

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

②

**N° 81 05453**

---

⑤④ Procédé et appareil de détection par rayons X de micro-calcifications.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 T 1/16; A 61 B 6/00; G 06 F 15/42.

②② Date de dépôt..... 18 mars 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *EUA, 28 juillet 1980, n° 172 885.*

④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 38 du 24-9-1982.

---

⑦① Déposant : Société dite : AMERICAN SCIENCE AND ENGINEERING, INC., résidant aux EUA.

⑦② Invention de : Martin Annis.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Bert, de Keravenant et Herrburger,  
115, bd Haussmann, 75008 Paris.

L'invention concerne un procédé et un  
appareil de détection par rayons X, de micro-calcification, et  
plus précisément un système de balayage à rayons X utilisant  
un pinceau ou une nappe de rayons X balayant un objet de manière  
5 à produire une image sur un tube à rayons cathodiques.

Les progrès récents réalisés ces  
dernières années dans la technologie des rayons X ont essentiel-  
lement concerné les systèmes de balayage à rayons X. Dans ces  
systèmes un pinceau étroit ou une nappe mince de rayons X  
10 balayent très rapidement un objet de façon que l'énergie rayon-  
nante tombant sur cet objet soit minimale.

La technique du balayage conduit d'elle-  
même à l'utilisation d'un tube à rayons cathodiques permettant  
de former une image à partir du signal produit par le détecteur  
15 du pinceau de rayons X. Un tel système est décrit par exemple  
dans le brevet USA de Stein et Cie n° Re. 28.544 intitulé  
"Formation d'image en énergie rayonnante à partir d'un pinceau  
de balayage" (Brevet USA initial n° 3.780.291 déposé le 18  
Décembre 1973).

20 Cependant, l'utilisation de l'image  
obtenue est limitée par la capacité du détecteur à pinceau ou  
nappe de rayons X, et du système de visualisation, à révéler sous  
forme d'objets facilement discernables dans l'image, les objets  
de très petite taille contenus dans le système observé.

25 Par suite, l'invention a pour but de  
pallier les limitations de résolution des systèmes de balayage  
à rayons X typiques, lorsqu'il s'agit de détecter les très  
petits détails de l'objet observé. L'invention a également pour  
but de créer un procédé et un appareil permettant de visualiser  
30 la présence de ces petits détails de l'objet. L'invention a  
enfin pour but d'atteindre ces résultats au moyen d'un appareil  
simple et fiable mettant en oeuvre un procédé permettant d'uti-  
liser au maximum les possibilités des systèmes de balayage à  
rayons X.

35 A cet effet l'invention concerne un  
procédé de détection de micro-calcifications, s'utilisant dans  
un système de balayage de rayons X du type comprenant une  
source de pinceau ou de nappe de rayons X, des moyens de détec-  
tion destinés à détecter les variations d'intensité du pinceau  
40 ou de la nappe de rayons X au cours du balayage du sujet à

observer, et un dispositif de visualisation obtenu en transformant les variations d'intensité détectée des rayons X en éléments d'image apparaissant sur l'écran de visualisation, procédé caractérisé en ce qu'il est destiné à indiquer la présence, dans le sujet examiné, d'objets trop petits pour être résolus de façon satisfaisante en éléments d'image apparaissant sur l'écran de visualisation, et en ce qu'il comprend pour cela les différentes étapes consistant à analyser les variations détectées d'intensité des rayons X pouvant être attribuées à ces petits objets, et à produire un marqueur visible sur l'écran de visualisation lorsqu'une telle variation d'intensité a été détectée.

Ce procédé nouveau ainsi que le nouvel appareil permettant de le mettre en oeuvre, sont destinés selon l'invention à mettre en évidence, dans l'objet observé, la présence de détails trop petits pour être visualisés convenablement dans l'image de l'objet.

Pour cela l'invention utilise les étapes consistant à analyser électroniquement les variations d'intensité du signal de rayons X fourni par le détecteur et correspondant aux petits détails de l'objet, et à produire un marqueur visible sur l'image visualisée, lorsqu'un petit détail est ainsi résolu électroniquement.

De préférence le marqueur est produit, sur l'image visualisée, à l'endroit correspondant à la position du petit détail de l'objet. Ce marqueur est de préférence constitué par un point nettement visible, dont l'intensité est fonction de l'amplitude de la variation d'intensité des rayons X détectés. Ce marqueur doit être aussi petit que possible et utilise par exemple un seul élément d'image du dispositif de visualisation.

