

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 11.10.02.

30 Priorité : 12.10.01 US 09975892.

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 18.04.03 Bulletin 03/16.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY —
US.

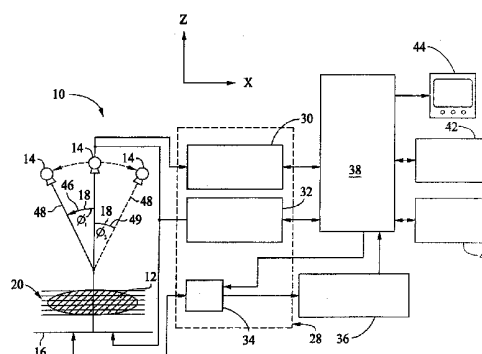
72 Inventeur(s) : KAUFHOLD JOHN PATRICK, TKAC-
ZYK JOHN ERIC, TROTTER DINKO E GONZALEZ,
EBERHARD JEFFREY WAYNE et THOMAS JERRY A.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CASALONGA ET JOSSE.

54 PROCEDE ET APPAREIL POUR ETALONNER UN SYSTEME D'IMAGERIE.

57 Procédé (130) d'étalonnage d'un système d'imagerie (10), le système d'imagerie comprenant une source de rayonnement (14) et un détecteur numérique (16). Le procédé comprend les opérations consistant à prévoir (132) un système de fantôme d'étalonnage comprenant un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), le premier bloc de matériaux d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant un premier coefficient d'atténuation, et un deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de la première hauteur, le deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent du premier coefficient d'atténuation.



Procédé et appareil pour étalonner un système d'imagerie

La présente invention concerne de manière générale un système d'imagerie, et plus particulièrement l'étalonnage d'un système d'imagerie médicale.

5 Dans certains systèmes d'imagerie connus, une source de rayonnement projette un faisceau en forme de cône qui traverse l'objet en cours d'étude, comme un patient, et arrive sur un réseau rectangulaire de détecteurs de rayonnement. Dans certains systèmes de tomo-synthèse connus, la source de rayonnement tourne avec un portique autour d'un point pivot, et les vues de l'objet sont acquises selon diffé-
10 rents angles de projection. Tel qu'utilisé ici, le terme "vue" se rapporte à une image de projection simple, ou plus particulièrement, "vue" se rapporte à une seule radiographie de projection qui forme une image de projection. Egalement ici une image reconstruite simple (en coupe transversale), représentative des structures intérieures de l'objet étudié
15 à une hauteur fixe au-dessus du détecteur, est appelée "tranche". Et une collection (ou pluralité) de vues est appelée "ensemble de données de projection". Une collection de (ou une pluralité de) tranches pour toutes les hauteurs est appelée "ensemble de données tridimensionnelles" représentatif de l'objet image.

20 Une méthode connue de reconstruction d'un ensemble de données tridimensionnelles représentatif de l'objet étudié est connue dans l'art sous le nom de rétroprojection simple, ou décaler-ajouter. La rétroprojection simple reprojette chaque vue traversant le volume étudié, et effectue une moyenne des vues rétroprojetées. Une "tranche" de
25 l'ensemble de données reconstruit comprend la moyenne des images

rétroprojetées pour une hauteur considérée au-dessus du détecteur. Chaque tranche est représentative des structures de l'objet étudié à la hauteur considérée, et la collection de ces tranches pour différentes hauteurs constitue un ensemble de données tridimensionnel représentatif de l'objet étudié. En variante, dans un balayage bidimensionnel, comme par exemple un balayage cranio-caudal (balayage CC) ou un balayage médiolatéral oblique (MLO), on n'acquière qu'une seule tranche constituant un ensemble de données bidimensionnel représentatif de l'objet étudié.

10 L'uniformité entre les éléments détecteurs individuels est importante pour assurer une bonne qualité d'image dans les images mammographiques. Autrement, des anomalies peuvent apparaître dans les données recueillies. Une conséquence des anomalies de données est la distortion d'image, communément appelée artéfact. L'uniformité du
15 détecteur peut être affectée par de nombreux facteurs, lesquels comprennent, entre autres, les dommages de rayonnement, les dommages de l'humidité, les champs électromagnétiques, et la sensibilité des matériaux du scintillateur. Pour corriger ces défauts d'uniformité, des étalonnages périodiques du détecteur sont nécessaires.

20 Dans au moins un procédé d'étalonnage connu, un jeu de mesures d'une composition connue de tissus glandulaires et de tissus gras est requis. La collecte de ce jeu de mesures de référence peut nécessiter plusieurs balayages de l'objet étudié.

25 La présente invention propose un système de fantôme d'étalonnage destiné à être utilisé avec un système d'imagerie. Le système de fantôme d'étalonnage comprend un premier bloc de matériau d'élément fantôme ayant une première surface à une première hauteur, le premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau ayant un premier coefficient d'atténua-
30 tion. Le système de fantôme d'étalonnage comprend également un deuxième bloc de matériau d'élément fantôme ayant une deuxième surface à une deuxième hauteur différente de la première hauteur, le deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau ayant un deuxième coefficient
35 d'atténuation différent du premier coefficient d'atténuation, le premier

bloc de matériau d'élément fantôme et le deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur.

La présente invention propose également un procédé d'étalonnage d'un système d'imagerie comprenant une source de rayonnement et un détecteur numérique. Le procédé comprend le fait de prévoir un système de fantôme d'étalonnage comprenant un premier bloc de matériau d'élément fantôme ayant une première surface à une première hauteur, le premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau ayant un premier coefficient d'atténuation. Le fait de prévoir un système de fantôme d'étalonnage comprend également le fait de prendre un deuxième bloc de matériau d'élément fantôme ayant une deuxième surface à une deuxième hauteur différente de la première hauteur, le deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent du premier coefficient d'atténuation, le premier bloc de matériau d'élément fantôme et le deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur. Le procédé comprend également le fait de prendre des images du système de fantôme d'étalonnage pour obtenir des images fantômes, de traiter les images fantômes, et d'extraire une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées.

La présente invention propose également un support exploitable par ordinateur, codé avec un programme exécutable par un ordinateur pour l'étalonnage d'un système d'imagerie comprenant une source de rayonnement et un détecteur numérique. Le programme est configuré pour ordonner à l'ordinateur de prendre des images du système de fantôme d'étalonnage, le système de fantôme d'étalonnage comprenant un premier bloc de matériau d'élément fantôme ayant une première surface à une première hauteur, le premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau ayant un premier coefficient d'atténuation. Le système de fantôme d'étalonnage comprend également un deuxième bloc de matériau d'élément fantôme ayant une deuxième surface à une deuxième hauteur différente de la première hauteur, le deuxième bloc de matériau d'élément fan-

tôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent du premier coefficient d'atténuation, le premier bloc de matériau d'élément fantôme et le deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur. Le programme est également configuré pour ordonner à l'ordinateur d'obtenir des images fantômes, de traiter les images fantômes, et d'extraire une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée suivante, faite en référence aux dessins d'accompagnement, dans lesquels :

la figure 1 est une représentation schématique d'un système d'imagerie tomographique ;

la figure 2 est une vue en perspective d'un mode de réalisation servant d'exemple d'un système de fantôme d'étalonnage ;

la figure 3 est une vue en perspective d'un mode de réalisation servant d'exemple d'un élément fantôme du système de fantôme illustré en figure 2 ;

la figure 4 est une vue en perspective d'un autre mode de réalisation servant d'exemple d'un système de fantôme d'étalonnage ;

la figure 5 est un organigramme d'un procédé comprenant la prise d'images d'un système de fantôme d'étalonnage ;

la figure 6 est un organigramme d'une partie du procédé montré en figure 5, comprenant le pré-traitement de l'élément fantôme ; et

la figure 7 est un graphique illustrant l'estimation de paramètres de noyau de diffusion ME.

En se référant à la figure 1, et dans un mode de réalisation servant d'exemple, un système d'imagerie numérique 10 génère un ensemble de données tridimensionnel représentatif d'un objet étudié 12, tel qu'un sein 12 d'une patiente en tomosynthèse mammographique. Le système 10 comprend une source de rayonnement 14, telle qu'une source de rayons X 14, et au moins un réseau de détecteurs 16 pour recueillir des vues à partir d'une pluralité d'angles de projection 18. De manière spécifique, et dans un mode de réalisation, le système 10 comprend une source de rayonnement 14 qui projette un faisceau de

rayons X en forme de cône qui traverse l'objet 12 et arrive sur le réseau de détecteurs 16. Les vues obtenues à chaque angle 18 peuvent être utilisées pour reconstruire une pluralité de tranches, c'est-à-dire des images représentatives des structures situées dans des plans 20 parallèles au détecteur 16. Le réseau de détecteurs 16 est fabriqué en une configuration en panneau comportant une pluralité de pixels (non représentés) agencés en lignes et colonnes de telle manière qu'une image est produite pour un objet d'intérêt complet comme le sein 12. Dans un mode de réalisation, le réseau de détecteurs 16 est un réseau de détecteurs cardiaques 16 et l'objet 12 est un cœur 12. Chaque pixel comprend un capteur optique, tel qu'une photodiode, qui est couplé, via un transistor de commutation, à deux lignes d'adresse distinctes, une ligne de balayage et une ligne de données. Le rayonnement incident sur un matériau de scintillateur et les capteurs optiques de pixel mesurent, par le biais d'une variation de la charge aux bornes de la diode, la quantité de lumière produite par interaction aux rayons X avec le scintillateur. En conséquence, chaque pixel produit un signal électronique qui représente l'intensité, après atténuation par l'objet 12, d'un faisceau de rayons X arrivant sur le réseau de détecteurs 16. Dans un mode de réalisation, le réseau de détecteurs 16 fait environ 20 cm par 20 cm et est configuré pour produire des vues d'un objet d'intérêt entier, par exemple le sein 12. En variante, le réseau de détecteurs 16 peut être dimensionné de façon variable en fonction de l'utilisation prévue. En outre, les pixels individuels du réseau de détecteurs 16 peuvent aussi avoir n'importe quelle taille, en fonction de l'utilisation souhaitée.

