



(51) Classification internationale des brevets :
H01S 3/02 (2006.01) H01S 3/042 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2020/050704

(22) Date de dépôt international :
24 avril 2020 (24.04.2020)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1904365 25 avril 2019 (25.04.2019) FR

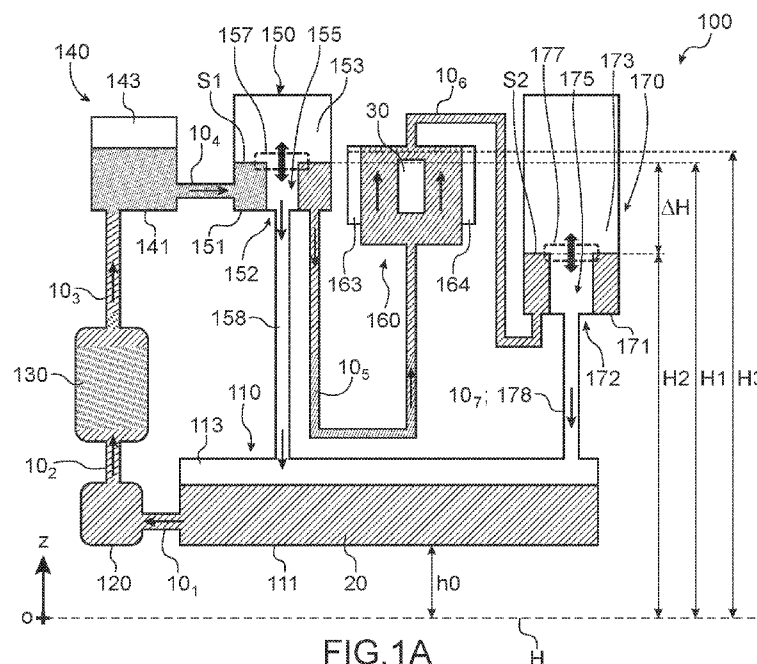
(71) Déposants : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
[FR/FR] ; Bat le Ponant 25 rue Leblanc, 75015 Paris (FR).

CREA CONCEPT [FR/FR] ; 38 Route des Graves, 33640
PORTETS (FR).

(72) Inventeurs : CHONION, Richard ; Résidence Com-
postelle, Bât F1, Appt 14G2, 42 rue du Relais, 33600
PESSAC (FR). DALBIES, Pierre- Marie ; 56B Avenue
Bougnard, Appt B202, Résidence Infinity, 33600 PESSAC
(FR). MODIN, Yann ; 10 rue Audra, 2ème étage droite,
21000 DIJON (FR). PAQUIGNON, Gael ; c/o CEA CES-
TA, 15 Avenue des Sablières, CS60001, 33116 LE BARP
CEDEX (FR). LE PALUD, Florent ; c/o CEA CESTA,
15 Avenue des Sablières, CS60001, 33116 LE BARP CE-
DEX (FR). CHAPPUIS, Christian ; 13 rue de l'Orée du
Bois, 33510 ANDERNOS-LES-BAINS (FR). FOSSOUX,
Cédric ; Moulin de Labarie, 33430 BERNOS BEAULAC
(FR).

(54) Title: ADJUSTABLE FLOW SYSTEM FOR COOLING A LASER AMPLIFIER MEDIUM

(54) Titre : SYSTÈME A DÉBIT AJUSTABLE POUR REFROIDIR UN MILIEU AMPLIFICATEUR LASER



(57) Abstract: The invention relates to a cooling system (100) of a laser amplifier medium (30), comprising a circuit arranged in a closed loop and configured to, in use, receive a circulating heat transfer liquid (20). The circuit comprises a tank (160) for receiving the laser amplifier medium (30) immersed in the heat transfer liquid (20), an upstream reservoir (150) equipped with an upstream overflow (155) for setting the altitude of the free surface (S1) of the heat transfer liquid (20) in the upstream reservoir, and a downstream reservoir (170) equipped with a downstream overflow (175) for setting the altitude of the free surface (S2) of the heat transfer liquid (20) in the downstream reservoir, wherein the upstream and downstream reservoirs are arranged so that, in use, the heat transfer liquid successively passes through the upstream reservoir, the tank and the downstream reservoir. According to the invention, at least one of the upstream

(74) **Mandataire : AUGARDE, Eric** ; BREVALEX, 56 boulevard de l'Embouchure, B.P. 27519, 31075 TOULOUSE Cedex 2 (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2(g))*

reservoir (150), the downstream reservoir (170), the discharge opening (157) of the upstream overflow, and the discharge opening (177) of the downstream overflow, is adjustably mounted in altitude. A gravity flow of heat transfer liquid is thus obtained in the tank.

(57) **Abrégé** : Système de refroidissement (100) d'un milieu amplificateur laser (30), comprenant un circuit agencé en boucle fermée et configuré pour, en utilisation, recevoir un liquide caloporteur (20) en circulation. Le circuit comprend une cuve (160), pour recevoir le milieu amplificateur laser (30) immergé dans le liquide caloporteur (20), un réservoir amont (150), équipé d'une surverse amont (155) pour fixer l'altitude de la surface libre (S1) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont, et un réservoir aval (170), équipé d'une surverse aval (175) pour fixer l'altitude de la surface libre (S2) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir aval, avec les réservoirs amont et aval disposés de sorte qu'en utilisation, le liquide caloporteur traverse successivement le réservoir amont, la cuve et le réservoir aval. Selon l'invention, l'un au moins parmi le réservoir amont (150), le réservoir aval (170), une ouverture d'évacuation (157) de la surverse amont, et une ouverture d'évacuation (177) de la surverse aval, est monté réglable en altitude. On obtient ainsi un écoulement gravitaire de liquide caloporteur dans la cuve.

DESCRIPTION

Titre : SYSTÈME À DÉBIT AJUSTABLE POUR REFROIDIR UN MILIEU AMPLIFICATEUR LASER.

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention se rapporte au domaine des systèmes de refroidissement d'un milieu amplificateur laser, à l'aide d'un liquide caloporteur en circulation.

5 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans tout le texte, un milieu amplificateur laser désigne un milieu apte à émettre ou amplifier un faisceau lumineux, par un phénomène d'émission stimulée obtenu à l'aide d'un pompage du milieu amplificateur laser pour lui apporter l'énergie nécessaire à l'obtention de l'émission stimulée. Le faisceau lumineux émis, ou obtenu après
10 amplification, est nommé « faisceau laser ». Le pompage peut être réalisé par différents moyens. Il peut s'agir d'un pompage dit optique, lorsque l'énergie est apportée par un faisceau lumineux d'excitation nommé « faisceau de pompage ». Le faisceau de pompage peut former un signal impulsionnel, les impulsions de pompage générant à leur tour un faisceau laser impulsionnel.

15 Le pompage optique d'un milieu amplificateur laser entraîne un échauffement de ce dernier, causé notamment par des écarts d'énergie entre des photons de pompage optique et les niveaux d'excitation du milieu amplificateur laser, par des mécanismes de relaxation non radiatifs, et par le système de pompage optique lui-même. En l'absence de refroidissement du milieu amplificateur laser, cet échauffement génère des gradients de
20 température qui dégradent la qualité du faisceau laser émis ou amplifié par ce dernier. La dégradation de la qualité de faisceau est plus importante encore lorsque la fréquence de répétition des impulsions de pompage est telle que de la chaleur nouvelle s'ajoute à celle qui n'a pas encore été dissipée.

Selon l'invention, on s'intéresse plus particulièrement au refroidissement d'un milieu amplificateur laser solide nécessitant un refroidissement au niveau de ses plus grandes faces, traversées en utilisation par le faisceau laser émis ou amplifié. Dans cette situation, la solution préférée pour évacuer la chaleur du milieu amplificateur laser est un refroidissement basé sur un phénomène de convection entre ledit milieu amplificateur laser et un liquide caloporteur en circulation. Le document US 6,937,629 décrit un exemple de système de refroidissement mettant en œuvre ce type de solution. Dans cet exemple, le milieu amplificateur laser est constitué d'une série de plaques amplificatrices, juxtaposées les unes à la suite des autres à l'intérieur d'une cuve apte à recevoir en circulation un liquide caloporteur. A ses deux extrémités, la cuve est fermée par un hublot d'entrée, respectivement un hublot de sortie, pour laisser passer la lumière émise ou amplifiée par les plaques amplificatrices. Le liquide caloporteur circule dans un circuit hydraulique qui comporte ladite cuve, des conduits de circulation, une pompe, et un régulateur thermique au niveau duquel le liquide caloporteur transfère à un fluide secondaire la chaleur accumulée dans la cuve.

La pompe d'un circuit hydraulique tel que décrit ci-dessus peut être une pompe centrifuge, dans laquelle le liquide caloporteur est aspiré axialement dans une hélice en rotation, et refoulé tangentiellement à l'hélice. Un inconvénient de ce type de pompe est qu'il ne permet pas d'obtenir une bonne stabilité du débit, pourtant nécessaire pour obtenir une bonne répétabilité de la qualité du faisceau laser, d'une impulsion à l'autre. En outre, le débit maximum atteignable est limité par les pertes de charges induites notamment par le dispositif de régulation thermique disposé entre la pompe et la cuve, par le milieu amplificateur, par des éléments intrusifs perturbant l'écoulement, etc. Par ailleurs, afin de pouvoir ajuster le débit avec ce type de pompe, un variateur de débit est indispensable.

En variante, ladite pompe peut être une pompe volumétrique, dans laquelle le liquide caloporteur est forcé à se déplacer jusqu'à un orifice de sortie. Un inconvénient de ce type de pompe est qu'il ne permet pas d'obtenir des valeurs élevées du débit, pourtant nécessaires pour obtenir une bonne qualité du faisceau laser lorsque la fréquence de répétition des impulsions laser augmente.

On pourrait également citer la pompe à vis excentrée, qui est une pompe volumétrique avec un rotor en forme de vis sans fin et un stator en matériau flexible. Une telle pompe offre une bonne stabilité du débit, mais elle dissipe beaucoup de chaleur dans le liquide caloporteur ce qui nécessite de sur-dimensionner le régulateur thermique
5 alors que celui-ci doit être fin pour éviter de générer des perturbations de la qualité du faisceau laser. En outre, la compatibilité du liquide caloporteur avec le matériau flexible formant le stator n'est pas assurée, entraînant un risque de pollution du liquide caloporteur et donc du milieu amplificateur laser.

Chacune de ces pompes permet de réguler le débit à une valeur souhaitée, pour
10 adapter le débit de liquide caloporteur à un besoin en refroidissement au niveau du milieu laser amplificateur.

Un objectif de la présente invention est de proposer un système de refroidissement pour refroidir un milieu amplificateur laser à l'aide d'un liquide caloporteur en circulation, et qui ne présente pas les inconvénients de l'art antérieur.

En particulier, un but de la présente invention est de proposer un système de
15 refroidissement pour refroidir un milieu amplificateur laser à l'aide d'un liquide caloporteur en circulation, et qui offre à la fois une grande stabilité du débit de liquide caloporteur, la possibilité d'atteindre des valeurs élevées pour ce débit, la possibilité d'ajuster le débit à une valeur souhaitée, et qui ne nécessite pas de sur-dimensionner un
20 régulateur thermique fin au sein duquel le liquide caloporteur est refroidi.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Cet objectif est atteint avec un système de refroidissement d'un milieu amplificateur laser, comprenant un circuit agencé en boucle fermée et configuré pour, en
25 utilisation, recevoir un liquide caloporteur en circulation, ledit circuit comprenant une cuve munie d'au moins un hublot, et configurée pour, en utilisation, recevoir le milieu amplificateur laser immergé dans le liquide caloporteur.

Selon l'invention, ledit circuit comprend en outre :

- un réservoir amont, configuré pour, en utilisation, contenir du liquide

caloporteur entre un fond dudit réservoir amont et une surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont ;

- une surverse amont, agencée dans le réservoir amont et munie d'une ouverture d'évacuation qui définit, en utilisation, une altitude, de la surface libre du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont ;

- un réservoir aval, configuré pour, en utilisation, contenir du liquide caloporteur entre un fond dudit réservoir aval et une surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval ;

- une surverse aval, agencée dans le réservoir aval et munie d'une ouverture d'évacuation qui définit, en utilisation, une altitude, de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval ;

avec les réservoirs amont et aval disposés de sorte qu'en utilisation, le liquide caloporteur traverse successivement le réservoir amont, la cuve et le réservoir aval.

Selon l'invention également, l'un au moins parmi le réservoir amont, le réservoir aval, l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval, est monté réglable en altitude (autrement dit réglable en hauteur).

