

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 155 678

21 N° d'enregistrement national : 23 12965

51 Int Cl⁸ : A 01 K 63/00 (2024.01), A 01 K 63/04, 63/06, A 01 G 31/02

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 23.11.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 30.05.25 Bulletin 25/22.

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) : NENUFARM Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : DOMINIAK Valentin et TEISSIER Lucas.

73 Titulaire(s) : NENUFARM Société par actions simplifiée.

54 **Dispositif(s)**: culture aquaponique et procédé le mettant en œuvre.

57 L'invention concerne un dispositif de culture aquapo-

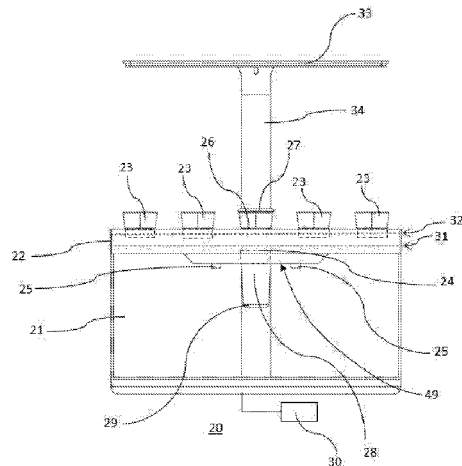
nique, comprenant :

un bac aquarium contenant de l'eau et destiné à contenir au moins un organisme aquatique, un bac de culture,

contenant au moins un substrat de culture de plantes, au moins un orifice d'entrée d'eau et, au moins un orifice de sortie d'eau vers ledit bac aquarium, une pompe pour faire circuler de l'eau depuis ledit bac aquarium jusqu'audit bac de culture par ledit orifice d'entrée d'eau, de sorte à générer un niveau d'eau dans ledit bac de culture, et, un système dit de marée configuré pour faire varier ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture entre une première hauteur, à laquelle ledit substrat n'est pas immergé, et une deuxième hauteur, à laquelle ledit substrat est au moins partiellement immergé par une face dite inférieure,

ledit système de marée comprend un module de commande du débit de la pompe, ledit module de commande étant configuré pour fixer ledit débit alternativement à une première valeur induisant que ledit niveau d'eau se trouve à ladite première hauteur dans ledit bac de culture, et une deuxième valeur induisant que ledit niveau d'eau se trouve à ladite deuxième hauteur dans ledit bac de culture.

Figure pour l'abrégé : Fig.1



FR 3 155 678 - A1



Description

Titre de l'invention : Dispositif de culture aquaponique et procédé le mettant en œuvre

Domaine technique de l'invention

- [0001] La présente invention s'inscrit dans le domaine de l'aquaculture, plus particulièrement combinée à l'aquaponie.
- [0002] Plus précisément, la présente invention concerne un dispositif de culture aquaponique, ainsi qu'un procédé de culture aquaponique mettant en œuvre un tel dispositif.

Technique antérieure

- [0003] L'aquaponie est un système de culture qui combine l'aquaculture (l'élevage d'organismes aquatiques, notamment des animaux aquatiques, généralement des poissons) avec l'hydroponie (la culture de plantes hors-sol), afin d'assurer l'élevage d'animaux et la production de végétaux de manière simultanée. Dans ce système, les déchets produits par les organismes aquatiques sont utilisés comme nutriments pour les plantes, tandis que les plantes réalisent une filtration de l'eau d'élevage des organismes aquatiques, et par là-même sa dépollution, permettant de générer un environnement sain pour ces derniers.
- [0004] Les dispositifs d'aquaponie sont conçus pour faciliter la mise en place de cette interaction entre les organismes aquatiques et les plantes. Ils reposent sur plusieurs éléments clés :
- un aquarium : il s'agit d'un réservoir qui contient les organismes aquatiques, pouvant être de différentes tailles et formes en fonction notamment de la quantité d'animaux que l'on souhaite élever ;
 - un système de filtration : certains des déchets produits par les animaux, non valorisables en l'état par les plantes, doivent être filtrés et/ou transformés pour éviter une accumulation toxique. Différents types de systèmes de filtration peuvent être utilisés, tels que les filtres mécaniques, et/ou les filtres biologiques (impliquant des bactéries, par exemple),
 - un bac de culture : il accueille les plantes qui y sont cultivées au sein d'un substrat de culture, dans un système hydroponique qui utilise l'eau provenant de l'aquarium pour irriguer les plantes. Les racines des plantes absorbent les nutriments présents dans l'eau et filtrent ainsi l'eau pour les animaux ;
 - une pompe à eau : une pompe est utilisée pour faire circuler l'eau entre le réservoir comprenant les animaux et le système de culture des plantes. Cela permet de fournir de l'eau et des nutriments aux plantes.

- [0005] Afin d'optimiser l'apport en nutriments ainsi que l'oxygénation du substrat de culture, un système dit de contrôle de marée peut être mis en place. Un tel système vise à alterner des périodes de remplissage, à partir de l'eau de l'aquarium, et de vidange, du bac de culture des plantes. Pendant la période de marée montante, de l'eau riche en nutriments est amenée de l'aquarium dans le bac de culture, permettant aux racines des plantes d'absorber les nutriments. Pendant la période de marée descendante, l'eau est drainée du bac de culture vers l'aquarium, permettant aux racines de respirer et d'éviter des problématiques de pourrissement en raison de la stagnation de l'eau.
- [0006] Ce cycle périodique de remplissage et de vidange du bac de culture peut par exemple être mis en place grâce à un système de "table à marée" : une pompe est utilisée pour amener l'eau de l'aquarium vers le bac de culture à travers un réseau de tuyaux, parfois équipés de gicleurs et de buses pour disperser l'eau uniformément sur la surface du bac de culture, et immerger le substrat sur lequel poussent les plantes. L'eau peut être maintenue à un niveau constant pendant un certain temps grâce à la fermeture de l'ensemble des orifices permettant la communication hydraulique du bac de culture avec l'aquarium, afin d'assurer une certaine durée d'immersion. Puis, un système de drainage est activé, par exemple au moyen de l'ouverture de vannes, qui peuvent être contrôlées manuellement, et qui permettent à l'eau de s'écouler du bac de culture vers l'aquarium grâce à l'action de la gravité. Ce type de dispositif ne permet cependant pas de contrôler précisément le cycle d'immersion du substrat dans le bac de culture. Des dispositifs plus élaborés ont ainsi été développés, reposant par exemple sur des siphons, des électrovannes ou des capteurs.
- [0007] La demande de brevet US2014041594 A1 divulgue ainsi un dispositif aquaponique comprenant un aquarium, un bac de culture de plantes contenant un substrat de culture et un module réservoir, connectés de façon à permettre des échanges hydriques. L'eau est pompée de l'aquarium vers le bac de culture, qui comporte un siphon-cloche permettant d'évacuer l'eau vers l'aquarium lorsque le niveau d'eau dans le bac de culture atteint un seuil prédéterminé par le siphon lui-même. Lorsque le niveau d'eau monte dans le bac de culture, il remplit l'intérieur du siphon-cloche jusqu'à atteindre sa hauteur de conception : l'eau crée alors une zone de basse pression ce qui génère un phénomène d'aspiration qui draine l'eau vers l'aquarium jusqu'à ce que le bac de culture soit vidé.
- [0008] Les siphons-cloche sont utilisés très fréquemment dans les dispositifs aquaponiques pour générer des marées, mais ils présentent des problématiques significatives en termes d'entretien, avec une tendance à l'encrassement, ce qui peut générer des obstructions récurrentes et donc des problèmes de fonctionnalité, nécessitant un entretien régulier et contraignant. Leur fonctionnement génère par ailleurs des nuisances sonores, avec notamment des bruits de succion, ce qui peut entraîner un inconfort pour

l'utilisateur. Enfin, ils ne permettent pas de contrôler précisément la configuration et la durée du cycle d'immersion du substrat de culture dans l'eau, l'eau étant drainée dès lors qu'elle atteint un certain niveau dans le bac de culture.

[0009] Le brevet US10182536B1 décrit quant à lui un dispositif d'aquaponie dans lequel plusieurs bacs de culture sont connectés à des siphons-cloche permettant, pour un bac de culture à la fois, l'évacuation de l'eau vers des tuyaux reliés à un aquarium. Le cycle de remplissage et de vidange des bacs de culture est contrôlé par des capteurs, positionnés au niveau des tuyaux d'évacuation, et par une électrovanne qui régule le passage de l'eau vers les bacs de culture. Ce dispositif présente l'avantage de permettre un contrôle plus fin des cycles d'immersion des substrats de culture, cependant l'électrovanne et les capteurs constituent des équipements présentant plusieurs inconvénients, et notamment un coût économique important. Les électrovannes sont, de plus, sujettes, comme les siphons, à l'encrassement, et les capteurs électroniques présentent des problématiques de durabilité et de fiabilité.

Enfin, pour ces deux dispositifs, les variations du niveau d'eau dans l'aquarium lors de la mise en place des marées sont significatives et susceptibles de constituer une source de stress pour les animaux qui y sont présents.

Exposé de l'invention

[0010] La présente invention vise à remédier aux inconvénients des dispositifs d'aquaponie proposés par l'art antérieur, notamment aux inconvénients exposés ci-avant, en proposant un dispositif d'aquaponie qui permette de contrôler précisément la durée et la périodicité d'immersion dans l'eau du substrat de culture des plantes, au moyen d'un système peu coûteux, de grande durabilité, facile à utiliser et à entretenir, et qui limite les nuisances sonores. Un objectif supplémentaire de l'invention est que la mise en œuvre de ce dispositif assure une croissance efficace des plantes en même temps qu'un confort maximal pour les organismes aquatiques contenus dans l'aquarium.

[0011] A cet effet, selon un premier aspect, la présente invention vise un dispositif de culture aquaponique, également appelé « dispositif aquaponique », comprenant :

- un bac aquarium contenant de l'eau et destiné à contenir au moins un organisme aquatique,
- un bac de culture, contenant :
 - au moins un substrat de culture de plantes,
 - au moins un orifice d'entrée d'eau et,
 - au moins un orifice de sortie d'eau vers ledit bac aquarium,
- une pompe pour faire circuler de l'eau depuis ledit bac aquarium jusqu'audit bac de culture par ledit orifice d'entrée d'eau, de sorte à générer un niveau d'eau dans ledit bac de culture, et,

- un système dit de marée configuré pour faire varier ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture entre une première hauteur, à laquelle ledit substrat n'est pas immergé, et une deuxième hauteur, à laquelle ledit substrat est au moins partiellement immergé par une face dite inférieure,
- [0012] ledit dispositif étant caractérisé en ce que ledit système de marée comprend un module de commande du débit de la pompe, ledit module de commande étant configuré pour fixer ledit débit alternativement à une première valeur induisant que ledit niveau d'eau se trouve à ladite première hauteur dans ledit bac de culture, et une deuxième valeur induisant que ledit niveau d'eau se trouve à ladite deuxième hauteur dans ledit bac de culture.
- [0013] Dans la présente invention, on entend par bac aquarium tout réservoir rempli d'eau douce ou d'eau salée dans lequel peuvent être conservés et entretenus un ou des organismes aquatiques et dont les parois sont de préférence transparentes.
- [0014] Par organisme aquatique, on entend tout organisme animal inféodé à l'eau, et lié à un écosystème ou à un biotope avec des caractéristiques hydromorphologiques compatibles avec la vie. A titre d'exemple, et de manière non limitative, dans la présente invention l'organisme aquatique peut être un poisson, un arthropode, un mollusque, un cnidaire, un amphibien, une plante, etc. Préférentiellement, et de manière non limitative, ledit organisme aquatique est un poisson.
- [0015] Par bac de culture, on entend tout récipient, modulaire ou non, permettant la culture d'une ou plusieurs plantes, également appelées « organismes végétaux ».
- [0016] Par substrat de culture ou substrat, on entend, dans la présente invention, tout matériau ou mélange de matériaux utilisé comme support pour la croissance d'une ou de plusieurs plantes.
- [0017] Par pompe ou pompe à eau, on entend, dans la présente invention, un dispositif configuré pour aspirer et faire circuler l'eau, et comprenant un axe de rotation central permettant de créer un mouvement et d'entraîner le déplacement de l'eau à travers le mécanisme de la pompe selon un débit. Une pompe, telle qu'entendue dans la présente invention, est donc caractérisée par une fréquence de rotation qui correspond à la vitesse à laquelle tourne l'axe de rotation central, ladite fréquence étant en relation directe avec le débit d'eau générée par ladite pompe.
- [0018] Par niveau d'eau, on entend, dans la présente invention, la hauteur d'une surface d'eau en contact direct avec l'atmosphère, au-dessus d'un plan de référence, le plan de référence étant, dans la présente invention, une paroi du bac de culture opposée à la surface de l'eau, également désignée par « paroi inférieure » du bac de culture.
- [0019] Dans la présente invention, on entend par marée le changement périodique du niveau d'eau dans le bac de culture.
- [0020] Dans la présente demande, la première hauteur à laquelle le niveau d'eau peut se

trouver est également appelée « marée basse », et la deuxième hauteur à laquelle le niveau d'eau peut se trouver est également appelée « marée haute ».

