

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 23.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : Nantes Université Etablissement
public à caractère scientifique, culturel et professionnel
— FR.

72 Inventeur(s) : GARNIER Sébastien.

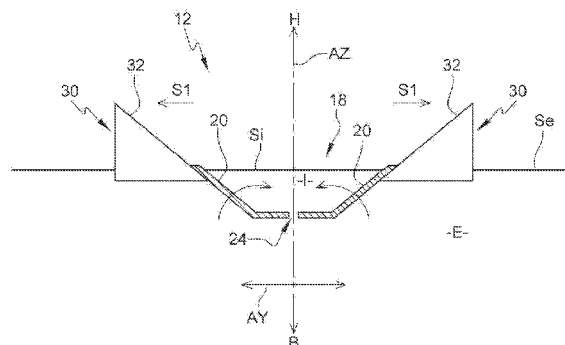
73 Titulaire(s) : Nantes Université Etablissement public à
caractère scientifique, culturel et professionnel.

74 Mandataire(s) : NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.

54 **SYSTEME DE STOCKAGE D'ÉNERGIE SOUS FORME POTENTIELLE EN MILIEU MARIN A ACTIONNEMENT
DE RECHARGE OPTIMISÉ.**

57 La présente invention concerne un système (12) de
stockage d'énergie sous forme potentielle, comprenant : -
une cuve (18), à densité égale ou supérieure à la densité de
l'eau environnante (E) dans laquelle est prévue de baigner,
comprenant : -- une paroi (20) délimitant une enceinte inté-
rieure (I) dans laquelle peut être stocké un volume intérieur
d'eau; -- un orifice admission d'eau (22) et un orifice de dé-
charge d'eau (24) pour autoriser un passage d'eau dans et
hors de l'enceinte intérieure; -- des moyens de pilotage en
élévation de la cuve (18) suivant une direction verticale (AZ)
comprenant : -- un premier lot de flotteurs (30) en périphérie
de cuve (18) formant interface de flottaison entre cette cuve
(18) et l'étendue d'eau environnante (E), et -- un actionneur
(34) de déplacement de ces flotteurs pour rapprocher ou
éloigner les flotteurs (30).

Figure pour l'abrégé : Figure 5a



Description

Titre de l'invention : SYSTEME DE STOCKAGE D'ÉNERGIE SOUS FORME POTENTIELLE EN MILIEU MARIN A AC- TIONNEMENT DE RECHARGE OPTIMISÉ

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'hydroélectricité. Elle concerne plus particulièrement un système de stockage d'énergie sous forme potentielle pour la convertir en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique en milieu marin.

ARRIERE-PLAN TECHNIQUE

- [0002] Il existe cinq sources d'énergie renouvelable : les énergies hydrauliques, éoliennes, solaires, de biomasses et géothermiques.
- [0003] L'énergie hydraulique offre la possibilité d'être stockée sous forme d'énergie potentielle de pesanteur, permettant de la convertir au besoin en électricité. Il s'ensuit une capacité de modulation de la production électrique en fonction de la demande.
- [0004] En pratique, l'énergie hydraulique est successivement transformée en énergie mécanique, moyennant la libération de l'eau sous la forme d'une chute passant à travers une turbine hydraulique, puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice électrique reliée à la turbine.
- [0005] Il existe un grand nombre de dispositifs à destination de la production hydroélectrique, mais la solution majoritairement retenue réside dans l'implantation de barrages. Tributaires de la topologie, on retrouve ces barrages sur les cours d'eau ou établis en travers d'une vallée pour transformer un site naturel approprié en réservoir d'eau.
- [0006] Cependant, nonobstant leur difficulté d'intégration et leur impact écologique non négligeable, les barrages souffrent d'une limitation en capacité de production hydroélectrique liée aux réserves d'eau disponibles.
- [0007] Récemment il a été proposé des centrales hydroélectriques placées en milieu marin, dit « offshore », qui exploitent l'énergie des océans. Comme il est compris, ces centrales ne souffrent pas d'une limitation en réserve d'eau disponible.
- [0008] Certaines de ces centrales hydroélectriques en milieu marin dites gravitaires génèrent un stockage d'énergie sous forme potentielle moyennant :
- une immersion d'un bassin dans l'eau pour le remplir ; et
 - une élévation du bassin pour créer un différentiel de hauteur qui génère une chute d'eau exploitable pour la génération d'électricité. Cette solution est notamment connue du document KR102287189B1 qui prévoit d'équiper un tel bassin d'un ballast destiné à être rempli ou vidangé d'eau de mer pour faire varier la hauteur du bassin.

[0009] Néanmoins, même si ces centrales hydroélectriques placées en milieu marin octroient des avantages certains, elles présentent généralement un rendement de fonctionnement qui est significativement inférieur à celui des barrages au regard des faibles hauteurs et débits d'eau générés. De surcroît, l'utilisation d'un ballast actionné requiert de prélever une partie de l'énergie hydroélectrique générée pour soulever l'eau contenue dans le bassin.

[0010] Il s'ensuit que le retour sur investissement est incertain, en particulier en prenant en considération également les coûts d'installation et de maintenance induits par cette architecture.

[0011] Le but de l'invention est de proposer une solution de stockage d'énergie sous forme potentielle en milieu marin qui permet de restituer assez d'énergie pour justifier son intégration.

Exposé de l'invention

[0012] À cet effet, l'invention a pour objet un système de stockage d'énergie sous forme potentielle en milieu marin comprenant :

- une cuve, prévue pour baigner dans une étendue d'eau environnante qui est définie en surface par une hauteur limnimétrique d'eau extérieure, cette cuve comprenant :
 - une paroi qui délimite une enceinte intérieure de cuve dans laquelle peut être stocké un volume intérieur d'eau de manière isolée de l'étendue d'eau environnante ;
 - un orifice admission d'eau qui autorise un passage d'eau dans l'enceinte intérieure depuis l'étendue d'eau environnante pour constituer le volume intérieur d'eau ;
 - un orifice de décharge d'eau au travers duquel le volume intérieur d'eau peut être vidangé hors de l'enceinte intérieure ;
- des moyens de pilotage en élévation de la cuve suivant une direction verticale haut-bas qui est normale à la surface d'étendue d'eau environnante, ces moyens de pilotage étant configurés pour sélectivement monter, descendre et maintenir la cuve verticalement par rapport à la surface d'étendue d'eau environnante, de manière à permettre :
 - un remplissage de l'enceinte intérieure en eau par descente de la cuve à un niveau dans lequel l'orifice d'admission rencontre l'étendue d'eau environnante ; et
 - de générer un différentiel de hauteur d'eau entre l'étendue d'eau environnante et le volume intérieur d'eau, par montée de la cuve ;
 dans lequel :
 - la cuve comporte une densité égale ou supérieure à la densité de l'eau pour permettre à cette cuve de descendre à vide dans l'étendue d'eau environnante ; et
 - les moyens de pilotage en élévation de la cuve comportent un premier lot de flotteurs disposés en périphérie de cuve pour former chacun une interface de flottaison

entre la cuve et l'étendue d'eau environnante, et un actionneur de déplacement de ces flotteurs suivant une direction radiale, dont :

- chaque flotteur du premier lot de flotteurs comportant une surface d'appui contre une portion respective de la paroi de cuve pour former un effet de coin en coopération avec la cuve ;
- l'actionneur est adapté pour déplacer radialement les flotteurs du premier lot de flotteurs en les rapprochant ou les éloignant radialement les uns des autres de manière à induire une montée de la cuve par soulèvement de celle-ci par les flotteurs quand ils se rapprochent ou induire une descente de la cuve par éloignement des flotteurs.

[0013] L'invention concerne également un système de stockage d'énergie ainsi défini, dans lequel :

- la cuve présente une forme évasée ; et
- la surface d'appui respective des flotteurs du premier lot est inclinée en regard de la paroi de cuve.

[0014] L'invention concerne également un système de stockage d'énergie ainsi défini, dans lequel :

- la cuve présente une forme tronconique ; et
- les flotteurs du premier lot ont une forme trapézoïdale et leur surface d'appui est à contour en arc de cercle qui correspond au négatif de la paroi.

[0015] L'invention concerne également un système de stockage d'énergie ainsi défini, comprenant un dispositif de rétention en déplacement radial des flotteurs du premier lot, qui n'autorise pas un éloignement des flotteurs du premier lot de flotteurs durant une montée de la cuve exercée par l'actionneur.

[0016] L'invention concerne également un système de stockage d'énergie ainsi défini, dans lequel le dispositif de rétention comprend pour chaque couple formé d'un flotteur du premier lot et de la paroi de cuve :

- une crémaillère et un pignon à capacité de rotation dont l'un équipe le flotteur et l'autre équipe la cuve, la crémaillère et le pignon étant engrenés ensemble le long de la course de déplacement relatif du flotteur par rapport à la paroi de cuve ; et
- un dispositif de blocage sélectif en rotation du pignon qui bloque une rotation du pignon dans un sens opposé au sens défini lors de la montée de la cuve quand les flotteurs du premier lot sont rapprochés les uns des autres.

[0017] L'invention concerne également un système de stockage d'énergie ainsi défini, dans lequel l'actionneur comporte :

- une pluralité de câbles d'ancrage ;
- un deuxième lot de flotteurs disposés radialement autour des flotteurs du premier lot, chaque flotteur du premier lot coopérant avec un flotteur du deuxième lot par l'intermédiaire d'au moins un câble de la pluralité de câbles d'ancrage ;

- un système d'enroulement de câble prévu pour piloter la longueur des câbles d'ancrage ;
 - une plateforme maintenue en deçà verticalement de la cuve et des flotteurs, et dont la position est indépendante des variations de hauteur de la cuve, par exemple fixée sur une surface de fond de l'étendue d'eau environnante ;
- dans lequel chaque câble d'ancrage relie un flotteur du deuxième lot à la cuve en s'étendant successivement depuis le flotteur du deuxième lot :
- verticalement vers le bas pour rejoindre la plateforme ;
 - radialement vers la cuve en étant retenu au niveau de la plateforme ;
 - en formant une rampe à composante verticale et radiale jusqu'à rejoindre le flotteur du premier lot correspondant ; et
 - en chevauchant ce flotteur du premier lot.

[0018] L'invention concerne également un système de stockage d'énergie ainsi défini, dans lequel l'actionneur comporte en outre un système d'enroulement de câble prévu pour piloter la longueur des câbles d'ancrage, ce système d'enroulement de câbles comprenant des tambours intégrés chacun dans un flotteur respectif du deuxième lot de flotteurs.

[0019] L'invention concerne également une centrale hydroélectrique comprenant :

- un système de stockage d'énergie sous forme potentielle ainsi défini ;
- une turbine hydraulique reliée à l'orifice de décharge pour générer une énergie mécanique au passage de l'eau vidangée de l'enceinte intérieure de cuve ;
- une génératrice qui coopère avec la turbine hydraulique pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.

[0020] L'invention concerne également une centrale hydroélectrique ainsi définie, comprenant une structure dont la position est indépendante des variations de hauteur de la cuve, dans laquelle :

- la turbine hydraulique et la génératrice sont installées fixement sur cette structure ;
- et
- une conduite à longueur variable qui relie l'orifice de décharge du système de stockage d'énergie à la turbine.

