(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 054 034**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **16 56663**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 J 9/00*** *(2016.01)*

(12) BREVET D'INVENTION B1

(54) PROCEDE ET DISPOSITIF DE CARACTERISATION D'UNE SOURCE OPTIQUE.

(22) **Date de dépôt :** 12.07.16.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 19.01.18 Bulletin 18/03.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 12.06.20 Bulletin 20/24.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *BLUE INDUSTRY AND SCIENCE* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** GEORGES DES AULNOIS JOHANN, SZYMANSKI BENJAMIN et HARDY-BARANSKI BERTRAND.

(73) **Titulaire(s) :** BLUE INDUSTRY AND SCIENCE.

(74) **Mandataire(s) :** IPAZ.

FR 3 054 034 - B1

«Procédé et dispositif de caractérisation d'une source optique»

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de caractérisation d'une source optique. Elle concerne aussi un dispositif de caractérisation d'une source optique, et un système comprenant un tel dispositif.

Un tel dispositif permet à un utilisateur de caractériser une source optique, par exemple une longueur d'onde d'un rayonnement émis par cette source optique.

Etat de la technique antérieure

On connaît différents dispositifs selon l'état de l'art pour mesurer une longueur d'onde d'un rayonnement émis par une source optique.

Ces dispositifs nécessitent d'explorer une plage de longueurs d'onde possibles afin de déterminer quelle est la longueur d'onde, parmi celles de la plage, qui est émise par la source. Cette exploration peut se faire typiquement :

- avec une solution coûteuse, et exploration par barrette de photodiodes. Des solutions existantes proposent des configurations de Fabry-Perot sans pièces mécaniques mobiles, mais avec des barrettes comme détecteur. L'aspect sans pièces mobiles est un avantage certain pour la robustesse et la fiabilité. Par contre, l'usage de barrettes de détection est un inconvénient au niveau du coût, surtout lorsqu'il s'agit d'aller mesurer des longueurs d'onde au-delà de 1100 nm et que le silicium n'est plus utilisable. Il faut alors s'orienter vers des matériaux plus onéreux comme l'InGaAs pour les longueurs d'onde télécom ou encore du PbSe ou MCT pour le moyen infrarouge. Les barrettes coûtent typiquement plusieurs milliers d'euros.
- avec une solution lente, et exploration par Fabry Perot accordable. Des solutions à Fabry-Perot accordables n'utilisent pas de barrettes mais seulement une ou plusieurs photodiodes. Cependant, pour réaliser l'exploration souhaitée et obtenir

l'information souhaitée (position du pic de transmission du Fabry-Perot), il faut déplacer un des miroirs du Fabry Perrot. Ce balayage ralentit fortement la mesure. Il faut en effet faire une acquisition pour chaque position du miroir, au lieu d'acquérir tout l'interférogramme simultanément dans le cas de l'utilisation de détecteurs barrettes. Pour un temps de réponse typique de 0,1 ms et une mesure de 100 positions de miroirs le temps minimal d'une mesure est alors de 10 ms limitant le taux de rafraîchissement à 100 Hz (sans compter les temps de traitement)

Le but de la présente invention est de proposer un procédé et/ou un dispositif de caractérisation d'une source optique qui permette une caractérisation plus économique et/ou plus rapide que l'état de l'art.

Exposé de l'invention

Cet objectif est atteint avec un procédé de caractérisation d'une source optique, ladite source optique comprenant une cavité fixe ayant un intervalle spectral libre, ledit procédé comprenant :

- une génération d'un premier rayonnement par la source selon un état de la source ou différents états explorés de la source,
- une réception d'au moins une partie de ce premier rayonnement par au moins un capteur, chaque capteur comprenant un étalon Fabry Perot suivi d'une photodiode,
- une mesure d'un signal par chaque capteur et pour chaque état exploré de la source, en fonction de l'au moins une partie du premier rayonnement reçu par ce capteur à cet état exploré de la source,
- à partir des signaux mesurés et pour chaque état exploré de la source, un calcul d'une première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement, le calcul comprenant, pour chaque état exploré de la source, une sélection d'une valeur sélectionnée de la première donnée parmi plusieurs valeurs possibles, ladite sélection comprenant une élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à une constante

modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe exprimé selon les unités de la première donnée.

Chaque capteur ne comprend de préférence pas de barrette de photodiodes.

L'étalon Fabry Perot de chaque capteur ne comprend de préférence aucune partie mobile.

La première donnée illustrant la longueur d'onde du premier rayonnement peut être :

- la longueur d'onde du premier rayonnement, ou
- la fréquence temporelle du premier rayonnement, ou
- la période temporelle du premier rayonnement, ou
- le nombre d'onde du premier rayonnement.

La sélection peut éliminer en outre les valeurs de la première donnée situées en dehors d'un intervalle de zone spectrale du premier rayonnement. Dans ce cas :

- chaque étalon Fabry Perot peut avoir une courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, ayant de préférence une période supérieure ou égale à l'intervalle de zone spectrale du premier rayonnement, et/ou
- la réception d'au moins une partie du premier rayonnement comprend de préférence une réception par plusieurs capteurs comprenant chacun un étalon Fabry Perot suivi d'une photodiode, chaque étalon Fabry Perot ayant une courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, l'assemblage des courbes de transmission des différents étalons Fabry Perot formant une courbe globale de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, ayant de préférence une période supérieure ou égale à l'intervalle de zone spectrale du premier rayonnement.

L'au moins un capteur comprend de préférence plusieurs capteurs, les différents étalons Fabry Perot des différents capteurs comprenant de préférence aux moins un couple de deux étalons Fabry Perot dont :

- un premier étalon Fabry Perot ayant une première courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, et
- un deuxième étalon Fabry Perot ayant une deuxième courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement,

de sorte que :

- une même longueur d'onde du premier rayonnement correspond à la fois à un maximum de pente de la première courbe de transmission et à une pente de la deuxième courbe de transmission inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente, et/ou
- une même longueur d'onde du premier rayonnement correspond à la fois à un maximum de pente de la deuxième courbe de transmission et à une pente de la première courbe de transmission inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente.

Le procédé selon l'invention peut comprendre, avant la sélection éliminant les valeurs de la première donnée ne correspondant pas à la constante modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe, une détermination ou une connaissance de la constante. La détermination de la constante peut comprendre, dans le cas d'une génération du premier rayonnement par la source selon différents états explorés de la source :

- un calcul préliminaire de la première donnée pour chaque état exploré de la source, et
- à partir du premier calcul préliminaire de la première donnée pour l'ensemble de différents états explorés de la source, une détermination de la constante.

La sélection d'une valeur sélectionnée de la première donnée peut comprendre, après l'élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à une constante modulo l'intervalle spectral libre de la cavité, une sélection finale de la valeur sélectionnée, de préférence par une méthode des moindres carrés.

La source peut être un oscillateur paramétrique optique ou un laser.

La source peut être une source au moins doublement résonnante, comprenant deux cavités partageant un même cristal de génération de rayonnement, dont:

- une cavité mobile générant le premier rayonnement, et
- la cavité fixe générant un deuxième rayonnement.

Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre un calcul, pour chaque état exploré de la source, d'une deuxième donnée représentative de la longueur d'onde du deuxième rayonnement en fonction du calcul de la première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement.

Selon une autre particularité de l'invention, il est proposé un dispositif de caractérisation d'une source optique, ledit dispositif comprenant :

- au moins un capteur, agencé pour recevoir au moins une partie d'un premier rayonnement généré par une source selon un état de la source ou différents états explorés de la source, chaque capteur comprenant un étalon Fabry Perot suivi d'une photodiode, chaque capteur étant agencé pour mesurer un signal pour chaque état exploré de la source en fonction de l'au moins une partie du premier rayonnement reçu par ce capteur à cet état exploré de la source,
- une unité de calcul, agencée et/ou programmée pour calculer, à partir des signaux mesurés par chaque capteur et pour chaque état exploré de la source, une première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement, l'unité de calcul étant agencée et/ou programmée pour réaliser une sélection, pour chaque état exploré de la source, d'une valeur sélectionnée de la première donnée parmi plusieurs valeurs possibles, ladite sélection comprenant une élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à une constante modulo un intervalle spectral libre exprimé selon les unités de la première donnée.

L'unité de calcul peut être en outre agencée et/ou programmée pour :

- commander dans quel état se trouve la source et/ou recevoir des informations sur l'état de la source ou les différents états explorés de la source, et
- associer ou synchroniser chaque état exploré de la source avec le signal mesuré par chaque capteur pour cet état exploré de la source.

Chaque capteur ne comprend de préférence pas de barrette de photodiodes.