Dans un mode de réalisation, l'ensemble de données tridimensionnel reconstruit n'est pas agencé en tranches correspondant à des plans qui sont parallèles au détecteur 16, mais d'une façon qui est plus générale. Dans un autre mode de réalisation, l'ensemble de données reconstruit n'est constitué que d'une seule image bidimensionnelle, ou d'une fonction à une dimension. Dans un autre mode de réalisation encore, le détecteur 16 présente une forme non plane.

Dans un mode de réalisation, la source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16 sont mobiles par rapport à l'objet 12 et l'un

par rapport à l'autre. De manière plus spécifique, la source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16 peuvent translater de façon à modifier l'angle de projection 18 du volume étudié. La source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16 peuvent translater de telle manière que l'angle de projection 18 peut être n'importe quel angle de projection aigu ou oblique.

Le fonctionnement de la source de rayonnement 14 est piloté par un mécanisme de commande 28 du système d'imagerie 10. Le mécanisme de commande 28 comprend un contrôleur 30 de rayonnement qui fournit des signaux de puissance et de minutage à la source de rayonnement 14 et un contrôleur 32 de moteur qui commande la vitesse de translation et la position respectives de la source de rayonnement 14 et du réseau de détecteurs 16. Un système d'acquisition de données (SAD) 34, dans le mécanisme de commande 28, échantillonne des données numériques provenant du détecteur 16 en vue de leur traitement ultérieur. Un dispositif de reconstruction 36 d'image reçoit un ensemble de données de projection échantillonné et numérisé du SAD 34 et réalise une reconstruction d'image à grande vitesse, comme décrit plus loin. L'ensemble de données tridimensionnel reconstruit, représentatif de l'objet étudié 12, est appliqué en tant qu'entrée à un ordinateur 38 qui stocke l'ensemble de données tridimensionnel dans un dispositif de stockage de grande capacité 40. Le dispositif de reconstruction 36 d'image est programmé pour effectuer des fonctions décrites plus loin, et le terme de dispositif de reconstruction d'image, tel qu'utilisé ici, se rapporte à des ordinateurs, des processeurs, des microcontrôleurs, des micro-ordinateurs, des contrôleurs logiques programmables, des circuits intégrés à application spécifique, et autres circuits programmables.

L'ordinateur 38 reçoit également des instructions et des paramètres de balayage d'un opérateur via un pupitre 42 qui comporte un dispositif d'entrée. Un dispositif d'affichage 44, tel qu'un tube cathodique et un afficheur à cristaux liquides (LCD) permet à l'opérateur d'observer l'ensemble de données tridimensionnel reconstruit et d'autres données provenant de l'ordinateur 38. Les instructions et paramètres fournis par l'opérateur sont utilisés par l'ordinateur 38 pour

fournir des signaux de commande et des informations au SAD 34, au contrôleur 32 de moteur, et au contrôleur 30 de rayonnement.

En utilisation, on positionne un patient de telle manière que l'objet d'intérêt 12 se trouve dans le champ de vue du système 10, c'est-à-dire que le sein 12 est positionné à l'intérieur du volume étudié s'étendant entre la source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16. On acquiert ensuite des vues du sein 12 à partir d'au moins deux angles de projection 18 pour générer un ensemble de données de projection du volume d'intérêt. La pluralité de vues représente l'ensemble de données de projection de tomosynthèse. L'ensemble de données de projection recueilli est ensuite utilisé pour générer un ensemble de données tridimensionnel, c'est-à-dire une pluralité de tranches pour le sein balayé 12, représentatif de la représentation radiographique tridimensionnelle du sein 12 étudié. Après activation de la source de rayonnement 14 de façon que le faisceau de rayonnement est émis selon un premier angle de projection 50, on recueille une vue en utilisant le réseau de détecteurs 16. L'angle de projection 18 du système 10 est ensuite modifié en effectuant une translation de la position de la source 14 de sorte que l'axe central 48 du faisceau de rayonnement est modifié pour passer à un deuxième angle de projection 52 et la position du réseau de détecteurs 16 est modifiée de sorte que le sein 12 reste dans le champ de vision du système 10. La source de rayonnement 14 est à nouveau activée et une vue est prise pour le deuxième angle de projection 52. La même procédure est ensuite répétée pour n'importe quel nombre d'angles de projection 18 subséquents.

La figure 2 est une vue en perspective d'un mode de réalisation servant d'exemple d'un système 50 de fantôme d'étalonnage qui est non unitaire et comprend une pluralité d'éléments fantômes 52 comprenant au moins un premier bloc de matériau 54 d'élément fantôme et au moins un deuxième bloc de matériau 56 d'élément fantôme positionnés conjointement sur le détecteur 16. Le premier bloc de matériau 54 d'élément fantôme a une première surface 58 à une première hauteur 60, et comprend au moins partiellement un premier matériau 62, tel qu'un matériau équivalent à un sein 62. Le premier bloc de matériau 54 d'élément fantôme présente également un premier

coefficient d'atténuation. Le deuxième bloc de matériau 56 d'élément fantôme a une deuxième surface 64 à une deuxième hauteur 66, différente de la première hauteur 60 et comprend au moins partiellement un deuxième matériau 68, tel qu'un deuxième matériau équivalent à un sein 68. Le deuxième bloc de matériau 56 d'élément fantôme présente également un deuxième coefficient d'atténuation, différent du premier coefficient d'atténuation.

En utilisation, le système 50 de fantôme d'étalonnage comprend une pluralité d'éléments fantômes 52 agencés en une pluralité de lignes adjacentes 70 et de colonnes adjacentes 72. Dans un mode de réalisation, le premier bloc de matériau 54 d'élément fantôme et le deuxième bloc de matériau 56 d'élément fantôme sont placés par ordre de coefficient d'atténuation décroissant. Dans un autre mode de réalisation, le premier bloc de matériau 54 d'élément fantôme et le deuxième bloc de matériau 56 d'élément fantôme sont placés par ordre de hauteur décroissante. En variante, on peut utiliser une pluralité d'éléments fantômes 52 agencés selon une autre configuration parce que le profil des coefficients d'atténuation à travers le système 50 de fantôme d'étalonnage est un choix de conception et n'a pas besoin de correspondre à celui montré en figure 2. Dans un mode de réalisation, les éléments fantômes 52 sont positionnés conjointement sur le détecteur 16 de telle manière que les éléments fantômes 52 sont dans le champ de vision de la source de rayons X 14. Dans un mode de réalisation, le matériau atténuant le moins correspond au tissu équivalent à de la graisse, qui est supposée présenter la plus faible atténuation des rayons X dans un sein humain réel. Le matériau atténuant le plus correspond au tissu équivalent au tissu de la masse glandulaire/mammaire, qui est supposée présenter l'atténuation des rayons X la plus importante du tissu non calcifié normalement présent dans un sein humain. Dans une variante de mode de réalisation, des matériaux à coefficient d'atténuation plus élevés, tels que l'équivalent-tissu du phosphate de calcium ou de l'oxalate de calcium peuvent aussi être utilisés.

La figure 3 est une vue en perspective d'un mode de réalisation servant d'exemple d'un élément fantôme 52 montré en figure 2 qui

comprend une plaque de blindage 80 contre les rayonnements et un bloc de matériau 82 d'élément. La plaque de blindage 80 contre les rayonnements facilite une réduction des faisceaux rayonnants contactant le bloc de matériau 82 d'élément. Dans une variante de mode de réalisation, l'élément fantôme 52 ne comprend pas de plaque de blindage 80 contre les rayonnements.

Dans un mode de réalisation, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements est sensiblement rectangulaire. En variante, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements est sensiblement carrée, ovale, ou circulaire. La plaque de blindage 80 contre les rayonnements est sensiblement pleine ou uniforme et comprend une ouverture 84 ayant une largeur 86. La plaque de blindage 80 contre les rayonnements comprend également une longueur 88, une première surface 90, une deuxième surface 92, et une épaisseur 94, qui est mesurée entre la première surface 90 et la deuxième surface 92. La largeur 86, la longueur 88 et l'épaisseur 94 sont choisies de façon variable en fonction de l'utilisation souhaitée de la plaque de blindage 80 contre les rayonnements. Dans un mode de réalisation, la première surface 90 et la deuxième surface 92 sont sensiblement parallèles et l'ouverture 84 s'étend de la première surface 90 à la deuxième surface 92, à travers la plaque de blindage 80 contre les rayonnements. En variante, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements est sensiblement pleine ou uniforme, sans ouvertures intentionnelles, vides internes ni passages internes. Dans un mode de réalisation, l'ouverture 84 est sensiblement circulaire et a un diamètre qui est compris entre 0,5 mm et 5 mm, bien que n'importe quel diamètre qui est adapté à l'élément fantôme d'étalonnage, à la tâche d'étalonnage à portée de main, et à la réjection de la diffusion désirée puisse être utilisé. En variante, l'ouverture 84 est choisie de façon variable en fonction de l'utilisation souhaitée de la plaque de blindage 80 contre les rayonnements. Dans une variante de mode de réalisation, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements comprend une pluralité de fentes (non représentées). Dans un mode de réalisation, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements comprend un matériau métallique 96, tel que, entre autres, du plomb, du tungstène, et de l'aluminium. Le matériau métallique 96 est choisi de

façon à faciliter une augmentation ou une diminution de l'atténuation des rayons X. Dans un mode de réalisation, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements couvre substantiellement le bloc de matériau 82 d'élément. En variante, la plaque de blindage 80 contre les rayonne-
5 ments couvre une partie du bloc de matériau 82 d'élément. Dans un autre mode de réalisation, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements ne couvre pas du tout le bloc de matériau 82 d'élément.

Le bloc de matériau 82 d'élément est sensiblement plein ou uniforme, sans vides internes ou passages internes intentionnels. Dans
10 un mode de réalisation, le bloc de matériau 82 d'élément est sensiblement rectangulaire. Dans une variante de mode de réalisation, le bloc de matériau 82 d'élément est sensiblement carré, sphérique, ou présente une forme de section ovale. Le bloc de matériau 82 d'élément comprend une largeur 100, une longueur 102, une première surface
15 104, une deuxième surface 106, et une hauteur 108 qui est mesurée entre la première surface 104 et la deuxième surface 106. La hauteur 108 est choisie de façon variable en fonction de l'utilisation souhaitée. Dans un mode de réalisation, la première surface 104 et la deuxième surface 106 sont sensiblement parallèles. Dans un mode de réalisa-
20 tion, le bloc de matériau 82 d'élément comprend, mais n'est pas limité à, un matériau équivalent de sein 108. En variante, le bloc de matériau 82 d'élément comprend du tissu réel (non représenté). Dans un mode de réalisation, la plaque de blindage 80 contre les rayonnements est accouplée par frottement au bloc de matériau 82 d'élément pour facili-
25 ter le retrait de la plaque de blindage 80 contre les rayonnements au cours de l'étalonnage.

Le bloc de matériau 82 d'élément comprend un spectre d'atténuation $\mu_i(E)$, c'est-à-dire le coefficient d'atténuation est fonction de l'énergie de photon E, sur sa hauteur 108, où E est une énergie de pho-
30 ton de rayons X et μ_i est un coefficient d'atténuation d'un seul rayon X du spectre. Dans un mode de réalisation, la largeur 100 et la longueur 102 sont choisies de façon variable pour faciliter l'étalonnage. Par exemple, en raison d'effets de noyau de diffusion, les éléments fantômes 52 présentant la plus faible hauteur 108 peuvent être usinés pour
35 présenter les empreintes les plus petites, c'est-à-dire la région d'élé-

ment sur le détecteur. En variante, les éléments fantômes 52 peuvent ne pas être rectangulaires, c'est-à-dire "pointus" pour faciliter le pointage de l'élément fantôme 52 sur un point focal de la source, pour faciliter le changement d'une géométrie spécifique de l'élément fantôme 52. Un "gauchissement" (cisaillement) de fantôme par rapport au dessin montré est possible et peut être utile pour des tâches d'étalonnage avec des géométries connues.

La figure 4 est une vue en perspective d'un autre mode de réalisation servant d'exemple d'un système de fantôme d'étalonnage 110. Le système de fantôme d'étalonnage 110 est unitaire et comprend une pluralité de saillies fantômes 112, chaque saillie fantôme comprenant une première surface 114 à une première hauteur 116, une deuxième surface 118 à une deuxième hauteur 120, différente de la première hauteur 116. Le système de fantôme d'étalonnage 110 est fabriqué en utilisant un gradient de matériaux 122 qui varie spatialement, comme des matériaux d'équivalent de sein 122. Dans un mode de réalisation, le système de fantôme d'étalonnage 110 est moulé par injection, c'est-à-dire que l'on commande, tout au long de l'injection, l'ensemble des concentrations des polymères constitutifs du mélange, de telle sorte que la composition du matériau varie dans l'espace, bien que d'autres approches puissent donner des propriétés similaires dans les fantômes d'étalonnage.

En utilisation, les hauteurs 116 et 118 sont choisies de façon à correspondre approximativement aux variations d'épaisseur de sein attendues, observées en centre médical. Par exemple, la plus faible hauteur choisie peut être d'à peu près 3 cm et la plus grande peut être d'à peu près 7 cm. En variante, on peut utiliser n'importe quel échantillonnage des distributions de hauteur, en fonction des buts de l'étalonnage.

La figure 5 est un organigramme d'un procédé 130 comprenant le fait de prévoir en 132 un système de fantôme d'étalonnage, de prendre des images en 134 du système de fantôme d'étalonnage avec le système d'imagerie médicale 10 (montré en figure 1) pour produire au moins une image fantôme, de traiter en 136 au moins une image fantôme, et d'extraire en 138 une pluralité de valeurs d'étalonnage d'au

moins une image fantôme traitée en 136 afin de créer une courbe d'étalonnage.

Le fait de prévoir en 132 un système de fantôme d'étalonnage comprend le fait de prévoir un système 50 de fantôme d'étalonnage (montré en figure 2) et un système 110 de fantôme d'étalonnage (montré en figure 4). En variante, on peut prévoir une pluralité de variantes de modes de réalisation de systèmes 50 de fantôme d'étalonnage.

L'opération 134 de prise d'images du système 50 de fantôme d'étalonnage avec le système d'imagerie médicale 10 (montré en figure 1) pour générer au moins une image fantôme comprend le fait de positionner en 140 le système 50 de fantôme d'étalonnage entre la source de rayonnement 14 (montrée en figure 1) et le réseau de détecteurs 16 (montré en figure 1), d'établir en 142 des paramètres d'acquisition d'image pour au moins une image fantôme, et d'acquérir en 144 au moins une image numérique et au moins une image d'écran de film. Dans un mode de réalisation, le positionnement en 140 du système 50 de fantôme d'étalonnage comprend la translation, la rotation et le basculement du système 50 de fantôme d'étalonnage, de telle sorte que le système 50 de fantôme d'étalonnage se trouve entre la source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16. Dans un mode de réalisation, le système 50 de fantôme d'étalonnage touche une grille anti-diffusion connue (non représentée). En variante, la grille anti-diffusion n'est pas utilisée et le système 50 de fantôme d'étalonnage est positionné sur le réseau de détecteurs 16. Dans un autre mode de réalisation, le système 50 de fantôme d'étalonnage est suspendu en un point situé entre la source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16. Dans un autre mode de réalisation, un tampon de compression (non représenté) ou un autre dispositif est utilisé pour positionner le système 50 de fantôme d'étalonnage entre la source de rayonnement 14 et le réseau de détecteurs 16. L'établissement en 142 de paramètres d'acquisition d'image dépendant de toute technique aux rayons X employée, les paramètres comprennent 1) le matériau d'anode 2) le matériau de filtre 3) le kVp (énergie de photon crête produite, en kiloelectronvolts), et mAs, qui est une mesure de la charge. Des choix typiques pour les matériaux d'anode sont : a) le molybdène, b) le rho-

dium, ou c) le tungstène. Le filtre peut être fait de n'importe quel matériau. Typiquement, le filtre est en a) molybdène ou b) rhodium. Toutefois, d'autres choix pour le matériau du filtre dans la gamme d'énergie de la mammographie comprennent Cu, Al, W, et le lucite. Le
5 kVp pour les énergies de mammographie est typiquement compris entre 15 keV et 49 keV. La mAs vaut typiquement entre 4 mAs et 250 mAs. Un choix pour chacune de ces quatre variables, le filtre, l'anode, le kVp et le mAs constituent un "jeu de paramètres d'acquisition", qui décrivent un exemple de ce que l'on appelle en pratique "la technique
10 aux rayons X". Par exemple, en utilisant des techniques Rh/Rh, Mo/Rh ou Mo/Mo (trois combinaisons filtre-anode) avec des kVp compris entre 20 et 40 (21 choix) et soit 50, soit 60, soit 70, soit 80, soit 90, soit 100 pour les mAs (6 valeurs), un opérateur peut choisir potentiellement parmi $3 \times 21 \times 6 = 378$ techniques aux rayons X différentes.
15 Au moins une technique est nécessaire pour acquérir au moins une image fantôme. Au moins une image fantôme est acquise après que le système 50 de fantôme d'étalonnage a été positionné. L'acquisition en 144 d'une image numérique et d'écran de film comprend le fait d'acquérir une pluralité d'images à plusieurs énergies, comme la mam-
20 mographie à double énergie, et plusieurs combinaisons de filtre et anode. Par exemple, en utilisant le système 50 de fantôme d'étalonnage, une procédure d'étalonnage peut comprendre l'acquisition de 20 kiloélectronvolts (keV) à 40 keV sur un certain nombre de combinaisons filtre/anode différentes. Le traitement en 136 d'au moins une
25 image fantôme pour chaque système 50 de fantôme d'étalonnage peut être façonné sur des agencements de l'élément fantôme 52 spécifiques et la configuration dans le processus d'acquisition d'image décrite plus loin. En variante, le système 110 de fantôme d'étalonnage peut être utilisé pour tous les procédés d'imagerie décrits ici.

30 La figure 6 est un organigramme d'une partie du procédé 130 (montré en figure 5) comprenant le traitement en 136 d'au moins une image fantôme. Le traitement 136 d'au moins une image fantôme comprend le pré-traitement en 150 d'au moins une image fantôme, l'esti-
35 mation en 152 d'un noyau de diffusion d'au moins une image pré-traitée, la correction en 154 de la diffusion en utilisant au moins une esti-

mation de noyau de diffusion, et l'estimation en 156 du bruit de pixel de rayons X en utilisant au moins une image à diffusion corrigée.

5 Le pré-traitement en 150 d'au moins une image fantôme peut comprendre une correction de trame sombre, c'est-à-dire lorsqu'un balayage aux rayons X est acquis sans rayonnement X avant l'acquisition de l'image fantôme. L'image à "trame sombre" peut être soustraite de l'image fantôme. En variante, l'image peut être corrigée en gain ou corrigée indépendamment, c'est-à-dire corrigée par l'opérateur, pour l'angle des effets d'incidence des rayons X sur le réseau de détecteurs
10 16. La correction de gain et la correction indépendante sont utilisées pour prendre en compte un flux variable de la source de rayonnement 14 sur le réseau de détecteurs 16. En utilisation, un flux efficace sur un pixel individuel (non représenté) peut être calculé en utilisant une fonction liée au cosinus de l'angle formé entre l'anode et le pixel de
15 détecteur numérique spécifique, ou dans le cas de l'écran de film, entre l'anode et l'emplacement spécifique sur le film.

L'estimation en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée comprend le fait d'utiliser une plaque de blindage 80 contre les rayonnements (montrée en figure 3) et une pluralité de systèmes de fantôme d'étalonnage, comme le système 50 de fantôme d'étalonnage et le système 110 de fantôme d'étalonnage. En variante, l'estimation en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée peut être accomplie sans utiliser de plaque de blindage 80 contre les rayonnements. De manière plus spécifique,
20 les estimations de noyau de diffusion peuvent être ajustées pour compenser la quantité de diffusion et la réduction d'événement de rayons X primaire dans différents agencements de système d'imagerie, comme un système d'imagerie comprenant un grille anti-diffusion, et un système d'imagerie ne comportant pas de grille anti-diffusion. En outre,
25 les estimations de noyau de diffusion peuvent être ajustées en fonction de la quantité de diffusion et de la réduction d'événement de rayons X primaire dans différents agencements d'éléments fantômes, comme des images acquises directement sur le détecteur 16 avec la grille anti-diffusion retirée, et des images acquises près de la source de rayonnement 14. Dans un mode de réalisation servant d'exemple, l'estimation
30
35

en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée comprend le fait d'acquérir des images fantômes avec une plaque de blindage 80 contre les rayonnements qui s'étend sur une surface du bloc de matériau 82 d'élément et comprend l'ouverture 86.

5 Dans un mode de réalisation, l'estimation en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée comprend également le fait de localiser des crêtes correspondant aux primaires sous l'ouverture 86, d'estimer le support de noyau de diffusion, c'est-à-dire les emplacements de noyau avec des valeurs supérieures à une constante petite, et d'utiliser des informations a priori sur les éléments fantômes 52, c'est-à-dire la hauteur des blocs de matériau, le diamètre d'ouverture, l'agencement d'élément fantôme 52, la configuration d'élément fantôme 52, c'est-à-dire avec ou sans grille de diffusion, suspendu au-dessus du détecteur 16 ou directement sur le détecteur 16, et autres effets géométriques. L'estimation en 152 d'un noyau de diffusion comprend également le fait d'estimer une forme et une amplitude de noyau de diffusion, et l'amplitude d'événements de rayons X primaires en utilisant une pluralité de techniques de déconvolution, comme le domaine de Fourier et le domaine spatial, sur tout sous-ensemble des empreintes de détecteur d'élément fantôme. Un événement de rayons X diffusé signifie qu'un photon émis à l'anode en direction du détecteur 16, pendant la trajectoire du rayon X à travers un matériau, dévié d'un noyau atomique dans le bloc de matériau de telle manière que la trajectoire du rayon X dévie sensiblement d'une ligne droite. Tous les autres photons de rayons X qui sont émis par l'anode et arrivent sur le détecteur sont appelés ici des primaires.

Dans un autre mode de réalisation, l'estimation en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée est faite en acquérant une pluralité d'images fantômes en utilisant une plaque de blindage 80 contre les rayonnements qui s'étend sur une partie du bloc de matériau 82 d'élément et comprend une ouverture 82. L'estimation en 152 d'un noyau de diffusion d'au moins une image pré-traitée comprend également le fait d'estimer l'emplacement de la diffusion ou de bords de diffusion et d'événements primaires en utilisant une information a priori basé sur l'agencement et la configuration des éléments

fantômes 52, d'estimer une fonction d'étalement de bord en utilisant les emplacements de bord d'événement primaire, et en estimant un noyau de diffusion en utilisant une information a priori du noyau de diffusion ou la physique qui définit les propriétés du noyau de diffusion.

5 Dans un mode de réalisation supplémentaire, l'estimation en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée comprend le fait d'acquérir une pluralité d'images fantômes sans utiliser de plaque de blindage 80 contre les rayonnements. L'estima-
10 tion en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée comprend également le fait d'estimer des emplacements de bord entre les événements qui sont purement de la diffusion et les événements qui sont dus à des combinaisons de photons de rayons X diffusés et primaires, d'estimer des emplacements de bord entre une plu-
15 ralité de matériaux équivalents à un sein 62, 68, et d'estimer les emplacements de bord entre une pluralité de hauteurs 66, 60 d'élément fantôme de matériau équivalent au sein. L'information de bord peut être disponible a priori à partir d'une mesure de position de fantôme. L'estimation de noyau de diffusion comprend aussi les opérations
20 consistant à estimer un support de noyau de diffusion en utilisant une pluralité d'emplacements de bord, estimer une pluralité de contributions d'événements de rayons X primaires et diffusés variant dans l'espace en utilisant les estimations de support de noyau, et résoudre le problème inverse de l'estimation primaire à partir d'observations de
25 rayonnement diffusé et primaire.

Dans un mode de réalisation utilisant le système 50 de fantôme d'étalonnage comprenant la plaque de blindage 80 contre les rayonnements, l'estimation en 152 d'un noyau de diffusion en utilisant au moins une image pré-traitée comprend le fait de déterminer les
30 emplacements de pixels des événements de rayons X primaires sur le système 50 de fantôme d'étalonnage, en utilisant une combinaison d'opérateurs spatialement dépendants de détection de bord, de seuillage, et morphologiques afin de produire des empreintes de rayons X primaires.

35 En utilisant les empreintes de rayons X primaires, et en sup-

posant que le noyau de diffusion est symétrique de manière circulaire, la plage utile de r_T (où r est la version polaire des coordonnées cartésiennes, $r = \sqrt{x^2+y^2}$) pour la procédure d'estimation de noyau peut être déterminée. Dans un mode de réalisation, et en se référant à la figure 3, une plage de r_T pour l'élément fantôme 52 est inférieure à la largeur 105 divisée par deux ou à la longueur 102 divisée par deux. En utilisation, r_T est également plus grand que le diamètre 86 du trou divisé par deux (appelé ici r_p). En variante, r_T peut être choisi de façon variable en fonction de la tâche d'étalonnage spécifique.

Dans un mode de réalisation, la plage utile de r_T est déterminée en utilisant r , où le niveau de signal moyen $y(r,\theta)$ dont on a fait la moyenne sur θ , diminue de R % de sa valeur moyenne dans $r = r_p$. Dans un mode de réalisation, la plage utile de r pour l'estimation des paramètres de noyau de diffusion est $r < r_p$, et $y(r,\theta)$ est supérieur à β pour $r < r_p$. Par exemple, pour le niveau de signal utile pour l'estimation du noyau de diffusion, on peut choisir le rayon où le niveau de signal moyen descend en dessous de $R = 5$ % du niveau de signal moyen de $y(r,\theta)$ dans $r = r_p$.

En outre, un modèle paramétrique pour le noyau de diffusion est déterminé en utilisant la plage utile de r_T . Dans un mode de réalisation, un modèle paramétrique pour le noyau de diffusion est :

$$K_g(r) = a_1 G(r;0,\sigma_1) = a_2 G(r;0,\sigma_2) + \dots a_n G(r;0,\sigma_n) \quad \text{Equation 1}$$

où $K_g(r)$ est le modèle paramétrique pour le noyau de diffusion en coordonnées polaires, $g(x;\mu,\sigma)$ est un Gaussien bidimensionnel symétrique de manière circulaire en x avec la moyenne μ et l'écart-type σ . Dans le modèle paramétrique décrit ici, le signal moyen observé est une somme d'un terme constant à l'intérieur du cercle $r = r_p$ des Gaussiens radialement symétriques avec des amplitudes différentes a_k , et des variances σ_k , toutes centrées à l'origine.

Dans un autre mode de réalisation, un modèle paramétrique pour le noyau de diffusion est :

$$K_e(r) = a_e \exp\left(\frac{-r}{\lambda}\right) \quad \text{Equation 2}$$

où $K_e(r)$ est un modèle paramétrique du noyau de diffusion en coordonnées polaires, a_e est l'amplitude d'une exponentielle décroissante

radialement symétrique avec la constante de temps spatiale λ . Dans un mode de réalisation, K_e et K_g ne sont que deux choix pour la paramétrisation du noyau de diffusion. Dans une variante de mode de réalisation, on peut utiliser n'importe quelle paramétrisation qui capte les propriétés variant dans l'espace du noyau de diffusion.

Dans un mode de réalisation, utilisant un noyau de diffusion décrit ici, un modèle pour la diffusion est :

$$y_c = P + P * K + \eta \quad \text{Equation 3}$$

où y_c est une image observée, P est une composante déterministe d'une donnée de comptage de photons due aux rayons X primaires, c'est-à-dire non diffusés, le produit de convolution de P et K est la composante, déterministe mais inconnue, de donnée de comptage de photons diffusés et η est le bruit (bruit quantique et bruit électronique) dans le système. En utilisation, cette approche d'estimation peut être utilisée pour des noyaux de diffusion généraux, K , et peut donc être appliquée à K_e ou K_g dans les Equations 1 et 2 ou dans toute autre représentation de noyau. Un modèle pour P en coordonnées polaires est $P = \beta$ pour $r < r_p$, et $P = 0$ pour $r > r_p$.

La figure 7 est un tracé illustrant l'estimation de paramètres de noyau de diffusion ME. Dans un mode de réalisation, une approche d'estimation par vraisemblance maximale (VM) à l'identification des paramètres de noyau de diffusion est utilisée. Dans un mode de réalisation, l'estimation VM des événements primaires et diffusés est accomplie en utilisant un algorithme de maximisation d'espérance (ME). L'algorithme ME nécessite la définition d'une étape E, d'une étape M, et d'une initialisation.

Dans un mode de réalisation, l'algorithme ME peut être déterminé en calculant l'espérance (étape E) des données complètes à l'itération, à la j^e itération, $\beta^j = E[\beta | y_c, K^{j-1}]$, où β^j est l'estimation du niveau de signal constant à l'intérieur de r_p qui correspond aux primaires provenant de l'étape E. β est l'estimation du signal observé dû uniquement aux primaires. Par exemple, en prenant $K = K_g$ à l'équation 1, l'étape E est $\beta^j = E[\beta | y_c, a_k^j, \sigma_k^j]$, ou bien, en prenant $K = K_e$ dans l'équation 2, l'étape E est $\beta^j = E[\beta | y_c, a_e^{j-1}, \lambda^{j-1}]$. Etant donné B^j , maxi-

miser la vraisemblance (étape M) des paramètres de noyau de diffusion étant donnée la valeur attendue de la diffusion : $a_k^j, \sigma_k^j = \arg \max p(a_k^{j-1}, \sigma_k^{j-1} | y_c, \alpha, \beta)$. En général, l'étape E correspond à l'estimation des événements de rayons X primaires pour un noyau de diffusion donné. L'étape M correspond à l'estimation des propriétés de noyau de diffusion en supposant que les événements primaires sont connus. Ce concept est illustré en figure 7.

Une estimation initiale des événements primaires est déterminée pour initialiser les ME d'ensemble. Dans un mode de réalisation, l'initialisation est :

$$\beta^0 = \frac{1}{\pi r_p^2} \int_0^{r_p} y_c(r) \cdot r \cdot dr \cdot d\vartheta \text{ Equation 4}$$

où β_0 correspond aux comptages de photons moyens dans une ouverture. En variante, on peut utiliser toute initialisation qui permet la convergence jusqu'à l'estimation de VM du noyau de diffusion.

L'algorithme ME peut être utilisé pour mettre à jour les paramètres de noyau du modèle de noyau de diffusion sur la j^e itération de l'algorithme ME en utilisant des informations a priori disponibles à partir des paramètres des éléments fantômes. L'information a priori comprend l'information telle que si le trou de couverture de trou d'épingle est un cercle de rayon d mm, alors $r_p = 5d$, en supposant qu'une source de point située directement au-dessus du centre du trou d'épingle, et le pas de pixel = 100 micromètres. Pour d'autres tailles de pas de pixel, la même analyse peut s'appliquer, où $2p$ pixels, d et p étant le diamètre du trou d'épingle et le pas de pixel en mm. Pour les rayons pour lesquels la ligne de source de point central de trou d'épingle n'est pas perpendiculaire au détecteur, une transformation géométrique appropriée peut être appliquée à l'empreinte de rayon X primaire et diffusée. En utilisation, la transformation gauchit l'empreinte observée dans l'espace de détecteur pour donner l'empreinte attendue dans l'espace de détecteur pour une source de point située directement au-dessus du centre du trou d'épingle.

Dans un mode de réalisation, selon la fidélité souhaitée, dans une première approximation, la transformation géométrique peut aussi être omise, et β^j peut être estimé en utilisant l'expression :

$$\beta^0 = \frac{1}{\pi a^2} \int_0^{r_a} y_c(r) - \beta^{j-1} p_{rp}(r) * K(r) r \cdot dr \cdot d\vartheta \quad \text{Equation 5}$$

où $p_a(r)$ est une impulsion rectangulaire de largeur a de $r = 0$ à $r = a$, et K est le noyau de diffusion, K_e , K_g , ou toute autre estimation de noyau de diffusion à partir de la j^e itération peut être utilisée pour K . Par exemple, si $K(r) = K_g(r; a_i, \sigma_i)$, a_i et σ_i sont des estimations des amplitudes et des écart-types des composantes gaussiennes du noyau de diffusion estimé à l'itération précédente de l'algorithme ME. En variante, si $K(r) = K_e(r)$, a_e et λ sont les estimations d'amplitude et de lambda provenant de l'itération précédente.

L'étape M nécessite une définition des données incomplètes, g , "complétées" par l'estimation du rayonnement primaire par l'ouverture qui est calculée dans l'estimation de paramètres provenant de l'étape E. L'étape M est :

$$g^j = y_c(r) - \beta^{j-1} p_{rp}(r) \quad \text{Equation 6}$$

Comme illustré, la donnée incomplète est une observation moins une espérance d'une composante de rayonnement primaire dans une ouverture à une itération précédente. Une approche VM de l'estimation de paramètres de noyau de diffusion est ensuite utilisée. Ceci peut être approché dans un espace de transformée, tel que l'espace de Fourier ou d'ondelettes, ou peut être approché dans le domaine spatial lui-même. Dans un mode de réalisation, une approche consiste à d'abord générer une estimation du noyau de diffusion en utilisant une analyse de Fourier régularisée. Par exemple, si $G(\omega)$ est une représentation de fréquence spatiale de $g^j(r)$, et $\Phi(\omega)$ est une estimation de fréquence spatiale du rayonnement primaire par une ouverture P , une représentation du domaine de fréquences du noyau de diffusion théorique est :

$$\tilde{K}(r) = \tau^{-1} \left[\frac{G(\omega)}{\Phi(\omega)} \right] \quad \text{Equation 7}$$

où τ^{-1} indique la transformée de Fourier inverse. En utilisation, l'estimation du noyau de diffusion est rendue compliquée par des zéros dans la représentation en domaine de fréquences, $\Phi(\omega)$, du rayonnement primaire. Des approches de régularisation connues peuvent être

appliquées pour améliorer cette difficulté. Dans un mode de réalisation, une approche consiste à établir un plancher pour les coefficients de Fourier de $\Phi(\omega)$. Quand les coefficients de Fourier dans $\Phi(\omega)$ tombent sous le plancher, le coefficient correspondant dans le rapport est mis à zéro. De cette manière, l'estimation de $K(r)$ devient insensible à la forme spécifique de $\Phi(\omega)$. Etant donnée l'estimation de $K(r)$, une pluralité de routines d'ajustement de paramètres peuvent être appliquées aux paramètres de noyau, c'est-à-dire si K est effectivement paramétré, comme c'est le cas pour K_e et K_g . En variante, l'estimation régularisée de $K(r)$ peut être utilisée pour l'itération suivante. Par exemple, on peut appliquer une pluralité de routines d'ajustement de mélange gaussien VM pour estimer les paramètres pour le noyau de diffusion dans l'équation 1, comme une approche ME de l'estimation de paramètres à l'étape M. L'approche ME décrite est donc une approche ME emboîtée.

Dans un mode de réalisation, une approche peut être affinée avec des contraintes supplémentaires. Par exemple, imposer $a_k > 0$ et imposer une moyenne de noyau de diffusion égale à zéro affine l'espace de recherche de paramètres aux noyaux d'intérêt. De cette manière, il est possible d'estimer l'ensemble de a_k et σ_k . Parmi les variantes d'approches de l'étape M, on peut citer l'analyse de Fourier non régulée, les approches de minimisation de l'énergie, et les approches d'espérance conditionnelle itérée. Ou bien on peut utiliser n'importe quelle approche qui donne une estimation VM des paramètres de noyau. La procédure d'estimation de paramètres de noyau de diffusion ME est représentée de façon schématique en figure 7.

L'estimation en 154 des événements de rayons X primaires sur le détecteur en utilisant les estimations de noyau de diffusion comprenant le fait d'utiliser l'estimation de noyau de diffusion déterminée précédemment ici et l'information précédente sur l'agencement d'éléments fantômes. Les événements primaires peuvent être estimés selon plusieurs méthodes. Dans un mode de réalisation, si l'estimation de la diffusion n'est pas nécessaire, et puisque la collimation d'ouvertures dans la plaque de blindage contre les rayonnements réduit de façon significative la contribution de la diffusion à l'intérieur de l'ouverture,

l'estimation primaire peut être approximée par les données de comptage moyen à l'intérieur de l'empreinte d'ouverture de rayons X ou du détecteur. En variante, si la contribution de la diffusion est connue, mais que l'estimation P du noyau de diffusion n'est pas spécifiquement
5 requise, on peut utiliser une certaine fraction des données de comptage moyen à l'intérieur de l'ouverture de rayons X pour estimer la contribution du rayonnement primaire. En variante, on peut utiliser n'importe quel mode de réalisation de l'étape E à partir de l'approche ME pour l'estimation des primaires dans l'estimation du noyau de diffusion. Dans certains modes de réalisation, la diffusion peut être
10 négligée, et elle n'a besoin ni d'être estimée ni d'être soustraite des comptages mesurés.

L'estimation en 156 du bruit de pixel de rayons X utilisant au moins une image corrigée en diffusion comprend le fait d'estimer les
15 contributions du bruit provenant des contributions du rayonnement primaire et diffusé pour calculer le bruit sur les primaires étant données les estimations des contributions du rayonnement primaire et diffusé. Ou bien, le bruit attendu dans la région du noyau de diffusion peut être déterminé en modélant l'utilisation d'une distribution de Poisson d'événements de rayons X plutôt que d'estimer les paramètres de bruit
20 provenant directement de l'imagerie. Une autre alternative à l'estimation du bruit consiste à supprimer la plaque de blindage 80 contre les rayonnements et à acquérir une autre image radiographique et à estimer le bruit en utilisant cette image. En variante, on peut modéliser le
25 bruit en fonction de la composition du bloc de matériau et utiliser ces estimations pour calculer des barres d'erreur sur des estimations de composition de tissu. En utilisation, lors de l'estimation du bruit à partir des images elles-mêmes ou en tant que valeurs théoriques basées sur la composition du bloc de matériau, on peut utiliser une pluralité
30 de métriques pour quantifier la variabilité comprenant l'écart-type, la variance, la statistique robuste, et les métriques de Hausdorff sur les sous-régions des comptages de photons.

Dans un mode de réalisation, on utilise la variance du bruit. En utilisant une sous-région d'une image spécifiée, et en utilisant une
35 géométrie de fantôme d'étalonnage connue, c'est-à-dire une empreinte

d'ouverture de rayons X, le bruit peut être estimé en utilisant un modèle simple des contributions de bruit de diffusion et primaire. Par exemple, en utilisant la plaque de blindage 80, le bruit du comptage de photons peut être estimé en utilisant l'Equation 8.

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{\pi r_T^2} \int_0^{r_T} \int_0^{2\pi} \frac{[y(r, \theta) - (E(y(r, \theta)))]^2}{E(y(r, \theta))} \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \text{ Equation 8}$$

dans laquelle la variable r_T est utilisée pour décrire le rayon utile pour l'estimation de la puissance du bruit.

L'extraction en 138 d'une pluralité de valeurs d'étalonnage d'au moins une image fantôme traitée pour créer une courbe d'étalonnage comprend le fait d'utiliser les événements primaires et les estimations de bruit pour créer une courbe d'étalonnage. En pratique, les événements de rayons X primaires (comptages de photons) au détecteur dus à chaque élément fantôme sont calculés. Le coefficient d'atténuation pour le i^e bloc de matériau peut être estimé en utilisant la relation suivante :

$$\bar{\mu}_i = \frac{d \log(\beta_i(T))}{dT} \text{ Equation 9}$$

où $\beta_i(T)$ est la donnée de comptage de photons en fonction de l'épaisseur pour une composition de bloc de matériau spécifique. Par exemple, les coefficients d'atténuation à la fois pour la graisse et le glandulaire peuvent être estimés en utilisant l'Equation 9. En utilisation, la fonction peut être ajustée avec un polynôme, une fonction spline, ou toute autre courbe utile pour le calcul de la dérivée dans l'équation 9 parce que la version continue de $\beta(T)$ peut ne pas être connue, ou bien connue seulement pour un nombre choisi d'épaisseurs, T .

REVENDICATIONS

1. Système de fantôme d'étalonnage destiné à être utilisé avec un système d'imagerie (10), ledit fantôme d'étalonnage comprenant :

5 un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant un premier coefficient d'atténuation ; et

10 un deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de ladite première hauteur, ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent dudit premier coefficient d'atténuation, ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme et ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur (16).

15 2. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 1, comprenant en outre une première plaque de blindage (80) contre les rayonnements placée au sommet dudit premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme et une deuxième plaque de blindage contre les rayonnements placée au sommet dudit deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme.

20 3. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 1, dans lequel ledit premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme est sensiblement rectangulaire.

25 4. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 2, dans lequel ladite première plaque de blindage (80) contre les rayonnements est sensiblement rectangulaire.

5. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 1, dans lequel ledit bloc de matériau (82) d'élément comprend un matériau d'équivalent de sein (122).

30 6. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 1, dans lequel ledit premier élément fantôme et lesdits deuxièmes éléments fantômes sont positionnés conjointement par ordre de coefficients d'atténuation décroissants.

7. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 2, dans lequel ladite plaque de blindage (80) contre les rayonnements s'étend sur une surface (106) dudit bloc de matériau (82) d'élément.

5 8. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 2, dans lequel ladite plaque de blindage (80) contre les rayonnements comprend une ouverture (84).

9. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 2, dans lequel ladite plaque de blindage (80) contre les rayonnements comprend un matériau métallique (96).

10 10. Système de fantôme d'étalonnage selon la revendication 9, dans lequel ladite plaque de blindage (80) contre les rayonnements comprend au moins partiellement au moins un élément parmi le plomb, le tungstène et l'aluminium.

15 11. Système de fantôme d'étalonnage destiné à être utilisé avec un système d'imagerie (10), ledit fantôme d'étalonnage comprenant :

20 un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant une première atténuation ;

une plaque de blindage (801) contre les rayonnements placée au sommet dudit premier bloc de matériau d'élément fantôme ; et

25 un deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de ladite première hauteur, ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent dudit premier coefficient d'atténuation, ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme et ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur (16).

30 12. Procédé (130) d'étalonnage d'un système d'imagerie (10), le système d'imagerie comprenant une source de rayonnement (14) et un détecteur numérique (16), ledit procédé comprenant les opérations consistant à :

35 prévoir (132) un système de fantôme d'étalonnage comprenant

un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant un premier coefficient d'atténuation, et un
5 deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de ladite première hauteur, ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un
10 deuxième coefficient d'atténuation différent dudit premier coefficient d'atténuation, le premier bloc de matériau d'élément fantôme et ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur ;

prendre (134) des images du système de fantôme d'étalonnage pour obtenir des images fantômes ;
15 traiter (136) les images fantômes ; et
extraire (138) une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées.

13. Procédé (130) selon la revendication 12, dans lequel la prise d'images (134) du système de fantôme d'étalonnage comprend les
20 opérations consistant à :

positionner (140) le système de fantôme d'étalonnage sur le détecteur numérique (16) ;
établir (142) des paramètres d'acquisition d'image pour au moins une image ; et
25 acquérir (144) au moins une image numérique et au moins une image d'écran de film.

14. Procédé (130) selon la revendication 12, dans lequel le traitement (136) des images fantômes comprend les opérations consistant à :

30 pré-traiter (150) au moins une image fantôme ;
estimer (152) un noyau de diffusion d'au moins une image pré-traitée ;
estimer (154) les événements de rayons X primaires sur le détecteur en utilisant les estimations de noyau de diffusion ; et
35 estimer (156) un bruit de pixel de rayonnement en utilisant

les événements de rayons X primaires.

15. Procédé (130) selon la revendication 12, dans lequel l'extraction (138) d'une pluralité de valeurs d'étalonnage des images fantômes traitées comprend le fait d'extraire des valeurs d'étalonnage de l'image traitée pour calculer une courbe d'étalonnage.

16. Procédé (130) selon la revendication 14, dans lequel l'estimation (152) d'un noyau de diffusion comprend le fait d'estimer un noyau de diffusion en utilisant une plaque de blindage (80) contre les rayonnements.

17. Procédé (130) selon la revendication 16, dans lequel l'utilisation d'une plaque de blindage (80) contre les rayonnements comprend le fait d'utiliser une plaque de blindage contre les rayonnements qui s'étend sur une surface (106) d'un bloc de matériau (82) d'élément.

18. Procédé (130) d'étalonnage d'un système d'imagerie (10), le système d'imagerie comprenant une source de rayonnement (14) et un détecteur numérique (16), ledit procédé comprenant les opérations consistant à :

prévoir (132) un système de fantôme d'étalonnage comprenant un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant un premier coefficient d'atténuation, et un deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de ladite première hauteur, ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent dudit premier coefficient d'atténuation, ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme et ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur ;

prendre (134) des images du système de fantôme d'étalonnage pour obtenir des images fantômes, ladite prise d'images comprenant les opérations consistant à positionner (140) le système de fantôme d'étalonnage sur le détecteur numérique, établir (142) des paramètres d'acquisition d'image pour au moins une image, et acquérir (144) au

moins une image numérique et au moins une image d'écran de film ;

traiter (136) les images fantômes, ledit traitement comprenant les opérations consistant à pré-traiter (150) au moins une image fantôme, estimer (152) un noyau de diffusion d'au moins une image pré-traitée, estimer (154) les événements de rayons X primaires sur le détecteur en utilisant les estimations de noyau de diffusion, et estimer (156) un bruit de pixel de rayonnement en utilisant les événements de rayons X primaires ; et

extraire (138) une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées.

19. Support exploitable par ordinateur, codé avec un programme exécutable par un ordinateur (38) pour l'étalonnage d'un système d'imagerie (10), le système d'imagerie comprenant une source de rayonnement (14) et un détecteur numérique (16), ledit programme étant configuré pour ordonner à l'ordinateur de :

prendre (134) des images du système de fantôme d'étalonnage pour obtenir des images fantômes, le système de fantôme d'étalonnage comprenant un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant un premier coefficient d'atténuation, et un deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de ladite première hauteur, ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent dudit premier coefficient d'atténuation, ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme et ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur ;

traiter (136) les images fantômes ;

extraire (138) une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées.

20. Support exploitable par ordinateur selon la revendication 19, dans lequel, pour prendre des images du système de fantôme d'étalonnage, ledit programme est en outre configuré pour :

positionner (140) le système de fantôme d'étalonnage sur le détecteur numérique (16) ;

établir (142) des paramètres d'acquisition d'image pour au moins une image ; et

5 acquérir (144) au moins une image numérique et au moins une image d'écran de film.

21. Support exploitable par ordinateur selon la revendication 19, dans lequel, pour traiter (136) les images fantômes, ledit programme est en outre configuré pour :

10 pré-traiter (150) au moins une image fantôme ;

estimer (152) un noyau de diffusion d'au moins une image pré-traitée ;

estimer les événements de rayons X primaires sur le détecteur en utilisant les estimations de noyau de diffusion ; et

15 estimer (156) un bruit de pixel de rayonnement en utilisant les événements de rayons X primaires.

22. Support exploitable par ordinateur selon la revendication 19, dans lequel, pour extraire (138) une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées (136), ledit programme est en outre configuré pour extraire des valeurs d'étalonnage de l'image traitée pour calculer une courbe d'étalonnage.

23. Support exploitable par ordinateur selon la revendication 21, dans lequel, pour estimer (152) un noyau de diffusion, ledit programme est en outre configuré pour estimer un noyau de diffusion en utilisant une plaque de blindage (80) contre les rayonnements.

24. Support exploitable par ordinateur selon la revendication 21, dans lequel, pour estimer (152) un noyau de diffusion, ledit programme est en outre configuré pour estimer un noyau de diffusion en utilisant une plaque de blindage (80) contre les rayonnements s'étendant sur une surface d'un bloc de matériau (82) d'élément.

25. Support exploitable par ordinateur, codé avec un programme exécutable par un ordinateur (38) pour l'étalonnage d'un système d'imagerie (10), le système d'imagerie comprenant une source de rayonnement (14) et un détecteur numérique (16), ledit programme étant configuré pour ordonner à l'ordinateur de :

35

prévoir (132) un système de fantôme d'étalonnage comprenant un premier bloc de matériau (54) d'élément fantôme ayant une première surface (58) à une première hauteur (60), ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un premier matériau (62) ayant un premier coefficient d'atténuation, et un deuxième bloc de matériau (56) d'élément fantôme ayant une deuxième surface (64) à une deuxième hauteur (66) différente de ladite première hauteur, ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme comprenant au moins partiellement un deuxième matériau (68) ayant un deuxième coefficient d'atténuation différent dudit premier coefficient d'atténuation, ledit premier bloc de matériau d'élément fantôme et ledit deuxième bloc de matériau d'élément fantôme étant positionnés conjointement sur un détecteur ;

prendre (134) des images du système de fantôme d'étalonnage pour obtenir des images fantômes, ladite prise d'images comprenant les opérations consistant à positionner (140) le système de fantôme d'étalonnage sur le détecteur numérique, établir (142) des paramètres d'acquisition d'image pour au moins une image, et acquérir (144) au moins une image numérique et au moins une image d'écran de film ;

traiter (136) les images fantômes, ledit traitement comprenant les opérations consistant à pré-traiter (150) au moins une image fantôme, estimer (152) un noyau de diffusion d'au moins une image pré-traitée, estimer (154) les événements de rayons X primaires sur le détecteur en utilisant les estimations de noyau de diffusion, et estimer (156) un bruit de pixel de rayonnement en utilisant les événements de rayons X primaires ; et

extraire (138) une pluralité de valeurs d'étalonnage à partir des images fantômes traitées.