[0021] L'invention concerne également une centrale hydroélectrique ainsi définie, comprenant une pluralité de systèmes de stockage d'énergie, plusieurs conduites à longueur variable associées chacune à un système de stockage d'énergie distinct, une turbine hydraulique et une génératrice ;

dans laquelle les conduites à longueur variable raccordent chacune l'orifice de décharge du système de stockage d'énergie correspondant à une canalisation commune qui alimente la turbine hydraulique.

[0022] L'invention concerne également une centrale hydroélectrique ainsi définie, dans

laquelle la conduite à longueur variable est une conduite télescopique formée de plusieurs tronçons emboîtés et mobiles relativement les uns aux autres.

Brève description des dessins

[0023] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

[Fig.1] est un schéma de principe d'une centrale hydroélectrique selon un mode de réalisation de l'invention, comprenant une turbine hydraulique, une génératrice électrique liée à la turbine et un système de stockage d'énergie sous forme potentielle comprenant une cuve verticalement déplaçable dans une étendue d'eau environnante et munie d'une voie de décharge qui débouche sur la turbine ;

[Fig.2] est un graphique comparatif illustrant à iso-volume de liquide contenu dans un contenant la variation de hauteur de liquide en fonction de la forme cylindrique ou conique du contenant ;

[Fig.3] est un schéma de cône discrétisé illustrant la variation de volume en fonction de la hauteur d'eau contenue ;

[Fig.4] illustre l'évolution d'un différentiel de hauteur en fonction des variations de hauteur d'eau contenue dans la cuve et d'élévation de cuve par rapport à la surface d'eau environnante.

[Fig.5a] représente en sections radiale et verticale le système de stockage d'énergie comprenant une cuve à contour tronconique et un premier lot de flotteurs déplaçables relativement à la cuve pour piloter son élévation par rapport au selon un mode préféré de l'invention, et qui illustre un mode d'actionnement descente de cuve ;

[Fig.5b] représente en section le système de stockage d'énergie correspondant à celui de la [Fig.5a], en illustrant un mode d'actionnement des flotteurs du premier lot en élévation de cuve ;

[Fig.5c] correspond à une vue projetée radiale de la cuve et centrée sur un flotteur de premier lot du système de stockage d'énergie des figures 5a et 5b, qui illustre un arrangement de dispositif de rétention de flotteur du premier lot pour sélectivement autoriser ou interdire leur déplacement ;

[Fig.6a] et [Fig.6b] représentent en sections radiale et verticale le système de stockage d'énergie équipé d'un actionneur de déplacement des flotteurs selon un mode de réalisation de l'invention, comprenant un deuxième lot de flotteurs et des câbles d'ancrage ;

[Fig.6c] illustre un exemple d'aménagement d'un système de pilotage de la longueur de câble d'ancrage ;

[Fig.7a] et [Fig.7b] représentent des vues en section radiale du système de stockage

en correspondance respectivement des figures 5a et 5b, et qui illustrent le comportement d'une conduite d'acheminement télescopique qui relie la cuve à la turbine au sein d'une centrale hydroélectrique selon un mode de réalisation de l'invention ; [Fig.8a] représente en section verticale une centrale hydroélectrique selon une première variante de réalisation de l'invention, qui comporte une turbine hydraulique, une génératrice électrique liée à la turbine, et trois systèmes de stockage d'énergie sous forme potentielle qui alimentent une conduite commune raccordée à la turbine ; [Fig.8b] représente en section verticale une centrale hydroélectrique selon une deuxième variante de réalisation de l'invention, qui comporte une turbine hydraulique, une génératrice électrique liée à la turbine, et cinq systèmes de stockage d'énergie sous forme potentielle qui alimentent une conduite commune raccordée à la turbine ; [Fig.9a] est un tableau de cycle d'exploitation de la centrale hydroélectrique à trois systèmes de stockage d'énergie conformément à la [Fig.8a], en fonction de la marée ; [Fig.9b] est à tableau de cycle d'exploitation de la centrale hydroélectrique à cinq systèmes de stockage de la [Fig.8b], en fonction de la marée.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- [0024] Dans la description qui va suivre, des éléments identiques, similaires ou analogues seront désignés par les mêmes chiffres de référence.
- [0025] L'idée à la base de l'invention repose sur la volonté de proposer une centrale hydroélectrique maritime qui permet un stockage optimisé de l'énergie sous forme d'énergie potentielle pour la convertir en énergie électrique, à l'instar d'un barrage sans toutefois être soumis à une limitation d'eau disponible.
- [0026] Une centrale hydroélectrique selon un premier mode de réalisation de l'invention, repérée par 10 sur la [Fig.1], comprend un système de stockage d'énergie 12, une turbine hydraulique 14 et une génératrice 16.
- [0027] Le système de stockage d'énergie 12 comporte une cuve 18 prévue pour baigner dans une étendue d'eau environnante E qui est définie en surface Se par une hauteur limnimétrique d'eau environnante He.
- [0028] Dans la suite on adoptera à titre non limitatif des orientations verticales et radiales liées à la cuve 18 et repérées respectivement par les axes AZ et AY. A noter que l'orientation verticale coïncide avec la direction normale à la surface Se d'étendue d'eau environnante E. La direction radiale est définie comme une direction orthogonale à la direction radiale. Aussi, les termes « bas » B et « haut » H sont à considérer selon la direction verticale, avec le bas orienté vers le fond de l'étendue d'eau environnante E à l'emplacement de la cuve.
- [0029] La cuve 18 comprend une paroi 20 qui délimite radialement une enceinte intérieure I de cuve et dans laquelle peut être contenu un volume intérieur d'eau.

- [0030] A noté que l'enceinte intérieure I est naturellement maintenue à pression atmosphérique par le biais d'une ouverture formée dans la paroi 20 à cette fin. Avantageusement, la paroi 20 délimite en sommet de cuve une telle ouverture, dit de la section verticale de cuve la plus élevée, comme illustrée à la [Fig.1] et repérée par 22.
- [0031] Cette cuve 18 comprend une ouverture dite d'admission d'eau, formée au travers de la paroi 20, qui autorise un passage d'eau dans l'enceinte intérieure I depuis l'étendue d'eau environnante E pour constituer le volume intérieur d'eau. Comme il est compris, le volume intérieur d'eau correspond à une portion extraite de l'eau environnante E.
- [0032] Cet orifice d'admission peut être équipé d'une restriction, comme un clapet anti-retour, pour empêcher une circulation d'eau inverse, à savoir depuis l'enceinte intérieure I vers l'étendue d'eau environnante E. A noter que l'ouverture 22 formée en sommet de cuve peut judicieusement servir de voie d'admission sans nécessiter de restriction.
- [0033] Dans la suite, l'ouverture 22 sera assimilée à l'orifice d'admission, mais l'invention n'est pas limitée à cette particularité.
- [0034] Complémentairement, la cuve 18 comprend un orifice de décharge d'eau, repéré par 24 dans l'exemple de la [Fig.1], formé dans la paroi 20 et au travers de laquelle le volume intérieur d'eau peut être vidangé hors de l'enceinte intérieure I.
- [0035] Dans le cadre de l'invention, il est visé de déplacer la cuve 18 suivant la direction verticale AZ, pour être :
- descendue, à savoir déplacée verticalement vers le bas, pour immerger la voie d'admission et ainsi conduire à un remplissage de l'enceinte intérieure I en eau ; et
 - élevée, à savoir déplacée verticalement vers le haut, après remplissage de l'enceinte intérieure.
- [0036] Des rainures peuvent notamment être formées dans la paroi 20 pour permettre une entrée d'eau dans l'enceinte intérieure I par l'ouverture 22 en sommet de cuve sans nécessiter une immersion totale de la cuve 18.
- [0037] Le remplissage de l'enceinte intérieure I est terminé lorsque la surface de l'eau contenue en son sein, notée S_i , est confondue avec la surface S_e de l'étendue d'eau environnante E.
- [0038] L'élévation de la cuve 18 conduit à générer un différentiel de hauteur d'eau, noté ΔH , entre les surfaces S_i et S_e . Le volume d'eau mesuré entre les surfaces S_i et S_e est ainsi chargé en énergie potentielle de gravité.
- [0039] Une fois la cuve élevée, la transformation de l'énergie potentielle en énergie électrique consiste à vidanger, au travers de l'orifice de décharge 24 ce volume d'eau stocké de manière à former une chute d'eau rencontrant la turbine. Au passage dans la turbine 14, du travail mécanique E_m est extrait de l'énergie hydraulique E_h , et est converti dans le même temps en électricité E_e par la génératrice 16 qui coopère avec la

turbine 1.

[0040] **Optimisation énergétique du système de stockage durant la vidange**

[0041] Afin d'augmenter le potentiel de restitution énergétique de la centrale hydro-électrique 10, il est visé, selon un premier aspect de l'invention, de maximiser le différentiel de hauteur ΔH durant le temps associé à la vidange.

[0042] Dans le cadre d'une centrale hydroélectrique selon l'invention, la puissance électrique P générée par la génératrice 16 s'exprime selon l'expression :

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta H \cdot \eta, \text{ avec :}$$

Q désignant le débit d'eau de chute ;
 ρ correspondant à la densité de l'eau ;
 g , la constante gravitationnelle de Newton ; et
 η désignant le ratio de rendement de la turbine hydraulique 14 associée à la génératrice 16.

[0043] Sur la base de cette expression, il est compris que plus le différentiel de hauteur ΔH est important durant la vidange, plus l'énergie électrique générée est élevée.

[0044] A cet égard, une première particularité réside dans la forme de la cuve 18 qui est conformée de sorte à délimiter une enceinte intérieure I qui s'évase à mesure de s'étendre verticalement vers le haut. Avec cet arrangement, l'enceinte intérieure I présente ainsi une aire en section qui croît vers le haut dans la direction verticale.

[0045] Au regard de la [Fig.2] qui illustre, pour une unité de même volume, la variation de hauteur d'un liquide contenu soit dans un cône dont la base circulaire est orientée vers le bas, notée h_{co} , soit dans un cylindre, notée h_{cy} , quand il est purgé à même débit, il est observé que :

- la hauteur de liquide dans le cylindre est proportionnelle au volume, à savoir se comporte sous la forme d'une fonction linéaire ; et
- la hauteur de liquide dans le cône suit une évolution en courbe dont les valeurs sont supérieures à celles mesurées dans le cas du cylindre.

[0046] Il résulte de cette analyse comparative que définir une enceinte intérieure I de cuve 18 en cône, et plus généralement de forme évasée, permet de limiter la chute de hauteur d'eau dans la cuve 18 durant une portion de la vidange. Etant donné que le différentiel de hauteur ΔH est fonction de la hauteur d'eau dans la cuve 18, notée H_i , et de l'élévation de la cuve par rapport à l'étendue d'eau environnante E, il s'ensuit une diminution de différentiel de hauteur ΔH plus lente. Autrement dit, prévoir une forme évasée d'enceinte intérieure I permet, durant une même durée de vidange, de maintenir une génération d'énergie électrique importante plus longtemps par rapport à une enceinte intérieure de forme non évasée. En résultante, une cuve 18 définie selon l'invention permet une génération de puissance électrique supérieure.

