

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① **N° de publication :** **3 064 652**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① **N° d'enregistrement national :** **17 52718**
⑤① Int Cl⁸ : **E 02 B 9/08** (2017.01), E 02 B 3/04, F 03 B 13/12

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **DISPOSITIF DE CONTROLE DE L'ENERGIE DES VAGUES.**

②② **Date de dépôt :** 30.03.17.

③③ **Priorité :**

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 05.10.18 Bulletin 18/40.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 03.05.19 Bulletin 19/18.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** *CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public —
FR et UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
Etablissement public — FR.*

⑦② **Inventeur(s) :** EDDI ANTONIN, DOMINO LUCIE et
FERMIGIER MARC.

⑦③ **Titulaire(s) :** *CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public,
UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
Etablissement public.*

⑦④ **Mandataire(s) :** NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.

FR 3 064 652 - B1



DISPOSITIF DE CONTRÔLE DE L'ÉNERGIE DES VAGUES

DESCRIPTION

Domaine technique

5 [01] La présente invention se rapporte à un système de contrôle de l'énergie d'ondes, aussi appelées vagues, se propageant à la surface d'un liquide ainsi qu'à l'utilisation d'un tel système.

État de la technique

10 [02] La problématique du contrôle de l'énergie des vagues notamment en milieu marin est étudiée depuis plusieurs années en particulier dans le cadre de la conversion de cette énergie en électricité.

[03] Il existe actuellement des systèmes de contrôle de l'énergie des vagues connus de l'homme du métier, notamment par l'exemple qu'en donne les documents de l'état de la technique antérieure : US 2014/0260236 A1, US 15 4,255,066 A ou encore US 9,303,617 B2. Dans ceux-ci les technologies mises en œuvre utilisent les changements de bathymétrie (profondeur d'eau) pour contrôler les vagues et ces systèmes proposent de construire sous l'eau des structures fixes et rigides présentant un agencement particulier.

20 [04] Toutefois, ces systèmes sont rarement utilisés en pleine mer ou près des côtes car ils sont trop coûteux, difficiles à mettre en place, impossibles à déplacer ou à supprimer. De plus, ils ne sont utilisables qu'en zones peu profondes et s'avèrent être peu efficaces pour la récupération de l'énergie.

25 [05] Il existe donc un réel besoin d'un système palliant ces défauts, inconvénients et obstacles de l'art antérieur, en particulier d'un système flexible et mobile permettant de maîtriser l'énergie des vagues quelle que soit la profondeur du liquide, de réduire les coûts de fabrication et d'installation, ainsi que d'améliorer la récupération de l'énergie des vagues pour pouvoir la convertir ensuite en électricité.

Description de l'invention

30 [06] Pour résoudre les inconvénients cités précédemment, l'invention a pour objet un système de contrôle des ondes hydro-élastiques à la surface d'un liquide

comprenant une structure composite ayant au moins deux zones Z1 et Z2, de coefficients de flexion respectifs D1 et D2 définis par l'équation :

$$D_i = \frac{E_i \cdot e_i^3}{12 \cdot (1 - \nu_i^2)}$$

où E_i est le module de Young de la zone Z_i , e_i est l'épaisseur de la zone Z_i , et ν_i est le coefficient de Poisson de la zone Z_i , i étant égale à 1 ou 2, et de tensions mécaniques internes respectivement T_1 et T_2 ;

la structure composite étant adaptée pour, quand le système de contrôle est posé à la surface du liquide de telle sorte qu'une onde hydro-élastique de surface se propage sur la première zone Z1 puis sur la seconde zone Z2 de la structure composite flottant sur la surface du liquide de densité ρ , et quand la longueur d'onde λ_i de l'onde hydro-élastique respecte, dans la zone Z_i , les équations suivantes :

$$\frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_i}} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt{\frac{T_i}{D_i}}$$

où g correspond à la constante universelle de gravitation et i correspond à l'indice de la zone Z_i sur laquelle l'onde hydro-élastique se propage, contrôler le comportement de ladite onde hydro-élastique par ajustement desdits coefficients de flexion D_i et / ou des formes desdites zones Z_i .

[07] De sorte à réaliser un système compact, les zones Z1 et Z2 peuvent être jointives.

[08] Avantagement, les coefficients de flexion D1 et D2 sont différents, par différences d'épaisseur e_i des zones Z1 et Z2, et / ou par différence des modules d'Young E_i et / ou des coefficients de Poisson ν_i des matériaux composant les zones Z1 et Z2.

[09] Pour permettre un contrôle progressif des ondes, l'évolution du coefficient de flexion entre le passage de la zone Z1, de coefficient D1, à la zone Z2, de coefficient D2, peut être continue.

[10] Avantagement, il est possible de définir l'indice n_i de la zone Z_i comme étant proportionnel à l'inverse de la vitesse de propagation V_i des ondes hydro-élastiques dans la zone Z_i , la vitesse de propagation V_i est définie par l'équation :

$$n_i \propto \frac{1}{V_i} = \sqrt{\frac{\rho \cdot \lambda_i^3}{D_i \cdot 8\pi^3}}$$

de sorte que l'indice n_i est équivalent à l'indice de réfraction d'un milieu optique, et tel que les lois de l'optique géométrique s'appliquent à la propagation des ondes hydro-élastiques se propageant dans les zones Z_i .

5 [11] Selon ces lois, il est possible de réaliser une lentille, pour cela le système peut comprendre en outre une troisième zone Z_3 et tel que :

- les zones Z_1 , Z_2 et Z_3 sont jointives ;
- les zones Z_1 et Z_3 sont de même indice n_1 différent de l'indice n_2 de la zone Z_2 , Z_1 étant la zone d'arrivée des ondes hydro-élastiques et Z_3 la zone de sortie ;

10 et

- les formes des interfaces entre les zones sont des arcs de cercle de rayon R telles que l'ensemble $\{Z_1, Z_2, Z_3\}$ se comporte comme une lentille optique de focale f définie par l'équation :

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{\frac{n_2}{n_1} - 1}$$

15 [12] La lentille ainsi formée par l'ensemble $\{Z_1, Z_2, Z_3\}$ peut être convergente si :

- l'ensemble a une forme de lentille biconvexe et $n_1 < n_2$; ou si
- l'ensemble a une forme de lentille biconcave et $n_1 > n_2$

[13] Selon ces mêmes lois, il est possible de dévier une onde hydro-élastique pour protéger un dispositif comme le fait un réflecteur optique. Pour cela, le système de
20 contrôle doit être tel que les zones Z_1 et Z_2 sont jointives, d'indices respectifs n_1 et n_2 respectant les équations suivantes :

$$n_2 < n_1 \quad \text{et} \quad \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) < 45^\circ,$$

l'interface entre les zones étant un angle droit dont le sommet est dirigé du côté de la zone Z_2 de sorte qu'une onde hydro-élastique arrivant sur la zone Z_1 est
25 réfléchi au contact de l'interface entre les zones Z_1 et Z_2 et repart selon un axe parallèle à sa direction d'incidence.