L'étape d'analyse du signal détecté comprend de préférence la mesure de l'intensité des rayons X correspondant à deux éléments d'image successifs, et la comparaison de ces résultats. Quand le procédé est associé à un système de balayage à rayons X dans lequel chaque point du sujet est traversé au moins deux fois par un pinceau de rayons X, ou échantillonné au moins deux fois pendant son balayage par une nappe de rayons X; ce procédé peut comporter en outre une étape consistant à effacer de l'image visualisée tout marqueur n'ayant

été obtenu qu'une seule fois au cours de deux traversées succes-  
sives du pinceau de rayons X à travers l'objet, ou au cours de  
deux échantillonnages successifs de la nappe de rayons X. Le  
procédé peut également comporter l'étape consistant à emmagasi-  
ner l'information utilisée pour la production des marqueurs.

L'appareil selon l'invention comprend également des moyens d'analyse électronique du signal détecté correspondant à des variations d'intensité du pinceau de rayons X attribuables aux petits détails de l'objet, et des moyens de  
10 production d'un marqueur visible sur le dispositif de visualisation en réponse au signal fourni par les moyens d'analyse.

De nombreux autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée qui suit et qui se réfère  
15 aux dessins ci-joints dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'ensemble d'un système de balayage à rayons X utilisant l'appareil selon l'invention,

- la figure 2 représente un objet  
20 suffisamment grand pour être résolu en éléments d'image du système de visualisation,

- la figure 3 représente un objet trop petit pour être résolu sous la forme d'un élément d'image,

- la figure 4 représente l'objet de  
25 la figure 3 et les trajectoires de traversées successives du pinceau de rayons X,

- la figure 5 représente l'objet de la figure 2 reproduit sous la forme d'éléments d'image sur l'écran d'un tube à rayons cathodiques,

- la figure 6 est une représentation  
30 schématique d'une forme préférée de réalisation de l'invention, et

- la figure 7 est une représentation schématique du modèle de reconnaissance de forme utilisé dans la  
35 réalisation de la figure 6.

Les principaux éléments d'un système de balayage à rayons X sont représentés sur la figure 1. Ce système comprend une source d'un pinceau de rayons X 10 destinée à diriger un faisceau de rayons X 12 sur la table 14 située  
40 au-dessous. Le pinceau 12 balaye un sujet placé sur la table 14

en traversant celui-ci suivant des trajectoires rectilignes décalées les unes par rapport aux autres. Ces traversées successives se recouvrent de façon que chaque point du sujet soit traversé au moins deux fois, et éventuellement plus, par le pinceau 12.

Au-dessous de la table 14 se trouve un détecteur de rayons X allongé 16 qui se déplace de manière à intercepter chacune des traversées complètes du pinceau de rayons X 12 lorsque celui-ci balaye le sujet placé sur la table 14. Les variations d'intensité du pinceau de rayons X 12 tombant sur le détecteur 16 sont transformées en éléments d'image apparaissant sur l'écran du tube à rayons cathodiques.

On pourra trouver plus de détails relatifs à la réalisation de ce système et à son fonctionnement, dans le brevet n° Re. 28.544 mentionné ci-dessus à titre de référence, mais le système sera cependant décrit ci-après dans la mesure nécessaire à la compréhension de l'invention.

En bref, lorsque le sujet balayé sur la table 14 est par exemple une poitrine humaine, l'utilisation du système selon l'invention a pour but de détecter les calcifications ayant pris naissance dans les tissus de la poitrine. Ces calcifications sont représentées sur la figure 2. Les dimensions de la section du pinceau de rayons X 12 sont superposées en pointillés 22 sur la calcification 20, et la flèche A indique le sens de déplacement du pinceau 12 traversant la calcification 20. Quand cette calcification est suffisamment grande (comme indiqué par exemple sur la figure 2) par rapport à la section du pinceau de rayons X 12, le signal produit par le détecteur 16 est transmis au tube à rayons cathodiques 18 pour reproduire sur l'écran un élément d'image, puis ce signal se poursuit pour les différents éléments d'image obtenus à chaque traversée successive, de manière à fournir une visualisation 24 de la calcification 20 sur une partie de l'écran 18 du tube à rayons cathodiques, comme indiqué sur la figure 5.

On peut cependant rencontrer, dans le tissu de la poitrine, un objet tel qu'une micro-calcification absorbant plus fortement les rayons X que le tissu environnant, cet objet étant cependant de plus petite taille que la résolution maximum du système à rayons X. Généralement une telle micro-calcification apparaît sur l'écran 18 sous la forme d'un élément

d'image brillant, l'augmentation de brillance de cet élément étant fonction du produit densité x profondeur de la micro-calcification. Cependant, cette augmentation de brillance est souvent insuffisante pour visualiser convenablement la présence ou la position de ce petit objet.

