

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

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

2 500 707

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 03406

(54) Dispositif de traitement de matériaux par hyper-fréquences à éléments modulaires.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). H 05 B 6/64.

(22) Date de dépôt..... 20 février 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 34 du 27-8-1982.

(71) Déposant : ELECTRICITE DE FRANCE (Service national), résidant en France.

(72) Invention de : Dan Bialod.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Martin et Schrimpf,
26, av. Kléber, 75116 Paris.

La présente invention concerne le traitement de matériaux par hyper-fréquences.

On connaît déjà différents types de dispositifs de traitement de matériaux par micro-ondes, tels que les fours classiques formés d'une enceinte close comportant une source de rayonnement isolée, enceinte dans laquelle les divers éléments de l'applicateur micro-ondes ainsi que le produit à traiter sont entièrement statiques, ou tels que les fours tunnels destinés à recevoir en défilé-
ment, le produit à traiter, et le long duquel est im-
planté un nombre donné et limité de générateurs ou tubes
hyper-fréquences, tels que des magnétrons. Si ces diffé-
rents types de dispositifs ont jusqu'ici donné satisfac-
tion, ceux-ci sont, cependant, très limités et très mal
adaptés aux applications industrielles nouvelles. Le traite-
ment de produit par micro-ondes, tant par effet diélec-
trique que par induction, touche en effet désormais les
domaines techniques les plus divers et il s'avère donc
nécessaire de disposer de dispositifs de traitement dont
la structure permet de répartir correctement l'énergie
micro-ondes à la surface du produit à traiter, quelque
soit la structure de celui-ci.

On a proposé des dispositifs de traitement de matériaux par micro-ondes du type formé d'une enceinte conductrice comprenant des modules rayonnants élémentaires alimentés en micro-ondes par l'intermédiaire d'un dispositif de couplage et d'alimentation formé d'un guide d'onde court-circuité à l'une de ses extrémités et connecté à un générateur hautes-fréquences à son autre extrémité.

Chaque module rayonnant élémentaire permet de couvrir une surface de l'ordre d'1 m² pour une fréquence de 2450 MHz. Cependant, les modules existants ne permettent pas de définir dans chaque application, un profil

d'irradiation ayant une finesse suffisante, ce, notamment,
dans le cas d'applications mixtes, c'est-à-dire dans le
cas où l'application des micro-ondes doit être réalisée
simultanément à une application d'énergie sous une forme
5 différente, une application d'air chaud par exemple. En
effet, les contraintes imposées par la géométrie des mo-
dules rayonnants existants et par le mode d'alimentation
en énergie micro-ondes, jusqu'ici utilisé pour ces modu-
les rayonnants, limitent les possibilités d'adaptation
10 de la répartition de densité de puissance rayonnée par
ces modules. La répartition de densité de puissance ne
peut être modifiée que par zones importantes, en chan-
geant la puissance d'alimentation.

On a, également, proposé de réaliser des mo-
dules rayonnants compacts sous forme d'un guide d'onde
allongé rayonnant, chacun de ces guides d'onde possé-
dant son propre générateur micro-ondes d'une puissance
d'un kilowatt micro-onde environ, cette puissance étant
définie et figée par la technologie employée. On a cons-
taté que chacun de ces modules, alimenté par un généra-
teur d'un kilowatt permet une répartition d'énergie
micro-onde sur une largeur de 10 cm environ et sur une
longueur variant en fonction de l'application, mais de
l'ordre de grandeur du mètre. On conçoit aisément que,
25 là encore, la limitation de densité de puissance ne per-
met pas de réaliser une répartition de puissance aussi
librement qu'il serait nécessaire pour optimiser le pro-
cessus industriel dans chaque application. De plus, lors-
que le traitement nécessite des puissances relativement
30 élevées, de l'ordre de quelques centaines de kilowatts
par exemple, la solution des modules rayonnants unitaires
alimentés chacun par un générateur d'un kilowatt n'est
nullement adaptée en raison de la complexité de la régu-
lation et du contrôle des quelques centaines de généra-

teurs utilisés.

Il serait donc souhaitable de disposer d'éléments rayonnants quasi-standards permettant de réaliser des structures rayonnantes de dimensions et de formes très variées, adaptables à chaque application, de réalisation très souple et qui permettent une grande liberté quant au mode d'alimentation en énergie micro-onde.

La présente invention vient améliorer la situation en proposant de nouveaux dispositifs de traitement de matériaux par micro-ondes qui permettent de réaliser une surface rayonnante de dimension quelconque, non nécessairement plane, avec une densité de puissance choisie quelconque, et ce très simplement.

A cette fin, le dispositif de traitement de matériaux par micro-ondes de la présente invention est composé d'un guide d'onde qui comporte, sur son grand côté et régulièrement réparties sur sa longueur, selon un multiple entier de demi-longueurs d'onde guidée, des sorties coaxiales destinées à être reliées à des connecteurs coaxiaux situés à l'une des extrémités des éléments rayonnants, l'âme centrale desdites sorties coaxiales étant formée de plongeours réglables pénétrant dans le guide d'onde composant le dispositif de couplage et d'alimentation.

Selon une caractéristique de la présente invention, chaque élément rayonnant conçu pour être adapté est formé d'un guide d'onde, muni de fentes rayonnantes, court-circuité à l'une de ses extrémités et raccordé à l'une des sorties coaxiales du dispositif de couplage et d'alimentation par son autre extrémité, à laquelle est disposée une transition coaxial-guide d'onde, alignée avec l'axe longitudinal de l'élément rayonnant et permettant de conserver l'adaptation d'impédance de chacun de ceux-ci.

Selon une autre caractéristique de la présente

invention, chaque élément rayonnant est connecté à la sortie coaxiale correspondante du dispositif de couplage et d'alimentation par une portion de guide coaxial semi-rigide permettant d'orienter librement chaque élément rayonnant vis-à-vis du dispositif de couplage et d'alimentation.

D'autres caractéristiques de la présente invention, et notamment la disposition des fentes rayonnantes sur chaque élément rayonnant, apparaîtront à la lecture 10 de la description détaillée qui va suivre, et en regard des dessins annexés donnés à titre d'exemple non limitatif et sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue schématique, selon une coupe longitudinale, d'un élément rayonnant 15 conforme à la présente invention,

- la figure 2 représente une vue schématique, selon une coupe longitudinale, du dispositif de couplage et d'alimentation de la présente invention.

- Les figures 3 et 4 représentent en détail deux 20 modes de jonction des éléments rayonnants au dispositif de couplage et d'alimentation, selon la présente invention.

- Les figures 5 à 7 représentent des variantes 25 de réalisation des éléments rayonnants conformes à la présente invention.

- La figure 8 représente une vue en coupe transversale d'un four à micro-ondes dans lequel est incorporé le dispositif de la présente invention.