[14] Avantageusement, au moins une des zones Z_i est composée d'une matrice de plots flottants reliés par des moyens de liaison élastique de sorte que la matrice

se comporte comme une zone effective Z_{eff_i} de coefficient de flexion effectif D_{eff_i} défini par l'équation :

$$D_{eff_i} = \frac{E_{eff_i} \cdot e_{eff_i}^3}{12 \cdot (1 - \nu_{eff_i}^2)}$$

où E_{eff_i} est le module de Young effectif de la zone Z_{eff_i} , e_{eff_i} est l'épaisseur effective de la zone effective Z_{eff_i} , et ν_{eff_i} est le coefficient de Poisson effectif de la zone Z_{eff_i} , et de tension mécanique interne effective T_{eff_i} , i étant égale à 1 ou 2;

la structure composite étant adaptée pour, quand le système de contrôle est posé à la surface du liquide de telle sorte qu'une onde hydro-élastique de surface se propage sur la première zone Z_1 ou Z_{eff_1} puis sur la seconde zone Z_2 ou Z_{eff_2} de la structure composite flottant sur la surface du liquide de densité ρ , et quand la longueur d'onde λ_i de l'onde hydro-élastique se propageant dans la zone Z_i , respectivement la longueur d'onde effective λ_{eff_i} de l'onde se propageant dans la zone effective Z_{eff_i} , respecte les équations suivantes :

$$\frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_i}} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt{\frac{T_i}{D_i}}$$

respectivement

$$\frac{2\pi}{\lambda_{eff_i}} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_{eff_i}}} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi}{\lambda_{eff_i}} \geq \sqrt{\frac{T_{eff_i}}{D_{eff_i}}}$$

où g correspond à la constante universelle de gravitation et i correspond à l'indice de la zone Z_i ou Z_{eff_i} sur laquelle l'onde hydro-élastique se propage, contrôler le comportement de ladite onde hydro-élastique par ajustement desdits coefficients de flexion D_i ou D_{eff_i} et/ou des formes desdites zones Z_i ou Z_{eff_i} .

[15] Dans un second aspect, l'invention porte sur l'utilisation d'un système de contrôle de type lentille, des ondes hydro-élastiques à la surface d'un liquide, tel que définie précédemment pour récupérer l'énergie des ondes se propageant à la surface d'un liquide telle que la structure composite du système de contrôle des ondes est adaptée pour focaliser les ondes hydro-élastiques en un point.

[16] Selon un autre aspect, l'invention porte sur l'utilisation d'un système de contrôle des ondes à la surface d'un liquide, de type réflecteur, tel que définie précédemment pour protéger un dispositif possédant une partie en contact avec la surface du liquide, la structure composite du système de contrôle étant adaptée pour protéger la partie en contact avec la surface du liquide et réfléchir les ondes hydro-élastiques arrivant sur le dispositif.

Brève description des figures

[17] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, faite uniquement à titre d'exemple, et en référence aux figures en annexe dans lesquelles :

– La figure 1 représente la courbe d'évolution de la relation de dispersion d'une onde gravito-capillaire ;

– La figure 2 représente la courbe d'évolution de la relation de dispersion d'une onde se propageant à la surface d'un liquide recouvert d'un film de matériau élastique ;

– Les figures 3a et 3b représentent respectivement une vue de profil et une vue du dessus d'une structure composite d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon un mode de réalisation général de l'invention ;

– La figure 4 représente une structure composite d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon une première variante du mode de réalisation général de l'invention ;

– La figure 5 représente le comportement d'une onde hydro-élastique se propageant sur la surface d'un liquide équipé d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon la première variante du mode de réalisation général de l'invention ;

– La figure 6 représente le comportement d'une onde hydro-élastique se propageant, selon un cas particulier, sur la surface d'un liquide équipé d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon la première variante du mode de réalisation général de l'invention.

– Les figure 7a et 7b représentent deux variantes d'une structure composite d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon une deuxième variante du mode de réalisation général de l'invention ; et

– La figure 8 représente une structure composite d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon une troisième variante du mode de réalisation général de l'invention.

– La figure 9 représente une zone effective d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques selon un mode de réalisation de l'invention.

10 Modes de réalisation

[18] Les ondes se propageant à la surface d'un liquide sont appelées des ondes gravito-capillaires. La fréquence ω de ces ondes est reliée à leur longueur d'onde λ par la relation de dispersion gravito-capillaire suivante :

$$\omega^2 = gk + \frac{\sigma}{\rho} \cdot k^3 \quad (\text{E1})$$

15 où :

- g est la constante universelle de gravitation ;
- k est le nombre d'onde définit par :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{E2})$$

- σ est la tension superficielle du liquide ; et
- ρ est la densité du liquide.

[19] La **Figure 1** représente la courbe d'évolution de la relation de dispersion (E1) d'une onde gravito-capillaire fonction de la fréquence ω de l'onde gravito-capillaire et de sa longueur d'onde λ . Cette fonction comprend deux régimes :

A- le régime de capillarité (ou de tension) à faible longueur d'onde λ ; et

25 B- le régime gravitationnel à forte longueur d'onde λ .

[20] Dans le régime de capillarité (ou de tension), la force de rappel mécanique prédominante agissant sur les ondes est la tension superficielle du liquide alors que dans le régime gravitationnel, c'est la force de la gravité qui prédomine.

[21] La longueur d'onde qui sépare ces deux régimes est appelée longueur gravito-capillaire λ_{gc} et est égale à :

$$\lambda_{gc} = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \quad (E3)$$

[22] Lorsqu'un film de matériau élastique est déposé à la surface du liquide et qu'aucune autre force que celle exercée par le liquide sur le film n'est appliquée, la relation de dispersion de l'onde change et devient :

$$\omega^2 = \left(gk + \frac{T}{\rho} \cdot k^3 + \frac{D}{\rho} \cdot k^5 \right) \cdot \tanh kH \quad (E4)$$

où :

- T est la tension mécanique interne du film de matériau élastique, qui dans ce cas-là est égale à la tension superficielle σ du liquide ;
- D est le module de flexion du film appliqué sur le liquide ; et
- H est la hauteur de liquide présente sous le film.

[23] Le module de flexion est quant à lui défini par l'équation E5 :

$$D = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \quad (E5)$$

où :

- E est le module de Young du film ;
- e est l'épaisseur du film ; et
- ν est le coefficient de Poisson du film.

[24] La **Figure 2** représente la nouvelle courbe d'évolution de la relation de dispersion (E4) d'une onde se propageant dans un film de matériau élastique posé à la surface d'un liquide. On peut apercevoir sur celle-ci un troisième régime :

C- le régime de flexion ou celui des ondes hydro-élastiques dans lequel la force mécanique de rappel dominante est celle du film de matériau élastique.

[25] Ainsi, les ondes hydro-élastiques sont les ondes dont la longueur d'onde λ respecte les équations suivantes :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D}} \quad (E6)$$

et
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \geq \sqrt{\frac{T}{D}} \quad (E7)$$

[26] Les **Figures 3a et 3b** représentent respectivement une vue de profil et une vue du dessus d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques à la surface d'un liquide 1 selon un premier mode de réalisation général de l'invention.