Dans tout le texte, une surface libre du liquide caloporteur désigne une interface de ce dernier avec un milieu gazeux.

Grâce aux surverses amont et aval disposées respectivement dans le réservoir amont et dans le réservoir aval, l'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont et l'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval peuvent être distinctes l'une de l'autre.

Le réservoir amont, la surverse amont, le réservoir aval, et la surverse aval, sont configurés ensemble de sorte qu'en utilisation, la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont se trouve à une altitude, supérieure à celle de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval. Le liquide caloporteur est alors entraîné en circulation par la force de gravité, depuis le réservoir amont jusqu'au réservoir aval et en passant par la cuve destinée à recevoir le milieu amplificateur laser à refroidir. L'écoulement du liquide caloporteur dans la cuve est donc un écoulement gravitaire.

En utilisation, le débit de liquide caloporteur dans la cuve est fixé par la différence d'altitude entre l'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont et l'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval. L'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont est fixée par l'altitude du réservoir amont, et l'altitude de l'ouverture d'évacuation de la surverse amont. L'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval est fixée par l'altitude du réservoir aval, et l'altitude de l'ouverture d'évacuation de la surverse aval. Le montage réglable en altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont, le réservoir aval, l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval, permet donc d'ajuster le débit à la valeur souhaitée.

La valeur du débit de liquide caloporteur dans la cuve étant fonction de simples positionnements en altitude, ce débit peut présenter une très grande stabilité. Cette grande stabilité du débit permet, en utilisation, d'obtenir une bonne stabilité de la température du milieu amplificateur laser, et ainsi une bonne répétabilité de la qualité des impulsions d'un faisceau laser impulsionnel émis ou amplifié par le milieu amplificateur laser.

Pour les mêmes raisons, ce débit peut facilement prendre des valeurs élevées, compatibles avec de hautes cadences de tir laser au niveau du milieu amplificateur laser.

En pratique, le système de refroidissement selon l'invention comporte avantageusement une pompe, pour remonter le liquide caloporteur au moins jusqu'à l'altitude du réservoir amont, après que ce liquide a quitté le réservoir aval. Selon l'invention, le débit de liquide caloporteur directement en sortie de cette pompe est indépendant du débit de liquide caloporteur dans la cuve, puisque l'écoulement du liquide caloporteur dans la cuve est entraîné par la force de gravité. La stabilité du débit de liquide caloporteur dans la cuve n'est donc pas assurée par cette pompe. On peut donc relâcher fortement des contraintes relatives à la stabilité en débit de cette pompe. De manière avantageuse, ladite pompe est configurée pour dissiper très peu de chaleur dans le liquide caloporteur. Le relâchement des contraintes relatives à la stabilité du débit permet d'accéder facilement à des technologies dissipant très peu de chaleur dans le

liquide caloporteur. Ainsi, il n'est pas nécessaire de sur-dimensionner un dispositif de régulation thermique du système de refroidissement selon l'invention.

On remarque également que l'écoulement gravitaire du liquide caloporteur dans la cuve donne également accès à une grande stabilité de la pression dans la cuve, notamment au niveau de l'au moins un hublot.

On remarque que le système de refroidissement selon l'invention est configuré de sorte qu'en utilisation, la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont forme la surface libre la plus proche de la cuve le long du trajet du liquide caloporteur dans le circuit, située en amont de la cuve dans le sens de circulation du liquide caloporteur dans le circuit. En d'autres termes, le réservoir amont forme l'élément destiné à recevoir une surface libre de liquide caloporteur le plus proche de la cuve le long du trajet du liquide caloporteur dans le circuit, en amont de la cuve dans le sens de circulation du liquide caloporteur dans le circuit. Dit encore autrement, le réservoir amont est relié à l'entrée de la cuve uniquement par des éléments destinés, en utilisation, à être entièrement remplis de liquide caloporteur. Ces éléments peuvent être constitués d'un simple conduit intermédiaire. En variante, ils peuvent comprendre également au moins un réservoir intercalaire et/ou un capteur de débit.

De la même manière, le système de refroidissement selon l'invention est configuré de sorte qu'en utilisation, la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval forme la surface libre la plus proche de la cuve le long du trajet du liquide caloporteur dans le circuit, située en aval de la cuve dans le sens de circulation du liquide caloporteur dans le circuit. En d'autres termes, le réservoir aval forme l'élément destiné à recevoir une surface libre de liquide caloporteur le plus proche de la cuve le long du trajet du liquide caloporteur dans le circuit, en aval de la cuve dans le sens de circulation du liquide caloporteur dans le circuit. Dit encore autrement, le réservoir aval est relié à la sortie de la cuve uniquement par des éléments destinés, en utilisation, à être entièrement remplis de liquide caloporteur. Ces éléments peuvent être constitués d'un simple conduit intermédiaire. En variante, ils peuvent comprendre également au moins un réservoir intercalaire et/ou un capteur de débit.

De préférence, l'une au moins parmi la surverse amont et la surverse aval comporte un conduit télescopique ou un conduit repliable en accordéon, monté solidaire de son ouverture d'évacuation.

5 Selon un premier mode de réalisation, l'un au moins parmi le réservoir amont et l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et l'un au moins parmi le réservoir aval et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval, sont montés réglables en altitude.

10 L'ouverture d'évacuation de la surverse amont et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval sont avantageusement montées chacune réglables en altitude, indépendamment l'une de l'autre. En variante, l'une au moins parmi l'ouverture d'évacuation de la surverse aval et l'ouverture d'évacuation de la surverse amont peut être montée réglable en altitude, avec le réservoir amont et le réservoir aval reliés fixement entre eux et montés ensemble réglables en altitude.

Le système de refroidissement selon l'invention peut être muni d'un dispositif d'ajustement du débit qui comporte :

15 - un débitmètre, pour mesurer un débit de liquide caloporteur dans le circuit, entre le réservoir amont et le réservoir aval ;

- un calculateur, configuré pour recevoir en entrée une valeur de consigne et une valeur mesurée du débit de liquide caloporteur, où ladite valeur mesurée est fournie par le débitmètre, pour comparer la valeur de consigne et la valeur mesurée, et pour en
20 déduire une commande d'ajustement du débit ; et

- un actuateur, configuré pour piloter l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont, le réservoir aval, l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval, en réponse à la réception de la commande d'ajustement du débit.

25 Le système de refroidissement selon l'invention peut être muni d'un dispositif d'ajustement de la pression qui comporte :

- un capteur de pression, pour mesurer une pression dans le circuit, entre le réservoir amont et le réservoir aval ;

- un calculateur, configuré pour recevoir en entrée une valeur de consigne et une valeur mesurée de pression, où ladite valeur mesurée est fournie par le capteur de pression, et pour fournir en sortie une commande d'ajustement de la pression ; et

5 - un actuateur, configuré pour piloter l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont et l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, en réponse à la réception de la commande d'ajustement de la pression.

Le système de refroidissement selon l'invention peut être muni d'un dispositif d'ajustement de la pression qui comporte :

10 - un capteur de pression, pour mesurer une pression dans le circuit, entre le réservoir amont et le réservoir aval ;

- un calculateur, configuré pour recevoir en entrée une valeur de consigne et une valeur mesurée de pression, où ladite valeur mesurée est fournie par le capteur de pression, et pour fournir en sortie une commande d'ajustement de la pression ; et

15 - un actuateur, configuré pour piloter les altitudes des réservoirs amont et aval reliés fixement entre eux, en réponse à la réception de la commande d'ajustement de la pression.

Selon un deuxième mode de réalisation, le système de refroidissement selon l'invention comprend en outre un organe de pilotage d'une pression dans un gaz, pour piloter au moins une pression parmi une pression dans le réservoir amont et une pression
20 dans le réservoir aval.

De préférence, dans chacun des modes de réalisation, ledit circuit comprend en outre un bac de récupération, un dispositif de régulation thermique, et une pompe, la pompe étant configurée pour, en utilisation, propulser le liquide caloporteur le long de l'axe de la gravité et dans la direction opposée à la force de gravité, depuis le bac de
25 récupération jusqu'au-delà du dispositif de régulation thermique.

L'invention couvre également un procédé de réglage mis en œuvre dans un système de refroidissement selon l'invention, le procédé comprenant un ajustement de l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont, le réservoir aval, l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval, de
30 manière à ajuster l'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir

amont relativement à l'altitude de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir aval, et ainsi ajuster un débit de liquide caloporteur dans la cuve.

Ledit procédé peut être mis en œuvre dans un système de refroidissement selon l'invention dans lequel l'ouverture d'évacuation de la surverse amont et l'ouverture d'évacuation de la surverse aval sont montées chacune réglables en altitude, indépendamment l'une de l'autre, le procédé comprenant en outre un ajustement de l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont et l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, de manière à ajuster l'altitude relativement à la cuve de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont, et ainsi ajuster une pression à l'intérieur de la cuve.

Ledit procédé peut être mis en œuvre dans un système de refroidissement selon l'invention dans lequel l'une au moins parmi l'ouverture d'évacuation de la surverse aval et l'ouverture d'évacuation de la surverse amont est montée réglable en altitude, avec le réservoir amont et le réservoir aval reliés fixement entre eux et montés ensemble réglables en altitude, le procédé comprenant en outre un ajustement des altitudes des réservoirs amont et aval reliés fixement entre eux, de manière à ajuster l'altitude relativement à la cuve de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont, et ainsi ajuster une pression à l'intérieur de la cuve sans modifier un débit de liquide caloporteur dans la cuve.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- [Fig. 1A] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un premier mode de réalisation d'un système de refroidissement selon l'invention ;
- [Fig. 1B] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, une première variante d'une surverse amont ou aval dans le système de la figure 1A ;

- [Fig. 1C] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, une deuxième variante d'une surverse amont ou aval dans le système de la figure 1A ;
- [Fig. 2] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, une première variante du système de la figure 1A ;
- 5 - [Fig. 3] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, une deuxième variante du système de la figure 1A ;
- [Fig. 4] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un deuxième mode de réalisation d'un système de refroidissement selon l'invention ;
- [Fig. 5A] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un troisième mode
- 10 de réalisation d'un système de refroidissement selon l'invention ;
- [Fig. 5B] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, une variante du système de la figure 5A ; et
- [Fig. 6] illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un quatrième mode de réalisation d'un système de refroidissement selon l'invention.

15

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Sur chacune des figures, on a représenté l'axe (Oz) de la gravité, ou axe vertical. Dans tout le texte, l'axe de la gravité désigne l'axe selon lequel sont orientées les forces gravitationnelles exercées par la Terre sur le système de refroidissement selon

20 l'invention, et sur le liquide caloporteur, en utilisation. L'axe de la gravité est orienté ici depuis le sol (plan horizontal H) vers le ciel (direction opposée à l'orientation des forces de gravité exercées par la Terre).

Dans tout le texte, une altitude, ou hauteur, désigne une position, ou coordonnée,

25 définie le long de l'axe (Oz) de la gravité orienté depuis le sol vers le ciel. Dans tout le texte, les altitudes sont définies à compter d'une même surface de référence, de préférence à compter du niveau de la mer. Dans tout le texte, les termes « au-dessus » et « en-dessous » se rapportent à des altitudes relatives. Enfin, les termes « supérieur » et

« inférieur », lorsqu'ils se rapportent à un objet (paroi d'un bac, extrémité d'un hublot, etc), font référence à une altitude relative de cet objet.

La figure 1A illustre de façon schématique, et selon une vue en coupe, un premier mode de réalisation d'un système de refroidissement 100 selon l'invention. Afin de faciliter la compréhension de l'invention, le système de refroidissement 100 est représenté en utilisation, lorsqu'il reçoit un liquide caloporteur 20 en circulation (représenté en hachures sur la figure 1) et un milieu amplificateur laser 30.

Le système de refroidissement 100 selon l'invention comporte ici : un bac de récupération 110, une pompe 120, un dispositif de régulation thermique 130, un bac de débullage 140, un réservoir amont 150, une cuve 160, et un réservoir aval 170. Ces différents éléments sont reliés deux à deux par une série de conduits intermédiaires. Ils forment, avec les conduits intermédiaires, un circuit hydraulique, ou boucle hydraulique, ou simplement circuit, dans lequel le liquide caloporteur 20 circule en boucle, en utilisation. Les différents conduits intermédiaires présentent par exemple un diamètre compris entre 10 mm et 100 mm, par exemple 50 mm.