Le dispositif de traitement de matériaux par 30 micro-ondes, de la présente invention, est formé d'une enceinte conductrice non nécessairement close, comprenant des éléments rayonnants 10 alimentés en micro-ondes par l'intermédiaire d'un dispositif 40 de couplage et d'alimentation.

Chaque élément rayonnant 10, tel que représenté sur la figure 1, est formé d'un guide d'onde de forme allongée, muni de fentes rayonnantes, non représentées sur la figure 1. Chaque élément rayonnant 10 est fermé à l'une de ses extrémités 11 par une paroi électriquement conductrice formant court-circuit, et raccordé à l'une des sorties coaxiales du dispositif de couplage et d'alimentation 40 par l'intermédiaire de connecteurs coaxiaux 18 situés à son autre extrémité 12. Cette extrémité 12 de chaque élément rayonnant 10, raccordée à l'une des sorties coaxiales du dispositif de couplage et d'alimentation 40 par l'intermédiaire de connecteurs 18, comporte une transition coaxial-guide d'onde, alignée avec l'axe longitudinal 13 de l'élément rayonnant.

Selon le mode de réalisation de la transition représentée sur la figure 1, celle-ci se compose de trois éléments. Un premier élément 14, de longueur a fixe, est situé dans le prolongement de l'âme centrale du connecteur coaxial, reliant chaque élément rayonnant 10, au dispositif de couplage et d'alimentation 40. La longueur a de cet élément 14, sera aisément calculée, par l'homme de l'art, en fonction des dimensions géométriques du guide d'onde constituant l'élément rayonnant 10, et de la longueur d'onde guidée λ_g , à la fréquence centrale de la bande de fréquence utilisée. Un second élément 15, disposé à l'extrémité de cet élément 14, et perpendiculairement à celui-ci, relie l'extrémité de l'élément 14 à la paroi du grand côté de l'élément rayonnant 10, cet élément 15 ayant une longueur b égale à la demi-hauteur du petit côté de l'élément rayonnant 10. L'élément 15 est fixé, d'une part, à l'extrémité de l'élément 14, d'autre part, à la paroi de l'élément rayonnant 10, par tous moyens appropriés, par exemple, l'extrémité de l'élément 15 adjacente à la paroi de l'élément rayonnant 10 pourra

être taraudée, une vis traversant la paroi de l'élément rayonnant 10 et prenant position dans le taraudage de l'élément 15, assurant la liaison mécanique et électrique entre cet élément 15 et la paroi du grand côté de l'élément rayonnant 10. L'élément 14 de longueur a fixe, se prolonge par un élément 16, fileté, et de longueur c variable, réglée par l'enfoncement de cet élément fileté 16 dans un taraudage correspondant ménagé axialement à l'extrémité de l'élément 14. Le réglage de la longueur de l'élément 16 pourra, par exemple, être obtenu à l'aide d'une vis à blocage.

Une trappe 17, disposée sur la paroi du grand côté supérieur de l'élément rayonnant 10, formant guide d'onde, permet l'accès d'un opérateur à la transition, précédemment définie. Cette trappe 17, permet, par conséquent, le réglage de la transition sans nécessiter le démontage de l'élément rayonnant 10. De plus, en raison de la présence de la trappe 17, la transition peut être installée en bout du guide d'onde 10, directement, sans qu'il soit nécessaire de passer par une bride de raccordement. Une telle réalisation des éléments rayonnants 10, permet une interchangeabilité parfaite de différents éléments rayonnants 10, comme il sera expliqué plus en détail dans la suite de la description, c'est-à-dire qu'il n'est pas indispensable, si on remplace un type d'élément rayonnant 10 par un autre, ou si on change la longueur d'un élément rayonnant 10, de redéfinir les caractéristiques des autres éléments du dispositif. Cette parfaite interchangeabilité est obtenue, en réalisant des éléments rayonnants adaptés, et des transitions coaxiales adaptées. Ainsi les caractéristiques de ces différents éléments rayonnants n'interviennent plus dans l'assemblage de plusieurs éléments rayonnants pour constituer un applicateur micro-ondes complet. Cette adaptation des éléments rayonnants est obtenue lorsque le taux d'ondes stationnaires à

l'entrée de chaque élément rayonnant est voisin de 1, c'est-à-dire lorsque chaque élément 10 rayonne sensiblement la totalité de l'énergie qu'il reçoit. Les longueurs des éléments 14, 15, 16 sont calculées en fonction des 5 dimensions de la section transversale du guide d'onde 10 pour que la transition coaxial-guide d'onde soit adaptée. Un réglage fin de l'adaptation est obtenu en modifiant la longueur de l'élément fileté 16.

10 Selon un exemple de réalisation particulier des éléments rayonnants 10, dans lequel ceux-ci sont formés d'un guide d'onde de type "RG 112", pour lequel le petit côté du guide d'onde a une largeur de 43,2 mm, et le grand côté du guide d'onde a une largeur de 86,4 mm, la transition coaxial-guide d'onde aura, par exemple, les valeurs 15 suivantes, définies à la fréquence centrale de 2450 MHz, de la bande de fréquence utilisée :

longueur a de l'élément 14 : 71 mm
longueur b de l'élément 15 : 22 mm
longueur c de l'élément 16 : 24⁺¹⁰ mm.

20 Le dispositif de couplage et d'alimentation 40, représenté sur la figure 2, destiné à réaliser l'assemblage de différents éléments rayonnants 10, est constitué par un guide d'onde court-circuité à l'une de ses extrémités et muni sur l'un de ses grands côtés d'un nombre 25 de transitions guide d'onde-coaxial, correspondant au nombre d'éléments rayonnants 10, à assembler. Chacune de ces transitions guide d'onde coaxial-, est terminée par un connecteur 41, du même type que celui 18 utilisé pour les éléments rayonnants 10. Les transitions guide d'onde- 30 coaxial, utilisées dans la réalisation du dispositif de couplage et d'alimentation 40, sont avantageusement formées d'un plongeur 42, disposé dans le prolongement de l'âme centrale du connecteur coaxial relié à l'un des éléments rayonnants 10. Chaque plongeur 42 est terminé 35 par un élément fileté 47, permettant de régler la lon-

gueur de celui-ci. Un bouchon métallique 43 situé sur l'un des grands côtés du dispositif de couplage et d'alimentation 40, dans la paroi opposée à la paroi supportant le connecteur 41, et disposé en vis-à-vis de l'extrémité 5 du plongeur 42, permet l'accès d'un opérateur à l'élément 47 disposé à l'extrémité du plongeur 42. Cet élément 47 pourra être constitué par exemple d'une vis à blocage, permettant ainsi un réglage aisément de la longueur du plongeur. En outre, des vis 44 disposées dans la paroi du dispositif de couplage et d'alimentation 40 supportant les bou- 10 chons métalliques 43, vis 44 décalées d'un quart de longueur d'onde guidée par rapport au plongeur 42, et faisant saillie à l'intérieur du dispositif de couplage et d'alimentation 40, permettent d'adapter celui-ci.