5 [27] Celui-ci comprend une structure composite 10 comprenant deux zones Z1 et Z2, de coefficients de flexion respectifs D1 et D2 définis par l'équation E5bis :

$$D_i = \frac{E_i \cdot e_i^3}{12 \cdot (1 - \nu_i^2)} \quad (E5bis)$$

[28] où:

- E_i est le module de Young de la zone Z_i,
- 10 - e_i est l'épaisseur de la zone Z_i, et
- ν_i est le coefficient de Poisson de la zone Z_i

i étant égale à 1 ou 2, et de tensions mécaniques internes respectivement T1 et T2.

15 [29] La structure composite 10 est adaptée pour, quand le système de contrôle est posé à la surface du liquide 1 de telle sorte qu'une onde hydro-élastique de surface se propage dans la direction 20, à savoir sur la première zone Z1 puis sur la seconde zone Z2 de la structure composite 10 flottant sur la surface du liquide 1 de densité ρ, et quand la longueur d'onde λ_i de l'onde hydro-élastique respecte, dans la zone Z_i, les équations E6bis et E7bis :

20
$$\frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_i}} \quad (E6bis)$$

et
$$k_i = \frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt{\frac{T_i}{D_i}} \quad (E7bis)$$

[30] où g correspond à la constante universelle de gravitation et i correspond à l'indice de la zone Z_i sur laquelle l'onde hydro-élastique se propage, contrôler le comportement de l'onde hydro-élastique.

25 [31] Dans ce régime de flexion, les ondes hydro-élastiques sont donc soumises à la force appliquée par la structure composite sur la surface du liquide, ce qui permet le contrôle de la propagation de ces ondes par le choix du matériau utilisé

(donc des coefficients de Young E_1 et E_2 ainsi que des coefficients de Poissons ν_1 et ν_2) pour les zones Z1 et Z2, l'épaisseur e_i de ces zones et/ou aussi la forme de ces zones.

[32] De sorte à obtenir un système compact, mais aussi pour faciliter la fabrication de la structure composite 10, notamment dans le cas où les zones Z1 et Z2 seraient composées du même matériau, les zones Z1 et Z2 peuvent être jointives comme illustré dans la **Figure 3**.

[33] Avantageusement, les coefficients de flexion D1 et D2 sont différents, les zones Z1 et Z2 ayant des épaisseurs e_i différentes, et / ou les zones Z1 et Z2 étant composées de matériaux ayant des modules d'Young E_i et / ou de coefficients de Poisson ν_i différents. La **Figure 4** représente le cas d'une structure composite 100 composée de deux zones Z1 et Z2 d'épaisseur e_i différentes selon un second mode de réalisation de l'invention.

[34] Pour permettre un contrôle progressif des ondes hydro-élastiques et aussi pour faciliter la fabrication de la structure composite 10, l'évolution du coefficient de flexion entre le passage de la zone Z1, de coefficient D1, à la zone Z2, de coefficient Z2, peut se faire de manière continue, en faisant varier progressivement l'épaisseur du matériau utilisé pour réaliser les zones Z1 et Z2 par exemple.

[35] Pour faire le parallèle avec le domaine de l'optique, il est possible de définir un indice n_i de la zone Zi comme étant proportionnel à l'inverse de la vitesse de propagation V_i des ondes hydro-élastiques dans la zone Zi. La vitesse de propagation V_i est définie par l'équation E8:

$$n_i \propto \frac{1}{V_i} = \sqrt{\frac{\rho \lambda_i^3}{D_i \cdot 8\pi^3}} \quad (\text{E8})$$

de sorte que l'indice n_i est équivalent à l'indice de réfraction d'un milieu optique, et tel que les lois de l'optique géométrique s'appliquent à la propagation des ondes hydro-élastiques se propageant dans les zones Zi.

[36] Ainsi, il est possible de définir des structures composites ayant le même comportement que des éléments optiques mais sur des ondes hydro-élastiques uniquement.

[37] Selon le mode de réalisation représenté dans la **Figure 4**, les zones Z1 et Z2 sont constituées du même matériau, leur module d'Young E_i et de coefficient de Poisson ν_i sont donc égaux, seule leur épaisseurs est différentes avec $e_1 < e_2$.

[38] D'après la définition de l'indice n_i comme étant proportionnel à l'inverse de la vitesse de propagation V_i des ondes hydro-élastiques dans la zone Z_i , le rapport des indices entre les zones Z1 et Z2 peut s'exprimer ainsi :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{1/5} = \left(\frac{e_2}{e_1}\right)^{3/5} \quad (\text{E9})$$

[39] Ainsi, si $e_1 < e_2$ alors $n_1 > n_2$. Selon les lois de l'optique géométrique, en particulier la loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (\text{E10})$$

[40] avec i_1 représentant l'angle incident du faisceau par rapport à la normale au dioptre formé par l'interface entre Z1 et Z2, et i_2 représentant l'angle de sortie du faisceau par la normale au dioptre, $n_1 > n_2$ équivaut à dire $i_2 > i_1$.

[41] La **Figure 5** représente le comportement, vu du dessus, d'une onde hydro-élastique filmée en laboratoire et se propageant sur une structure composite 100 telle que définie précédemment. L'échelle de gris située sur le côté du graphique représente la hauteur de la vague / de l'onde par rapport à la position moyenne de la surface du liquide au repos qui se situe à 0.

[42] Dans cette expérience, l'onde hydro-élastique incidente plane de direction k_1 se propage sur la zone Z1 puis sur la zone Z2. La direction k_2 de l'onde hydro-élastique dans cette zone Z2 s'écarte bien de la normale \mathbf{N} à l'interface entre les zones Z1 et Z2, à savoir $i_2 > i_1$.

[43] En suivant les lois de l'optique géométrique, une onde hydro-élastique incidente plane dont la direction k_1 faisant un angle i_1 supérieur à l'angle limite de réfraction i_{lim} défini par :

$$i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (\text{E11})$$

serait entièrement réfléchi à l'interface entre les zones Z1 et Z2, permettant par exemple la protection d'infrastructures situées en mer. La **Figure 6** illustre ce cas particulier.

[44] Grâce à ces lois, il est aussi possible de réaliser une structure composite en forme de lentille convergente.

5 [45] Les **Figures 7a et 7b** représentent deux modes de réalisation particuliers de l'invention permettant de réaliser une lentille convergente capable de focaliser l'énergie des ondes hydro-élastiques se propageant sur la structure composite en un point.

[46] La structure composite 200a illustrée dans la **Figure 7a** est composée de trois zones Z1, Z2 et Z3 jointives. Les zones Z1 et Z3 sont de même indice n_1 , tel que défini précédemment (i.e. n_i est proportionnel à l'inverse de la vitesse de propagation V_i dans la zone Z_i). L'indice n_2 de la zone Z2 est quant à lui différent de n_1 , tel que $n_1 < n_2$.

15 [47] La zone Z2 a la forme d'une lentille biconvexe de rayon de courbure R. C'est-à-dire que l'interface entre les zones Z1 et Z2 est un arc de cercle de rayon R dont la courbure est tournée du côté de la zone Z1, par laquelle arrivent les ondes, et l'interface en les zones Z2 et Z3 est aussi un arc de cercle de rayon R, dont la courbure est tournée du côté de la zone Z3, par laquelle sortent les ondes.