- [0047] Afin de maximiser davantage la valeur de différentiel de hauteur ΔH le long de la vidange, il est privilégié selon l'invention d'adopter une forme d'enceinte intérieure I tronconique de révolution d'axe vertical. Cette particularité est illustrée à la [Fig.1]. La paroi 20 de la cuve définit un fond de cuve à contour circulaire 26. Avantageusement, l'orifice de décharge 24 est positionné au niveau de ce fond de cuve pour permettre une vidange maximale de l'eau contenue dans l'enceinte intérieure I le cas échéant.
- [0048] En particulier, la forme de l'enceinte tronconique correspond à un cône dont la majeure partie s'étendant depuis son sommet a été ôtée. Comme il est compris, il est visé ici de conserver uniquement une partie mineure du cône en partant de la base de ce cône, c'est-à-dire inférieure à 50% de la hauteur globale du cône, et avantagement inférieure à 33%. Pour appréhender le gain lié à cette géométrie particulière, il s'agit d'approfondir plus en détail la variation de hauteur d'eau dans un cône moyennant un découpage théorique étagé du volume de liquide contenu dans le cône en plusieurs tronçons de même hauteur, tel que présenté à la [Fig.3]. Cette série de tronçons est bornée par deux tronçons de terminaison, dont un tronçon de début Td situé au plus proche de la base cylindrique du cône, et un tronçon de fin Tf situé au plus proche du sommet du cône. Le tronçon de début Td correspond à l'étage au niveau duquel l'abaissement de la surface de liquide S est observable en premier durant la vidange. Corolairement, l'abaissement de la surface de liquide S en toute fin de vidange est appréciable au niveau du tronçon de fin Tf.
- [0049] Il est directement observable que le volume d'eau V occupé au niveau d'un tronçon considéré est supérieur au volume d'eau occupé au niveau du tronçon directement en deçà. Le volume à purger au niveau de ce tronçon considéré étant plus important qu'il ne l'est au niveau du tronçon en deçà, il s'ensuit une diminution de niveau d'eau qui s'accélère à mesure que la hauteur baisse à iso-débit de vidange.
- [0050] Entendu que le volume d'eau occupé au niveau du tronçon de début Td, repéré par Vd, est le plus grand, la hauteur d'eau en début de vidange varie la plus faiblement. Comme il est compris, conserver uniquement la partie du cône au voisinage de la base pour définir le contour de l'enceinte intérieure I permet de limiter au maximum la chute de niveau d'eau, et donc de maintenir une valeur de différentiel de hauteur ΔH au plus proche de sa valeur maximale quand la cuve est élevée durant la vidange.
- [0051] Conformer la cuve 18 de sorte que son enceinte interne I présente un contour de forme tronconique correspond ainsi au mode de réalisation préféré de l'invention. Pour satisfaire cette condition géométrique, il peut être retenu de former la cuve de forme générale tronconique et de paroi d'épaisseur constante comme dans l'exemple de la [Fig.1].
- [0052] A noter néanmoins, que l'invention n'est pas pour autant limitée à cette forme particulière, tant que celle-ci s'évase à mesure de s'étendre verticalement vers le haut pour

générer un gain en différentiel de hauteur ΔH . A titre d'exemples non limitatifs, la cuve 18 peut être conformée de sorte à délimiter une enceinte interne de forme en tronc de pyramide à base polygonale, ou encore une forme en entonnoir sans sortir du cadre de l'invention.

- [0053] Une deuxième particularité visant à maximiser le différentiel de hauteur ΔH réside dans les moyens utilisés pour élever la cuve 18 durant la vidange.
- [0054] En pratique, pour élever la cuve 18 durant la vidange, il s'agit de générer un effort vertical dirigé vers le haut et d'intensité supérieure à la résultante de poids de la cuve, à savoir supérieure à la somme du poids de la cuve à vide et du poids de l'eau contenue dans l'enceinte intérieure I.
- [0055] A cet égard, il est prévu selon l'invention de recourir à des moyens de flottaison qui génèrent un effort vertical sous l'effet de la poussée d'Archimède. Ils sont notamment définis pour pouvoir soulever la cuve 18 en conditions limites, à savoir lorsque l'enceinte interne I est totalement remplie, pour générer un différentiel de hauteur ΔH quel que soit le volume d'eau contenu dans l'enceinte I.
- [0056] L'utilisation de tel moyens de flottaison est particulièrement judicieuse pour deux aspects :
- [0057] D'une part, entendu que ces moyens de flottaison maintiennent la cuve dans un état d'équilibre par rapport à la surface d'eau environnante Se , ils permettent de générer un différentiel de hauteur ΔH qui n'est pas fonction des variations de hauteur limnimétrique d'eau environnante He pouvant exister, notamment sous l'effet de la marée. La génération d'électricité moyennant une traversée de la turbine 14 par l'eau vidangée n'est donc pas soumise à un quelconque effet parasite de la marée.
- [0058] D'autre part, ces moyens de flottaison permettent également de compenser la chute de niveau d'eau contenue à l'intérieure de l'enceinte I, mesurée à la surface Si , lors de la vidange. En effet, étant donné que le volume d'eau contenue au sein de la cuve 18 diminue le long de la vidange, il en résulte une réduction progressive de masse à soulever. Cette réduction de masse à soulever induit une élévation progressive et spontanée de la cuve à mesure que l'eau est déchargée, sous l'effet de l'effort vertical généré par les moyens de flottaison.
- [0059] Comme il est compris, une compensation de la chute de hauteur d'eau est observée par la remontée de la cuve sous l'effet de la diminution de la masse d'eau contenue dans l'enceinte I, ce qui ne serait pas le cas moyennant l'utilisation de moyens d'élévation de type monte-charge à une valeur de hauteur fixe, indépendante de la surface Se d'eau environnante E.
- [0060] Au vu de ce qui précède, il est prévu selon la premier aspect de l'invention de :
 - conformer l'enceinte intérieure I de la cuve 18 sous la forme d'un évasement vers le haut, avantageusement sous la forme d'un tronc de cône, pour limiter la chute de

hauteur d'eau dans l'enceinte intérieure I durant la vidange ; et

- assurer l'élévation de la cuve 18 par des moyens de flottaison qui génèrent sur la cuve 18 une force d'élévation qui relève la cuve à mesure que l'enceinte intérieure I se vide.

[0061] Cette combinaison permet, moyennant une optimisation en forme de la cuve 18, par exemple de l'angle du tronc de cône en pareil cas, et en effort exercé par les moyens de flottaison, de générer un différentiel de hauteur ΔH à la fois élevé et à tendance constante durant toute ou la majorité de la vidange. Avec cette solution, il est permis de produire de l'énergie électrique à plein potentiel tout le long de la vidange.

[0062] Ce comportement est illustré à la [Fig.4] pour cas d'espèce de vidange d'une durée de six heures pour une cuve dont la hauteur, mesurée entre le fond 26 et l'ouverture 22 formée en sommet de cuve, est de six mètres. Il est observable que l'élévation H_c de la cuve par les moyens de flottaison simultanément à la diminution de la masse totale de la cuve le long du temps t associé à la vidange, permet de compenser la chute de hauteur d'eau H_i dans l'enceinte intérieure I pour tendre vers un différentiel de hauteur ΔH dont la valeur tend à être constante.

[0063] Il est à noter qu'une variation de section de l'orifice de décharge 24 peut être considérée pour apporter une composante supplémentaire à la gestion de l'équilibre du différentiel de hauteur ΔH le long de la vidange.

[0064] De la même manière, il peut être retenu également que l'effort exercé par les moyens de flottaison soit modulable, ces moyens de flottaisons pouvant par exemple prendre la forme de ballasts. Cependant, l'invention n'est pas limitée à cette solution, et permet d'utiliser des flotteurs exerçant une force d'élévation constante.

[0065] **Optimisation énergétique du système de stockage entre deux vidanges**

[0066] Au global, l'énergie électrique produite par la centrale 10 correspond à l'énergie électrique générée E_e à la vidange, à laquelle est ôtée l'énergie à fournir pour effectuer un cycle de descente et de montée de la cuve 18.

[0067] Sur cette base, il est visé selon un deuxième aspect de l'invention de limiter au maximum l'énergie nécessaire à fournir au déplacement vertical de la cuve 18 afin d'augmenter le potentiel de restitution énergétique de la centrale hydroélectrique 10.

[0068] A cet égard, une autre particularité de l'invention réside dans les moyens utilisés pour piloter l'élévation de la cuve suivant la direction verticale par rapport à la surface d'étendue d'eau environnante Se .

[0069] La masse de l'eau contenue dans l'enceinte intérieure I s'oppose en pratique à l'élévation de la cuve 18, et à l'inverse l'absence d'eau dans l'enceinte intérieure I tend à s'opposer à son immersion pour la charger.

[0070] Pour satisfaire cette double condition de descente de la cuve 18 à vide en vue de remplir l'enceinte intérieure I ; et de montée de la cuve 18 contenant de l'eau pour générer le différentiel de hauteur ΔH , le système de stockage d'énergie 12 comporte

des moyens de pilotage en élévation dont :

- la cuve en tant que telle qui est formée à densité égale ou plus élevée que l'eau environnante de manière à pouvoir couler à vide ; et
- un premier lot de flotteurs 30 qui sont déplaçables radialement par rapport à la cuve 18.

[0071] Dans l'exemple des figures 5a et 5b, les flotteurs 30 du premier lot sont radialement disposés en périphérie de la cuve 18, en étant avantageusement espacés deux à deux selon un pas régulier. Ils sont délimités par une coque conformée avec un flan incliné 32. Ce flan incliné 32, prévu pour former une surface d'appui contre la cuve 18, présente avantageusement une forme qui épouse au moins partiellement le contour de la cuve 18 évasée.

[0072] Dans l'exemple des figures 5a et 5b, la cuve 18 a une forme tronconique et les flotteurs 30 du premier lot ont une forme globalement trapézoïdale en présentant chacun un flan 32 de surface conique, à profil en arc de cercle en section verticale, qui correspond au négatif de la paroi 20.

[0073] Ces flotteurs 30 sont déplaçables, radialement suivant des sens S1 et S2 dit d'éloignement et de rapprochement respectivement, entre :

- une première position, illustrée sur la [Fig.5a], dans laquelle ils sont éloignés de manière à autoriser la cuve 18 à s'immerger naturellement pour être remplie ; et
- une deuxième position, illustrée sur la [Fig.5b], dans laquelle ils sont rapprochés pour hisser intégralement ou en partie substantielle au-dessus de la surface niveau de l'eau. Ils sont maintenus dans cette deuxième position dans l'attente d'une vidange et lors de cette étape de vidange.

[0074] Comme il est compris, les flotteurs 30 du premier lot agisse comme des muscles permettant de descendre ou remonter la cuve 18. Dans la deuxième position, étant donné qu'ils maintiennent la cuve 18 en élévation, ils endossent le rôle des moyens de flottaison tels que définis dans le premier aspect de l'invention dédié à l'optimisation énergétique du système de stockage durant la vidange. Ainsi, les flotteurs 30 assurent une double fonction en agissant à la fois en qualité de moyens de flottaison, coopérant avec la cuve 18 pour la maintenir en surface de l'eau environnante, et de moyens d'actionnement pour effectuer un cycle de descente et de montée de cette cuve 18.