L'étalon Fabry Perot de chaque capteur ne comprend de préférence aucune partie mobile.

La première donnée illustrant la longueur d'onde du premier rayonnement peut être :

- la longueur d'onde du premier rayonnement, ou
- la fréquence temporelle du premier rayonnement, ou
- la période temporelle du premier rayonnement, ou
- le nombre d'onde du premier rayonnement.

L'unité de calcul peut être agencée et/ou programmée pour réaliser la sélection en éliminant en outre les valeurs de la première donnée situées en dehors d'un intervalle de zone spectrale du premier rayonnement. Dans ce cas :

- chaque étalon Fabry Perot peut avoir une courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, ayant de préférence une période supérieure ou égale à l'intervalle de zone spectrale du premier rayonnement.
- l'au moins un capteur peut comprendre plusieurs capteurs comprenant chacun un étalon Fabry Perot suivi d'une photodiode, chaque étalon Fabry Perot ayant une courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, l'assemblage des courbes de transmission des différents étalons Fabry Perot formant une courbe globale de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier

rayonnement, ayant de préférence une période supérieure ou égale à l'intervalle de zone spectrale du premier rayonnement.

L'au moins un capteur comprend de préférence plusieurs capteurs, les différents étalons Fabry Perot des différents capteurs comprenant de préférence aux moins un couple de deux étalons Fabry Perot dont :

- un premier étalon Fabry Perot ayant une première courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, et
- un deuxième étalon Fabry Perot ayant une deuxième courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement,

de sorte que :

- une même longueur d'onde du premier rayonnement correspond à la fois à un maximum de pente de la première courbe de transmission et à une pente de la deuxième courbe de transmission inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente, et/ou
- une même longueur d'onde du premier rayonnement correspond à la fois à un maximum de pente de la deuxième courbe de transmission et à une pente de la première courbe de transmission inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente.

L'unité de calcul peut être agencée et/ou programmée pour, avant d'effectuer la sélection éliminant les valeurs de la première donnée ne correspondant pas à la constante modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe, déterminer ou avoir une connaissance de la constante. L'unité de calcul peut être, pour déterminer la constante, agencée et/ou programmée pour :

- calculer de manière préliminaire la première donnée pour chaque état exploré de la source, et
- à partir du calcul préliminaire de la première donnée pour l'ensemble de différents états explorés de la source, déterminer la constante.

L'unité de calcul peut être agencée et/ou programmée pour réaliser la sélection comprenant, après l'élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à une constante modulo l'intervalle spectral libre, une sélection finale de la valeur sélectionnée, de préférence par une méthode des moindres carrés. L'unité de calcul peut être agencée et/ou programmée pour calculer, pour chaque état exploré de la source, une deuxième donnée représentative de la longueur d'onde du deuxième rayonnement en fonction du calcul de la première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un système, comprenant :

- une source optique comprenant une cavité fixe ayant un intervalle spectral libre, ladite source étant agencée pour générer un premier rayonnement selon un état de la source ou selon différents états explorés de la source, et
- un dispositif de caractérisation de cette source selon l'invention.

La source peut être un oscillateur paramétrique optique ou un laser.

La source peut être une source au moins doublement résonnante, comprenant deux cavités partageant un même cristal de génération de rayonnement, dont:

- une cavité mobile générant le premier rayonnement, et
- la cavité fixe générant un deuxième rayonnement.

Description des figures et modes de réalisation

D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés suivants :

- la figure 1 est une vue schématique d'un mode de réalisation préféré de système selon l'invention 100 comprenant un mode de réalisation préféré de dispositif selon l'invention 10,

- la figure 2 illustre les courbes de transmission des trois Fabry-Perots 5 du dispositif 10 dans la zone spectrale 15 d'émission de la source 1 du dispositif 10 ; les bruits de mesure sont schématisés par des traits verticaux sur ces courbes,

- la figure 3 illustre une séquence de sauts de modes émis par la source 1 du système 100 lors du déplacement d'un miroir 7a de la source 1,

- la figure 4 illustre, pendant cette séquence, les valeurs du nombre d'onde de la figure 3 modulo l'intervalle spectral libre (ISL) de la cavité fixe 2 de la source 1,

- la figure 5 illustre différentes valeurs d'un nombre d'onde
  - calculées selon l'invention avant la prise en compte du modulo de l'ISL (ronds) et
  - des modes réellement émis (points)

- la figure 6 illustre, dans le cas des valeurs de la figure 5, la différence entre les mesures calculées et les nombres d'onde effectivement émis,

- la figure 7 illustre la différence entre les mesures calculées ou simulées après restriction des nombres d'onde possiblement émis et les nombres d'onde effectivement émis :
  - avant le calcul du modulo (ronds) et
  - après le calcul du modulo (étoiles),
- la figure 8 illustre l'erreur moyenne observée sur mille séquences de sauts de modes avec un bruit de mesure aléatoire en utilisant la connaissance de l'ISL (courbe 82) et sans utiliser la connaissance de l'ISL (courbe 81), et
- la figure 9 illustre l'écart-type à $3\times\sigma$ de l'erreur observée sur mille séquences de sauts de modes avec un bruit de mesure aléatoire en utilisant la connaissance de l'ISL (courbe 92) et sans utiliser la connaissance de l'ISL (courbe 91).

Ces modes de réalisation étant nullement limitatifs, on pourra notamment considérer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites ou illustrées par la suite isolées des autres caractéristiques décrites ou illustrées (même si cette sélection est

isolée au sein d'une phrase comprenant ces autres caractéristiques), si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détails structurels, et/ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou à différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieure.

On va tout d'abord décrire, en référence aux figures 1 et 2, un système 100 selon l'invention comprenant un dispositif 10 selon l'invention.

Le système 100 comprend une source optique 1 comprenant une cavité fixe 2 délimitée par deux miroirs 2a, 2b et ayant un intervalle spectral libre, ladite source étant agencée pour générer, selon un état de la source ou selon différents états explorés de la source, un premier rayonnement 3 qui dépend de l'état de la source lors de la génération de ce rayonnement 3.

L'intervalle spectral libre correspond à la distance (en longueur d'onde, fréquence, période, nombre d'onde, etc…) entre deux pics de résonnance successifs de la cavité 2.

La source 1 est typiquement un oscillateur paramétrique optique (OPO) ou un laser.

La source 1 est une source au moins doublement résonnante, comprenant deux cavités partageant un même cristal 9 de génération de rayonnement, dont:

- une cavité mobile 7, délimitée par deux miroirs 7a, 7b et générant le premier rayonnement 3, et
- la cavité fixe 2 générant un deuxième rayonnement 8.

La source 1 doublement résonante comprend le cristal non linéaire 9 et trois miroirs 7a et 2a et 2b/7b dont deux (2a et 2b/7b) déposés directement sur le cristal 9 et un miroir mobile 7a.

Un de ces trois miroirs 2b/7b est commun aux deux cavités 2 et 7.

Dans la présente description, différents « états » de la source 1 se distinguent par une différence d'un paramètre physique de la source 1 qui

influe sur la longueur d'onde du premier rayonnement 3 émis par la source 1.

Dans la présente description de la figure 1, nous allons considérer le cas non limitatif où les différents états de la source 1 se différencient par différentes positions du miroir 7a.

On explore plusieurs états de la source 1 de manière à faire varier la longueur d'onde du premier rayonnement 3 (même si différents états de la source 1 peuvent correspondre à la même longueur d'onde du premier rayonnement 3) mais en conservant l'intervalle spectral libre de la cavité 2.

On va par la suite considérer le cas particulier mais non limitatif d'une source 1 qui est un oscillateur paramétrique optique doublement résonnant.

La source 1 est par exemple une source de référence X-FLR8 fabriquée par Blue Industry and Science.

Le système 100 comprend en outre le dispositif 10 selon l'invention de caractérisation de cette source 1.

Le dispositif 10 comprend au moins un capteur 4 (de préférence au moins deux ou idéalement au moins trois capteurs 4), chaque capteur 4 étant agencé pour recevoir au moins une partie du premier rayonnement 3 généré par la source 1 selon un état de la source ou différents états explorés de la source 1, chaque capteur 4 comprenant un étalon Fabry Perot 5 suivi d'une photodiode 6.

Chaque capteur 4 est agencé pour mesurer un signal pour chaque état exploré de la source 1 en fonction de l'au moins une partie du premier rayonnement 3 reçue par ce capteur 4 à cet état exploré de la source.

Le dispositif 10 comprend au moins un miroir 71, 72 ; 73 semi réfléchissant et/ou dichroïque agencé pour répartir le rayonnement 3 vers les différents capteurs 4.

