

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété

Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
24 janvier 2008 (24.01.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2008/009863 A2**

(51) Classification internationale des brevets :  
**G01N 21/35** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2007/051692

(22) Date de dépôt international : 19 juillet 2007 (19.07.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0606548 19 juillet 2006 (19.07.2006) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :  
**ÉCOLE POLYTECHNIQUE** [FR/FR]; Route de Saclay,  
F-91128 Palaiseau Cedex (FR). **ÉCOLE NATIONALE  
SUPERIEURE DES TECHNIQUES AVANCEES**  
[FR/FR]; 32 boulevard Victor, F-75739 Paris Cedex 15  
(FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3 rue Michel-Ange, F-75794  
Paris Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MYSY-  
ROWICZ, André** [FR/FR]; 6 rue Gabriel, F-78000  
Versailles (FR). **FRANCO, Michel** [FR/FR]; 54 rue  
Picpus, F-75012 Paris (FR).

(74) Mandataire : **PONTET-ALLANO & Associés**; 25 rue  
Jean Rostand, Parc Club Orsay Université, F-91893 Orsay  
(FR).

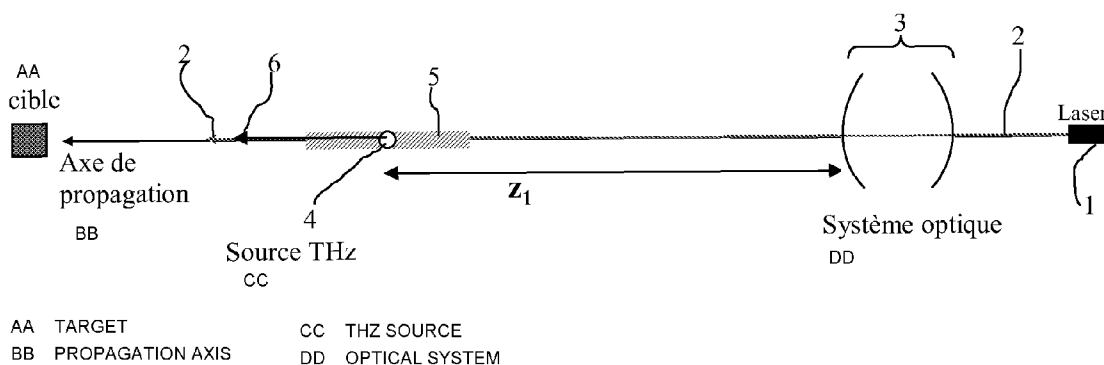
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN,  
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,  
IS, JP, KE, KG,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

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CREATING A SOURCE OF RADIATION PULSED IN THE RANGE OF TERAHERTZ AND APPLICATION BY REALIZING SAID METHOD

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR CREER UNE SOURCE DE RAYONNEMENT PULSEE DANS LE DOMAINE DES TERAHERTZ, ET APPLICATION METTANT EN OEUVRE UN TEL PROCÉDE



(57) Abstract: The invention relates to a method for creating a terahertz source (4). For said purpose, a filament (5) is generated from a femtosecond laser beam (2). The filament (5) is a plasma column situated on the propagation axis of the laser beam. The source (4) of terahertz radiation consists of all the punctual sections of the filament (5). Said source emits a terahertz radiation (6) according to an emission cone directed according to the propagation axis of the impulses of the laser (2). The terahertz source (4) can be placed in proximity of a target to be irradiated. Dislocation is performed by dislocating the laser beam (2) at the origin of the filament (5).

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé pour créer une source térahertz (4). Pour ce faire, on engendre un filament (5) à partir d'un faisceau laser femtoseconde (2). Le filament (5) est une colonne de plasma localisée sur l'axe de propagation du faisceau laser. La source (4) de rayonnement térahertz est constituée par l'ensemble des sections ponctuelles du filament (5). Cette source émet un rayonnement térahertz (6) selon un cône d'émission dirigé selon l'axe de propagation des impulsions laser (2). La source térahertz (4) peut être placée à proximité d'une cible à irradier. Le déplacement se fait en déplaçant le faisceau laser (2) à l'origine du filament (5).

WO 2008/009863 A2



GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

"Procédé et dispositif pour créer une source de rayonnement pulsée dans le domaine des térahertz, et application mettant en œuvre un tel procédé."

5

La présente invention se rapporte à un procédé pour créer une source cohérente de rayonnement pulsée dans le domaine des térahertz (THz) à partir d'une source laser ultra-intense émettant des impulsions de durée femtoseconde ou picoseconde.