15 Bien entendu, la structure particulière de la transition utilisée sera aisément adaptée en fonction de chaque cas particulier. Par exemple, dans le cas où les puissances à transmettre sont importantes, le plongeur pourra être remplacé par une transition de type cross- 20 bar, réglable, c'est-à-dire une transition comprenant un plongeur à l'extrémité duquel est disposée une tige transversale, perpendiculaire audit plongeur. Chaque transition ainsi définie, disposée sur le dispositif de couplage et d'alimentation 40, doit être installée à un ma- 25 ximum de champ électrique, c'est-à-dire à une distance d'un multiple entier d'une demi-longueur d'onde guidée les unes des autres, la dernière transition étant disposée à un nombre impair de quart de longueur d'onde guidée de la paroi conductrice 45 formant court-circuit, paroi 45 30 disposée à l'extrémité du guide d'onde 40 opposée à l'extrémité 46, à laquelle est disposé le générateur haute-fréquences. Ceci pour tenir compte d'une condition aux limites connue qui impose que le champ électrique tangentiel soit nul au niveau d'une paroi conductrice. Les transitions coaxial-guide d'onde constituées des plongeurs 42 35

doivent être réglées au moyen de l'élément 47 pour obtenir la répartition de puissance souhaitée entre les éléments rayonnants 10. L'équirépartition est le plus souvent recherchée, mais un profil arbitraire peut être obtenu.

5 Selon une caractéristique de la présente invention, il est apparu intéressant de pouvoir choisir librement l'espacement entre deux transitions 42, afin de pouvoir disposer librement et arbitrairement les différents éléments rayonnants 10. Ces différentes transitions 42, 10 étant nécessairement disposées selon un multiple entier de demi-longueur d'onde guidée, comme cela a été précédemment exposé, la modification de l'espacement entre les éléments rayonnants 10 nécessite une modification de la valeur de la longueur d'onde guidée λ_g . On pourra aisément modifier 15 la valeur de la longueur d'onde guidée λ_g dans le dispositif de couplage et d'alimentation 40, en choisissant la largeur d du grand côté de ce guide d'onde 40, de façon à obtenir une valeur de la longueur d'onde guidée permettant de réaliser l'espacement souhaité des éléments rayonnants 20 10. La longueur d'onde dans l'air étant λ_0 , la valeur de la largeur d du grand côté de ce guide sera déterminée en fonction de la relation : $1/4 d^2 = 1/\lambda_0^2 - 1/\lambda_g^2$, cette relation étant valable pour le mode fondamental que l'on cherche à propager.

25 Selon un mode de réalisation particulier, et pour une fréquence centrale de 2450 MHz, de la bande de fréquence utilisée, dans laquelle l'on souhaite disposer cinq éléments rayonnants 10 à une distance de 100 mm les uns des autres, la longueur d'onde dans l'air λ_0 étant égale à 122,4 mm et λ_g la longueur d'onde guidée étant égale à 200 mm, les largeurs des différents côtés du guide d'onde 40, seront les suivantes :
largeur du petit côté du guide d'onde : 43,3 mm,
largeur d du grand côté du guide d'onde 40 : 77,4 mm.

30 35 Il convient de remarquer que l'on utilisera la méthode précédemment décrite constituant à déterminer la valeur

de la largeur d du grand côté du guide d'onde 40, afin de choisir une longueur d'onde guidée λ_g adéquate, lorsque le réglage de cette longueur d'onde guidée λ_g , va dans le sens d'une augmentation, ce qui revient à diminuer la valeur d du grand côté de ce guide d'onde 40, diminution facile à réaliser à partir d'un guide standard. Par contre, quand il s'agit de diminuer la valeur de la longueur d'onde guidée λ_g , on procèdera plutôt par introduction d'un corps diélectrique suivant la longueur du guide d'onde 40.

L'utilisation des transitions 42 coaxial-guide d'onde, précédemment décrites, permet d'utiliser différents dispositifs de liaison entre le dispositif de couplage et d'alimentation 40, et chaque élément rayonnant 10 afin de permettre un mouvement relatif de ceux-ci vis-à-vis du dispositif de couplage et d'alimentation 40, éléments de liaison représentés sur les figures 3 et 4. Puisque le mouvement de rotation du conducteur central du câble coaxial reliant le dispositif de couplage et d'alimentation 40 à chaque élément rayonnant 10, et disposés dans le prolongement du plongeur 42 et de l'élément 14, est libre, il suffit de réaliser un contact non rigide entre les conducteurs extérieurs des connecteurs respectifs 41 et 18, en intercalant un tronçon 51, assurant la liaison entre les conducteurs extérieurs de ces connecteurs 18 et 41, tronçon formé par exemple d'une tresse métallique de même diamètre que lesdits conducteurs extérieurs. Selon le mode de réalisation représenté sur la figure 3, la tresse métallique 51 constitue un joint tournant, permettant une rotation de chaque élément rayonnant 10 autour de l'axe longitudinal du plongeur 42.

Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 4, la tresse métallique 51 est constituée d'un tronçon de câble coaxial semi-rigide, cannelé, terminé

à chaque extrémité par un connecteur 52, spécial pour guide cannelé, coopérant respectivement avec les connecteurs 18 et 41 et permettant une grande liberté de mouvement entre l'élément rayonnant 10 et le dispositif de 5 couplage et d'alimentation 40.

La liberté de mouvement entre chaque élément rayonnant 10 et le dispositif de couplage et d'alimentation 40, permet d'une part, de focaliser l'énergie micro-onde sur une zone déterminée de produit à traiter, 10 d'autre part d'opérer un balayage par chaque élément rayonnant 10. On comprend que la mise en mouvement de façon continue et asynchrone de différents éléments rayonnants 10 assure une répartition homogène de l'énergie micro-onde, en modifiant le régime d'ondes stationnaires qui s'établit dans l'enceinte contenant les différents éléments rayonnants 10, en particulier en mode statique. 15

Bien entendu, le guide d'onde de couplage et d'alimentation 40 peut avoir un profil différent de celui représenté sur la figure 2, qui possède un profil droit. 20 On pourra, par exemple, utiliser des coudes ou des parties courbées permettant de réaliser des surfaces non planes.

Dans la mesure où les différents éléments rayonnants 10 sont utilisés dans un four à défilement, le sens 25 de défilement du produit à traiter sera avantageusement opéré parallèlement à l'axe longitudinal du dispositif de couplage et d'alimentation 40. Ainsi le four à défilement ou four tunnel pourra être aisément constitué de différents tronçons de dispositif de couplage et d'alimentation 40, connectés bout à bout. Le nombre d'éléments rayonnants 10, ainsi que le nombre de générateurs correspondants, seront aisément déterminés en fonction de la puissance souhaitée. Dans un cas extrême, chaque élément 30

rayonnant 10 pourra, bien entendu, être associé à un génératriceur micro-ondes particulier.

Les différents modes de réalisation des éléments rayonnants 10, vont maintenant être décrits plus en détail, en regard des figures 5 à 7.

