

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 131 392**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **21 14529**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 T 1/16 (2022.01), G 06 T 7/11, 7/38, 5/00**

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 26.12.21.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 30.06.23 Bulletin 23/26.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Commissariat à l'Energie Atomique et  
aux Energies Alternatives Etablissement public à carac-  
tère industriel et commercial — FR.*

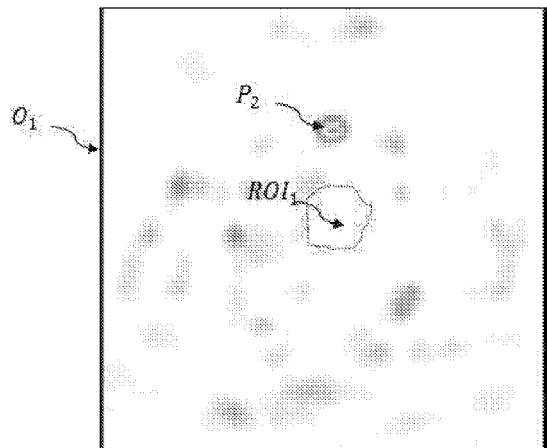
⑦② Inventeur(s) : MONTEMONT GUILLAUME.

⑦③ Titulaire(s) : Commissariat à l'Energie Atomique et  
aux Energies Alternatives Etablissement public à carac-  
tère industriel et commercial.

⑦④ Mandataire(s) : INNOV-GROUP.

⑤④ Procédé de formation et de traitement d'une image gamma.

⑤⑦ Procédé d'obtention et de traitement d'une image ac-  
quise par une gamma caméra, la gamma caméra compor-  
tant un détecteur configuré pour détecter des photons X ou  
gamma émis dans un champ d'observation ( $\Omega$ ) de la gam-  
ma caméra, pour obtenir une image reconstruite. L'image  
reconstruite correspond à une position de sources d'irradia-  
tion dans le champ d'observation, l'image reconstruite étant  
susceptible de comporter plusieurs régions d'intérêt corres-  
pondant à des points chauds. Le procédé comporte une sé-  
lection d'une région d'intérêt, de façon à déterminer une  
probabilité de présence du point chaud dans la région d'in-  
térêt sélectionnée.



FR 3 131 392 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de formation et de traitement d'une image gamma**

#### **Domaine technique**

[0001] Le domaine technique de l'invention est l'imagerie X ou gamma, et plus particulièrement la reconstruction de la position de sources irradiantes à l'aide d'une image acquise par une gamma caméra.

#### **ART ANTERIEUR**

[0002] Les gamma caméras sont des dispositifs permettant de former une image pour établir une cartographie de sources irradiantes dans un environnement donné. Une première application est la localisation d'une source irradiante dans une installation, et en particulier dans une installation nucléaire. Une autre application est la visualisation d'une source d'irradiation dans un organisme, à des fins de diagnostic médical.

[0003] Le recours à des gamma caméras dans le domaine médical est relativement ancien. Dans le nucléaire, ce type de dispositif a été développé dans les années 1990, et se répand dans les installations nucléaires, à des fins de caractérisation radiologique. L'objectif est d'identifier les principales sources irradiantes présentes dans une installation. En effet, les sources d'irradiation ne sont pas réparties de façon homogène. Elles sont souvent concentrées localement, sous la forme de "points chauds", terme usuel dans le domaine de la radioprotection. Une gamma caméra présente l'intérêt d'effectuer une localisation, à distance, de ces points chauds.

[0004] Une gamma caméra comporte un détecteur, dans lequel des photons gamma ou X incidents interagissent. On obtient ainsi une image acquise par la gamma caméra, représentative des positions, dans le détecteur, d'interactions détectées durant une période d'acquisition.

[0005] Des gamma caméras comportent un collimateur, délimitant le champ d'observation. L'image formée par la gamma caméra fait l'objet d'une reconstruction pour tenir compte de la présence du collimateur et, plus généralement, de la fonction de réponse de la gamma caméra. Ainsi, il est nécessaire de recourir à un algorithme de reconstruction, prenant en compte la fonction de réponse de la gamma caméra, pour obtenir une image reconstruite, représentant une position de sources irradiantes dans le champ d'observation. Le champ d'observation est généralement assimilé à une surface. L'image reconstruite correspond à une distribution spatiale de l'intensité d'émission de photons ionisants (X ou gamma) sur la surface. Le collimateur peut être un sténopé, auquel cas l'image de reconstruction correspond sensiblement à l'image formée sur la gamma caméra. Le collimateur peut être de type masque codé, auquel cas l'image de

reconstruction tient compte de la géométrie du masque codé.

[0006] Certaines gamma caméra ne comportent pas de collimateur, ce qui leur confère un champ d'observation étendu, pouvant être de  $4\pi$ . Il s'agit en particulier de gamma caméras Compton, permettant une localisation de points d'émission à partir de détections d'interactions résultant d'une diffusion Compton dans le matériau de détection. Dans ce cas, l'image acquise par la gamma caméra est tridimensionnelle, et comporte les positions 3D des interactions simultanées de photons durant la période d'acquisition. La fonction de réponse prend en compte les positions des interactions détectées simultanément, ainsi que l'énergie déposées dans le détecteur lors de chaque interaction.

[0007] L'inventeur a constaté que quelle que soit le type de gamma caméra, certains points chauds, apparaissant sur l'image reconstruite, peuvent résulter d'artéfacts de reconstruction, ou de l'influence de sources irradiantes situées à l'extérieur du champ observé. Il peut également s'agir de points chauds résultant de la détection du rayonnement diffusé dans ou autour du champ d'observation. Aussi, certains points chauds apparaissant sur l'image reconstruite n'ont pas de réalité physique. L'invention décrite ci-après répond à ce problème, en permettant d'assigner un niveau de confiance à chaque point chaud détecté. Le niveau de confiance correspond à une probabilité d'existence réelle du point chaud.

### **Exposé de l'invention**

[0008] Un premier objet de l'invention est un procédé d'obtention et de traitement d'une image acquise par une gamma caméra, la gamma caméra comportant un détecteur configuré pour détecter des photons X ou gamma émis dans un champ d'observation de la gamma caméra, le procédé comportant les étapes :

- [0009] a. formation d'une image gamma par la gamma caméra, l'image gamma correspondant à des positions d'interactions détectées par le détecteur au cours d'une période d'acquisition ;
- b. à partir de l'image gamma, prise en compte d'une fonction de réponse de la gamma caméra pour reconstruire une image, l'image reconstruite étant définie selon des pixels, chaque pixel correspondant à une position dans le champ d'observation, la valeur de chaque pixel correspondant à une intensité d'émission photonique à ladite position ;
- c. segmentation de l'image reconstruite en régions d'intérêt, chaque région d'intérêt comportant des pixels adjacents dont l'intensité est considérée comme homogène, et supérieure à un niveau de fond de l'image reconstruite, chaque région d'intérêt définissant une région de l'image reconstruite correspondant à une zone d'irradiation dite point chaud ;

- d. sélection d'une région d'intérêt parmi les zones d'intérêt définies dans c);
- e. correction de l'image reconstruite, à l'intérieur de la région d'intérêt sélectionnée en d), en remplaçant la valeur des pixels par une valeur prédéterminée ou une valeur représentative du niveau de fond de l'image reconstruite ;
- f. à l'aide de la fonction de réponse de la gamma caméra, et de l'image reconstruite corrigée résultant de e), simulation d'une image gamma qui serait acquise par la gamma caméra en l'absence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée ;
- g. à l'aide de la fonction de réponse de la gamma caméra, simulation d'une image gamma acquise par la gamma caméra à partir de l'image reconstruite résultant de b);
- h. comparaison des images gamma résultant de f), g) et a) de façon à déterminer une probabilité de présence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée.

[0010] L'étape h) vise notamment à déterminer, parmi les images gamma résultant de f) et g), l'image la plus proche de l'image résultant de a), qui correspond à l'image gamma mesurée.

[0011] Selon un mode de réalisation, l'étape f) comporte les sous-étapes :

- [0012] – f-i) application de la fonction de réponse de la gamma caméra à l'image reconstruite corrigée, résultant de e), pour obtenir une estimation de l'image gamma qui serait acquise par la gamma caméra en l'absence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée ;
- f-ii) application d'un recalage à l'image estimée dans f-i), de façon que façon à obtenir une image recalée, dont l'intensité totale est sensiblement égale à l'intensité de l'image acquise dans l'étape a), l'image recalée formant l'image gamma qui serait acquise par la gamma caméra en l'absence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée.

[0013] Lors de la sous-étape f-ii), le recalage peut être effectué en appliquant une fonction de recalage à l'image estimée dans la sous-étape f-i). La fonction de recalage peut être polynomiale, et paramétrée par des paramètres, la valeur des paramètres étant déterminée de façon à minimiser un écart entre l'image recalée et l'image gamma résultant de l'étape a). La fonction de recalage peut être une fonction linéaire, paramétrée par un paramètre de gain et un paramètre de biais.