L'intensité lumineuse de chacune des parties du rayonnement 3 arrivant juste en amont de chacun des capteurs 4, c'est à dire :

- entre le miroir (ou dichroïque) 71 et le Fabry Perot 51 pour le premier capteur,
- entre le miroir (ou dichroïque) 72 et le Fabry Perot 52 pour le deuxième capteur,

- entre le miroir (ou dichroïque) 73 et le Fabry Perot 53 pour le troisième capteur,

est connue soit par calibration initiale (typiquement lors de la fabrication du dispositif 10 ou en usine) ou en utilisant :

- un capteur optionnel de référence 66 (sans Fabry Perot) agencé pour mesurer une intensité d'une partie du rayonnement 3 sans Fabry Perot, et
- une connaissance des coefficients de réflexion et de transmission de chacun des miroirs 71, 72, et 73.

Chaque photodiode 6, 66 est par exemple une photodiode de référence G6854-01 fabriquée par Hamamatsu.

Chaque étalon 5 est par exemple un étalon de la gamme OP-7423 fabriqué par Light machinery.

Chaque capteur 4 ne comprend pas de barrette de photodiodes, mais comprend une unique photodiode 6.

L'étalon Fabry Perot 5 de chaque capteur 4 ne comprend aucune partie mobile.

Le dispositif 10 comprend une unité de calcul 11.

L'unité 11 ne comprend que des moyens techniques, de préférence des moyens électroniques et/ou informatiques et/ou logiciels.

L'unité de calcul 11 est agencée et/ou programmée pour :

- commander dans quel état se trouve la source 1 et/ou recevoir des informations sur l'état de la source 1 ou les différents états explorés de la source 1, et
- associer ou synchroniser chaque état exploré de la source 1 avec le signal mesuré par chaque capteur 4 pour cet état exploré de la source 1.

Ainsi le signal de chaque photodiode 6 donne une information sur la transmission du rayonnement 3 à travers chaque Fabry Perot.

L'unité de calcul 11 est agencée et/ou programmée pour calculer, à partir des signaux mesurés par chaque capteur 4 et pour chaque état exploré de la source 1, une première donnée (par exemple k_s) représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement 3 pour chaque état exploré de la source 1, l'unité de calcul 11 étant agencée et/ou programmée pour réaliser une sélection, pour chaque état exploré de la

source 1 d'une valeur sélectionnée de la première donnée (par exemple k_s) parmi plusieurs valeurs possibles.

La première donnée illustrant la longueur d'onde du premier rayonnement est :

- la longueur d'onde du premier rayonnement, ou
- la fréquence temporelle du premier rayonnement, ou
- la période temporelle du premier rayonnement, ou
- comme décrit dans cet exemple illustratif mais non limitatif, le nombre d'onde k_s du premier rayonnement 3.

Plus exactement, l'unité de calcul 11 est agencée et/ou programmée:

- pour connaitre une constante «b» ; L'unité de calcul 11 est, dans le cas d'une génération du premier rayonnement 3 par la source 1 selon différents états explorés de la source 1, agencée et/ou programmée pour déterminer la constante «b», et pour cela est agencée et/ou programmée pour :
    - calculer de manière préliminaire la première donnée k_s pour chaque état exploré de la source 1, en éliminant des valeurs de la première donnée k_s situées en dehors d'un intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement 3 et en réalisant une sélection d'une valeur de la première donnée k_s pour chaque état exploré de la source 1, de préférence par une méthode des moindres carrés
    - à partir du calcul préliminaire de la première donnée k_s pour l'ensemble de différents états explorés de la source 1, déterminer la constante «b».
- pour calculer, à partir des signaux mesurés par chaque capteur 4 et pour chaque état exploré de la source 1, la première donnée k_s représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement 3 pour chaque état exploré de la source 1, en effectuant une sélection d'une valeur sélectionnée de la première donnée k_s parmi plusieurs valeurs possibles, l'unité de calcul 11 étant agencée et/ou programmée :
    - pour réaliser une élimination (qui fait partie de la sélection) des valeurs de la première donnée k_s situées en

dehors de l'intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement 3

- pour réaliser une élimination (qui fait partie de la sélection) des valeurs de la première donnée k_s ne correspondant pas à la constante «b» modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe 2 exprimé selon les unités de la première donnée k_s,
- puis pour réaliser, après les deux précédentes éliminations, une sélection finale (qui fait partie de la sélection) de la valeur sélectionnée, de préférence par une méthode des moindres carrés.

L'unité de calcul 11 est agencée et/ou programmée pour calculer, pour chaque état exploré de la source 1, une deuxième donnée k_C représentative de la longueur d'onde du deuxième rayonnement 8 en fonction du calcul de la première donnée k_s représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement 3.

La deuxième donnée k_C illustrant la longueur d'onde du deuxième rayonnement 8 est :

- la longueur d'onde du deuxième rayonnement, ou
- la fréquence du deuxième rayonnement, ou
- comme décrit dans cet exemple illustratif mais non limitatif, le nombre d'onde k_C du deuxième rayonnement 8.

La manière dont est agencée et/ou programmée l'unité de calcul 11 sera décrite ci-dessous plus en détails en référence à un mode de réalisation de procédé selon l'invention mis en œuvre par le dispositif 10.

En référence à la figure 2, chaque étalon Fabry Perot 5 a une courbe de transmission 12, 13, 14 de l'intensité du premier rayonnement 3, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement 3, ayant une période supérieure ou égale à l'intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement 3.

Chaque étalon Fabry Perot 5 a une courbe de transmission 12, 13, 14 de l'intensité du premier rayonnement 3 en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement 3, l'assemblage des courbes de transmission des différents étalons Fabry Perot 5 formant une courbe globale 16 de

transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement 3, ayant une période supérieure ou égale à l'intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement.

L'au moins un capteur 4 comprend plusieurs capteurs 4, les différents étalons Fabry Perot 5 des différents capteurs 4 comprenant aux moins un couple de deux étalons Fabry Perot 5 (de préférence uniquement des couples d'étalons Fabry Perot), chaque couple comprenant :

- un premier étalon Fabry Perot ayant une première courbe de transmission 13 de l'intensité du premier rayonnement 3, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement 3, et
- un deuxième étalon Fabry Perot ayant une deuxième courbe de transmission 12 de l'intensité du premier rayonnement 3, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement 3,

de sorte que :

- une même longueur d'onde du premier rayonnement 3 correspond à la fois à un maximum de pente (c'est-à-dire de la dérivée première) 130 de la première courbe de transmission 13 et à une pente 120 de la deuxième courbe de transmission 12 inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente 130, et/ou
- une même longueur d'onde du premier rayonnement 3 correspond à la fois à un maximum de pente 121 de la deuxième courbe de transmission 12 et à une pente 131 de la première courbe 13 de transmission inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente 121.

On remarque que cela est valable pour tous les couples 12, 13 ou 13, 14 ou 14, 12 des courbes de transmission de tous les étalons Fabry Perot 5 du dispositif 10.

On remarque en outre que les maximums de pente 121, 130 de même signe (soit pente croissante soit pente décroissante) des différentes courbes de transmission 12, 13, 14 sont régulièrement espacés par un même intervalle de séparation 17 à l'intérieur de l'intervalle 15.

Ainsi, dans ce mode de réalisation, on utilise des étalons Fabry-Perot 5 (sans pièces mécaniques mobiles) sans imager la figure d'interférences

sur un détecteur barrette. On ne fait qu'un seul point de mesure par étage de Fabry-Perot 5.

Pour améliorer la précision on réalise un accord en longueur d'onde dans toute la bande de gain d'émission de la source 1 en ne modifiant qu'une seule cavité 7 de la source cohérente 1. Ainsi, on sait que toutes les longueurs d'onde sont identiques modulo l'ISL de la cavité 2 de la source 1. Cela donne un supplément d'information qui permet de remonter à chacune des longueurs d'onde émises des faisceaux 3, 8.

Ce mode de réalisation a les avantages suivants :

- très compact : la solution peut faire moins de 10 cm de long.
- très rapide : en utilisant une électronique adaptée 11 on peut faire une mesure à chaque impulsion laser (> 100 kHz). L'invention peut fonctionner aussi avec une source 1 continue avec une mesure au maximum de l'électronique 11 de mesure et de traitement des photodiodes 6. L'invention n'est pas limitée par le temps de réponse d'un piézoélectrique qui déplacerait une partie d'un Fabry Perot accordable.
- peu coûteux : il ne comprend pas de composants chers : les étalons Fabry Perot non accordables 5, les photodiodes 6 sans barrette sont très économiques par rapport à un système à barrette

On va maintenant décrire, en référence aux figures 1 à 9, un mode de réalisation de procédé selon l'invention mis en œuvre par le dispositif 10 et par le système 100.