- [0021] On entend par module de commande, dans la présente invention, un composant ou une unité fonctionnelle configuré pour réguler et contrôler le débit de la pompe. Ledit module de commande de la présente invention comporte par exemple un système électronique programmable préprogrammé tel qu'un microcontrôleur, configuré pour mesurer et réguler le débit de la pompe.
- [0022] Le système de marée permet avantageusement l'immersion périodique du substrat, afin de permettre son humidification et sa mise en contact avec des nutriments présents dans l'eau. Ladite immersion du substrat dans l'eau se produit de préférence par capillarité afin de limiter au maximum la zone du substrat en contact avec l'eau.
- [0023] Lorsque le niveau d'eau se situe à la première hauteur, il se situe en dessous de la face inférieure du substrat, ce qui permet avantageusement au substrat de ne pas être en contact avec l'eau. Lorsque le niveau d'eau se trouve à la deuxième hauteur, le substrat se trouve au moins partiellement immergé dans l'eau, ce qui permet au substrat d'être avantageusement en contact avec l'eau et des nutriments, produits par les organismes aquatiques, qu'elle contient.
- [0024] La pompe permet de faire circuler de l'eau depuis le bac aquarium jusqu'au bac de culture par un ou plusieurs orifices d'entrée d'eau, préférentiellement un orifice d'entrée d'eau, de sorte à générer avantageusement un niveau d'eau dans ledit bac de culture. La pompe permet par ailleurs la circulation de l'eau entre le bac aquarium et le bac de culture de manière continue, ce qui permet avantageusement l'oxygénation de l'eau, la filtration de l'eau par les plantes, et l'humidification des racines des plantes.
- [0025] Un autre avantage du dispositif de culture aquaponique selon l'invention réside en ce que l'oxygénation de l'eau est assuré par plusieurs mécanismes : l'oxygénation de l'eau est assuré par les échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère se mettant en place à la surface de l'eau dans le bac de culture ou dans le bac aquarium, par la circulation de l'eau à travers le bac de culture, et par l'évacuation de l'eau, par action de la gravité, depuis le bac de culture vers le bac aquarium après son passage à travers l'orifice de sortie d'eau, également appelé orifice de sortie.
- [0026] Dans l'un des modes particuliers de réalisation, l'invention répond en outre aux caractéristiques suivantes, mises en œuvre séparément ou en chacune de leurs combinaisons techniquement opérantes.
- [0027] Dans l'un des modes de réalisation préférés du dispositif selon l'invention, le bac de culture comporte de manière non limitative au moins deux orifices de sortie d'eau.
- [0028] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, le substrat est enrichi avec des éléments nutritifs de sorte à ce que ces éléments nutritifs soient libérés de manière progressive afin de couvrir avantageusement les besoins nutritifs de la plante durant une

période de sensiblement au moins 4 mois.

- [0029] Préférentiellement, le substrat est enrichi avec des éléments nutritifs dont la nature et la teneur sont définies de sorte à compléter avantageusement les nutriments produits par les organismes aquatiques dans le dispositif de culture aquaponique.
- [0030] Préférentiellement, la composition du substrat est avantageusement définie de sorte à apporter tous les éléments nutritifs nécessaires à la croissance optimale de tout organisme végétal, quelle que soit l'espèce d'organisme végétal dont il est question, et ce même en l'absence d'organisme aquatique à l'intérieur dudit bac aquarium.
- [0031] Préférentiellement, et de manière non limitative, la composition du substrat est élaborée de manière à répondre plus particulièrement aux besoins nutritifs des espèces de plantes suivantes : basilic (*Ocimum basilicum*), basilic pourpre (*Ocimum basilicum 'purpurascens'*), basilic citron (*Ocimum basilicum 'citriodorum'*), origan (*Origanum vulgare*), persil (*Petroselinum crispum*), menthe (*Mentha*), sauge (*Salvia*), souci (*Calendula* et/ou *Caltha*), ciboulette (*Allium schoenoprasum*), oseille (*Rumex*), coriandre (*Coriandrum sativum*), œillet d'inde (*Tagetes patula*), thym (*Thymus*), etc.
- [0032] Dans l'un des modes de réalisation de l'invention, le substrat comprend entre 30% et 90 %, préférentiellement 70%, de fibres de coco, un fertilisant de germination, et un engrais à diffusion lente.
- [0033] Par fertilisant de germination, on entend toute composition formulée pour stimuler et/ou favoriser la germination de graines de plantes, et/ou pour répondre aux besoins des plantes au stade précoce de leur croissance.
- [0034] Par engrais à diffusion lente, on entend toute composition formulée pour libérer progressivement, dans un substrat de culture, des nutriments sur une période prolongée afin de couvrir les besoins des plantes tout en réduisant au maximum le nombre d'applications d'engrais.
- [0035] Préférentiellement, l'engrais à diffusion lente est sous forme de billes recouvertes d'une résine dont le contenu se libère par capillarité au contact de l'eau.
- [0036] Dans l'un des modes de réalisation préférés de l'invention, lorsque le niveau d'eau se situe à la première hauteur, le niveau d'eau dans le bac de culture est suffisamment faible pour qu'aucun contact ne s'établisse entre l'eau et le substrat même si le dispositif de culture aquaponique se trouve placé sur un plan incliné entre 1° et 5°, de préférence incliné de 2° ou moins, préférentiellement incliné de moins de 2°.
- [0037] Dans l'un des modes de réalisation préférés de la présente invention, lorsque le niveau d'eau se situe à ladite première hauteur, et lorsque le substrat comporte au moins une plante, des racines de ladite plante peuvent être immergées dans l'eau si elles ont une longueur suffisante.
- [0038] Selon l'un des modes de réalisation de l'invention, lorsque le niveau d'eau se situe à la deuxième hauteur, le niveau d'eau dans le bac de culture permet d'immerger au

moins partiellement le substrat de sorte à permettre au substrat de s'humidifier par capillarité, même lorsque le dispositif de culture aquaponique se trouve sur un plan incliné entre 1° et 5°, de préférence incliné de 3° ou moins, préférentiellement incliné de moins de 3°.

- [0039] Dans des modes de réalisation du dispositif selon l'invention, l'orifice de sortie présente une forme définie pour maximiser l'oxygénation de l'eau le traversant, préférentiellement une forme circulaire ou rectangulaire.
- [0040] Dans des modes de réalisation particuliers de la présente invention, ledit bac de culture comporte au moins un réceptacle pour ledit substrat maintenant ledit substrat dans une position dans laquelle sa face inférieure s'inscrit dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'eau dans ledit bac de culture.
- [0041] Par réceptacle, on entend, dans la présente invention une structure, un contenant ou un dispositif configuré pour contenir et maintenir en place le substrat. Le réceptacle fournit avantageusement un support physique au substrat et aux plantes, tout en permettant la réalisation d'échanges gazeux entre le substrat et l'eau contenue dans le bac de culture.
- [0042] Préférentiellement, ledit réceptacle est configuré de sorte à permettre une hydratation homogène du substrat lorsque le niveau d'eau se trouve à la deuxième hauteur.
- [0043] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, ledit réceptacle est configuré pour maintenir ledit substrat dans une position telle que ledit substrat est immergé sur une hauteur comprise entre 1 et 30 mm lorsque ledit niveau d'eau atteint ladite deuxième hauteur, de préférence entre 3 et 20 mm, préférentiellement entre 5 et 15 mm.
- [0044] Préférentiellement, le réceptacle est configuré pour maintenir le substrat à une position telle que le substrat est avantageusement immergé sur une hauteur égale à 5 mm lorsque le niveau d'eau atteint la deuxième hauteur.
- [0045] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, ledit bac de culture comporte une pluralité de cloisons imposant à l'eau un parcours prédéterminé entre ledit orifice d'entrée et ledit orifice de sortie, ce parcours empruntant successivement une série de zones distinctes, dans le sens de circulation de l'eau entre ledit orifice d'entrée et ledit orifice de sortie, dont :
- une première zone dans laquelle ledit bac de culture présente une première profondeur,
 - une deuxième zone dans laquelle ledit bac de culture présente une deuxième profondeur moins élevée que ladite première profondeur,
 - une troisième zone comportant ledit orifice de sortie,
- ledit substrat de culture étant positionné dans ladite première zone et/ou ladite deuxième zone.

- [0046] Dans des modes de réalisation particulier de l'invention, la première profondeur et la deuxième profondeur sont égales. Par cloison, on entend : une paroi pleine permettant d'établir des divisions de l'espace à l'intérieur du bac de culture.
- [0047] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, au moins une cloison, préférentiellement deux cloisons, est/sont positionnée(s) transversalement dans le bac de culture et est/sont solidaires de la paroi inférieure du bac de culture, de manière à orienter avantageusement la circulation de l'eau dans une direction faisant face à l'orifice d'entrée, à travers la première zone, et de manière à éviter avantageusement l'entremêlement des racines des plantes contenues dans le substrat de culture.
- [0048] On entend par le terme « solidaire » lorsqu'il fait référence à des pièces les unes par rapport aux autres de manière classique en elle-même, que lesdites pièces sont mutuellement liées, un mouvement relatif entre elles pouvant toutefois être possible. Dans la présente description, par convention on désignera par « solidaires » des pièces étant liées l'une à l'autre par une liaison autorisant un mouvement relatif d'une pièce par rapport à l'autre. On désignera par « fixement solidaires » des pièces qui sont mutuellement liées de manière fixe, c'est-à-dire de sorte qu'un mouvement relatif entre elles est impossible.
- [0049] Préférentiellement, la ou les cloison(s) positionnée(s) transversalement est/sont fixement solidaire(s) de la paroi inférieure du bac de culture.
- [0050] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, la cloison peut être une paroi continue ou discontinue.
- [0051] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, la première profondeur de la première zone est définie de sorte à permettre avantageusement la rétention d'éléments lourds éventuellement présents dans l'eau, lesdits éléments lourds pouvant être, de manière non limitative, des déjections non dissoutes et riches en ammoniac produites par les organismes aquatiques, des fragments d'organes végétaux, *etc.*. A cet effet, dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, cette première profondeur est comprise entre 1 cm et 20 cm, préférentiellement, elle est de 2 cm. La profondeur de 2 cm permet avantageusement la rétention des éléments lourds sans ajouter trop de poids au bac de culture.
- [0052] La rétention des éléments lourds dans la première zone présente l'avantage de favoriser le développement de bactéries qui vont permettre le fractionnement des éléments lourds en oligoéléments et/ou permettre la transformation de l'azote non assimilable par les plantes en azote assimilable. Plus particulièrement, la rétention des éléments lourds dans la première zone favorise le développement de bactéries hétérotrophes et de bactéries nitrifiantes *Nitrosomonas* et/ou *Nitrobacter* sur lesdits éléments lourds : les bactéries hétérotrophes contribuent à leur minéralisation en se nourrissant de substances organiques, et les bactéries nitrifiantes permettent

l'oxydation de l'ammoniac et des nitrites, non assimilables par les plantes, pour les convertir en nitrates, assimilables par les plantes.

[0053] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, ladite troisième zone dudit bac de culture contient au moins un élément de filtration, également appelé « filtre », mécanique et/ou biologique positionné de manière à ce que le parcours de l'eau traverse ledit filtre mécanique et/ou biologique avant d'atteindre l'orifice de sortie.

[0054] On entend par élément de filtration, ou filtre, tout dispositif, mécanique ou biologique, permettant d'éliminer des particules/éléments présents dans l'eau et circulant dans le dispositif aquaponique.

[0055] Dans l'un des modes préférés de réalisation, la présente invention comporte deux filtres positionnés l'un après l'autre, de manière successive dans le sens de la circulation de l'eau : un filtre mécanique, et un filtre biologique, l'ensemble des deux filtres étant appelé « couple de filtration ».

[0056] Préférentiellement, deux couples de filtration sont positionnés de telle sorte à ce que l'eau ait la possibilité de passer par l'un ou par l'autre, afin d'améliorer avantageusement l'efficacité de la filtration et de maximiser son impact dans le dispositif aquaponique.

[0057] Préférentiellement, dans chaque couple de filtration, le filtre mécanique est positionné en amont du filtre biologique par rapport au sens de circulation de l'eau, de sorte à éviter avantageusement l'encombrement dudit filtre biologique.

[0058] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le filtre mécanique comporte des médias filtrants, tels que, de manière non limitative, une éponge, un tamis, du sable, un polymère à mailles, une grille, une brosse, un tambour ou une membrane, pour piéger des particules, ce qui permet avantageusement de préserver la clarté de l'eau et de prévenir l'obstruction des autres composants du dispositif, en particulier de prévenir l'obstruction du filtre biologique. De préférence, le filtre mécanique permet d'éliminer les particules de taille supérieures à 3 μm , préférentiellement supérieures à 1 μm .

[0059] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le filtre biologique comporte des bactéries nitrifiantes, telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, capables avantageusement de transformer l'ammoniac, présent à une forte teneur dans les éléments organiques (déjections des organismes aquatiques, restes de nourriture, feuilles mortes), en nitrite puis en nitrate, le nitrate étant assimilable par les plantes.

[0060] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le filtre biologique comprend des éléments poreux contenant lesdites bactéries nitrifiantes. De tels éléments poreux sont par exemple et de manière non limitative choisis parmi de la pouzzolane, des billes d'argile, des billes de céramique, *etc.*

[0061] Il est constaté que la rétention des éléments lourds dans la première zone permet

aussi d'éviter avantageusement l'encrassement des éléments de filtration disposés en amont de l'orifice de sortie. Plus particulièrement, la rétention des éléments lourds dans la première zone permet d'éviter l'encombrement du filtre mécanique, situé en amont du filtre biologique, et donc de prévenir le relargage de particules dans le filtre biologique, ce qui peut en réduire l'efficacité. La rétention des éléments lourds dans la première zone en amont des filtres mécaniques et biologiques permet donc de réduire avantageusement la fréquence de l'entretien de ces derniers.