La figure 3 représente une telle micro-calcification 30 et sa taille relative par superposition de la section 22 du pinceau de rayons X 12. La flèche A indique là encore le sens de déplacement du pinceau 12 au cours d'un balayage. Dans le cas d'un tel objet de très petite taille, le signal issu du détecteur 16 commence par diminuer d'une faible quantité puis remonte de la même quantité à un moment correspondant à un mouvement du pinceau de rayons X 12 inférieur au double de la section de celui-ci. Si le signal diminue mais ne remonte pas à sa valeur initiale à ce moment, cela signifie que l'objet a été convenablement résolu par le système, comme indiqué sur la figure 5.

Cependant, quand il n'est pas possible d'obtenir une résolution satisfaisante dans un élément d'image, un circuit analyseur entre en jeu, selon l'invention, pour déclencher le signal du détecteur. Le circuit analyseur détecte la faible baisse et la faible remontée du signal du détecteur. Si la durée de l'impulsion négative est caractéristique du fait que le pinceau de rayons X balaye une micro-calcification, dans la direction x par exemple, ce signe est temporairement enregistré en même temps que l'adresse en x correspondante.

Si plusieurs balayages du pinceau de rayons X effectués au même endroit indiquent la présence d'une micro-calcification, par opposition aux fluctuations statistiques du signal observées en l'absence de micro-calcification, cela provoque le déclenchement d'un générateur de marqueur qui enregistre alors une marque avec les coordonnées x, y correspondantes. Ainsi, comme indiqué sur la figure 4, la micro-calcification 30 est de nouveau représentée avec superposition de la section 32 correspondant à une première traversée du pinceau de rayons X 12, et de la section 34 correspondant à une seconde traversée du pinceau de rayons X. Pour de telles dimensions relatives, la micro-calcification 30 pourrait éventuellement être détectée par le circuit analyseur selon l'invention au cours de cinq traversées consécutives.

L'enregistrement de chaque marque  
produite par le générateur de marqueur, et de l'adresse de cette  
marque, est utilisé pour donner un marqueur visualisé sur le  
tube à rayons cathodiques, pour chaque micro-calcification  
5 détectée, à l'endroit correspondant de l'écran. Les marqueurs  
ainsi visualisés sont aussi petits que possible de manière à  
ne pas masquer l'image radiographique d'ensemble, mais sont  
suffisamment brillants pour que l'observateur puisse les voir  
facilement sur l'écran. On peut également prévoir un circuit  
10 supplémentaire pour que la brillance de chaque marqueur affiché  
soit fonction de l'augmentation d'atténuation du pinceau de  
rayons X 12 traversant la micro-calcification correspondante.  
On peut encore prévoir un autre circuit permettant d'allumer ou  
d'éteindre à volonté tous les marqueurs affichés, ou même de  
15 les faire clignoter.

La figure 6 représente un schéma  
fonctionnel des moyens standard utilisés pour emmagasiner une  
image en deux dimensions à partir d'un détecteur unique, mais  
avec adjonction d'un circuit analyseur et d'un générateur de  
20 marqueurs selon l'invention, pour produire, sur l'image visua-  
lisée en deux dimensions, des marqueurs correspondant aux micro-  
calcifications. La partie standard du système est constituée  
par un détecteur de rayons X 16 dont le signal est amplifié  
par le préamplificateur 40, transformé en signal numérique par  
25 le convertisseur analogique-numérique 41, et convenablement  
stocké dans une mémoire d'image 42 ; le système de mémoire  
comprenant également une mémoire de surcharge 43 couramment  
utilisée pour insérer des données alphanumériques sur l'image.  
Le reste du circuit de la figure 6 concerne l'invention indiquée  
30 ci-dessus et décrite plus en détail ci-après.

Outre le fait qu'il est numérisé, le  
signal de détection amplifié par le préamplificateur 40 est  
envoyé dans un filtre passe-bande 44. Ce filtre 44 est de  
conception classique ne laissant passer qu'une étroite bande  
35 de fréquences représentant les impulsions qui ont pu prendre  
naissance au moment du passage du pinceau de balayage de rayons  
X 12 à travers une micro-calcification. Si l'on appelle  $w$  la  
largeur de la section du pinceau, et  $v$  la vitesse de balayage  
de ce pinceau, les intervalles de temps de largeurs d'impulsions  
40 inférieures à  $w/v$  sont rejetés, car cette limite représente le

temps que le pinceau doit mettre pour balayer un point ; toutes les largeurs d'impulsions inférieures sont alors à considérer comme du bruit. L'autre limite peut être choisie à la valeur  $2 w/v$  car cela représente l'intervalle de temps nécessaire pour que tout le pinceau balaye une distance  $w$  ; les largeurs d'impulsions plus grandes peuvent être considérées comme visibles sans l'aide du générateur de marqueur.

