de bruit mesuré excède le seuil haut. En pareil cas, le signal d'alarme, binaire, est transformé en un signal apte à être affiché sur l'afficheur 9, comme par exemple un signal d'allumage d'un voyant ou d'une icône d'alarme. Il peut toutefois être prévu, en plus ou à la place, tout autre type de signal de relations homme-machine, par exemple un signal de commande d'un vibreur.

**[0033]** Hormis l'aspect purement d'avertissement, il peut aussi être prévu que le signal d'alarme issu du comparateur 15 provoque des actions contraignantes, c'est-à-dire le déclenchement d'un dispositif tendant à limiter, voire empêcher, la poursuite immédiate de la remontée 35 en surface. Ce déclenchement peut toutefois être retardé, c'est-à-dire n'intervenir que si le signal d'alarme subsiste un certain temps. Il peut de même être prévu qu'il faille détecter le franchissement d'un seuil maximal, de super-alarme, donc à flux de bulles plus élevé que pour 40 le seuil d'alarme, pour enclencher les actions de sécurisation du plongeur.

**[0034]** On peut par exemple songer à un mini-ballast formant une vessie natatoire 7 qui va s'ouvrir pour faire perdre de la flottabilité au dispositif, et donc au plongeur. 45 Le signal d'alarme commande alors un mini-moteur électrique d'ouverture d'une valve de mise à l'évent.

**[0035]** L'intérêt d'un tel dispositif actif est que le plongeur est ainsi protégé même s'il ne réagit pas à l'invitation de tempérer sa vitesse de remontée. C'est en particulier intéressant si, pour une raison quelconque, le plongeur 50 est inconscient.

**[0036]** Il peut alors être prévu un dispositif dual de ballast, dont une bouteille de gaz sous pression va gonfler, à travers une valve d'entrée commandée, la vessie natatoire 7 si le plongeur redescend d'une certaine profondeur par rapport à la profondeur à laquelle est intervenue l'alarme.

**[0037]** En bref, on peut ainsi établir un "filet de sécurité"

supérieur contre l'embolie, voire plusieurs à différentes pressions, et établir un même nombre de "filets" inférieurs, contre la noyade par immersion à grande profondeur.

**[0038]** Dans cet exemple, outre le signal d'alarme, qui est une information binaire signalant au plongeur qu'il a atteint une barrière supérieure de sécurité contre l'embolie, l'ordinateur 1 fournit les informations de paliers de décompression des circuits 12 mais en les modulant pour y ajouter un supplément de durée à tout palier temporellement proche de façon à ce que le signal d'alarme ait, normalement, disparu à la fin de la prolongation du palier. Le palier considéré est donc prolongé d'un supplément de durée qui est calculé en fonction de paramètres stockés, préalablement définis par des essais, cette durée étant d'autant plus grande qu'est élevée la mesure du niveau de flux de bulles. Il peut être prévu que l'ordinateur 1 propose un palier supplémentaire, c'est-à-dire intermédiaire ou à une extrémité du profil de remontée.

**[0039]** Il est ici prévu que les alarmes éventuelles, lors d'une succession de plongées, provoquent une personnalisation des données de la table de base des circuits 12. Précisément, ce sont les suppléments, calculés à chaque fois, des paliers qui vont être intégrés, au moyen des dits paramètres stockés, dans les durées des paliers d'origine tels qu'initialement stockés. L'unité centrale 11 va donc faire évoluer, avec mémorisation, la table de base des circuits 12 en fonction de la modulation de durée que représentent les suppléments ci-dessus.

**[0040]** Ainsi, l'unité centrale 11 fournit cycliquement une valeur corrigée de durée de palier, si tel est le cas, à une mémoire tampon 16 reliée en sortie à une première entrée d'un filtre passe-bas 17 alimentant une mémoire 18 de paramètres de réglage du profil de remontée. Le filtre passe-bas 17 est donc un intégrateur qui n'autorise qu'une mise à jour progressive de la mémoire de paramètres 18, c'est-à-dire qu'il faudra plusieurs plongées, avec sensiblement les mêmes suppléments de durée de palier, pour que ces suppléments soient bien pris en compte. Par exemple, les données dans la mémoire de paramètres 18 peuvent être appliquées sur une seconde entrée du filtre passe-bas 17, avec un gain selon un facteur multiplicatif 0,8 alors que les données homologues sur la première entrée seront pondérées par un facteur 0,2. Le taux de prise en compte des suppléments de durée est donc ici de 20% à chaque fois. La mémoire de paramètres 18, à contenu ainsi adaptatif, va donc, en rebouclage, alimenter les circuits 12.