[0075] Au vu de ce qui précède, les flotteurs 30 du premier lot sont dimensionnés et conçus de manière à former une interface de flottaison entre la cuve 18 remplie et l'étendue d'eau environnante E.

[0076] Aussi, il visé selon l'invention de déplacer les flotteurs 30 du premier lot dans un mouvement d'ensemble, de façon analogue à un diaphragme, pour répartir la charge et conserver ainsi la maîtrise de l'équilibre.

[0077] Comme il est compris, l'invention tire judicieusement avantage de la forme évasée de

la cuve 18 telle que préconisée dans le premier aspect de l'invention pour la déplacer verticalement moyennant un déplacement radial de flotteurs 30 qui coopèrent avec elle en agissant chacun comme des coins. L'interface entre les flotteurs 30 du premier lot et la cuve 18 forme un plan incliné qui permet de convertir l'effort vertical nécessaire au soulèvement de la cuve remplie en un effort radial nécessaire d'intensité réduite.

- [0078] Avec cette solution, il s'ensuit une limitation de perte en restitution énergétique de la centrale hydroélectrique 10.
- [0079] Il est suggéré selon l'invention de prévoir un système de maintien en position des flotteurs 30 contre la paroi 20 de cuve, à savoir un système qui garantit toujours un contact flotteur-paroi quel que soit le niveau d'élévation de la cuve 18. Un tel système ajoute une composante en sécurité de fonctionnement en évitant un basculement ou une échappée d'un flotteur.
- [0080] Selon une autre particularité, les moyens de pilotage en élévation de la cuve 18 peuvent comprendre un dispositif de rétention radiale 31 qui interdit un déplacement inopiné des flotteurs 30 du premier lot dans le sens S1 d'éloignement lorsqu'il est visé au contraire de procéder à une montée de la cuve 18 et son maintien en position élevée. Ce dispositif agit de sorte à imposer au flotteurs 30 un déplacement uniquement dans le sens S2 en pareil cas.
- [0081] Selon un mode de réalisation préféré, un tel dispositif de rétention 31 peut comprendre, pour chacun des couples formés d'un flotteur 30 et de la paroi 20 contre laquelle il est en appui, au moins une crémaillère 31a, au moins un pignon 31b qui engrène la crémaillère 31a, et un système 31c de blocage sélectif en rotation du pignon 31b.
- [0082] Dans l'exemple de la [Fig.5c], la paroi 20 de cuve 12 est équipée pour chaque flotteur 30 de deux crémaillères 31a verticalement orientées, et complémentaiement les flotteurs 30 sont équipés d'une paire de pignons 31b qui dépassent de part et d'autre pour engrener chacun une des crémaillères 31a. Dans cet exemple, la crémaillère 31a est installée sur la paroi 20 de la cuve 18 tandis que le pignon 31b équipe le flotteur 30 considéré, mais un arrangement inverse peut être retenu sans sortir du cadre de l'invention. Le sens de rotation du pignon 31b est conditionné par le système de blocage sélectif 31c qui autorise uniquement une rotation dans le sens correspondant au déplacement du flotteur dans le sens S2 tel qu'illustré sur la [Fig.5b] durant une étape de montée de la cuve.
- [0083] Avec cet arrangement, le déplacement des flotteurs 30 dans le sens S2 de rapprochement suit une logique incrémentale : tant que système de blocage sélectif 31c n'autorise pas le pignon 31b associé à tourner librement, il empêche la cuve 18 de descendre. Il s'ensuit que le système de stockage d'énergie 12 n'est pas impacté durant le hissage de la cuve 18 en cas d'effort parasite exercé sur un ou plusieurs flotteurs 30

dans le sens opposé au sens S2.

- [0084] Un tel système de blocage sélectif 31c tel que décrit peut-être un système dit actif qui est piloté par servo-commande ou un système passif qui s'active/désactive de façon autonome selon la position relative des flotteurs 30 par rapport à la cuve 18.
- [0085] Il est à noter également que le dispositif de rétention, de par sa fonction, contribue à augmenter le potentiel de restitution énergétique de la centrale hydroélectrique 10. En effet, en bloquant mécaniquement le déplacement radial des flotteurs 30 dans le sens contraire au sens S2, il limite l'effort radial à appliquer sur ces flotteurs 30 au juste nécessaire pour hisser la cuve 18. Autrement dit, le dispositif de rétention permet d'isoler l'actionnement des flotteurs 30 des contraintes parasites extérieures pouvant conduire à devoir appliquer un effort radial plus important pour aboutir à la montée de la cuve.
- [0086] En ce qui concerne l'actionneur de déplacement des flotteurs 30 du premier lot, noté 34, il est configuré pour déplacer les flotteurs 30 du premier lot en exploitant l'énergie marémotrice, à savoir en tirant avantage de la modification naturelle de hauteur H_e de l'étendue d'eau environnante E.
- [0087] Comme il est compris, moyennant cette exploitation d'énergie marémotrice, extérieure au système, il est visé de pouvoir actionner les flotteurs 30 du premier sans lot sans nécessité de prélever l'énergie hydroélectrique générée par la centrale 10 selon l'invention.
- [0088] En référence aux figures 6a et 6b, cet actionneur 34 est formé de l'association de :
- câbles d'ancrage 36 ;
 - un deuxième lot de flotteurs 38 ; et
 - une plateforme sous-marine 40.
- [0089] Les flotteurs 38 du deuxième lot sont disposés radialement autour de la cuve 18 et des flotteurs 30 du premier lot. Ils se présentent sous la forme de boudins et sont avantageusement reliés deux à deux de manière à constituer ensemble une couronne de révolution d'axe vertical.
- [0090] La plateforme sous-marine 40 est maintenue verticalement en deçà de la cuve 18 et des flotteurs 30, 38 des premier et deuxième lots, et dont la position est indépendante des variations de hauteur de la cuve et du déplacement radial des flotteurs 30 du premier lot. En pratique, il est judicieux de fixer cette plateforme 40 au fond T_e de l'étendue d'eau environnante E.
- [0091] En ce qui concerne les câbles d'ancrage 36, ils coopèrent chacun avec un flotteur 30 du premier lot et relient un flotteur 38 du deuxième lot à la cuve 18. Chaque câble 36 s'étend de façon serpentine depuis le flotteur 38 du deuxième lot auquel il est rattaché vers la cuve 18 selon le cheminement suivant :
- il prolonge le flotteur 38 du deuxième lot en plongeant pour rejoindre la plateforme sous-marine 40 ;

- il est retenu le long d'une portion de la plateforme 40 en adoptant une orientation radiale dirigée vers la cuve 18. La plateforme 40 peut être équipée d'une glissière dans laquelle est maintenu le câble, ou d'anneaux au travers desquelles le câble passe ;
 - il remonte en formant une rampe à composante verticale et radiale qui est au moins partiellement parallèle à la paroi 20 de cuve 18 jusqu'à arriver au contact d'une tranche radialement extérieure d'un flotteur 30 du premier lot correspondant ; et
 - il chevauche ledit flotteur 30 du premier lot avant d'être fixé en sommet de cuve 18.
- Il est entendu par chevauchement du flotteur 30 comme le suivi du contour du flotteur situé en dehors de l'eau.

- [0092] D'un point de vue cinématique, en considérant la cuve 18 descendue pour remplissage tel qu'illustré à la [Fig.6a], et les câbles d'ancrage 36 tendus, une hausse de la hauteur de surface Se d'eau environnante sous l'effet conjugué des forces de gravitation de la Lune et du Soleil, tend à faire monter les flotteurs 38. Il est compris que les flotteurs 38 du deuxième lot, qui surnagent en surface Se , sont conduits à suivre la hausse de hauteur d'eau He sous l'effet de la poussée d'Archimède, noté Fa , auxquels sont soumis.
- [0093] Il est à noter que l'actionneur 34 n'est pas limité rigoureusement à cette architecture décrite ci-dessus. Par exemple, plusieurs flotteurs 30 du premier lot peuvent coopérer avec le même flotteur 38 de deuxième lot, ou encore plusieurs flotteurs 38 de deuxième lot peuvent être attribués à l'actionnement d'un même flotteur 30 de premier lot.
- [0094] Cette poussée d'Archimède, auxquels sont soumis par nature les flotteurs 38 du deuxième groupe correspond à une force orientée verticalement vers le haut appliqué en extrémité de câble 36. Elle tend en réaction à tirer sur l'autre extrémité des câbles d'ancrage 36, qui est reliée à la cuve 18. Le cheminement serpentin particulier des câbles 36 convertit alors cet effort de traction vertical vers le haut en un effort presseur radial selon $S2$ qui est appliqué sur les flotteurs 30 du premier groupe par effet de chevauchement des flotteurs 30 du premier lot par les câbles 36
- [0095] A l'inverse, un abaissement de la hauteur d'eau He , se traduit par une descente des flotteurs 38 du deuxième lot, conduisant naturellement un déplacement des flotteurs 30 dans le sens $S1$, et une immersion naturelle de la cuve 18.
- [0096] L'actionneur peut être muni, pour chaque câble d'ancrage 36, d'un système de pilotage 41 de la longueur de câble correspondant. Ce système, dont un exemple d'arrangement est illustré à la [Fig.6c], permet de s'adapter au coefficient de marée, à savoir aux variations d'amplitude des différentes marées, de manière à conserver la maîtrise des efforts exercés sur les flotteurs 30 du premier lot. Il comporte pour chaque câble d'encrage 36 :
- un tambour P, ou mandrin, autour duquel le câble 36 correspondant est enroulé ; et

- un moteur électrique M qui peut entraîner en rotation le tambour dans un sens ou dans un autre pour réduire/augmenter la longueur du câble 36 par enroulement/déroulement autour du tambour.

- [0097] Le tambour P et le moteur électrique M des systèmes de pilotage 41 associés chacun à un câble 36 respectif peuvent être disposés avantageusement à l'une ou l'autre extrémité de câble 36, à savoir soit fixé soit à la cuve 18, soit fixé au flotteur 38 du deuxième lot. Préférentiellement, ces éléments sont encapsulés dans le flotteur 38 de deuxième lot avec lequel coopère le câble 36 considéré, comme illustré dans l'exemple de la [Fig.6c].
- [0098] Il est à noter également qu'un tel système de pilotage 41 de la longueur des câbles d'ancrage 36 peut suppléer une absence d'énergie marémotrice, à savoir en simulant l'effet d'une hausse ou baisse de la hauteur d'eau He de l'étendue environnante. Comme il est compris, un enroulement de chacun des câbles 36 autour du tambour P réduit leur longueur pour octroyer l'effet d'une hausse de hauteur d'eau He et ainsi conduire à une montée de la cuve 18. Inversement, un déroulement des câbles 36 inverse le sens des efforts, ce qui induit naturellement un déplacement des flotteurs 30 dans le sens S1 d'éloignement par réaction à l'immersion naturelle de la cuve 18.
- [0099] Comme il est compris, avec l'arrangement particulier de l'actionneur 34, la force marémotrice peut suffire à elle seule à déplacer les flotteurs 30 du premier lot. Le système de pilotage 41 de la longueur des câbles d'ancrage 36 peut ajouter une composante additionnelle à l'effort presseur exercé sur les flotteurs 30 du premier lot en cas de petite marée. Aussi, les moteurs M du système de pilotage 41 de la longueur des câbles 36 peuvent être utilisés pour monter la cuve 18 même en cas de marée. Autrement dit, le système de pilotage 41 de la longueur des câbles 36 permet, moyennant une dépense d'énergie, de s'affranchir au besoin des effets de marée pour conserver la maîtrise du cycle de remplissage/vidange de la cuve 18.
- [0100] Il s'agit enfin de noter que les flotteurs 30, 38 ne sont pas limités aux formes décrites sur la base des figures. La forme sensiblement trapézoïdale des flotteurs 30 du premier lot est particulièrement judicieuse dans le cas où la cuve 18 présente une section radiale en cône ou tronconique. Les flotteurs 30 peuvent être cependant conformés différemment dans le cadre de l'invention, notamment pour s'adapter à une forme extérieure différente de cuve 18, dès lors qu'ils présentent une surface d'appui contre une portion respective de la paroi 20 pour former un effet de coin. Comme il est compris, la cuve 18 n'est pas limitée à une géométrie particulière extérieure pour former un évasement, comme dans le cas de la forme tronconique. Toute forme peut être retenue dès lors qu'une complémentarité cuve-flotteur est permise pour élever ou abaisser la cuve 18 verticalement quand ils se rapprochent ou s'éloignent radialement.
- [0101] **Structure et cycle d'exploitation de la centrale hydroélectrique**