Ce procédé comprend les étapes 1) à 8) décrites ci-après:

1) une génération du premier rayonnement 3 (et du deuxième rayonnement 8) par la source 1 selon un état de la source ou différents états explorés de la source 1. La source cohérente 1 est un OPO doublement résonnant. Un faisceau laser de pompe de nombre d'onde k_p traverse le cristal 9 non linéaire à polarisation périodiquement inversée. Le cristal 9 rayonne deux nouveaux faisceaux : le premier rayonnement 3 (aussi appelé signal) de nombre d'onde k_s et le deuxième rayonnement 8

(aussi appelé complémentaire) de nombre d'onde k_c. Les nombres d'onde sont reliés par la loi de conservation de l'énergie qui implique que :

$k_p = k_s + k_c$

Comme schématisé à la figure 1, le rayonnement 3 résonne dans la cavité mobile 7 formée par les miroirs 7a et 7b. Le rayonnement 8 résonne dans la cavité fixe 2 entre les miroirs 2a et 2b. La cavité mobile 7 a un intervalle spectral libre (ISL) Δks d'environ 0,26 cm^{-1} (qui dépend de la position du miroir 7a); la cavité fixe 2 a un intervalle spectral libre (ISL) Δkc de 0,25 cm^{-1}.

Le miroir 7a est mobile, par exemple monté sur un élément piézoélectrique.

L'acceptance spectrale (dite bande de gain paramétrique) typique de la source 1 est de 5 cm^{-1}. C'est-à-dire que le cristal non linaire 9 ne peut rayonner que sur une zone du spectre de 5 cm^{-1} si les paramètres suivants sont fixés : nombre d'onde du laser de pompe, température du cristal 9, pas du réseau d'inversion de polarisation , etc…

Le nombre de modes possiblement émis pour une position fixe de la cavité complémentaire est donc de 5/0,25 = 20 modes.

Nous supposerons les nombres d'onde suivants pour chacun des faisceaux :

- nombre d'onde du rayonnement pompe : 9 394,5 cm^{-1} ;
- nombre d'onde « signal » ou du rayonnement 3 : de 6 662,5 cm^{-1} à 6 667,5 cm^{-1} (cet intervalle étant nommé, dans la présente description, l'intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement);
- nombre d'onde « complémentaire » ou du rayonnement 8: de 2 727 cm^{-1} à 2 732 cm^{-1}.

2) une commande, par l'unité 11, de l'état dans lequel se trouve la source 1 et/ou une réception, par l'unité 11, des informations sur l'état de la source 1 ou sur les différents états explorés de la source 1 ; comme expliqué précédemment, on explore différents états de la source 1 en changeant un paramètre physique de la source 1 qui influe sur la longueur d'onde du premier rayonnement 3 émis par la source, par exemple en changeant la position du miroir 7a. On explore plusieurs états de la source 1

de manière à faire varier la longueur d'onde du premier rayonnement 3 (même si différents états de la source 1 peuvent correspondre à la même longueur d'onde du premier rayonnement 3) mais en conservant l'intervalle spectral libre de la cavité fixe 2.

Chacun des faisceaux 3, 8 a un peigne de mode possible dans sa cavité respectivement 7, 2. L'oscillation a lieu si, au sein de la bande de gain paramétrique, il se trouve un recouvrement suffisant entre deux modes signal et complémentaire, c'est-à-dire si la condition de conservation de l'énergie est respectée.

En appliquant une tension sur l'élément piézoélectrique du miroir 7a, la cavité mobile 7 va légèrement bouger de quelques centaines de nanomètres. Le peigne de mode associé va alors se décaler et les coïncidences vont aussi se déplacer au gré des nouveaux recouvrements entre les modes signal du faisceau 1 et complémentaire du faisceau 8.

La figure 3 présente un exemple d'une série de sauts de modes k_s effectués par la source 1 lors du déplacement du miroir 7a et la figure 4 présente ces mêmes nombres d'onde k_s modulo l'ISL de la cavité complémentaire 2.

Seul le miroir 7a a bougé. La cavité complémentaire 2 est donc restée fixe. Le peigne des nombres d'onde possiblement émis par la cavité 2 est donc toujours le même. Tous les modes du faisceau 8 sont donc par définition égaux modulo l'ISL de la cavité 2 (nous négligeons ici la dispersion de l'ISL). Par conservation de l'énergie, ceux du faisceau 3 le sont aussi. C'est pourquoi, tous les nombres d'onde du faisceau 8 sont reliés par l'équation 1 et par conservation de l'énergie, ceux du faisceau 3 sont reliés par l'équation 2 :

$$k_c = a\ [ISLc] \qquad \text{équation 1}$$

$$k_s = b\ [ISLc] \qquad \text{équation 2}$$

où chacune parmi « a » et « b » est une constante, plus exactement un nombre réel supérieur ou égal à zéro, la constante « b » étant celle déjà mentionnée précédemment dans la présente description, [ISLc] signifiant « modulo l'ISL de la cavité fixe ISLc», ISLc étant l'ISL de la cavité fixe exprimée avec les unités d'un nombre d'onde (inverse d'une longueur). De manière générale, on notera que ce principe de l'invention est valable et

généralisable pour toute source 1 dont un milieu à gain (cristal laser, cristal non linéaire…) est contenu dans une cavité résonnante. Ces deux équations pourraient naturellement être exprimées en fréquence temporelle ou période temporelle ou longueur d'onde. Par exemple, dans le cas de l'équation 2 :

$f_s = b' [ISLc']$ équation 2'

$t_s = b'' [ISLc'']$ équation 2''

$\lambda_s = b''' [ISLc''']$ équation 2'''

où :

- chacune parmi « b' » « b'' » et « b''' » est une constante, plus exactement un nombre réel supérieur ou égal à zéro

- f_s est la fréquence temporelle du rayonnement 3

- [ISLc'] signifiant « modulo l'ISL de la cavité fixe ISLc'», ISLc' étant l'ISL de la cavité fixe exprimée avec les unités d'une fréquence temporelle (inverse d'un temps)

- t_s est la période temporelle du rayonnement 3

- [ISLc''] signifiant « modulo l'ISL de la cavité fixe ISLc''», ISLc'' étant l'ISL de la cavité fixe exprimée avec les unités d'une période temporelle (un temps)

- λ_s est la longueur d'onde du rayonnement 3

- [ISLc'''] signifiant « modulo l'ISL de la cavité fixe ISLc'''», ISLc''' étant l'ISL de la cavité fixe exprimée avec les unités d'une longueur d'onde (une longueur)

3) une réception d'au moins une partie du premier rayonnement 3 par l'au moins un capteur 4, et même par les plusieurs capteurs 4 dans le présent mode de réalisation.

4) une mesure d'un signal par chaque capteur 4 et pour chaque état exploré de la source 1, en fonction de l'au moins une partie du premier rayonnement 3 reçu par ce capteur 4 à cet état exploré de la source 1.

Les Fabry-Perot 51, 52, 53 sont dimensionnés de sorte que leur intervalle spectral libre (ISL) soit respectivement de 961,29 µm, 961,54 µm

et 961,79 µm. Leur transmission en fonction du nombre d'onde dans la bande de gain paramétrique est décrite par la figure 2.

Sur la figure 2, a aussi été simulée l'intensité lue par chaque photodiode 6 pour chacun des modes de la figure 3 à laquelle a été ajouté un bruit blanc de 3 % de l'intensité maximum à $3\times\sigma$, où σ représente l'écart type du bruit.