**[0041]** Il peut toutefois être prévu d'autoriser une réduction de la durée de palier, tant qu'une valeur plancher prédéfinie n'est pas franchie. En pareil cas, il peut être prévu d'augmenter la constante de temps du filtre passe-bas 17, c'est-à-dire de détecter le signe de la correction parvenant sur la première entrée pour commuter les gains respectifs des première et seconde entrées, par exemple 0,95 et 0,05. Le signe ci-dessus commande donc l'adressage d'une mémoire à deux positions pour respectivement les deux paires de gains ci-dessus, cette

mémoire commandant deux circuits multiplieurs pour les deux entrées respectives.

**[0042]** Les données dans la mémoire de paramètres 18 peuvent être les durées de palier de décompression, c'est-à-dire des données finales, à afficher, ou bien les paramètres, évoqués plus haut, de calcul de ces durées au moyen d'algorithme prenant en compte la durée d'immersion à chaque profondeur et éventuellement un niveau de bulles mesuré, ces deux variables étant aussi mémorisées dans la mémoire de paramètres 18.

**[0043]** La figure 2 est un synoptique illustrant les calculs effectués dans les circuits de calcul 12, en association avec la mémoire de paramètres 18. La référence 102 désigne un modèle d'échanges gazeux, par exemple le modèle, classique, de Haldane ou un modèle dérivé, c'est-à-dire un algorithme qui est paramétré par des paramètres (bloc fonctionnel 101, en mémoire 18) du modèle tels qu'un nombre de compartiments représentant les différents tissus du corps humain et des valeurs de période de durée propre de décroissance de la saturation de ces divers compartiments. Dans ce modèle, un compartiment représente une un tissu type, c'est-à-dire une entité mathématique ayant un même taux de perfusion et une répartition homogène des gaz dissous, et dont le comportement est différent des tissus voisins. Chaque tissu ou compartiment est caractérisé par une constante de temps de désaturation, exprimée par exemple en demi-durée de "vie" de la présence de gaz dissous. Le bloc fonctionnel 100 représente les valeurs mesurées de pression, tout au long de la plongée, et de durée associé à chaque pression. Ce sont donc ces deux variables qui vont être traitées par le bloc de modèle d'échanges gazeux 102 pour fournir une valeur vectorielle qui sera représentative de la décharge de gaz engendrée par chacun des différents tissus du modèle, à un instant donné.

**[0044]** Un bloc fonctionnel 104, de modèle de critère de sécurité selon l'invention, situé en aval du bloc de modèle 102, effectue les calculs indiqués pour fournir une alarme et aussi pour déterminer un profil admissible de remontée "sécurisé", à partir de la valeur vectorielle ci-dessus et de la mesure du niveau de bulles fournie par le capteur Doppler 2. Le fonctionnement du bloc de modèle de sécurité 104 est paramtré par la valeur de seuil de sécurité, dans la mémoire 18, ici un bloc fonctionnel 103. En plus, il est aussi pris en compte, dans cet exemple, des paramètres de sécurité prédéterminés tels qu'une valeur de volume critique, c'est-à-dire le volume admissible limite de dégazage de tous les dits compartiments du corps, ou encore un coefficient de sursaturation critique.

**[0045]** Dans une application particulière, le bloc 102 est agencé pour recevoir les signaux de la sonde Doppler 2, pouvant aussi constituer une valeur représentant la décharge en gaz des différents compartiments. Ces signaux peuvent être avantageusement traités selon un algorithme d'un modèle dit à croissance de bulles, une illustration en étant le modèle VPM (Variable Permeability Model), que l'on trouve dans "Computation of reverse

dive profiles contrasts and comparison", de BR Wienke, éditeur Lang and Lehner editos Proceeding of Reverse Dive Profile Workshop, Washington, Smithsonian Institution, 1999, corroborant éventuellement ou complétant ainsi la valeur vectorielle citée ci-dessus.