[0014] L'étape h) peut comporter :

- [0015] – un calcul d'un facteur discriminant, le facteur discriminant correspondant à une comparaison entre :
  - la probabilité d'obtenir l'image gamma acquise dans a) lorsque

- l'image reconstruite est l'image obtenue lors de l'étape b) ;
    - la probabilité d'obtenir l'image gamma acquise dans a) en l'absence du point chaud correspondant à la région d'intérêt sélectionnée dans c);
  - un calcul de la probabilité de présence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée dans c) à partir du facteur discriminant.
- [0016] Selon un mode de réalisation,
- [0017] – l'étape c) comporte une détermination d'un niveau d'intensité dans chaque région d'intérêt ;
- les étapes c) à h) sont mises en œuvre successivement, en sélectionnant, successivement, chaque région d'intérêt par niveau d'intensité décroissant.
- [0018] Un autre objet de l'invention est une gamma caméra, destinée à détecter une présence de sources irradiantes dans un champ d'observation, la gamma caméra comportant :
- [0019] – un matériau détecteur, segmenté en différents pixels ;
- une mémoire, configurée pour mémoriser une quantité d'interactions détectées au cours d'une période d'acquisition et respectivement affectées dans chaque pixel ;
- une unité de traitement, configurée pour traiter les interactions mémorisées dans la mémoire, l'unité de traitement étant configurée pour mettre en œuvre les étapes b) à h) d'un procédé selon le premier objet de l'invention à partir des interactions détectées et mémorisées dans la mémoire.
- [0020] La gamma caméra peut notamment comporter un collimateur à masque codé, définissant le champ d'observation de la gamma caméra.
- [0021] L'invention sera mieux comprise à la lecture de l'exposé des exemples de réalisation présentés, dans la suite de la description, en lien avec les figures listées ci-dessous.

## **FIGURES**

- [0022] La [Fig.1] schématise une gamma caméra.
- [0023] La [Fig.2A] montre une image acquise par une gamma caméra.
- [0024] La [Fig.2B] est une image reconstruite à partir de l'image de la [Fig.2A].
- [0025] La [Fig.2C] est une image de la [Fig.2B] segmentée.
- [0026] La [Fig.3] schématise les principales étapes d'un procédé permettant une mise en œuvre de l'invention.
- [0027] La [Fig.4A] montre un exemple d'image construite corrigée en supprimant un point chaud de l'image 2B.
- [0028] La [Fig.4B] est une simulation d'une image acquise par la gamma caméra lorsque l'image corrigée de la [Fig.4A] correspond au champ d'observation.
- [0029] La [Fig.4C] est une simulation de l'image acquise par la gamma caméra lorsque

l'image de la [Fig.2B] correspond au champ d'observation.

[0030] La [Fig.4D] montre un exemple d'image construite corrigée en supprimant un autre point chaud de l'image 2B.

[0031] La [Fig.4E] est une simulation de l'image acquise par la gamma caméra lorsque l'image de la [Fig.4D] correspond au champ d'observation.

[0032] La [Fig.5] représente une détermination d'une probabilité associée à un point chaud.

[0033] Les figures 6A, 6B et 6C représentent des exemples de mise en œuvre de l'invention.

### **EXPOSE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**

[0034] La figure 1 représente une gamma caméra 1, permettant une mise en œuvre de l'invention. La gamma caméra 1 est configurée pour détecter des photons ionisants, de type X ou gamma, dont l'énergie est généralement comprise entre 10 keV et 10 MeV, dans un champ d'observation  $\Omega$ . Le champ d'observation  $\Omega$  s'étend autour d'un axe central  $\Delta$ . La gamma caméra 1 peut être couplée à une caméra visible, permettant de former une image visible du champ d'observation. Le terme gamma caméra correspond à un imageur présentant un champ d'observation et configuré pour former une image objet  $O$  permettant une localisation de sources d'irradiation dans le champ d'observation  $\Omega$ .

[0035] La gamma caméra 1 comporte un matériau détecteur 11, usuellement un matériau semi-conducteur permettant la création de porteurs de charge (paires électrons/trous) lors d'une interaction avec un rayonnement X ou gamma. Il peut par exemple s'agir de CdTe ou CdZnTe. D'une façon générale, le matériau détecteur est propice à interagir avec des photons ionisants, de manière à générer des porteurs de charges. Le matériau détecteur est de préférence un matériau semi-conducteur. De façon alternative, il peut s'agir d'un matériau scintillateur couplé à un photodétecteur.

[0036] La gamma caméra 1 comporte des pixels  $12_i$ , répartis selon une surface de détection 12. Généralement, les pixels  $12_i$  sont coplanaires et répartis selon une matrice bidimensionnelle, de préférence régulière. La matrice peut par exemple comporter quelques dizaines voire centaines ou milliers de pixels. Chaque pixel  $12_i$  peut être considéré comme un détecteur de rayonnement élémentaire.

[0037] Dans l'exemple représenté, la gamma caméra comporte un collimateur 10 pour délimiter le champ d'observation  $\Omega$  susceptible de comporter des sources irradiantes 5. Les pixels sont exposés à une irradiation, provenant des sources irradiantes du champ d'observation, durant une période d'acquisition. Au cours de la période d'acquisition, les pixels acquièrent des signaux de détection résultant de d'interactions de photons ionisants émis par les sources irradiantes situées dans le champ d'observation. Le collimateur 10 peut être de type sténopé ou masque codé. Dans l'exemple représenté, le collimateur 10 est de type masque codé. Lorsque le collimateur est de type masque codé, la fonction de réponse de la gamma caméra est telle que des sources irradiantes

situées en bordure du champ d'observation peuvent générer des artéfacts de reconstruction. Ces artéfacts peuvent être assimilés à des points chauds qui n'existent pas dans la réalité. Aussi, l'invention est particulièrement adaptée aux gamma caméras dont le collimateur est un collimateur à masque codé.

- [0038] De façon alternative, la gamma caméra peut être de type gamma caméra Compton, auquel cas la présence d'un collimateur n'est pas nécessaire. Une gamma caméra Compton comporte un circuit électronique spécifique, permettant d'estimer les positions respectives, et les énergies déposées, dans le matériau détecteur, de deux interactions temporellement coïncidentes, et d'estimer une direction de propagation du rayonnement incident.
- [0039] D'une façon générale, chaque interaction donne lieu à la formation d'un signal de détection par au moins un pixel, et le plus souvent plusieurs pixels. Le signal de détection peut être un signal résultant de la collecte de porteurs de charge par le pixel  $12_i$  ou un signal induit par la migration de porteurs de charge dans le matériau détecteur 11. Afin d'améliorer la résolution spatiale de l'image gamma, la gamma caméra peut comporter une unité de sous-pixellisation 14, programmée pour attribuer une position  $(x, y)$  de chaque interaction détectée, parallèlement à la surface de détection 12, à partir de signaux de détection formés par plusieurs pixels  $12_i$  adjacents suite à chaque interaction. L'unité de sous-pixellisation 14 divise chaque pixel  $12_i$  en pixels virtuels, ou sous-pixels. Le terme « pixel virtuel » désigne le fait qu'un pixel virtuel n'a pas de réalité physique : il résulte d'une segmentation virtuelle de chaque pixel physique  $12_i$ . Dans la suite de la description, le terme pixel désigne un point élémentaire de l'image gamma, qu'il s'agisse d'un pixel physique, en l'absence d'unité de sous-pixellisation, ou d'un pixel virtuel, en présence d'une telle unité.
- [0040] Sous l'effet d'une collecte de porteurs de charge, chaque pixel  $12_i$  génère une impulsion dont l'amplitude dépend de l'énergie libérée, dans le matériau détecteur, par un photon ionisant, au cours d'une interaction, cette énergie étant usuellement désignée « énergie de l'interaction ». De façon optionnelle et avantageuse, la gamma-caméra 1 comporte une unité de spectrométrie 15. L'unité de spectrométrie 15 permet une estimation aussi précise que possible de l'amplitude des impulsions résultant de la collecte de porteurs de charge suite à une interaction. L'unité de spectrométrie 15 peut comporter aussi bien des moyens électroniques (circuit de mise en forme d'impulsion, analyseur multicanal, convertisseur analogique numérique) que des moyens logiciels. L'estimation de l'amplitude d'une impulsion permet d'estimer l'énergie de l'interaction. Cette énergie doit être estimée aussi précisément que possible. La plage d'énergie adressée est généralement comprise entre 10 keV et quelques centaines de keV, voire quelques MeV. Il est souhaitable que la précision de l'énergie soit de l'ordre du %, voire inférieure.