- [0102] En ce qui concerne le positionnement de la turbine 14 et de la génératrice 16, elles peuvent être fixées à la cuve 18 ou installées sur une structure dont la position est indépendante des variations de hauteur de la cuve. Elles peuvent être par exemple montées sur la plateforme 40, dans le cas du mode de réalisation de l'actionneur 34 décrit en référence aux figures 6a et 6b.
- [0103] L'installation de la turbine 14 et de la génératrice 16 sur une structure distincte de la cuve 18 requiert l'utilisation d'une conduite à longueur variable qui relie l'orifice de décharge 24 du système de stockage d'énergie 12 à la turbine 14.
- [0104] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, en référence aux figures 7a et 7b, cette conduite à longueur variable, notée 42, est formée de l'association de plusieurs tronçons 44, 46 emboîtés et montés mobiles en translation relativement les uns aux autres. Dans l'exemple des figures 7a et 7b, la conduite 42 comporte deux tronçons 44, 46 dont un premier fixé à la cuve et un autre raccordé à la turbine 14. Avec cet arrangement, il est compris que la conduite 42 revêt un caractère télescopique pour conserver un raccordement continu de l'orifice de décharge 24 à la turbine 14 malgré les variations de hauteur de la cuve 18. Les variations de hauteur de cuve 18 peuvent être induites par les variations de hauteur d'eau environnante H_e selon les cycles de marée, ainsi que par la remontée passive de cette cuve 18 au cours de la vidange par les moyens de flottaison, comme énoncé précédemment.
- [0105] Il est à noter que l'invention n'est pas limitée à cette architecture de conduite télescopique, et permet d'envisager d'autres solutions de raccordement, comme un flexible tubulaire en accordéon.
- [0106] La centrale hydroélectrique 10 a été décrite selon un premier mode de réalisation comme comprenant une turbine 14, une génératrice 16 et un unique système de stockage d'énergie 12. Il résulte de la description détaillée qu'il est nécessaire de respecter un temps de déplacement vertical et de chargement en eau de la cuve 18 avant de pouvoir générer une puissance électrique par vidange.
- [0107] En variante, et notamment pour répondre à un besoin continu en production d'énergie électrique, la centrale hydroélectrique 10 peut comporter plusieurs systèmes de stockage d'énergie 12 dont les vidanges alimentent une unique turbine 14 mutualisée. Dans l'exemple de la [Fig.8a], la centrale hydroélectrique 10 comporte trois systèmes de stockage d'énergie 12, indicés a, b et c, mais il peut être retenue une architecture à deux ou plus de trois systèmes de stockage d'énergie 12 sans sortir du cadre de l'invention.
- [0108] La multiplication des systèmes de stockage d'énergie 12 alimentant en eau de décharge une même turbine tend à une production électrique plus constante, entendu que quand une cuve 18 recharge en eau, une autre peut vidanger dans le même temps.
- [0109] Dans une telle architecture de centrale hydroélectrique 10 selon l'invention, à chaque

système de stockage d'énergie 12 est associé une conduite 42 à longueur variable respective qui relie l'orifice de décharge correspondant à une canalisation commune 50 alimentant la turbine 14.

- [0110] D'une manière générale, un jour compte deux cycles complets de marées. Chaque cycle correspond à la succession d'une augmentation de hauteur d'eau H_e , dite « marée montante » d'une durée avoisinant les six heures, et d'une diminution de hauteur d'eau, dite « marée descendante », de durée équivalente.
- [0111] En considérant la centrale hydroélectrique 10 de la [Fig.8a], équipée des trois systèmes de stockage d'énergie 12a, 12b, 12c, il est possible d'aboutir à une génération continue d'énergie électrique moyennant un actionnement en descente/montée des cuves 18 utilisant uniquement l'énergie marémotrice.
- [0112] Pour rappel, la configuration de l'actionneur 34 tel que défini permet spontanément une montée de cuve en cas de hausse de la hauteur de surface S_e d'eau environnante, et à l'inverse une descente de la cuve en cas de baisse de la hauteur de surface S_e d'eau environnante. Sur cette base, il s'agit préférentiellement de débiter le remplissage d'une cuve en début de phase montante de marée, au moment où la hauteur de surface S_e d'eau environnante est la plus faible.
- [0113] Suivant ce principe, une production en énergie électrique continue est obtenue moyennant le cycle d'exploitation tel que présenté à la [Fig.9a]. Comme il ressort de cette figure, il s'agit de ;
- conditionner les cuves 18 de sorte que leur vidange et leur rechargement s'effectuent chacune sur une durée de 6h ;
 - opérer un déphasage de la vidange des cuves des trois systèmes de stockage d'énergie 12a, 12b, 12c, de manière à toujours maintenir une cuve en état de vidange durant chaque marée montante ou descendante ; et
 - recharger en eau les deux cuves qui ont besoin de l'être durant une marée montante considérée, à savoir les cuves qui ont été vidangées durant soit la marée montante ou la marée descendante qui précèdent cette marée montante considérée.
- [0114] Une centrale hydroélectrique 10 à trois systèmes de stockage d'énergie 12a, 12b, 12c permet ainsi d'aboutir à une génération d'énergie électrique continue. Il reste néanmoins intéressant d'augmenter le nombre de systèmes de stockage d'énergie, c'est-à-dire en prévoir plus de trois équipant une même centrale hydroélectrique 10.
- [0115] En effet, la multiplication des systèmes de stockage d'énergie autorise un temps de vidange plus court de chacune des cuves, étant donné que plusieurs d'entre-elles peuvent être consécutivement en tout ou partie vidangées au cours d'une même phase de marée.
- [0116] La [Fig.8b] illustre un autre exemple d'architecture de centrale 10, dotée de cinq systèmes de stockage d'énergie 12a, 12b, 12c, 12d et 12e.

- [0117] A iso-durée de remplissage en eaux des cuves, à savoir six heures, le temps de vidange optimisé de vidange est fixé à trois heures dans le cas de cette variante à cinq systèmes de stockage. Pour une centrale à quatre systèmes de stockage d'énergie, le temps de vidange optimisé de vidange serait de quatre heures.
- [0118] En référence à la [Fig.9b] annexée qui illustre un exemple de cycle d'exploitation de la centrale hydroélectrique dotée de cinq systèmes de stockage d'énergie 12a, 12b, 12c, 12d et 12e de la [Fig.8b], il convient de souligner que :
- deux cuves sont successivement vidangées au cours de la même phase de marée, chacune pendant trois heures ;
 - le rechargement d'une cuve peut être interrompu à la fin d'une phase de marée montante puis reprendre à partir du début de la prochaine phase montante ; comme visible notamment pour le système 12d entre les première et deuxième phases de marée montantes. Ce cas de figure est nécessaire dans le cas où la vidange de la cuve considérée est opérée en début de phase de marée montante et qu'il reste du temps pour débiter son nouveau remplissage.
- [0119] Comme il est compris, plus le nombre de systèmes 12 équipant la centrale hydroélectrique 10 est élevé, plus petite est la durée de vidange exigée. Cette diminution de durée de vidange autorise alors une diminution de la contenance des cuves 18, ce qui permet de diminuer l'envergure d'enceinte interne I. Cela se traduit en pratique par la possibilité de fabriquer des cuves, équipant une même centrale 10, de plus faible rayon à mesure d'augmenter leur nombre. Comme il est compris, augmenter le nombre de systèmes de stockage 12 diminue la place nécessaire à leur implantation respective.
- [0120] Une telle réduction d'envergure de cuve, permise à mesure de multiplier les systèmes de stockage 12 équipant une même centrale 10, autorise dès lors une diminution de l'encombrement des moyens de flottaison utilisés pour maintenir ces cuves 18 en élévation par rapport à la surface. En effet, la masse à soulever est d'autant moins importante que la cuve est petite. Dans l'exemple des figures, ceci correspond à une réduction en taille des flotteurs 30.
- [0121] A noter enfin que l'invention n'est pas limitée à l'agencement des systèmes de stockage 12 de la centrale hydroélectrique 10. Il est visé en pratique de privilégier un arrangement le plus compact possible. Une disposition en trèfle, à savoir dans lequel les cuves de la centrale hydroélectrique 10 sont inscrites dans un cercle tel que représenté sur la [Fig.8a], ou encore en épis comme dans l'exemple de la [Fig.8b], marqué par un positionnement en quinconce de part et d'autre de la canalisation commune 50 qu'elles alimentent en eau de décharge, sont particulièrement intéressants.
- [0122] Au vu de ce qui précède, une multiplication des systèmes de stockage d'énergie équipant une même centrale hydroélectrique 10 présente plusieurs intérêts, notamment

limite l'encombrement et simplifie la fabrication.

[0123] A cet égard, il est prévu selon l'invention de recourir préférentiellement à un agencement de centrale hydroélectrique à cinq systèmes de stockage d'énergie.

[0124] Dans la description qui précède, il a été décrit deux aspects visant à optimiser la restitution énergétique du système de stockage. Le premier aspect porte sur une optimisation durant la vidange moyennant une forme évasée d'enceinte intérieure I de cuve et des moyens de flottaison permettant de maintenir un différentiel de hauteur entre le volume intérieur d'eau et l'eau environnante. Le deuxième aspect porte sur l'actionnement de la montée/descente de cuve via une coopération flotteurs/cuve par effet de coin qui ne requiert pas de dépense d'énergie.

[0125] Il est particulièrement judicieux de combiner ces deux aspects pour tendre vers la centrale hydroélectrique 10 la plus optimisée. Néanmoins, ces aspects peuvent être considérés indépendamment l'un de l'autre sans sortir du cadre de l'invention.

[0126] En ce qui concerne le premier aspect de l'invention visant à optimiser la restitution énergétique, le système de stockage d'énergie selon l'invention :

- n'est pas limité à la morphologie spécifique de cuve 18 telle que décrite sur la base de la [Fig.4], dès lors qu'elle permet de délimiter une enceinte intérieure I dont l'aire en section croît vers le haut H dans la direction verticale AZ ;

- n'est pas limité à la nature des moyens de flottaison utilisés pour maintenir la cuve 18 en élévation par rapport à la surface Se d'étendue d'eau environnante de sorte le volume intérieur d'eau reste en surface Si plus élevé que la surface Se d'étendue d'eau environnante E.