5) une association ou synchronisation, par l'unité 11, de chaque état exploré de la source 1 avec le signal mesuré par chaque capteur 4 pour cet état exploré de la source 1,

6) une connaissance a priori de la constante «b» ; dans le cas d'une génération du premier rayonnement 3 par la source 1 selon différents états explorés de la source 1, la connaissance de la constante «b» peut provenir d'une détermination de cette constante «b», la détermination de cette constante «b» comprenant:

a. un calcul préliminaire de la première donnée k_s représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement 3 pour chaque état exploré de la source 1, le calcul comprenant, pour chaque état exploré de la source 1, une sélection d'une valeur de la première k_s donnée parmi plusieurs valeurs possibles, ladite sélection comprenant :

i. une élimination des valeurs de la première donnée k_s situées en dehors de l'intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement 3. L'objectif est donc désormais de retrouver à partir des informations des photodiodes 6 les nombres d'onde k_s du rayonnement 3 émis par la source 1 dans sa zone d'émission possible : de 6 662,5 cm^{-1} à 6 667,5 cm^{-1} soit 5 cm^{-1}. Pour atteindre une résolution de $2\cdot10^{-3}$ cm^{-1}, on échantillonne la zone d'émission 15 en 2500 points espacés de $2\cdot10^{-3}$ cm^{-1}. À chacun de ces points correspond un triplet de transmissions des trois photodiodes 6.

ii. une sélection de la valeur sélectionnée, de préférence par une méthode des moindres carrés. Par la méthode des moindres carrés, on compare chacun des triplets mesurés aux 2500 triplets théoriques selon l'équation 3 :

$$m_j = \sqrt{[(T^j_{th1} - T_{m1})^2 + (T^j_{th2} - T_{m2})^2 + (T^j_{th3} - T_{m3})^2]} \qquad \text{équation 3}$$

où T^j_{thi} correspond à la transmission théorique du i-ème Fabry-Perot (sur les 3 possibles) du j-ème triplet (sur les 2500 possibles), et T_{mi} correspond à la transmission mesurée du i-ème Fabry-Perot. Pour chacun des triplets mesurés on retient la valeur de nombre d'onde k_S du faisceau 3 parmi les 2500 possibilités, qui minimise la valeur de « m_j ».

Ces nombres d'onde calculés k_s sont présentés par à la figure 5. Malheureusement, le bruit de mesure perturbe le calcul et dégrade le résultat. La figure 6 présente la différence point à point entre le calcul et les nombres d'onde effectivement émis.

b. à partir du calcul préliminaire de la première donnée k_s pour l'ensemble de différents états explorés de la source 1, une détermination de la constante «b». En effet, à partir de ces mesures bruitées de la figure 5, nous pouvons tout de même calculer précisément le « b » présenté à l'équation 2. En effet, le bruit de mesure est alors moyenné sur l'ensemble des 250 acquisitions. S'il s'agit d'un bruit blanc gaussien, le bruit est alors diminué d'un facteur supérieur à 15 ($\sqrt{250}$). Afin de limiter l'effet d'un nombre aberrant nous utilisons la médiane (med) plutôt que la moyenne. Nous avons ainsi :

$$b = \mathrm{med}(k_s^{\text{mesurés}}[ISL_c]) \qquad \text{équation 4}$$

Dans notre exemple, b = 0,1404 cm^{-1}. Comme nous l'avons vu plus haut, nous savons maintenant que la source 1 ne peut émettre qu'à des nombres d'onde qui respectent l'équation 2 avec la valeur « b » que nous venons de calculer (équation 4).

Une autre alternative à la détermination de b serait de l'enregistrer (par exemple en usine) dans le dispositif 10, mais cela ne permet pas de prendre en compte les variations de b dues par exemple aux variations de température.

7) à partir des signaux mesurés et pour chaque état exploré de la source 1, un calcul de la première donnée k_s représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement 3 pour chaque état exploré de la source 1, le calcul comprenant, pour chaque état exploré de la source 1, une sélection d'une valeur sélectionnée de la première donnée k_s parmi plusieurs valeurs possibles, ladite sélection comprenant :

a. une élimination des valeurs de la première donnée k_s situées en dehors de l'intervalle 15 de zone spectrale du premier rayonnement 3, comme à l'étape 6.a.i précédente

b. une élimination des valeurs de la première donnée k_s ne correspondant pas à une constante «b» modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe 2 exprimé selon les unités de la première donnée

c. puis, après les deux précédentes éliminations, une sélection finale de la valeur sélectionnée, de préférence par une méthode des moindres carrés. On réutilise la méthode des moindres carrés en limitant les solutions possibles aux seuls nombres d'onde de la bande de gain paramétrique (zone spectrale 15) respectant l'équation 2. Ainsi contrairement à l'étape 6), nous n'avons plus le choix entre 2500 triplets possibles mais entre 19 modes possibles respectant la condition de modulo. Si b = 0, nous avons alors 20 modes possibles. On refait le calcul des « m_j » de l'équation 3 pour les seuls 19 triplets possibles. La valeur de nombre d'onde retenue pour une mesure donnée est celle qui minimise « m_j » parmi les 19 valeurs calculées. On obtient alors la figure 7 qui présente, en plus des résultats 60 (ronds éparpillés) présentés à la figure 6, les résultats 70 issus de ces nouveaux moindres carrés (étoiles quasiment toutes alignées).

La figure 7 est éloquente, le bruit est quasiment nul et seul un point de mesure est faux à un ISL près (mesure n° 196). Un filtre éliminant les points de mesures à proximité d'un saut de modes peut l'éliminer. Un tel filtre est connu pour la spectroscopie ; en effet, les points proches des sauts

de modes reflètent une source qui n'est pas parfaitement pure spectralement. Ils sont donc filtrés pour garantir la qualité de la mesure indépendamment du mesureur de nombre d'onde.

Dans l'exemple décrit, on obtient alors les résultats présentés au tableau ci-dessous :

	Sans modulo (points 60)	Avec modulo (points 70)
Erreur moyenne ($\times 10^{-3}$ cm^{-1})	22,9	0,04
Écart-type ($3\times\sigma$, $\times 10^{-3}$ cm^{-1})	19,2	0,0
Pourcentage de mesures restantes après filtrage (%)	70,4	69,2

Les résultats sont nettement meilleurs en utilisant la connaissance de l'ISL de la cavité fixe 2. Nous pouvons aussi voir que le filtrage ne supprime pas beaucoup plus de points de mesures lors qu'il est appliqué au premier calcul (sans utilisation du modulo) plutôt qu'au second. Dans les deux cas il reste environ 70 % des acquisitions.

La figure 8 et la figure 9 présentent les résultats suivants:

- erreur moyenne au premier calcul (référence 81, sans utilisation du modulo) et au second calcul (référence 82, avec utilisation du modulo de l'équation 2), et

- écart-type au premier calcul (référence 91, sans utilisation du modulo) et au second calcul (référence 92, avec utilisation du modulo de l'équation 2),

pour mille simulations de séquence de sauts de modes, le bruit étant aléatoire d'une séquence à l'autre.

8) Dans ce mode de réalisation de procédé selon l'invention, la cavité mobile 7 génère le premier rayonnement 3 et la cavité fixe 2 génère le deuxième rayonnement 8. Ce procédé comprend en outre un calcul, pour chaque état exploré de la source, de la deuxième donnée k_c représentative de la longueur d'onde du deuxième rayonnement 8 en fonction du calcul de la première donnée k_s représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement 3. Connaissant :

- la valeur de k_p de la pompe, connue et maîtrisée, et qui a priori ne change pas lors des changements d'états de la source 1, et

- les différentes valeurs de k_s calculées pour les différents états explorés de la source 1,

alors on calcul les différentes valeurs de k_c calculées pour les différents états explorés de la source 1, avec l'équation :

$k_c = k_p - k_s$

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.

Ainsi, dans des variantes combinables entre elles des modes de réalisations précédemment décrits :

- le procédé selon l'invention ne calcule pas nécessairement la constante « b », qui peut être déjà connue (par exemple par une calibration en usine ou autre). Dans ce cas, le procédé ou dispositif selon l'invention peut être mis en œuvre en explorant qu'un seul état de la source 1, c'est-à-dire avec un seul point 70 de la figure 7 ;

- la source 1 peut ne comprendre qu'une seule cavité fixe 2, sans cavité mobile 7. Dans ce cas, la cavité 2 peut comprendre le cristal 9 entre les miroirs 2a et 2b fixes. L'intervalle spectral libre ISLc de la cavité 2 est toujours fixe ; on change l'état de la source 1 par exemple en changeant la température du cristal 9, et le dispositif et le procédé selon l'invention sont mis en œuvre cette fois ci sur la base de l'équation suivante : $k_c = b$ [ISLc], la constante b étant connue ou déterminée sur le même principe que précédemment décrit, et la première donnée étant k_c;

- le dispositif et le procédé selon l'invention peut être basé sur des mesures, par les capteurs 4, sur le signal de la cavité 2 plutôt que sur le signal de la cavité 7, dans un cas avec un miroir 2a ou 2b mobile et de préférence le miroir 7a fixe, par exemple en utilisant un gaz à la place d'un cristal 9 ;

- la première donnée n'est pas nécessairement le nombre d'onde ; on peut aussi mettre en œuvre le dispositif et le procédé selon l'invention avec comme première donnée une fréquence temporelle, une période temporelle, ou une longueur d'onde du rayonnement reçu par l'au moins un capteur 4.

Bien entendu, les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. En particulier toutes les variantes et modes de réalisation décrits précédemment sont combinables entre eux.