10 Le rayonnement térahertz ( $f > 10^{11}$  Hertz) s'intercale entre l'infrarouge, domaine de l'optique, et les micro-ondes, domaine de l'électronique. Les récents progrès sur les lasers de haute puissance permettent la réalisation de sources laser térahertz. Parallèlement, de nombreuses applications utilisant le rayonnement térahertz sont progressivement mises en œuvre.

15 Le rayonnement térahertz interagit fortement avec de nombreux matériaux tels que l'eau, les molécules polaires, les métaux. Par ailleurs de nombreux diélectriques restent absorbants au rayonnement térahertz. Par contre, les matériaux non polaires, non métalliques et secs sont transparents au rayonnement térahertz.

20 Le rayonnement térahertz peut avantageusement être utilisé dans le domaine de la communication, spectroscopie ou encore de l'imagerie médicale. Toutefois, en imagerie médicale par exemple, on rencontre de nombreuses difficultés liées à la faible résolution, faible pénétration dans l'échantillon. Dans la plupart des dispositifs, le rayonnement térahertz  
25 parcourt un chemin assez long entre l'émetteur, l'échantillon et le récepteur. Ceci est préjudiciable puisqu'il impose l'utilisation d'une source de très forte puissance pour pallier l'atténuation dans le parcours d'autant plus que ce rayonnement THz est grandement absorbé par de la vapeur d'eau présente dans le parcours. Pour y remédier, on peut se limiter aux applications où la  
30 propagation a lieu dans des milieux transparents ou utiliser une source térahertz de grande puissance.

En ce qui concerne les sources térahertz, on connaît de nombreux procédés permettant d'obtenir un rayonnement THz à partir d'une source laser.

Une première méthode consiste à irradier un semi-conducteur polarisé par un champ électrique statique externe. Le changement quasi instantané de la densité de porteurs induit par la source laser en présence d'une tension de polarisation produit l'émission d'un champ électromagnétique dans le domaine  
5 THz. Cette émission est transmise dans l'espace libre par l'intermédiaire d'une antenne.

Dans une variante de cette première méthode, l'émission THz est obtenue à partir de la surface d'un semiconducteur irradiée par un laser en tirant avantage du fait qu'il existe un fort champ électrique de surface.

10 Une troisième méthode utilise la rectification optique dans un matériau électro-optique. La rectification optique d'une impulsion laser conduit à la génération d'une impulsion enveloppe qui donne lieu au rayonnement THz.

Dans une quatrième méthode, une impulsion THz est obtenue par focalisation dans l'air d'une impulsion laser. En plaçant un champ statique au  
15 foyer du faisceau laser, on obtient un courant de polarisation dû à l'ionisation de molécules d'air. Ce courant de polarisation induit par le laser provoque un rayonnement THz. Une telle méthode est notamment décrite dans le document « Generation of terahertz pulses by photoionization of electrically biased air » T. Löffler et al., Applied Physics Letters 77, p.453-455, 2000.

20

Cependant, toutes ces méthodes de l'art antérieur sont difficiles à mettre en oeuvre. Elles nécessitent un alignement très précis du faisceau laser. Les première et quatrième méthodes nécessitent en outre une source de tension continue externe. Les seconde et troisième méthodes sont limitées par les  
25 seuils de dégât provoqués par le laser. Elles conduisent à des puissances émises faibles. Enfin toutes les méthodes décrites utilisent des antennes paraboliques pour extraire et collimater le rayonnement THz dans l'espace libre. Elles produisent une source THz locale qui souffre d'une forte atténuation à cause des bandes d'absorption de la vapeur d'eau présente dans l'air dans ce domaine de  
30 fréquence. L'un des principaux inconvénients est donc la forte atténuation (100dB/km) dans l'air.

La présente invention a donc pour but la réalisation d'une source THz utilisant un laser, simple à mettre en oeuvre. L'invention a également pour but

la création d'une source THz dont le rayonnement ne souffre pas du problème lié à l'atténuation, ceci pour permettre l'irradiation d'une cible distante.