**[0046]** De façon plus générale, la mémoire de paramètres 18 constitue un historique personnalisé des réactions du plongeur considéré. Hormis l'exploitation en temps réel exposée ci-dessus, visant à adapter précisément la table de plongée selon les réactions du plongeur considéré, cet historique peut être émis vers l'extérieur pour être intégré avec des historiques homologues établis par d'autres mêmes dispositifs utilisés par d'autres plongeurs, pour constituer une base de données 50 ayant une valeur statistique quant aux réactions du corps humain. De préférence après remontée en surface, pour la commodité, le contenu de la mémoire de paramètres 18 est transmis à la base de données 50, au moyen des circuits radio 19, ou par un port non dessiné, de liaison avec un réseau de transmission de données 100, par exemple le réseau de l'Internet. En variante, la mémoire de paramètres 18 est montée amovible pour être transférée temporairement dans la base de données 50, ou sur un lecteur de liaison avec le réseau 100, à fins de recopie de son historique. La mémoire de paramètres 18 est par exemple une mémoire flash ou encore un minidisque magnétique. Le dispositif selon l'invention est donc un outil de mise au point des tables classiques.

**[0047]** Une telle base de données 50 permet ainsi d'affiner les durées de palier de décompression établies a priori, par calcul, dans les ordinateurs de plongée classiques. Ainsi, si l'on s'aperçoit que, pour un grand nombre d'historiques d'autant de plongeurs, par exemple 30 ou 100, aucune bulle n'apparaît pour un profil de remontée déterminé, on peut donc réduire la durée des paliers. Des campagnes de mesures pour les différentes éditions provisoires de la table de durées vont ainsi permettre de déterminer les durées "limites basses" de palier à partir desquelles des bulles commencent à apparaître, et la table finale, universelle, sera établie en prenant une marge de sécurité, en augmentant ces durées "limites basses". Il s'agit donc globalement d'une optimisation itérative qui permet d'éviter d'imposer inutilement des paliers trop longs tout en assurant qu'une gaussienne, représentant les seuils de réaction par bulles à la décompression de la population de plongeurs ainsi suivis, est située (quasi) entièrement du côté des durées supérieures au seuil pour le plongeur le plus sensible, c'est-à-dire le plus réactif, à la décompression.

**[0048]** Dans cet exemple, l'unité centrale 11 effectue en outre une seconde surveillance du niveau de volume des bulles dans le sang selon le principe exposé ci-dessus, mais avec un niveau admissible de seuil de bruit inférieur au seuil d'alarme. En pratique, la mémoire de seuil 14 contient les deux seuils et le comparateur 15 fonctionne en alternance. Le principe de la seconde surveillance fait toutefois intervenir un second paramètre, qui est la pression, et, précisément, la seconde sur-

veillance ne s'exerce que pour les pressions ambiantes dépassant un certain seuil, par exemple 1 atmosphère de surpression, c'est-à-dire environ plus de 10 mètres de profondeur. En effet, en dessous de 10 mètres, l'apparition de bulles dans le sang ne doit pas se produire normalement. Si toutefois c'est le cas, cela signifie que l'on se trouve dans une condition anormale. Cette information est donc affichée sur l'afficheur 9. Il s'agit toutefois d'une simple alerte, car il n'y a pas alors de risque médical.

Le plongeur est simplement informé du fait qu'il y a un risque pour que l'alarme se produise s'il poursuit sa remontée. Il peut ainsi éviter d'aller "buter" dans la "barrière de sécurité" haute.

**[0049]** L'alarme, voire aussi l'alerte, peut en outre être transmise à des récepteurs distants au moyen des circuits émetteurs-récepteurs 19, par exemple des dispositifs tels que celui-ci, dont l'ordinateur est prévu pour aussi afficher les alarmes des dispositifs "voisins". L'émission ci-dessus peut être automatique ou commandée par le clavier 8. Les plongeurs d'un groupe peuvent ainsi se secourir de façon anticipée, si besoin est, en particulier si une alarme subsiste au-delà d'une durée de seuil maximal. Un appareil de surveillance en surface peut de même être alerté.

**[0050]** Une application intéressante du dispositif est liée au fait qu'un plongeur remonté en surface peut facilement continuer à le porter pendant par exemple une à trois heures, car le risque lié au niveau excessif de bulles gazeuses peut encore se manifester pendant cette période.

**[0051]** Dans cet ordre d'idée, le dispositif peut en particulier être utilisé dans un caisson hyperbare, en phase de décompression. En effet, le paramètre premier pris en compte est la pression, et la valeur de ce paramètre résulte de la pression du fluide ambiant, c'est-à-dire l'eau, en plongée, ou l'air, libre ou en caisson.

