

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 30.06.95.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 03.01.97 Bulletin 97/01.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : LABORATOIRES
D'ELECTRONIQUE PHILIPS SOCIETE PAR
ACTIONS SIMPLIFIEE — FR.

⑦2 Inventeur(s) : MAKRAM EBEID SHERIF.

⑦3 Titulaire(s) :

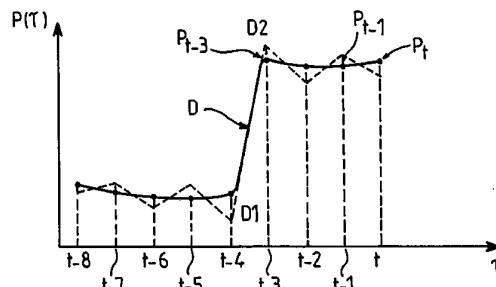
⑦4 Mandataire : SPID.

⑤4 PROCEDE DE TRAITEMENT D'IMAGES POUR LA REDUCTION DU BRUIT DANS UNE IMAGE D'UNE
SEQUENCE D'IMAGES NUMERIQUES ET DISPOSITIF METTANT EN OEUVRE CE PROCEDE.

⑤7 L'invention concerne un procédé de filtrage des ima-
ges d'une séquence d'image numérisées bruitées, et un
dispositif mettant en oeuvre ce procédé.

Le procédé comprend l'évaluation à un instant courant
(t), d'une équation d'intégration fournissant l'intensité filtrée
(P_t) d'un pixel donné [$A_x(x,y)$] dont l'image courante (J_t) en
évaluant la somme de l'intensité bruitée (I_t) à l'instant cou-
rant (t) et du produit d'un facteur de gain courant (K_t) par la
différence de ladite intensité bruitée (I_t) et de l'intensité fil-
trée (P_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$), cette évaluation étant
faite pour tous les pixels de l'image courante (J_t). Dans
cette évaluation, le facteur de gain courant (K_t) est déter-
miné en fonction du facteur de gain (K_{t-1}) à l'instant précé-
dent ($t-1$) et d'un coefficient de discontinuité (α) mesurant
par une fonction (F), la ladite probabilité d'existence d'une
discontinuité d'intensité dans ladite différence d'intensité,
normalisée par la variance du bruit de ladite différence.

Application: Imagerie médicale en fluoroscopie.



"PROCEDE DE TRAITEMENT D'IMAGES POUR LA REDUCTION DU BRUIT DANS UNE IMAGE D'UNE SEQUENCE D'IMAGES NUMERIQUES ET DISPOSITIF METTANT EN OEUVRE CE PROCEDE"

Description

L'invention concerne un procédé de traitement d'images pour la réduction du bruit successivement dans chaque image d'une séquence d'images numériques.

5 L'invention concerne également un dispositif pour mettre en oeuvre ce procédé.

L'invention trouve particulièrement son application dans le traitement d'images fluoroscopiques. Par images fluoroscopiques, on entend des images formées au moyen d'un dispositif à rayons X, pour l'examen médical d'un patient, dans un mode où le faisceau de
10 rayons X a une faible intensité, fournissant par suite des images peu contrastées, et où ces images sont produites sous forme de séquence.

Le mode fluoroscopique est utilisé particulièrement dans un type d'opération où un praticien réalise la mise en place d'un outil
15 (par exemple un cathéter) sur un patient, et suit cette opération en temps réel sur une séquence d'images de rayons X.

Durant ce type d'opération, le patient est donc soumis pratiquement continuellement à l'irradiation par les rayons X. Il en résulte que le patient est soumis à une dose de rayons X beaucoup plus grande
20 que lors d'une simple prise d'image de rayons X pour un diagnostic. Or, il est connu que les rayons X sont nocifs, et que les quantités de rayons X auxquelles le patient est soumis sont cumulatives. Il est donc important de ne pas dépasser une dose d'irradiation donnée du patient, lors de cette opération de longue durée, pour la
25 formation de cette séquence d'images de rayons X. A cet effet, les images de rayons X en mode fluoroscopique sont réalisées au moyen d'un faisceau de rayons X de faible intensité, et ces images présentent de ce fait un faible contraste et un fort niveau de bruit.

30 Ces images bruitées et faiblement contrastées sont d'une utilisation difficile pour le praticien, c'est pourquoi elles

doivent être traitées afin d'en extraire le bruit, sans en détériorer les détails.

Il existe un mode standard fluoroscopique où l'acquisition des images de la séquence se fait par des prises de vues ayant lieu
5 à une cadence d'environ 30 images/seconde. Il existe également un mode pulsé où le faisceau de rayons X est produit sous forme d'impulsions automatiques pour former la séquence d'images à une cadence de 12,5 images/seconde.