Ainsi, seule la bande intermédiaire de largeurs d'impulsions peut traverser le filtre  $44$  avec une faible atténuation, pour être détectée par le générateur de seuil  $45$ . Si le signal se trouve au-dessus de la valeur de seuil spécifiée, au moment où une commande de pas arrive en provenance d'un générateur de pas  $46$ , un "1" logique est produit par le générateur à bit unique  $46$  ; si le signal est au-dessous du seuil un "0" logique est produit.

Le circuit décrit ci-dessus produit des marqueurs potentiels de micro-calcifications. Cependant un signal de sortie de ce circuit peut également être produit à la suite de pointes de bruit dont la largeur correspond à une impulsion convenable, ou par suite de la présence d'une mince ligne d'atténuation non parallèle à la direction de balayage du pinceau de rayons X. Ainsi, ces marqueurs potentiels doivent être analysés plus finement. Bien qu'on puisse utiliser une grande variété de procédés pour analyser ces marqueurs potentiels il est normalement nécessaire de commencer par stocker momentanément les données arrivant dans une ou plusieurs mémoires de lignes de balayage. Le nombre d'éléments de chaque réseau doit être suffisamment grand pour que le temps d'arrêt représentatif de chaque élément soit  $w/v$  ; ce qui correspond à la limite inférieure de largeur d'impulsion (limite haute fréquence) du filtre passe-bande  $44$ . Ainsi, ce nombre limité de mémoires de lignes de balayage représente une petite partie d'une mémoire à haute résolution.

Pour poursuivre la description de la figure 6, les données à un seul bit du générateur  $47$  sont envoyées, par l'intermédiaire d'un multiplexeur  $50$ , à une mémoire de ligne de balayage choisie parmi l'ensemble des huit mémoires de lignes de balayage  $51$  à  $58$ . Dans cet exemple les mémoires de lignes de balayage  $51$  à  $58$  ont une résolution, dans la direction  $x$ , qui représente cinq fois la résolution

des mémoires 42 et 43. L'ensemble est complété par l'application d'impulsions haute fréquence, produites par une horloge principale 60, aux huit mémoires de lignes de balayage d'adresses en x, cette fréquence étant divisée par cinq dans un diviseur 61, avant l'adresse en x des mémoires 42 et 43.

Si chaque pinceau de balayage de rayons X est enregistré dans une mémoire de balayage différente, par suite de la présence du diviseur 62, et si l'on ajoute et enregistre cinq balayages dans la mémoire d'image 42, à l'endroit où l'adresse en y de l'image avance d'un pas sous l'action du diviseur 63, les mémoires de lignes de balayage ont également, dans la direction y, une résolution représentant cinq fois la résolution de la mémoire d'image. Le procédé consistant à ajouter cinq balayages de données par ligne d'accès de la mémoire 42, est une technique standard ne faisant pas partie de l'invention et n'étant donc pas représentée ici.

Au bout de huit balayages du pinceau de rayons X, enregistrés chacun dans une mémoire de ligne de balayage différente, les données du neuvième balayage surchargent et effacent celles du premier balayage. Ainsi ces données momentanées doivent être analysées un certain temps avant d'être détruites. Il existe plusieurs procédés d'analyse pour cela, mais la plupart de ces procédés ne permettent pas d'interpréter convenablement une mince ligne d'atténuation située à environ 45° (ou 135°) de la direction de balayage des pinceaux de rayons X. L'analyse la plus précise se fait alors par reconnaissance de formes.

La figure 7 représente schématiquement comment on peut introduire un dispositif perfectionné de reconnaissance de formes en un endroit donné de la mémoire à haute résolution (mémoires de lignes de balayage 51 à 58 de la figure 6), par utilisation d'un circuit logique très simple. On a représenté ici une partie à 5 accès (direction x) par 7 accès (direction y) de la mémoire à haute résolution. La disposition logique comporte cinq portes OU quadruples 101 à 105 dont les sorties sont appelées respectivement J,K,L,M,N ; une porte ET quadruple 106 dont les entrées sont appelées A,B,C,D et dont la sortie est appelée R, deux portes NI 107 et 108 reliées aux portes OU comme indiqué sur la figure 7, et munies de sorties S et T ; et une porte ET triple 109 munie d'entrées