**[0052]** Dans le cas du caisson hyperbare, l'ordinateur 1 peut alors être exploité par une personne "externe", c'est-à-dire chargée de gérer le profil temporel de décompression du caisson. En pareil cas, il est commode que la liaison 3 ait une portée suffisante pour permettre de disposer l'ordinateur 1, ou au moins l'afficheur 9, à l'extérieur du caisson. Dans le cas de la liaison 3 radio, un hublot du caisson, en verre ou équivalent, permet de maintenir une brèche dans la cage de Faraday que celui-ci constitue s'il est par ailleurs métallique. S'il est prévu de déporter à l'extérieur du caisson toutes les fonctions de l'ordinateur 1, ce dernier peut donc ne plus être portatif, et par exemple être uniquement portable, c'est-à-dire avec un poids pouvant atteindre plusieurs kilogrammes. En pareil cas, ces fonctions peuvent être intégrées dans un PC classique ou un ordinateur de gestion du caisson, équipé du logiciel voulu, avec en particulier deux ports d'entrée pour respectivement la liaison 3 de mesure de niveau de flux de gaz et pour la pression interne du caisson, cette dernière étant fournie par le capteur de pression 4 ou par un équipement électronique pilotant le caisson.

**Revendications**

1. Dispositif de sécurité pour la plongée sous-marine, comportant un ordinateur portable (1) de réception et d'exploitation de signaux, comportant :  
  - un capteur (2) de mesure de bulles de gaz générées dans le corps d'un plongeur, le capteur comprenant des moyens (2A) de fixation et de couplage fonctionnel au corps d'un plongeur,      5
  - des moyens de liaison (3) entre l'ordinateur (1) et le capteur (2), l'ordinateur (1) contenant des circuits (12) de calcul d'une table de base, de durée de paliers de décompression, et une unité centrale (11) agencée pour moduler chaque durée par ajout d'un supplément calculé selon une fonction croissante de l'importance de la mesure des bulles.
  
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le calculateur (1) est agencé pour fournir un signal d'alarme à travers des moyens d'alarme (9) si le niveau de l'importance des bulles mesurées excède un seuil de sécurité prédéterminé.      20  
25
  
3. Procédé de sécurité pour la plongée sous-marine utilisant un ordinateur portable (1) de réception, à travers des moyens de liaison et d'exploitation de signaux et une unité centrale (11) associée à des circuits (12) de calcul d'une table de base qui fournit des données de paliers de décompression, tels que :  
  - on détecte les bulles de gaz apparaissant dans un corps d'un plongeur par un capteur qui renseigne l'ordinateur (1) ;      30  
35
  - on mesure l'importance de ces bulles ; et
  - on module une durée d'au moins un palier de décompression par ajout d'un supplément selon une fonction croissante de la mesure de l'importance des bulles.40
  
4. Procédé selon la revendication 3, selon lequel on fournit un signal d'alarme à travers des moyens d'alarme si un niveau de l'importance des bulles mesurée excède un seuil de sécurité prédéterminé.      45
  
5. Procédé selon la revendication 3, selon lequel la durée d'au moins un palier de décompression est modulée par ajout d'un supplément selon des mesures historiques de l'importance des bulles, réalisées au cours de plongées antérieures du plongeur.      50
  
6. Procédé selon la revendication 3, selon lequel la durée d'au moins un palier de décompression est modulée par ajout d'un supplément selon des mesures de l'importance des bulles réalisées en temps réel au cours de la plongée comportant ledit palier de décompression.      55