[48] Ainsi une onde hydro-élastique plane qui se propage de la zone Z1 vers la zone Z2 puis Z3 de la structure composite 200a est focalisée dans le plan focal de la lentille ainsi réalisée.

20 [49] La structure composite 200b illustrée dans la **Figure 7b** propose un autre mode de réalisation d'une lentille convergente. Dans cette configuration, la structure composite 200b est aussi composée de trois zones Z1, Z2 et Z3 jointives. Les zones Z1 et Z3 sont de même indice n_1 , et la zone Z2 est d'indice n_2 tel que $n_1 > n_2$.

[50] Dans cette configuration, la zone Z2 a la forme d'une lentille biconcave de rayon de courbure R. C'est-à-dire que l'interface entre les zones Z1 et Z2 est un arc de cercle de rayon R dont la courbure est tournée du côté de la zone Z2, et l'interface en les zones Z2 et Z3 est aussi un arc de cercle de rayon R, dont la courbure est aussi tournée du côté de la zone Z2.

30

[51] De la même manière, une onde hydro-élastique plane qui se propage de la zone Z1 vers la zone Z2 puis Z3 de la structure composite 200b est focalisée dans le plan focal de la lentille ainsi réalisée.

[52] La distance focale f de ces lentilles peut être définie comme suit :

$$5 \quad f = \frac{R}{2\left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)} \quad (\text{E12})$$

[53] Un système de contrôle des ondes hydro-élastiques de surface comprenant une des structures composites 200a et 200b telles que définies précédemment peut donc être avantageusement utilisé pour récupérer l'énergie des ondes hydro-élastiques se propageant à la surface d'un liquide sur lequel sera installé la structure de contrôle, celui-ci étant adapté pour focaliser les ondes en un point, telle une lentille convergente.

[54] Ainsi, une telle structure permettra d'augmenter la performance d'un dispositif placé au point de focalisation de la structure composite 200a ou 200b et capable de convertir l'énergie des ondes hydro-élastiques reçues en une puissance électrique par exemple, comme les dispositifs utilisés en mer qui permettent de transformer l'énergie des vagues en électricité.

[55] Réciproquement, il est aussi possible de créer des lentilles divergentes. Pour cela, la forme des zones et des interfaces est la même que celle décrite précédemment à l'exception près que lorsque la zone Z2 a une forme biconvexe, l'indice n_1 doit être supérieur à n_2 et lorsque la zone Z2 a une forme biconcave, l'indice n_1 doit être inférieur à n_2 .

[56] La **Figure 8** représente un autre mode de réalisation particulier de l'invention. Dans celui-ci la structure composite 300 est assimilable à un réflecteur d'onde et utilise le principe de l'angle limite de réfraction i_{lim} défini précédemment.

[57] Dans cette configuration, la structure composite 300 est composée de deux zones Z1 et Z2 jointives, d'indices respectifs n_1 et n_2 respectant les équations E13 et E14 suivantes :

$$n_2 < n_1 \quad (E13)$$

et

$$i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) < 45^\circ \quad (E14)$$

[58] L'interface entre les zones Z1 et Z2 est un angle droit dont le sommet est dirigé du côté de la zone Z2 de sorte qu'une onde hydro-élastique arrivant sur la zone Z1 est réfléchi, à deux reprises comme pour un faisceau lumineux, au contact de l'interface entre les zones Z1 et Z2 et repart selon un axe parallèle à sa direction d'incidence, comme c'est le cas pour un « coin de cube » ou réflecteur optique.

[59] Un système de contrôle des ondes hydro-élastiques de surface comprenant une structure composite 300 telle que définie précédemment peut être avantageusement utilisée pour protéger un dispositif possédant une partie en contact avec la surface du liquide, comme une centrale nucléaire, la structure composite 300 étant adaptée pour protéger la partie en contact avec la surface du liquide et réfléchir les ondes hydro-élastiques arrivant sur le dispositif.

[60] L'utilisation de ce genre de système en pleine mer ou sur une grande étendue de liquide pour être difficile et coûteuse à mettre en place si les zones Zi sont continues et réalisées dans un seul matériau, comme un film continu. Ainsi, selon une option compatible des modes de réalisation précédemment décrit, il peut être avantageux de réaliser des zones Zi composites ou zones effectives Zeff_i.

[61] La **Figure 9** représente un mode de réalisation d'une telle zone effective Zeff_i.

[62] Dans ce mode de réalisation, la zone Zeff_i est composée d'une matrice de plots flottants (30) reliés par des moyens de liaison élastique (40). Il est alors possible de définir le coefficient de flexion effectif de la zone effective Zeff_i par l'équation (E15) :

$$D_{eff_i} = \frac{E_{eff_i} \cdot e_{eff_i}^3}{12 \cdot (1 - \nu_{eff_i}^2)} \quad (E15)$$

[63] où E_{eff_i} est le module de Young effectif de la zone Z_{eff_i} , e_{eff_i} est l'épaisseur effective de la zone effective Z_{eff_i} , et ν_{eff_i} est le coefficient de Poisson effectif de la zone Z_{eff_i} , i étant égale à 1 ou 2, et de tensions mécaniques internes effectives respectivement T_{eff_1} et T_{eff_2} .

- 5 [64] La structure composite est alors adaptée pour, quand le système de contrôle est posé à la surface du liquide de telle sorte qu'une onde hydro-élastique de surface se propage sur la première zone Z_1 ou Z_{eff_1} puis sur la seconde zone Z_2 ou Z_{eff_2} de la structure composite flottant sur la surface du liquide de densité ρ , et quand la longueur d'onde λ_i de l'onde hydro-élastique se propageant dans la
- 10 zone Z_i , respectivement la longueur d'onde effective λ_{eff_i} de l'onde se propageant dans la zone effective Z_{eff_i} , respecte, les équations (E6bis) et (E7bis), respectivement les équations (E16) et (E17) suivantes :

$$\frac{2\pi}{\lambda_{eff_i}} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_{eff_i}}} \quad (E16)$$

et

$$\frac{2\pi}{\lambda_{eff_i}} \geq \sqrt{\frac{T_{eff_i}}{D_{eff_i}}} \quad (E17)$$

- 15 [65] où g correspond à la constante universelle de gravitation et i correspond à l'indice de la zone Z_i ou Z_{eff_i} sur laquelle l'onde hydro-élastique se propage.

- [66] En définissant un indice effectif n_{eff_i} à partir de la vitesse effective V_{eff_i} de propagation des ondes hydro-élastiques dans la zone effective Z_{eff_i} , on peut ainsi créer, par ajustement des coefficients de flexion D_i ou D_{eff_i} et/ou des formes
- 20 desdites zones Z_i ou Z_{eff_i} , des composants respectant les lois de l'optique géométrique tels qu'une lentille de Fresnel ou un coin de cube / réflecteur utilisables pour focaliser ou réfléchir les ondes hydro-élastiques sur une surface importante de liquide tout en diminuant la matière nécessaire à la fabrication d'un système de contrôle équivalent.

25

- [67] Avantagusement, les matériaux utilisés pour la réalisation des systèmes et dispositifs de contrôle précédemment décrits peuvent être des matériaux biodégradables de sorte à ne pas polluer le liquide sur lequel ils sont installés, et

permettant aussi une utilisation sur une certaine durée sans nécessité le retrait physique de ces dernières et donc de supprimer les coûts de désinstallation.