- [0062] La rétention des éléments lourds dans la première zone permet également de favoriser avantageusement leur minéralisation par la flore microbienne, et donc de permettre la production et la libération dans l'eau de minéraux assimilables par les plantes tels que, de manière non limitative, du potassium, du phosphate, ou du fer.
- [0063] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, ladite troisième zone dudit bac de culture contient une pièce à parois pleines, comportant une première ouverture située à ladite première hauteur, et une deuxième ouverture située à ladite deuxième hauteur, ladite première ouverture et ladite deuxième ouverture étant en communication hydraulique avec ledit orifice de sortie, ladite pièce étant positionnée de sorte à canaliser la circulation de l'eau à travers la dite première ouverture et/ou ladite deuxième ouverture avant que l'eau atteigne l'orifice de sortie.
- [0064] La première ouverture permet avantageusement de fixer la première hauteur du niveau d'eau, et la deuxième ouverture permet avantageusement de fixer la deuxième hauteur du niveau d'eau, ladite deuxième hauteur correspondant à la hauteur maximale à laquelle le niveau d'eau peut se trouver dans le bac de culture.
- [0065] De préférence, l'aire de la première ouverture est définie en fonction du débit de la pompe, de la distance entre la première ouverture et la deuxième ouverture, et de l'attraction terrestre.
- [0066] Dans la présente invention, la deuxième ouverture permet avantageusement l'écoulement de l'eau vers l'orifice de sortie par débordement à travers ladite deuxième ouverture.
- [0067] Préférentiellement, et de manière non limitative, la forme de ladite première ouverture est un cercle, un carré, un rectangle, un polygone, *etc.*
- [0068] Dans des modes de réalisation du dispositif selon l'invention, la pièce à parois pleines est montée de manière amovible dans ledit bac de culture, ce qui présente des avantages en termes d'industrialisation et de flexibilité d'utilisation.
- [0069] En effet, dans la présente invention, le caractère amovible de ladite pièce permet, lorsque le débit de la pompe est modifié, en cas de changement de pompe par exemple, de ne changer que ladite pièce, et non l'intégralité du bac de culture, pour maintenir le niveau d'eau à la première hauteur et/ou à la deuxième hauteur.
- [0070] Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, l'aire A de ladite première

ouverture de ladite pièce à parois pleines est définie par l'équation suivante :

[0071] [Math.1]

$$\Sigma Ax = D_{\max} / (\sqrt{2 * g * h})$$

[0072] où A est l'aire de ladite première ouverture de ladite pièce à parois pleines, x est le nombre desdits orifices de sortie, D_{max} est le débit maximal de ladite pompe à eau, g est l'attraction terrestre et h est la distance entre la deuxième ouverture et un point du bord inférieur de ladite première ouverture, ledit point du bord inférieur étant le point le plus proche verticalement de la paroi inférieure dudit bac de culture. Comme décrit précédemment, la paroi inférieure du bac de culture est une paroi du bac de culture opposée à la surface de l'eau et qui forme un plan de référence au-dessus duquel se trouve la surface de l'eau. Ladite paroi inférieure dudit bac de culture est également la paroi du bac de culture destinée à être la paroi sur laquelle repose ledit bac de culture lors de son utilisation.

[0073] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le dispositif de culture aquaponique comporte un module d'éclairage positionné de sorte à éclairer ladite face supérieure dudit substrat, et/ou une zone de croissance de plantes localisée au-dessus dudit substrat.

Par module d'éclairage, on entend : un dispositif modulaire configuré pour fournir un éclairage artificiel aux substrats et/ou aux plantes qui y poussent, afin de permettre leur croissance optimale.

[0074] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le module d'éclairage comporte au moins une source lumineuse, préférentiellement plusieurs sources lumineuses, sélectionnées pour répondre avantageusement aux besoins des organismes végétaux.

[0075] Préférentiellement, lesdites sources lumineuses du module d'éclairage sont sélectionnées de sorte à ce qu'elles émettent dans un spectre lumineux permettant d'optimiser la croissance des plantes dites « à feuilles », c'est-à-dire les plantes dont la partie aérienne, et plus particulièrement la feuille, est consommée.

[0076] Préférentiellement, les sources lumineuses du module d'éclairage sont sélectionnées de sorte à ce qu'elles émettent dans le spectre d'absorption des chlorophylles A et B afin de favoriser le développement végétatif des plantes cultivées dans le dispositif selon l'invention.

[0077] Préférentiellement, lesdites sources lumineuses sont des diodes électroluminescentes.

[0078] Dans des modes de réalisation de la présente invention, les sources lumineuses du module d'éclairage sont configurées pour émettre une lumière de longueur d'onde entre 350 nm et 850 nm. Préférentiellement, les sources lumineuses sont configurées pour émettre une lumière de longueurs d'ondes de 440 et de 660 nm, qui correspondent

avantageusement aux pics d'absorption de la chlorophylle a, et/ou de 445 et de 645 nm, qui correspondent avantageusement aux pics d'absorption de la chlorophylle b, ce qui permet de maximiser avantageusement l'efficacité photosynthétique des plantes.

- [0079] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le module d'éclairage est piloté par un dispositif d'intelligence artificielle qui permet la reproduction des cycles lumineux naturels. Préférentiellement, le module d'éclairage est configuré de sorte à ce que l'utilisateur ait le choix entre deux modes d'éclairage : un mode dit de printemps, qui permet un éclairage de 12 heures consécutives, et un mode dit d'été, qui permet un éclairage de 14 heures consécutives.
- [0080] Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, les diodes électroluminescentes sont fixées sur un support constitué d'un matériau permettant avantageusement de maximiser la dissipation thermique lors de leur fonctionnement. Préférentiellement, et de manière non limitative, ledit support est constitué d'aluminium.
- [0081] Selon l'un des modes particuliers de réalisation de l'invention, ledit support comporte trois cartes électroniques, deux desdites cartes électroniques comportant elle-même entre 1 et 40 diodes électroluminescentes, préférentiellement 20 diodes électroluminescentes, positionnées au-dessus du ou des substrats, et la troisième carte électronique comportant des composants de commande, de sécurité électrique et d'intelligence (microcontrôleur) du module d'éclairage.
- [0082] Préférentiellement, les diodes électroluminescentes présentent un cône d'émission lumineuse d'angle compris entre 40° et 150°.
- [0083] Préférentiellement, les diodes électroluminescentes sont réparties sur les cartes électroniques de sorte à optimiser la densité de flux en photons photosynthétiques, c'est-à-dire la quantité de lumière photosynthétiquement active reçue par une plante par unité de temps. A cet effet, les diodes sont réparties sur les cartes électroniques de sorte à obtenir une quantité de lumière photosynthétiquement active comprise entre 4 mol/m²/jour et 45 mol/m²/jour.
- [0084] Préférentiellement les diodes électroluminescentes sont connectées en parallèle afin de répartir équitablement le courant de commande entre les différentes diodes électroluminescentes, ce qui permet avantageusement de réduire le risque de détérioration des autres diodes en cas de défaillance de l'une d'entre elles, et afin d'équilibrer la dissipation de la chaleur.
- [0085] La présente invention concerne en outre un procédé de culture aquaponique utilisant un dispositif selon l'invention et comprenant des répétitions d'un cycle d'étapes comportant : une première étape de commande du débit de ladite pompe pour le fixer à ladite première valeur pendant une première durée, de sorte à induire que ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture se trouve à ladite première hauteur, et une deuxième étape de commande du débit de ladite pompe pour le fixer à ladite deuxième valeur

pendant une deuxième durée, de sorte à induire que ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture se trouve à ladite deuxième hauteur.

[0086] Préférentiellement, la pompe à eau est configurée de sorte qu'elle émet un signal qui est l'image du débit de la pompe à eau. Ce signal peut être, de manière non limitative : une fréquence (fréquence de rotation de la pompe), un courant, une tension.

[0087] Selon des modes de mise en œuvre particuliers du procédé objet de la présente invention, ladite première étape de commande et ladite seconde étape de commande comprennent chacune deux sous-étapes : une première sous-étape de mesure d'un signal émis par ladite pompe et image du débit de ladite pompe, par exemple, et de manière non limitative, la fréquence de rotation de ladite pompe, et une deuxième sous-étape de conversion dudit signal émis par ladite pompe pour déduire ledit débit de ladite pompe.

[0088] Selon des modes de mise en œuvre du procédé objet de la présente invention, la valeur du débit de la pompe est calculée et enregistrée par un programme informatique à partir de la valeur de la fréquence de rotation de la pompe, mesurée par un étage de mesure, c'est-à-dire un circuit électronique conçu spécifiquement pour transformer le signal de fréquence de rotation émis par la pompe en un signal interprétable par le logiciel.

[0089] Dans l'un des modes préférés de mise en œuvre du procédé selon l'invention, le programme informatique réalise séquentiellement les opérations suivantes : il déclenche la première étape, c'est-à-dire la variation du débit de la pompe jusqu'à une valeur seuil A correspondant au débit permettant à l'eau d'atteindre la deuxième hauteur dans le bac de culture, puis mesure la fréquence de rotation de la pompe, en déduit le débit, vérifie que le débit mesuré correspond à la valeur seuil A, mesure la durée écoulée depuis la précédente variation de débit et la compare à une valeur seuil T1 correspondant à la durée définie pour le maintien de l'eau à la deuxième hauteur dans le bac de culture, et, si le temps écoulé est égal à la durée T1, déclenche la deuxième étape, c'est-à-dire la variation du débit de la pompe jusqu'à une valeur seuil B correspondant au débit permettant à l'eau d'atteindre la première hauteur dans le bac de culture. Puis, le programme informatique mesure la fréquence de rotation de la pompe, en déduit le débit, vérifie que le débit mesuré correspond à la valeur seuil B, mesure la durée écoulée depuis la précédente variation de débit et la compare à une valeur seuil T2 correspondant à la durée définie pour le maintien de l'eau à la première hauteur dans le bac de culture, et, si la durée écoulée est égale à la durée T2, il déclenche la première étape.

[0090] Préférentiellement, la valeur seuil B correspond au débit le plus faible que la pompe peut atteindre lorsqu'elle fonctionne, et ce débit est différent de zéro.

[0091] Dans un des modes préférés de mise en œuvre du procédé selon l'invention, le cycle

d'étapes est réalisé de sorte à ce que la fréquence d'immersion du substrat lorsque l'eau se trouve à la deuxième hauteur soit suffisamment élevée pour éviter avantageusement que ledit substrat ne se dessèche, mais suffisamment faible pour permettre avantageusement l'absorption par le substrat et/ou la plante de l'azote issu des nutriments contenus dans l'eau.

- [0092] De préférence, la durée d'immersion du substrat lorsque l'eau se situe à la deuxième hauteur est suffisamment longue pour permettre au substrat de s'humidifier, mais suffisamment courte pour éviter la libération dans l'eau des éléments nutritifs contenus dans ledit substrat, de sorte à avantageusement éviter le pourrissement des organes végétaux, éviter la coloration de l'eau, et éviter la libération dans l'eau des éléments nutritifs contenus dans le substrat.
- [0093] Dans des modes de mise en œuvre du procédé selon la présente invention, la durée d'immersion dudit substrat lorsque l'eau se trouve à la deuxième hauteur est comprise entre 1 et 15 minutes, préférentiellement la durée d'immersion dudit substrat est de 5 minutes.
- [0094] Selon des modes de mise en œuvre du procédé selon l'invention, la première durée, qui permet l'immersion du substrat, est plus courte que la deuxième durée, durant laquelle le substrat n'est pas immergé, afin d'éviter avantageusement la dissolution dans l'eau des éléments nutritifs contenus dans le substrat, ce qui présente un risque pour le vivant, et afin d'éviter le pourrissement des organes des plantes.
- [0095] Dans l'un des modes de mise en œuvre du procédé selon l'invention, la première durée est comprise entre 0.05% et 1%, de préférence est de 0.35%, du cycle d'immersion du substrat, ledit cycle d'immersion du substrat correspondant à la somme de la première durée et de la deuxième durée.
- [0096] Dans des modes de mise en œuvre particuliers du procédé de culture aquaponique selon l'invention, ladite première durée est comprise entre 1 seconde et 60 minutes, et ladite deuxième durée est comprise entre 1380 minutes et 1439 minutes 59 secondes.
- [0097] Préférentiellement, ladite première durée est une valeur comprise entre 1 et 15 minutes, de préférence sensiblement égale à 5 minutes, et ladite deuxième durée est une valeur comprise entre 1425 et 1439 minutes, de préférence sensiblement égale à 1435 minutes.
- [0098] Dans l'un des modes de mise en œuvre particuliers du procédé de culture aquaponique selon l'invention, la première durée n'est pas constante. Plus particulièrement, la première durée d'immersion du substrat faisant immédiatement suite à la mise en fonction du dispositif est plus longue que les autres premières durées, afin de permettre avantageusement l'hydratation rapide du substrat.
- [0099] Dans un autre mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, la première durée et la deuxième durée sont définies en fonction de la fréquence d'immersion du

substrat. Lorsque le substrat est immergé toutes les 24 heures, c'est-à-dire toutes les 1440 minutes, préférentiellement la première durée est comprise entre 1 et 10 minutes, de préférence elle est égale à 5 minutes.