- [0041] Ainsi, l'unité de spectrométrie 15 permet d'obtenir un spectre du rayonnement détecté par chaque pixel. L'unité de spectrométrie 15 permet de sélectionner des bandes d'énergies d'intérêt, correspondant à des photons non diffusés, c'est-à-dire des photons n'ayant pas été déviés depuis leur émission par la source d'irradiation. Chaque bande d'énergie  $E$  s'étend entre  $E \pm \delta E$ .  $2\delta E$  correspond alors à la largeur spectrale de chaque bande d'énergie. Par exemple,  $2\delta E = 0,2 \text{ keV}$ . Un avantage des gamma caméras spectrométriques est que la connaissance de l'énergie des photons détectés permet une identification des isotopes responsables de l'irradiation.
- [0042] La gamma caméra 1 comporte une mémoire 16, configurée pour mémoriser une quantité d'interactions  $M(x, y)$  respectivement affectées à chaque pixel de l'image gamma de position  $(x, y)$ . On peut ainsi former une image gamma  $M$ , qui correspond à l'ensemble des interactions détectées durant la période d'acquisition par l'ensemble des pixels. L'image gamma  $M$  est définie selon des coordonnées  $(x, y)$ , parallèlement à la surface de détection 12, chaque coordonnée  $(x, y)$  correspondant à un pixel de l'image gamma. Chaque point  $M(x, y)$  de l'image gamma  $M$  correspond à une quantité d'interactions assignées à un pixel 12<sub>i</sub> de coordonnées  $(x, y)$  sur la surface de détection 12. L'image gamma peut être formée pour l'ensemble des bandes d'énergie. De préférence, on forme une image gamma respectivement dans différentes bandes d'énergie. La [Fig.2A] montre un exemple d'image gamma acquise par une gamma caméra, dans une bande spectrale centrée sur l'énergie 662 keV, qui correspond à l'énergie d'émission de <sup>137</sup>Cs. On parle également d'image brute, car il s'agit d'une image résultant de la détection d'interactions par les pixels.
- [0043] La gamma caméra 1 comporte une unité de traitement 17, configurée pour former une image objet  $O$  à partir de l'image gamma  $M$ . La formation de l'image objet suit un algorithme de reconstruction, tenant compte de la fonction de réponse de la gamma caméra, en particulier du collimateur. L'image objet est définie selon différents pixels. Chaque pixel correspond à une position sur dans le champ d'observation. Dans l'exemple décrit, le champ d'observation  $\Omega$  est assimilé à une surface  $S\Omega$ , ce qui est usuel. Ainsi, chaque pixel de l'image objet  $O$  correspond à une position sur la surface  $S\Omega$ . La valeur de chaque pixel correspond à une intensité d'émission photonique, c'est-à-dire une quantité de photons émis par unité de temps.
- [0044] La figure 2B montre l'image objet  $O$  obtenue en appliquant un algorithme de reconstruction à l'image gamma  $M$  représentée sur la [Fig.2A]. Sur la [Fig.2B], on distingue deux points chauds  $P_1, P_2$ . Par point chaud, on entend une région de l'image, comportant plusieurs pixels adjacents, et dont l'intensité d'émission est supérieure à celle de pixels disposés autour de la région. Une image objet, ou image de reconstruction, est généralement composé d'un fond, dont le niveau d'intensité peut être variable, mais relativement faible. Elle peut comporter un ou plusieurs points chauds  $P_k$

, s'étendant sur plusieurs pixels, voire dizaines ou centaines de pixels, dont l'intensité est supérieure au fond.

[0045] La fonction de réponse de la gamma caméra est connue. Aussi, pour une image objet donnée, dans le champ d'observation, il est possible d'obtenir, par projection, une simulation de l'image gamma  $\hat{M}$  acquise par la gamma caméra. Le principe de la reconstruction est de minimiser une différence entre la projection  $\hat{M}$ , c'est-à-dire l'image gamma simulée, et l'image gamma  $M$  acquise par la gamma caméra. L'image  $M$  est une donnée mesurée. L'image  $\hat{M}$  est une donnée simulée, obtenue par projection d'une image objet  $O$  correspondant à une répartition spatiale de sources irradiantes dans le champ objet.

[0046] L'algorithme de reconstruction vise à minimiser une fonction de coût, correspondant à une erreur entre  $M$  et  $\hat{M}$ . On peut utiliser une méthode de type MLEM (Maximum Likelihood Expectation Maximisation – Maximum de vraisemblance par espérance maximisation). Dans ce cas, la fonction de coût est :

$$[0047] \quad D(M : \hat{M}) = \sum_{pixels} \left( M \cdot \ln\left(\frac{M}{\hat{M}}\right) - M + \hat{M} \right) \quad (1)$$

[0048] où  $\hat{M}$  correspond à l'estimation de l'image gamma acquise par la gamma caméra correspondant au champ d'observation défini par une image reconstruite  $O$ . L'objectif de la reconstruction est d'estimer l'image reconstruite  $O$  pour laquelle la fonction de coût est minimale.

[0049] Dans l'expression (1), la fonction de coût est une divergence de Kullback-Leibler. Un autre type de fonction de coût peut être utilisé, par exemple une minimisation de l'erreur quadratique :

$$[0050] \quad \varepsilon(M : \hat{M}) = \sum_{pixels} (M - \hat{M})^2 \quad (2)$$

[0051] Comme indiqué dans l'art antérieur, certains points chauds peuvent résulter d'artéfacts de reconstruction, ou de l'influence de sources d'irradiation en dehors du champ d'observation. De tels points chauds n'ont pas de réalité physique. L'unité de traitement 17 met en œuvre un traitement, dont les principales étapes sont schématisées sur la [Fig.3]. Les étapes 100 et 110 sont classiques. La mise en œuvre de l'invention correspond aux étapes 120 à 180.

[0052] Etape 100 : acquisition de l'image gamma  $M$ .

[0053] Etape 110 : reconstruction de l'image  $O$  du champ d'observation. Cette étape est mise en œuvre par minimisation d'une fonction de coût, comme décrit en lien avec (1) et (2). L'image reconstruite correspond à l'image objet.

[0054] Etape 120 : segmentation des points chauds.

[0055] Au cours de cette étape, l'image reconstruite  $O$  est segmentée, de façon à séparer, les unes des autres, différentes régions d'intérêt  $ROI_k$  correspondant respectivement à

différents points chauds  $P_k$ . Chaque région d'intérêt comporte des pixels, adjacents les uns des autres, dont l'intensité est comparable, ou considérée comme comparable.  $k$  est un entier correspondant à un rang de chaque région d'intérêt  $ROI_k$ . La segmentation est effectuée à l'aide d'un algorithme dédié, par exemple de type ligne de partage des eaux, avantageusement précédé d'un filtre passe-bas.

[0056] La figure 2C représente une segmentation de l'image reconstruite de la figure 2B. On observe deux régions d'intérêt  $ROI_1$ ,  $ROI_2$  correspondant respectivement aux deux principaux points chauds  $P_1$ ,  $P_2$  observés sur la figure 2B. A chaque région d'intérêt est assignée une intensité, correspondant par exemple à l'intensité maximale parmi les intensités des pixels appartenant à la région d'intérêt, ou la somme ou la moyenne des intensités des pixels dans la région d'intérêt considérée. Cela permet de hiérarchiser les différentes régions d'intérêt en fonction de leur intensité respective. Sur la figure 2C, on a également représenté des régions d'intérêt secondaires. Le niveau de gris assigné à chaque région d'intérêt correspond à l'intensité de la région d'intérêt. Le rang  $k$  d'une région d'intérêt est alors d'autant plus élevé que l'intensité de la région d'intérêt est faible.

[0057] Etape 130 : sélection d'une région d'intérêt.

[0058] Au cours de cette étape, une des régions d'intérêt  $ROI_k$  est sélectionnée. De préférence, une seule région d'intérêt est sélectionnée.

[0059] Etape 140 : correction de l'image reconstruite dans la région d'intérêt sélectionnée.

[0060] On forme ensuite une image reconstruite corrigée  $O_k$ , qui correspond à l'image reconstruite  $O$  dans laquelle, dans la région d'intérêt  $ROI_k$ , les pixels sont remplacés par une valeur de fond. Cela revient à appliquer un masque à l'image reconstruite  $O$ , le masque correspondant à la région d'intérêt  $ROI_k$  résultant de la segmentation. Dans l'image reconstruite  $O$ , le contenu de la région d'intérêt  $ROI_k$  est remplacé par une valeur de fond, représentative d'un fond de l'image reconstruite  $O$ . Ainsi, dans la région d'intérêt  $ROI_k$ , la valeur de chaque pixel de l'image reconstruite  $O$  est remplacée par la valeur de fond. La valeur de fond peut être une valeur uniforme, correspondant à la moyenne de l'image reconstruite  $O$ . La valeur de fond peut également être obtenue par extrapolation à partir des pixels de l'image reconstruite  $O$  délimitant la région d'intérêt. La valeur de fond peut également être une valeur arbitraire définie par un utilisateur.