5 [68] L'invention a été illustrée et décrite en détail dans les dessins et la description précédente. Celle-ci doit être considérée comme illustrative et donnée à titre d'exemple et non comme limitant l'invention à cette seule description. De nombreuses variantes de réalisation sont possibles.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- 1 Liquide
- 10 Système de contrôle des ondes hydro-élastiques de surface d'un liquide selon un premier mode de réalisation
- 5 20 Direction de propagation des ondes
- 30 Plot flottant
- 40 Moyens de liaison élastique
- 100 Structure composite
- 200a Structure composite de type lentille biconvexe
- 10 200b Structure composite de type lentille biconcave
- 300 Structure composite de type « coin de cube » / réflecteur

REVENDECATIONS

1. Système de contrôle des ondes hydro-élastiques à la surface d'un liquide (1) comprenant une structure composite (10) ayant au moins deux zones Z1 et Z2, de coefficients de flexion respectifs D1 et D2 définis par l'équation :

$$D_i = \frac{E_i \cdot e_i^3}{12 \cdot (1 - \nu_i^2)}$$

où E_i est le module de Young de la zone Z_i , e_i est l'épaisseur de la zone Z_i , et ν_i est le coefficient de Poisson de la zone Z_i , i étant égale à 1 ou 2, et de tensions mécaniques internes respectivement T_1 et T_2 ;

la structure composite (10) étant adaptée pour, quand le système de contrôle est posé à la surface du liquide (1) de telle sorte qu'une onde hydro-élastique de surface se propage sur la première zone Z1 puis sur la seconde zone Z2 de la structure composite (10) flottant sur la surface du liquide (1) de densité ρ , et quand la longueur d'onde λ_i de l'onde hydro-élastique respecte, dans la zone Z_i , les équations suivantes :

$$\frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_i}} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt{\frac{T_i}{D_i}}$$

où g correspond à la constante universelle de gravitation et i correspond à l'indice de la zone Z_i sur laquelle l'onde hydro-élastique se propage, contrôler le comportement de ladite onde hydro-élastique par ajustement desdits coefficients de flexion D_i et / ou des formes desdites zones Z_i .

2. Système selon la revendication 1 dans lequel les zones Z1 et Z2 sont jointives.

3. Système selon l'une des revendications 1 à 2 caractérisé en ce que les coefficients de flexion D1 et D2 sont différents, par différences d'épaisseur e_i des zones Z1 et Z2, et / ou par différences des modules d'Young E_i et / ou des coefficients de Poisson ν_i des matériaux composant les zones Z1 et Z2.

4. Système selon l'une des revendications 3 dans lequel l'évolution du coefficient de flexion entre le passage de la zone Z1, de coefficient D1, à la zone Z2, de coefficient D2, est continue.

- 5 5. Système selon l'une des revendications 1 à 4 dans lequel ayant défini l'indice n_i de la zone Z_i comme étant proportionnel à l'inverse de la vitesse de propagation V_i des ondes hydro-élastiques dans la zone Z_i , la vitesse de propagation V_i est définie par l'équation :

$$n_i \propto \frac{1}{V_i} = \sqrt{\frac{\rho \cdot \lambda_i^3}{D_i \cdot 8\pi^3}}$$

- 10 de sorte que l'indice n_i est équivalent à l'indice de réfraction d'un milieu optique, et tel que les lois de l'optique géométrique s'appliquent à la propagation des ondes hydro-élastiques se propageant dans les zones Z_i .

- 15 6. Système selon la revendication 5 comprenant en outre une troisième zone Z3 et tel que :

- les zones Z1, Z2 et Z3 sont jointives ;
 - les zones Z1 et Z3 sont de même indice n_1 différent de l'indice n_2 de la zone Z2, Z1 étant la zone d'arrivée des ondes hydro-élastiques et Z3 la zone de sortie ;
- et

- 20 - les formes des interfaces entre les zones sont des arcs de cercle de rayon R telles que l'ensemble {Z1, Z2, Z3} se comporte comme une lentille optique de focale f définie par l'équation :

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{\frac{n_2}{n_1} - 1}$$

- 25 7. Système selon la revendication 6 dans lequel la lentille formée par l'ensemble {Z1, Z2, Z3} est convergente si :

- l'ensemble a une forme de lentille biconvexe et $n_1 < n_2$; ou si
- l'ensemble a une forme de lentille biconcave et $n_1 > n_2$.

8. Système selon la revendication 5 dans lequel les zones Z1 et Z2 sont jointives, d'indices respectifs n_1 et n_2 respectant les équations :

$$n_2 < n_1 \quad \text{et} \quad \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) < 45^\circ,$$

l'interface entre les zones est un angle droit dont le sommet est dirigé du côté de la zone Z2 de sorte qu'une onde hydro-élastique arrivant sur la zone Z1 est réfléchi au contact de l'interface entre les zones Z1 et Z2 et repart selon un axe parallèle à sa direction d'incidence.

9. Système selon l'une des revendications 1 à 8 dans lequel au moins une des zones Zi est composée d'une matrice de plots flottants (30) reliés par des moyens de liaison élastique (40) de sorte que la matrice se comporte comme une zone effective Zeff_i de coefficient de flexion effectif D_{eff_i} défini par l'équation :

$$D_{eff_i} = \frac{E_{eff_i} \cdot e_{eff_i}^3}{12 \cdot (1 - \nu_{eff_i}^2)}$$

où E_{eff_i} est le module de Young effectif de la zone Zeff_i, e_{eff_i} est l'épaisseur effective de la zone effective Zeff_i, et ν_{eff_i} est le coefficient de Poisson effectif de la zone Zeff_i, et de tension mécanique interne effective T_{eff_i}, i étant égale à 1 ou 2;

la structure composite étant adaptée pour, quand le système de contrôle est posé à la surface du liquide (1) de telle sorte qu'une onde hydro-élastique de surface se propage sur la première zone Z1 ou Zeff_1 puis sur la seconde zone Z2 ou Zeff_2 de la structure composite flottant sur la surface du liquide (1) de densité ρ , et quand la longueur d'onde λ_i de l'onde hydro-élastique se propageant dans la zone Zi, respectivement la longueur d'onde effective λ_{eff_i} de l'onde se propageant dans la zone effective Zeff_i, respecte les équations suivantes :

$$\frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_i}} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi}{\lambda_i} \geq \sqrt{\frac{T_i}{D_i}}$$

respectivement

$$\frac{2\pi}{\lambda_{eff_i}} \geq \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot g}{D_{eff_i}}} \quad \text{et} \quad \frac{2\pi}{\lambda_{eff_i}} \geq \sqrt{\frac{T_{eff_i}}{D_{eff_i}}}$$

où g correspond à la constante universelle de gravitation et i correspond à l'indice de la zone Z_i ou Z_{eff_i} sur laquelle l'onde hydro-élastique se propage, contrôler le comportement de ladite onde hydro-élastique par ajustement desdits coefficients de flexion D_i ou D_{eff_i} et/ou des formes desdites zones Z_i ou Z_{eff_i} .