10 Un procédé de filtrage temporel est déjà connu par la publication de R.E.KALMAN, intitulée "A new approach to linear filtering and prediction problems" dans "Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering, Series 82D, pp. 35-45, 1960. Le
15 filtrage temporel est fondé sur le lissage d'une image à un instant donné dans une séquence d'images, lorsque les données d'intensité relatives aux images de la séquence précédant cet instant sont connues.

Les filtres de Kalman sont définis par trois équations, dont une équation réursive dans laquelle l'intensité d'un pixel courant
20 d'une image de la séquence est calculé, pour une localisation fixe donnée, en fonction d'hypothèses faites A PRIORI, en fonction de l'intensité du pixel de même localisation dans l'image précédente de la séquence et en fonction d'un facteur de gain appelé gain de Kalman.

25 Cette équation peut conduire à une première forme d'algorithme récursif dans lequel la valeur du gain de Kalman est gardée constante. Dans une autre forme d'algorithme récursif, la valeur du gain de Kalman est une fonction de la différence d'intensités relatives à un pixel ayant une localisation donnée dans
30 une image de la séquence observée à un instant t , et au pixel de même localisation dans l'image reconstruite à l'instant précédent $t-1$.

Ces deux types d'algorithme présentent des inconvénients. En effet, le principe du filtrage temporel est de travailler point par point sur l'image et d'appliquer l'algorithme de filtrage à chacun
35 de ces points en prenant en compte l'intensité des points de même localisation dans le passé, appelés prédécesseurs. Ainsi le problème

est transformé en celui de lisser un signal monodimensionnel appelé signal temporel, constitué par les valeurs d'intensité d'un pixel ayant une localisation donnée, en fonction du temps. Le problème est que, dès qu'il se produit un petit mouvement entre deux images, ce
5 mouvement donne lieu à un front montant ou descendant, appelé discontinuité d'intensité, apparaissant sur la courbe dudit signal temporel à lisser.

Lorsque le gain de Kalman est choisi complètement constant, on voit apparaître un traînage exponentiel affectant le front de
10 discontinuité d'intensité résultant de ce mouvement. Ainsi le front de discontinuité du signal filtré n'est pas aussi abrupt que celui du signal d'origine. Il en résulte que, si dans l'image d'origine, un petit objet, comme par exemple un cathéter, a bougé rapidement en donnant lieu à un créneau formé d'un front de montée suivi d'un
15 front de descente du signal d'intensité, ce petit objet peut avoir disparu de l'image reconstruite du fait que les flancs du créneau sont déformés par le filtrage ; ce procédé connu risque d'effacer les petits objets.

Dans le second cas, où le gain de Kalman est une fonction de
20 la différence d'intensité entre la valeur observée à l'instant t et la valeur reconstruite à l'instant précédent $t-1$, pour un pixel de localisation donnée, alors le gain de Kalman est en principe adapté à un petit mouvement possible entre deux images se traduisant par une discontinuité d'intensité et donc par un front de discontinuité
25 du signal temporel. Mais, du fait que le gain de Kalman est une fonction de cette discontinuité, il en résulte que, avant la discontinuité, l'image est lissée et que, par contre, après la discontinuité, il n'y a plus de filtrage ; il reste alors une traînée importante de bruit après le front de discontinuité
30 d'intensité.

Ce procédé de filtrage temporel a donc le désavantage de ne pas pouvoir être appliqué à une séquence d'images dans laquelle se produisent des mouvements, ce qui est un problème dans l'application au traitement des images de fluoroscopie dont les séquences
35 comprennent précisément de nombreux mouvements.

Cependant le filtrage temporel est une méthode de réduction du bruit attractive parce que, le bruit n'étant pas corrélé

temporellement, une telle méthode s'applique facilement à une séquence d'images.

5 Un premier problème qui affecte la formation des images d'une séquence produite en mode fluoroscopique de rayons X est que, due à la faible intensité du faisceau de rayons X utilisé, ces images sont très bruitées. Il est donc impératif de filtrer ou lisser ces images pour améliorer le suivi de l'opération par le praticien.

10 Un autre problème qui affecte la formation des images d'une séquence produite en mode fluoroscopique de rayons X est que les différentes images sont séparées par un petit laps de temps, d'où il résulte que des événements importants, tel que l'introduction et le déplacement d'un outil (cathéter) peuvent survenir d'une image à l'autre. Comme on l'a dit, le mode fluoroscopique est prévu pour
15 permettre à un praticien de suivre une opération en direct et en continu. Le procédé de filtrage temporel doit être effectué sensiblement en temps réel. Par temps réel, il faut entendre que l'image reconstruite doit être fournie dans un délai qui ne met pas en péril le bon déroulement de l'opération.