[0061] On comprend que la segmentation de l'image reconstruite permet de délimiter une région d'intérêt, de façon à pouvoir, par la suite, modifier la valeur des pixels de l'image reconstruite dans la région d'intérêt sélectionnée.

[0062] La figure 4A montre une image reconstruite corrigée  $O_1$  ( $k = 1$ ). Cette image a été obtenue en assignant, dans l'image  $O$  représentée sur l'image 2A, les pixels appartenant par la région d'intérêt  $ROI_1$ , représentée sur l'image segmentée de la figure

2B, d'une valeur correspondant à la valeur moyenne de l'image  $O$ . Sur la [Fig.4A], on a représenté en pointillés le contour de la région d'intérêt considérée.

[0063] Etape 150 : Projection

[0064] Au cours de cette étape, on simule une image gamma  $\hat{M}_k$  qui serait acquise par la gamma caméra si le champ d'observation était défini par l'image corrigée  $O_k$ , c'est-à-dire en l'absence du point chaud  $P_k$  correspondant à la région d'intérêt  $ROI_k$ . Cette étape est effectuée en prenant en compte la fonction de réponse de la caméra. La figure 4B montre l'image gamma  $\hat{M}_i$  obtenue en appliquant la fonction de réponse de la gamma caméra à l'image objet  $O_i$  représentée sur la [Fig.4A].

[0065] La figure 4C montre l'image  $\hat{M}_0$  qui correspond à l'image considérée comme la plus proche de l'image  $M$  acquise de la gamma caméra, représentée sur la figure 2A, lors de la reconstruction de l'image  $O$ .  $\hat{M}_0$  est une modélisation de l'image gamma acquise en appliquant la fonction de réponse de la gamma caméra à l'image  $O$  représentée sur la figure 2B. La comparaison entre l'image acquise  $M$  et l'image  $\hat{M}_0$  montre que l'image acquise  $M$  est plus granuleuse, du fait du pas de chaque pixel, que l'image  $\hat{M}_0$ , cette dernière résultant d'un calcul. Aussi, l'image  $\hat{M}_0$  correspond à une image approchant l'image  $M$ , sans être identique à cette dernière.

[0066] On observe que l'image  $\hat{M}_1$  est sensiblement différente de l'image  $\hat{M}_0$ . Cela indique, qualitativement qu'en supprimant la région d'intérêt  $ROI_1$ , l'image acquise par la gamma caméra serait significativement différente de l'image acquise  $M$ , puisque  $\hat{M}_0$  est une image considérée comme approchant  $M$ . Le fait que  $\hat{M}_1$  soit différente de  $\hat{M}_0$  suggère que le point chaud correspondant à la région d'intérêt  $ROI_1$  est réel.

[0067] Etape 160 : Comparaison de  $\hat{M}_k$  et de  $M$

[0068] L'objectif de cette étape est d'effectuer une comparaison entre  $M$  et  $\hat{M}_k$ .

[0069] L'intensité totale de l'image gamma  $\hat{M}_k$  résultant de l'étape ne peut être qu'inférieure à l'intensité totale de l'image gamma  $M$  acquise lors de l'étape 100. Cela est dû au fait que l'intensité totale de l'image corrigée  $O_k$  est inférieure à l'intensité totale de l'image reconstruite  $O$ , suite à la suppression du point chaud  $P_k$ . Par intensité totale d'une image, on entend la somme des pixels de l'image.

[0070] Afin de pouvoir être comparée à l'image acquise  $M$ , un recalage est appliqué à l'image  $\hat{M}_k$ , de façon que suite au recalage, l'intensité totale de l'image  $\hat{M}_k$  corresponde sensiblement à l'intensité totale de l'image  $M$ . Par sensiblement, on entend à une tolérance près, par exemple à  $\pm 10\%$  près.

[0071] Pour effectuer un tel recalage, on prend en compte une fonction de recalage para-

métrique  $f_k$ , par exemple polynômiale. On détermine ensuite les paramètres  $\theta_k$  de la fonction pour lesquels l'image recalée  $f_k(\hat{M}_k)$  est la plus proche de l'image acquise  $M$ .

[0072] L'écart peut être quantifié par la divergence de Kullback Leibler, auquel cas il correspond à l'expression :

$$[0073] \quad D_{min, k} = \min_{\theta_k} D(M : f_k(\hat{M}_k)) \quad (3)$$

[0074] où  $D$  correspond à l'opérateur divergence de Kullback Leibler explicité dans (1)

[0075] La fonction polynomiale  $f_k$  est par exemple une fonction linéaire, paramétrée par un gain  $a_k$  et un biais (ou offset)  $b_k$ . Dans ce cas, il faut déterminer les paramètres  $a_k$  et  $b_k$  minimisant un écart entre  $\hat{M}_k$  et  $M$ .

[0076] Dans ce cas, (3) devient :

$$[0077] \quad D_{min, k} = \min_{\theta_k} D(M : a_k \hat{M}_k + b_k) \quad (4)$$

[0078] La minimisation de (4) peut être effectuée de façon itérative, par un algorithme de mise à l'échelle itérative (iterative scaling). Au cours de chaque itération  $n$ , ( $n \geq 1$ ) les valeurs des paramètres  $a_k^n$  et  $b_k^n$  sont mises à jour selon les expressions :

$$[0079] \quad a_k^n = a_k^{n-1} \frac{\sum_{pixels} \hat{M}_k \frac{M}{a_k^{n-1} \hat{M}_k + b_k^{n-1}}}{\sum_{pixels} \hat{M}_k} \quad (5)$$

$$[0080] \quad b_k^n = b_k^{n-1} \frac{\sum_{pixels} \frac{M}{a_k^{n-1} \hat{M}_k + b_k^{n-1}}}{N_{pixels}} \quad (5')$$

[0081] où  $N_{pixels}$  correspond au nombre de pixels de l'image gamma.

[0082] L'algorithme itératif est initialisé à partir de valeurs  $a_k^{n=0}$  et  $b_k^{n=0}$  arbitraires, par exemple égales à 1.

[0083] A l'issue de cette étape, on dispose d'une image recalée  $f_k(\hat{M}_k)$ , la plus proche possible de l'image gamma  $M$  au niveau de l'intensité des pixels.

[0084] Le recalage peut être effectué plus simplement, en comparant les intensités respectives des images gamma  $M$  et  $\hat{M}_k$ , et en répartissant aléatoirement le différentiel des intensités dans l'image  $\hat{M}_k$ , de façon que les intensités totales de chaque image soient égales. Un tel mode de réalisation, plus simple, est toutefois moins précis.

[0085] Etape 170 : Calcul d'un facteur discriminant.

[0086] Au cours de l'étape 170, on cherche à estimer si l'image  $\hat{M}_k$ , après recalage par la fonction de recalage  $f_k$  est statistiquement séparable de l'image  $M$ . On note  $\hat{M}_k^*$

l'image  $\hat{M}_k$  recalée.

$$[0087] \quad \hat{M}_k^* = f_k(\hat{M}_k)$$

[0088] Cette étape comporte un calcul d'un facteur discriminant, ou facteur de Bayes  $\lambda_k$ , tel que :

$$[0089] \quad \lambda_k(M) = \log \frac{p(M|\hat{M}_0)}{p(M|\hat{M}_k^*)} \quad (6)$$

- [0090] •  $\hat{M}_0$  correspond à l'estimation de  $M$  lorsque l'image reconstruite est l'image  $O$  résultant de l'étape 110, avec l'ensemble des points chauds.  $\hat{M}_0$  est obtenue par application de la fonction de réponse de la gamma caméra à l'image reconstruite  $O$ . Il s'agit de l'image représentée sur la [Fig.4C].
- $p(M|\hat{M}_0)$  correspond à une probabilité d'observer  $M$  lorsque l'image reconstruite est l'image  $O$  ;
- $p(M|\hat{M}_k^*)$  correspond à une probabilité d'observer  $M$  lorsque l'image reconstruite est l'image corrigée  $O_k$  résultant de l'étape 140, en prenant en compte le recalage effectué au cours de l'étape 160.