Dans tout le texte, les termes « amont » et « aval » se rapportent à un sens de circulation du liquide caloporteur dans ledit circuit, en particulier depuis un orifice de sortie du liquide caloporteur hors du bac de récupération 110 jusqu'à un orifice de retour du liquide caloporteur dans le bac de récupération 110, où le bac de récupération 110 forme un réservoir d'où le liquide caloporteur est extrait par une pompe (ici la pompe 120).

Le bac de récupération 110 présente de préférence un volume supérieur à dix litres. Il est relié à la pompe 120 par un premier conduit intermédiaire 10₁. En utilisation, il est partiellement rempli par le liquide caloporteur 20, jusqu'à une altitude supérieure à l'altitude dudit premier conduit intermédiaire 10₁ de manière à ce que la pompe 120 n'aspire pas d'air. Une zone 113 dans le bac de récupération 110, située en utilisation au-dessus du liquide caloporteur 20, est remplie ici par de l'air à la pression atmosphérique. Le fond, ou paroi interne inférieure 111 du bac de récupération 110, s'étend ici à une altitude h₀, dans un plan orthogonal à l'axe (Oz).

La pompe 120 est reliée d'un côté au bac de récupération 110, et de l'autre au dispositif de régulation thermique 130, par l'intermédiaire du premier conduit intermédiaire 10₁, respectivement d'un deuxième conduit intermédiaire 10₂. La pompe 120 peut être une pompe centrifuge, ou une pompe volumétrique, ou toute autre pompe connue dans l'art antérieur. Son débit et sa pression en sortie ne nécessitent pas d'être très stables. La seule contrainte est la compatibilité avec le liquide caloporteur, pour éviter de polluer ce dernier, et la fourniture d'un débit suffisant pour maintenir un niveau de liquide caloporteur souhaité dans le réservoir amont 150 (pour saturer en liquide caloporteur le réservoir amont 150).

Le dispositif de régulation thermique 130 est relié d'un côté à la pompe 120 et de l'autre au bac de débullage 140, par l'intermédiaire du deuxième conduit intermédiaire 10₂, respectivement d'un troisième conduit intermédiaire 10₃.

Le fond, ou paroi interne inférieure 141 du bac de débullage 140, s'étend ici à une altitude bien supérieure à l'altitude h₀ du bac de récupération 110, par exemple à une altitude d'au moins dix centimètre supérieure à l'altitude h₀. La pompe 120 est configurée pour propulser le liquide caloporteur 20 depuis le bac de récupération 110 jusqu'au bac de débullage 140, en passant par le dispositif de régulation thermique 130.

Le dispositif de régulation thermique 130 est configuré pour, en utilisation, refroidir le liquide caloporteur 20 pour en évacuer la chaleur extraite du milieu amplificateur laser 30 (ainsi que la chaleur éventuellement apportée par la pompe 120). Le dispositif de régulation thermique 130 peut comprendre un module Peltier, ou une boucle hydraulique utilisant un fluide secondaire d'extraction de la chaleur, ou tout autre dispositif de régulation thermique connu dans l'art antérieur.

Le bac de débullage 140 est relié d'un côté au dispositif de régulation thermique 130, par l'intermédiaire du troisième conduit 10₃, et de l'autre au réservoir amont 150, par l'intermédiaire d'un quatrième conduit 10₄. Ici, mais de manière non limitative, le troisième conduit 10₃ arrive sur le bac de débullage 140 au niveau de sa paroi interne inférieure 141. Ici, mais de manière non limitative, le quatrième conduit 10₄ part du bac de débullage 140, au niveau d'une région inférieure d'une paroi latérale de ce dernier. Le bac de débullage 140 présente de préférence un volume supérieur à dix litres. En

utilisation, il est partiellement rempli par le liquide caloporteur 20, jusqu'à une altitude bien supérieure à l'altitude du quatrième conduit 10₄. Une zone 143 dans le bac de débullage 140, située en utilisation au-dessus du liquide caloporteur 20, est remplie ici par de l'air à la pression atmosphérique.

5 Le liquide caloporteur en sortie de la pompe 120 peut comporter des bulles d'air, susceptibles d'induire des points de focalisation dans la cuve lors du passage du faisceau laser, et ainsi d'endommager certains composants. Dans le bac de débullage 140, ces bulles d'air remontent à la surface, le long de l'axe (Oz). Dans une région inférieure du bac de débullage 140, le liquide caloporteur 20 est donc dépourvu de bulles d'air. Le
10 quatrième conduit 10₄ partant du bac de débullage 140 au niveau de cette région inférieure, le liquide caloporteur 20 sortant du bac de débullage 140 par ce quatrième conduit 10₄ est donc dépourvu de bulles d'air.

Une section du bac de débullage 140, dans un plan orthogonal à l'axe (Oz), est bien supérieure à une section des conduits intermédiaires. Le bac de débullage 140 réalise
15 ainsi, en outre, un lissage d'éventuels à-coups de pression, générés au niveau de la pompe 120.

Enfin, le volume important du bac de débullage 140 permet que le liquide caloporteur 20 y stationne suffisamment longtemps pour que sa température s'homogénéise. L'obtention d'une température homogène du liquide caloporteur 20, en
20 amont de la cuve 160 destinée à recevoir le milieu amplificateur laser 30, permet de limiter des gradients d'indice optique dans et autour dudit milieu amplificateur laser, et donc de limiter des dégradations de faisceau associées.

Le réservoir amont 150 est relié d'un côté au bac de débullage 140, par l'intermédiaire du quatrième conduit intermédiaire 10₄, et de l'autre à la cuve 160, par
25 l'intermédiaire d'un cinquième conduit intermédiaire 10₅. De préférence, le quatrième conduit intermédiaire 10₄ est muni d'une vanne, pour bloquer ou libérer la circulation du liquide caloporteur 20 depuis le bac de débullage 140 vers le réservoir amont 150.

Le réservoir amont 150 présente de préférence un volume supérieur à dix litres. Il s'étend sensiblement à même altitude que le bac de débullage 140. En utilisation, le
30 réservoir amont 150 est partiellement rempli par le liquide caloporteur 20. Une zone 153

dans le réservoir amont 150, située au-dessus du liquide caloporteur 20, est remplie ici par de l'air à la pression atmosphérique. Dans le réservoir amont 150 en utilisation, on nomme « surface libre S1 du liquide caloporteur dans le réservoir amont 150 » l'interface entre ladite zone 153 et le liquide caloporteur 20. La surface libre S1 s'étend dans un plan
5 orthogonal à l'axe (Oz).

Une surverse amont 155 s'étend à l'intérieur du réservoir amont 150, pour définir l'altitude de la surface libre S1. La surverse amont 155 est représentée plus en détail à la figure 1B.

La surverse amont 155 comporte un conduit 156 qui s'étend, à l'intérieur du
10 réservoir amont 150, entre une ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont et un orifice 152 ouvert dans une région inférieure du réservoir amont 150. L'orifice 152 est percé ici dans la paroi inférieure 151 du réservoir amont. Il est relié à un tuyau d'évacuation 158 débouchant dans le bac de récupération 110. L'ouverture d'évacuation 157 s'étend du côté du conduit 156 opposé à l'orifice 152. Elle désigne une ouverture
15 dans laquelle du liquide caloporteur contenu dans le réservoir amont 150 peut s'écouler par débordement pour rejoindre le bac de récupération 110 en passant par le tuyau d'évacuation 158. La surface libre S1 du liquide caloporteur dans le réservoir amont 150 est ainsi fixée à l'altitude de ladite ouverture d'évacuation 157.

Ici, l'altitude de l'ouverture d'évacuation 157 est réglable. En particulier, l'altitude
20 de l'ouverture d'évacuation 157 relativement à la cuve peut être modifiée, avec le réservoir amont fixe relativement à la cuve. Le caractère réglable en altitude est symbolisé par une double flèche épaisse.

Dans l'exemple représenté en figure 1B, le conduit 156 est repliable en accordéon le long de l'axe (Oz), de manière à présenter une longueur réglable le long de l'axe (Oz). Le
25 conduit 156 est fixé, à l'une de ses extrémités, à l'orifice 152 percé dans le réservoir amont. Par conséquent, lorsque la longueur du conduit 156 varie, c'est son extrémité opposée, et donc l'ouverture d'évacuation 157, qui se déplace le long de l'axe (Oz).

Dans une variante illustrée en figure 1C, le conduit 156' de la surverse amont 155' est un conduit télescopique, avec plusieurs portions de conduit qui coulissent les unes
30 dans les autres le long de l'axe (Oz), de sorte que le conduit 156' présente une longueur

réglable le long de l'axe (Oz). Là-encore, le conduit 156' est fixé, à l'une de ses extrémités, à l'orifice percé dans le réservoir amont. Par conséquent, lorsque la longueur du conduit 156' varie, c'est son extrémité opposée, et donc l'ouverture d'évacuation 157', qui se déplace le long de l'axe (Oz).

5 La cuve 160 est reliée d'un côté au réservoir amont 150, par l'intermédiaire du cinquième conduit intermédiaire 10₅, et de l'autre au réservoir aval 170, par l'intermédiaire d'un sixième conduit intermédiaire 10₆. Ici, mais de manière non limitative, le cinquième conduit intermédiaire 10₅ s'étend entre une paroi inférieure du réservoir amont et une paroi inférieure de la cuve 160, et le sixième conduit
10 intermédiaire 10₆ s'étend entre une paroi supérieure de la cuve 160 et une paroi inférieure du réservoir aval 170. On remarque que le cinquième conduit intermédiaire 10₅ n'arrive pas forcément à la verticale sur la cuve 160. De même, le sixième conduit intermédiaire 10₆ ne repart pas forcément à la verticale de la cuve 160.

 La cuve 160 reçoit, en utilisation, un milieu amplificateur laser 30 solide immergé
15 dans le liquide caloporteur 20, avec ses faces d'entrée et sortie en contact physique direct avec le liquide caloporteur 20. Le milieu amplificateur laser 30 solide est par exemple un cristal dopé, ou une céramique dopée, ou un verre dopé, etc. Il peut être formé en un seul morceau, ou formé d'une pluralité de plaques espacées les unes des autres. Les faces d'entrée et de sortie du milieu amplificateur laser 30 forment ses plus grandes faces,
20 traversées en utilisation par le faisceau laser amplifié ou émis par le milieu amplificateur laser 30. Les faces d'entrée et de sortie du milieu amplificateur laser 30 s'étendent ici selon des plans parallèles à l'axe (Oz).

 Le réservoir aval 170 est relié d'un côté à la cuve 160, par l'intermédiaire du sixième conduit intermédiaire 10₆, et de l'autre au bac de récupération 110, par l'intermédiaire
25 d'un septième conduit intermédiaire 10₇. De préférence, le septième conduit intermédiaire 10₇ part du réservoir aval 170 au niveau de sa paroi interne inférieure 171, et arrive sur le bac de récupération 110 au niveau de sa paroi interne supérieure 112, à une altitude bien inférieure à celle de ladite paroi interne inférieure 171 du réservoir aval 170. Dans l'exemple représenté ici, le septième conduit intermédiaire 10₇ est confondu
30 avec un tuyau d'évacuation 178 d'une surverse tel que décrit dans la suite.

Le réservoir aval 170 présente de préférence un volume supérieur à dix litres. En utilisation, le réservoir aval 170 est partiellement rempli par le liquide caloporteur 20. Une zone 173 dans le réservoir aval 170, située au-dessus du liquide caloporteur 20, est remplie ici par de l'air à la pression atmosphérique. Dans le réservoir aval 170 en utilisation, on nomme « surface libre S2 du liquide caloporteur dans le réservoir aval 170 » l'interface entre ladite zone 173 et le liquide caloporteur 20. La surface libre S2 s'étend dans un plan orthogonal à l'axe (Oz).

Une surverse aval 175 s'étend à l'intérieur du réservoir aval 170, pour définir l'altitude de la surface libre S2.

La surverse aval 175 comporte un conduit qui s'étend, à l'intérieur du réservoir aval 170, entre une ouverture d'évacuation 177 de la surverse aval et un orifice 172 ouvert dans une région inférieure du réservoir aval 170. L'orifice 172 est percé ici dans la paroi inférieure 171 du réservoir aval. Il est relié à un tuyau d'évacuation 178 débouchant dans le bac de récupération 110. Ici, mais de manière non limitative, le tuyau d'évacuation 178 forme également un conduit intermédiaire (septième conduit intermédiaire 10₇) reliant le réservoir aval 170 au bac de récupération 110, dans la boucle hydraulique selon l'invention. L'ouverture d'évacuation 177 s'étend du côté du conduit opposé à l'orifice 172. Elle désigne une ouverture dans laquelle du liquide caloporteur contenu dans le réservoir aval 170 peut s'écouler par débordement pour rejoindre le bac de récupération 110 en passant par le tuyau d'évacuation 178. La surface libre S2 du liquide caloporteur dans le réservoir aval 170 est ainsi fixée à l'altitude de ladite ouverture d'évacuation 177.