[0100] Lorsque le substrat est immergé toutes les 48 heures, c'est-à-dire toutes les 2880 minutes, préférentiellement la première durée est comprise entre 2 et 20 minutes, de préférence elle est égale à 10 minutes.

[0101] Lorsque le substrat est immergé toutes les 24 minutes, c'est-à-dire toutes les 1440 secondes, préférentiellement la deuxième durée est comprise entre 1 et 10 secondes, de préférence elle est de 5 secondes.

Brève Description des figures

[0102] Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lumière des exemples de mise en œuvre ci-après, fournis à simple titre illustratif et nullement limitatifs de l'invention, avec l'appui des figures 1 à 9, dans lesquelles :

[0103] [Fig.1] La [Fig.1] représente une vue générale d'un dispositif de culture aquaponique conforme à l'invention.

[0104] [Fig.2] la [Fig.2] représente, de manière schématique, une vue de dessus d'un bac de culture du dispositif de culture aquaponique selon l'invention comprenant notamment les orifices d'entrée et de sortie d'eau, ainsi que les réceptacles contenant les substrats de culture.

[0105] [Fig.3] La [Fig.3] représente une vue isométrique du bac de culture du dispositif de culture aquaponique selon l'invention et des principaux éléments qui le constituent.

[0106] [Fig.4] La [Fig.4] représente une vue de dessus du bac de culture illustré en [Fig.3] et une représentation schématique de la circulation de l'eau à travers les différents éléments qui le constituent. Certains éléments, et notamment les réceptacles de culture, n'y sont pas représentés.

[0107] [Fig.5] La [Fig.5] représente une coupe selon un plan longitudinal vertical A/A du bac de culture illustré en [Fig.4] et illustre de manière schématique la circulation de l'eau depuis l'orifice d'entrée jusqu'aux extrémités latérales du bac de culture, l'eau passant successivement par la zone dite de première profondeur et la zone dite de deuxième profondeur du bac de culture. Des réceptacles contenant des substrats de culture, ainsi que les deux niveaux d'eau correspondant d'une part à la première hauteur, et d'autre part à la deuxième hauteur sont également représentés.

[0108] [Fig.6] La [Fig.6] représente une coupe selon un plan longitudinal vertical B/B du bac de culture illustré en [Fig.4] et illustre de manière schématique la circulation de l'eau depuis les extrémités latérales du bac de culture jusqu'à l'orifice de sortie. Les filtres mécaniques et/ou biologiques, situés en amont de l'orifice de sortie, ainsi que les niveaux d'eau correspondant d'une part à la première hauteur, et d'autre part à la

deuxième hauteur sont également représentés.

- [0109] [Fig.7] La [Fig.7] représente, de manière schématique une vue latérale du bac de culture dans laquelle est indiquée la variation du niveau d'eau entre les deux hauteurs de marée par rapport à la position d'un réceptacle contenant un substrat de culture, ainsi que par rapport à la position des deux ouvertures situées sur la pièce à parois pleines positionnée en amont de l'orifice de sortie d'eau.
- [0110] [Fig.8] La [Fig.8] représente la pièce à parois pleines, recouvrant l'orifice de sortie d'eau, et comportant les deux ouvertures permettant de réguler le niveau d'eau, la première ouverture permettant l'écoulement de l'eau vers le bac aquarium lorsque le niveau d'eau se trouve à la première hauteur, la deuxième ouverture permettant l'écoulement de l'eau vers le bac aquarium lorsque le niveau d'eau se trouve à la deuxième hauteur.
- [0111] [Fig.9] La [Fig.9] représente, de manière schématique, les différentes opérations de la commande logicielle permettant de contrôler les variations du débit de la pompe et donc de contrôler la périodicité des changements de niveaux d'eau dans le bac de culture.

On note dès à présent que les figures ne sont pas à l'échelle.

Description détaillée

- [0112] De manière générale, la portée de la présente invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits ci-dessus à titre d'exemples non limitatifs, mais s'étend au contraire à toutes les modifications à la portée de la personne de l'art. Chaque caractéristique d'un mode de réalisation peut être mise en œuvre isolément ou combinée à toute autre caractéristique de tout autre mode de réalisation de manière avantageuse.
- [0113] Il y a lieu de noter que, dans le présent texte, le terme « vertical » est défini selon une direction qui est parallèle à la direction de la pesanteur. En outre, les termes relatifs « supérieur » et « inférieur » sont définis le long d'une droite verticale, et sont relatifs à la position du dispositif d'aquaponie selon l'invention telle que l'illustre la [Fig.1], un élément dit « supérieur » étant au-dessus d'un élément dit « inférieur ».
- [0114] La [Fig.1] présente une vue schématique du dispositif 20 de culture aquaponique selon un mode de réalisation de l'invention. Le dispositif 20 de culture aquaponique selon l'invention est également appelé « dispositif aquaponique » ou « dispositif d'aquaponie », dans la suite de la description. Il comprend un bac aquarium 21, contenant de l'eau et destiné à contenir au moins un organisme aquatique. Le bac aquarium 21 peut être, de manière non limitative, cuboïde, parallélépipédique, sphérique, etc. La [Fig.1] illustre un dispositif aquaponique 20 dont le bac aquarium 21 est de forme parallélépipédique. Le dispositif d'aquaponie 20 comporte également un bac de culture 22 dans lequel est placé au moins un réceptacle 23, le réceptacle 23

étant configuré pour contenir un substrat de culture. Un réceptacle désigne un contenant pouvant être, de manière non limitative, cuboïde, parallélépipédique, sphérique, *etc*, et comportant une zone ou une face ouverte, en contact avec l'atmosphère, opposée à une zone ou une face inférieure pouvant être immergée dans de l'eau qui peut être contenue dans le bac de culture 22. La [Fig.1] illustre un dispositif aquaponique 20 dont le bac de culture 22 comporte quatre réceptacles 23 de forme ellipsoïde.

[0115] Le bac de culture 22 comporte au moins un orifice d'entrée d'eau 24 et au moins un orifice de sortie d'eau 25, ce qui lui permet d'être en communication hydraulique avec le bac aquarium 21. L'orifice de sortie d'eau 25 présente une forme définie pour maximiser l'oxygénation de l'eau le traversant, préférentiellement une forme circulaire (forme non-illustrée sur les figures). La [Fig.1] illustre un dispositif aquaponique 20 dont le bac de culture 22 comporte un seul orifice d'entrée d'eau 24 et deux orifices de sortie d'eau 25. Le bac de culture 22 comporte également un pore 26, obstrué de manière amovible par un réceptacle 23 surmonté d'un bouchon 27 de préférence en liège, permettant à l'utilisateur un accès direct au bac aquarium 21. Dans un mode de réalisation alternatif, non visible sur la figure, une plante ayant déjà développé ses racines est positionnée dans le pore 26, de sorte à ce que les racines de ladite plante soient immergées dans l'eau.

[0116] Le dispositif aquaponique 20 comporte une pompe à eau 28 positionnée de manière à ce que le mécanisme de la pompe puisse pomper l'eau contenue dans le bac aquarium 21 et l'envoyer dans le bac de culture 22 selon un débit d'eau de ladite pompe à eau 28. Par pompe à eau, on entend, dans la présente invention, un dispositif configuré pour aspirer et faire circuler l'eau, et comprenant un axe de rotation central permettant de créer un mouvement et d'entraîner le déplacement de l'eau à travers le mécanisme de la pompe selon un débit. Une pompe, telle qu'entendue dans la présente invention, est donc caractérisée par une fréquence de rotation qui correspond à la vitesse à laquelle tourne l'axe de rotation central, ladite fréquence étant en relation directe avec le débit d'eau générée par ladite pompe. La pompe à eau 28 peut être positionnée à l'intérieur du bac aquarium 21 ou, comme illustré en [Fig.1], elle peut être placée dans un boîtier 29 lui-même positionné dans le bac aquarium 21, de manière à ce que la pompe à eau 28 soit immergée dans l'eau contenue dans le bac aquarium 21. Dans un mode de réalisation alternatif, la pompe à eau 28 peut être positionnée dans le bac de culture 22 et en connexion hydraulique avec le bac aquarium 21. Le terme boîtier désigne un contenant configuré pour protéger la pompe à eau 28. Le boîtier 29 est de préférence monté de manière amovible sur l'orifice d'entrée d'eau 24.

Dans d'autres mode de réalisation de l'invention, le boîtier 29 est monté de manière inamovible sur l'orifice d'entrée d'eau 24.

- [0117] La pompe à eau 28 est de préférence une pompe à eau submersible. Préférentiellement, la pompe à eau 28 est alimentée par un courant continu qui est modulé pour faire varier la vitesse de ladite pompe à eau 28. Préférentiellement, cette modulation s'effectue au moyen d'un générateur de courant piloté par un signal PWM (modulation de largeur d'impulsion).
- [0118] Le dispositif d'aquaponie 20, comporte un système de marée comprenant un module de commande 30 du débit d'eau de la pompe à eau 28 configuré pour fixer le débit alternativement à une première valeur induisant que le niveau d'eau dans le bac de culture 22 se trouve à une première hauteur 31, également appelée « marée basse », et à une deuxième valeur induisant que le niveau d'eau dans le bac de culture 22 se trouve à une deuxième hauteur 32, également appelée « marées haute » ([Fig.1]).
- [0119] Comme illustré dans la [Fig.1], le module de commande 30 est un module indépendant du bac aquarium 21 et du bac de culture 22.
- Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, le module de commande 30 est fixé solidairement au bac aquarium 21 ou au bac de culture 22.
- Encore dans d'autres modes préférés de réalisation de l'invention, le module de commande 30 est incorporé dans le bac aquarium 21 ou dans le bac de culture 22.
- [0120] Dans un mode de réalisation de l'invention, le module de commande 30 comporte une système électronique programmable préprogrammé tel qu'un microcontrôleur (non illustré sur les figures), configuré pour mesurer et réguler le débit de la pompe à eau 28, permettant ainsi de fixer le débit alternativement à la première valeur et à la deuxième valeur et donc, respectivement d'induire la marée basse et la marée haute dans le bac de culture 22.
- [0121] Préférentiellement, la pompe à eau 28 est configurée de sorte qu'elle émet un signal qui est l'image du débit de la pompe à eau 28. Ce signal peut être, de manière non limitative : une fréquence (fréquence de rotation de la pompe), un courant, une tension.
- De préférence, le module de commande 30 comporte également un circuit électronique conçu spécifiquement pour transformer le signal émis par la pompe à eau 28 en un signal interprétable par un logiciel contenu dans le microcontrôleur, l'une des fonctions dudit logiciel étant d'enregistrer et calculer la valeur du débit de la pompe à eau 28 à partir du signal interprétable transmis par le circuit électronique.
- [0122] Dans l'un des modes de réalisation de l'invention, le circuit électronique du module de commande 30 comporte un étage de commande du débit de la pompe à eau 28 et un étage de mesure du débit de la pompe à eau 28.
- Préférentiellement, pour permettre une maîtrise précise de la vitesse de rotation de la pompe à eau 28, la pompe à eau 28 est contrôlée en courant par un générateur de courant constant, lui-même piloté par un signal PWM (Modulation de largeur d'impulsion) filtré et généré par l'étage de commande du microcontrôleur du module

de commande.

[0123] Dans l'un des modes de réalisation de l'invention, l'étage de commande du débit de la pompe à eau comporte :

- Un premier étage de circuit, comportant plusieurs composants passifs (résistances et condensateurs), un premier transistor MOFSET, et un premier amplificateur opérationnel, qui crée une première source de courant constant qui sert de consigne en tension pour le pilotage du deuxième étage du circuit de la conception.

- Un deuxième étage de circuit, comportant plusieurs composants passifs (résistances et condensateurs), un deuxième transistor MOFSET, et un deuxième amplificateur opérationnel, qui crée une deuxième source de courant constant qui permet de piloter la pompe à eau 28. Ce deuxième amplificateur opérationnel est contrôlé par la consigne lui étant appliquée par le premier étage du circuit sur son entrée non-inverseuse. Une résistance, placée en série avec la pompe à eau 28, et qui crée une chute de tension proportionnelle au courant de charge qui y circule, est appliquée sur l'entrée inverseuse du deuxième amplificateur opérationnel. Le deuxième amplificateur opérationnel règle alors automatiquement le courant circulant au travers de la pompe à eau 28 en fonction de la consigne en courant lui étant appliquée.

- Des composants, comprenant un couple de composants passifs (résistance et condensateur), réalisent un filtre passe-bas du premier ordre, transformant le signal PWM de 10kHz venant du microcontrôleur du module de commande 30 en signal quasi-constant sur l'entrée non inverseuse du premier amplificateur opérationnel du premier étage du circuit. Le rapport cyclique de ce signal PWM sert à gérer la tension moyenne de ce signal filtré, qui est la consigne du courant à générer.

- Une dernière résistance de 2Ω , placée en série avec la pompe à eau 28, permet la mesure du courant, que l'étage de mesure utilisera pour déterminer la vitesse de rotation de la pompe à eau 28.

[0124] Dans l'un des modes de réalisation de l'invention, l'étage de mesure du débit de la pompe à eau comporte :

- Un étage de filtration passe-haut du premier ordre, comportant un couple constitué d'une résistance et d'un condensateur.

- Un étage d'amplification comportant plusieurs résistances et un troisième amplificateur opérationnel .

- Un étage de filtration passe-bas du troisième ordre, qui comporte plusieurs composants passifs (résistances et condensateurs) et un quatrième amplificateur opérationnel.

- Un étage de comparaison composé de plusieurs composants passifs (résistances et condensateurs), un cinquième amplificateur opérationnel et un troisième transistor.

[0125] Le dispositif d'aquaponie 20 comporte un module d'éclairage 33, configuré pour

éclairer le bac de culture 22. La [Fig.1] illustre un dispositif d'aquaponie 20 comportant un module d'éclairage 33 supporté par un support, ici un mât 34, de préférence vertical et fixement solidaire du bac de culture 22, l'axe du mât 34 étant préférentiellement perpendiculaire à l'axe longitudinal du bac de culture 22. Le module d'éclairage 33 comporte au moins une source lumineuse, préférentiellement plusieurs sources lumineuses.

[0126] Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, le module d'éclairage 33 est supporté par tout type de support permettant d'orienter les sources lumineuses de sorte à ce qu'elles éclairent les substrats de culture et/ou les plantes lorsqu'ils sont contenus dans le réceptacle.

[0127] Préférentiellement, lesdites sources lumineuses du module d'éclairage 33 sont sélectionnées de sorte à ce qu'elles émettent dans un spectre lumineux permettant d'optimiser la croissance des plantes dites « à feuilles », c'est-à-dire les plantes dont la partie aérienne, et plus particulièrement la feuille, est consommée.

Préférentiellement, les sources lumineuses du module d'éclairage 33 sont sélectionnées de sorte à ce qu'elles émettent dans le spectre d'absorption des chlorophylles A et B afin de favoriser le développement végétatif des plantes cultivées dans le dispositif selon l'invention.

[0128] Dans des modes particuliers de réalisation de l'invention, les sources lumineuses peuvent être, de manière non limitative, des lampes fluorescentes, des lampes à incandescences, des lampes à vapeur de sodium haute pression (HPS), des lampes à halogénures métalliques (MH), des lampes à induction, des lampes à plasma, des diodes électroluminescentes.

Préférentiellement, lesdites sources lumineuses sont des diodes électroluminescentes. Préférentiellement, les diodes électroluminescentes présentent un cône d'émission lumineuse d'angle compris entre 40° et 150°. Les diodes électroluminescentes sont de préférence fixées sur un support de diodes constitué d'un matériau permettant avantageusement de maximiser la dissipation thermique lors de leur fonctionnement. Préférentiellement, et de manière non limitative, ledit support de diodes est constitué d'aluminium.

[0129] Dans de modes particuliers de réalisation de l'invention, ledit support de diodes comporte trois cartes électroniques, deux desdites cartes électroniques comportant entre 1 et 40 diodes électroluminescentes, préférentiellement 20 diodes électroluminescentes, positionnées au-dessus du ou des substrats, la troisième carte électronique comportant les composants de sécurité électrique, de commande, et d'intelligence (microcontrôleur). Préférentiellement, les diodes électroluminescentes sont réparties sur les cartes électroniques de sorte à optimiser la densité de flux en photons photosynthétique, c'est-à-dire la quantité de lumière photosynthétiquement active reçue par

une plante par unité de temps. A cet effet, les diodes sont réparties sur les cartes électroniques de sorte à obtenir une quantité de lumière photosynthétiquement active comprise entre 4 mol/m²/jour et 45 mol/m²/jour.

[0130] Préférentiellement les diodes électroluminescentes sont connectées en parallèle afin de répartir équitablement le courant entre les différentes diodes et de maximiser la dissipation de la chaleur.

Dans des modes de réalisation de l'invention, les sources lumineuses du module d'éclairage 33 sont configurées pour émettre une lumière de longueur d'onde entre 350 nm et 850 nm, préférentiellement de 440 nm et 660 nm, qui correspondent aux pics d'absorption de la chlorophylle a, et de 445 nm et 645 nm, qui correspondent aux pics d'absorption de la chlorophylle b.

[0131] De préférence, le module d'éclairage 33 est piloté par un dispositif d'intelligence artificielle qui permet la reproduction des cycles lumineux naturels. Préférentiellement, le module d'éclairage 33 est configuré de sorte à ce que l'utilisateur ait le choix entre deux modes d'éclairage : un mode dit de printemps, qui permet un éclairage d'une durée comprise entre 6 et 20 heures consécutives, préférentiellement 12 heures consécutives, et un mode dit d'été, qui permet un éclairage d'une durée comprise entre 6 et 20 heures consécutives, préférentiellement 14 heures consécutives.

[0132] La [Fig.2] présente une vue schématique supérieure du bac de culture 22 selon un mode de réalisation de l'invention. Le bac de culture 22 peut être, de manière non limitative cuboïde, parallélépipédique, sphérique, etc. Le bac de culture 22 illustré en [Fig.2] est de forme parallélépipédique tout comme celui illustré dans le dispositif aquaponique 20 de la [Fig.1]. Le bac de culture 22 illustré en [Fig.2] comprend quatre réceptacles 23 de section ovale, ainsi que l'orifice d'entrée d'eau 24 et le pore 26, permettant l'accès au bac aquarium 21. Chaque réceptacle 23 est configuré pour contenir du substrat de culture, ledit substrat pouvant être tout matériau ou mélange de matériaux utilisé comme support pour la croissance d'une ou de plusieurs plantes.

[0133] Préférentiellement, et de manière non limitative, la composition du substrat est élaborée de manière à répondre plus particulièrement aux besoins nutritifs des espèces de plantes suivantes : basilic (*Ocimum basilicum*), basilic pourpre (*Ocimum basilicum 'purpurascens'*), basilic citron (*Ocimum basilicum 'citriodorum'*), origan (*Origanum vulgare*), persil (*Petroselinum crispum*), menthe (*Mentha*), sauge (*Salvia*), souci (*Calendula* et/ou *Caltha*), ciboulette (*Allium schoenoprasum*), oseille (*Rumex*), coriandre (*Coriandrum sativum*), œillet d'inde (*Tagetes patula*), thym (*Thymus*), etc.

Dans des modes particuliers de réalisation de l'invention, le substrat peut contenir des composants organiques et/ou des composants inorganiques. Les composants inorganiques peuvent être choisis, de manière non limitative, parmi de la perlite, de la ponce, de la vermiculite, du sable, de l'hydrogel, etc. et un mélange de deux ou plus de

ces derniers.

[0134] Les composants organiques peuvent être choisis, de manière non limitative, parmi de la tourbe, de l'écorce, de la fibre de coco, des enveloppes de grain de riz, etc. et un mélange de deux ou plus de ces derniers.

Le bac de culture comporte en outre au moins un filtre biologique et/ou mécanique, préférentiellement deux filtres, positionné(s) de sorte à ce que le parcours de l'eau passe par le ou les filtre(s) avant d'atteindre l'orifice de sortie 25. La [Fig.2] illustre un dispositif aquaponique 20 dans lequel le bac de culture 22 comporte, pour chaque orifice de sortie 25, deux filtres, un filtre mécanique 35 et un filtre biologique 36, disposés successivement dans le sens de circulation de l'eau, de sorte à ce que le parcours de l'eau passe par l'un des deux filtres avant d'atteindre l'autre filtre, puis d'atteindre l'orifice de sortie 25.

[0135] De préférence, le filtre mécanique 35 est positionné avant le filtre biologique 36 dans le sens de la circulation de l'eau, de sorte que le parcours de l'eau circule par le filtre mécanique 35 avant d'atteindre le filtre biologique 36. L'ensemble du filtre mécanique 35 et du filtre biologique 36 est également appelé couple de filtration 37. Le bac de culture 22 illustré en [Fig.2] comporte deux couples de filtration 37 (un couple de filtration pour chaque orifice de sortie 25).

Préférentiellement, deux couples de filtration 37 sont positionnés de telle sorte à ce que l'eau ait la possibilité de passer par l'un ou par l'autre avant d'atteindre l'orifice de sortie 25. Un tel mode de réalisation n'est pas représenté sur les figures.

Préférentiellement, dans un couple de filtration 37, le filtre mécanique 35 est positionné avant le filtre biologique 36.

Le filtre mécanique 35 comporte de préférence des médias filtrants, tels que, de manière non limitative, une éponge, un tamis, ou une membrane.

Préférentiellement, le médium filtrant est un polymère à mailles, également appelée « mousse ».

[0136] Le filtre biologique 36 comporte de préférence des bactéries nitrifiantes, telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*.

Préférentiellement, le filtre biologique 36 comprend un ou des éléments poreux contenant lesdites bactéries nitrifiantes. De tels éléments poreux sont par exemple et de manière non limitative choisis parmi de la pouzzolane, des billes d'argile, des billes de céramique, etc. Préférentiellement, les éléments poreux contenant les bactéries sont des billes de céramique. Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les éléments poreux contenant les bactéries sont des billes de roche naturelle, préférentiellement des billes « Matrix » de la marque Seachem®.

[0137] La [Fig.3] représente une vue isométrique du bac de culture 22 et la [Fig.4] une vue supérieure du bac de culture 22 du dispositif 20 d'aquaponie selon un mode de réa-

lisation de l'invention. Comme illustré dans la [Fig.3] et dans la [Fig.4], le bac de culture 22 comporte, de part et d'autre d'un plan P de symétrie transversal et vertical passant par l'orifice d'entrée d'eau 24 :

- une première zone 38 d'une première profondeur,
- une deuxième zone 39 d'une deuxième profondeur, la première profondeur étant plus grande que la deuxième profondeur,
- une troisième zone 40 comportant l'orifice de sortie 25 ainsi que d'un couple de filtration 37 non représenté sur les figures 3 et 4.

[0138] De préférence, la profondeur de la deuxième zone 39 est comprise entre 3 cm et 20 cm, préférentiellement, elle est de 4,5 cm.

De préférence, la profondeur de la première zone 38 est comprise entre 4 cm et 21 cm, préférentiellement, elle est de 7 cm.

De préférence, la différence de profondeur entre la première zone et la deuxième zone est comprise entre 1 cm et 20 cm, préférentiellement de 2 cm.

Dans un mode de réalisation alternatif, non représenté sur les figures, la première zone et la deuxième zone sont de profondeurs égales.

La première zone 38, la deuxième zone 39, et la troisième zone 40 sont délimitées par des cloisons, dont une cloison transversale 41 séparant la première zone 38 de la deuxième zone 39, et une cloison longitudinale 42 séparant la première zone 38 et la deuxième zone 39 de la troisième zone 40.

[0139] Le bac de culture 22 comporte de préférence, de part et d'autre du plan P de symétrie transversal et vertical passant par l'orifice d'entrée d'eau 24, au moins une cloison transversale 41.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, non représenté sur les figures, le bac de culture ne comporte qu'un seul réceptacle de culture et ne comporte pas de cloison.

Préférentiellement, la cloison transversale 41 est positionnée de sorte à séparer deux réceptacles 23 et de sorte à bloquer et à orienter le parcours de l'eau contenue dans le bac de culture 22.

[0140] Dans le dispositif 20 d'aquaponie tel qu'illustré dans les figures 3 et 4, le bac de culture 22 est de forme rectangulaire et comporte deux cloisons transversales 41 (une de part et d'autre du plan P) positionnées transversalement dans le sens de la largeur du bac de culture 22, chaque cloison transversale 41 étant fixement solidaire d'une paroi inférieure 49 du bac de culture 22, et positionnée perpendiculairement à la longueur du bac de culture 22.

[0141] On entend par le terme « solidaire » lorsqu'il fait référence à des pièces les unes par rapport aux autres de manière classique en elle-même, que lesdites pièces sont mutuellement liées, un mouvement relatif entre elles pouvant toutefois être possible. Dans

la présente description, par convention on désignera par « solidaires » des pièces étant liées l'une à l'autre par une liaison autorisant un mouvement relatif d'une pièce par rapport à l'autre. On désignera par « fixement solidaires » des pièces qui sont mutuellement liées de manière fixe, c'est-à-dire de sorte qu'un mouvement relatif entre elles est impossible.

Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, ladite cloison transversale 41 est solidaire de la paroi inférieure 49 du bac de culture 22.

[0142] Le bac de culture 22 comporte en outre au moins une cloison longitudinale 42. Préférentiellement, la cloison longitudinale 22 est positionnée de sorte à bloquer la circulation de l'eau et à orienter le parcours de l'eau dans le bac de culture. De préférence le bac de culture 22 comporte deux cloisons longitudinales 42 (une de part et d'autre du plan P) positionnées longitudinalement dans le sens de la longueur du bac de culture 22, chaque cloison longitudinale 42 étant fixement solidaire de la paroi inférieure 49 du bac de culture 22, et positionnée perpendiculairement à la largeur du bac de culture (figures 3 et 4).

[0143] Dans d'autres modes de réalisation de l'invention, ladite au moins une cloison longitudinale 42 est solidaire de la paroi inférieure 49 du bac de culture 22.

[0144] Préférentiellement, et tel qu'illustré sur les figures 3 et 4, chaque cloison transversale 41 est une paroi pleine, rectangulaire, comportant deux encoches 43a traversantes permettant le passage de l'eau au travers de ladite paroi pleine, chaque encoche 43a traversante étant positionnée à l'une des extrémités longitudinales de ladite cloison transversale 41.