Selon le mode de réalisation représenté sur la figure 5, l'élément rayonnant 10 comporte sur son grand côté un ensemble de fentes rayonnantes séries 19, inclinées par rapport à l'axe médian longitudinal 28 du grand côté de chaque élément rayonnant 10 ; l'ensemble guide d'onde 10 muni de fentes rayonnantes, et court-circuité, constitue ainsi lui-même un système résonnant. Ces fentes 19 inclinées par rapport à l'axe médian longitudinal 28 du grand côté de l'élément rayonnant 10, sont considérées comme disposées en série dans le guide. L'impédance de chaque fente série 19 est déterminée par l'angle d'inclinaison Θ_0 de celle-ci par rapport à l'axe médian longitudinal 28 du guide d'onde 10. Le centre de la fente 19 est situé au milieu du grand côté du guide rayonnant 10, sur l'axe médian longitudinal 28. L'avantage des fentes séries réside dans le fait que leur longueur de résonance n'est pas modifiée par les variations d'angle d'inclinaison Θ_0 de celles-ci par rapport à l'axe médian longitudinal 28 de l'élément rayonnant 10, contrairement aux fentes parallèles, pour lesquelles on doit souvent corriger la longueur en fonction de la distance à l'axe médian 28 du grand côté du guide. Cette distance détermine comme cela est bien connu de l'homme de l'art, la conductance de la fente parallèle. Pour obtenir une excitation en phase, les différentes fentes séries 19 sont disposées distantes les unes des autres d'un nombre entier de demi-longueur d'onde guidée $\lambda_g/2$, en prenant soin d'incliner les fentes 19 alternativement de part et d'autre du plan de symétrie de l'axe 28,

puisque les champs dans le guide sont en opposition de phase de part et d'autre de ce plan, ce qui permet, en particulier, de bien répartir l'énergie. On pourra également disposer les fentes rayonnantes séries 19 à une distance d'une longueur d'onde guidée λ_g les unes des autres, et selon une disposition parallèle. La fente rayonnante série 19 la plus proche du court-circuit 11 est située également à un nombre entier de demi-longueur d'onde de celui-ci : ainsi toutes les fentes sont situées à des maxima de lignes de courant, qu'elles interceptent dès que leur angle d'inclinaison Θ_0 est différent de zéro. Le nombre et l'angle d'inclinaison Θ_0 de chacune des fentes 19, seront aisément déterminés comme suit :

Pour rayonner sur une distance utile D, définie comme débordante de un quart de longueur d'onde guidée $\lambda_g/4$ de part et d'autre des fentes rayonnantes 19 extrêmes, il convient de déterminer le nombre n de fentes, défini par la relation :

$$\frac{n\lambda_g}{2} = D$$

Connaissant le nombre n de fentes 19 disposées sur la longueur du guide d'onde 10, il est aisé de déterminer la valeur de la résistance réduite r par rapport à 50Ω , en fonction de la relation $n r = 1$, nécessaire pour assurer l'adaptation. Enfin, connaissant la valeur de la résistance réduite r, la valeur de l'angle d'inclinaison Θ_0 sera aisément déterminée par l'homme de l'art en fonction des relations bien connues reliant la résistance réduite r et l'angle d'inclinaison Θ_0 utilisé.

D'une manière générale, avec ce type d'installation, il convient de munir les parois des guides d'ondes 10, d'une centaine de fentes par mètre carré pour une fréquence centrale d'utilisation de 2450 MHz. Selon un exemple de réalisation, utilisant un guide d'onde du type RG 112, et pour une fréquence centrale d'utilisation de

2450 MHz, les différentes valeurs seront déterminées comme suit :

largeur du grand côté de l'élément rayonnant 10 : 86,4 mm,
 largeur du petit côté de l'élément rayonnant 10 : 43,2 mm,
 5 longueur utile de l'élément rayonnant 10 : 952,6 mm,
 angle d'inclinaison θ_0 de chaque fente 19 sur l'axe médi-an longitudinal 28 : $\pm 14^\circ$,
 nombre de fentes : 11,
 valeur d'une demi-longueur d'onde guidée : $\frac{\lambda_g}{2} = 86,6 \text{ mm.}$

10 La présente invention propose un autre mode de réalisation, représenté sur la figure 6, des éléments rayonnants 10. Dans ce mode de réalisation, des fentes parallèles 20 disposées parallèlement à l'axe médian longitudinal 28 de chaque élément rayonnant 10, sont intercalées entre des fentes séries 19', inclinées d'un angle θ_0 par rapport à l'axe médian longitudinal 28. Les fentes parallèles 20 sont avantageusement distantes les unes des autres d'une longueur d'onde guidée λ_g , les fentes séries 19', étant également distantes les unes des autres d'une longueur d'onde guidée λ_g , l'ensemble fentes parallèles 20 et l'ensemble fentes séries 19', étant décalés d'une demi-longueur d'onde guidée $\lambda_g/2$. L'impédance de chaque fente parallèle 20 est déterminée en fonction de la distance de chaque fente parallèle 20,
 15 par rapport à l'axe médian longitudinal 28 du grand côté du guide d'onde 10.

20 On a $n/2$ fentes parallèles 20 sur le grand côté du guide d'onde 10, l'admittance réduite de chacune des fentes parallèles 20 devra, par conséquent, avoir pour valeur $2/n$ afin de réaliser l'adaptation. L'admittance détermine à l'aide des relations connues de l'homme de l'art, la distance de chaque fente 20, par rapport à
 25

l'axe médian 28 du grand côté du guide 10. De même, puisque l'on a une fente sur deux formée d'une fente série 19', l'impédance réduite de chaque fente série 19' devra avoir, pour valeur $2/n$ afin de vérifier la relation $n/2 \cdot r = 1$ vérifiée à l'adaptation. Cette impédance réduite détermine, comme cela a déjà été précisé, la valeur de l'angle d'inclinaison Θ_0 de la fente série 19' par rapport à l'axe médian 28 du grand côté du guide d'onde 10.

Les fentes séries 19', rayonnent lorsqu'elles sont situées à un maximum de courant, alors que les fentes parallèles 20, rayonnent lorsqu'elles sont situées à un maximum de tension. C'est-à-dire que les fentes séries rayonnent lorsque le court-circuit électrique est disposé à un nombre pair de quart de longueur d'onde guidé, $(2k \lambda g/4)$, de celles-ci, alors que les fentes parallèles 20, rayonnent lorsqu'elles sont situées à un nombre impair de quart de longueur d'onde guidée, $((2k + 1) \lambda g/4)$, du court-circuit électrique. On comprend donc que, selon le mode de réalisation de l'élément rayonnant représenté sur la figure 6, il est nécessaire d'assurer un déplacement du court-circuit, pour permettre le rayonnement alternativement des fentes séries 19', et des fentes parallèles 20.