R,S,T et d'une sortie Z. Un marqueur est produit si la sortie Z de la porte ET triple 109 est vraie ("1" logique). En utilisant les notations de l'algèbre de Boole pour ce schéma logique, on obtient :

$$\begin{aligned}
 5 \quad Z &= R \cdot S \cdot T \\
 &= (A \cdot B \cdot C \cdot D) \cdot (\overline{J + K}) \cdot (\overline{L + M + N}) \\
 &= A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot \overline{J} \cdot \overline{K} \cdot \overline{L} \cdot \overline{M} \cdot \overline{N}
 \end{aligned}$$

Ainsi, pour que Z soit vrai il faut qu'un "0" logique apparaisse dans les quatre positions de mémoi-  
 10 recommandées par les lignes A,B,C,D, et qu'un "0" logique apparaisse dans toutes les positions de mémoires périphériques de la figure 7. Dans ces limites de 5 x 7 critères "au-dessous du seuil", il existe onze positions de mémoire optionnelles. On obtient donc ainsi  $2^{11} = 2048$  combinaisons possibles dans  
 15 cette partie 5 x 7 de la mémoire à haute résolution, car chacune des 11 positions optionnelles peut contenir soit un "0" soit un "1" logiques.

Le système logique de la figure 7 est conçu de façon qu'il faille au moins deux, mais pas plus de 5  
 20 balayages du pinceau de rayons X à travers une micro-calcification, et de façon que la durée de l'impulsion représente deux ou trois largeurs d'accès de la mémoire à haute résolution. Par rapport à la mémoire à faible résolution 42 (mémoire d'image), la conception de l'invention permet de détecter facilement la  
 25 micro-calcification même si celle-ci est décalée à droite du centre, au-dessus du centre, ou au-dessus et à droite du centre d'un accès quelconque (image) à faible résolution. D'autres critères de formes peuvent s'obtenir facilement par d'autres combinaisons logiques simples.

Il est nécessaire que l'analyse de forme  
 30 à 5 x 7 accès se déplace sur toute la mémoire à haute résolution pour analyser toutes les données avant qu'elles soient effacées et réécrites. Un procédé utilisable pour obtenir ce résultat consiste à faire passer les données de la mémoire à haute  
 35 résolution dans sept registres à décalage à 5 éléments, de façon que les fils d'accès des cinq portes OU quadruples 101 à 105 et de la porte ET quadruple 106 n'aient pas à être perpétuellement remis en place.

En se référant de nouveau à la figure  
 40 6, ce résultat est obtenu en commençant par commuter toutes les

données de chacune des huit mémoires de lignes de balayage à 2560 éléments 51 à 58, dans les registres à décalage adjacents à 2560 éléments 71 à 78. Cela se fait au début de chaque balayage du pinceau de rayons X. Pendant ce balayage du pinceau de rayons X, les données sont lues dans l'une des mémoires de lignes de balayage. Au moment où le balayage du pinceau de rayons X démarre, le multiplexeur 79 est commuté de manière à envoyer dans les sept registres à décalage à 5 éléments 81 à 87, les données issues des registres à décalage associés aux sept autres mémoires de lignes de balayage. Un déplacement unique se produit pour chacun des 2560 points, suivant chaque balayage du pinceau de rayons X. Pour chaque déplacement une analyse de forme est effectuée par la section de reconnaissance de formes constituée par les circuits logiques précédemment décrits sur la figure 7 et indiqués sur la figure 6 (en utilisant des notations primées pour les éléments correspondants de la figure 7), ces circuits étant câblés aux sept registres à décalage 81 à 87, et également à ces sept registres 81 à 87.

Les registres à décalage à 2560 éléments et les registres à décalage à 7 éléments prennent automatiquement en charge séquentiellement les données successives dans la direction x lorsque celles-ci se déplacent dans la section de reconnaissance de formes. Le multiplexeur 79 doit organiser la commutation des données représentant des lignes complètes de balayage des rayons X, de façon que ces données traversent séquentiellement la section de reconnaissance de formes dans la direction y. Le multiplexeur 79 réalise cette fonction en faisant apparaître à sa sortie  $Z_8$  (sans branchement) les données représentant le balayage de rayons X en cours, et en faisant apparaître à sa sortie  $Z_7$  les données représentant le balayage complet le plus récent, à sa sortie  $Z_6$  les données de balayage juste antérieur etc..., les données du plus ancien balayage complet de rayons X encore conservées apparaissant la sortie  $Z_1$ .

Au bout d'un délai déterminé correspondant à la stabilisation de tous les registres à décalage et de tous les circuits logiques à la fin de chaque déplacement, un signal de pas est produit par le circuit 90 et appliqué à la porte ET quadruple 109'. Si l'une des 2048 formes possibles est reconnue, un "1" logique est produit à la sortie de la

porte 109'. Ce signal fait avancer d'un pas le compteur de marqueur 92 et se trouve appliqué à l'adresse (x,y) convenable dans la mémoire de surcharge 43.