Là-encore, l'altitude de l'ouverture d'évacuation 177 est réglable. En particulier, l'altitude de l'ouverture d'évacuation 177 relativement à la cuve peut être modifiée, avec le réservoir aval fixe relativement à la cuve. Le caractère réglable en altitude est symbolisé par une double flèche épaisse. La surverse aval 175 peut être similaire à l'un ou l'autre des exemples de réalisation d'une surverse illustrés aux figures 1B et 1C.

Une amplitude maximale de déplacement en altitude de l'ouverture d'évacuation 157, respectivement l'ouverture d'évacuation 177, est par exemple au moins égale à cinq centimètre, et même au moins égale à dix centimètres.

En utilisation, le réservoir amont 150 avec sa surverse amont 155, et le réservoir aval 170 avec sa surverse aval 170, sont configurés ensemble pour que la surface libre S1 s'étende à une altitude H1 supérieure à celle H2 de la surface libre S2. Le liquide caloporteur est alors entraîné en circulation depuis le réservoir amont 150 jusqu'au réservoir aval 170, en passant par la cuve 160, par la force de gravité. On parle pour cette raison d'un écoulement gravitaire dans la cuve 160. Ici, le liquide caloporteur 20 circule dans la cuve 160 selon un trajet rectiligne parallèle à l'axe (Oz).

Le débit de liquide caloporteur dans la cuve 160 est lié à la différence d'altitude ΔH entre les altitudes H1 et H2.

La stabilité du débit de liquide caloporteur 20 circulant dans la cuve 160 est donc liée à la stabilité des altitudes H1 et H2, liées à la stabilité des altitudes respectives du réservoir amont 150, de l'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont dans le réservoir amont, du réservoir aval 170, et de l'ouverture d'évacuation 177 de la surverse aval dans le réservoir aval. Il est donc aisé d'obtenir une grande stabilité de ce débit, par des positionnements stables le long de l'axe (Oz). En outre, comme l'écoulement de liquide caloporteur 20 dans la cuve 160 est entraîné uniquement par la force de gravité, on peut tolérer des imperfections au niveau de la pompe 120 qui sert simplement à remonter le liquide caloporteur 20 le long de l'axe (Oz), depuis le bac de récupération 110 jusqu'à l'altitude du réservoir amont (ici jusqu'au bac de débullage 140).

Selon l'invention, le débit de liquide caloporteur dans la cuve 160 peut être ajusté par l'intermédiaire d'un ajustement de la différence d'altitude ΔH entre les altitudes H1 et H2. Ici, cet ajustement de la différence d'altitude ΔH peut être réalisé en ajustant l'altitude de l'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont et/ou en ajustant l'altitude de l'ouverture d'évacuation 177 de la surverse aval. En particulier, l'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont est déplacée relativement au réservoir amont fixe relativement à la cuve et/ou l'ouverture d'évacuation 177 de la surverse aval est déplacée relativement au réservoir aval fixe relativement à la cuve.

L'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont et/ou l'ouverture d'évacuation 177 de la surverse aval peut se déplacer selon un mouvement rectiligne parallèle à l'axe

(Oz), ou selon un mouvement plus complexe comportant au moins une composante parallèle à l'axe (Oz).

Le déplacement de l'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont, respectivement de l'ouverture d'évacuation 177 de la surverse aval, peut être entraîné
5 par un moteur, non représenté, et guidé par un guide mécanique respectif qui peut s'étendre parallèle à l'axe (Oz).

L'ajustement du débit à une valeur souhaitée est donc particulièrement simple à mettre en œuvre, puisqu'il est réalisé par de simples déplacements mécaniques le long de l'axe (Oz). On peut ainsi facilement adapter le débit à une cadence d'émission des
10 impulsions laser, laquelle détermine une quantité de chaleur devant être évacuée du milieu amplificateur laser. On peut également ajuster facilement la température du milieu amplificateur laser 30 à une valeur souhaitée, via une variation du débit de liquide caloporteur dans la cuve.

Des composants de type variateur de débit ne sont pas strictement nécessaires au
15 fonctionnement de l'invention, de sorte que le système de refroidissement selon l'invention peut présenter une grande compacité. L'invention n'exclut cependant pas des modes de réalisation comportant un composant de type variateur de débit. Un tel composant permet notamment de faire en sorte que le débit fourni par la pompe 120 soit toujours supérieur au débit induit par la différence entre les altitudes respectives de
20 surface libre dans les réservoirs amont et aval.

On comprend que le liquide caloporteur 20 doit être transparent à la longueur d'onde du faisceau laser amplifié ou émis par le milieu amplificateur laser 30, avec un coefficient de transmission par exemple supérieur ou égal à 95% à ladite longueur d'onde.

Ici, la cuve est délimitée notamment par deux hublots 163, 164, agencés ici
25 parallèles à une direction d'écoulement du liquide caloporteur 20 dans la cuve 160. Ces hublots 163, 164 sont transparents à la longueur d'onde du faisceau laser amplifié ou émis par le milieu amplificateur laser 30, avec un coefficient de transmission par exemple au moins égal à 70% à ladite longueur d'onde.

Le système de refroidissement 100 est prévu pour coopérer avec un dispositif de pompage optique, non représenté, disposé à l'extérieur de la cuve 160 et permettant de fournir au milieu amplificateur laser 30 l'énergie nécessaire à l'amplification ou l'émission d'un faisceau lumineux, par effet laser. Le dispositif de pompage comporte par exemple des diodes, pour émettre un faisceau de pompage optique. La cuve 160 est alors configurée pour permettre l'entrée du faisceau de pompage optique, via l'un des hublots 163 ou 164, ou via une fenêtre d'entrée annexe. En utilisation, le liquide caloporteur 20 sous pression circulant dans la cuve 160 extrait du milieu amplificateur laser 30 la chaleur produite par le pompage.

Le cas échéant, le système de refroidissement 100 peut coopérer en outre avec des miroirs réfléchissants à une longueur d'onde d'émission du milieu amplificateur laser 30, situés à l'extérieur de la cuve 160 et formant ensemble une cavité optiquement résonante à ladite longueur d'onde d'émission.

Dans le système de refroidissement 100 selon l'invention, il est avantageux de pouvoir ajuster une pression qui s'exerce dans la cuve 160, au niveau des hublots 163, 164. Cette pression est fonction de différents facteurs parmi lesquels : la pression du milieu environnant (considérée fixe), la pression dynamique liée à la vitesse du liquide caloporteur (fixe pour un débit donné), les pertes de charge en amont du point considéré dans la cuve (fixes pour un débit donné), et la pression liée à la différence entre l'altitude H1 de la surface libre S1 et une altitude H3 d'un plan considéré dans la cuve. Parmi ces différents facteurs, seul le dernier est facilement ajustable pour un débit donné dans la cuve. En particulier, on peut ajuster ici la pression liée à la différence entre l'altitude H1 de la surface libre S1 et l'altitude H3 d'un plan considéré dans la cuve, en ajustant l'altitude de l'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont.

Selon l'invention, l'ajustement de pression est donc réalisable par l'intermédiaire de simples variations d'altitude, ici une variation de l'altitude de l'ouverture d'évacuation 157 de la surverse amont. L'ajustement de la pression est ainsi particulièrement simple à mettre en œuvre. On peut en particulier facilement adapter la pression pour minimiser une déformation mécanique des hublots induite par une différence de pression entre le milieu environnant et l'intérieur de la cuve. En variante, on peut régler la pression de

manière à donner au(x) hublot(s) une déformation prédéterminée compatible avec une correction de surface d'onde par un miroir déformable. De même, il est aisé d'obtenir une bonne stabilité de ladite pression, par l'intermédiaire de positionnements stables le long de l'axe (Oz). On obtient ainsi une bonne stabilité mécanique des hublots, et ainsi une

5 bonne répétabilité de la qualité du faisceau laser, d'une impulsion à l'autre. En outre, comme l'écoulement de liquide caloporteur 20 dans la cuve 160 est entraîné uniquement par la force de gravité, la pression générée par la pompe 120 est sans impact sur la circulation du liquide caloporteur dans la cuve 160, et on peut tolérer une certaine instabilité de la pression directement en sortie de la pompe 120.

10 On remarque que l'ajustement de la pression affecte simultanément les hublots 163 et 164. De préférence, ces hublots 163 et 164 présentent tous les deux les mêmes dimensions, et sont disposés tous deux de la même manière le long de l'axe (Oz). Ainsi, l'ajustement de la pression à l'altitude H3 d'un plan considéré dans la cuve se traduit par une même répartition de la pression sur la surface du hublot 163 et sur la surface du

15 hublot 164.

L'ajustement d'une pression qui s'exerce dans la cuve 160, au niveau des hublots 163, 164, est notamment mise en œuvre pour minimiser une déformation mécanique des hublots liée à une différence entre la pression qui s'exerce sur le hublot 163, respectivement 164, côté intérieur de la cuve et la pression qui s'exerce sur le hublot 163, respectivement 164, côté extérieur de la cuve. On évite ainsi des dégradations

20 subséquentes sur le faisceau laser émis ou amplifié par le milieu amplificateur laser 30, et qui traverse les hublots 163, 164.

En général, l'ajustement de pression consiste donc à faire en sorte que les faces intérieures respectives des hublots soient soumises à une pression proche de la pression atmosphérique (1013 hPa au niveau de la mer). En particulier, l'ajustement de pression

25 consiste de préférence à faire en sorte qu'un point prédéterminé respectif sur les faces intérieures des hublots soit soumis à la pression atmosphérique, afin que chaque point des faces intérieures respectives desdits hublots soit soumis à une pression proche de la pression atmosphérique.

L'ajustement de pression est réalisé pour un point particulier sur une face intérieure du hublot 163, respectivement 164, dans le plan situé à l'altitude H3 (relativement au niveau de la mer, dans le référentiel terrestre). Ce point correspond de préférence à une extrémité supérieure du hublot 163 (respectivement 164), où s'exercent de fortes contraintes mécaniques liées à la tenue du hublot relativement à sa monture.

En utilisation, on amorce la circulation du liquide caloporteur 20 dans le système de refroidissement 100 en amenant la surface libre S1 du liquide caloporteur dans le réservoir amont 150 jusqu'à une altitude d'amorçage supérieure à celle du point le plus haut du circuit, et permettant d'imposer une pression de liquide caloporteur qui compense des pertes de charges dans le système de refroidissement selon l'invention. Pour cela, il est avantageux qu'un volume intérieur du réservoir amont 150 s'étende jusqu'à une altitude supérieure à celle de ce point le plus haut du circuit, ici un point sur le sixième conduit intermédiaire 10₆. Une fois le phénomène de circulation amorcé, la surface libre S1 est ramenée à une altitude d'utilisation inférieure à l'altitude d'amorçage, et permettant notamment d'obtenir la pression et le débit souhaités dans la cuve 160.

De préférence, on ajuste d'abord le débit, défini par la différence d'altitude ΔH entre l'altitude H1 de la surface libre S1 dans le réservoir amont et l'altitude H2 de la surface libre S2 dans le réservoir aval, puis on ajuste la pression en déplaçant ensemble les surfaces libres S1 et S2, de manière à conserver la différence d'altitude ΔH définissant le débit.

En variante, on ajuste d'abord la pression, en amenant à l'altitude adéquate la surface libre S1, puis on ajuste le débit. L'ajustement ultérieur du débit va modifier la pression dans la cuve. De manière avantageuse, l'ajustement initial de la pression prend en compte la variation de pression liée à l'ajustement ultérieur du débit. En variante, on peut opérer par itérations successives pour converger vers des valeurs souhaitées de la pression et du débit.

De manière avantageuse, le réservoir amont 150 et le réservoir aval 170 présentent chacun un volume intérieur qui s'étend au moins entre l'altitude du point de la cuve d'altitude maximale, et l'altitude d'un autre point de la cuve, en contrebas.

La figure 2 illustre, de façon schématique et selon une vue en coupe, une première variante 200 du système de refroidissement de la figure 1A.

Cette variante ne diffère du mode de réalisation de la figure 1A qu'en ce que l'ouverture d'évacuation 257 de la surverse amont 255 n'est pas réglable en altitude, et
5 en ce que le réservoir amont 250 est réglable en altitude.