5

10. Utilisation d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques de surface selon la revendication 7 pour récupérer l'énergie des ondes se propageant à la surface d'un liquide telle que la structure composite (200a ou 200b) du système de contrôle des ondes est adaptée pour focaliser les ondes hydro-élastiques en un point.

10

11. Utilisation d'un système de contrôle des ondes hydro-élastiques de surface selon la revendication 8 pour protéger un dispositif possédant une partie en contact avec la surface du liquide, la structure composite (300) du système étant adaptée pour protéger la partie en contact avec la surface du liquide et réfléchir les ondes hydro-élastiques arrivant sur le dispositif.

15

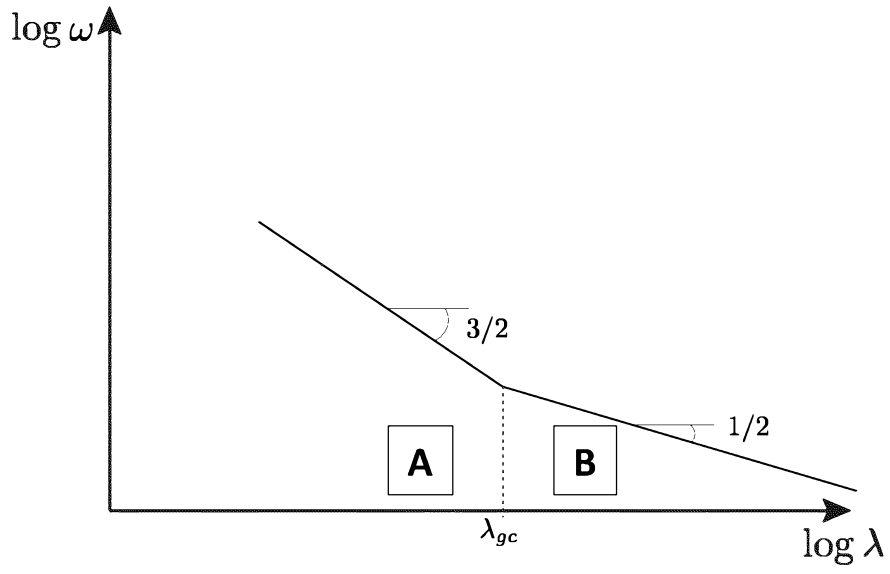


Fig. 1

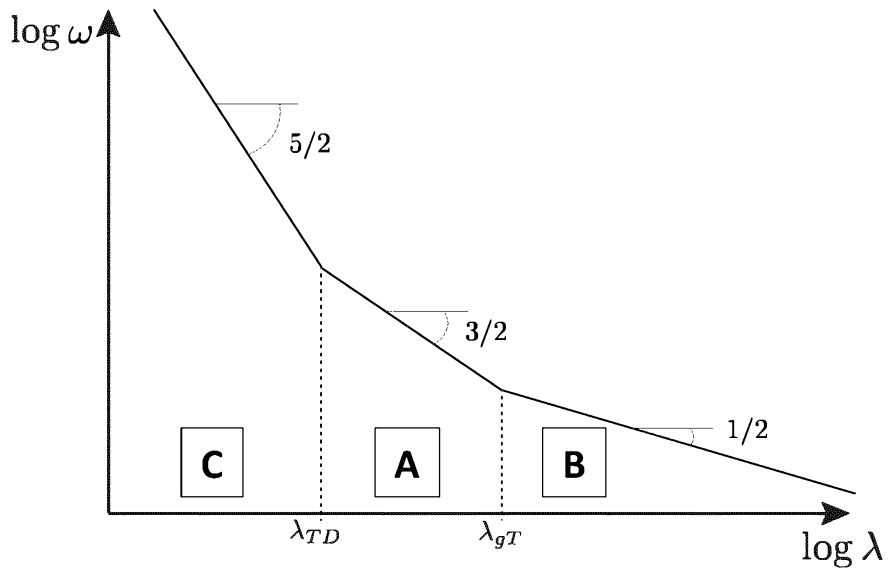


Fig. 2

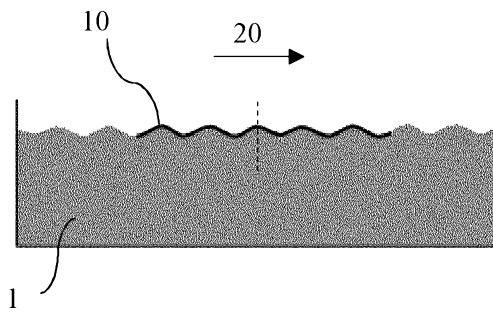


Fig. 3a

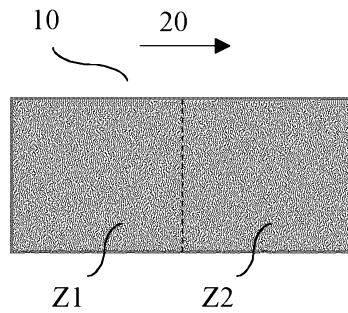


Fig. 3b

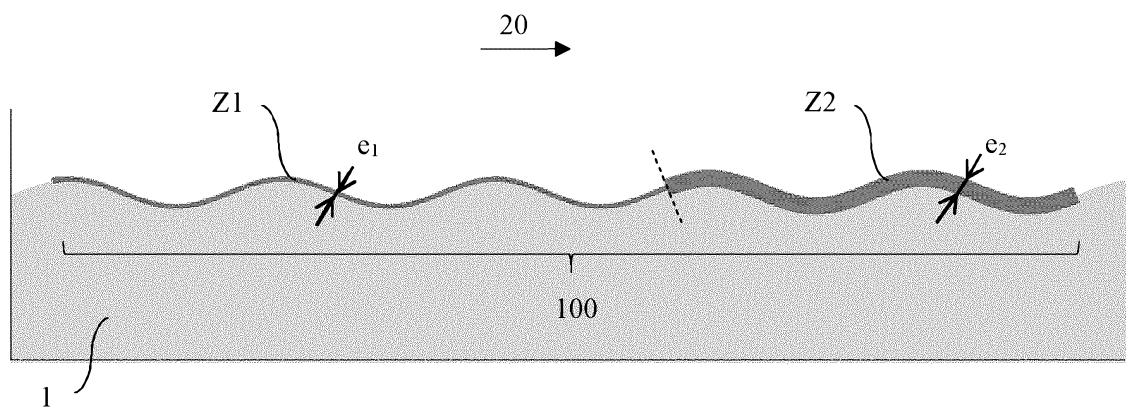


Fig. 4

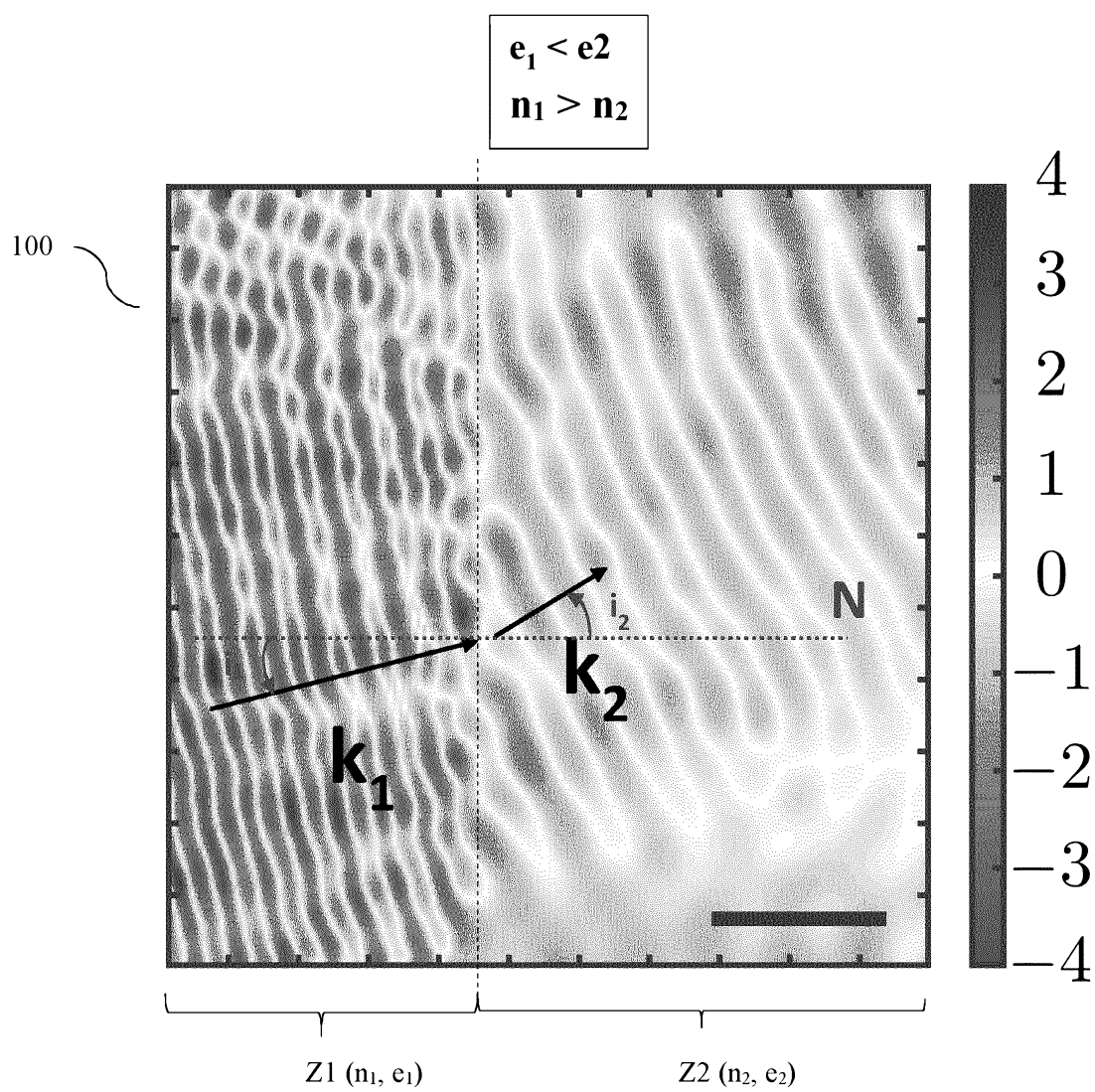
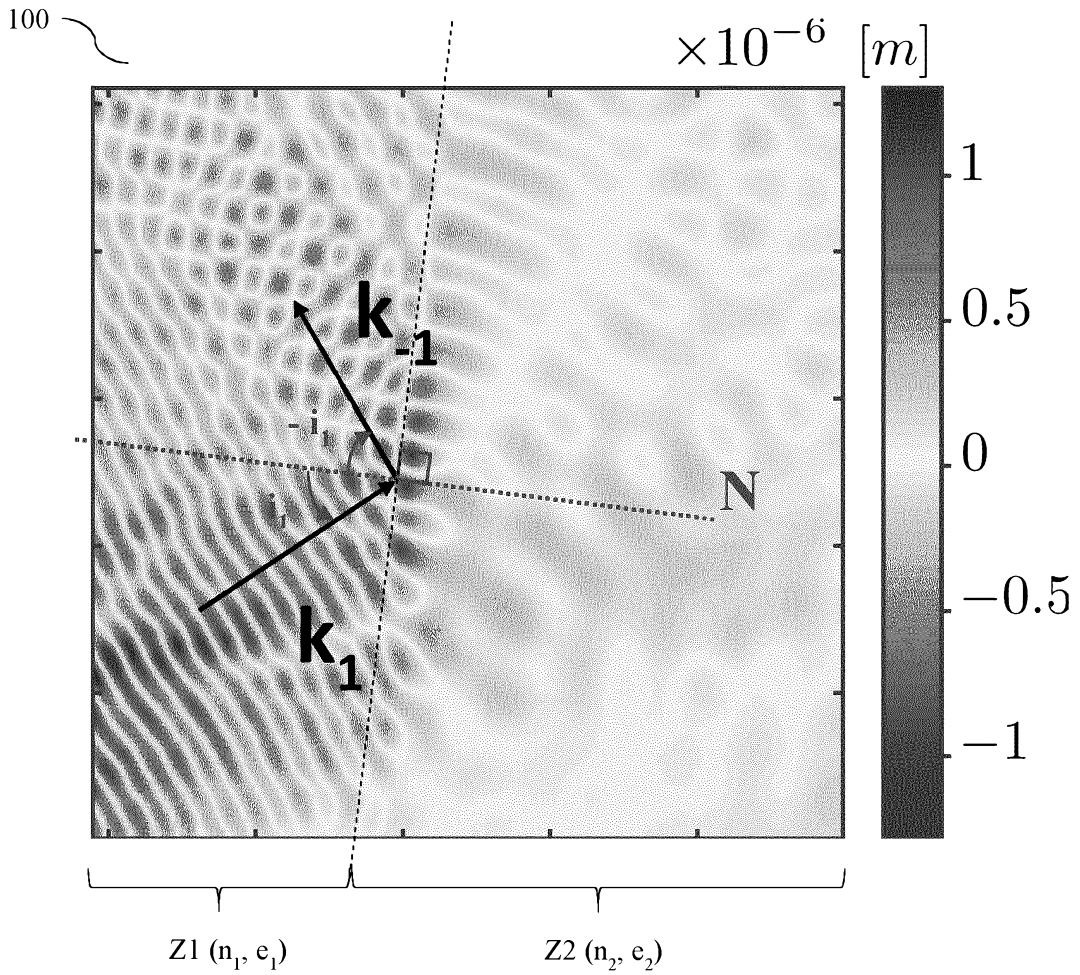