[0091]  $\lambda_k(M)$  peut être estimé en utilisant la divergence de Kullback Leibler :

$$[0092] \quad \lambda_k(M) = D(M; \hat{M}_k^*) - D(M; \hat{M}_0) \quad (7) \text{ où } D \text{ est l'opérateur divergence de Kullback Leibler explicitée dans (1).}$$

[0093] d'où :

$$[0094] \quad \lambda_k(M) = \sum_{pixels} \left( M \ln \left( \frac{\hat{M}_0}{\hat{M}_k^*} \right) - \hat{M}_0 + \hat{M}_k^* \right) \quad (8)$$

[0095] Plus le facteur discriminant  $\lambda_k(M)$  est élevé, plus la probabilité  $p(M|\hat{M}_k^*)$  est faible par rapport à  $p(M|\hat{M}_0)$ . Plus  $\lambda_k(M)$  est élevé, plus le point chaud  $P_k$  est à considérer comme un « vrai positif ». A l'inverse, plus  $\lambda_k(M)$  est faible, plus le point chaud  $P_k$  tend à être considéré comme faux positif. Ainsi, plus  $\lambda_k(M)$  est élevé, plus le niveau de confiance que l'on peut assigner au point chaud correspondant à la région d'intérêt  $ROI_k$  est élevé. Lorsque  $\lambda_k(M) = 0$ , la probabilité que le point chaud  $P_k$  soit un faux positif est égale à celle qu'il soit un vrai positif.

[0096] Ainsi, le facteur discriminant permet une quantification d'un niveau de confiance attribué au point chaud  $P_k$  correspondant à la région d'intérêt  $ROI_k$ .

[0097] Etape 180 : calcul d'une probabilité

[0098] Comme précédemment indiqué, le facteur discriminant  $\lambda_k(M)$  représente un facteur de discrimination entre deux probabilités. On peut calculer, à partir de  $\lambda_k(M)$ , une coordonnée  $x_k$ , telle que :

[0099] 
$$x_k = \frac{\lambda_k(M)}{\sqrt{|\lambda_k(M)|}} \quad (10)$$

[0100] On peut estimer une probabilité à partir de la coordonnée  $x_k$  selon une fonction de probabilité, par exemple telle que :

[0101] 
$$P(x_k) = \frac{1}{2}(1 + \operatorname{erf}(x_k - \beta)) \quad (11)$$

[0102]  $\beta$  est une valeur d'offset (biais) correspondant à un taux de faux positifs accepté.

[0103] Le recours à la fonction *erf* (primitive de la gaussienne) permet d'obtenir une probabilité suivant une loi de distribution gaussienne.

[0104] Les étapes 130 à 180 peuvent être réitérées en sélectionnant, lors de chaque itération, une, et de préférence une seule, région d'intérêt différente. Selon une possibilité, les étapes 130 à 180 sont effectuées par ordre décroissant de l'intensité attribuée à chaque région d'intérêt : elles sont tout d'abord mises en œuvre en commençant par les points chauds les plus intenses.

[0105] La figure 4D montre une image reconstruite corrigée  $O_2$  ( $k = 2$ ). Cette image a été obtenue en assignant, dans l'image  $O$  représentée sur l'image 2A, les pixels appartenant par la région d'intérêt  $ROI_2$ , représentée sur l'image segmentée de la figure 2B, d'une valeur correspondant à la valeur moyenne de l'image  $O$ . Sur la figure 4D, on a représenté en pointillés le contour de la région d'intérêt considérée. La figure 4E montre l'image  $\hat{M}_2$  correspondant à l'image gamma obtenue en appliquant la fonction de réponse de la gamma caméra à l'image  $O_2$  représentée sur la figure 4D. On observe que l'image  $\hat{M}_2$  est plus proche de l'image  $\hat{M}_0$  que ne l'est l'image  $\hat{M}_1$ . Cela indique, qualitativement qu'en supprimant la région d'intérêt  $ROI_2$ , l'image acquise par la gamma caméra varie dans une moindre mesure qu'en supprimant la région d'intérêt  $ROI_1$ . Le niveau de confiance que l'on peut assigner au point chaud  $P_2$  est donc plus faible que le niveau de confiance que l'on peut assigner au points chaud  $P_1$ .

[0106] La figure 5 représente la fonction  $P(x_k)$  telle qu'explicitée dans (11). D'autres types de fonction strictement croissantes sont utilisables à la place de la fonction *erf*, par exemple une fonction sigmoïde, une fonction arctangente, tangente hyperbolique... Sur la figure 5, on a considéré  $\beta = 0$  (courbe a). La courbe b correspond à  $\beta = 10$ . Sur la figure 5, l'axe des abscisses correspond à la valeur  $x_k$  et l'axe des ordonnées correspond à la probabilité de présence du point chaud.

[0107] L'inventeur a mis en œuvre l'invention sur des images acquises par une gamma caméra à masques codés. La [Fig.6A] montre une image, acquise en laboratoire de sources ponctuelles de  $^{137}\text{Cs}$ . Les valeurs de débit de dose indiquées correspondent à des mesures effectuées au contact. Sur chaque source, un niveau de confiance a été attribué. Les points chauds dont les niveaux de confiance sont les plus faibles résultent d'artéfacts de reconstruction : ils n'ont pas de réalité physique. L'invention permet de

ne pas les prendre en compte. On comprend que l'invention est particulièrement utile lorsque la gamma caméra met en œuvre un collimateur à masque codé.

[0108] Les figures 6B et 6C sont des images effectuées sur une installation nucléaire, en présence d'un fort rayonnement diffusé. Dans ce type d'environnement, l'invention peut permettre, en fonction du niveau de confiance, de distinguer un point chaud réel, d'un point chaud formé sur l'image reconstruite sous les effets combinés de la diffusion, de potentielles sources d'irradiation en dehors du champ d'observation, ainsi que d'artéfacts de reconstruction. Sur les figures 6B et 6C, l'application de l'invention permet de ne pas prendre en compte les points chauds dont les probabilités associées sont faibles.

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé d'obtention et de traitement d'une image acquise par une gamma caméra, la gamma caméra comportant un détecteur configuré pour détecter des photons X ou gamma émis dans un champ d'observation ( $\Omega$ ) de la gamma caméra, le procédé comportant les étapes :

- a. formation d'une image gamma par la gamma caméra ( $M$ ), l'image gamma correspondant à des positions d'interactions détectées par le détecteur au cours d'une période d'acquisition ;
- b. à partir de l'image gamma, prise en compte d'une fonction de réponse de la gamma caméra pour reconstruire une image, l'image reconstruite ( $O$ ) étant définie selon des pixels, chaque pixel correspondant à une position dans le champ d'observation, la valeur de chaque pixel correspondant à une intensité d'émission photonique à ladite position ;
- c. segmentation de l'image reconstruite en régions d'intérêt ( $ROI_k$ ), chaque région d'intérêt comportant des pixels adjacents dont l'intensité est considérée comme homogène, et supérieure à un niveau de fond de l'image reconstruite, chaque région d'intérêt définissant une région de l'image reconstruite correspondant à une zone d'irradiation dite point chaud ( $P_k$ );
- d. sélection d'une région d'intérêt parmi les zones d'intérêt définies dans c);
- e. correction de l'image reconstruite, à l'intérieur de la région d'intérêt sélectionnée en d), en remplaçant la valeur des pixels par une valeur prédéterminée ou une valeur représentative du niveau de fond de l'image reconstruite ;
- f. à l'aide de la fonction de réponse de la gamma caméra, et de l'image reconstruite corrigée ( $O_k$ ) résultant de e), simulation d'une image gamma ( $\hat{M}_k^*$ ) qui serait acquise par la gamma caméra en l'absence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée ;
- g. à l'aide de la fonction de réponse de la gamma caméra, simulation d'une image gamma ( $\hat{M}_0$ ) acquise par la gamma caméra à partir de l'image reconstruite ( $O$ ) résultant de b);

- h. comparaison des images gamma résultant de f), g) et a) de façon à déterminer une probabilité de présence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée.

[Revendication 2] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape f) comporte :

- f-i) application de la fonction de réponse de la gamma caméra à l'image reconstruite corrigée ( $O_k$ ), résultant de e), pour obtenir une estimation ( $\hat{M}_k$ ) de l'image qui serait acquise par la gamma caméra en l'absence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée ;
- f-ii) application d'un recalage à l'image estimée dans f-i), de façon que façon à obtenir une image recalée ( $\hat{M}_k^*$ ), dont l'intensité totale est sensiblement égale à l'intensité de l'image acquise dans l'étape a), l'image recalée formant l'image gamma qui serait acquise par la gamma caméra en l'absence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel le recalage est effectué en appliquant une fonction de recalage à l'image estimée dans la sous-étape f-i).

[Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel la fonction de recalage ( $f_k$ ) est polynomiale, et paramétrée par des paramètres ( $\theta_k$ ), la valeur des paramètres étant déterminée de façon à minimiser un écart ( $D(M : f_k(\hat{M}_k))$ ) entre l'image recalée et l'image gamma résultant de l'étape a).

[Revendication 5] Procédé selon la revendication 3, dans laquelle la fonction de recalage est une fonction linéaire, paramétrée par un paramètre de gain et un paramètre de biais.

[Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape h) comporte :

- un calcul d'un facteur discriminant ( $\lambda_k(M)$ ), le facteur discriminant correspondant à une comparaison entre :
  - la probabilité d'obtenir l'image gamma ( $M$ ) acquise dans a) lorsque l'image reconstruite ( $O$ ) est l'image

- obtenue lors de l'étape b) ;
- la probabilité d'obtenir l'image gamma acquise dans a) en l'absence du point chaud correspondant à la région d'intérêt sélectionnée dans c);
- un calcul de la probabilité de présence du point chaud dans la région d'intérêt sélectionnée dans c) à partir du facteur discriminant.

[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :

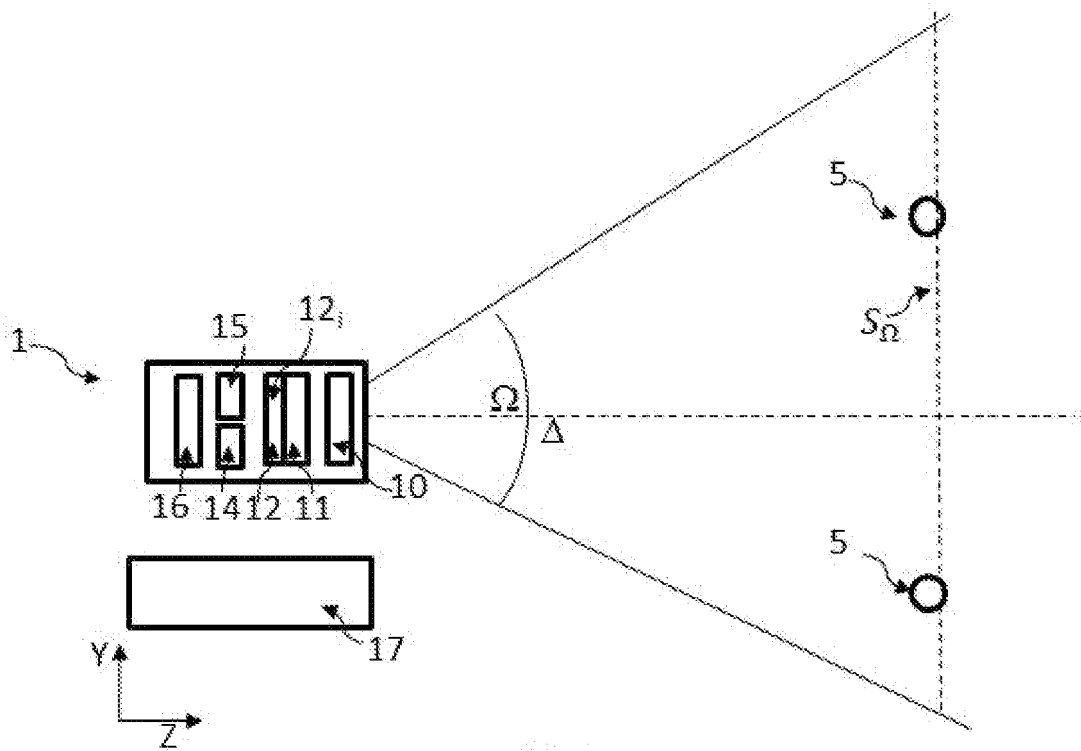
- l'étape c) comporte une détermination d'un niveau d'intensité dans chaque région d'intérêt ;
- les étapes c) à h) sont mises en œuvre successivement, en sélectionnant, successivement, chaque région d'intérêt par niveau d'intensité décroissant.

[Revendication 8] Gamma caméra (1), destinée à détecter une présence de sources irradiantes (5) dans un champ d'observation ( $\Omega$ ), la gamma caméra comportant :

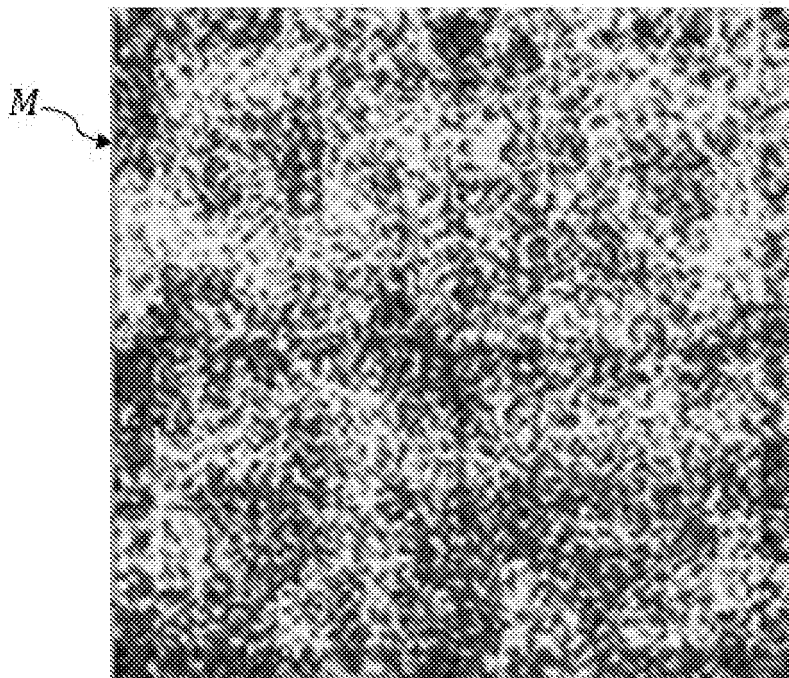
- un matériau détecteur (11), segmenté en différents pixels ;
- une mémoire (16), configurée pour mémoriser une quantité d'interactions détectées au cours d'une période d'acquisition et respectivement affectées dans chaque pixel ;
- une unité de traitement (17), configurée pour traiter les interactions mémorisées dans la mémoire, l'unité de traitement étant configurée pour mettre en œuvre les étapes b) à h) d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 à partir des interactions détectées et mémorisées dans la mémoire (16).

[Revendication 9] Gamma caméra selon la revendication 8, comportant un collimateur à masque codé, définissant le champ d'observation de la gamma caméra.

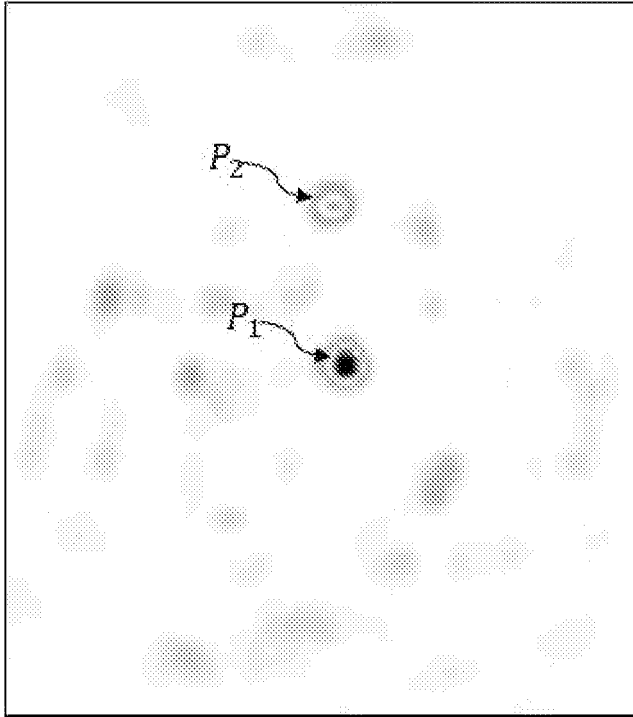
[Fig. 1]

**Fig. 1**

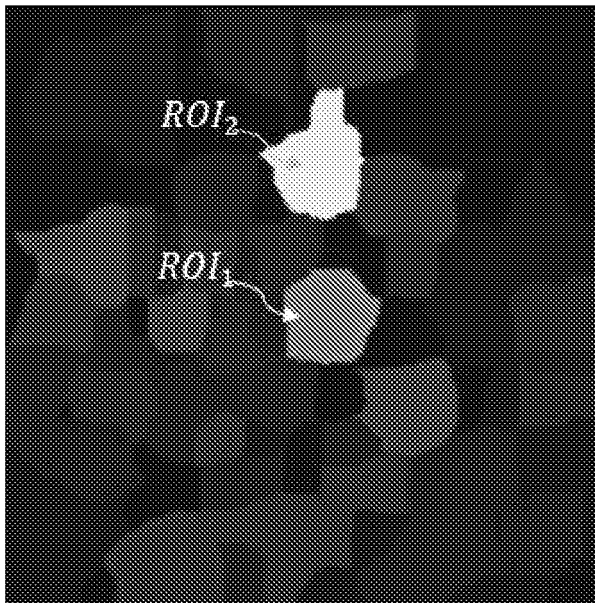
[Fig. 2A]