[0127] A noter que l'augmentation de l'aire en section de la cuve n'est pas restreinte à une valeur constante. Autrement dit, l'augmentation de l'aire en section de l'enceinte intérieure I peut être linéaire, comme dans le cas d'un tronc de cône tel que décrit, mais également évolutive le long de la hauteur. L'air peut également croître de manière discontinue, à savoir augmenter, stagner puis à nouveau augmenter, la résultante correspondant toujours à une aire en section qui croît vers le haut dans la direction verticale AZ. Comme il est compris, l'enceinte intérieure I peut avoir une forme gauche dont la section augmente mais de manière non-constante le long de la hauteur, vers le haut.

[0128] Concernant le deuxième aspect, l'invention n'est pas limitée à la nature de l'actionneur de déplacement vertical utilisé dès lors qu'il permet d'assurer sélectivement :

- une descente de la cuve 18 à un niveau dans lequel l'orifice d'admission 22 rencontre l'étendue d'eau environnante E, autorisant un remplissage de l'enceinte intérieure I jusqu'à équilibre de niveau d'eau en surface entre la surface Si du volume intérieur d'eau et la surface Se d'étendue d'eau ; et ;

- une élévation la cuve 18 par soulèvement de celle-ci, autorisant une vidange du volume intérieur d'eau hors de l'enceinte intérieure I quand la surface S_i du volume intérieur d'eau est plus élevée que la surface S_e d'étendue d'eau environnante.

[0129] Dans l'ensemble de la description détaillée, le système de stockage 12 a été décrit comme se rapportant à un élément constitutif d'une centrale hydroélectrique 10. Il est à noter que l'invention n'est pas limitée à cette application particulière, le système de stockage 12 pouvant être utilisé à d'autres fins, comme à titre d'exemple en qualité de château d'eau placé dans un lac pour irriguer des cultures attenantes.

Revendications

[Revendication 1]

Système (12) de stockage d'énergie sous forme potentielle en milieu marin comprenant :

- une cuve (18), prévue pour baigner dans une étendue d'eau environnante (E) qui est définie en surface (Se) par une hauteur limnimétrique d'eau extérieure (He), cette cuve (18) comprenant :
 - une paroi (20) qui délimite une enceinte intérieure de cuve (I) dans laquelle peut être stocké un volume intérieur d'eau de manière isolée de l'étendue d'eau environnante (E),
 - un orifice admission d'eau (22) qui autorise un passage d'eau dans l'enceinte intérieure depuis l'étendue d'eau environnante (E) pour constituer le volume intérieur d'eau,
 - un orifice de décharge d'eau (24) au travers duquel le volume intérieur d'eau peut être vidangé hors de l'enceinte intérieure (I) ;
- des moyens de pilotage en élévation de la cuve (18) suivant une direction verticale haut-bas (AZ) qui est normale à la surface (Se) d'étendue d'eau environnante (E), ces moyens de pilotage étant configurés pour sélectivement monter, descendre et maintenir la cuve verticalement par rapport à la surface (Se) d'étendue d'eau environnante, de manière à permettre :
 - un remplissage de l'enceinte intérieure (I) en eau par descente de la cuve (18) à un niveau dans lequel l'orifice d'admission (22) rencontre l'étendue d'eau environnante (E) ; et
 - de générer un différentiel de hauteur d'eau entre l'étendue d'eau environnante et le volume intérieur d'eau, par montée de la cuve (18) ; et dans lequel :
- la cuve (18) comporte une densité égale ou supérieure à la densité de l'eau pour permettre à cette cuve de descendre à vide dans l'étendue d'eau environnante (E) ; et
- les moyens de pilotage en élévation de la cuve comportent un premier lot de flotteurs (30) disposés en périphérie de cuve (18) pour former chacun une interface de flottaison entre la cuve (18) et l'étendue d'eau environnante (E), et un actionneur (34) de déplacement de ces flotteurs (30) suivant une direction radiale (AY), dont :
 - chaque flotteur (30) du premier lot de flotteurs comportant une surface d'appui (32) contre une portion respective de la paroi (20) de cuve pour former un effet de coin en coopération avec la cuve (18) ;

-- l'actionneur (34) est adapté pour déplacer radialement les flotteurs (30) du premier lot de flotteurs en les rapprochant ou les éloignant radialement les uns des autres de manière à induire une montée de la cuve (18) par soulèvement de celle-ci par les flotteurs (30) quand ils se rapprochent ou induire une descente de la cuve par éloignement des flotteurs (30).

[Revendication 2] Système de stockage d'énergie selon la revendication 1, dans lequel :

- la cuve (18) présente une forme évasée ; et
- la surface d'appui (32) respective des flotteurs (30) du premier lot est inclinée en regard de la paroi (20) de cuve (18).

[Revendication 3] Système de stockage d'énergie selon la revendication 1, dans lequel :

- la cuve (18) présente une forme tronconique ; et
- les flotteurs (30) du premier lot ont une forme sensiblement trapézoïdale et leur surface d'appui (38) est à profil en arc de cercle qui correspond au négatif de la paroi (20).

[Revendication 4] Système de stockage d'énergie selon la revendication 1, comprenant un dispositif de rétention en déplacement radial des flotteurs du premier lot, qui n'autorise pas un éloignement des flotteurs (30) du premier lot de flotteurs durant une montée de la cuve exercée par l'actionneur (34).

[Revendication 5] Système de stockage d'énergie selon la revendication 4, dans lequel le dispositif de rétention comprend pour chaque couple formé d'un flotteur (30) du premier lot et de la paroi (20) de cuve (18) :

- une crémaillère et un pignon à capacité de rotation dont l'un équipe le flotteur et l'autre équipe la cuve, la crémaillère et le pignon étant engrenés ensemble le long de la course de déplacement relatif du flotteur par rapport à la paroi de cuve ; et
- un dispositif de blocage sélectif en rotation du pignon qui bloque une rotation du pignon dans un sens opposé au sens défini lors de la montée de la cuve quand les flotteurs (30) du premier lot sont rapprochés les uns des autres.

[Revendication 6] Système de stockage d'énergie selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'actionneur (34) comporte :

- une pluralité de câbles d'ancrage (36) ;
- un deuxième lot de flotteurs (38) disposés radialement autour des flotteurs (30) du premier lot, chaque flotteur (30) du premier lot coopérant avec un flotteur (38) du deuxième lot par l'intermédiaire d'au moins un câble (36) de la pluralité de câbles d'ancrage (36) ;
- un système d'enroulement de câble prévu pour piloter la longueur des

câbles d'ancrage ;

- une plateforme (40) maintenue en deçà verticalement de la cuve (18) et des flotteurs (30, 38), et dont la position est indépendante des variations de hauteur de la cuve (18), par exemple fixée sur une surface de fond (Te) de l'étendue d'eau environnante (E) ;

dans lequel chaque câble d'ancrage (36) relie un flotteur (38) du deuxième lot à la cuve (18) en s'étendant successivement depuis le flotteur (38) du deuxième lot :

- verticalement vers le bas pour rejoindre la plateforme (40) ;

- radialement vers la cuve (18) en étant retenu au niveau de la plateforme (40) ;

- en formant une rampe à composante verticale et radiale jusqu'à rejoindre le flotteur (30) du premier lot correspondant ; et

- en chevauchant ce flotteur (30) du premier lot.

[Revendication 7] Système de stockage d'énergie selon la revendication 6 dans lequel l'actionneur (36) comporte en outre un système d'enroulement de câble prévu pour piloter la longueur des câbles d'ancrage, ce système d'enroulement de câbles comprenant des tambours intégrés chacun dans un flotteur (38) respectif du deuxième lot de flotteurs.

[Revendication 8] Centrale hydroélectrique (10) comprenant :

- un système (12) de stockage d'énergie sous forme potentielle selon l'une des revendications précédentes ;

- une turbine hydraulique (14) reliée à l'orifice de décharge (24) pour générer une énergie mécanique (Em) au passage de l'eau vidangée de l'enceinte intérieure (I) de cuve (18) ;

- une génératrice (16) qui coopère avec la turbine hydraulique (14) pour convertir l'énergie mécanique (Em) en énergie électrique (Ee).

[Revendication 9] Centrale hydroélectrique (10) selon la revendication 8, comprenant une structure dont la position est indépendante des variations de hauteur de la cuve (18), dans laquelle :

- la turbine hydraulique (14) et la génératrice (16) sont installées fixement sur cette structure ; et

- une conduite à longueur variable (42) qui relie l'orifice de décharge (24) du système (12) de stockage d'énergie à la turbine (14).

[Revendication 10] Centrale hydroélectrique (10) selon la revendication 9, comprenant une pluralité de systèmes (12) de stockage d'énergie, plusieurs conduites (42) à longueur variable associées chacune à un système (12) de stockage d'énergie distinct, une turbine hydraulique (14) et une gé-

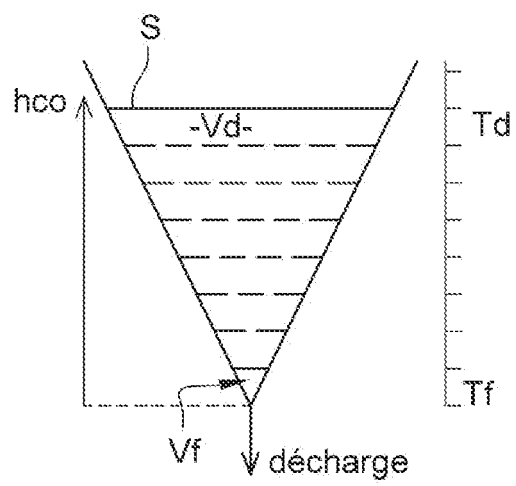
nératrice (16) ;

dans laquelle les conduites (42) à longueur variable raccordent chacune l'orifice de décharge (24) du système (12) de stockage d'énergie correspondant à une canalisation commune (50) qui alimente la turbine hydraulique (14).