En particulier, la surverse amont 255 est munie d'un conduit rigide, qui s'étend entre l'ouverture d'évacuation 257 de la surverse amont 255 et l'orifice 252 ouvert dans une région inférieure du réservoir amont 250. L'ouverture d'évacuation 257 de la surverse amont 255 est donc fixe relativement au réservoir amont 250, en particulier le
10 long de l'axe (Oz).

En revanche, le réservoir amont 250 muni de sa surverse amont 255 est réglable en altitude. Le caractère réglable en altitude est symbolisé par une double flèche épaisse. Le réservoir amont 250 est par exemple monté mobile en translation le long d'un guide, par exemple un guide agencé parallèle à l'axe (Oz). En variante, le réservoir amont est monté
15 mobile relativement à un guide muni d'un filetage. De nombreuses autres variantes peuvent être mises en œuvre, tant que le montage du réservoir amont autorise un déplacement selon un mouvement qui comporte au moins une composante parallèle à l'axe (Oz).

Dans cette variante, l'altitude de la surface libre S1 est donc ajustable par
20 l'intermédiaire d'un ajustement de l'altitude du réservoir amont 250 muni de sa surverse amont 250.

Une autre variante, non représentée, ne diffère du mode de réalisation de la figure 1A qu'en ce que l'ouverture d'évacuation de la surverse aval n'est pas réglable en altitude, et en ce que le réservoir aval est réglable en altitude.

Selon une autre variante encore, ni l'ouverture d'évacuation de la surverse amont ni l'ouverture d'évacuation de la surverse aval ne sont réglables en altitude, mais le réservoir amont et le réservoir aval sont tous deux réglables en altitude.

On pourrait aussi combiner le caractère réglable en altitude du réservoir amont et de l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et/ou du réservoir aval et de
30 l'ouverture d'évacuation de la surverse aval, par exemple pour augmenter une amplitude

de déplacement selon l'axe (Oz) de la surface libre S1, respectivement de la surface libre S2.

Le caractère réglable en altitude du réservoir amont, respectivement du réservoir aval, se rapporte à une variation d'altitude relativement à la cuve, et sans variation de la forme dudit réservoir.

Afin de permettre des translations importantes du réservoir aval 170 et/ou du réservoir amont 150, les conduits intermédiaires arrivant et partant de ces derniers sont avantageusement des conduits repliables en accordéon, ou des conduits télescopiques.

Selon d'autres variantes, le bac de débullage 240 peut être relié fixement au réservoir d'ajustement 250, ces derniers étant réglables ensemble en altitude.

La figure 3 illustre, de façon schématique et selon une vue en coupe, une deuxième variante 300 du système de refroidissement de la figure 1A.

Cette variante ne diffère du mode de réalisation de la figure 1A qu'en ce que l'ouverture d'évacuation 357 de la surverse amont 355 n'est pas réglable en altitude, et en ce que le réservoir amont 350 et le réservoir aval sont fixes l'un relativement à l'autre et réglables ensemble en altitude.

Le caractère réglable en altitude de l'ensemble formé par le réservoir amont 350 et le réservoir aval 370 est symbolisé par une double flèche épaisse. Les réservoirs amont et aval sont par exemple montés tous deux solidaires d'un support qui est mobile en translation le long d'un guide, par exemple un guide agencé parallèle à l'axe (Oz). De nombreuses autres variantes peuvent être mises en œuvre, tant que le montage dudit support autorise un déplacement simultané des réservoirs amont et aval, selon un mouvement qui comporte au moins une composante parallèle à l'axe (Oz).

Ce mode de réalisation permet de réaliser l'ajustement du débit en déplaçant l'altitude de la surface libre S2 du liquide caloporteur dans le réservoir aval, et de réaliser l'ajustement de la pression en déplaçant l'altitude de la surface libre S1 du liquide caloporteur dans le réservoir amont conjointement avec l'altitude de la surface libre S2, donc sans modifier la différence d'altitude entre S1 et S2, et donc sans modifier le débit.

La figure 4 illustre, de façon schématique et selon une vue en coupe, un deuxième mode de réalisation 400 d'un système de refroidissement selon l'invention, qui ne sera décrit que pour ses différences relativement au mode de réalisation de la figure 3.

Le système de refroidissement 400 est muni ici d'un dispositif d'ajustement du débit, qui comporte un capteur de débit 41, un calculateur 42 et un actuateur 43.

Le capteur de débit 41, ou débitmètre, est positionné en un emplacement déterminé du circuit, entre le réservoir amont 450 et le réservoir aval 470. Cet emplacement est situé plus particulièrement sur une portion du circuit, où ladite portion va du réservoir amont 450 au réservoir aval 470 en passant par la cuve 460. Ici, le capteur de débit 41 est positionné au niveau du sixième conduit intermédiaire 10₆, reliant la cuve 460 au réservoir aval 470.

Le calculateur 42, ou processeur, est configuré pour recevoir en entrée une valeur de consigne V_c et une valeur mesurée V_m d'un débit de liquide caloporteur circulant dans le système de refroidissement 400 en utilisation. La valeur de consigne V_c est une donnée d'entrée, fixée par des besoins en refroidissement du milieu amplificateur laser 30 dans la cuve. La valeur de consigne V_c peut être fournie directement par un utilisateur, par l'intermédiaire d'une interface homme-machine. En variante, elle est calculée par le calculateur 42 ou par un calculateur annexe, en fonction d'une ou plusieurs données d'entrées telles qu'une fréquence d'impulsions de pompage du milieu amplificateur laser 30. La valeur mesurée V_m correspond quant à elle au débit mesuré par le capteur de débit 41. Elle est fournie ici directement par ledit capteur de débit 41. Le calculateur 42 est configuré pour comparer la valeur de consigne V_c et la valeur mesurée V_m, et pour déduire d'une différence entre V_c et V_m une commande d'ajustement du débit, C_d. La commande d'ajustement du débit est constituée ici d'une commande de déplacement de l'ouverture d'évacuation 477 de la surverse aval, pour modifier l'altitude de la surface libre S₂ du liquide caloporteur dans le réservoir aval.

L'actuateur 43 reçoit en entrée la commande C_d. Il est configuré pour, en réponse, déplacer l'ouverture d'évacuation 477 selon le mouvement défini par la commande C_d. L'actuateur 43 peut comprendre un moteur, apte à entraîner en déplacement l'ouverture d'évacuation 477.

Le capteur de débit 41, le calculateur 42 et l'actuateur 43 permettent ainsi d'amener à une valeur souhaitée le débit de liquide caloporteur dans la cuve.

La figure 5A illustre, de façon schématique et selon une vue en coupe, un troisième mode de réalisation 500A d'un système de refroidissement selon l'invention. Ce troisième mode de réalisation ne sera décrit que pour ses différences relativement au mode de réalisation de la figure 1A.

Le système de refroidissement 500 est muni en outre d'un dispositif d'ajustement de la pression, qui comporte un capteur de pression 51A, un calculateur 52A et un actuateur 53A.

L'ajustement de la pression nécessite avantageusement de connaître la pression en un point déterminé sur la face intérieure du hublot 563, respectivement 564, avec ces points situés dans un plan situé à une altitude H3 relativement au niveau de la mer, dans le référentiel terrestre. En pratique, il est délicat de positionner un capteur de pression contre les hublots, de sorte que le capteur de pression 51A est positionné plutôt à distance des hublots 563 et 564, à une distance connue de ces derniers notamment le long de l'axe (Oz). Il est ainsi possible de définir, par calculs ou simulations, une différence de pression entre la pression mesurée par le capteur de pression 51A et la pression au niveau des points respectifs considérés sur le hublot 563, respectivement 564. Le capteur de pression 51A est positionné de préférence à une altitude supérieure à celle des extrémités supérieures respectives des hublots. Il peut également se trouver en-dessous des hublots, c'est-à-dire à une altitude inférieure à un point le plus bas sur ces derniers. Ici, le capteur de pression est positionné au niveau du sixième conduit intermédiaire 10₆, reliant la cuve 560 au réservoir aval 570. En tout état de cause, le capteur de pression est positionné de préférence en un emplacement déterminé du circuit, entre le réservoir amont 550 et le réservoir aval 570. Cet emplacement est situé plus particulièrement sur une portion du circuit, où ladite portion va du réservoir amont 550 au réservoir aval 570 en passant par la cuve 560.

Le calculateur 52A, ou processeur, est configuré pour recevoir en entrée une valeur de consigne V'_c et une valeur mesurée V'_m de la pression. La valeur de consigne V'_c est

une donnée d'entrée, se rapportant ici à une valeur de pression souhaitée au point déterminé sur la face intérieure du hublot 563, respectivement 564. La valeur de consigne $V'c$ est par exemple égale à la pression atmosphérique. La valeur de consigne $V'c$ peut être fournie directement par un utilisateur, par l'intermédiaire d'une interface homme-machine. La valeur mesurée $V'm$ correspond quant à elle à la pression mesurée par le capteur de pression 51A. Elle est fournie ici directement par ledit capteur de pression 51A.

Le calculateur 52A est configuré pour déterminer, à partir de ladite valeur mesurée $V'm$, une valeur calculée $V'p$ de la pression au niveau dudit point déterminé sur la face intérieure du hublot 563, respectivement 564. Ladite valeur calculée $V'p$ est obtenue par une simple opération de soustraction, en utilisant l'écart de pression ΔP , théorique ou simulé, entre la pression au niveau du capteur de pression 51A et la pression au niveau dudit point déterminé, dans le système de refroidissement 500A selon l'invention.

Le calculateur 52A est configuré ensuite pour comparer la valeur de consigne $V'c$ et la valeur calculée $V'p$, et pour déduire d'une différence entre $V'c$ et $V'p$ une commande d'ajustement de la pression, Cp . La commande d'ajustement de la pression est constituée ici d'une commande de déplacement de l'ouverture d'évacuation 557A de la surverse amont, pour modifier l'altitude de la surface libre $S1$ du liquide caloporteur dans le réservoir amont 550.

L'actuateur 53A reçoit en entrée la commande Cp . Il est configuré pour, en réponse, déplacer l'ouverture d'évacuation 557A selon le mouvement défini par la commande Cp . L'actuateur 53A peut comprendre un moteur, apte à entraîner en déplacement l'ouverture d'évacuation 557A.

Le capteur de pression 51A, le calculateur 52A et l'actuateur 53A permettent ainsi d'amener à une valeur souhaitée la pression au point déterminé sur la face intérieure du hublot 563, respectivement 564.

En variante, le calculateur 52A compare directement la valeur de pression fournie par le capteur de pression avec une pression de consigne, sans déterminer la valeur de la pression au point déterminé sur la face intérieure du hublot 563, respectivement 564.

La figure 5B illustre, de façon schématique et selon une vue en coupe, une variante du mode de réalisation de la figure 5A.

Ce mode de réalisation ne diffère de celui de la figure 5A qu'en ce que l'ouverture d'évacuation 557B de la surverse amont n'est pas réglable en altitude, et en ce que le
5 réservoir amont 550 et le réservoir aval 570 sont fixes l'un relativement à l'autre et réglables ensemble en altitude (voir figure 3).

Le calculateur 52B est configuré pour recevoir en entrée la valeur de consigne V^c et la valeur mesurée V^m de la pression fournie par le capteur de pression 51B, et pour déterminer, à partir de ces valeurs, une commande d'ajustement de la pression C_p . La
10 commande d'ajustement de la pression C_p est constituée ici d'une commande de déplacement des réservoirs amont 550 et aval 570 reliés fixement entre eux.

On peut ainsi amener à une valeur souhaitée la pression au point déterminé sur la face intérieure du hublot 563, respectivement 564, tout en conservant une valeur du débit dans la cuve lié à la différence entre l'altitude de la surface libre S1 du liquide
15 caloporteur dans le réservoir amont et l'altitude de la surface libre S2 du liquide caloporteur dans le réservoir aval.

La figure 6 illustre un quatrième mode de réalisation d'un système de refroidissement 600 selon l'invention. Ce quatrième mode de mode de réalisation ne sera
20 décrit que pour ses différences relativement au mode de réalisation de la figure 1A.

Dans ce mode de réalisation, l'ouverture d'évacuation 657 de la surverse amont n'est pas réglable en altitude.

L'ajustement du débit dans la cuve se fait en ajustant l'altitude de l'ouverture d'évacuation 677 de la surverse aval. Comme dans les modes de réalisations présentés ci-dessus, il est avantageux qu'un volume intérieur du réservoir amont 650 s'étende au
25 moins jusqu'à une altitude supérieure à celle du point le plus haut du circuit, pour l'amorçage de la circulation de liquide caloporteur dans ledit circuit. De même, de manière avantageuse, le réservoir amont 650 et le réservoir aval 670 présentent chacun un volume intérieur qui s'étend au moins entre l'altitude du point de la cuve d'altitude
30 maximale, et l'altitude d'un autre point de la cuve, en contrebas.