REVENDICATIONS

1. Procédé de caractérisation d'une source optique (1), ladite source optique comprenant une cavité fixe (2) ayant un intervalle spectral libre, ledit procédé comprenant :

- une génération d'un premier rayonnement (3) par la source selon différents états explorés de la source, les différents états de la source (1) se distinguant par une différence d'un paramètre physique de la source (1) qui influe sur une longueur d'onde du premier rayonnement (3) émis par la source (1),
- une réception d'au moins une partie de ce premier rayonnement par au moins un capteur (4), chaque capteur comprenant un étalon Fabry Perot (5) suivi d'une photodiode (6),
- une mesure d'un signal par chaque capteur et pour chaque état exploré de la source, en fonction de l'au moins une partie du premier rayonnement reçu par ce capteur à cet état exploré de la source,
- à partir des signaux mesurés et pour chaque état exploré de la source, un calcul d'une première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement, le calcul comprenant, pour chaque état exploré de la source, une sélection d'une valeur sélectionnée de la première donnée parmi plusieurs valeurs possibles, ladite sélection comprenant une élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à une constante (b) connue modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe exprimé selon les unités de la première donnée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque capteur est du type sans barrette de photodiodes.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que toutes les parties de l'étalon Fabry Perot de chaque capteur sont immobiles.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la première donnée illustrant la longueur d'onde du premier rayonnement est :
- la longueur d'onde du premier rayonnement, ou
- la fréquence du premier rayonnement, ou
- le nombre d'onde du premier rayonnement.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite sélection élimine en outre les valeurs de la première donnée situées en dehors d'un intervalle (15) de zone spectrale du premier rayonnement.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que chaque étalon Fabry Perot a une courbe de transmission (12, 13, 14) de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, ayant une période supérieure ou égale à l'intervalle de zone spectrale du premier rayonnement.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que la réception d'au moins une partie du premier rayonnement comprend une réception par plusieurs capteurs (4) comprenant chacun un étalon Fabry Perot (5) suivi d'une photodiode (6), chaque étalon Fabry Perot ayant une courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, l'assemblage des courbes de transmission des différents étalons Fabry Perot (5) formant une courbe globale (16) de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, ayant une période supérieure ou égale à l'intervalle de zone spectrale du premier rayonnement.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'au moins un capteur comprend plusieurs capteurs, les différents étalons Fabry Perot des différents capteurs comprenant aux moins un couple de deux étalons Fabry Perot dont :

- un premier étalon Fabry Perot ayant une première courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement, et
- un deuxième étalon Fabry Perot ayant une deuxième courbe de transmission de l'intensité du premier rayonnement, en fonction de la longueur d'onde du premier rayonnement,

de sorte que :

- une même longueur d'onde du premier rayonnement (3) correspond à la fois à un maximum de pente (130) de la première courbe de transmission (13) et à une pente (120) de la deuxième courbe de transmission (12) inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente (130), et/ou
- une même longueur d'onde du premier rayonnement (3) correspond à la fois à un maximum de pente (121) de la deuxième courbe de transmission (12) et à une pente (131) de la première courbe de transmission (13) inférieure ou égale, en valeur absolue, à 10% de ce maximum de pente (121).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend, avant la sélection éliminant les valeurs de la première donnée ne correspondant pas à la constante (b) modulo l'intervalle spectral libre de la cavité fixe, une détermination ou une connaissance de la constante (b).

10. Procédé selon la revendications 9, caractérisé en ce que la détermination de la constante (b) comprend, dans le cas d'une génération du premier rayonnement (3) par la source selon différents états explorés de la source :

- un calcul préliminaire de la première donnée pour chaque état exploré de la source, et
- à partir du premier calcul préliminaire de la première donnée pour l'ensemble de différents états explorés de la source, une détermination de la constante (b).

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la sélection d'une valeur sélectionnée de la première donnée comprend, après l'élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à une constante (b) modulo l'intervalle spectral libre de la cavité, une sélection finale de la valeur sélectionnée, de préférence par une méthode des moindres carrés.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la source est un oscillateur paramétrique optique ou un laser.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la source est une source au moins doublement résonnante, comprenant deux cavités partageant un même cristal (9) de génération de rayonnement, dont:

- une cavité mobile (7) générant le premier rayonnement (3), et
- la cavité fixe (2) générant un deuxième rayonnement (8).

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un calcul, pour chaque état exploré de la source, d'une deuxième donnée représentative de la longueur d'onde du deuxième rayonnement en fonction du calcul de la première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement.

15. Dispositif (10) de caractérisation d'une source optique (1), ledit dispositif comprenant :

- une unité de calcul (11), agencée et/ou programmée pour commander dans quel état se trouve une source (1) et/ou recevoir des informations sur l'état d'une source (1) ou les différents états explorés d'une source (1), les différents états de la source (1) se distinguant par une différence d'un paramètre physique de la

source (1) qui influe sur une longueur d'onde du premier rayonnement (3) émis par la source (1), l'unité de calcul (11) étant agencée et/ou programmée pour connaitre une constante (b),

- au moins un capteur (4), agencé pour recevoir au moins une partie du premier rayonnement (3) généré par la source selon différents états explorés de la source, chaque capteur comprenant un étalon Fabry Perot (5) suivi d'une photodiode (6), chaque capteur étant agencé pour mesurer un signal pour chaque état exploré de la source en fonction de l'au moins une partie du premier rayonnement reçu par ce capteur à cet état exploré de la source,

l'unité de calcul (11) étant agencée et/ou programmée pour calculer, à partir des signaux mesurés par chaque capteur et pour chaque état exploré de la source, une première donnée représentative de la longueur d'onde du premier rayonnement, l'unité de calcul étant agencée et/ou programmée pour réaliser une sélection, pour chaque état exploré de la source, d'une valeur sélectionnée de la première donnée parmi plusieurs valeurs possibles, ladite sélection comprenant une élimination des valeurs de la première donnée ne correspondant pas à la constante (b) modulo un intervalle spectral libre exprimé selon les unités de la première donnée.

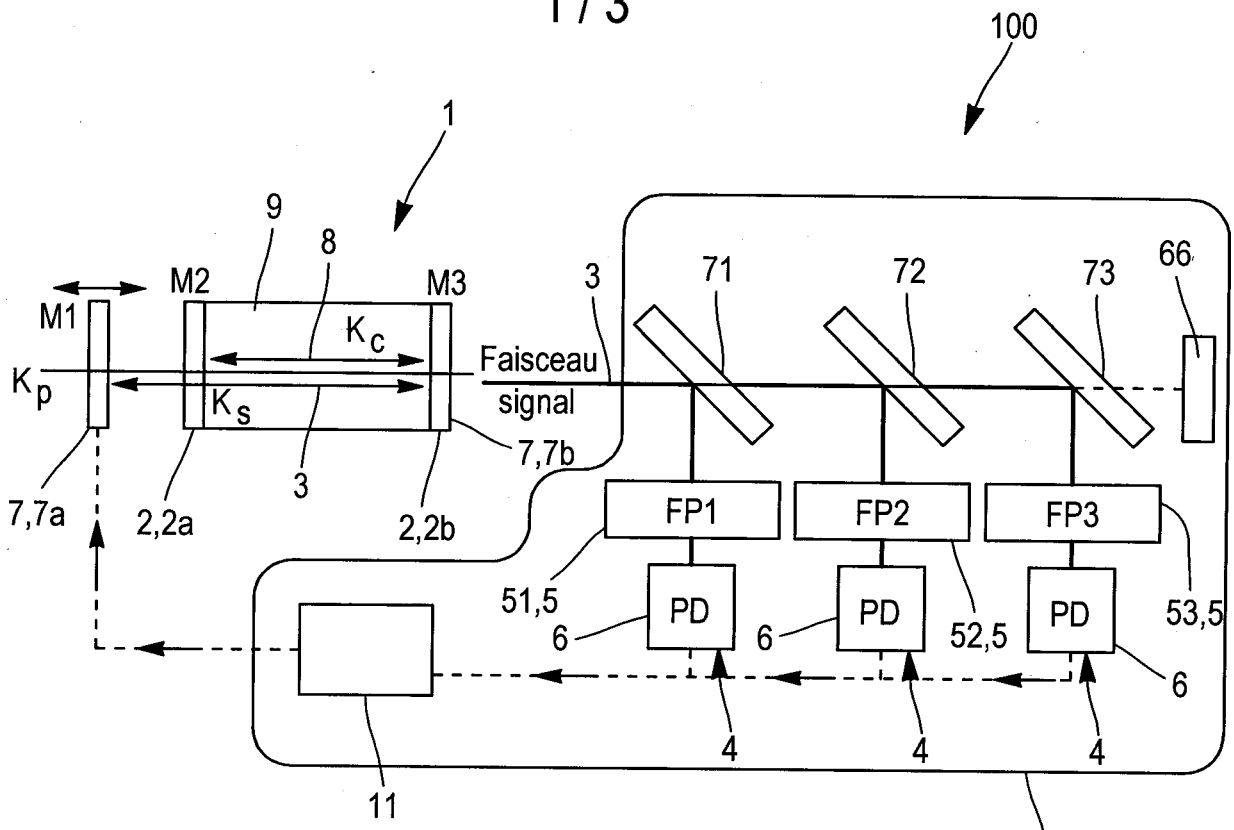

100
1
9
8
M2
M3
M1
K_c
K_p
K_s
3
7,7a
2,2a
2,2b
7,7b
Faisceau
signal
71
72
73
66
FP1
FP2
FP3
51,5
52,5
53,5
PD
6
4
11
10