Bien entendu, le déplacement du court-circuit, pourra être obtenu par tous dispositifs mécaniques appropriés permettant un déplacement du court-circuit électrique. Cependant, selon un mode de réalisation avantageux représenté sur la figure 6, le déplacement du court-circuit pourra être obtenu en modifiant la longueur électrique du guide d'onde 10, en introduisant un matériau diélectrique entre la dernière fente et le court-circuit formé par la paroi d'extrémité 11 du guide d'onde 10. A cette fin, on ménage à l'extrémité du guide d'onde 10 une

cellule étanche 24 formée de deux parois 22 et 23 en matière isolante, disposées perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'élément rayonnant 10, cellule que l'on remplit et vide séquentiellement d'un liquide diélectrique.

5 Si l'on appelle x la longueur séparant le court-circuit électrique de l'extrémité 11 du guide d'onde 10, lorsque ladite cellule 24 est remplie du liquide diélectrique, l'espacement e entre les deux parois 22 et 23 de la cellule 24, doit répondre à la relation suivante :

$$10 \quad x = y + e = \lambda g / 4$$

Quand la cellule 24 est remplie d'un diélectrique de constante ϵ , la longueur d'onde guidée $\lambda_{g\epsilon}$ dans cette cellule 24 devient :

$$15 \quad \lambda_{g\epsilon} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon - (\frac{\lambda_0}{2d})^2}}$$

on a alors la relation :

$$y + \frac{e \lambda g}{\lambda_{g\epsilon}} = \frac{\lambda g}{2} \text{ soit } e \left(\frac{1}{\lambda_{g\epsilon}} - \frac{1}{\lambda g} \right) = \frac{1}{4}$$

On peut par exemple utiliser une pompe unique alimentant successivement les différents éléments rayonnants 10, en assurant le remplissage et la vidange en liquide diélectrique des cellules 24.

20 Dans un exemple de réalisation, utilisant un guide d'onde du type RG 112, à 2450 MHz, et en utilisant une huile de constante diélectrique $\epsilon = 2,8$ pour remplir la cellule 24, l'on obtiendra les valeurs suivantes :
25 distance e entre les deux parois 22 et 23 de la cellule 24 : 3,782 cm,
volume de la cellule : 141,2 cm³.

Bien entendu, dans certains cas, il sera possible de disposer sur le grand côté du guide d'onde 10 des fentes jouant à la fois le rôle de fentes séries et de fentes parallèles dites fentes série-shunt. L'impédance de la fente série étant égale à l'admittance de la fente parallèle, n fentes seront disposées sur le grand côté du

guide d'onde 10, chacune de ces fentes ayant une impédance $1/n$ pour assurer l'adaptation. Dans un tel cas, on obtiendra par variation de la position du court-circuit terminal, une rotation de la polarisation du champ rayonné.

5

Dans certains cas, il est intéressant de procéder à une application simultanée de micro-ondes et d'air chaud, afin de profiter de l'action simultanée des micro-ondes qui ont pour effet de faire migrer l'eau à la surface du produit, et de l'air chaud, qui a pour effet d'évacuer l'eau ainsi disponible en surface.

10 A cette fin, le guide d'onde 10, tel que représenté sur la figure 7, sera avantageusement muni à son extrémité 11 constituant le court-circuit du guide d'onde 10, d'une gaine d'arrivée d'air chaud 25. Sur cette figure 7, seules des fentes rayonnantes séries 19 ont été représentées, mais bien entendu, chaque élément rayonnant 10 pourra également comporter des fentes parallèles et par conséquent une cellule apte à faire varier la position du court-circuit comme cela a été expliqué précédemment en regard de la figure 6. L'extrémité 11 du guide d'onde 10 est avantageusement constituée d'un grillage métallique remplaçant le court-circuit, et autorisant le passage d'air chaud. Afin d'éviter le déplacement de l'air chaud vers le dispositif de couplage et d'alimentation 40, une fenêtre 26 isolante électriquement et imperméable à l'air sera avantageusement disposée entre la transition précédemment définie et la fente 19 la plus proche de cette extrémité 11. L'épaisseur de la fenêtre isolante 26 aura une valeur de $\lambda_{ge}/2$, correspondant à une demi-longueur d'onde guidée $\lambda_{ge}/2$, dans ce diélectrique, afin de ne pas perturber la configuration du guide d'onde 10.

15

20

25

30

Enfin, il est possible d'obturer les différentes fentes rayonnantes 19 disposées sur le grand côté

du guide d'onde 10, par un diélectrique, afin de réaliser une étanchéité de ces différentes fentes à l'air. Dans ce but, on emploiera un diélectrique à faibles pertes ($\tg \delta \approx 10^3$), de constante diélectrique ϵ' voisine de 1 ; 5 des ouvertures 27 sont, de plus disposées sur le grand côté du guide d'onde 10, de façon à autoriser le soufflage de l'air de façon régulière sur le produit à traiter contenu dans l'enceinte, tout en assurant une continuité électrique suffisante pour ne pas perturber les ondes.

10 A cette fin, les ouvertures 27 pourront être constituées soit de grillage tel que représentées sur la figure 7, soit formées d'orifices de dimensions suffisamment petites pour ne pas perturber les ondes. On comprend aisément que l'air insufflé par l'intermédiaire des gaines 15 25 disposées à l'extrémité 11 du guide d'onde 10, traversant les grillages , et les différentes ouvertures 27 ou éventuellement les fentes rayonnantes selon le mode de réalisation, est ensuite envoyé vers le produit à traiter. L'application simultanée d'air chaud et de 20 micro-onde permet, par conséquent, une optimisation du procédé de traitement. Bien entendu, l'air chaud pourra provenir soit de ventilateurs unitaires reliés à chaque guide d'onde 10, soit d'une source commune alimentant plusieurs guides d'onde 10 par des gaines 25 reliées 25 aux extrémités grillagées 11 du guide d'onde 10.

Selon un mode de réalisation non représenté sur la figure, la quasi totalité des guides d'onde 10, pourra être avantageusement réalisée en grillage. Un tel mode de réalisation permet de supprimer les buses d'air habituellement intercalées entre les guides d'onde, et permettra une libre circulation de l'air chaud, dans le cas où il n'est pas nécessaire d'avoir simultanément l'apport d'air chaud et de micro-ondes.