L'ajustement de la pression dans la cuve se fait par ajustement des pressions en gaz, dans chacun des bacs et réservoirs dans lesquels le liquide caloporteur présente une surface libre, en utilisation. Ici, on doit donc réaliser un ajustement de la pression dans la zone 653 du réservoir amont 650, située en utilisation au-dessus du liquide caloporteur dans le réservoir amont 650, dans la zone 673 du réservoir aval 670, située en utilisation au-dessus du liquide caloporteur dans le réservoir aval 670, et dans la zone 643 du bac de débullage 640, située en utilisation au-dessus du liquide caloporteur dans le bac de débullage 640. Pour cela, le système de refroidissement 600 est muni d'un organe 695 de pilotage de la pression dans lesdites zones 653, 673, 643 configuré pour imposer une pression prédéterminée dans ces zones. En utilisation, les zones 643, 653 et 673 sont donc remplies par un gaz tel que de l'air, à une pression distincte de la pression atmosphérique et imposée par l'organe 695. L'organe 695 comprend par exemple un piston ou une pompe à vide, relié aux zones 653 et 673 par un conduit respectif étanche.

Ici, la pression P_i est la même dans les zones 643, 653 et 673. En variante, l'organe 695 peut être configuré pour imposer des pressions distinctes dans ces zones.

L'invention offre ainsi un système de refroidissement laser offrant un débit réglable et stable dans la cuve destinée à recevoir le milieu amplificateur laser à refroidir. Ce débit est obtenu grâce à un système de gestion d'altitudes de surfaces libres, permettant de découpler le débit de liquide caloporteur arrivant de la pompe du débit de liquide caloporteur entrant dans la cuve.

L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits ci-dessus, et de nombreux autres modes de réalisation et variantes peuvent être mis en œuvre sans sortir du cadre de l'invention, en particulier en combinant deux ou plus des exemples décrits ci-dessus.

L'invention couvre également des variantes dans lesquelles le bac de débullage et le réservoir amont sont formés ensemble par un seul et même réservoir. En tout état de cause, lorsque le bac de débullage et le réservoir amont sont distincts l'un de l'autre, la forme, la profondeur et l'altitude du bac de débullage sont compatibles avec une altitude maximale et une altitude minimale de la surface libre du liquide caloporteur dans le réservoir amont, pour permettre que l'altitude de surface libre du liquide caloporteur

dans le réservoir amont et l'altitude de surface libre du liquide caloporteur dans le bac de débullage puissent rester les mêmes.

L'invention couvre également des variantes dans lesquelles un tuyau d'évacuation de la surverse avale est distinct d'un conduit intermédiaire appartenant au circuit hydraulique selon l'invention.

Selon d'autres variantes encore, la cuve peut comporter un unique hublot, ou plus de deux hublots.

Dans les exemples représentés, le réservoir amont se trouve directement en amont de la cuve, sans réservoir intercalaire entre les deux, avec simplement un conduit intermédiaire qui relie une sortie du réservoir amont et une entrée dans la cuve. De même, le réservoir aval se trouve directement en aval de la cuve, sans réservoir intercalaire entre les deux, avec simplement un conduit intermédiaire qui relie une sortie de la cuve et une entrée dans le réservoir aval. En variante, le système de refroidissement selon l'invention peut comporter un ou plusieurs réservoirs annexes, disposés entre le réservoir amont et la cuve et/ou entre la cuve et le réservoir aval, et destinés à être entièrement remplis de liquide caloporteur, en utilisation. De tels réservoirs peuvent former des masses thermiques, pour homogénéiser encore plus la température du liquide caloporteur avant son passage dans la cuve.

Les différents bacs et réservoirs peuvent présenter des formes quelconques, en particulier avec un fond non plan, et/ou non horizontal. Le dispositif de régulation thermique peut être placé à d'autres emplacements que celui donné en exemple, par exemple dans le bac de débullage, ou dans le réservoir amont, ou dans un conduit intermédiaire tel que celui qui relie la cuve au réservoir aval. Le dispositif de régulation thermique doit simplement se trouver en aval de la pompe et en amont du bac de récupération, dans le sens de circulation du liquide caloporteur depuis un orifice de sortie du liquide caloporteur hors du bac de récupération 110 jusqu'à un orifice de retour du liquide caloporteur dans le bac de récupération 110, où le bac de récupération 110 forme un réservoir d'où le liquide caloporteur est extrait par une pompe.

Dans chacun des modes de réalisation de l'invention, une surverse est reliée à un tuyau d'évacuation permettant d'évacuer un excédent de liquide caloporteur dans le

réservoir correspondant. Ledit tuyau d'évacuation débouche ici dans le bac de récupération. En variante, il peut déboucher dans un autre bac du circuit selon l'invention dans lequel le liquide caloporteur présente une surface libre.

- 5 L'invention trouve une application dans le domaine des lasers à solide de forte énergie et à puissance moyenne élevée, devant présenter une très bonne qualité de faisceau.

REVENDICATIONS

1. Système de refroidissement (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500A ; 500B ; 600) d'un milieu amplificateur laser (30), comprenant un circuit agencé en boucle fermée et configuré pour, en utilisation, recevoir un liquide caloporteur (20) en circulation, ledit circuit comprenant une cuve (160 ; 460 ; 560) munie d'au moins un hublot (163, 164 ; 563, 564), et configurée pour, en utilisation, recevoir le milieu amplificateur laser (30) immergé dans le liquide caloporteur (20), caractérisé en ce que ledit circuit comprend en outre :

- un réservoir amont (150 ; 250 ; 450 ; 550 ; 650), configuré pour, en utilisation, contenir du liquide caloporteur (20) entre un fond dudit réservoir amont et une surface libre (S1) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont ;

- une surverse amont (155 ; 255 ; 355), agencée dans le réservoir amont et munie d'une ouverture d'évacuation (157 ; 257 ; 357 ; 557A ; 557B ; 657) qui définit, en utilisation, une altitude de la surface libre (S1) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont ;

- un réservoir aval (170 ; 370 ; 470 ; 570 ; 670), configuré pour, en utilisation, contenir du liquide caloporteur (20) entre un fond dudit réservoir aval et une surface libre (S2) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir aval ;

- une surverse aval (175), agencée dans le réservoir aval et munie d'une ouverture d'évacuation (177 ; 477 ; 677) qui définit, en utilisation, une altitude de la surface libre (S2) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir aval ;

avec les réservoirs amont et aval disposés de sorte qu'en utilisation, le liquide caloporteur traverse successivement le réservoir amont, la cuve et le réservoir aval ;

et en ce que l'un au moins parmi le réservoir amont (150 ; 250 ; 450 ; 550 ; 650), le réservoir aval (170 ; 370 ; 470 ; 570 ; 670), l'ouverture d'évacuation (157 ; 257 ; 357 ; 557A ; 557B ; 657) de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation (177 ; 477 ; 677) de la surverse aval, est monté réglable en altitude.

2. Système de refroidissement (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500A ; 500B ; 600) selon la revendication 1, dans lequel l'une au moins parmi la surverse amont et la surverse aval comporte un conduit télescopique (156') ou un conduit repliable en accordéon (156), monté solidaire de son ouverture d'évacuation (157' ; 157).

5

3. Système de refroidissement (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500A ; 500B ; 600) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'un au moins parmi le réservoir amont (150 ; 250 ; 450 ; 550 ; 650) et l'ouverture d'évacuation (157 ; 257 ; 357 ; 557A ; 557B ; 657) de la surverse amont, et l'un au moins parmi le réservoir aval (170 ; 370 ; 470 ; 570 ; 670) et l'ouverture d'évacuation (177 ; 477 ; 677) de la surverse aval, sont montés réglables en altitude.

10

4. Système de refroidissement (100 ; 500A) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'ouverture d'évacuation (157 ; 557A) de la surverse amont et l'ouverture d'évacuation (177) de la surverse aval sont montées chacune réglables en altitude, indépendamment l'une de l'autre.

15

5. Système de refroidissement (300 ; 400 ; 500B) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'une au moins parmi l'ouverture d'évacuation (477) de la surverse aval et l'ouverture d'évacuation de la surverse amont est montée réglable en altitude, et dans lequel le réservoir amont (350 ; 450 ; 550) et le réservoir aval (370 ; 470 ; 570) sont reliés fixement entre eux et montés ensemble réglables en altitude.

20

6. Système de refroidissement (400) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, muni d'un dispositif d'ajustement du débit qui comporte :

25

- un débitmètre (41), pour mesurer un débit de liquide caloporteur dans le circuit, entre le réservoir amont (450) et le réservoir aval (470) ;

- un calculateur (42), configuré pour recevoir en entrée une valeur de consigne (Vc) et une valeur mesurée (Vm) du débit de liquide caloporteur, où ladite valeur mesurée

(Vm) est fournie par le débitmètre (41), pour comparer la valeur de consigne et la valeur mesurée, et pour en déduire une commande d'ajustement du débit (Cd) ; et

- un actuateur (43), configuré pour piloter l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont (450), le réservoir aval (470), l'ouverture d'évacuation de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation (477) de la surverse aval, en réponse à la réception de la commande d'ajustement du débit (Cd).

7. Système de refroidissement (500A) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, muni d'un dispositif d'ajustement de la pression qui comporte :

- un capteur de pression (51A), pour mesurer une pression dans le circuit, entre le réservoir amont (550) et le réservoir aval (570) ;

- un calculateur (52A), configuré pour recevoir en entrée une valeur (V'c) de consigne et une valeur mesurée (V'm) de pression, où ladite valeur mesurée (V'm) est fournie par le capteur de pression (51A), et pour fournir en sortie une commande d'ajustement de la pression (Cp) ; et

- un actuateur (53A), configuré pour piloter l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont (550) et l'ouverture d'évacuation (557A) de la surverse amont, en réponse à la réception de la commande d'ajustement de la pression (Cp).

8. Système de refroidissement (500B) selon la revendication 5, muni d'un dispositif d'ajustement de la pression qui comporte :

- un capteur de pression (51B), pour mesurer une pression dans le circuit, entre le réservoir amont (550) et le réservoir aval (570) ;

- un calculateur (52B), configuré pour recevoir en entrée une valeur (V'c) de consigne et une valeur mesurée (V'm) de pression, où ladite valeur mesurée (V'm) est fournie par le capteur de pression (51B), et pour fournir en sortie une commande d'ajustement de la pression (Cp) ; et

- un actuateur (53B), configuré pour piloter les altitudes des réservoirs amont (550) et aval (570) reliés fixement entre eux, en réponse à la réception de la commande d'ajustement de la pression (Cp).

5 **9.** Système de refroidissement (600) selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre un organe (695) de pilotage d'une pression dans un gaz, pour piloter au moins une pression parmi une pression dans le réservoir amont (650) et une pression dans le réservoir aval (670).

10 **10.** Système de refroidissement (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500A ; 500B ; 600) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel ledit circuit comprend en outre un bac de récupération (110), un dispositif de régulation thermique (130), et une pompe (120), la pompe étant configurée pour, en utilisation, propulser le liquide caloporteur le long de l'axe de la gravité et dans la direction opposée à la force de gravité, depuis le bac de récupération (110) jusqu'au-delà du dispositif de régulation thermique (130).

15 **11.** Procédé de réglage mis en œuvre dans un système de refroidissement (100 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500A ; 500B ; 600) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il comprend un ajustement de l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont (150 ; 250 ; 450 ; 550 ; 650), le réservoir aval (170 ; 370 ; 470 ; 570 ; 670), l'ouverture d'évacuation (157 ; 257 ; 357 ; 557A ; 557B ; 657) de la surverse amont, et l'ouverture d'évacuation (177 ; 477 ; 677) de la surverse aval, de manière à ajuster
20 l'altitude (H1) de la surface libre (S1) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont relativement à l'altitude (H2) de la surface libre (S2) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir aval, et ainsi ajuster un débit de liquide caloporteur dans la cuve (160 ; 460 ; 560).

25 **12.** Procédé de réglage selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre dans un système de refroidissement (100 ; 200 ; 500A) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, et en ce qu'il comprend en outre un ajustement de l'altitude de l'un au moins parmi le réservoir amont (150 ; 250 ; 550) et l'ouverture d'évacuation (157 ; 257 ; 557A) de la surverse amont, de manière à ajuster l'altitude relativement à la cuve de

la surface libre (S1) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont, et ainsi ajuster une pression à l'intérieur de la cuve (160 ; 560).