On atteint au moins l'un des buts précités avec un procédé pour créer une source de rayonnement pulsée dans le domaine des térahertz, dans lequel on utilise une source laser ultra-intense pour engendrer une propagation d'impulsions laser ultra-intenses dont on règle l'intensité et la durée de telle sorte que l'on crée un filament ou « filament de lumière » selon un processus dit de filamentation. En effet, au cours de la propagation d'impulsions laser intenses et de courte durée ( $P \geq 10^{10}$  GW), des filaments de lumière dont l'intensité dépasse  $10^{13}$  W/cm<sup>2</sup> sont formés le long de l'axe de propagation. A ce niveau d'intensité le milieu s'ionise sur le front avant de l'impulsion et voit son indice modifié ce qui a pour conséquence de modifier la propagation de l'impulsion même. Ce phénomène, initié par l'effet Kerr optique (autofocalisation), résulte d'un équilibre dynamique entre la focalisation par effet Kerr, la défocalisation par le plasma créé dans le milieu et la diffraction de l'onde optique. Il en résulte un filament de lumière intense, de longueur limitée, d'un diamètre quasi constant de l'ordre d'une centaine de micromètres, une sorte de structure autoguidée apte à se propager sur une distance dépassant de un à plusieurs ordres de grandeur la distance de Rayleigh. Dans ces conditions, une colonne de plasma constituée d'ions et d'électrons apparaît dans le sillage de l'impulsion laser (typiquement, environ 0.1% des molécules d'oxygène dans l'air sont ionisés).

La force ponderomotrice des impulsions laser produit dans le plasma un courant d'électrons oscillant à une fréquence autour de 1 THz (la densité des électrons libres produits par filamentation est d'environ  $3 \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>). Ces oscillations longitudinales de plasma sont fortement atténuées (temps de relaxation autour de 300 fs). Par conséquent, cette impulsion de courant peut être assimilée à un dipôle orienté le long de l'axe de propagation et se déplaçant à la vitesse de la lumière. Pour une longueur finie de filament, le dipôle mobile émet un rayonnement électromagnétique radialement polarisé et à large bande dû à un effet combiné Cherenkov et de transition.

L'apparition de ces charges électriques est à l'origine de la source de rayonnement térahertz selon un cône d'émission étroit dirigé selon l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intenses. La source de rayonnement térahertz est constituée par l'ensemble des sections ponctuelles du filament.

Dans ce qui suit, on désigne par « filament » la colonne de plasma apparue au passage de l'impulsion ultra-intense et qui persiste bien après le passage de l'impulsion.

La colonne de plasma ou filament émet spontanément des impulsions électromagnétiques dans la gamme comprise entre 10 GHz et plusieurs THz. Jusqu'ici, cette émission THz a été observée perpendiculairement à l'axe du filament, en accord avec des modèles théoriques.

La présente invention est notamment remarquable par le fait qu'on a identifié une source de rayonnement THz, issue du filament de lumière. Cette source émet un rayonnement THz qui est parallèle à l'axe de propagation du faisceau laser et qui a la particularité d'être beaucoup plus intense et d'avoir un diagramme de rayonnement fortement piqué vers l'avant. On peut ainsi irradier par rayonnement THz une cible située dans l'axe de propagation des impulsions laser.

Le procédé selon la présente invention est très simple à mettre en oeuvre. Il ne nécessite aucun alignement précis. De préférence, on crée le filament dans un milieu qui est transparent au rayonnement THz. Ce milieu, de nature gazeuse, solide ou liquide, peut avantageusement être l'air de l'atmosphère. Le filament est donc produit dans l'air sans qu'il soit nécessaire d'introduire une tension de polarisation. L'émission THz est de courte durée, elle possède un diagramme de rayonnement fortement piqué vers l'avant, ce qui correspond à une source collimatée sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une antenne parabolique comme dans l'art antérieur.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, on irradie une cible éloignée de plusieurs kilomètres en pointant la source laser, afin de placer la source de rayonnement térahertz à proximité de la cible. Avec la présente invention, on peut donc irradier une cible lointaine sans atténuation du rayonnement THz du fait de la diffraction ou de l'absorption au cours de la propagation dans l'air.

Selon un mode de mise en œuvre avantageux de l'invention, on déplace la source de rayonnement térahertz en déplaçant ledit filament le long de l'axe de propagation du faisceau laser tout en maintenant la source laser fixe. Cette source THz peut donc être facilement manipulée contrairement aux dispositifs de l'art antérieur. Pour déplacer ce filament on peut modifier :

- la phase temporelle des impulsions laser ultra-intenses, et/ou
- le diamètre du faisceau laser, et/ou
- le degré de convergence du faisceau laser.