- On remarquera qu'il est possible
- 5 d'appliquer jusqu'à  $5 \times 5 = 25$  marqueurs à la même adresse (x, y). Si la mémoire de surcharge va jusqu'à 5 bits (capacité de stockage de  $2^5 = 32$  nombres) et utilise des registres d'addition/stockage, la taille des micro-calcifications peut être représentée par l'intensité des marqueurs de surcharge.
- 10 Une caractéristique supplémentaire peut être obtenue en laissant les marqueurs s'allumer ou s'éteindre à volonté pendant la visualisation de l'image, ou même en les laissant clignoter.

Le fonctionnement de l'analyseur de micro-calcification et du générateur de marqueurs de la figure

15 6 a été décrit ci-dessus dans le cas d'un système à rayons X utilisant un pinceau de balayage de rayons X. Les limites de fréquence du filtre passe-bande 44 sont réglées suivant la largeur de la section du pinceau de rayons X et suivant la

20 vitesse de balayage de ce pinceau ; d'autre part l'analyse logique des sept registres à décalage 81 à 87 nécessite que le nombre de balayages du pinceau de rayons X à travers la micro-calcification soit au moins de deux mais ne dépasse pas cinq.

25 On peut cependant utiliser le même circuit que celui de la figure 6 avec un système à rayons X utilisant une nappe de balayage de rayons X tombant sur un réseau linéaire de détecteurs.

Dans ce dernier cas les limites de fréquence du filtre passe-bande 44 sont déterminées en fonction de la largeur de section de chaque détecteur du réseau linéaire,

30 et en fonction de la vitesse de lecture complète de ce réseau linéaire de détecteurs. De plus l'analyse logique des sept registres à décalage 81 à 87 nécessite que le nombre de lectures complètes du réseau linéaire de détecteurs soit au moins de deux mais ne dépasse pas cinq, pendant que la nappe

35 de rayons X balaye la micro-calcification.

Les procédés et l'appareil nouveaux décrits ci-dessus pour l'observation, par énergie rayonnante, de très petits objets, sont caractérisés par une grande simplicité et une grande efficacité. De nombreuses modifications et

40 variantes peuvent bien entendu leur être apportées sans sortir du cadre de l'invention, comme cela apparaîtra à l'évidence aux spécialistes de la question.

REVENDEICATIONS

1.- Procédé de détection de micro-calcifications (30), s'utilisant dans un système de balayage de rayons X du type comprenant une source (10) de pinceau ou de nappe de rayons X (12), des moyens de détection (16) destinés à détecter les variations d'intensité du pinceau ou de la nappe de rayons X (12) au cours du balayage du sujet à observer, et un dispositif de visualisation obtenu en transformant les variations d'intensité détectée des rayons X en éléments d'image apparaissant sur l'écran de visualisation (18), procédé caractérisé en ce qu'il est destiné à indiquer la présence, dans le sujet examiné, d'objets (30) trop petits pour être résolus de façon satisfaisante en éléments d'image apparaissant sur l'écran de visualisation (18), et en ce qu'il comprend pour cela les différentes étapes consistant à analyser les variations détectées d'intensité des rayons X pouvant être attribuées à ces petits objets (30), et à produire un marqueur visible sur l'écran de visualisation (18) lorsqu'une telle variation d'intensité a été détectée.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de production du marqueur sur l'écran de visualisation (18) génère ce marqueur en un point correspondant à la position du petit objet (30) dans le sujet.

3.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le marqueur est un point brillant.

4.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la brillance du point de marqueur est fonction de l'amplitude de la variation d'intensité des rayons X.

5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la taille de la visualisation du petit objet est nettement plus petite que celle de l'un des éléments d'image.

6.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'étape d'analyse des variations d'intensité détectée, comprend la mesure de plusieurs intensités détectées de rayons X et la comparaison de ces intensités.

7.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de stockage de l'information obtenue au cours de l'étape d'analyse, et d'utilisation de cette information stockée pour produire le marqueur.

8.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que chaque point du sujet est traversé au moins deux fois par le pinceau ou la nappe de rayons X (12).

9.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que chaque point du sujet est traversé au moins deux fois par le pinceau ou la nappe de rayons X (12), et en ce que le procédé comprend les différentes étapes consistant à analyser les variations détectées d'intensité des rayons X pouvant être attribuées aux petits objets (30), cette analyse comprenant la mesure et le stockage temporaire des variations d'intensité de seuil des rayons X détectés correspondant aux éléments successifs à haute résolution, de manière à pouvoir les comparer ; et à utiliser l'information stockée pour produire un point visible sur l'écran de visualisation (18) à un endroit correspondant à la position du petit objet (30) dans le sujet, la brillance de ce point étant fonction de l'amplitude de la variation d'intensité de rayons X détectée.