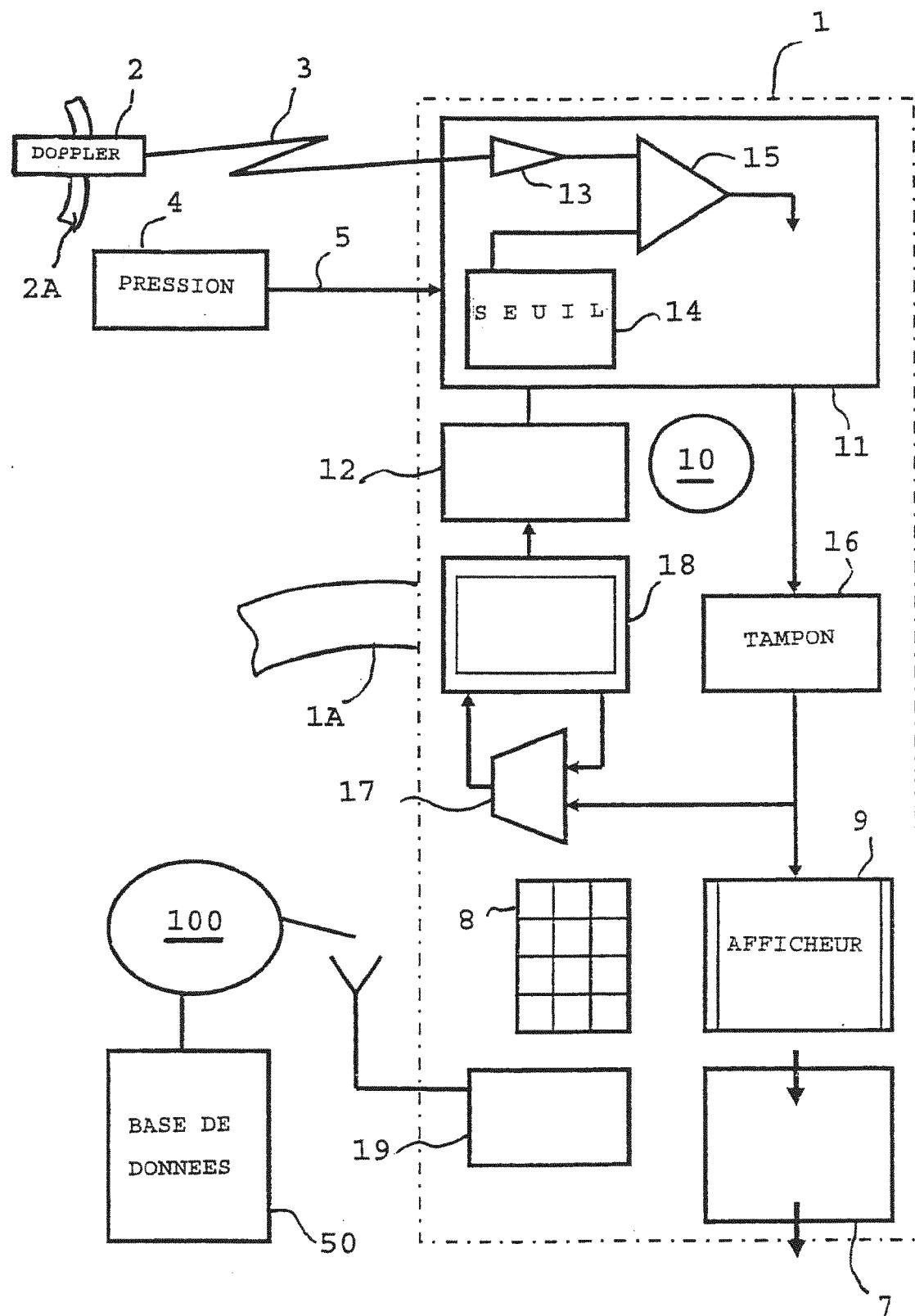
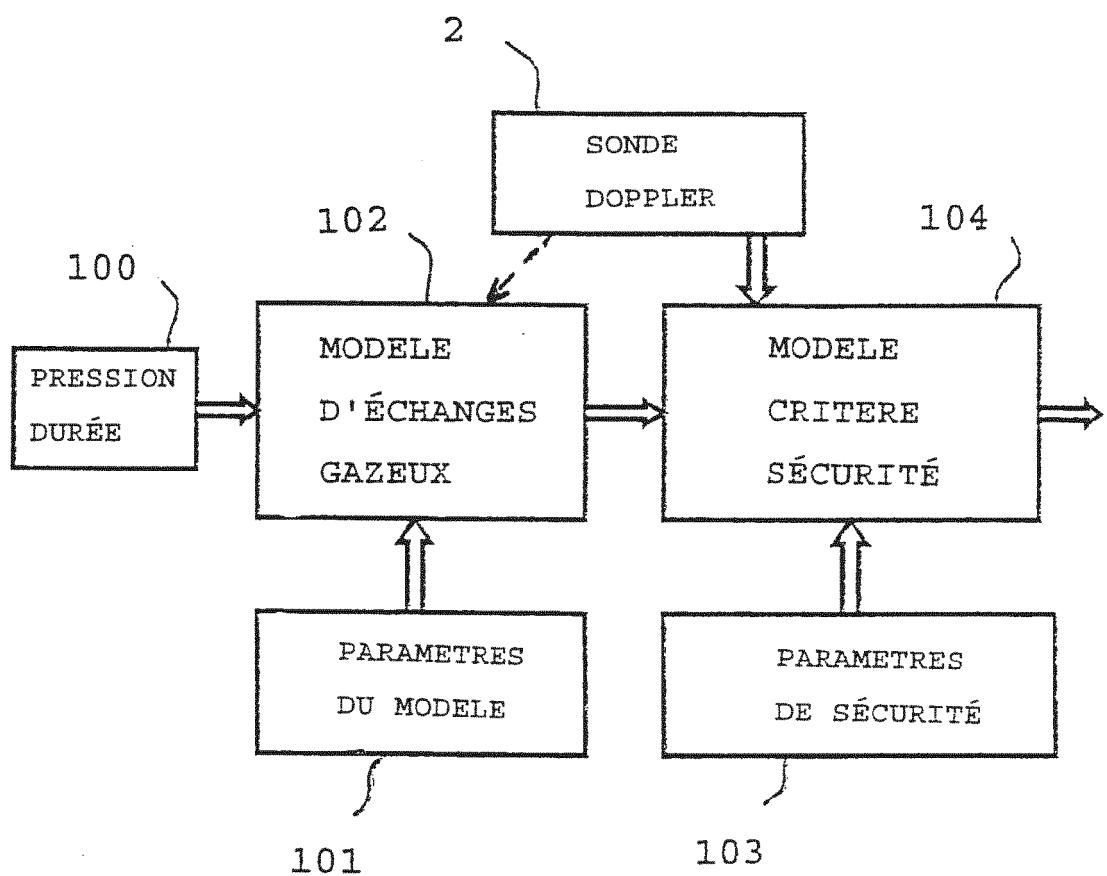