[0145] Préférentiellement, et tel qu'illustré sur les figures 3 et 4, chaque cloison longitudinale 42 est une paroi pleine, rectangulaire, comportant une encoche 43b traversante permettant le passage de l'eau, ladite encoche 43b étant positionnée à une extrémité longitudinale de ladite cloison longitudinale 42 opposée à l'orifice d'entrée d'eau 24 (l'extrémité longitudinale la plus éloignée de l'orifice d'entrée d'eau 24).

[0146] Le bac de culture 22 tel qu'illustré dans la [Fig.4] étant symétrique par rapport au plan P passant par l'orifice d'entrée d'eau 24, et le parcours de l'eau étant lui-même symétrique par rapport au plan P, par soucis de simplification, la description du parcours de l'eau donnée ci-après se limite à la partie du bac de culture 22 étant d'un des côtés par rapport au plan P.

Les caractéristiques du bac de cultures 22 citées ci-avant permettent le parcours 44 de l'eau dans le bac de culture 22 entre l'orifice d'entrée d'eau 24 et l'orifice de sortie 25 tel qu'illustré dans la [Fig.4].

[0147] L'eau est aspirée par la pompe à eau 28 dans le bac aquarium 21 puis est conduite dans le bac de culture 22 par l'orifice d'entrée d'eau 24. Le parcours 44 de l'eau passe ensuite par la première zone 38 de première profondeur, puis passe à travers les

encoches 43a de la cloison transversale 41 pour rejoindre la deuxième zone 39 de deuxième profondeur. Le parcours 44 de l'eau passe ensuite par l'encoche 43b de la paroi longitudinale 42 pour rejoindre la troisième zone 40, passe par le couple de filtration (non illustrés en [Fig.4]), préférentiellement par deux couples de filtration, et rejoint l'orifice de sortie 25.

[0148] La [Fig.5] et la [Fig.6] représentent des coupes longitudinales du bac de culture 22 tel qu'illustré par la [Fig.4], la [Fig.5] étant une coupe longitudinale selon un plan A/A du bac de culture 22 et la [Fig.6] étant une coupe longitudinale selon un plan B/B du bac de culture 22. Le bac de culture 22 tel qu'illustré dans la [Fig.5] et dans la [Fig.6] étant symétrique par rapport au plan P, par soucis de simplification, la description de l'invention telle que donnée ci-après vis-à-vis des figures 5 et 6 se limite à la partie du bac de culture 22 étant d'un des côtés par rapport au plan P.

[0149] On visualise en figures 5 et 6 une partie du parcours 44 de l'eau dans le bac de culture 22. Ledit bac de culture 22 illustré en [Fig.5] comporte l'orifice d'entrée d'eau 24, la première zone 38 de première profondeur, la deuxième zone 39 de deuxième profondeur ainsi que deux réceptacles 23 comprenant chacun du substrat 45 de culture de plantes 50. Comme illustré en [Fig.6] de manière schématique, le bac de culture 22 comporte en outre deux couples de filtration 37 et l'orifice de sortie 25. On peut voir le parcours 44 de l'eau dans le bac de culture 22, traverser le filtre mécanique 35 le filtre biologique 36 et l'orifice de sortie 25.

[0150] Le bac de culture 22, tel qu'illustré dans la [Fig.5], est configuré de sorte à ce que l'eau aspiré par la pompe à eau 28 arrive dans le bac de culture 22 par l'orifice d'entrée d'eau 24, soit répartie en deux flux distincts et de débits similaires, dirigés de part et d'autre du plan P par un connecteur 53, puis que le parcours 44 de l'eau passe par la première zone 38 de première profondeur, puis dans la deuxième zone 39 de deuxième profondeur.

Le bac de culture 22, est notamment configuré de sorte à ce qu'ensuite le parcours 44 de l'eau passe dans la troisième zone 40 au sein de laquelle il traverse un couple de filtration 37 avant d'atteindre l'orifice de sortie 25 ([Fig.6]).

[0151] Comme indiqué précédemment, le dispositif d'aquaponie 20 selon l'invention comprend un système de marée permettant de faire varier le niveau d'eau dans le bac de culture 22 entre la première hauteur 31 (marée basse), à laquelle le substrat 45 de culture de plantes contenu dans le réceptacle 23 n'est pas immergé, et la deuxième hauteur 32 (marée haute), à laquelle le substrat 45 contenu dans le réceptacle 23 est partiellement immergé par une face dite inférieure (figures 1, 5 et 6).

[0152] De préférence lorsque le niveau d'eau se situe à ladite première hauteur 31, les racines de ladite plante 50 sont immergées dans l'eau si elles ont une longueur suffisante ([Fig.5]).

Préférentiellement, lorsque le niveau d'eau se situe à la première hauteur 31, le niveau d'eau dans le bac de culture 22 est suffisamment faible pour qu'aucun contact ne s'établisse entre l'eau et le substrat 45 même si le dispositif 20 de culture aquaponique se trouve placé sur un plan incliné. On entend ici par « incliné », une inclinaison inférieure ou égale à 2°, de préférence inférieure à 2°, par rapport à un plan horizontal parallèle au sol.

- [0153] Préférentiellement, lorsque le niveau d'eau se situe à la deuxième hauteur 32, le niveau d'eau dans le bac de culture 22 permet d'immerger au moins partiellement le substrat 45 de sorte à permettre au substrat 45 de s'humidifier par capillarité, même lorsque le dispositif 20 de culture aquaponique se trouve sur un plan incliné. On entend cette fois par « incliné », une inclinaison inférieure ou égale à 3°, de préférence inférieure à 3°, par rapport à un plan horizontal parallèle au sol.
- [0154] La [Fig.7] représente, de manière schématique, un agrandissement du bac de culture 22 illustrant la variation du niveau d'eau dans le bac de culture 22 entre la marée haute, où l'eau se trouve à la deuxième hauteur 32, et la marée basse, où l'eau se trouve à la première hauteur 31, par rapport à un substrat 45 contenu dans un réceptacle 23. De préférence le réceptacle 23 comporte des rainures 51 traversantes de sorte que l'eau puisse passer au travers desdites rainures pour atteindre le substrat 45 lorsque le niveau d'eau est à la deuxième hauteur 32.
- [0155] Préférentiellement, le réceptacle 23 est configuré pour maintenir le substrat 45 dans une position telle que le substrat 45 est immergé sur une hauteur comprise entre 1 et 30 mm lorsque le niveau d'eau se trouve à la deuxième hauteur 32.
- [0156] De préférence, le réceptacle 23 est en outre configuré pour maintenir le substrat 45 dans une position telle que la face inférieure du substrat 45 est séparée de la surface de l'eau d'une distance inférieure ou égale à 20 mm, lorsque le niveau d'eau se trouve à la première hauteur 31.
- [0157] Dans le mode de réalisation illustré en [Fig.7], le réceptacle 23 est configuré pour maintenir le substrat 45 dans une position telle que le substrat 45 est immergé sur une hauteur égale à 5 mm lorsque le niveau d'eau se trouve à la deuxième hauteur 32. Le réceptacle 23 est en outre configuré pour maintenir le substrat 45 à une position telle que la face inférieure du substrat 45 est séparée de la surface de l'eau d'une distance égale à 14 mm, lorsque le niveau d'eau se trouve à la première hauteur 31.
- [0158] Selon le mode de réalisation de l'invention illustré dans la [Fig.7], la troisième zone 40 du bac de culture 22 contient une pièce 46 à parois pleines comportant une première ouverture 47 située à un niveau inférieur à la première hauteur 31, de préférence compris entre la première hauteur 31 et 5 mm en dessous de la première hauteur 31, préférentiellement compris entre la première hauteur 31 et 1 mm en dessous de la première hauteur 31, et une deuxième ouverture 48, située à un niveau inférieur à la

deuxième hauteur 32, de préférence compris entre la deuxième hauteur 32 et 5 mm en dessous de la deuxième hauteur 32, préférentiellement compris entre la deuxième hauteur 32 et 1 mm en dessous de la deuxième hauteur 32, la première ouverture 47 et la deuxième ouverture 48 étant en communication hydraulique avec l'orifice de sortie 25 non illustré sur la [Fig.7]. La pièce 46 à parois pleines est positionnée de sorte à canaliser le parcours 44 de l'eau à travers la première ouverture 47 et/ou la deuxième ouverture 48 avant que l'eau n'atteigne l'orifice de sortie 25.

[0159] L'aire A de la première ouverture 47 est définie en fonction :

- du nombre d'orifices de sortie 25, une pièce 46 à paroi pleines comportant une première ouverture 47 d'aire A étant positionnée en amont de chaque orifice de sortie 25 sur le parcours 44 de l'eau,
- du débit de la pompe à eau 28,
- de la distance entre la première ouverture 47 et la deuxième ouverture 48, ladite distance correspondant à la hauteur maximale du niveau d'eau dans le bac de culture 22
- de l'attraction terrestre.

[0160] Préférentiellement l'aire A de la première ouverture 47 de la pièce 46 à parois pleines est définie par l'équation suivante :

[0161] [Math.1]

$$\Sigma Ax = D_{\max} / (\sqrt{2 * g * h})$$

[0162] Où A est l'aire de la première ouverture 47 d'une pièce 46 à parois pleines, x est le nombre d'orifices de sortie 25, D_{max} est le débit maximal de la pompe à eau 28, g est l'attraction terrestre et h est la distance entre la deuxième ouverture 48 et un point du bord inférieur de ladite première ouverture 47, ledit point du bord inférieur étant le point le plus proche verticalement de la paroi inférieure 49 dudit bac de culture.

De préférence, D_{max} est égal à 2.89*10⁻⁵ m³.s⁻¹ et h est égale à 0,026 m de sorte que ΣAx est égale à 40,5 mm².

[0163] La [Fig.8] représente, de manière schématique, un agrandissement de l'intérieur du bac de culture 22 au niveau de la pièce 46 à parois pleines, selon un mode de réalisation de l'invention.

La pièce 46 à parois pleines est de préférence montée de manière amovible dans le bac de culture 22. Dans un autre mode de réalisation de l'invention, la pièce 46 à parois pleines est fixée solidairement au bac de culture 22.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, la pièce 46 à parois pleines recouvre l'orifice de sortie 25 (figures 3, 4 et 7).

Dans un autre mode de réalisation de l'invention non illustré sur les figures, la pièce à parois pleines entoure l'orifice de sortie.

Encore dans un autre mode de réalisation de l'invention non illustré sur les figures, la pièce à parois pleines est positionnée en amont de l'orifice de sortie, dans le parcours de l'eau, de sorte que l'eau circule dans le bac de culture entre la pièce à parois pleines et l'orifice de sortie.

[0164] La présente invention concerne en outre un procédé de culture aquaponique utilisant un dispositif 20 selon l'invention et comprenant des répétitions d'un cycle d'étapes comportant : une première étape de commande du débit de la pompe à eau 28 pour le fixer à la première valeur pendant une première durée, de sorte à induire que le niveau d'eau dans le bac de culture 22 se trouve à la première hauteur 31, et une deuxième étape de commande du débit de la pompe à eau 28 pour le fixer à la deuxième valeur pendant une deuxième durée, de sorte à induire que le niveau d'eau dans le bac de culture 22 se trouve à la deuxième hauteur 32.

Le procédé de culture aquaponique selon l'invention met notamment en œuvre le module de commande 30 présenté précédemment, comportant un microcontrôleur.

En effet, le logiciel du microcontrôleur du module de commande 20 réalise séquentiellement les opérations suivantes :

[0165] Il déclenche la première étape, c'est-à-dire la variation du débit de la pompe à eau 28 jusqu'à une valeur seuil A correspondant au débit permettant à l'eau d'atteindre la deuxième hauteur 32 (marée haute) dans le bac de culture 22, puis mesure la fréquence de rotation de la pompe à eau 28, en déduit le débit, vérifie que le débit mesuré correspond à la valeur seuil A, mesure la durée écoulée depuis la précédente variation de débit et la compare à une valeur seuil T1 correspondant à la durée définie pour le maintien de l'eau à la deuxième hauteur 32 dans le bac de culture 22, et, si le temps écoulé est égal à la durée T1, déclenche la deuxième étape, c'est-à-dire la variation du débit de la pompe à eau 28 jusqu'à une valeur seuil B correspondant au débit permettant à l'eau d'atteindre la première hauteur 31 (marée basse) dans le bac de culture 22. Puis, le programme informatique mesure la fréquence de rotation de la pompe 28, en déduit le débit, vérifie que le débit mesuré correspond à la valeur seuil B, mesure la durée écoulée depuis la précédente variation de débit et la compare à une valeur seuil T2 correspondant à la durée définie pour le maintien de l'eau à la première hauteur 31 dans le bac de culture 22, et, si la durée écoulée est égale à la durée T2, il déclenche la première étape.

[0166] La [Fig.9] illustre les étapes de commande du logiciel du microcontrôleur selon l'un des modes de mise en œuvre du procédé selon l'invention.

De préférence, la valeur seuil T2 de durée d'immersion dudit substrat 45 lorsque l'eau se trouve à la deuxième hauteur 32 est comprise entre 1 et 15 minutes. Préférentiellement, et tel qu'illustré dans la [Fig.9], la valeur seuil T2 de durée d'immersion dudit substrat 45 est de 5 minutes.

[0167] De préférence, la valeur seuil A du débit de la pompe à eau 28 est plus élevée que la valeur seuil B du débit de la pompe à eau 28.