10.- Système de balayage à rayons X mettant en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, et comprenant une source de rayons X (10) fournissant un pinceau ou une nappe de balayage de rayons X (12) de section donnée, des moyens de détection (16) destinés à produire un signal fonction des variations de l'intensité détectée des rayons X, et des moyens de visualisation (18) répondant au signal du détecteur pour transformer en éléments d'image les variations détectées des rayons X, système caractérisé en ce qu'il utilise un appareil destiné à indiquer la présence, dans le sujet observé, d'objets de taille inférieure à une section donnée, ces objets (30) étant trop petits pour être résolus de façon satisfaisante en éléments d'image du dispositif de visualisation, cet appareil comportant des moyens d'analyse électronique (40 à 47) du signal de variations d'intensité des rayons X détectés attribuables aux petits objets

et des moyens associés à ces moyens d'analyse pour produire un marqueur visible sur l'écran de visualisation.

11.- Appareil de formation d'images par rayonnement, s'utilisant dans le système selon la revendication 10, et de type utilisant un faisceau de rayonnement à haute énergie (12) pour éclairer un objet cible, et des moyens associés (16) de détection de rayonnement pour produire des signaux électriques correspondant à l'intensité du rayonnement atténué émergeant de l'objet cible, ces signaux étant utilisés pour visualiser les variations d'intensité du rayonnement atténué sur des zones de résolution de l'objet cible, appareil caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de production de signaux électriques de détection correspondant à l'intensité du rayonnement atténué sur des zones de résolution minimum adjacentes suivant des lignes de balayage de l'objet cible, de manière à former des éléments d'image visibles correspondants pour constituer des images des lignes de balayage ; des moyens de mémoire d'image (42) destinés à stocker ces images des lignes ; de moyens de visualisation des images de lignes stockées, permettant de former une image composite des variations d'intensité du rayonnement atténué par l'objet cible ; des moyens de filtrage (44) permettant de sélectionner les signaux de détection électrique inférieurs à la résolution minimum et s'associant aux variations d'intensité de rayonnement attribuables aux zones de l'objet cible plus petites que la surface de résolution minimum ; des moyens d'échantillonnage (51 à 58) (71 à 78) des parties successives de chacun des signaux de sous-résolution, et de production d'un signal d'accès (42, 43) permettant de stocker les signaux d'accès obtenus sur plusieurs lignes de balayage ; des moyens d'analyse (81 à 87) des parties de réseau successives des signaux d'accès emmagasinés dans les moyens de stockage (42, 43), ces moyens comprenant des moyens destinés à produire un signal de marqueur lorsqu'une forme particulière de signaux d'accès est reconnue dans une partie de réseau ; et des moyens de comptage (61 à 63) des signaux de marqueurs produits pour des parties de réseau d'accès associées à chacune des zones de sous-résolution, et de visualisation d'une image de marqueur aux endroits de l'image composite correspondant aux positions des zones de sous-résolution associées au corps de cible, ces images de marqueurs

présentant chacune une intensité correspondant à l'amplitude de la variation d'intensité de rayonnement dans la zone de sous-résolution associée.

5 12.- Appareil selon la revendication 11, caractérisé en ce que les moyens de mémoire d'image (42) comprennent un dispositif de stockage numérique muni de positions de stockage unitaires correspondant aux éléments d'image visibles.

10 13.- Appareil selon l'une quelconque des revendications 11 et 12, caractérisé en ce que les moyens de filtrage (44) comprennent des moyens permettant de recevoir les signaux de détection produits par les détecteurs de rayonnement, et de ne laisser passer que les signaux dont la durée est inférieure au temps de balayage nécessaire pour mesurer le  
15 rayonnement atténué à travers la zone de résolution minimum, et les signaux dont la durée est supérieure au temps de balayage nécessaire pour mesurer le rayonnement atténué d'un point.

20 14.- Appareil selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de production d'un pinceau de rayonnement à haute énergie (12) dont la largeur définit la zone de résolution minimum, et dont la durée de balayage est déterminée par la vitesse du mouvement de balayage de ligne relatif entre le pinceau (12) et les détecteurs (16).

25 15.- Appareil selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de production d'une nappe de rayonnement à haute énergie (12) éclairant un réseau de détecteurs (16) disposés le long d'une ligne de balayage, la surface de résolution  
30 minimum étant définie par la résolution des détecteurs individuels de la ligne de balayage, et la durée de balayage étant définie par la vitesse de lecture des signaux détectés par les détecteurs de la ligne de balayage.