La figure 8 représente un four conforme à la

présente invention, constitué d'une enceinte conductrice 30, comprenant une embase 31 et un couvercle 32. A la zone inférieure de l'embase 31 de l'enceinte, est disposée une plate-forme 33, destinée à recevoir le produit 5 à traiter. Bien entendu, dans le cas où l'enceinte 30 constitue une enceinte close, le produit sera disposé et immobilisé sur la plate-forme 33. Par contre, dans le cas où l'enceinte conductrice 30 constitue un four à défilement, la plate-forme 33, pourra être constituée de 10 tous dispositifs classiques, tels que des tapis roulants, aptes à assurer un défilement du produit. Les différents éléments rayonnants 10 sont incorporés au couvercle 32, et connectés au dispositif de couplage et d'alimentation 40, extérieur à l'enceinte 30, et assurant l'alimentation 15 en micro-ondes des différents éléments rayonnants 10. Ceux-ci pourront, comme cela a été précédemment décrit, être disposés de façon à assurer une répartition d'énergie optimisée. A cette fin, les éléments rayonnants pourront prendre toutes positions vis-à-vis du dispositif de cou- 20 plage et d'alimentation 40, en particulier ces différents éléments 10 ne seront pas nécessairement équidistants, et pourront être, bien sur, disposés dans différents plans.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de traitement de matériaux par hyper-fréquences du type formé d'une enceinte conductrice comprenant au moins un élément rayonnant alimenté en hyper-fréquences par l'intermédiaire d'un dispositif de couplage et d'alimentation, formé d'un guide d'onde court-circuité à l'une de ses extrémités et connecté à un générateur hyper-fréquences à son autre extrémité, caractérisé par le fait que le dispositif de couplage et d'alimentation (40), comporte régulièrement réparties sur sa longueur, selon un multiple entier de demi-longueurs d'onde guidée ($\lambda_g/2$), des sorties coaxiales (41) destinées à être reliées à des connecteurs coaxiaux (18) situés à l'une des extrémités des éléments rayonnants (10), l'âme centrale desdites sorties coaxiales étant formée de plongeours (42) réglables qui pénètrent dans le guide d'onde composant le dispositif de couplage et d'alimentation (40).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé par le fait que chaque élément rayonnant (10) est formé d'un guide d'onde muni de fentes (19, 20) rayonnantes, court-circuité à l'une de ses extrémités (11), l'élément (10) étant adapté et raccordé à l'une des sorties coaxiales (41) du dispositif de couplage et d'alimentation par son autre extrémité, à laquelle est disposée une transition coaxial-guide d'onde (14, 15, 16) alignée avec l'axe longitudinal (13) de l'élément rayonnant (10) permettant de conserver l'adaptation d'impédance de tous les éléments rayonnants (10).

3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que chaque élément rayonnant (10) est connecté à la sortie coaxiale (41) correspondante du dispositif de couplage et d'alimentation par une portion (51) de guide coaxial semi-rigide permettant d'orienter librement chaque élément rayonnant (10) vis-à-vis du

dispositif de couplage et d'alimentation (40).

4. Dispositif selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé par le fait que les fentes rayonnantes (19) ménagées sur les parois de chaque élément rayonnant sont des fentes séries, inclinées par rapport à l'axe médian longitudinal (28) du grand côté de l'élément rayonnant (10) correspondant et que ces fentes rayonnantes (19) sont espacées entre elles d'un nombre entier de demi-longueurs d'onde guidée, le court-circuit électrique de chaque élément rayonnant (10) étant disposé à un nombre entier de demi-longueurs d'onde guidée de la dernière fente rayonnante (19).

5. Dispositif selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé par le fait que les fentes rayonnantes (20) ménagées sur les parois de chaque élément rayonnant (10) sont des fentes parallèles, disposées parallèlement à l'axe médian longitudinal (28) desdites parois, et que ces fentes rayonnantes (20) sont espacées entre elles d'un nombre entier de demi-longueurs d'onde guidée, le court-circuit électrique de chaque élément rayonnant (10) étant disposé à un nombre impair de quart de longueur d'onde guidée de la dernière fente rayonnante (20).

6. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 3, caractérisé par le fait que chaque élément rayonnant (10) comporte un dispositif (24) permettant de déplacer le court-circuit au sens électrique vis-à-vis des fentes rayonnantes.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé par le fait que le dispositif assurant le déplacement du court-circuit au sens électrique est formé d'une cellule (24) étanche formée de deux parois (22, 23) en matière isolante disposées perpendiculairement à l'axe longitudinal (13) de l'élément rayonnant, cellule (24) que l'on remplit et vide séquentiellement d'un liquide

diélectrique.

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 et 7, caractérisé par le fait que le dispositif (24) assurant le déplacement du court-circuit au sens électrique provoque un déplacement de celui-ci d'un quart de longueur d'onde guidée.

9. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé par le fait que les fentes (19, 20) ménagées sur les parois de chaque élément rayonnant (10) sont formées alternativement de fentes séries (19), inclinées par rapport à l'axe médian longitudinal (28) du grand côté de chaque élément rayonnant (10), et espacées entre elles d'un nombre entier de longueur d'onde guidée, et de fentes parallèles (20) disposées parallèlement à l'axe médian longitudinal (28) du grand côté de chaque élément rayonnant (10), espacées entre elles d'un nombre entier de longueur d'onde guidée et décallées d'une demi-longueur d'onde guidée par rapport aux fentes séries (19), le dispositif (24) permettant de déplacer le court-circuit au sens électrique étant disposé par rapport à la dernière fente rayonnante de façon à permettre le rayonnement tour à tour des fentes séries et des fentes parallèles.

10. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 9, caractérisé par le fait que le court-circuit extrême au sens électrique de chaque élément rayonnant (10) est formé d'un grillage autorisant le passage de l'air et par le fait que chaque élément rayonnant (10) comporte à son autre extrémité, entre la transition (14, 15, 16) et la première fente (19, 20), une paroi diélectrique (26) isolante électriquement et étanche à l'air, occupant toute la section de l'élément rayonnant (10).

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé par le fait que la paroi diélectrique isolante

-23-

(26) a une épaisseur égale à une demi-longueur d'onde guidée dans ce diélectrique.

12. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 11, caractérisé par le fait que les fentes rayonnantes (19, 20) de chaque élément rayonnant (10) sont obstruées par un diélectrique à faible perte, étanche à l'air et par le fait que la paroi de chaque élément rayonnant (10) comporte, en outre, des ouvertures (27) électriquement closes autorisant le passage de l'air.