**Fig. 2A**

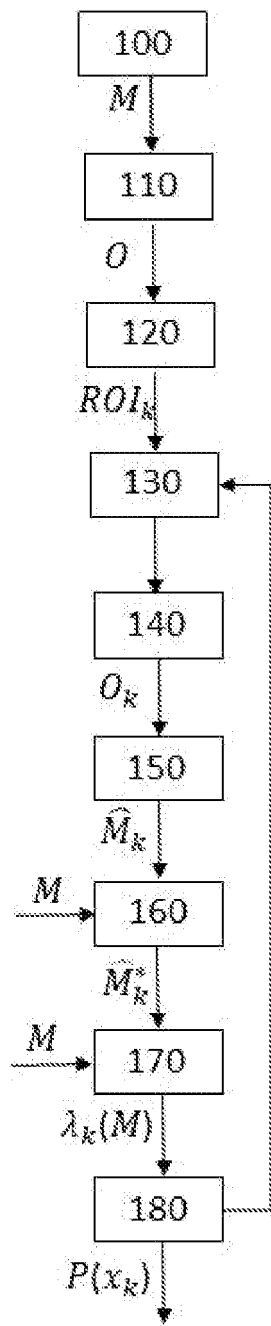
[Fig. 2B]

**Fig. 2B**

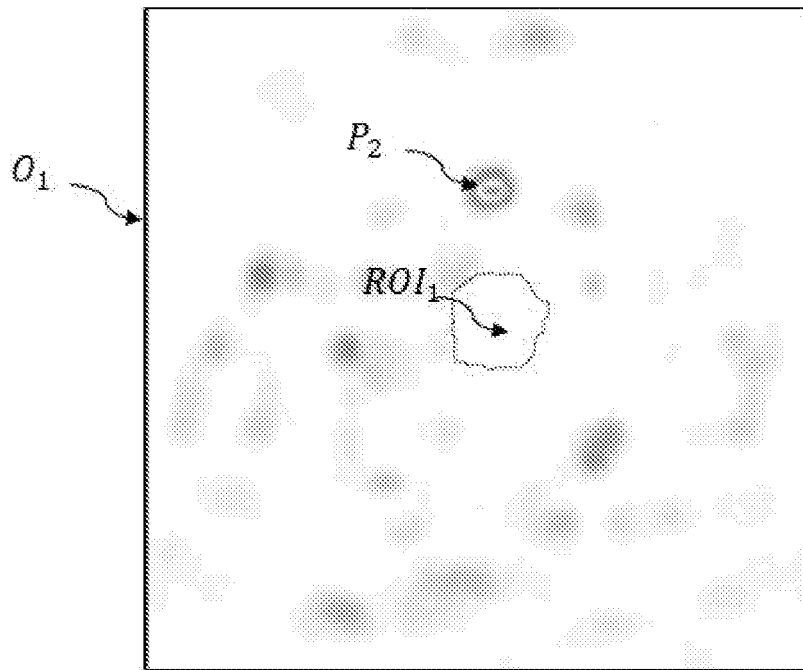
[Fig. 2C]

**Fig. 2C**

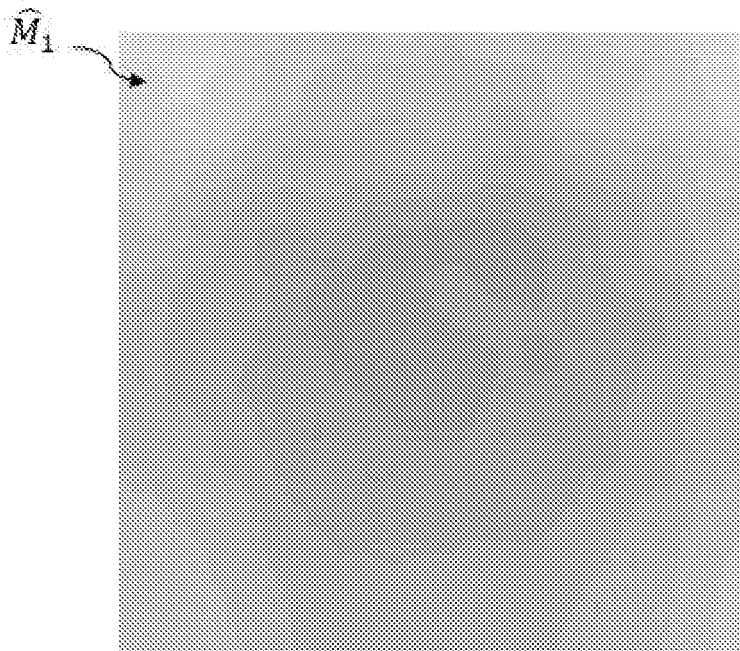
[Fig. 3]

**Fig. 3**

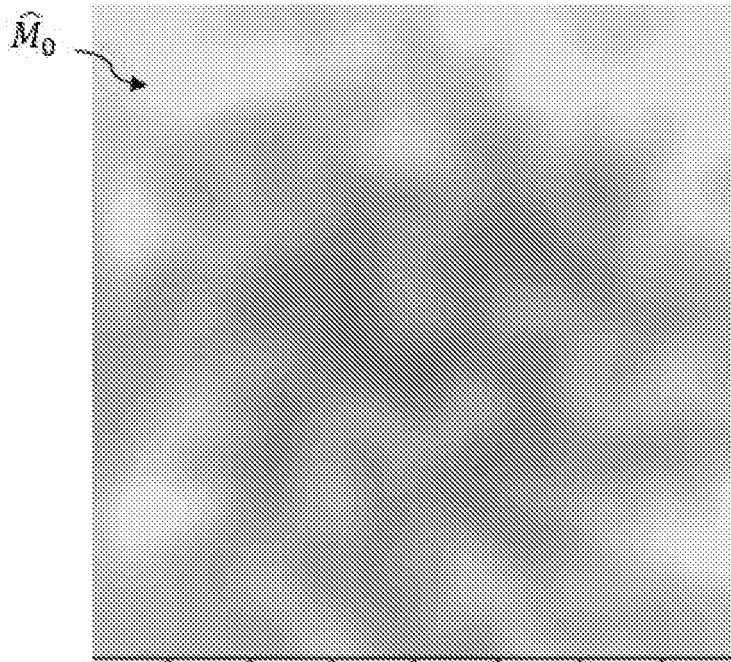
[Fig. 4A]

**Fig. 4A**

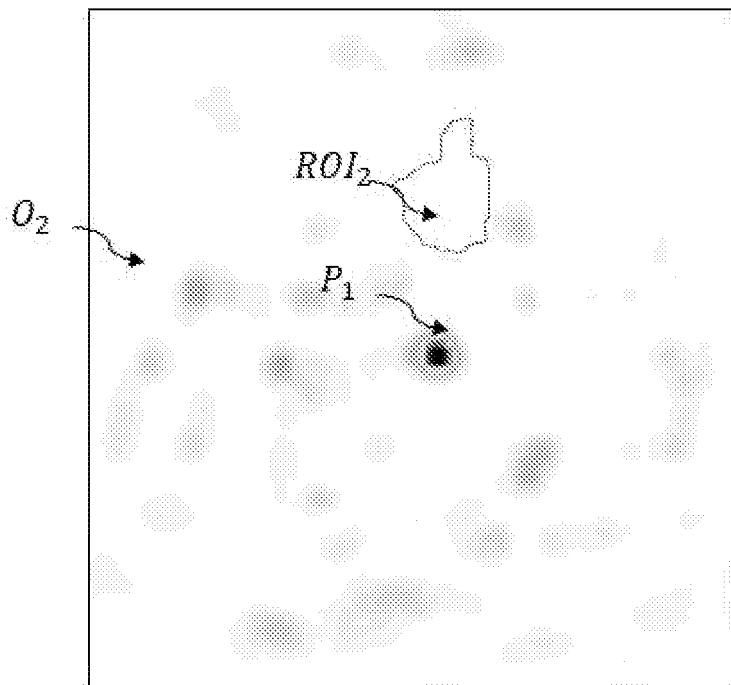
[Fig. 4B]

**Fig. 4B**

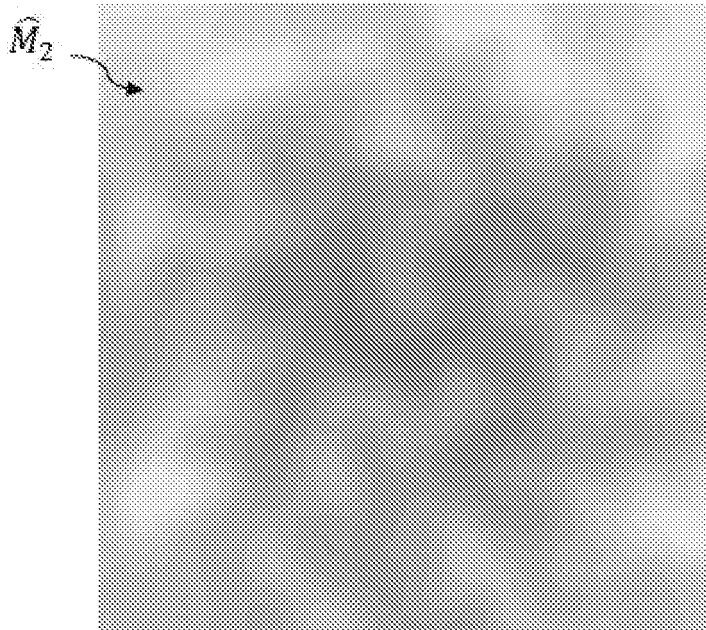
[Fig. 4C]