Par ailleurs, on peut également déplacer la source de rayonnement  
5 térahertz dans un plan transverse à l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intenses, et plus généralement dans tout l'espace (déplacement en trois dimensions) en modifiant le pointé de la source laser ainsi qu'en modifiant ses caractéristiques comme indiqué ci-dessus.

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, on peut  
10 engendrer une pluralité de filaments parallèles de façon à créer une matrice de sources THz. Les sources térahertz de cette matrice peuvent toutes être activées en même temps ou les unes après les autres.

Suivant un mode de réalisation avantageux de l'invention, on engendre  
une propagation d'impulsions ultra-intenses sous forme de séquences de deux  
15 impulsions laser ultra-intenses, le décalage temporel entre les deux impulsions étant tel que l'on crée deux colonnes de plasma parallèles qui se chevauchent sans se recouvrir entièrement. Ce décalage temporel entre les deux impulsions est préférentiellement inférieur à 5ns. Les impulsions ultra-intenses sont par exemple des impulsions femtosecondes. On peut dans ce  
20 cas contrôler la polarisation du rayonnement THz en modifiant la position relative des deux filaments.

Avec un tel procédé selon l'invention, de nombreuses applications peuvent être mises en œuvre telles que par exemple :

- la réalisation de l'imagerie térahertz,
- 25 - la détection de molécules polaires,
- la détection de tissus biologiques, et
- la tomographie.

Selon un autre aspect de l'invention, il est prévu un dispositif pour créer  
30 une source de rayonnement pulsée dans le domaine des térahertz ; ce dispositif comprenant une source laser ultra-intense pour engendrer une propagation d'impulsions ultra-intenses, des moyens pour régler l'intensité et la durée des impulsions laser de telle sorte que l'on crée un filament selon un processus dit de filamentation, la source de rayonnement térahertz étant  
35 constituée par une section ponctuelle dudit filament, ladite source de

rayonnement térahertz émettant selon un cône d'émission dirigé selon l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intenses, cette source de rayonnement THz étant prévue pour irradier une cible située dans l'axe de propagation desdites impulsions laser.

5

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés, sur lesquels :

- La figure 1 est une vue schématique simplifiée d'un système de mise  
10 en œuvre du procédé selon la présente invention,
- La figure 2 est un diagramme de rayonnement d'un mode simple filamentation,
- la figure 3 est un organigramme illustrant l'amplitude de signal THz en fonction du décalage temporel entre deux impulsions lors d'un processus de  
15 bi-filamentation,
- la figure 4 est une vue schématique d'un système pour la génération de rayonnement THz par bi-filamentation, et
- la figure 5 illustre deux diagrammes de rayonnement, en mode simple filamentation (a) et bi-filamentation (b).

20 Sur la figure 1 on voit une source laser ultra-intense 1 composée d'un oscillateur laser, d'un étireur d'impulsion, d'un ou plusieurs étages d'amplification et d'un compresseur d'impulsion, ou tout autre type de laser ultra-intense. Cette source laser 1 est paramétrée de façon à ce que le faisceau laser 2 émis présente les caractéristiques suivantes :

- 25 - une puissance de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de gigawatts,
- une énergie de quelques dizaines à quelques centaines de millijoules,
- une durée de quelques dizaines à quelques milliers de femtosecondes.

30 Ce faisceau 2 traverse un système optique 3 composé de lentilles ou de miroirs destiné à modifier :

- le diamètre du faisceau laser, et
- la courbure de l'onde du faisceau laser.

Le faisceau laser 2 se propage ensuite dans l'air. Selon le processus de  
35 filamentation, il se crée un filament 5, c'est-à-dire une colonne de plasma le



long du faisceau laser, de section sensiblement égale à une centaine de micromètres et de longueur de l'ordre de quelques décimètres à quelques décamètres. Ce filament émet spontanément des impulsions électromagnétiques dans la gamme comprise entre 10GHz et plusieurs THz.