- 5 **13.** Procédé de réglage selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre dans un système de refroidissement (300 ; 400 ; 500B) selon la revendication 5, et en ce qu'il comprend en outre un ajustement des altitudes des réservoirs amont (350 ; 450 ; 550) et aval (370 ; 470 ; 570) reliés fixement entre eux, de manière à ajuster l'altitude relativement à la cuve de la surface libre (S1) du liquide caloporteur (20) dans le réservoir amont, et ainsi ajuster une pression à l'intérieur de la cuve sans modifier un
- 10 débit de liquide caloporteur dans la cuve.

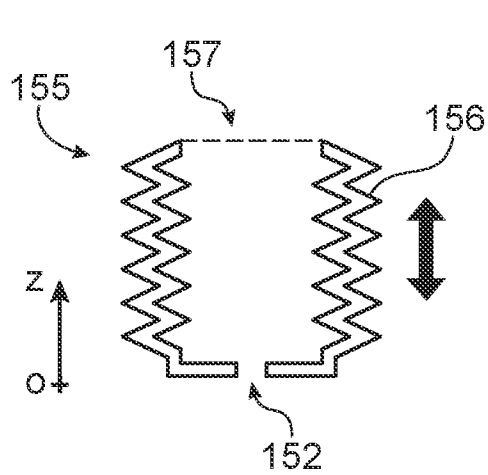
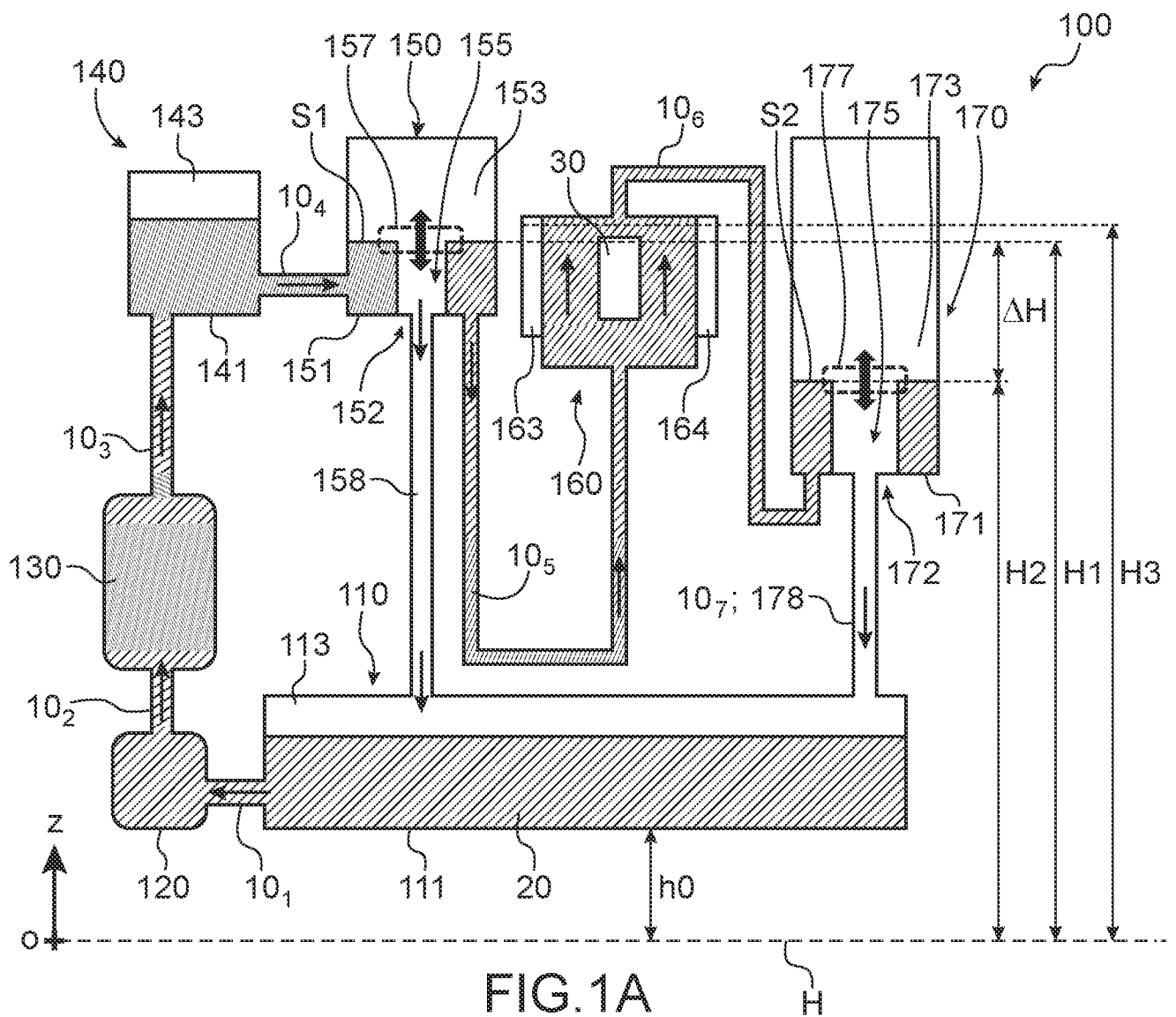


FIG. 1B

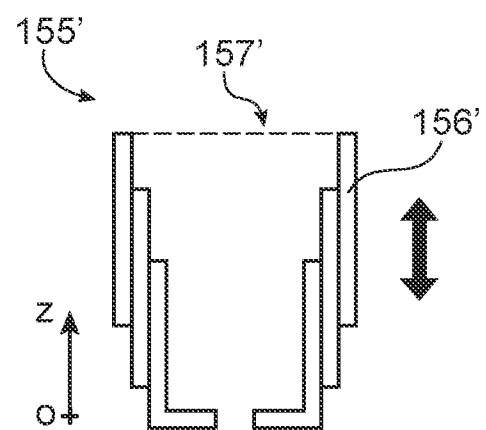
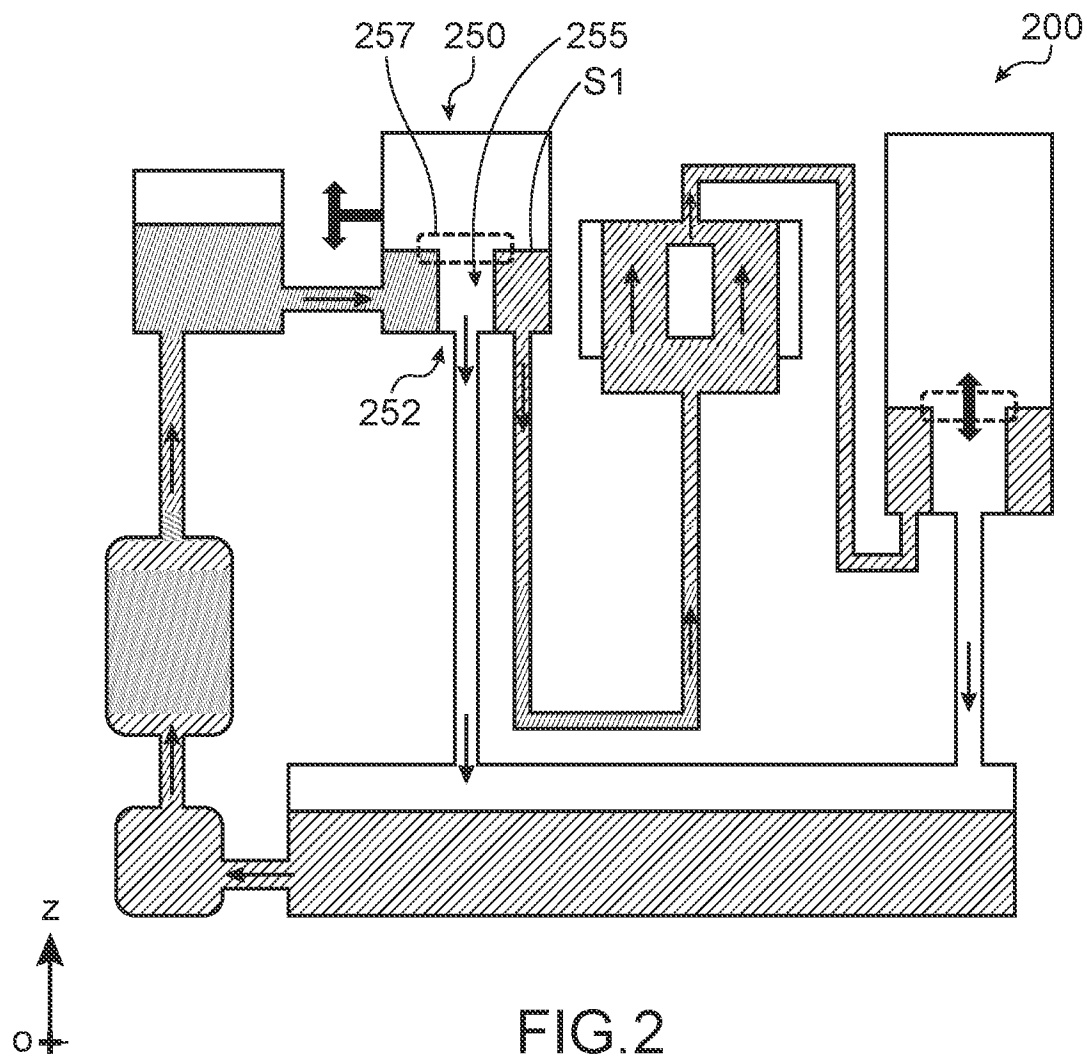