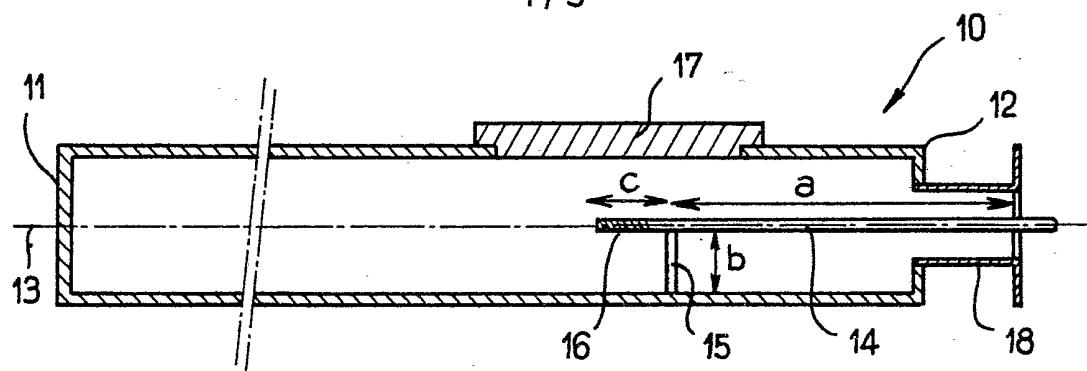
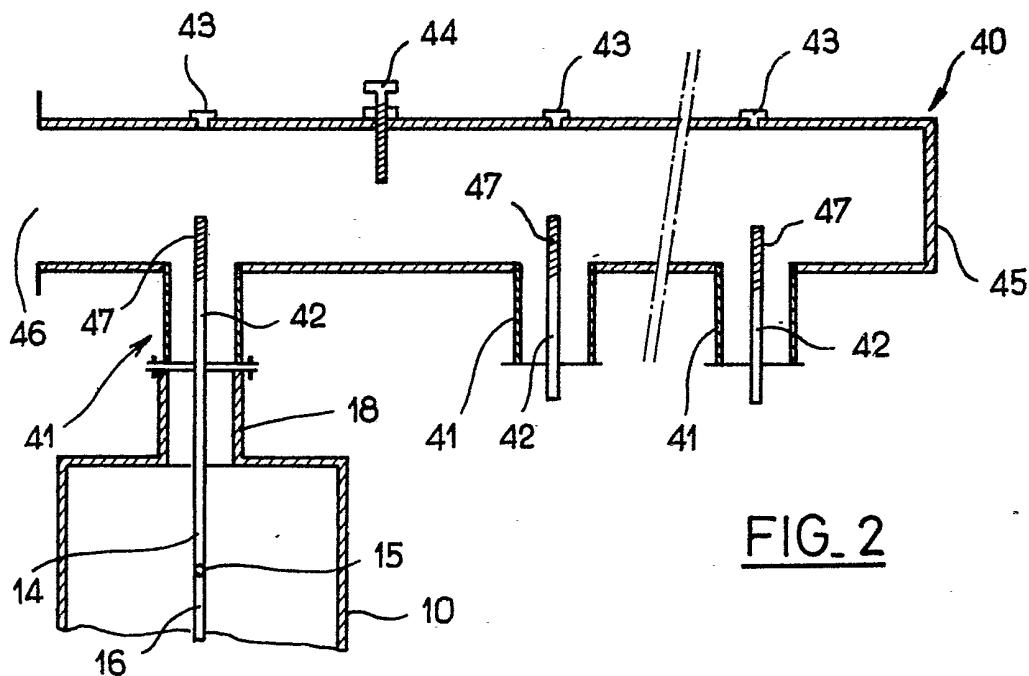
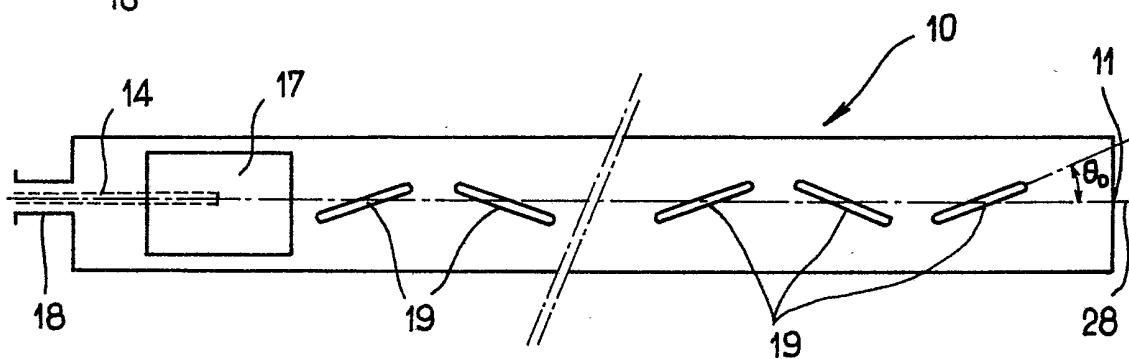
10 13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé par le fait qu'une partie au moins des parois de chaque élément rayonnant (10) est formée d'un grillage autorisant le passage de l'air.

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que la largeur d du grand côté du guide d'onde jouant le rôle de dispositif de couplage et d'alimentation, est choisie vis-à-vis de la longueur d'onde λ_0 dans l'air, et de la longueur d'onde guidée λ_g définie par l'espacement ($k\lambda_g/2$) souhaité entre les éléments rayonnants (10) de façon à répondre à la relation :