5   Avantageusement, une section ponctuelle 4 du filament 5 constitue alors une source de rayonnement THz. Contrairement aux modèles théoriques, cette source ponctuelle 4 émet un rayonnement THz 6 parallèle à l'axe de propagation du faisceau laser 2. Ce rayonnement est mesuré à l'aide d'un radiomètre (non représenté sur la figure 1) à détection directe dans la bande  
10   des 10 GHz ou détection hétérodyne dans la bande THz. Le diagramme du rayonnement THz 6 est fortement piqué vers l'avant comme on peut le voir sur la figure 2. On voit clairement sur la figure 2 que le rayonnement THz se fait dans la même direction que le rayonnement laser. On peut considérer que la source THz 4 est sur l'axe du filament 5 qui se trouve à une distance Z1 du  
15   système optique 3. On peut modifier Z1 en déplaçant le filament 5. Pour ce faire, on peut modifier soit la phase temporelle de l'impulsion laser 2, soit le diamètre du faisceau laser 2, soit son degré de convergence. Le déplacement du filament 5 signifie également le déplacement de la source THz 4. Avec le système, selon l'invention, on peut ainsi déplacer la source THz 4 jusqu'à une  
20   cible que l'on souhaite irradier. La source THz 4, selon la présente invention, ne souffre donc pas de l'atténuation que subit normalement un rayonnement THz dans l'air due à la diffraction ou à l'absorption sur de longues distances. La source, selon l'invention, peut être produite à grande distance de l'utilisateur, près de l'objet ou de la cible à irradier.

25

On va maintenant décrire un mode de réalisation de la présente invention dans lequel on envoie une séquence de deux impulsions laser femtosecondes à infrarouge (IR) séparées par moins de 5ns. On parle alors de double impulsions ou de bi-filamentation. On obtient ainsi deux filaments  
30   qui se chevauchent dans l'air sans se recouvrir entièrement. Les première et deuxième impulsions produisent individuellement une émission THz selon la transition Cherenkov. Cependant, l'intensité du rayonnement THz créé par la double impulsion (bi-filamentation) est largement supérieure à celle du rayonnement créé par une simple filamentation comme on peut le voir sur la  
35   figure 3.

Le diagramme de la figure 3 illustre l'amplitude du signal THz en fonction du décalage temporel entre les deux impulsions IR. Le signal produit individuellement par la première et la deuxième impulsion est également  
5 montré. Les barres grises, blanches, et noires représentent respectivement le signal THz produit par la séquence de deux impulsions, la première impulsion, et la deuxième impulsion. Avec la bi-filamentation, le rayonnement THz est d'un ordre de grandeur supérieur à chaque rayonnement simple filamentation pour un décalage temporel inférieur à 1ns.

10 Avec des décalages temporels plus grands, le gain en émission THz diminue graduellement et devient égal à la somme des signaux THz individuels pour un décalage temporel supérieur à 4.6ns.

Le procédé selon la présente invention peut être mis en œuvre au  
15 moyen d'un laser saphir dopé au titane à une récurrence de 10 Hz, de durée d'impulsions égale ou supérieure à 100fs, émettant autour de 800 nanomètres et avec une énergie d'impulsion d'au moins 10mJ. On peut aussi utiliser un laser à une récurrence plus élevée : 100 hertz voire 1 kHz pour autant que l'énergie par impulsion dépasse quelques mJ. La figure 4 illustre  
20 de façon schématique un système pour la détection du rayonnement THz. L'impulsion femtoseconde sortant du laser femtoseconde est coupée en deux impulsions par un interféromètre Mach-Zehnder de sorte que le décalage temporel entre les deux impulsions peut être continûment ajusté. Après l'interféromètre, les impulsions se propageant de façon colinéaire sont  
25 focalisées par une même lentille convexe pour former deux filaments se chevauchant spatialement. La longueur du filament dépend des conditions de focalisation. On peut notamment la faire varier de 5 à 50 centimètres par exemple.

Sur la figure 4 :

30 L est une lentille convexe,

D est un détecteur terahertz hétérodyne, et

M est un miroir métallique avec un trou de 1 centimètre en son centre.

Pour mesurer l'amplitude du rayonnement THz conformément à la  
35 figure 3, le rayonnement THz vers l'avant est réfléchi par le miroir métallique

M percé en son centre et placé à l'extrémité du filament. Le miroir rassemble le rayonnement THz tout en transmettant le coeur du filament par le trou central de petite dimension (un centimètre de diamètre par exemple). Le rayonnement THz réfléchi est ensuite focalisé par une lentille en Téflon et  
5 détecté par un détecteur hétérodyne, qui est sensible aux composants fréquentiels à 91 gigahertz. La distance focale de la lentille est de 2m.

Le modèle de rayonnement est également différent entre la simple filamentation et la bi-filamentation. Pour la bi-filamentation, le maximum de l'intensité de rayonnement est sur l'axe de propagation (voir figure 5).

10 La figure 5 illustre (a) une distribution angulaire du rayonnement THz généré par une simple filamentation IR, et (b) une distribution angulaire du rayonnement THz généré par bi-filamentation. Les deux figures ne sont pas à la même échelle.