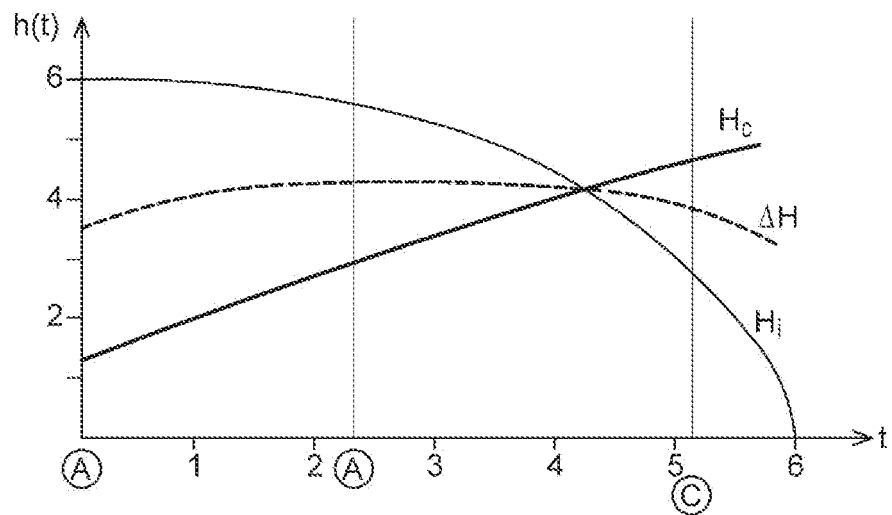
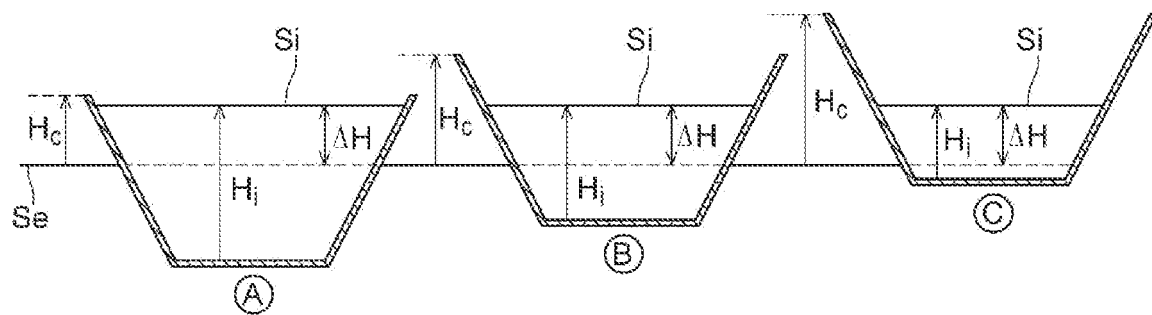
[Revendication 11]

Centrale hydroélectrique selon la revendication 8 ou 9, dans laquelle la conduite (42) à longueur variable est une conduite télescopique formée de plusieurs tronçons (44, 46) emboîtés et mobiles relativement les uns aux autres.

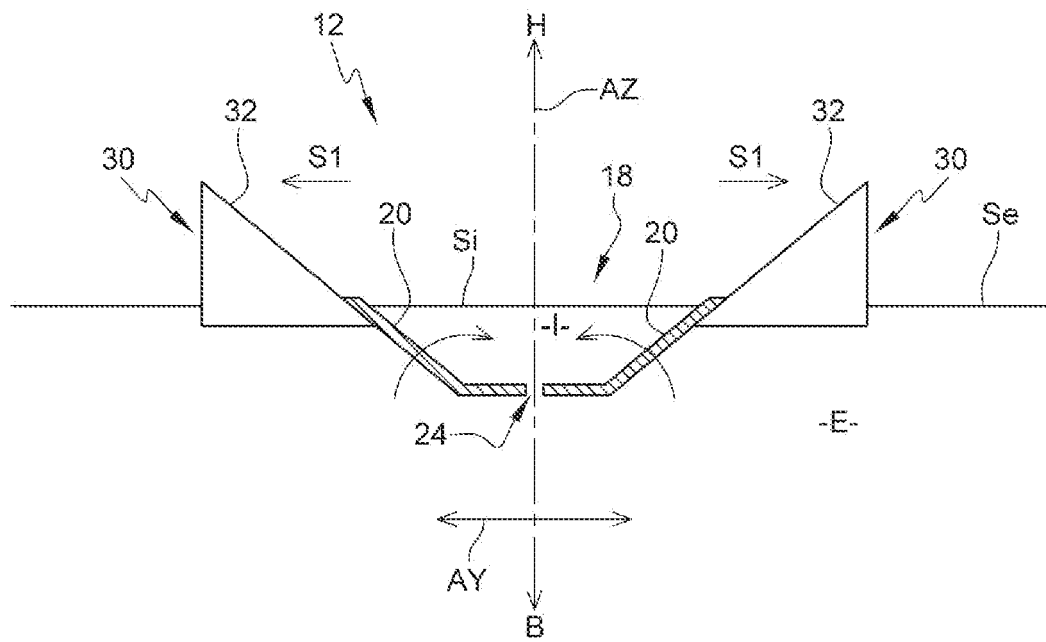
[Fig. 3]



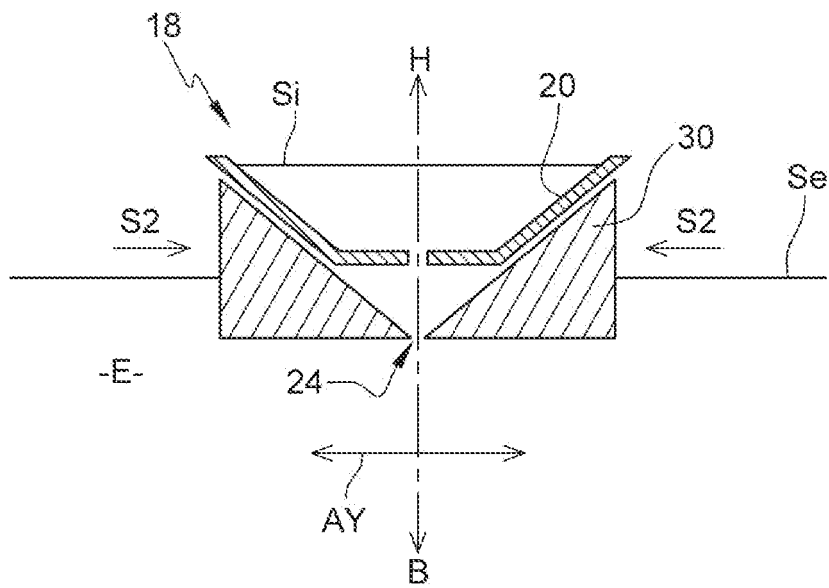
[Fig. 4]



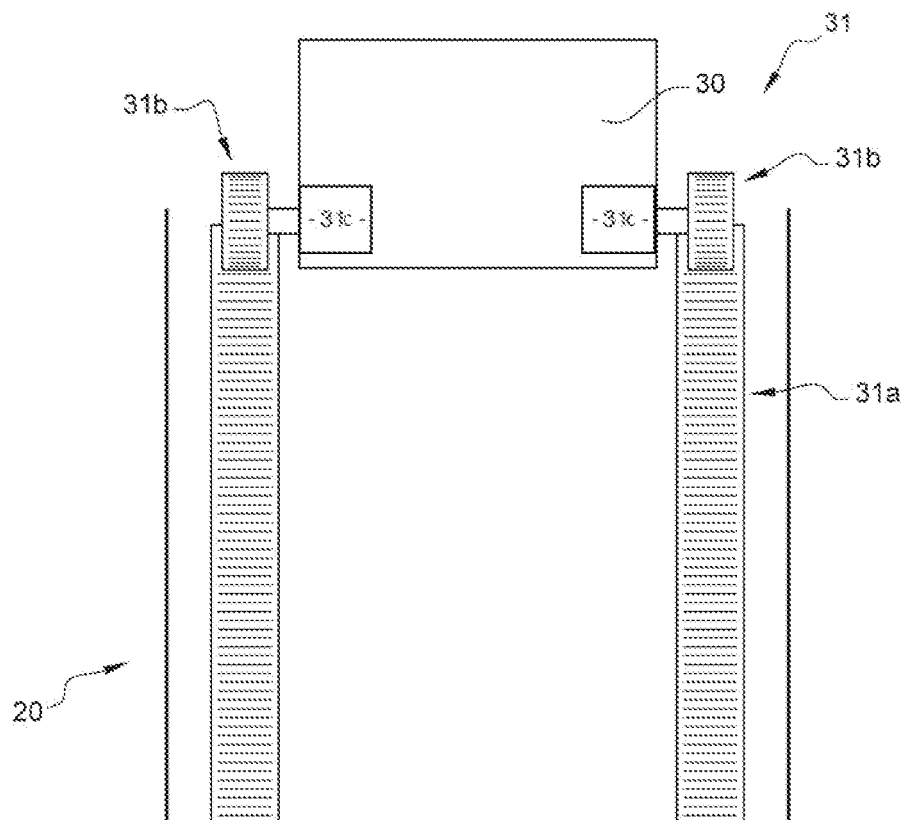
[Fig. 5a]



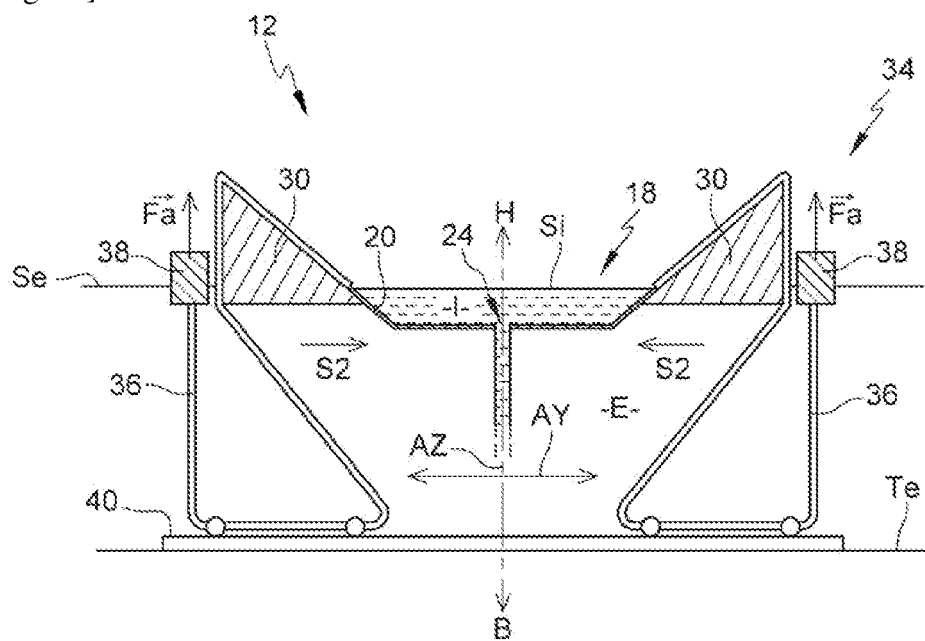
[Fig. 5b]



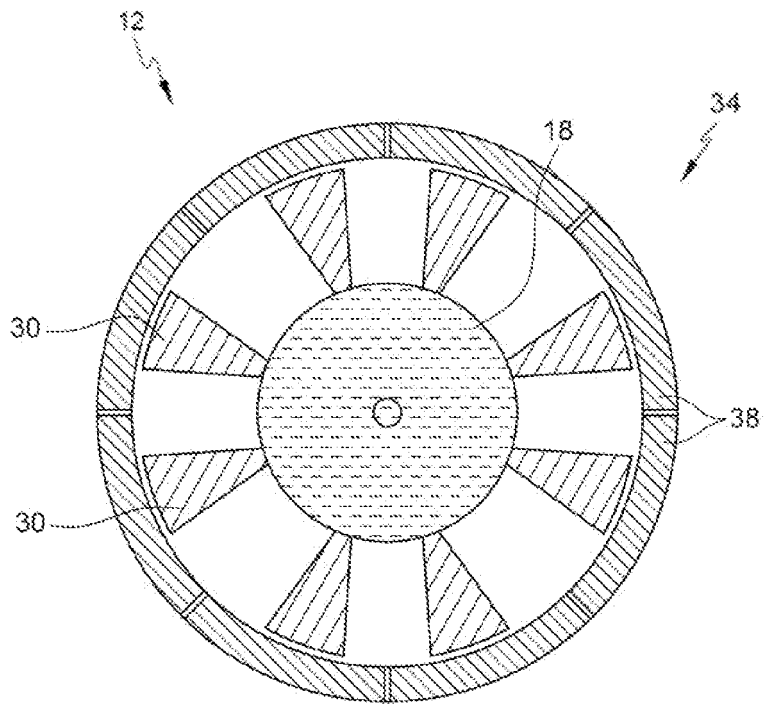
[Fig. 5c]