**Fig. 4C**

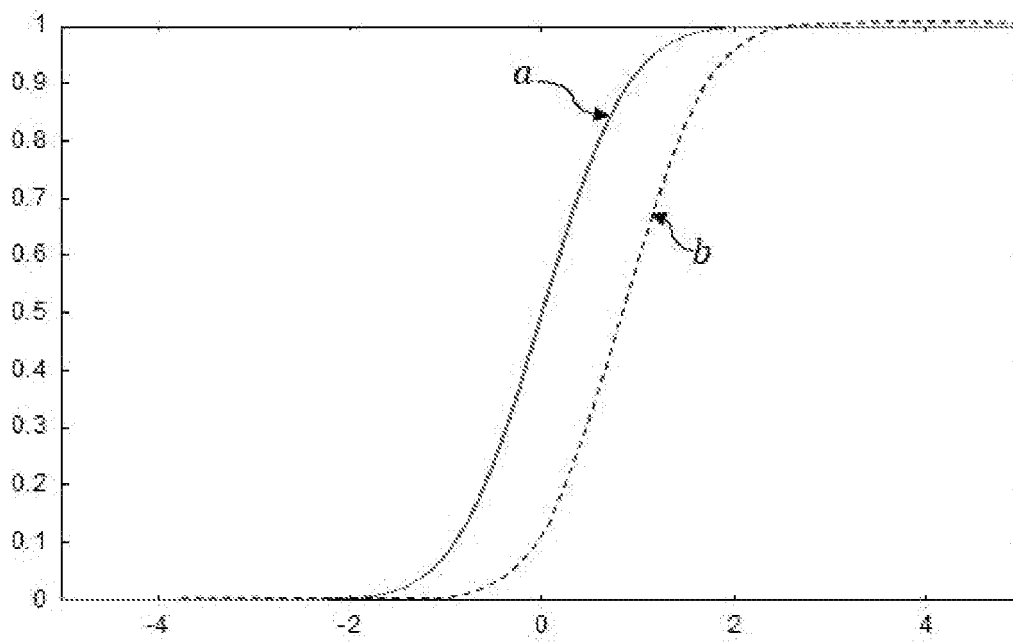
[Fig. 4D]

**Fig. 4D**

[Fig. 4E]

**Fig. 4E**

[Fig. 5]

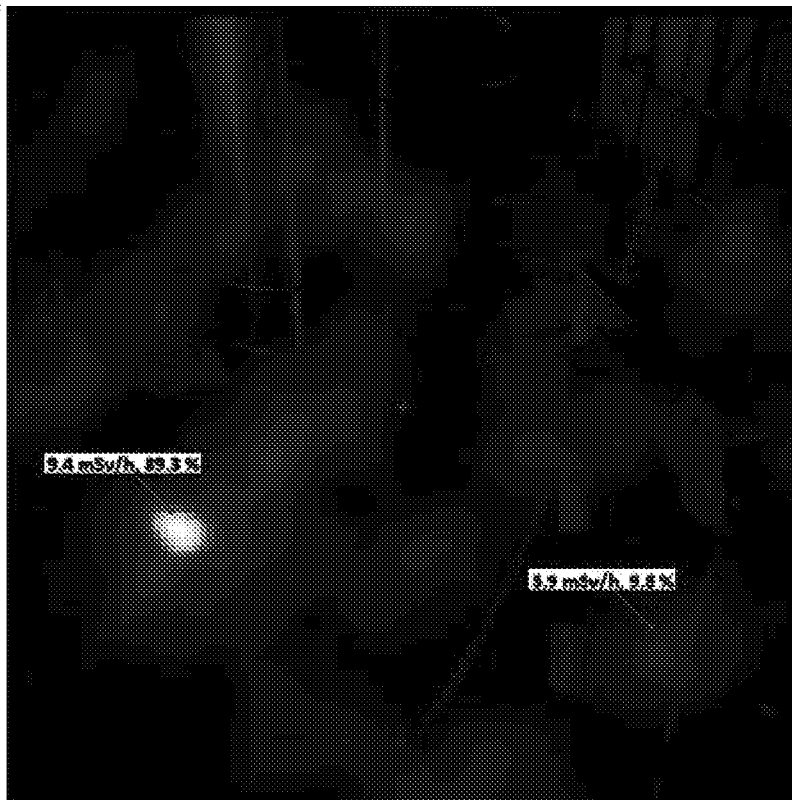
**Fig. 5**

[Fig. 6A]



**Fig. 6A**

[Fig. 6B]



**Fig. 6B**

[Fig. 6C]

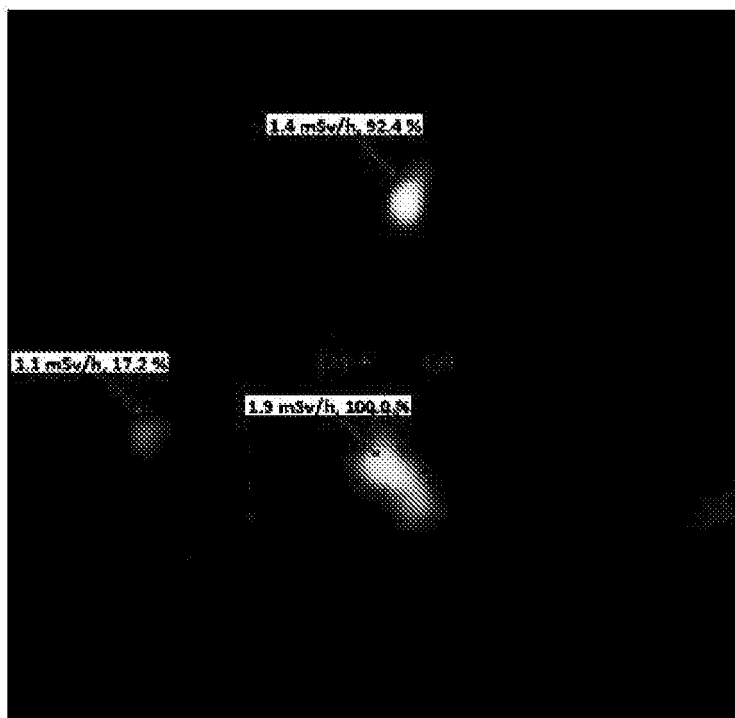


Fig. 6C

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 902994**  
**FR 2114529**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2010/104505 A1 (O'CONNOR MICHAEL K [US]) 29 avril 2010 (2010-04-29) * abrégé * * figure 4 * * alinéa [0029] - alinéa [0054] * * alinéa [0068] - alinéa [0081] * * alinéa [0090] - alinéa [0158] * -----	1, 6-9	G01T1/16 G06T7/11 G06T7/38 G06T5/00
X	WO 2016/003957 A2 (UNIV DUKE [US]; LIN YUAN [US]; SAMEI EHSAN [US]) 7 janvier 2016 (2016-01-07) * abrégé * * alinéa [0095] - alinéa [0145] * * alinéa [0168] - alinéa [0235] * -----	1, 8, 9	
X	US 6 740 883 B1 (STODILKA ROBERT Z [CA] ET AL) 25 mai 2004 (2004-05-25) * abrégé * * colonne 7, ligne 54 - colonne 13, ligne 25 * -----	1, 8, 9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 2008/224061 A1 (SMITH BRUCE D [US]) 18 septembre 2008 (2008-09-18) * le document en entier * -----	1-9	G06T
A	EP 1 552 789 A2 (ULTRA SPECT LTD [IL]) 13 juillet 2005 (2005-07-13) * le document en entier * -----	1-9	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 juillet 2022		Leclercq, Philippe	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2114529 FA 902994**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **25-07-2022**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>US 2010104505 A1</b>	<b>29-04-2010</b>	<b>AUCUN</b>	
<b>WO 2016003957 A2</b>	<b>07-01-2016</b>	<b>US 2017186195 A1 WO 2016003957 A2</b>	<b>29-06-2017 07-01-2016</b>
<b>US 6740883 B1</b>	<b>25-05-2004</b>	<b>AUCUN</b>	
<b>US 2008224061 A1</b>	<b>18-09-2008</b>	<b>AUCUN</b>	
<b>EP 1552789 A2</b>	<b>13-07-2005</b>	<b>EP 1552789 A2 IL 166117 A US 2005145797 A1</b>	<b>13-07-2005 18-11-2009 07-07-2005</b>