Pour mesurer le diagramme de rayonnement conformément à la figure  
15 5, le miroir percé a été enlevé et un guide d'ondes pour le rayonnement THz a été utilisé au lieu de la lentille en Téflon. La distribution angulaire de cette émission THz a été mesurée en tournant le détecteur dans le plan horizontal autour d'un point sur l'axe du filament. On voit que l'intensité maximum de rayonnement obtenue avec deux impulsions se trouve le long de l'axe de  
20 propagation, contrairement au cas simple filamentation.

En d'autres termes, la bi-filamentation présente un rayonnement confiné dans un cône d'angle  $\theta = \sqrt{\lambda/\ell}$ ,  $\lambda$  étant la longueur d'onde et  $\ell$  la longueur occupée par les deux filaments d'une bi-filamentation. Le maximum du rayonnement est obtenu le long de la direction de propagation du rayon  
25 laser. Contrairement à l'émission d'un rayonnement longitudinal d'une simple-filamentation, qui est proportionnel à  $\ln(\ell/\lambda)$ , l'intensité d'émission d'une bi-filamentation est linéairement proportionnelle à la longueur  $\ell$ . A titre d'exemple, pour  $\ell = 20\text{cm}$  et  $\lambda = 3\text{mm}$ , l'intensité du rayonnement THz est multipliée par 10 entre la simple et la bi-filamentation.

30 La polarisation du rayonnement selon la bi-filamentation est strictement linéaire, au lieu d'être radialement polarisée comme dans le cas simple filamentation. La direction de polarisation ne dépend pas des directions de polarisation de l'une ou l'autre impulsion laser.

En effet, la polarisation est linéaire et se situe dans le plan des  
35 filaments du plasma. Le spectre atteint son maximum à la fréquence de

plasma ( $\sim 1$  THz) et se prolonge vers de plus longues longueurs d'onde en diminuant suivant  $1/\lambda^2$ . Le décalage maximum entre deux impulsions laser est expliqué par la durée de vie du premier filament. Le temps de recombinaison est de l'ordre de 3 à 4 ns dans l'air.

5           En fait, toute l'énergie émise dépend des longueurs et des dimensions des filaments. L'énergie maximum qui peut être émise, est limitée par toute l'énergie de l'onde plasma :  $w_{max} = \epsilon_0 E_p^2 a^2 l$ , avec  $E_p$  l'intensité d'une impulsion laser, « a » le rayon du filament. Cette énergie maximum varie avec le carré de l'intensité de l'impulsion laser et de la durée.

10           Avec la présente invention, dans le cadre d'une bi-filamentation, le plan de polarisation du rayonnement THz est déterminé par la position relative des deux filaments, ce qui fournit réellement une méthode extrêmement simple pour commander la polarisation du rayonnement THz.

De nombreuses applications peuvent être mises en œuvre avec le  
15           procédé, selon l'invention, notamment dans le domaine de la spectroscopie, de l'imagerie médicale, ou encore des communications. On sait que les molécules polaires sont fortement couplées au champ THz et donnent ainsi une signature caractéristique de leur présence. Ceci permet, par exemple, la détection de gaz tel que le sarin ou la mesure de la pollution de l'atmosphère. Par  
20           ailleurs, les tissus biologiques présentent des signatures distinctes au rayonnement THz. On peut aussi utiliser le rayonnement THz pour le diagnostic de gènes ou pour observer l'image de tumeurs cancéreuses.

Un autre domaine d'application peut être la sécurité dans lequel l'on souhaite détecter des articles de contrebande, des explosifs ou des armes  
25           chimiques dissimulés dans des colis.

On peut aussi utiliser le procédé selon l'invention pour l'imagerie des dents, l'imagerie des circuits intégrés, ou encore le comptage des billets de banque.

30           Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé pour créer une source (4) de rayonnement pulsée dans le domaine des térahertz, dans lequel on utilise une source laser ultra-intense (1) pour engendrer une propagation d'impulsions laser ultra-intenses (2) dont on règle l'intensité et la durée de telle sorte que l'on crée un filament (5) selon un processus dit de filamentation, et on irradie une cible située dans l'axe de propagation des impulsions laser ; la source (4) de rayonnement térahertz (6) étant constituée par l'ensemble des sections ponctuelles dudit filament (5), ladite source (4) de rayonnement térahertz émettant un rayonnement térahertz (6) selon un cône d'émission dirigé selon l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intenses (2).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on crée le filament dans un milieu transparent.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le milieu transparent est l'air.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on irradie une cible éloignée de la source laser ultra-intense (1) en plaçant la source (4) de rayonnement térahertz à proximité de la cible.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on déplace la source (4) de rayonnement térahertz en déplaçant ledit filament (5) le long de l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intense (2).