FIG. 1

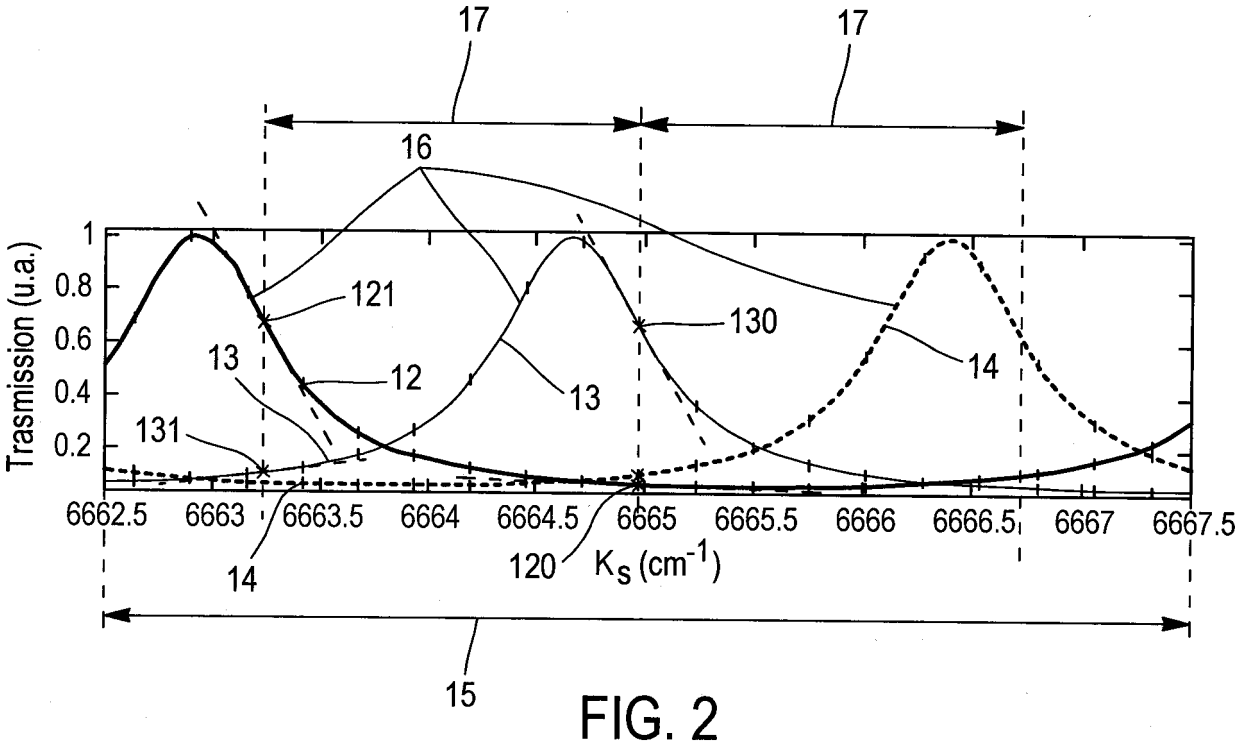

17
17
16
Trasmission (u.a.)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
121
130
13
12
14
131
6662.5
6663
6663.5
6664
6664.5
6665
6665.5
6666
6666.5
6667
6667.5
120
K_s (cm^{-1})
15