Dans l'un des modes de mise en œuvre du procédé selon l'invention, illustré dans la [Fig.9], la valeur seuil A du débit de la pompe à eau 28 correspond au débit maximal de la pompe à eau 28.

Selon un mode de mise en œuvre du procédé objet de la présente invention où la pompe à eau 28 est une pompe à eau de modèle JYC-D1022 de la marque JYC®, le logiciel du microcontrôleur du module de commande 30 calcule la valeur du débit de la pompe à eau 28 à partir de la valeur de la fréquence de rotation de la pompe à eau, au moyen des équations suivantes :

[0168] [Math.2]

$$I_{pompe} = 0.0051 * f^2 - 0.0966 * f + 21.882$$

[0169] [Math.3]

$$\text{Débit} = -0.0002 * I_{pompe}^2 + 0.0449 * I_{pompe} - 0.8736$$

Où I_{pompe} est le courant de la pompe à eau 28, où les valeurs 0.0051, 0.0966, 21.882, 0.0002, 0.0449 et 0.8736 sont des constantes propres à la pompe à eau de modèle JYC-D1022 de la marque JYC® et où f est la fréquence de rotation de la pompe à eau 28, mesurée par l'étage de mesure du débit de la pompe à eau 28, la fréquence de rotation de la pompe à eau 28 étant l'image de son débit de sortie à travers la première ouverture 47 et/ou la deuxième ouverture 48 de la pièce 46 à parois pleines.

[0170] Le logiciel du microcontrôleur du module de commande 30 définit le courant à appliquer sur la pompe à eau 28 par une modification du rapport cyclique (α) du signal PWM (Modulation de largeur d'impulsion) de la pompe. Le rapport cyclique (α) correspond au rapport entre la durée de l'état haut du signal PWM et sa période, et il permet de définir le courant de la pompe à eau 28. Un étage électronique composé d'un filtre et d'un générateur de courant est placé entre le microcontrôleur et la pompe à eau 28 afin de lisser la tension du signal PWM et de limiter la courant appliqué à la pompe à eau 28.

[0171] Dans l'un des modes de réalisation de l'invention, les valeurs du rapport cyclique pour une pompe à eau 28 présentant un courant maximum, par exemple de 94mA, et un courant minimum, par exemple de 35mA, sont respectivement de 100% et de 34%.

[0172] Selon des modes de réalisation de l'invention, l'étage de mesure du microcontrôleur permet en outre de détecter des anomalies de fonctionnement du dispositif 20 d'aquaponie selon l'invention telles que, par exemple, de manière non limitative, un niveau d'eau trop faible, le blocage de la pompe à eau 28 par un débris ou le blocage

d'un rotor de la pompe à eau 28 lorsqu'elle comporte un rotor, un court-circuit de la pompe à eau 28, un désamorçage de la pompe à eau 28.

De préférence, lesdites anomalies de fonctionnement du dispositif d'aquaponie 20 selon l'invention sont traités par le logiciel du microcontrôleur du module de commande dans l'étape « gestion des erreurs » illustrée dans la [Fig.9].

Revendications

[Revendication 1]

Dispositif de culture aquaponique comprenant :

- un bac aquarium (21) contenant de l'eau et destiné à contenir au moins un organisme aquatique
- un bac de culture (22), contenant :
 - au moins un substrat de culture de plantes (45),
 - au moins un orifice d'entrée d'eau (24) et,
 - au moins un orifice de sortie d'eau (25) vers ledit bac aquarium (21)
- une pompe (28) pour faire circuler de l'eau depuis ledit bac aquarium (21) jusqu'audit bac de culture (22) par ledit orifice d'entrée d'eau (24), de sorte à générer un niveau d'eau dans ledit bac de culture et (22),
- un système dit de marée configuré pour faire varier ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture (22) entre une première hauteur (31), à laquelle ledit substrat (45) n'est pas immergé, et une deuxième hauteur (32), à laquelle ledit substrat (45) est au moins partiellement immergé par une face dite inférieure,

ledit dispositif étant caractérisé en ce que ledit système de marée comprend un module de commande (30) du débit de ladite pompe (28) configuré pour fixer ledit débit alternativement à une première valeur induisant que ledit niveau d'eau se trouve à ladite première hauteur (31) dans ledit bac de culture (22), et une deuxième valeur induisant que ledit niveau d'eau se trouve à ladite deuxième hauteur (32) dans ledit bac de culture (22).

[Revendication 2]

Dispositif selon la revendication 1, dans lequel ledit bac de culture (22) comporte au moins un réceptacle (23) pour ledit substrat (45), maintenant ledit substrat (45) dans une position dans laquelle sa face inférieure s'inscrit dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'eau dans ledit bac de culture (22).

[Revendication 3]

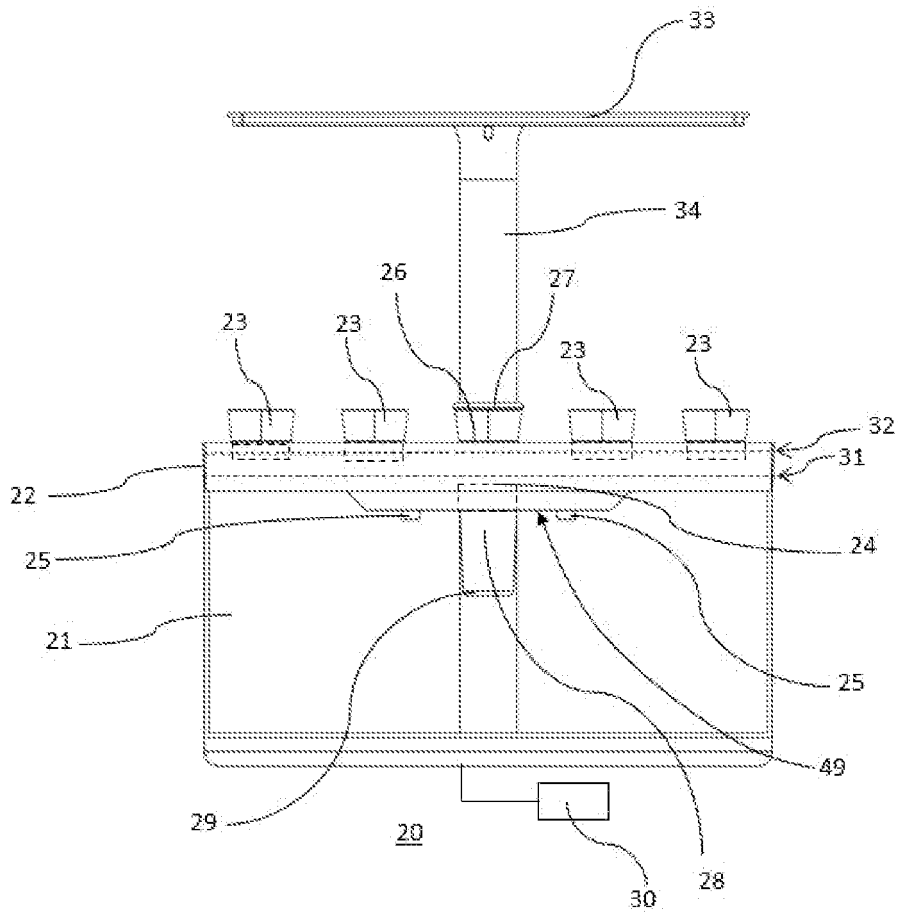
Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel ledit réceptacle (23) est configuré pour maintenir ledit substrat (45) dans une position telle que ledit substrat (45) est immergé sur une hauteur comprise entre 1 et 30 mm lorsque ledit niveau d'eau se trouve à ladite deuxième hauteur (32).

- [Revendication 4] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel ledit bac de culture (22) comporte une pluralité de cloisons (41,42) imposant à l'eau un parcours prédéterminé entre ledit orifice d'entrée (24) et ledit orifice de sortie (25), ce parcours empruntant successivement une série de zones distinctes, dont :
- Une première zone (38) dans laquelle ledit bac de culture (22) présente une première profondeur,
- Une deuxième zone (39) dans laquelle ledit bac de culture (22) présente une deuxième profondeur moins élevée que ladite première profondeur,
- Une troisième zone (40) comportant ledit orifice de sortie (25),
- Ledit substrat de culture (45) étant positionné dans ladite première zone (38) et/ou ladite deuxième zone (39).
- [Revendication 5] Dispositif selon la revendication 4, dans lequel ladite troisième zone (40) dudit bac de culture (22) contient au moins un élément de filtration mécanique (35) et/ou biologique (36) positionné de manière à ce que le parcours de l'eau traverse ledit filtre mécanique (35) et/ou biologique (36) avant d'atteindre l'orifice de sortie (25).
- [Revendication 6] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel ladite troisième zone (40) dudit bac de culture (22) contient une pièce à parois pleines (46), comportant une première ouverture (47) située à ladite première hauteur (31), et une deuxième ouverture (48) située à ladite deuxième hauteur (32), ladite première ouverture (47) et ladite deuxième ouverture étant en communication hydraulique avec ledit orifice (25) de sortie, ladite pièce (46) étant positionnée de sorte à canaliser la circulation de l'eau à travers la dite première ouverture (47) et/ou ladite deuxième ouverture (48) avant que l'eau atteigne l'orifice de sortie (25).
- [Revendication 7] Dispositif selon la revendication 6, dans lequel ladite pièce à parois pleines (46) est montée de manière amovible dans ledit bac de culture (22).
- [Revendication 8] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 7, dans lequel l'aire A de ladite première ouverture (47) de ladite pièce à parois pleines (46) est définie par l'équation suivante :
- [Math.1]
- $$\Sigma Ax = D_{max} / (\sqrt{2 * g * h})$$
- où A est l'aire de ladite première ouverture (47) de ladite pièce à parois pleines (46), x est le nombre desdits orifices de sortie (25), D_{max} est le

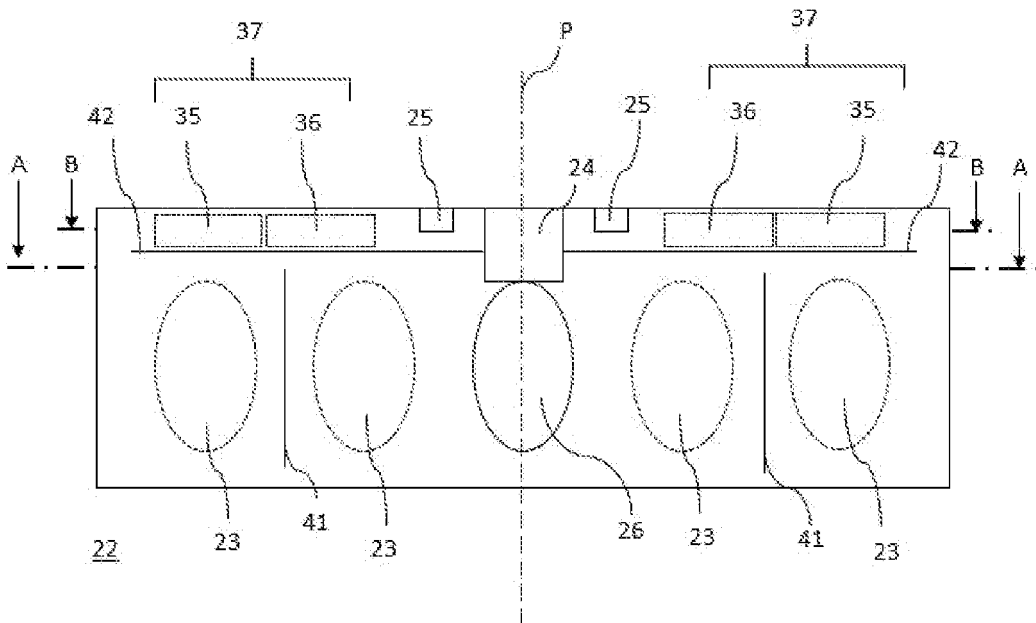
débit maximal de ladite pompe à eau (28), h est la distance entre le bord inférieur de ladite première ouverture (47) et ladite deuxième ouverture (48), ledit bord inférieur étant le point le plus proche de la paroi inférieure (49) dudit bac de culture (22), ladite paroi inférieure (49) dudit bac de culture (22) étant la paroi dudit bac de culture (22) en contact avec le support sur lequel ledit bac de culture (22) est posé, et g est l'attraction terrestre.

- [Revendication 9] Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comportant un module d'éclairage (33) positionné de sorte à éclairer une face supérieure dudit substrat (45) opposée à ladite face inférieure, et/ou une zone de croissance de plantes localisée au-dessus dudit substrat (45).
- [Revendication 10] Procédé de culture aquaponique mettant en œuvre le dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant des répétitions d'un cycle d'étapes comportant : une première étape de commande du débit de ladite pompe (28) pour le fixer à ladite première valeur pendant une première durée, de sorte à induire que ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture (22) se trouve à ladite première hauteur (31), et une deuxième étape de commande du débit de ladite pompe (28) pour le fixer à ladite deuxième valeur pendant une deuxième durée, de sorte à induire que ledit niveau d'eau dans ledit bac de culture (22) se trouve à ladite deuxième hauteur (32).
- [Revendication 11] Procédé de culture aquaponique selon la revendication 10 dans laquelle ladite première étape de commande et ladite seconde étape de commande comprennent chacune deux sous-étapes : une première sous-étape de mesure du signal image du débit de ladite pompe (28), et une deuxième sous-étape de conversion dudit signal image du débit de ladite pompe (28) pour déduire ledit débit de ladite pompe (28).
- [Revendication 12] Procédé de culture aquaponique selon l'une quelconque des revendications 10 et 11, dans lequel ladite première durée est plus courte que ladite deuxième durée.