FIGURE 1



F I G U R E 2



## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 13 19 8437

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	GB 2 439 347 A (CROW STEVEN [US]; LEWIS JOHN [US]) 27 décembre 2007 (2007-12-27) * alinéas [0015] - [0018] * * alinéas [0041] - [0043] * * abrégé *	1	INV. B63C11/32
A	EP 1 806 276 A (SEIKO EPSON CORP [JP]) 11 juillet 2007 (2007-07-11) * abrégé; figures *	1	
A	US 5 363 298 A (SURVANSI SHALINI S [US] ET AL) 8 novembre 1994 (1994-11-08) * abrégé; figures *	1	
A	FR 2 445 266 A1 (MAINOT TECHNI IND) 25 juillet 1980 (1980-07-25) * revendication 1; figures *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B63C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
2	Lieu de la recherche  Munich	Date d'achèvement de la recherche  7 mars 2014	Examinateur  Nicol, Yann
EPO FORM 1503 03/82 (P04C02)	CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES  X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire	T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 13 19 8437

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

07-03-2014

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
GB 2439347	A	27-12-2007	AUCUN		
EP 1806276	A	11-07-2007	EP 1806276 A2 JP 2007182199 A US 2007162254 A1	11-07-2007 19-07-2007 12-07-2007	
US 5363298	A	08-11-1994	AU 666822 B2 AU 6714294 A CA 2139135 A1 EP 0649548 A1 JP H07508952 A US 5363298 A WO 9425926 A1	22-02-1996 21-11-1994 10-11-1994 26-04-1995 05-10-1995 08-11-1994 10-11-1994	
FR 2445266	A1	25-07-1980	AUCUN		

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

## 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.

### Littérature non-brevet citée dans la description

- **BENNETT ; ELLIOT.** Physiology and medicine of diving. collection SAUNDERS, 2003 [0024]
- **BROUSSOLLE ; MELET.** Physiologie et médecine de la plongée. 2006 [0024]
- Évaluation automatique du degré de bulles dans le sang : méthodes paramétriques. Traitement du signal. 1992, vol. 9, 201-210 [0024]
- **DE YOUNT ; DC HOFFMAN.** On the Use of a Bubble Formation Model to Calculate Diving Tables. *Aviation, Space, and Environment Medicine* [0024]
- Computation of reverse dive profiles contrasts and comparison. Proceeding of Reverse Dive Profile Workshop. Smithsonian Institution, 1999 [0045]