Fig. 5



$$i_1 > i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Fig. 6

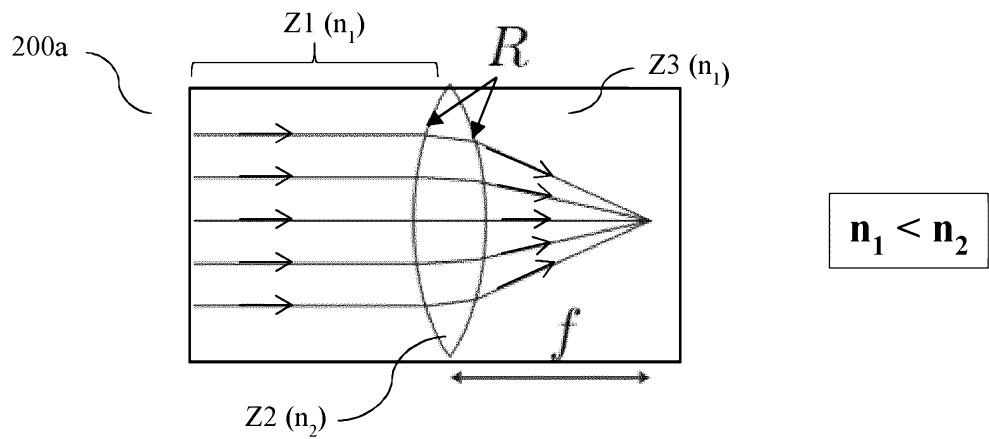


Fig. 7a

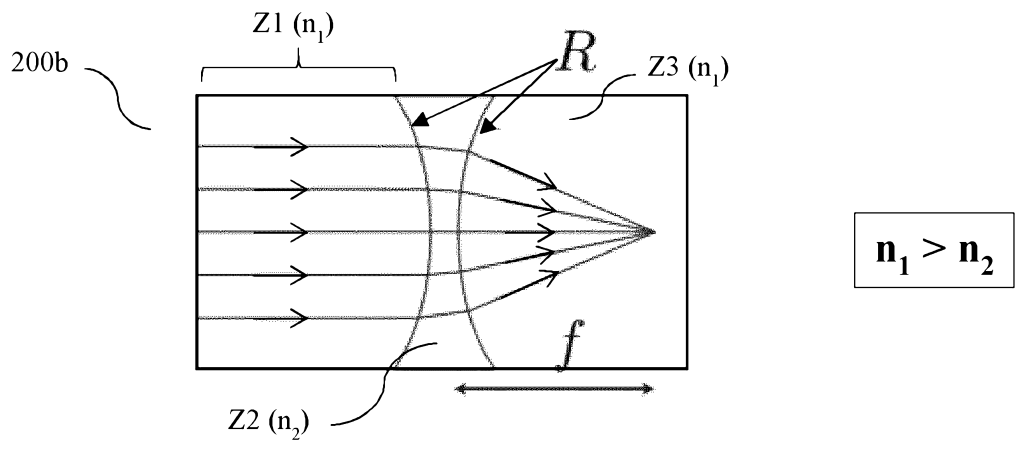


Fig. 7b

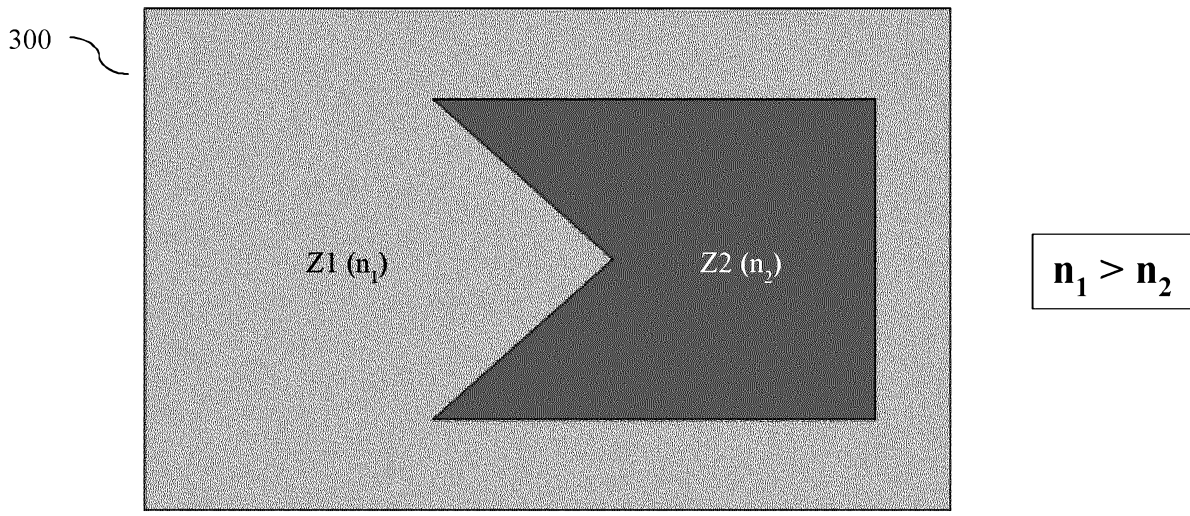


Fig. 8

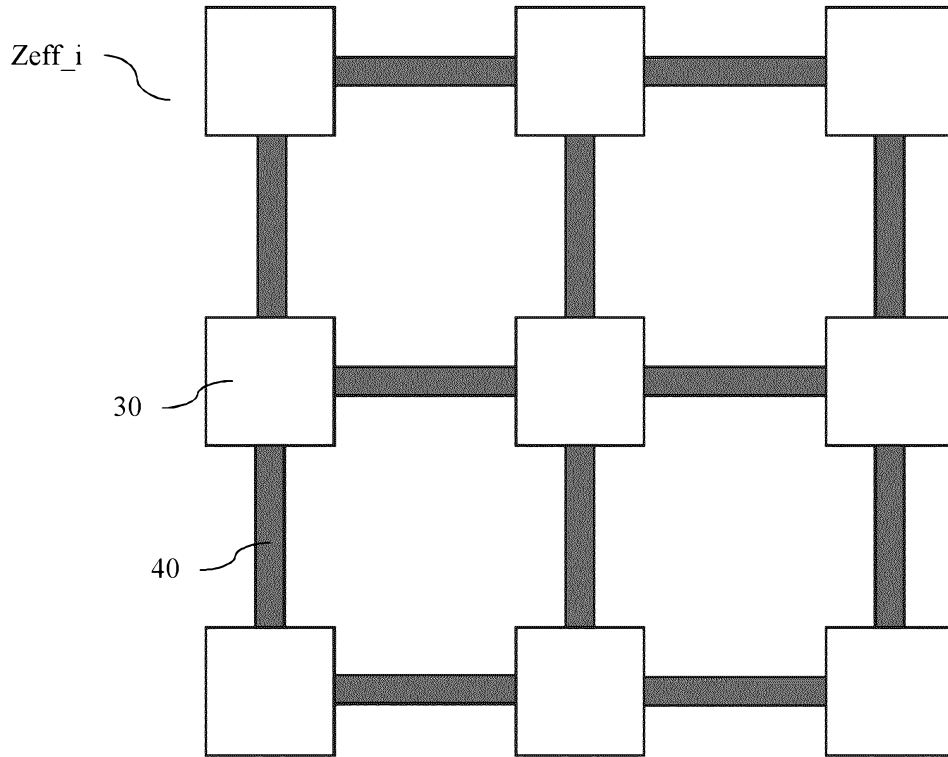


Fig. 9

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 3 188 813 A (FOSTER BOUTWELL H ET AL) 15 juin 1965 (1965-06-15)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT