

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 551 211

②1 N° d'enregistrement national :

84 13260

⑤1 Int Cl⁴ : G 01 N 23/04 // G 06 F 15/62.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 27 août 1984.

③0 Priorité : US, 29 août 1983, n° 527 472.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 9 du 1^{er} mars 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Société dite : ELSCINT LTD. — IL.*

⑦2 Inventeur(s) : Carl Ross Crawford, Yair Shimoni, A. Ro-
bert Schwal et Daniel Barnea.

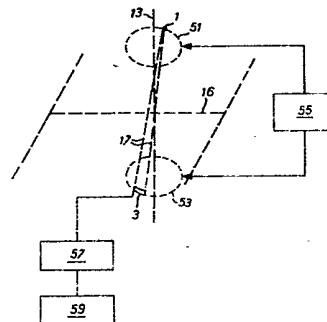
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Bonnet-Thirion et G. Foldès.

⑤4 Appareil et procédé pour réduire des artefacts de non-coplanarité, notamment en tomodynamométrie.

⑤7 Pour réduire les artefacts provoqués par une non-coplanarité entre la source 1 et le détecteur 3 dans un tomodynamomètre, qui est définie par l'ensemble des positions 51 de la source 1 dans un premier plan et par l'ensemble des positions 53 du détecteur 3 situé dans un second plan distant du premier, on alimente la source 1 pour qu'elle envoie un rayonnement traversant un objet et atteignant le détecteur 3, on détecte ce rayonnement et on forme des intégrales de lignes des coefficients d'atténuation de l'objet, on transforme les données en projections sur 360 degrés, qu'on filtre et on reconstitue deux images par reconstitution double d'un nombre fini de lignes radiales.

Application notamment aux tomodynamomètres à rayons X exempts d'artefacts de non-coplanarité.



FR 2 551 211 - A1

D

La présente invention concerne le domaine de la tomographie assistée par ordinateur ou tomodensitométrie et plus particulièrement les appareils permettant d'éliminer ou au moins de réduire des défauts provoqués par
5 une absence de planarité entre le moyen de détection et le moyen formant source de rayonnement dans le portique de support de tomodensitomètres.

L'évolution de la tomographie aux rayons X assistée par ordinateur ou tomodensitométrie aux rayons
10 X (CT) a entraîné l'apparition de dispositifs d'exploration par balayage (dit également "scanners"), dans lesquels les temps d'acquisition des données et de reconstitution des images sont réduits et qui possèdent une densité et une résolution spatiale améliorées. Ces perfectionnements ont été
15 obtenus principalement grâce à l'utilisation de systèmes plus sophistiqués d'acquisition de données et d'un matériel permettant une reconstitution plus rapide des images. La qualité des images a été également améliorée grâce aux hypothèses de réévaluation utilisées dans les algorithmes des
20 premières générations de tomodensitomètres et grâce à la mise en oeuvre de corrections et/ou d'affinages de ces hypothèses dans le cadre de l'algorithme de reconstitution des images.

Les hypothèses furent faites au départ
25 dans le but de s'assurer de la compatibilité des données réelles collectées par un dispositif existant d'exploration avec des algorithmes théoriques de reconstitution requérant par exemple un nombre infini de valeurs d'intégrales de
lignes de la fonction d'atténuation bidimensionnelle. Dans
30 les algorithmes de reconstitution, les valeurs des intégrales de lignes sont inversées, ce qui fournit des fonctions bidimensionnelles de densité de l'objet, qui sont présentées à l'utilisateur sous la forme d'images.

Les tomodensitomètres utilisent une
35 pluralité de moyens formant sources et une pluralité

de moyens détecteurs, qui sont affectés d'un mouvement d'exploration par balayage, par rapport à un corps, de manière à fournir une mesure de l'atténuation pour chaque droite de rayonnement d'une pluralité de droites de rayonnement

5 reliant les dispositifs formant sources et les moyens détecteurs. Ces mesures de l'atténuation sont ensuite traitées par des moyens appropriés de manière à fournir une distribution des valeurs d'intégrales de lignes de la fonction de densité de l'objet. Pour obtenir la pluralité requise

10 d'intégrales de lignes, on déplace la source et les détecteurs selon des réseaux définis d'avance.

Dans un système à translation et rotation, en supposant que la source émet un faisceau en éventail formé d'une pluralité de faisceaux en forme de pinceaux, les

15 détecteurs fournissent, pendant la translation, une information concernant une pluralité d'ensembles de trajets de faisceaux parallèles. Ces ensembles sont séparés angulairement en raison de la séparation angulaire des faisceaux. Au cours du balayage latéral, chaque faisceau en forme de pinceau

20 délivre les données pour un ensemble de trajets de faisceaux parallèles. Les données provenant de chaque tel ensemble de trajets de faisceaux parallèles sont traitées de manière à fournir des projections parallèles de la fonction de densité de l'objet. Habituellement on utilise des procédés de

25 rétroprojection filtrée pour reconstituer la fonction de densité à partir des projections parallèles collectées pour un angle minimum de rotation de 180 degrés.

Dans des dispositifs d'exploration à

30 rotation-rotation, dans lesquels la relation source aux détecteurs est fixe et dans lesquels la source et les détecteurs tournent ensemble autour de l'objet, il est usuel de transformer les données ainsi collectées non mises sous forme

parallèle, sous un contrat de données parallèles

35 grâce à une technique appropriée de retriage ou de reclasse-

ment. Ceci est dû au fait que les procédés classiques de
rétro-projection sont adaptés aux données mises sous la for-
me parallèle, produites par un dispositif d'exploration du
type à translation-rotation. Les techniques de reclassement
5 ou de retriage ont été décrites dans le brevet US.4.266.136.
L'algorithme de retriage requiert un angle de rotation de
180 degrés plus l'angle sous-tendu par l'éventail formant
source. On dispose également de procédés permettant de re-
constituer directement les données du faisceau en éventail,
10 qui sont requises par l'algorithme de retriage. Ce procédé
est décrit dans l'article de D.L. Parker, "Optimal Short
Scan Convolution Reconstruction for Fanbeam CT," (reconsti-
tution optimale par convolution et balayage bref pour un
tomodensitomètre à faisceau en éventail), Medical Physics,
15 Vol. 9, n° 2, Mars 1982, pp. 254-258.

La plupart des tomodensitomètres actuel-
lement disponibles utilisent ce que l'on peut désigner comme
étant des configurations source-détecteurscoplanaires. C'est-
à-dire que les centres des ouvertures de toutes les positions
20 des détecteurs et de la source sont situés dans le même plan
connu comme étant le plan de balayage. Cette configuration
bidimensionnelle est le résultat du système mathématique
de la théorie classique de la reconstitution, qui requiert
que toutes les intégrales de lignes de la fonction de
25 densité se situent dans un plan.

Un problème principal se posant avec
les tomodensitomètres actuels tient au fait que les détec-
teurs et les sources possèdent des ouvertures qui s'étendent
suivant la direction axiale, c'est-à-dire perpendiculairement
30 au plan de balayage. L'hypothèse selon laquelle l'objet
est invariant dans l'espace suivant la direction axiale,
est implicite pour l'algorithme de reconstitution des images.
Cette hypothèse est rarement satisfaite. C'est pourquoi il
existe dans la reconstitution finale du plan de balayage
35 des artefacts qui sont connus sous le nom d'artefacts "de volu-

me partiel". Afin de réduire les artefacts de volume partiel, on donne aux ouvertures de la source et des détecteurs, des hauteurs aussi faibles que possible.

Dans certains tomodesitométrés, les
5 ouvertures de la source et des détecteurs sont agencées intentionnellement de manière à être situées dans des plans séparés. De tels appareils sont décrits comme possédant des configurations non-coplanaires. Des appareils non-coplanaires ont été décrits dans les articles suivants : D. P. Boyd,
10 "Theoretical Possibilities for CT Scanner Development," (possibilités théoriques de développement des tomodesitométrés), Diagnostic Imaging, Décembre 1982, R. A. Robb, "X-ray Computed Tomography : An Engineering Synthesis of Multiscientific Principles," (tomodesitométrie aux rayons
15 X : une synthèse technique de principes multiscientifiques), dans "Critical Reviews in Biomedical Engineering," Ed. J.R. Bourne, CRC Press, Maron 1982, pp. 265-327. Une conséquence de cette nouvelle géométrie non-coplanaire réside dans le fait qu'il peut se produire un accroissement des artefacts de
20 volume partiel. Cette nouvelle génération d'artefacts de volume partiel est désignée sous le terme d' "artefacts de non-coplanarité".

La non-coplanarité entraîne différents types d'artefacts dont deux sont d'une importance capitale.
25 Le premier est lié à la résolution axiale et le second est lié à des incohérences dans les données en interaction avec l'algorithme de reconstitution.

Le volume d'une coupe fournie par un tomodesitométré est le volume formé par la réunion de tous
30 les trajets pris par les valeurs des intégrales de lignes. Le volume de tranche dans la géométrie non-coplanaire est beaucoup plus important et plus irrégulier que le volume de tranche dans la géométrie coplanaire. Etant donné que les objets présentent des variations spatiales suivant la direction
35 axiale, les résolutions axiales d'appareils non-coplanaires

res sont nettement inférieures à celles des tomodensitomètres coplanaires correspondants.

Le second type d'artefact provoqué par la non-coplanarité est le résultat d'incohérences dans les données mesurées des intégrales de lignes. Tous les algorithmes actuels de reconstitution supposent ou requièrent que les intégrales de lignes le long de deux trajets opposés soient identiques. Cependant, s'il existe une quelconque variation du coefficient d'atténuation de l'objet suivant la direction axiale, les intégrales de lignes le long des deux trajets opposés dans la configuration non-coplanaire ne seront pas identiques. Le résultat de cette incohérence est l'apparition d'artefacts dans les images reconstituées. En raison de la forme physique et de la distribution de densité des artefacts, ces derniers sont désignés sous le terme d' "artefacts papillons".

Si l'on espère que des tomodensitomètres possédant des géométries non-coplanaires fournissent des images valables, il faut réduire le volume important de la tranche et les "artefacts papillons". Etant donné qu'il existe toujours un certain degré de non-coplanarité, il existe un point pour lequel les artefacts de non-coplanarité rendent les images inutilisables du point de vue médical. C'est pourquoi il existe un besoin d'appareils et de procédés permettant de corriger les artefacts de non-coplanarité.

Selon un aspect général de la présente invention, il est prévu un procédé de correction servant à réduire les artefacts provoqués par un type de non-coplanarité entre un dispositif formant source et des dispositifs formant détecteurs dans le domaine de la tomographie assistée par ordinateur, ladite non-coplanarité étant définie par la réunion des positions dudit dispositif formant source décrivant un premier plan, par la réunion des positions desdits dispositifs détecteurs décrivant un second plan distant axialement dudit premier plan, et parallèle à celui-ci, ledit procédé incluant

les phases opératoires suivantes :

- exciter ledit moyen formant source de manière à qu'il fournisse un rayonnement s'étendant depuis lui-même jusqu'auxdits moyens détecteurs en traversant un objet,
- 5 - détecter ledit rayonnement et former des intégrales de lignes des coefficients d'atténuation de l'objet,
- transformer les données en projections sur 360 degrés,
- filtrer les données collectées, et
- reconstituer deux images en reconstruisant deux fois un nombre fini de droites radiales, une fois en utilisant les données de projections filtrées minimum requises par l'algorithme de reconstitution et centrées autour de l'angle d'une ligne radiale, et la seconde fois en utilisant les données de projections filtrées centrées autour de l'angle
- 15 d'une ligne radiale plus 180 degrés.

Conformément à une caractéristique de la présente invention, le procédé incluant la phase opératoire consistant à réaliser les deux reconstitutions des lignes radiales qui forment simultanément une image. Le

20 résultat de ce procédé décrit est l'obtention de deux images distinctes représentant les sections supérieure et inférieure du volume de la tranche.

L'utilisation de deux images améliore fortement la résolution axiale et réduit les "artefacts papillons", qui sont une caractéristique de la non-coplanarité.

25

Le procédé indiqué ci-dessus est optimisé de façon implicite pour des données fournies par un tomographe à translation-rotation également connu sous le terme d'appareils de la première ou de la seconde génération.

30 Cependant il est possible de retrier ou de reclasser les données fournies par n'importe quelle configuration d'appareil afin que ces données ressemblent aux données collectées dans le cas de la configuration à translation-rotation.

C'est pourquoi le procédé conforme à l'invention met en oeuvre

35 la phase opératoire supplémentaire consistant à retrier

les données fournies par une configuration quelconque, sous la forme de données de projections parallèles et à les traiter comme indiqué ci-dessus.

Une autre caractéristique de l'invention envisage en outre la mise en oeuvre d'un procédé plus généralisé pour traiter des données afin de compenser la non-coplanarité. Le retriage requiert souvent l'utilisation d'une interpolation comme par exemple dans le cas de l'utilisation de tomodesitomètres à rotation-rotation. Les valeurs interpolées ne sont pas nécessairement cohérentes et par conséquent un retriage produit souvent des artefacts en forme de bandes dans les reconstitutions. C'est pourquoi cette phase d'interpolation peut introduire des artefacts qui sont pires que les artefacts initiaux de non-coplanarité. C'est pourquoi il est prévu dans l'art antérieur un algorithme de rétro-projection directe (sans interpolation fournissant des données de projections en parallèle), qui est conçu pour la géométrie spécifique lors de l'obtention des données à partir d'un tomodesitomètre présentant une configuration à rotation-rotation. Un autre procédé entrant dans le cadre de la présente invention utilise des données de projection d'un faisceau en éventail, obtenues directement à partir du tomodesitomètre à rotation-rotation, à la place des projections en parallèle; ce procédé inclut les phases opératoires consistant à diviser l'image en rayons épais en forme de coins et à mettre en oeuvre le procédé mentionné plus haut en traitant ces coins sous la forme de lignes radiales.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description donnée ci-après prise en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma partiel illustrant une configuration non-coplanaire d'une source et de détecteurs, conforme à la présente invention ;

- la figure 2 est un schéma montrant une coupe transversale d'une configuration coplanaire et d'une configuration non-coplanaire source-détecteur ;

5 - la figure 3 est un schéma détaillé du dispositif de traitement d'images représenté sur la figure 1 ;

- la figure 4 est un schéma montrant la subdivision de la rétro-projection en une image supérieure et une image inférieure, conformément à l'invention ; et

10 - la figure 5 est un schéma montrant un rayon épais en forme de coin utilisé avec des configurations de faisceaux en éventail conformément à la présente invention.

En se référant maintenant à la figure 1, on voit que le chiffre de référence 1 désigne un moyen
15 formant source servant à émettre des faisceaux de rayonnement à travers un corps qui est situé entre le dispositif détecteur 3 et le moyen formant source 1 dans la région de l'axe central 13. Le dispositif détecteur 3 est disposé dans un plan qui est distinct du plan dans lequel se trouve
20 le moyen formant source 1, et qui est essentiellement parallèle à ce plan. Le dispositif détecteur 3 reçoit des faisceaux de rayonnement en provenance du moyen formant source 1, qui produit des signaux d'intensité représentant l'intensité des faisceaux qui ont traversé le corps soumis
25 à l'examen. Le signal de sortie du dispositif détecteur 3 est envoyé à une unité de prétraitement 57, qui fournit des données de projection représentant les intégrales de lignes à travers le corps soumis à l'examen. Les données des intégrales de lignes sont transmises à une unité 59 de traitement des images, qui délivre une pluralité d'images représentant le corps soumis à l'examen.
30

Sur la figure 1 on a représenté un système à rotation-rotation, dans lequel le dispositif formant source 1 est entraîné en rotation autour de l'axe 13 le long
35 d'une ligne circulaire en pointillés 51, tandis que

le moyen détecteur 3 est entraîné en rotation autour d'une ligne circulaire représentée en pointillés 53, le dispositif formant source 1 et le dispositif détecteur 3 étant fixes l'un par rapport à l'autre. Il faut noter que la présente invention n'est pas limitée à une configuration à rotation-rotation, mais qu'en outre il est possible d'utiliser d'autres configurations de tomодensitométrie, comme par exemple des configurations à translation-rotation, des configurations à rotation-état fixe ou des configurations à source échantillonnée entièrement fixe. Naturellement il faut comprendre que le moyen formant source 1 et le moyen détecteur 3 sont montés tous les deux sur un organe de support approprié (non représenté).

Sur la figure 1, la référence 17 désigne un faisceau de rayonnement émis par le moyen formant source 1 et qui tombe sur le moyen détecteur 3. La référence 16 désigne un plan focal qui est parallèle aux plans respectifs dans lesquels sont situés le moyen formant source 1 et le moyen détecteur 3, et se trouve approximativement à mi-distance entre ces plans. Un dispositif de commande de déplacement 55 agit de telle sorte que le moyen formant source 1 émet un rayonnement à partir d'une pluralité d'emplacements de manière à fournir, sur un total de 360 degrés, des signaux de projections parallèles par rapport au corps soumis à l'examen, pour un système à translation-rotation, ou bien, sur un total de 360 degrés, des données de faisceau en éventail par rapport au corps pour un système à rotation-rotation. Il faut noter que le dispositif de commande de déplacement 55 provoque la rotation en tandem du moyen formant source 1 et du moyen détecteur 3 dans un système à rotation-rotation, mais ne provoque que l'entraînement en rotation du moyen formant source 1 dans un système à rotation-état fixe. En outre dans un système à translation-rotation, le dispositif de commande de déplacement 55 provoquera à la fois la trans-

lation et la rotation du moyen formant source et du moyen détecteur 3 par rapport au corps.

Dans les tomodesitométrés en général disponibles, il existe de façon idéale une coplanarité, 5 comme représenté sur la figure 2A, entre les centres de toutes les ouvertures du moyen formant source et du moyen formant détecteur. Une source de rayonnement telle que le tube 21 à rayons X est située dans le même plan qu'un détecteur 22. Lorsque le couple source-détecteur 10 tourne de 180 degrés pour venir dans les positions respectives 21' et 22', le même trajet relie les centres des ouvertures de la source et du détecteur.

La figure 2B représente, au contraire, un moyen formant source et un moyen détecteur qui 15 ne sont pas coplanaires. Le moyen formant source est situé dans le plan 23 de la source et le moyen détecteur est situé dans le plan 24 du détecteur. Le plan centré entre les plans de la source et du détecteur est désigné sous le terme de plan focal et est désigné par 16 sur la 20 figure 2. Comme représenté sur la figure 2B, lorsque la source 21 vient dans la position 21' et que le détecteur 22 vient dans la position 22', le trajet reliant les centres des ouvertures du moyen formant source et du moyen détecteur diffère du trajet initial de liaison.

25 Les incohérences dans les trajets décrits ci-dessus conduisent aux artefacts papillons mentionnés ci-dessus. La non-coplanarité des moyens formant source et détecteur conduit à une diminution de la résolution suivant la direction axiale. Les procédés uniques 30 utilisés pour réduire les effets de la non-coplanarité seront mieux compris à l'examen de l'étude mathématique suivante relative à la théorie de la reconstitution.

On considère une fonction $f(x, y)$ qui représente une section transversale d'un objet et le trajet 35 caractérisé par (θ, t) est donné par :

11

$$t = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (1)$$

Un échantillon, $p(\theta, t)$ de la projection de la fonction de l'objet le long du trajet caractérisé par (θ, t) est fourni par :

$$p(\theta, t) = \iint f(x, y) \delta(t - x \cos(\theta) - y \sin(\theta)) dx dy, \quad (2)$$

dans laquelle $\delta(z)$ est décrite par l'équation intégrale suivante :

$$\int \delta(z) g(z) dz = g(0) \quad (3)$$

La projection d'un objet est obtenue de la manière bien connue de l'homme de l'art.

Des projections filtrées de l'objet sont fournies par :

$$q(\theta, t) = p(\theta, t) \langle * \rangle h(t) \quad (4)$$

dans laquelle l'opération de convolution est désignée par $\langle * \rangle$ et $h(t)$ est l'une des fonctions bien connue de filtrage

requise par les algorithmes de rétro-projection.

Dans l'appareil de l'art antérieur, l'opération de rétro-projection utilisée pour la reconstitution de l'objet $f(x, y)$ est décrite par :

$$f(x, y) = \int q(\theta, x \cos(\theta) + y \sin(\theta)) d\theta \quad (5)$$

dans laquelle les limites de l'intégrale s'étendent sur n'importe quelle gamme de θ s'étendant sur 180 degrés. Cependant, la gamme est fixée pour toutes les valeurs de "x" et "y".

Soit $F(\phi, \rho)$ la représentation en coordonnées polaires de la fonction de l'objet $f(x, y)$. Les deux fonctions peuvent être associées comme suit:

$$f(x, y) = F(\phi, \rho) \quad (6)$$

$$x = \rho \cos(\phi) \quad (7a)$$

$$y = \rho \sin(\phi) \quad (7b)$$

dans lesquelles

$$0 \leq \rho < \infty$$

L'intégrale de reconstitution peut être exprimée en coordonnées polaires si l'on substitue dans la relation (5) les relations (6) et (7) :

$$F(\phi, \rho) = \int q(\theta, \rho \cos(\theta - \phi)) d\theta \quad (8)$$

dans laquelle on insiste sur le fait que ϕ prend toutes les valeurs comprises entre zéro et 2π et que ρ n'est pas négatif.

On considère une ligne radiale de 'f' correspondant à ϕ . Il est facile de voir, d'après la géométrie de la configuration noncoplanaire, que $p(\phi, 0)$ recevra ses contributions les plus importantes de la part d'objets situés le long de la ligne radiale correspondant à ϕ qui se situe au-dessus du plan focal, et de la part d'objets qui sont situés au-dessous du plan focal le long de la ligne radiale correspondant à $\phi + \pi$. Par conséquent une reconstitution optimisée de la ligne radiale correspondant au volume de la tranche située au-dessus du plan focal peut être donnée par :

$$F(\phi, \rho) = \int_{\phi - \pi/2}^{\phi + \pi/2} g(\theta, \rho * \cos(\theta - \phi)) d\theta \quad (9)$$

Il est aisé d'étendre le raisonnement ci-dessus pour montrer que $p(\phi + \pi, 0)$ reçoit ses contributions les plus importantes de la part d'objets qui sont situés au-dessous du plan focal pour la ligne caractérisée par ϕ , et de la part d'objets situés le long de la ligne radiale caractérisés par $\phi + \pi$ et qui sont au-dessus du plan focal. Par conséquent une reconstitution optimisée de la ligne radiale correspondant au volume de tranche au-dessous du plan focal peut être donnée par :

$$F(\phi, \rho) = \int_{\phi + \pi/2}^{\phi + 3\pi/2} g(\theta, \rho * \cos(\theta - \phi)) d\theta \quad (10)$$

Etant donné que chaque image est une réunion de lignes radiales sur 360 degrés, les équations intégrales dans (9) et (10) peuvent être utilisées pour la reconstitution de deux images. Le résultat du procédé décrit est l'obtention des deux images distinctes représentant les sections supérieure et inférieure du

volume de la tranche. Ces deux images améliorent de façon significative la résolution axiale et réduisent les "artefacts papillons" qui sont une caractéristique de la non-coplanarité.

Un appareil utilisé pour la mise en oeuvre du procédé ci-dessus est représenté sur la figure 3, sur laquelle on a représenté un schéma détaillé du moyen 59 de traitement des images. Des moyens 61 de formation de projection en parallèle produisent des données de projections en parallèle sur 360 degrés. Le signal de sortie 10 de 61 est transmis au moyen de filtrage 63. Le moyen de reconstitution 67 produit une image à partir des données de projections filtrées par reconstitution des images en rassemblant les reconstitutions d'une série de lignes radiales. Les données utilisées par le moyen 67 15 de reconstitution sont sélectionnées par un moyen de sélection 65. Le moyen de sélection 65 sélectionne des données en fonction de la ligne radiale étant reconstituée par le moyen de reconstitution 67. Le moyen de sélection 65a est conçu de manière à sélectionner 20 des données de projection centrées sur l'angle de la ligne radiale et le moyen de sélection 65b est conçu pour sélectionner des données centrées sur l'angle de cette ligne radiale plus 180 degrés. Un moyen de réaction 71 donne l'angle de la ligne radiale, qui est reconstituée par le moyen de reconstitution 67, au moyen 25 de sélection 65. Les images résultantes sont affichées sur le moyen 69 d'affichage d'images.

Les intégrales dans les relations (9) et (10) se présentent sous la forme standard d'intégrales de rétro-projection. Il est aisé d'étendre le procédé de rétro-projection normal pour incorporer le procédé à image double décrit ci-dessus. Ceci est dû au fait que chaque ligne radiale est reconstituée en utilisant des projections filtrées, sur 180 degrés.

35 Le procédé développé est illustré par

la figure 4. Ce procédé comprend les phases opératoires suivantes :

- formation de projections en parallèle sur 360 degrés,
- filtrage des projections en parallèle,
- 5 - pré-réglage à zéro d'une image représentant le volume supérieur et d'une image représentant le volume inférieur, et
- rétro-projection des projections filtrées sur l'ensemble des 360 degrés, ladite phase opératoire de rétro-projection étant modifiée de telle sorte qu'une projection fait
- 10 l'objet d'une rétro-projection pour obtenir l'image supérieure pour toutes les valeurs d'éléments d'image précédant la transition du plan focal et pour obtenir l'image inférieure après la transition du plan focal, cette transition du plan focal étant la droite intersectant l'origine du balayage
- 15 présentant le même angle que la projection étant rétro-projectée.

Ce procédé fournit des artefacts circulaires en raison de la transition "abrupte" se produisant pendant le passage d'une image à l'autre, lors du franchissement de la

20 transition du plan focal. Les artefacts circulaires raccordent des objets de haute densité à l'origine du plan de balayage.

Ces artefacts circulaires peuvent être réduits au moyen d'un lissage de la transition autour du plan focal. La procédure de lissage est mise en oeuvre au

25 moyen d'une rétro-projection pour obtenir les deux images pour une région proche de la transition du plan focal. Cependant les valeurs obtenues par rétro-projection dans cette zone sont pondérées de telle sorte que la somme de la contribution d'une projection donnée et de la contribution

30 de la projection décalée exactement de 180 degrés par rapport à la projection donnée, est exactement égale à un.

Les procédures décrites ci-dessus peuvent être généralisées étant donné que, du point de vue mathématique,

35 les données collectées dans la configuration à trans-

lation-rotation sont identiques aux données collectées dans n'importe quelle autre configuration pouvant être reconstituée. Il est toujours possible de reclasser ou de retriage des données pour se conformer aux données fournies par le
5 mode à translation-rotation. Une fois que le retriage a été effectué, la procédure décrite précédemment peut être utilisée pour corriger la noncoplanarité.

Le retriage requiert souvent l'utilisation d'une interpolation comme par exemple dans le cas de
10 l'utilisation de tomodesitométrés à rotation-rotation. Les valeurs interpolées ne sont pas nécessairement cohérentes et par conséquent un retriage produit souvent des artefacts en forme de bandes dans les reconstitutions.

C'est pourquoi cette phase opératoire d'interpellation peut
15 introduire des artefacts qui sont pires que les artefacts initiaux de non-coplanarité. C'est pourquoi il est souhaitable d'étendre les procédés ci-dessus au cas du tomodesitométré à rotation-rotation, sans utiliser la phase opératoire de retriage.

20 On notera que, dans le procédé de correction de la non-coplanarité décrit en référence à la figure 4, chacune des deux reconstitutions de surfaces reçoit des contributions à partir de 180 degrés des projections filtrées, et non à partir de l'ensemble des 360 degrés. On notera que
25 le procédé de la figure 4 est un algorithme rapide pour tous les éléments des deux images. Cependant l'algorithme de la figure 4 n'est pas directement applicable aux données de rotation-rotation, les projections étant
nécessaires à partir de 180 degrés plus l'angle de
30 l'éventail du faisceau. De plus, les projections sont pondérées avant le filtrage par une fonction dépendant de l'angle de projection.

L'analogie directe de l'algorithme de la figure 4 avec les données d'un faisceau en éventail ré-
35 side dans la reconstitution de chaque ligne radiale dans

chacune des images supérieure et inférieure indépendamment des autres lignes radiales. Chaque ligne radiale est obtenue en utilisant un algorithme de reconstitution directe sur 180 degrés plus l'angle du faisceau en éventail. Cet
5 algorithme utilise beaucoup de temps. La solution consiste à utiliser certains raccourcis comme cela est représenté sur la figure 5, sur laquelle en effet les lignes radiales "épaisses" sont illustrées par l'utilisation de secteurs.

10 Les 360 degrés des données de projection du faisceau en éventail sont divisés en K ensembles de données se recouvrant , dont chacun englobe 180 degrés plus l'angle du faisceau en éventail. Pour chaque ensemble, on reconstitue un secteur centré dans les limites des données.
15 De même on reconstitue immédiatement la réflexion des secteurs. On combine les K secteurs de manière à former la surface supérieure et on combine les secteurs réfléchissants de manière à former la surface inférieure. Les secteurs se recouvrant sont utilisés pour lisser les transitions au
20 niveau des limites entre secteurs.

Bien que la présente invention ait été décrite en liaison avec des procédures et des formes de réalisation spécifiques, il faut comprendre que cette description n'est donnée qu'à titre d'exemple et n'est censée
25 apporter aucune limitation à la portée de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de correction servant à réduire les artefacts Provoqués par une non-coplanarité entre un moyen formant source (1) et un moyen formant détecteur (3) en tomodynamométrie, ladite non-coplanarité étant définie par l'ensemble des positions dudit moyen formant source (1) décrivant un premier plan et l'ensemble des positions dudit moyen détecteur (3) décrivant un second plan distant axialement dudit premier plan, caractérisé en ce qu'il inclut les phases opératoires consistant à :

- alimenter ledit dispositif formant source (1) pour qu'il produise un rayonnement s'étendant depuis ledit moyen formant source jusqu'audit moyen détecteur (3) en traversant un objet,
- détecter ledit rayonnement et former des intégrales de lignes des coefficients d'atténuation de l'objet,
- transformer les données en projections, sur 360 degrés,
- filtrer les projections, et
- reconstituer deux images en reconstituant deux fois un nombre fini de lignes radiales, une fois en utilisant les données de projections filtrées minimum requises par l'algorithme de reconstitution et centrées autour de l'angle de chaque ligne radiale, et la seconde fois avec les données de projections filtrées centrées autour de l'angle de la ligne radiale plus 180 degrés.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le processus de reconstitution des lignes radiales qui forment simultanément une image est mis en oeuvre simultanément avec l'ensemble des lignes radiales.

3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'il inclut la phase opératoire consistant à réaliser une rétro-projection des projections filtrées, sur 360 degrés, ladite phase opératoire de rétro-projection étant modifiée de telle sorte qu'une projection est soumise à une rétro-projection pour obtenir une image pour toutes les

valeurs des éléments d'image précédant la transition du plan focal pour obtenir une autre image après la transition du plan focal, ladite transition du plan focal étant définie comme étant la droite passant par l'origine du balayage
5 selon un angle égal à l'angle d'une projection soumise à une rétro-projection.

4. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce qu'on utilise un lissage dans une région entourant la transition du plan focal.

10 5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que ladite phase opératoire de lissage inclut l'utilisation de moyennes pondérées des valeurs obtenues par rétro-projection en provenance de directions opposées.

15 6. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'on utilise des secteurs à la place de lignes radiales.

7. Procédé suivant la revendication 6, caractérisé en ce que les secteurs sont en chevauchement.

20 8. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce que l'on utilise le lissage lors de la combinaison de secteurs en chevauchement pour former les images.

25 9. Procédé suivant la revendication 8, caractérisé en ce que ladite phase opératoire de lissage inclut l'utilisation de moyennes pondérées des parties des secteurs qui sont en chevauchement.

30 10. Procédé de correction servant à réduire les artefacts provoqués par une non-coplanarité entre le moyen formant source (1) et le moyen détecteur (3) en tomodynamométrie, ladite non-coplanarité étant définie par l'ensemble des positions dudit moyen formant source (1) décrivant un premier plan et l'ensemble des positions dudit moyen détecteur (3) décrivant un second plan, lesdits premier et second plans étant séparés par un troisième plan qui inclut une partie de l'objet qui est exploré
35

par balayage, caractérisé en ce qu'il inclut les phases opératoires consistant à :

- alimenter ledit moyen formant source (1) de manière qu'il délivre un rayonnement s'étendant à partir dudit moyen formant source jusqu'audit moyen détecteur (3) en traversant un objet,
 - détecter le rayonnement pour obtenir des données d'atténuation de l'intensité du rayonnement dans l'objet, et ce sur 360 degrés, et
 - former deux images à partir des données, une image étant obtenue à partir des données associées à un côté dudit troisième plan et la seconde image étant obtenue à partir des données associées à l'autre côté dudit troisième plan.
11. Appareil pour réduire des artefacts provoqués par une non-coplanarité entre un moyen formant source (1) et un moyen détecteur (3) en tomodynamométrie, ladite non-coplanarité étant définie par l'ensemble des positions dudit moyen formant source (1) décrivant un premier plan et l'ensemble des positions dudit moyen détecteur (3) décrivant un second plan distant axialement dudit premier plan, caractérisé en ce qu'il comporte :
- des moyens pour exciter ledit moyen formant source (1) pour qu'il fournisse un rayonnement s'étendant à partir dudit moyen formant source jusqu'audit moyen détecteur (3) en traversant un objet,
 - des moyens pour détecter ledit rayonnement et former des intégrales de lignes des coefficients d'atténuation de l'objet,
 - des moyens pour mettre les données sous forme de projections, sur 360 degrés,
 - des moyens pour filtrer les projections, et
 - des moyens pour obtenir deux images par la reconstitution, réalisée deux fois, d'un nombre fini de lignes radiales, une fois en utilisant les données de projections filtrées minimum requises par l'algorithme de reconstitu-

tion et centrées autour de l'angle de chaque ligne radiale, la seconde fois avec les données de projections filtrées centrées autour de l'angle de la ligne radiale plus 180 degrés.

5 12. Appareil suivant la revendication 11, caractérisé en ce que les lignes radiales sont reconstituées simultanément.

10 13. Appareil suivant la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens servant à réaliser la rétro-projection, sur 360 degrés, de projections filtrées, que lesdits moyens de rétro-projection comprennent des moyens pour effectuer la rétro-projection d'une projection pour obtenir une image pour toutes les valeurs d'éléments d'image précédant la transition du plan focal et
15 pour obtenir une autre image après la transition du plan focal, ladite transition du plan focal étant définie comme étant une droite passant par l'origine du balayage et faisant un angle égal à l'angle d'une projection soumise à une rétro-projection.

20 14. Appareil suivant la revendication 13, caractérisé en ce qu'il est prévu des moyens de lissage fonctionnant dans une région située autour de la transition du plan focal.

25 15. Appareil suivant la revendication 14, caractérisé en ce que lesdits moyens de lissage comprennent les moyens destinés à utiliser des moyennes pondérées des valeurs fournies par rétro-projection, pour des directions opposées.

30 16. Appareil suivant la revendication 11, caractérisé en ce que l'on utilise des secteurs au lieu de lignes radiales.

17. Appareil suivant la revendication 16, caractérisé en ce que les secteurs sont en chevauchement.

35 18. Appareil suivant la revendication 17, caractérisé en ce qu'il est prévu des moyens de lissage

servant à combiner des secteurs en chevauchement pour former les images.

19. Appareil suivant la revendication 18, caractérisé en ce que les moyens de lissage comprennent les
5 moyens permettant d'utiliser des moyens de pondérer des parties des secteurs qui se chevauchent.

20. Appareil pour réduire les artefacts provoqués par une noncoplanarité entre le moyen formant source (1) et le moyen détecteur (3) en tomodynamomé-
10 trie, ladite non-coplanarité étant définie par l'ensemble des positions dudit moyen formant source (1) décrivant un premier plan et l'ensemble des positions dudit moyen détecteur (3) décrivant un second plan, lesdits premier et second plans étant séparés par un troisième plan qui inclut
15 une partie de l'objet devant être exploré par balayage, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens pour exciter ledit moyen formant source (1) pour qu'il délivre un rayonnement s'étendant depuis ledit moyen formant source jusqu'audit moyen détecteur (3) en
20 traversant un objet,
- des moyens pour détecter le rayonnement de manière à fournir des données d'atténuation d'intensité du rayonnement, provoquées par l'objet, sur 360 degrés, et
- des moyens pour former deux images à partir des données,
25 une image étant obtenue à partir des données associées à un côté dudit troisième plan et la seconde image étant obtenue à partir des données associée à l'autre côté dudit troisième plan.

FIG. 1

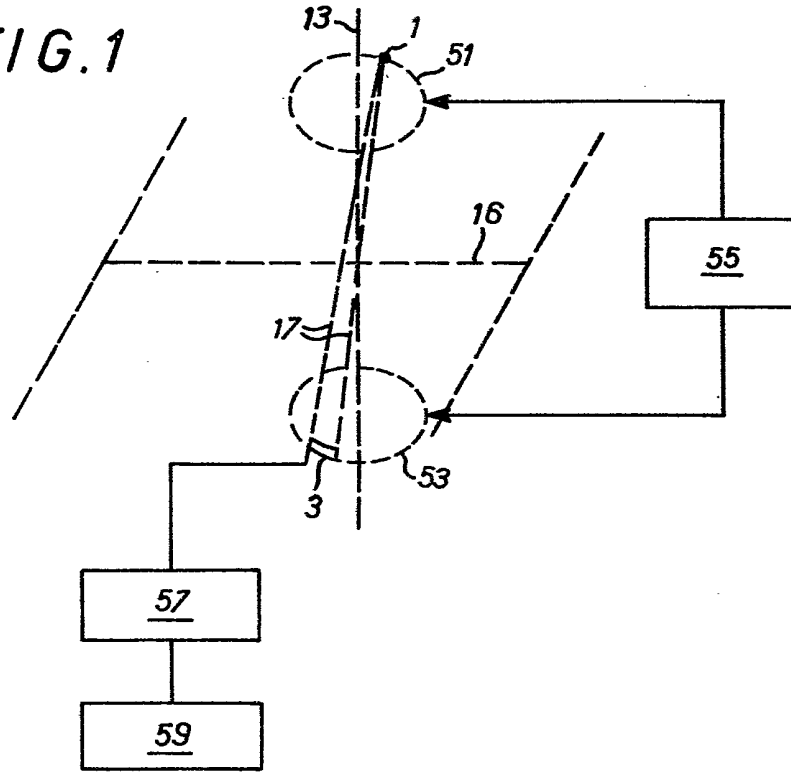
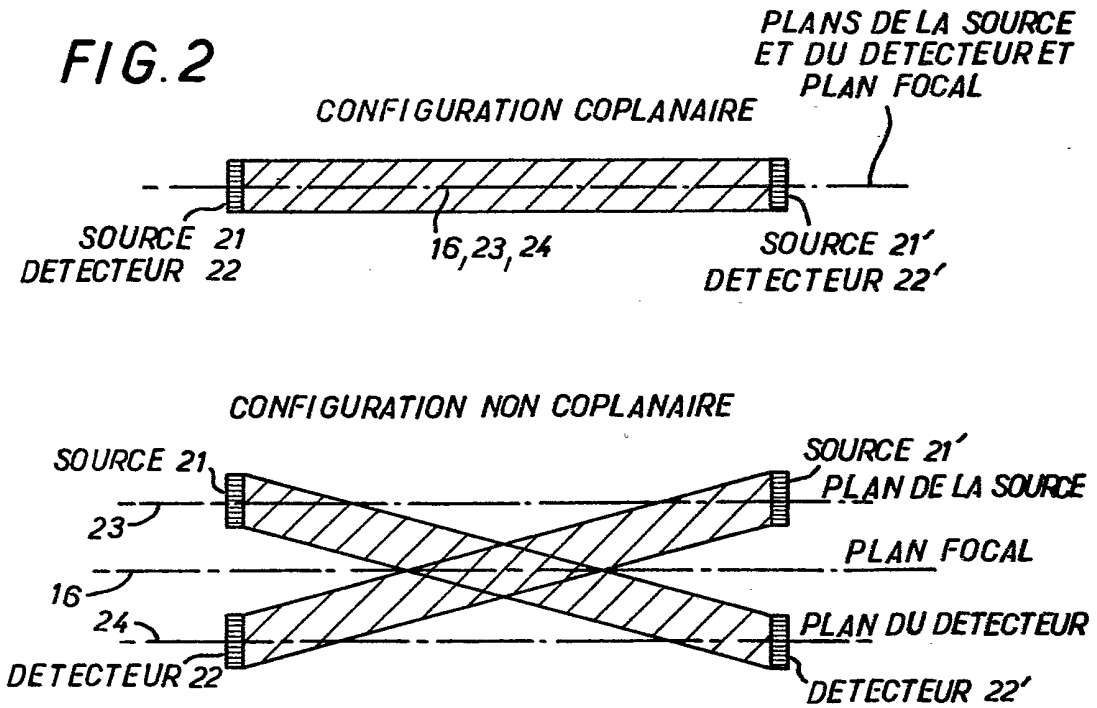


FIG. 2



 = COUPE TRANSVERSALE DU VOLUME DE LA TRANCHE

2/3

FIG. 3

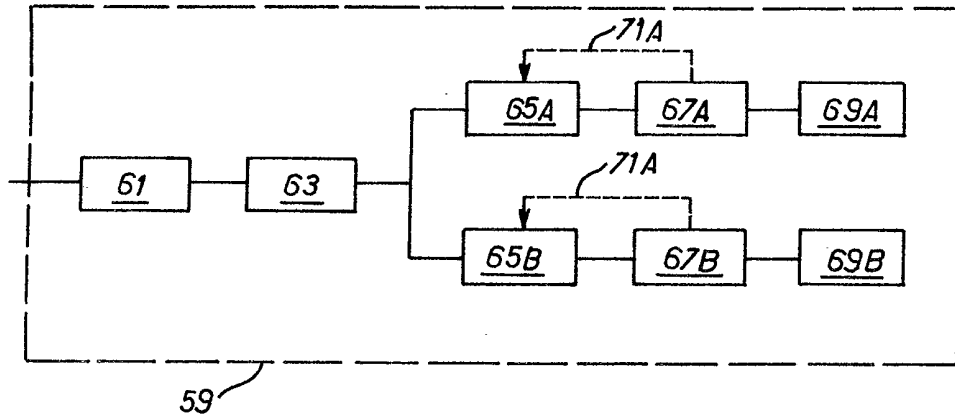


FIG. 4

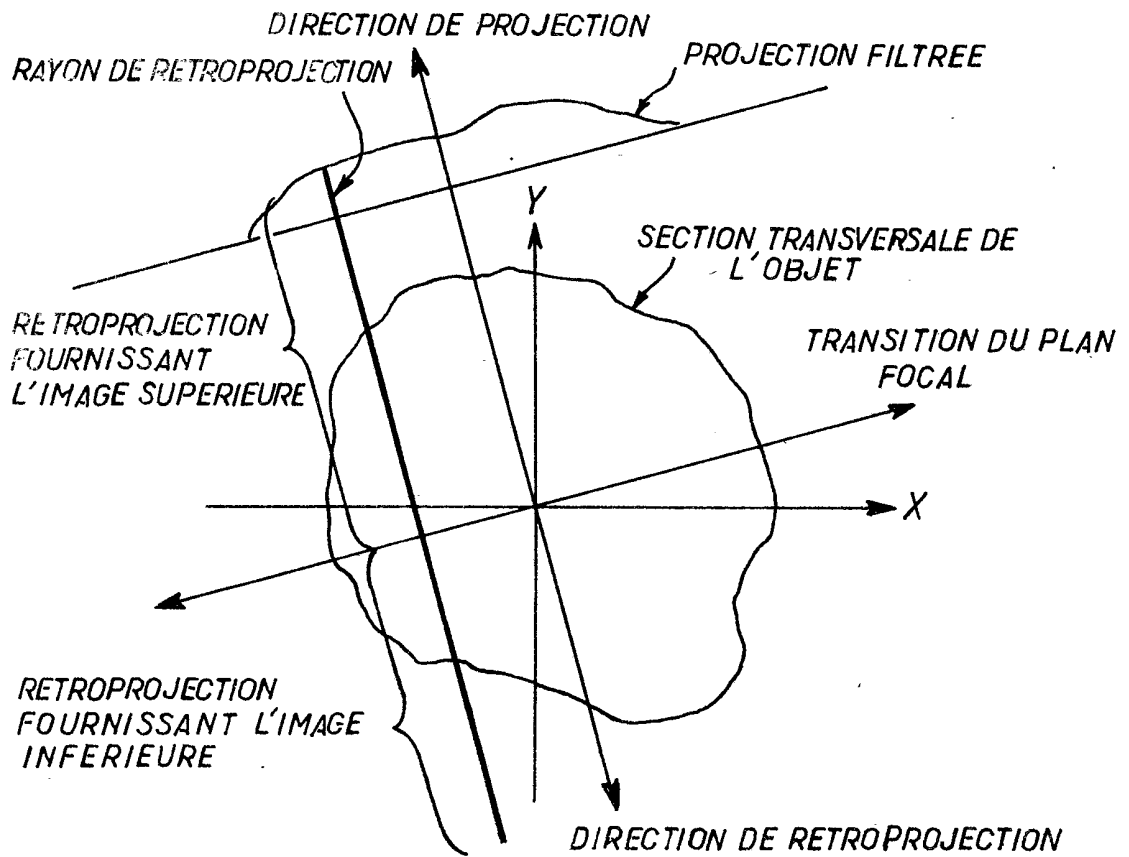


FIG. 5