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'on déplace ledit filament (5) en modifiant la phase temporelle des impulsions laser ultra-intense (2).

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'on déplace ledit filament (5) en modifiant le diamètre du faisceau laser (2) sortant de ladite source laser ultra-intense (1).

8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 6, caractérisé en ce qu'on déplace ledit filament en modifiant le degré de convergence du faisceau laser sortant de ladite source laser ultra-intense (1).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on déplace la source (4) de rayonnement térahertz dans un plan transverse à l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intenses (2).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on engendre une pluralité de filaments de façon à créer une matrice de sources térahertz.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que les sources térahertz de cette matrice émettent toutes en même temps ou les unes après les autres.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on engendre une propagation d'impulsions ultra-intenses sous forme de séquences de deux impulsions laser ultra-intenses, le décalage temporel entre les deux impulsions étant tel que l'on crée deux filaments qui se chevauchent.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le décalage temporel entre les deux impulsions est inférieur à 5ns.

14. Procédé selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'on contrôle la polarisation du rayonnement THz en modifiant la position relative des deux filamentations.

15. Application d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour la réalisation de l'imagerie térahertz.

16. Application d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 pour la détection de molécules polaires.

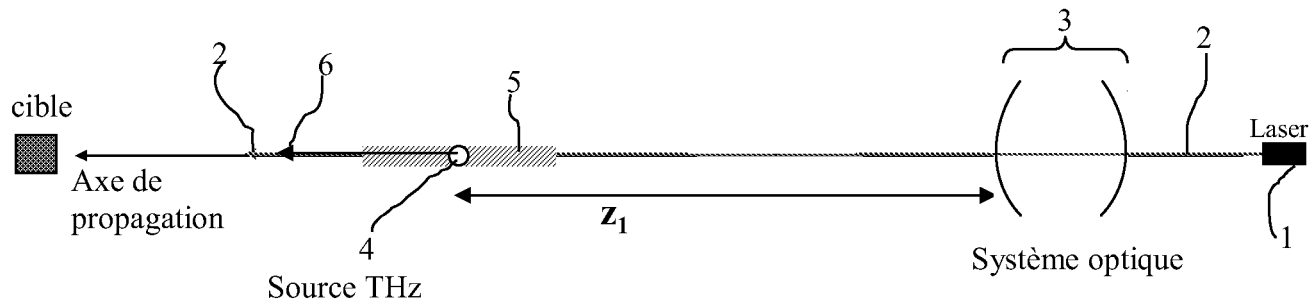
17. Application d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 pour la détection de tissus biologiques.

18. Application d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 pour la réalisation de la tomographie.

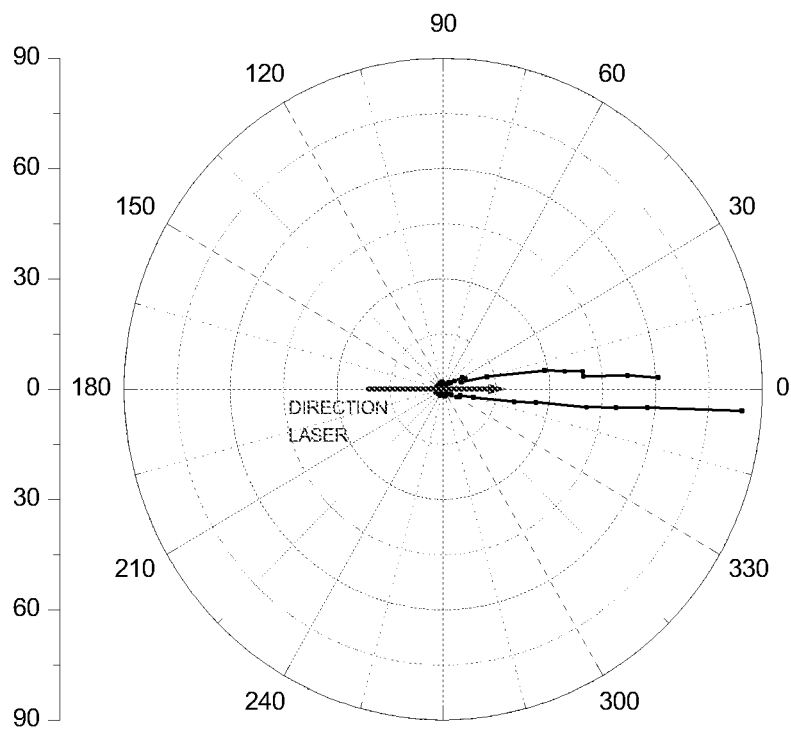
19. Dispositif pour créer une source (4) de rayonnement pulsée dans le domaine des térahertz ; ce dispositif comprenant une source laser ultra-intense (1) pour engendrer une propagation d'impulsions ultra-intenses (2), des moyens pour régler l'intensité et la durée des impulsions laser de telle sorte que l'on crée un filament (5) selon un processus dit de filamentation, la source (4) de rayonnement térahertz étant constituée par une section ponctuelle dudit filament, ladite source (4) de rayonnement térahertz émettant selon un cône d'émission dirigé selon l'axe de propagation des impulsions laser ultra-intenses (2), cette source de rayonnement THz étant prévue pour irradier une cible située dans l'axe de propagation desdites impulsions laser.

20. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour engendrer une propagation d'impulsions ultra-intenses sous forme de séquences de deux impulsions laser ultra-intenses, le décalage temporel entre les deux impulsions étant tel que l'on crée deux filaments qui se chevauchent.

21. Dispositif selon la revendication 20, caractérisé en ce que le décalage temporel entre les deux impulsions est inférieur à 5ns.



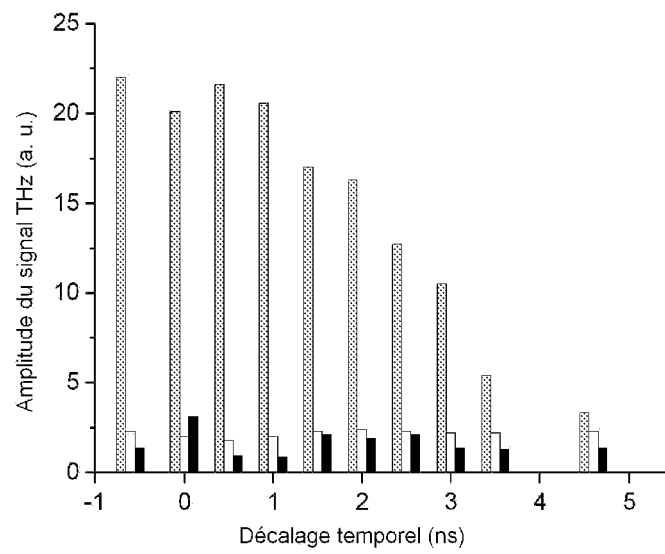
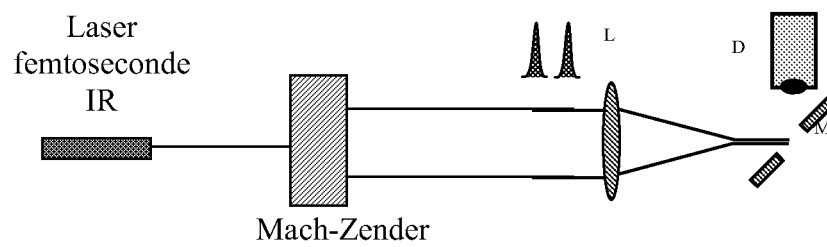
**FIGURE 1**



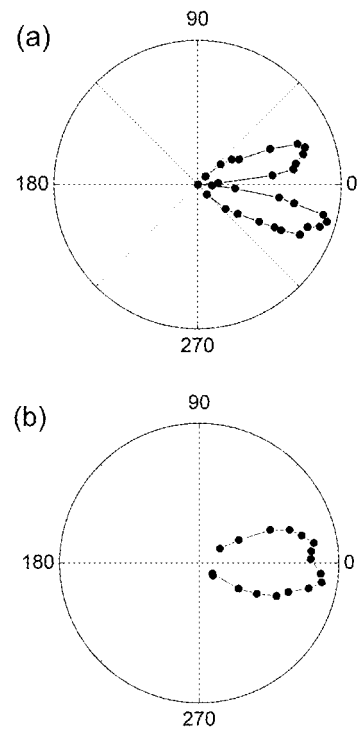
**FIGURE 2**



2/3

**FIGURE 3****FIGURE 4**

3/3

**FIGURE 5**