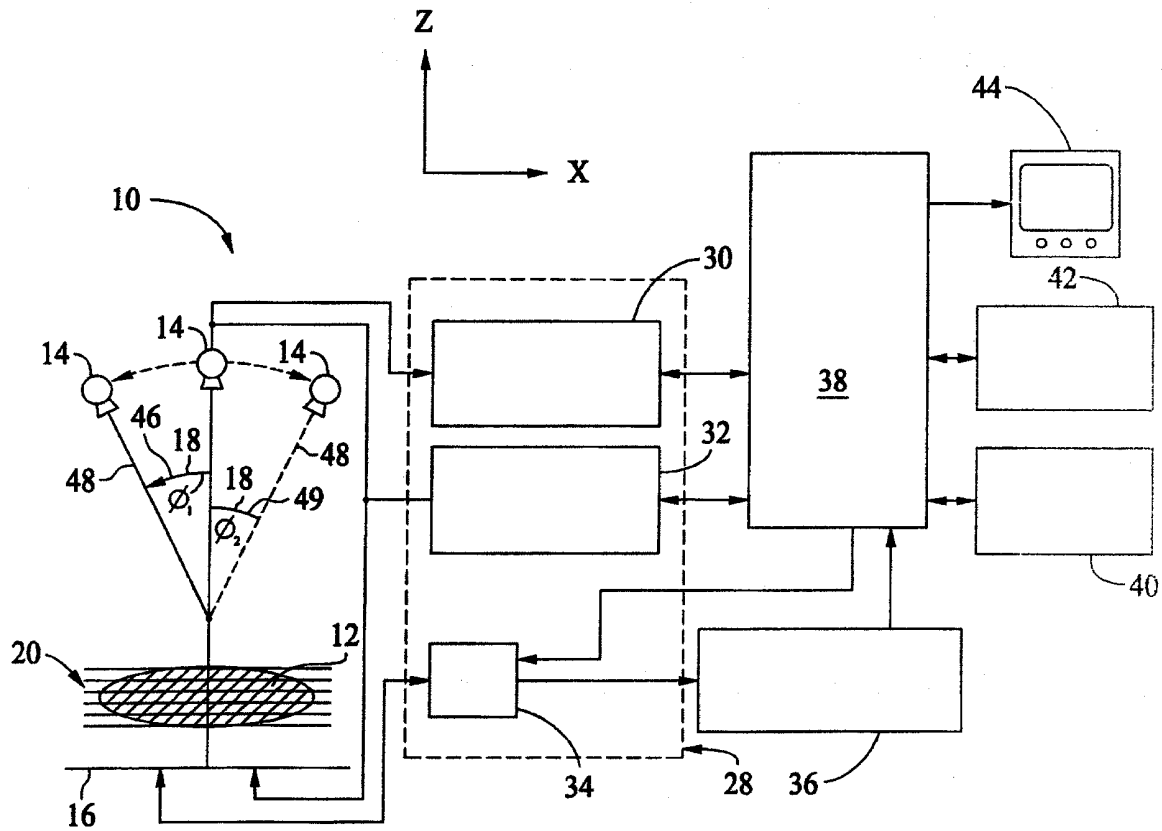


FIG. 1

2/6

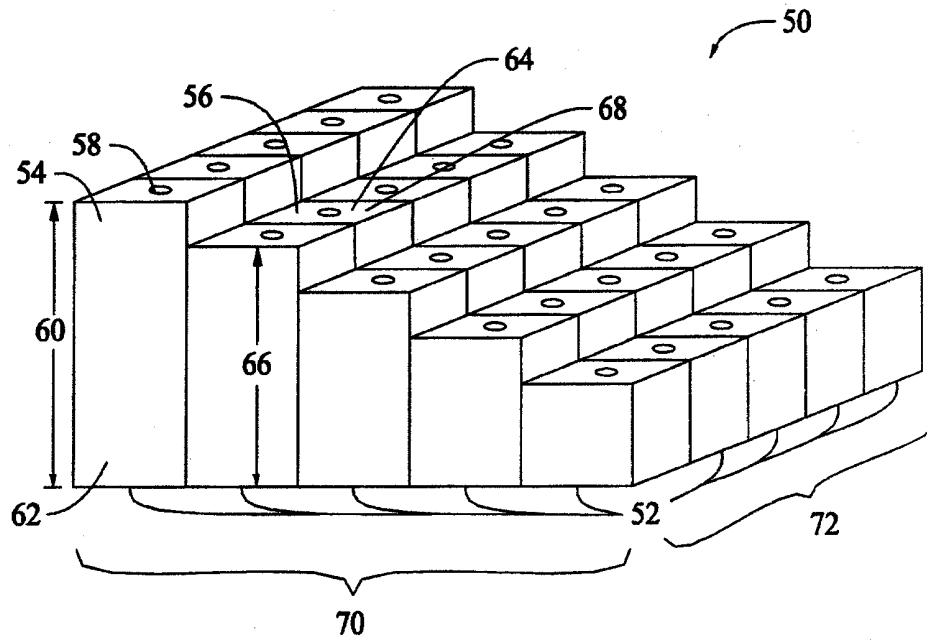


FIG. 2

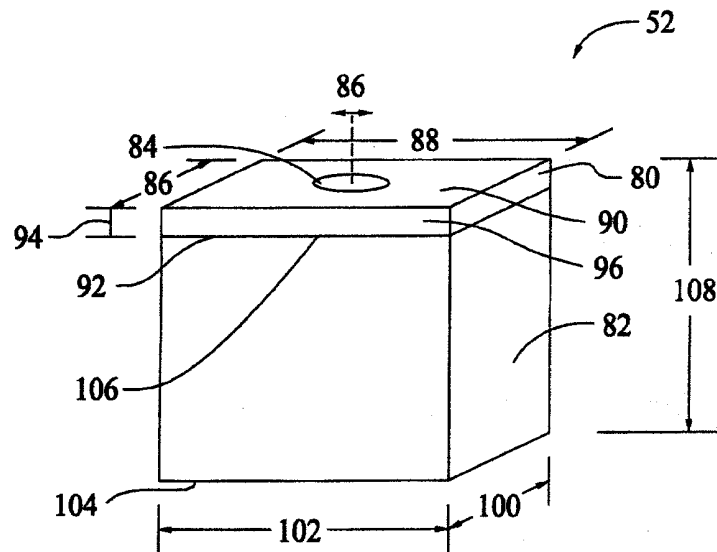


FIG. 3

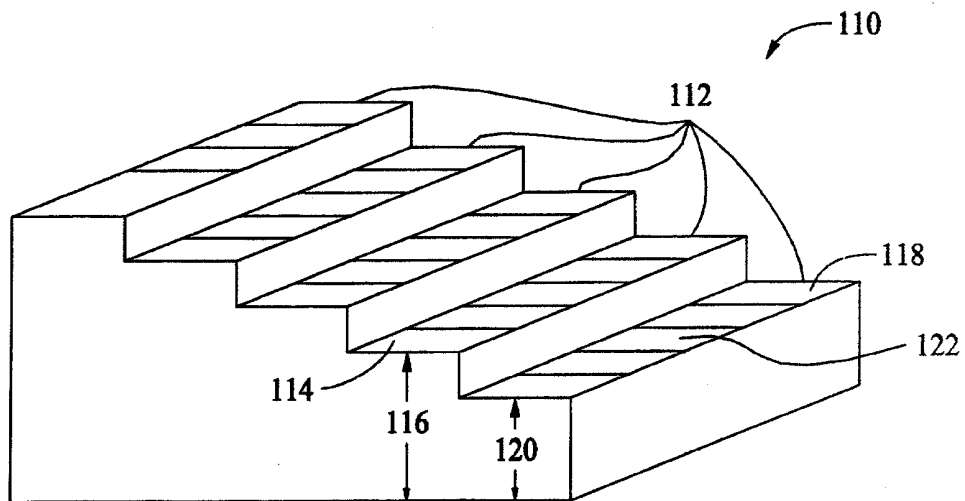


FIG. 4

4/6

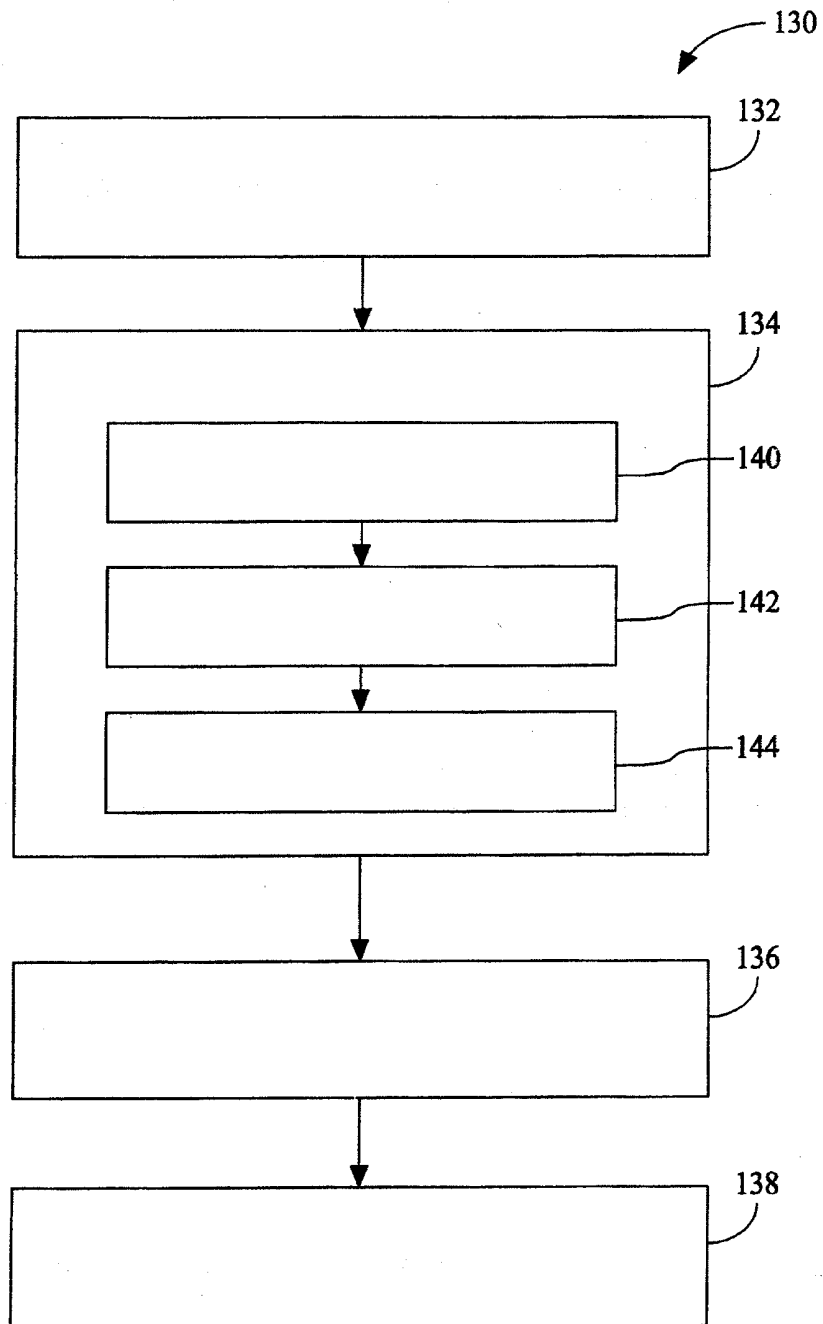


FIG. 5

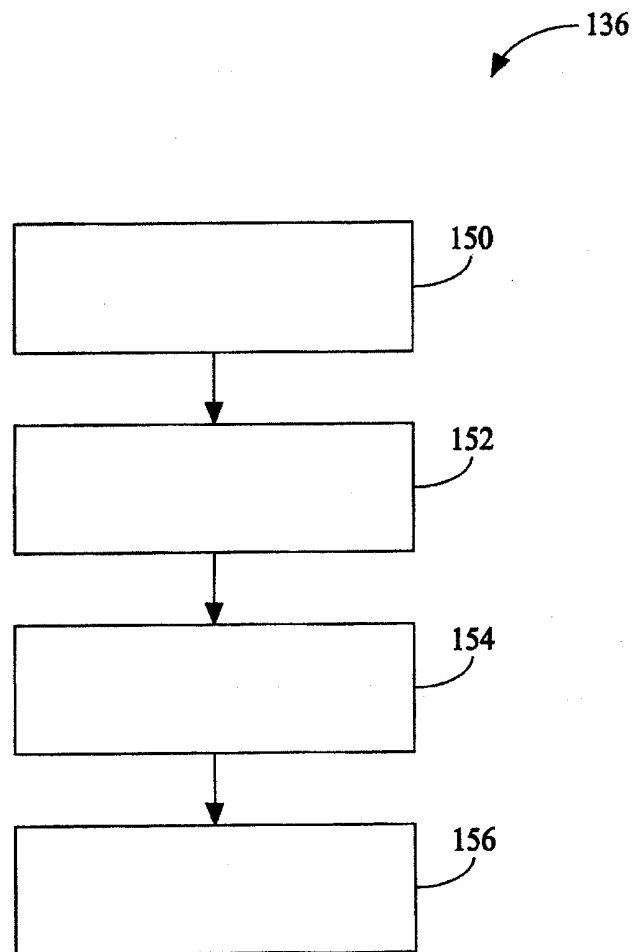


FIG. 6

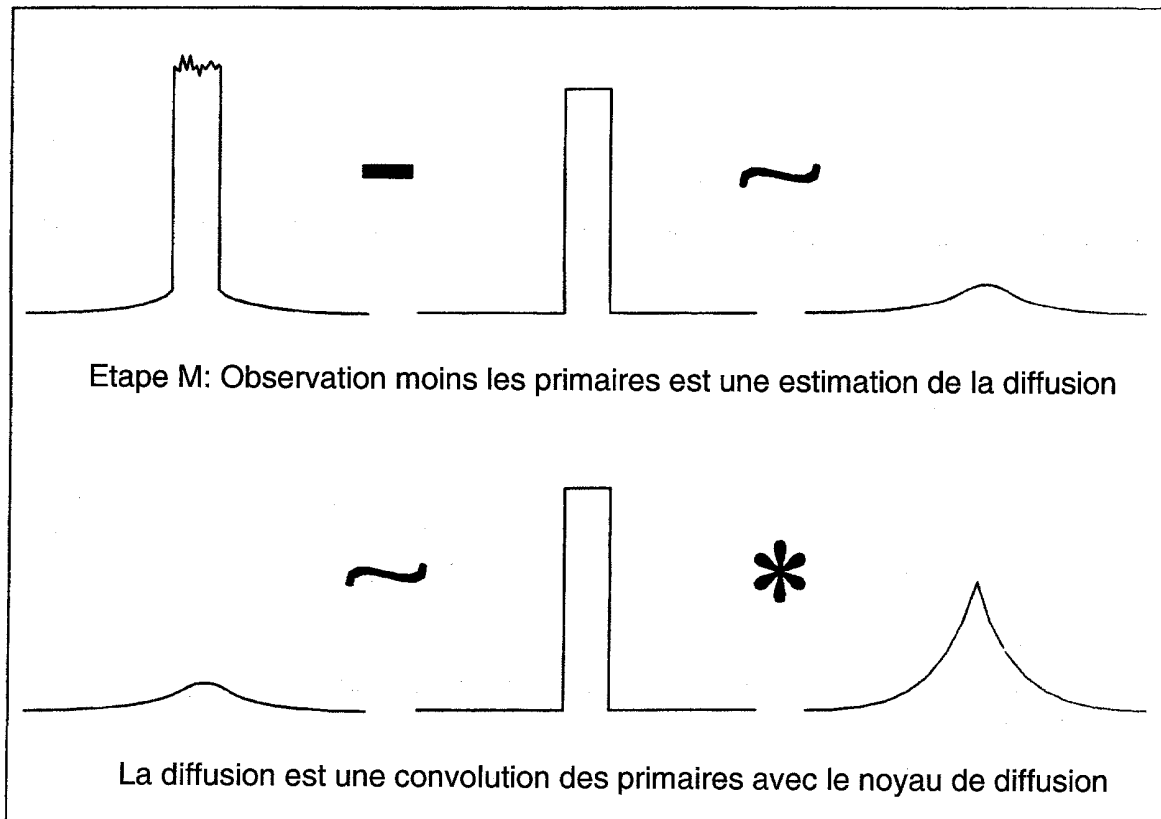
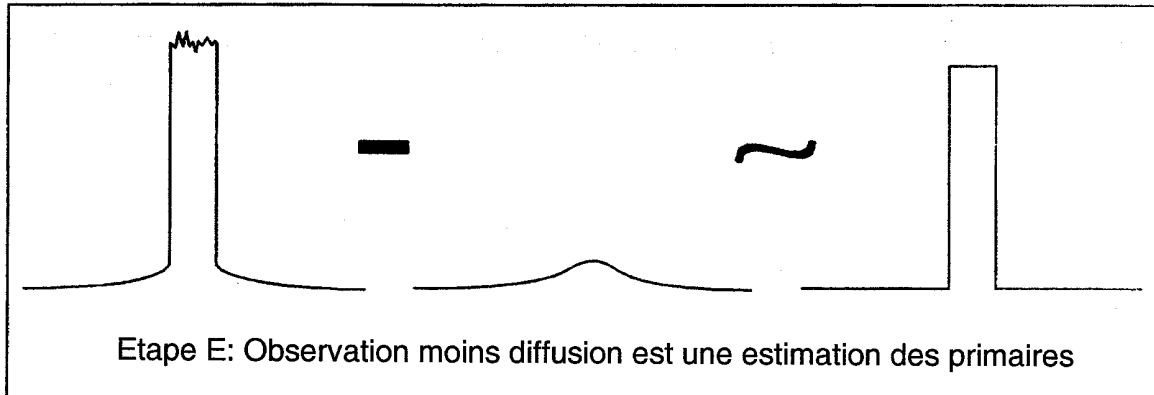


FIG. 7