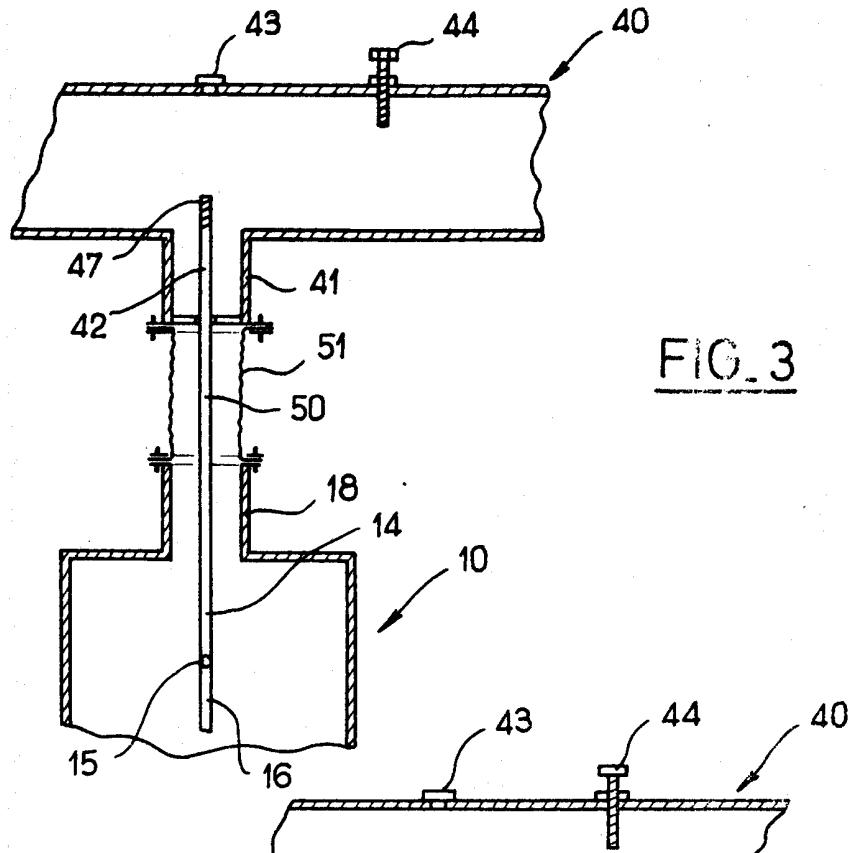
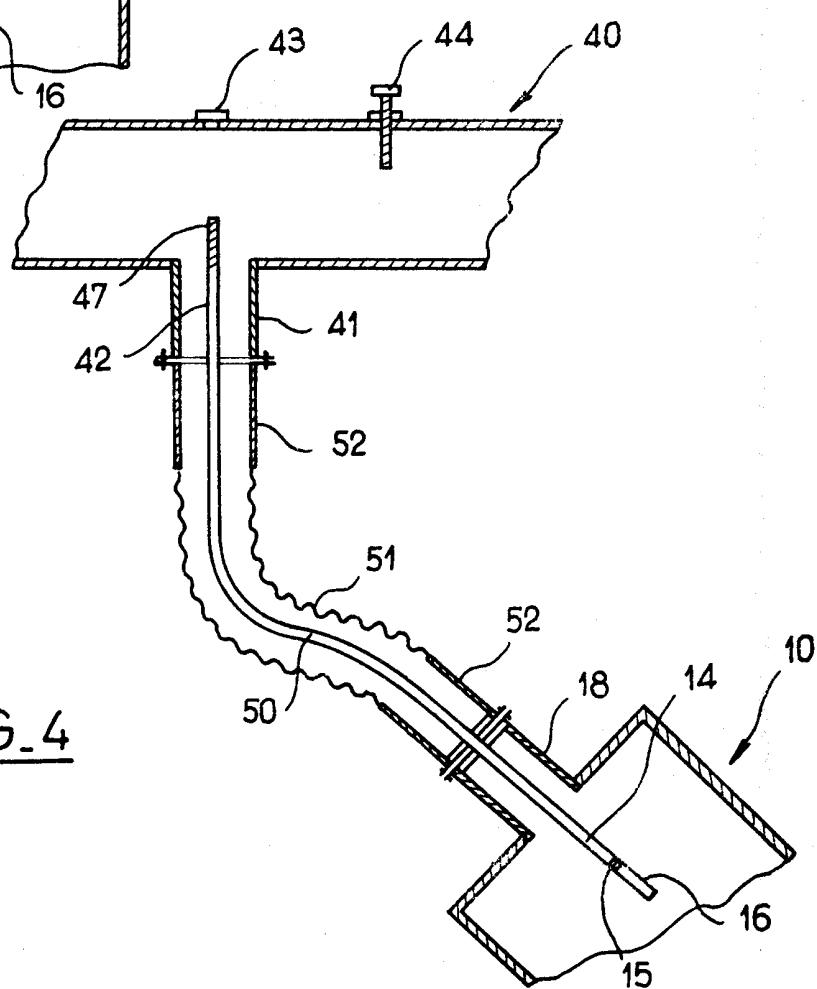
$$1/4d^2 = 1/\lambda_0^2 - \frac{1}{\lambda_g^2}$$

15. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé par le fait que la longueur d'onde guidée λ_g donnant un espacement souhaité ($k\lambda_g/2$) des éléments rayonnants est définie par introduction de corps diélectrique suivant la longueur du guide d'onde formant le dispositif de couplage et d'alimentation.

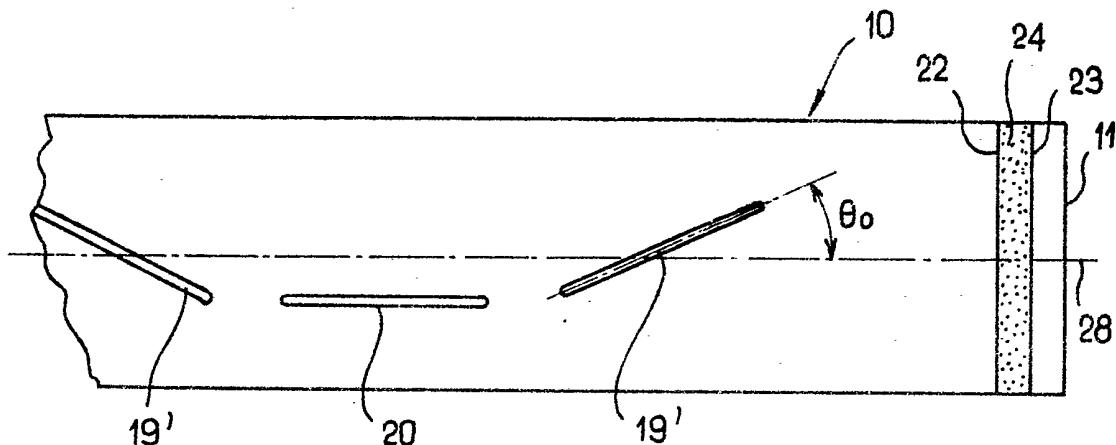
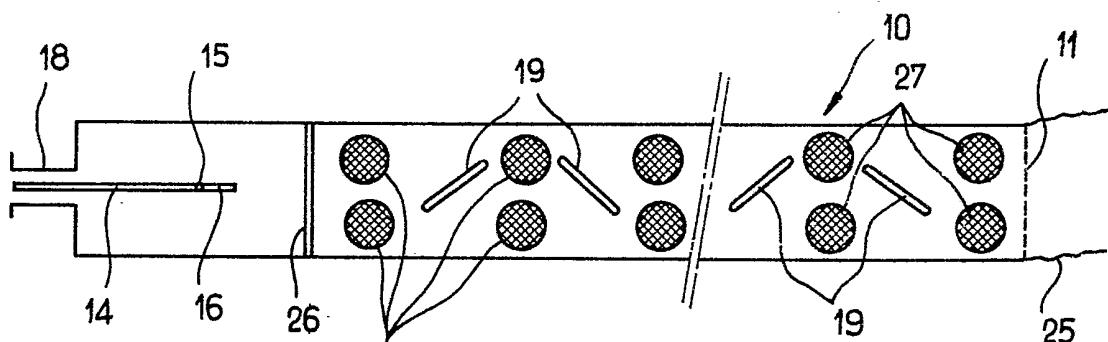
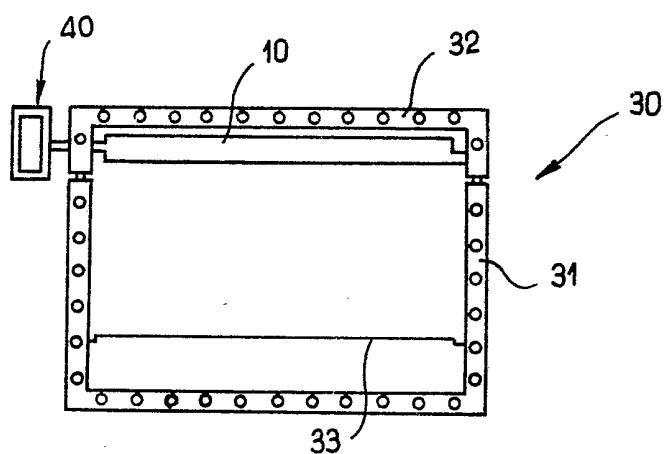
1/3

FIG_1FIG_2FIG_5

2 / 3

FIG. 3FIG. 4

3 / 3

FIG. 6FIG. 7FIG. 8