35 16.- Appareil selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisé en ce que les moyens de stockage d'accès comprennent un dispositif de stockage numérique (42) comportant des positions de stockage unitaires, chaque position de stockage unitaire correspondant à une partie d'un signal de sous-résolution.

17.- Appareil selon l'une quelconque  
des revendications 11 à 16, caractérisé en ce que les moyens  
d'échantillonnage comprennent des moyens permettant d'analyser  
N parties égales de chaque signal de sous-résolution, et de  
5 produire des lignes correspondantes de signaux d'accès, les  
signaux d'accès de chaque signal de sous-résolution étant  
stockés dans des positions de stockage unitaires correspondantes  
des moyens de stockage d'accès, N étant un nombre entier  
supérieur à un.

10 18.- Appareil selon l'une quelconque  
des revendications 11 à 17, caractérisé en ce que N est au moins  
égal à 5.

FIG 1

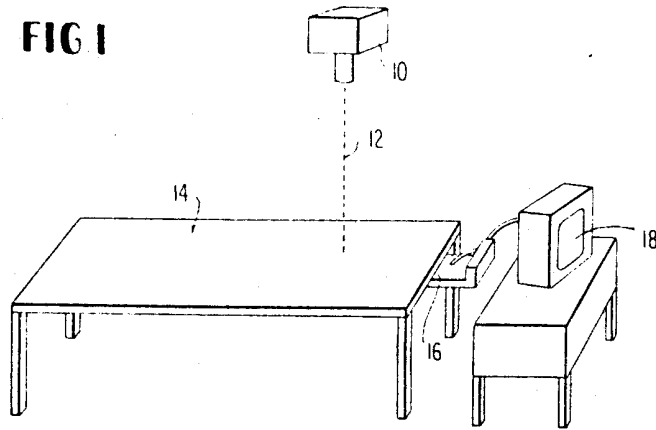


FIG 2

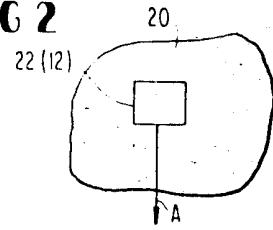


FIG 3

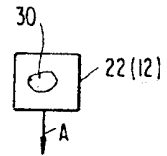


FIG 4

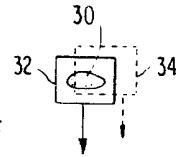


FIG 5

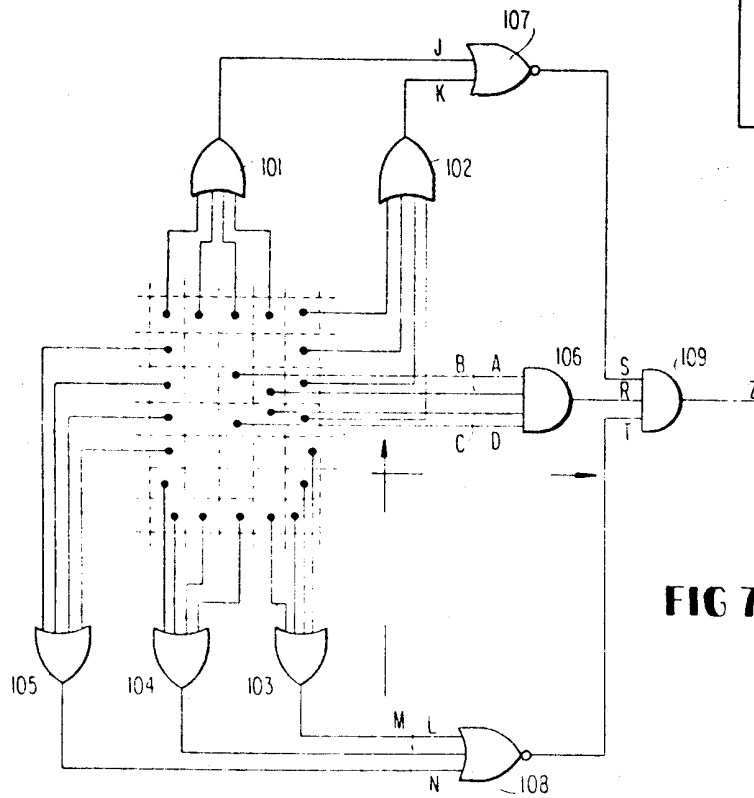
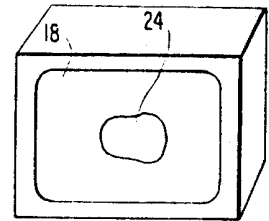


FIG 7

FIG 6