FIG. 2

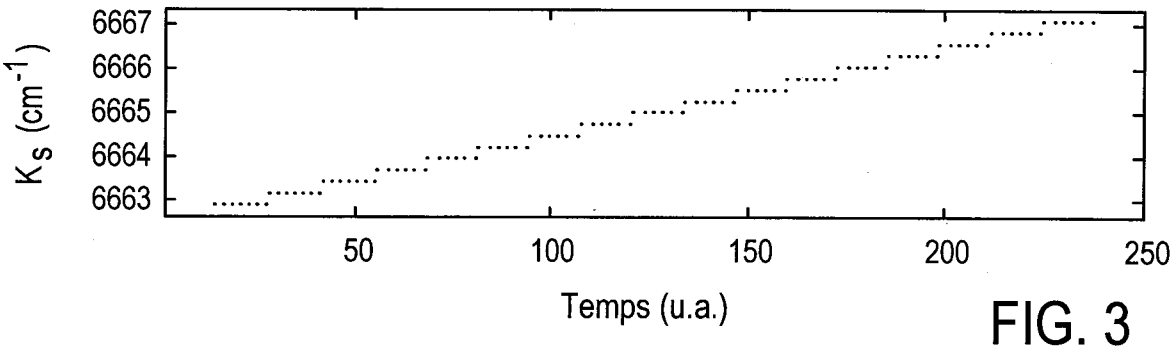


FIG. 3

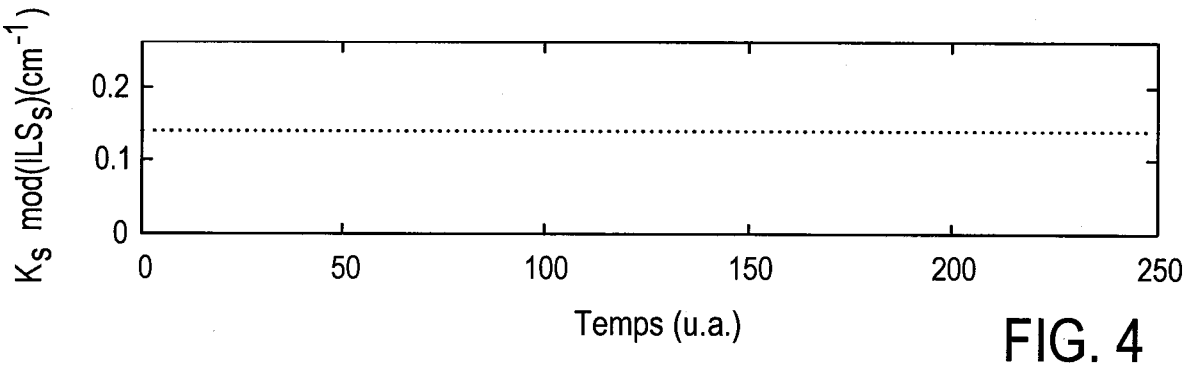


FIG. 4

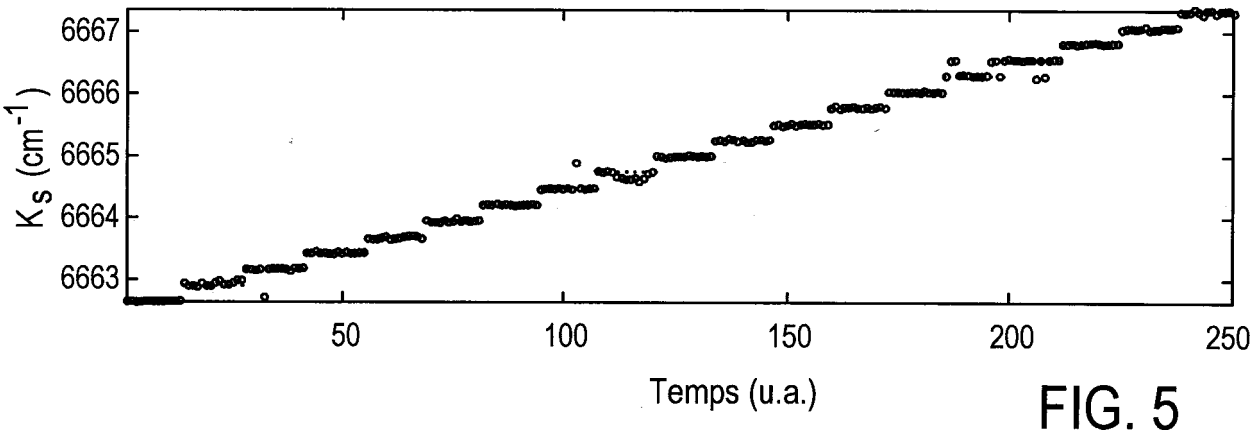


FIG. 5

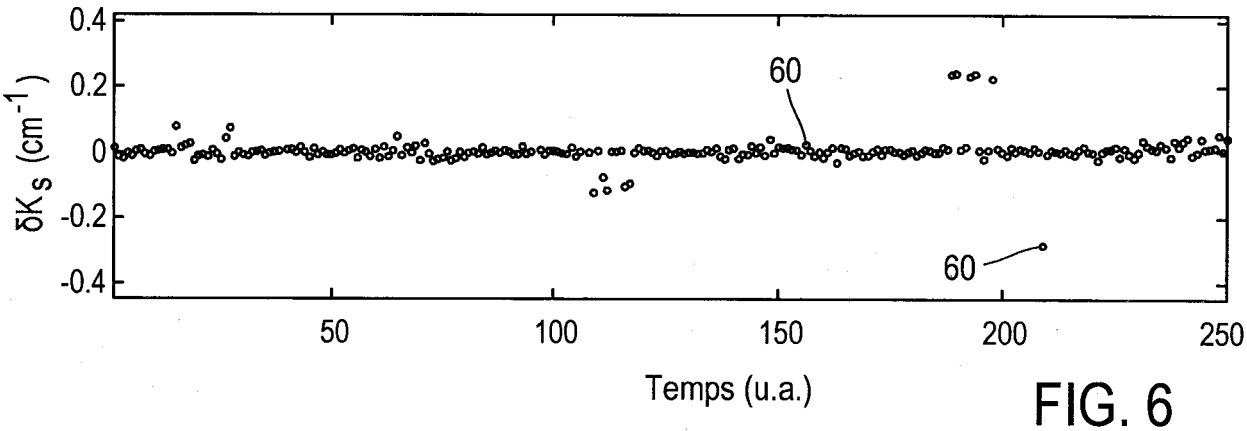


FIG. 6

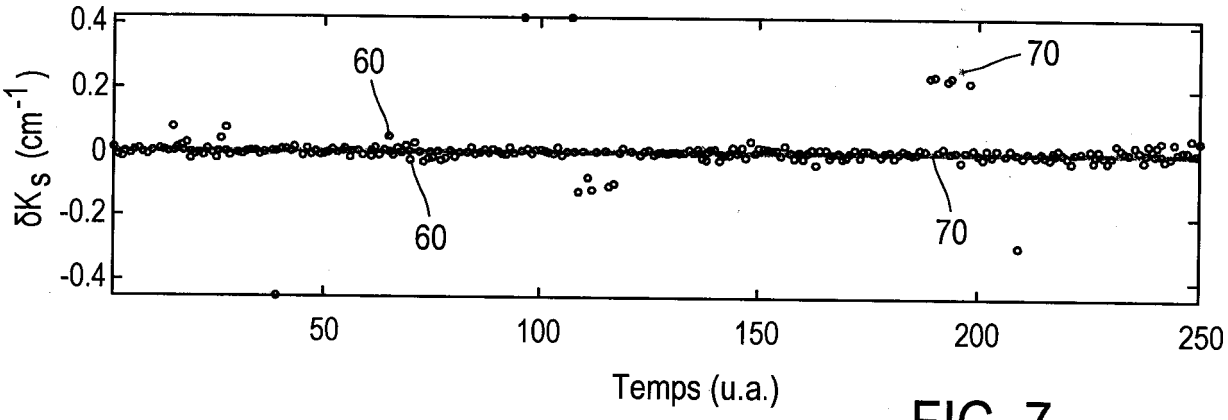


FIG. 7

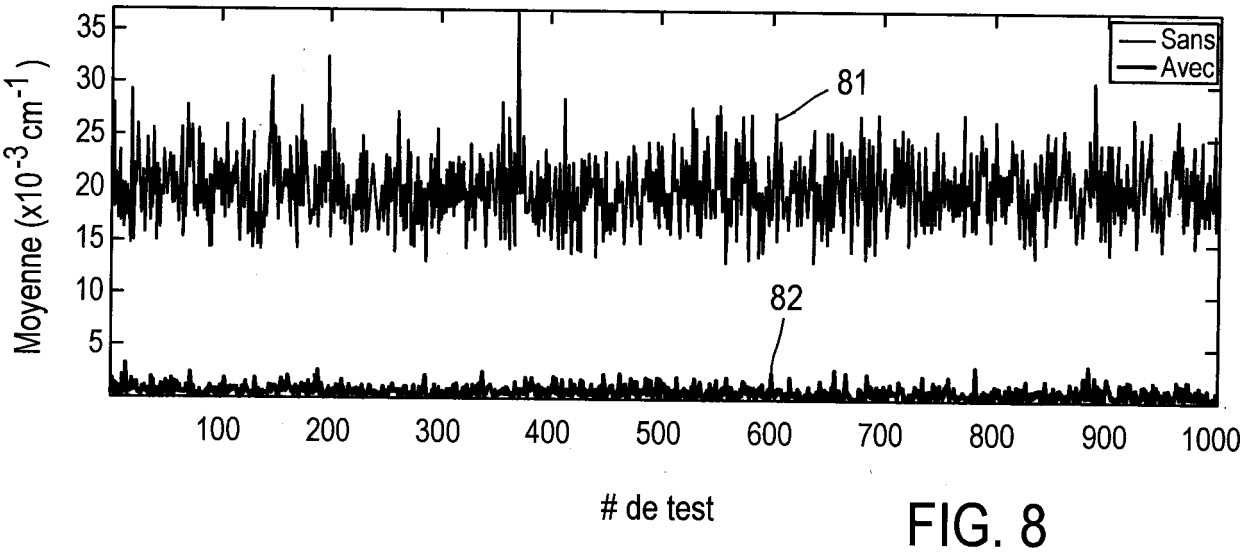


FIG. 8

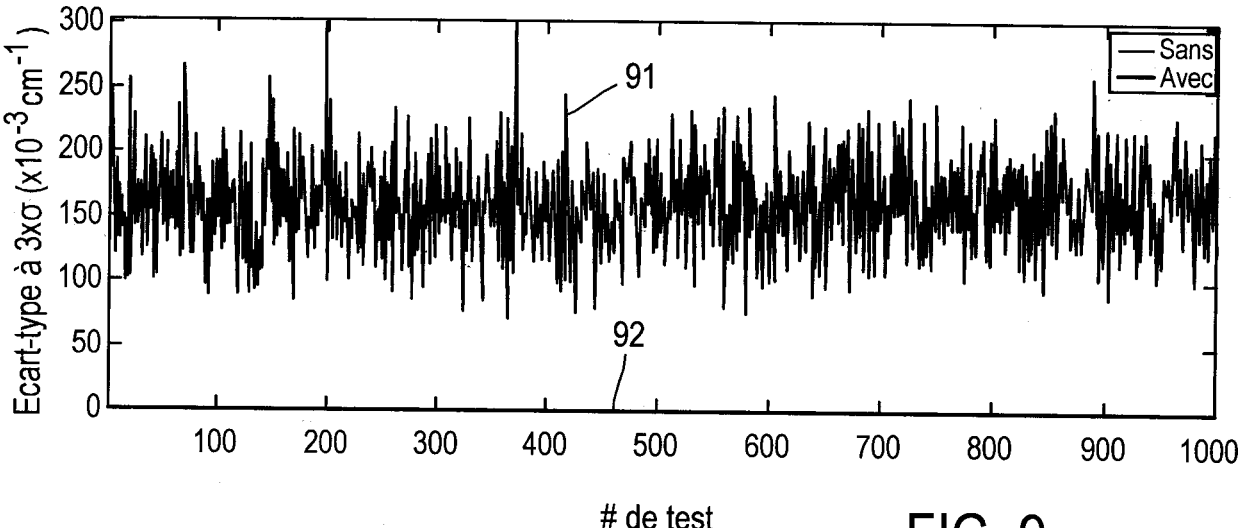


FIG. 9

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 (nouveauté) 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

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] 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.

[x] 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
US 6 498 800 B1 (WATTERSON REICH [US] ET AL) 24 décembre 2002 (2002-12-24) US 2006/215167 A1 (O'GORMAN NEAL [IE] ET AL) 28 septembre 2006 (2006-09-28) US 6 088 142 A (CAO XIAOFAN [US] ET AL) 11 juillet 2000 (2000-07-11)
2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL
NEANT
3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES
NEANT