FIG. 1C



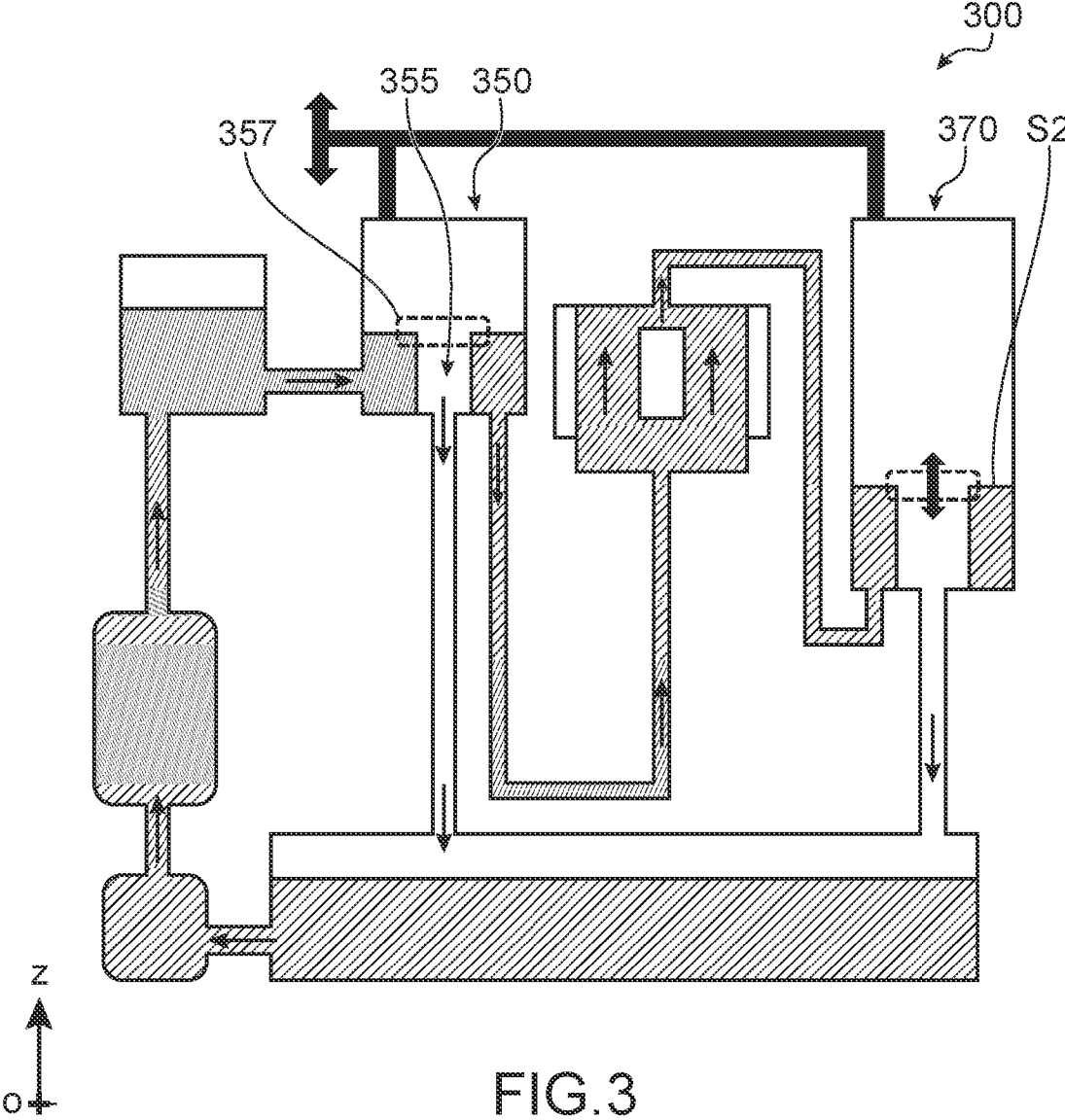
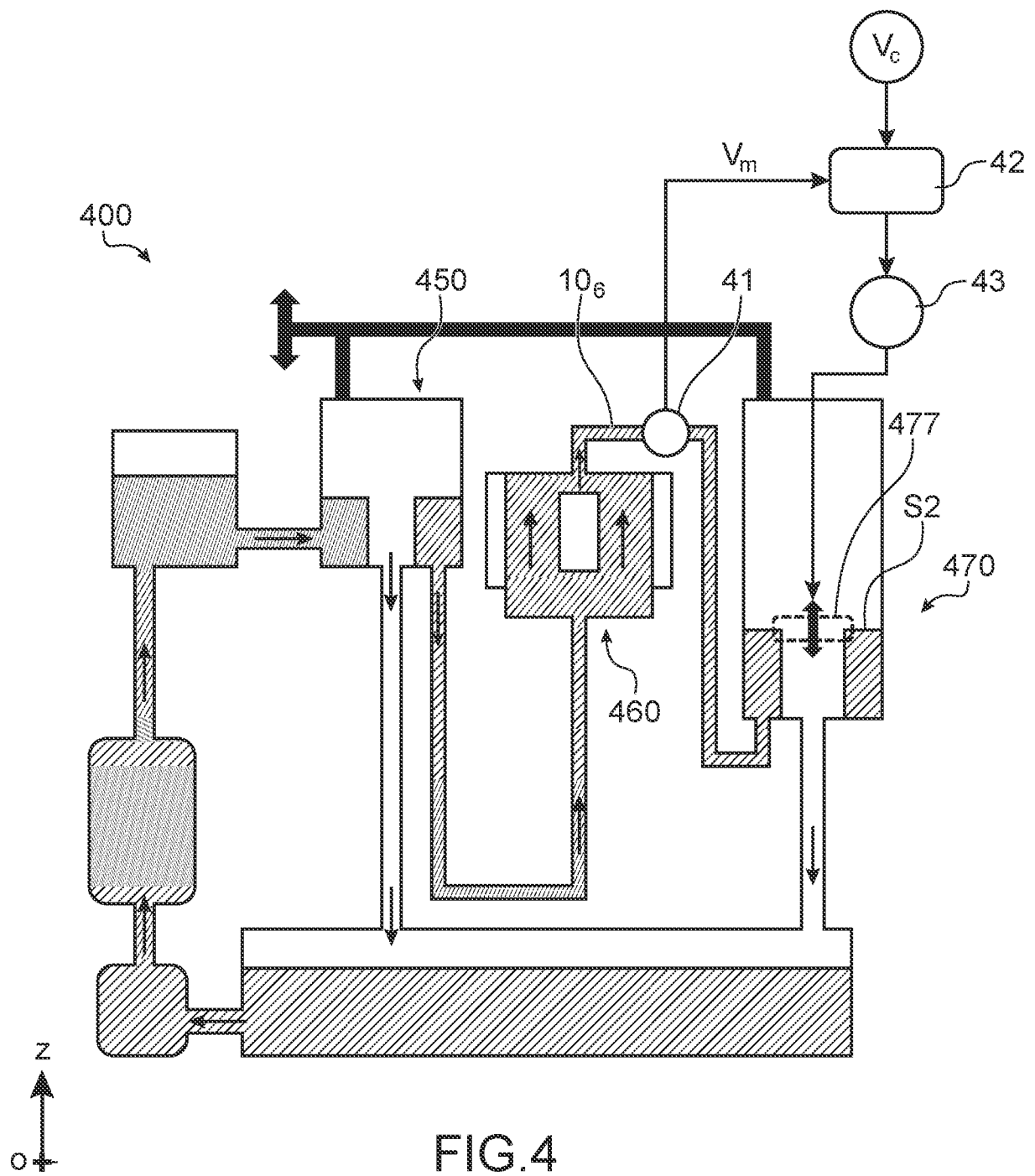


FIG.3

4/7



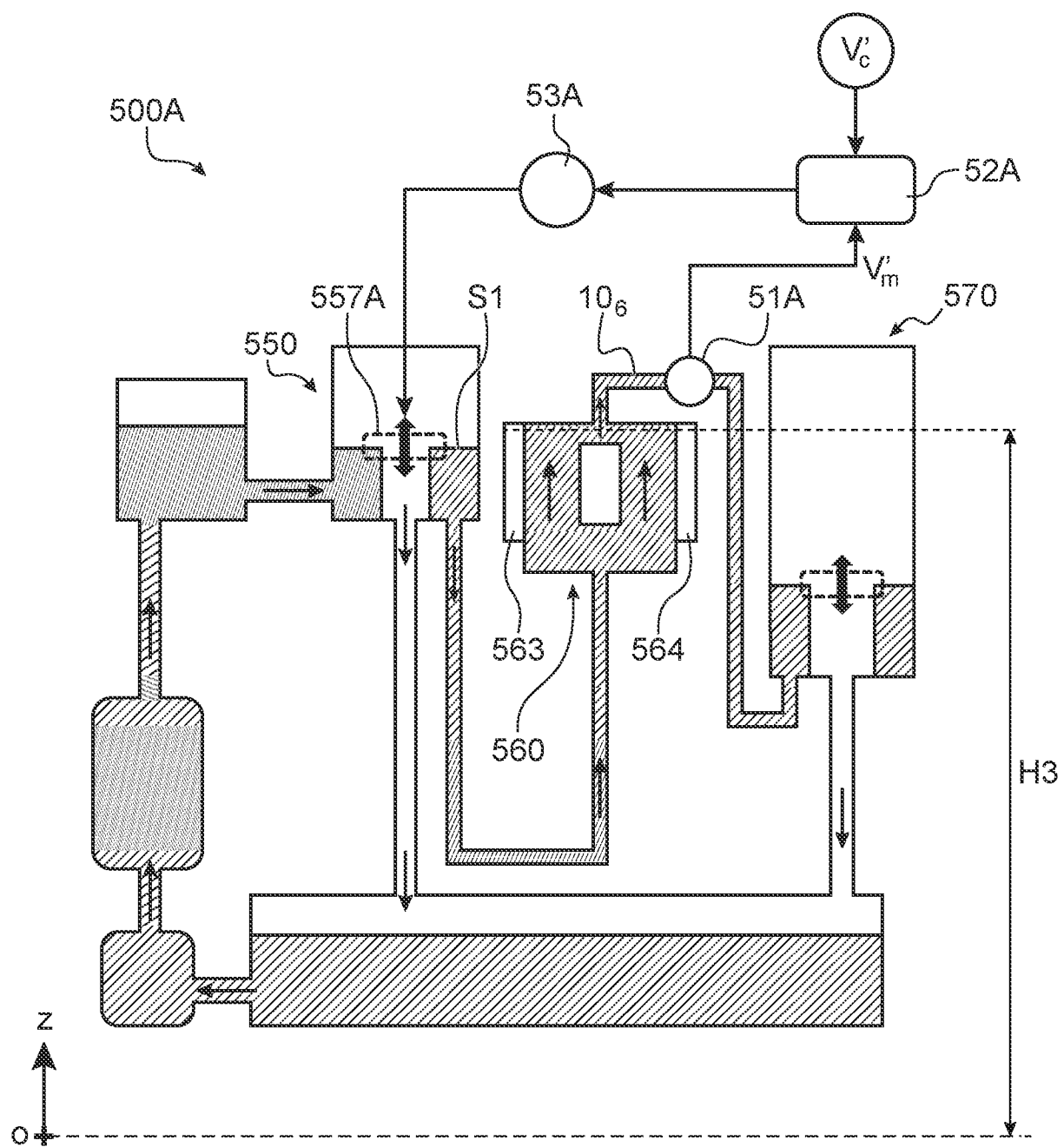


FIG. 5A

6/7

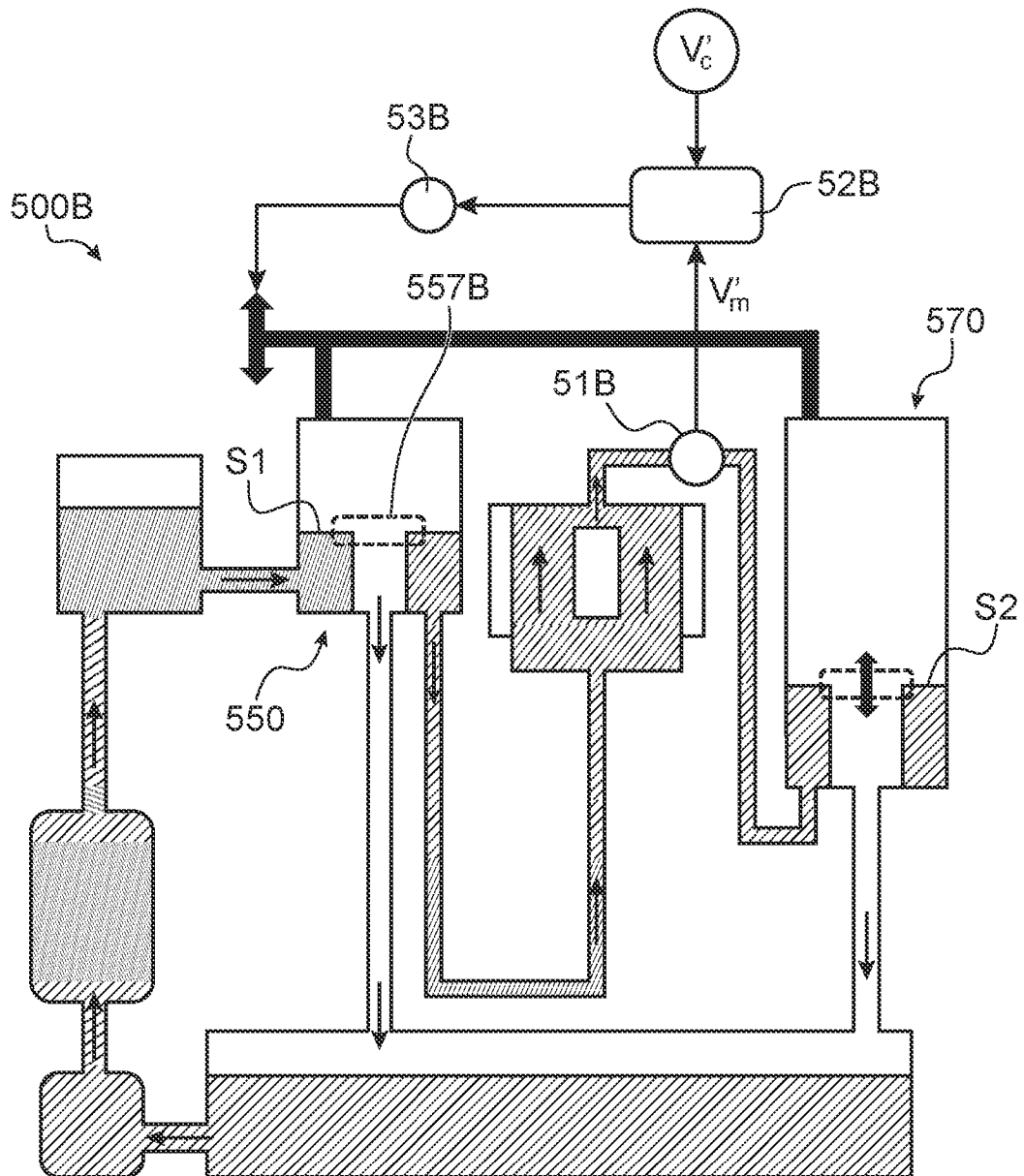


FIG.5B

7/7