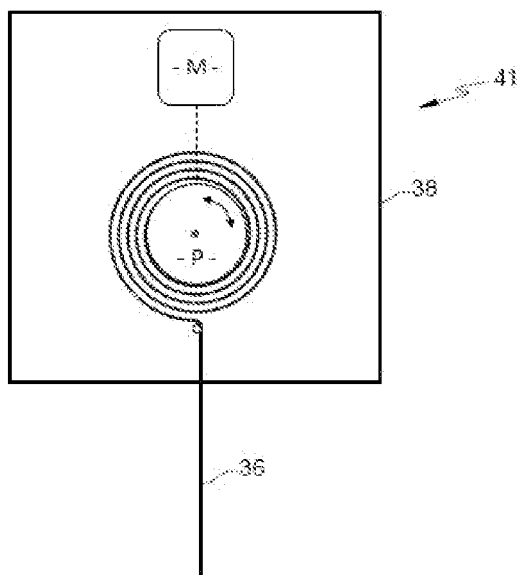
[Fig. 6a]



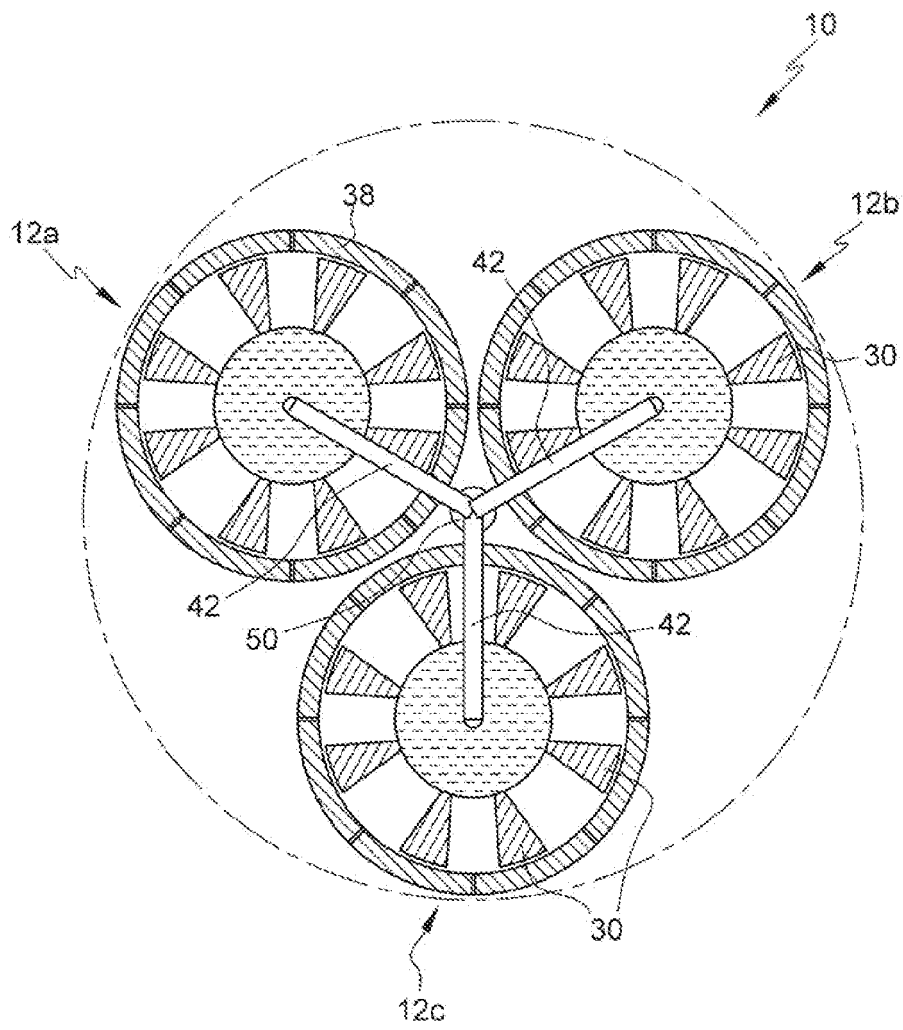
[Fig. 6b]



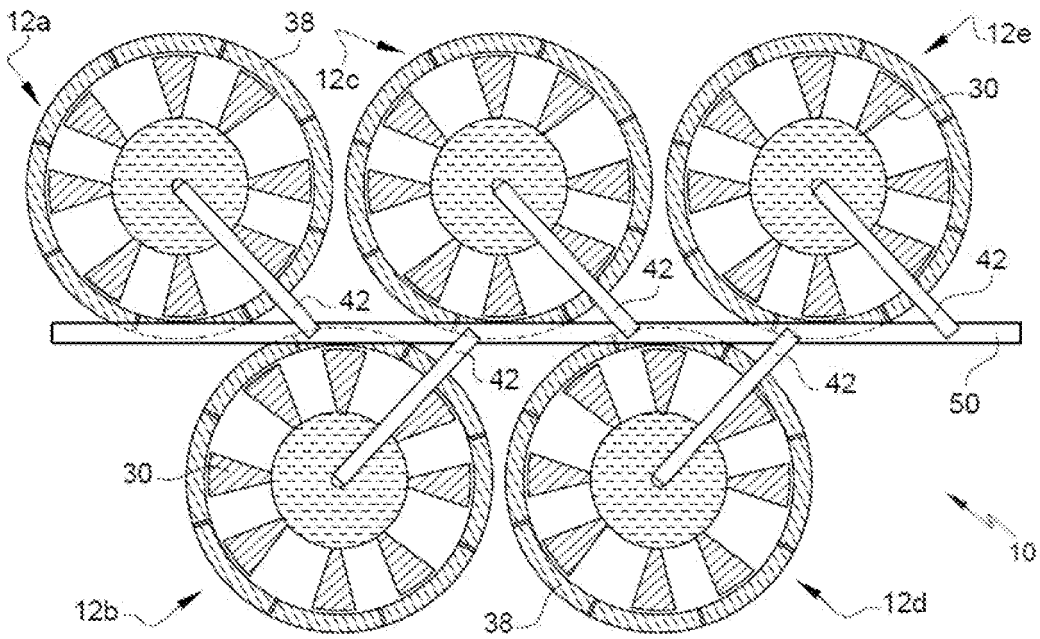
[Fig. 6c]



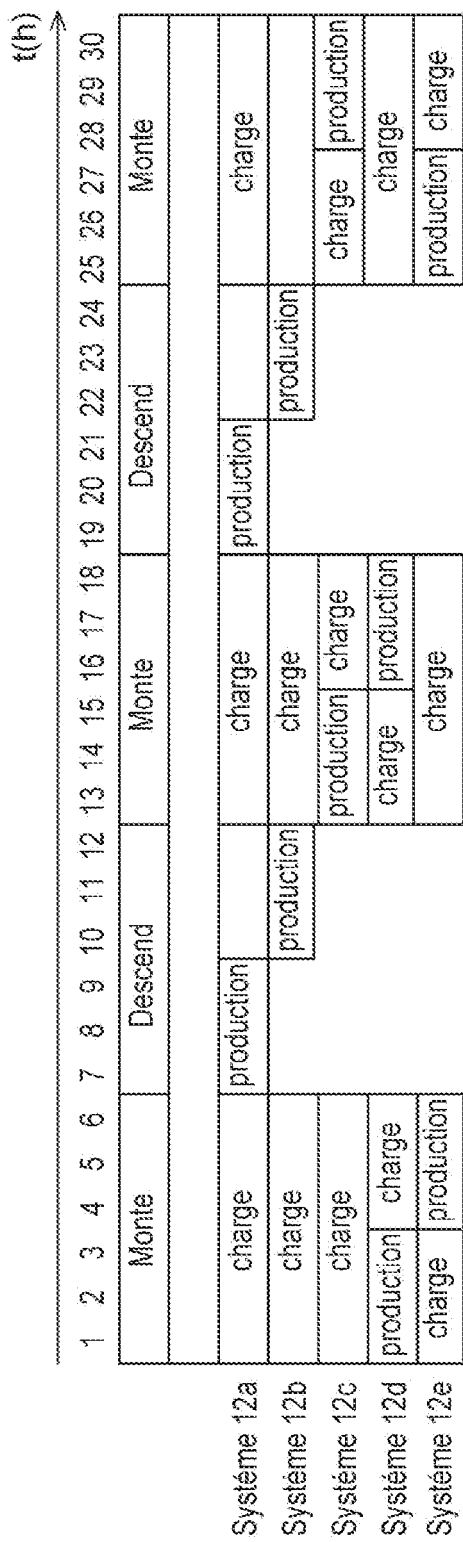
[Fig. 8a]



[Fig. 8b]



[Fig. 9b]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 921110
FR 2305104

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	KR 102 287 189 B1 (KOREA INST ENERGY RES [KR]) 6 août 2021 (2021-08-06) * alinéas [0001], [0025] - [0033]; figures 1-3b * -----	1-11	F03B 13/10 F03B 13/26
A	US 2013/113211 A1 (ROHRER JOHN [US]) 9 mai 2013 (2013-05-09) * alinéas [0007] - [14.22]; figure 5 * -----	1-11	
A	EP 3 085 950 A1 (KEPCO ENG & CONSTR CO INC [KR]) 26 octobre 2016 (2016-10-26) * abrégé; figures 1-3 * -----	1-11	
A	US 2020/056578 A1 (SHELDON-COULSON GARTH ALEXANDER [US] ET AL) 20 février 2020 (2020-02-20) * alinéas [0009] - [0019]; figures 1-3 * -----	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F03B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 février 2024		Lux, Ralph	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305104 FA 921110**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-02-2024**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
KR 102287189 B1	06-08-2021	AUCUN	
US 2013113211 A1	09-05-2013	AUCUN	
EP 3085950 A1	26-10-2016	CN 106065844 A	02-11-2016
		EP 3085950 A1	26-10-2016
		KR 101642949 B1	26-07-2016
US 2020056578 A1	20-02-2020	AU 2019321649 A1	01-04-2021
		AU 2022202055 A1	14-04-2022
		AU 2022275468 A1	05-01-2023
		CL 2021000372 A1	08-10-2021
		CL 2022001201 A1	25-11-2022
		EP 3837445 A1	23-06-2021
		PH 12021550497 A1	08-11-2021
		SG 10202109487S A	28-10-2021
		SG 11202101082W A	30-03-2021
		US 2020056578 A1	20-02-2020
		US 2020182218 A1	11-06-2020
		US 2021372363 A1	02-12-2021
		US 2022170440 A1	02-06-2022
		US 2022341387 A1	27-10-2022
		US 2023250796 A1	10-08-2023
		WO 2020036962 A1	20-02-2020
		ZA 202100957 B	28-09-2022
		ZA 202106655 B	28-06-2023