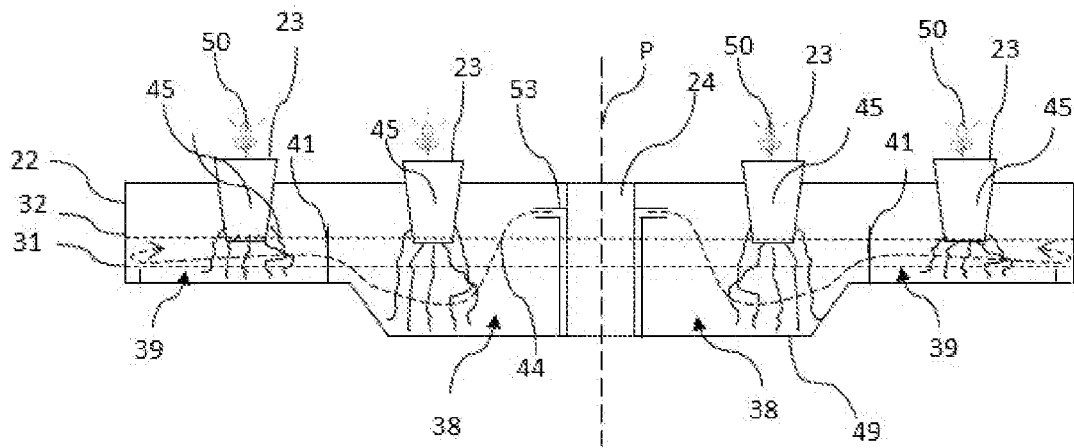
[Fig. 1]



[Fig. 2]

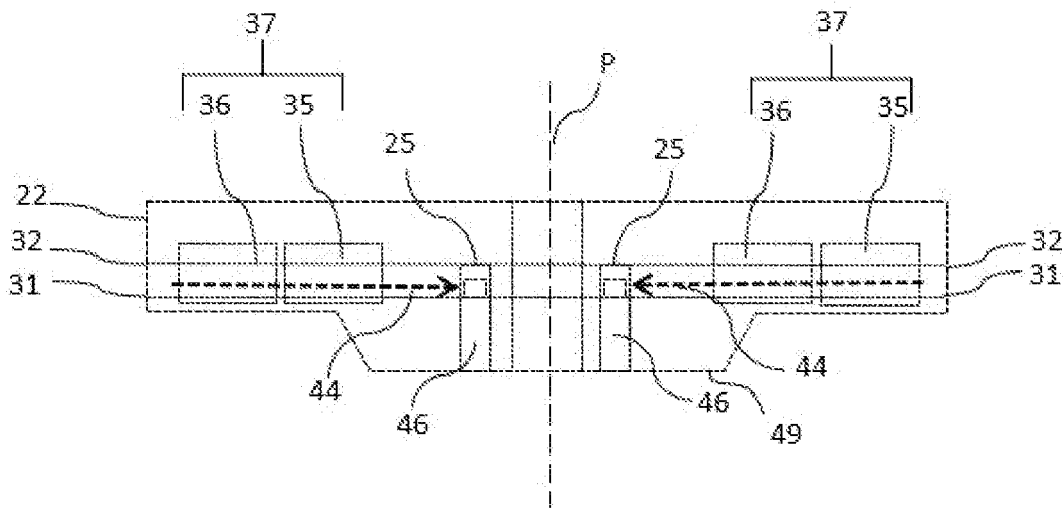


[Fig. 5]



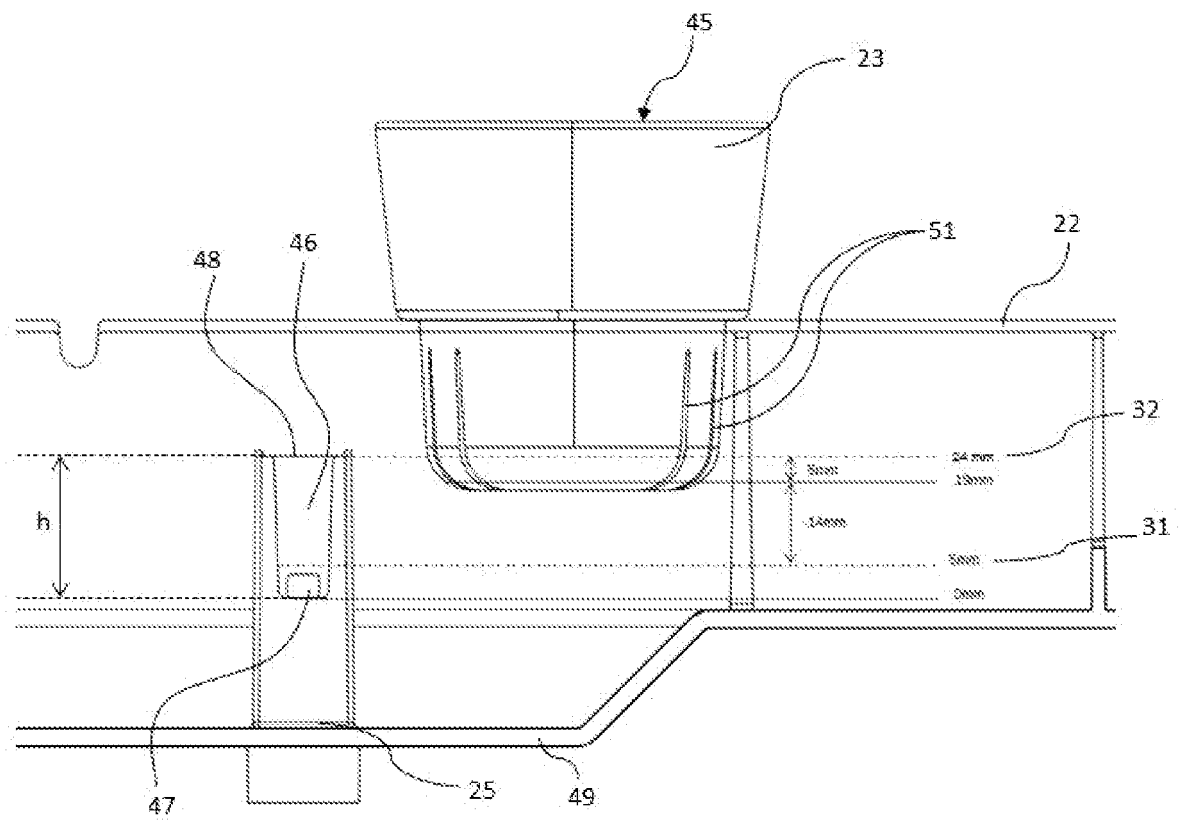
Coupe AA

[Fig. 6]

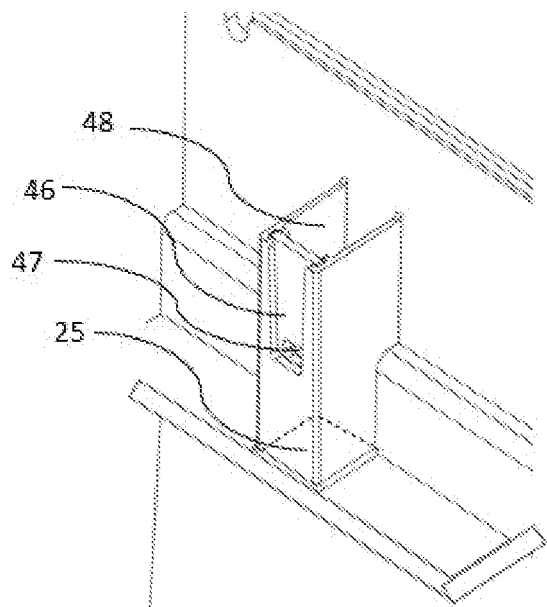


Coupe BB

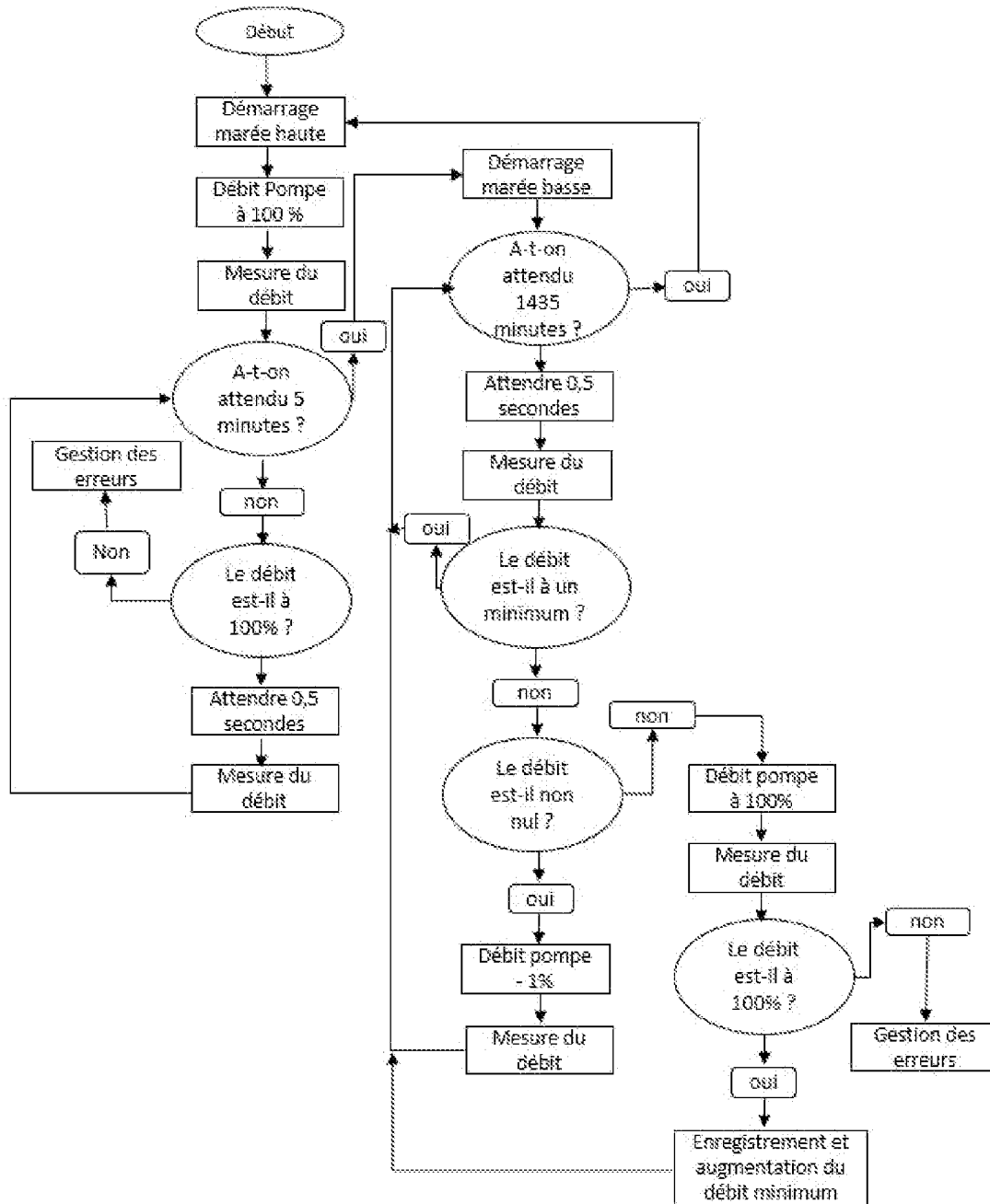
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 927030
FR 2312965

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		
X	US 2011/296757 A1 (MCGRATH KEVIN ROBERT [US]) 8 décembre 2011 (2011-12-08)	1-4,6-8, 10,12	A01G 31/02 A01K 63/00
Y	* abrégé * * figures 1-5 * * alinéas [0018] - [0030] * -----	5,9,11	A01K 63/04 A01K 63/06
Y	US 9 775 330 B1 (CHEN CHUN-KU [TW]) 3 octobre 2017 (2017-10-03) * abrégé * * figures 1-24 * * colonne 2, ligne 56 - colonne 6, ligne 40 * -----	5	
Y	US 2014/223819 A1 (COGHLAN RYAN [US]) 14 août 2014 (2014-08-14) * figures 1-4 * -----	9	
Y	EP 2 732 700 A1 (SOLVIC LTD [CN]) 21 mai 2014 (2014-05-21) * alinéa [0059] * -----	11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			A01G A01K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 mai 2024		Benedetti, Arnaud	
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	

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2312965 FA 927030**

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 **22 - 05 - 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
US 2011296757 A1	08-12-2011	AUCUN	

US 9775330 B1	03-10-2017	EP 3412146 A2	12-12-2018
		JP 6922125 B2	18-08-2021
		JP 2018201507 A	27-12-2018
		US 9775330 B1	03-10-2017

US 2014223819 A1	14-08-2014	AUCUN	

EP 2732700 A1	21-05-2014	EP 2732700 A1	21-05-2014
		GB 2507969 A	21-05-2014
		HK 1198277 A1	27-03-2015
		US RE48022 E	02-06-2020
		US 2014209035 A1	31-07-2014