20 Un autre problème qui affecte la formation des images d'une séquence produite en mode fluoroscopique de rayons X est que, dans une telle séquence, il peut apparaître de grands mouvements entre deux images. Ces mouvements amples peuvent être le fait du patient, ou du praticien. Ces mouvements doivent être détectés et corrigés
25 avant l'application de tout procédé de correction temporel du bruit, car d'une manière générale, le filtrage temporel ne peut corriger des discontinuités spatiales de grande envergure. Si ces mouvements ne sont pas détectés et corrigés avant l'application d'un procédé de filtrage temporel du bruit, alors les points d'un objet après
30 mouvement peuvent sembler ne pas appartenir au même objet dans l'image précédent le mouvement, car le filtrage temporel s'applique aux points ayant la même localisation dans les images tout au long de la séquence. Il en résulte que des parties d'image peuvent être brouillées.

35 Un autre problème qui affecte la formation des images d'une séquence en mode fluoroscopique de rayons X, est que, dans une telle séquence, même lorsque les grands mouvements spatiaux dont on a

parlé plus haut ont été détectés et compensés, il reste encore des petits mouvements locaux résiduels. Ces mouvements qui s'apparentent à des petites translations, donnent lieu à des différences d'intensité d'une image à l'autre dans la séquence pour les pixels de localisation fixe, c'est-à-dire à des discontinuités d'intensité du signal temporel. Et il est impératif que le filtrage soit de même efficacité de part et d'autre des discontinuités d'intensité du signal temporel.

Un autre problème qui affecte la formation des images d'une séquence en mode fluoroscopique de rayons X, est que, dans une telle séquence, se produisent des mouvements qui ne peuvent pas être interprétés comme de simples mouvements de translation ; parmi ces mouvements, on peut citer, par exemple, les mouvements respiratoires du patient, ou bien les mouvements des différents organes, ou bien les mouvements liés aux battements du coeur : ces mouvements sont particulièrement complexes, et sont loin de pouvoir être décrits par de simples translations ; ils ne donnent pas lieu à de simples fronts de discontinuité mais à des variations complexes d'intensité sur la courbe de signal temporel.

Il est impératif que le filtrage soit de même efficacité dans toutes les régions du signal temporel, qu'elles contiennent ou non de telles variations complexes d'intensité.

Un autre problème qui affecte la formation des images d'une séquence en mode fluoroscopique est que, en général les outils que déplace le praticien, un cathéter par exemple, sont de diamètre extrêmement petit et, durant l'opération concernée par la séquence d'images, sont aussi très mobiles. Ces petits mouvements se traduisent, comme on l'a dit, par des fronts de montée ou descente du signal temporel. Il est impératif que le filtrage temporel n'amortisse pas ces fronts de montée ou descente, car si cela était le cas, ces très fins objets disparaîtraient de l'image, ce qui serait dommageable au succès de l'opération.

Un autre problème qui affecte la formation de ces images est qu'elles contiennent fréquemment des pics de bruit. Un pic de bruit peut être confondu avec l'effet du déplacement d'un petit objet. Donc les pics de bruit doivent être différenciés des variations

d'intensités dues aux mouvements réels, et doivent de préférence être éliminés.

La présente invention vise à fournir un procédé de traitement d'images numérisées, pour la réduction du bruit, dans les images d'une séquence d'images,

- qui travaille strictement en temps réel, c'est-à-dire qui fournisse l'image courante filtrée dès l'apparition de ladite image courante observée, immédiatement sans retard d'image, quelle que soit la cadence des images dans la séquence ;

- qui prend en compte tout type de variation d'intensité du signal temporel relatif à de petits mouvements locaux, aussi bien les variations abruptes dues à des translations, que des variations complexes dues à des mouvements autres que les translations,

- qui soit capable de différencier les pics de bruit des variations d'intensité du signal temporel dues à des mouvements réels, et qui élimine, si besoin est, les seuls pics du bruit.

- qui comprend un ensemble d'étapes simples, et qui nécessite peu de temps de calcul,

- qui est efficace continuellement, c'est-à-dire qui ne produise pas, ou très peu, de traînée de bruit à l'occasion de l'apparition d'un front de discontinuité du signal temporel d'intensité ;

- qui réduit le bruit sans effacer les petits objets et sans casser les bords des objets en mouvement, c'est-à-dire sans amortir les fronts des discontinuités d'intensité du signal temporel ;

Ces buts sont atteints au moyen d'un procédé de traitement d'images pour la réduction du bruit successivement dans chaque image d'une séquence d'images mémorisées sous forme de matrice bidimensionnelles de pixels ayant des valeurs d'intensité bruitées numérisées, ce procédé comprenant :

- la détermination et la mémorisation de l'intensité bruitée appelée échantillon courant bruité, d'un pixel courant, ayant une localisation donnée dans la matrice d'une image arrivant à cet instant courant, et

- des intensités appelées échantillons prédécesseurs bruités des pixels de même localisation dans la matrice des images précédentes,

l'évaluation d'un poids, de 0 (zéro) à 1, affecté à chaque échantillon prédécesseur, selon la probabilité d'existence ou de non-existence respectivement, de discontinuité d'intensité dans le passé dudit échantillon,

5 l'évaluation d'une intensité filtrée appelée échantillon courant filtré, par la combinaison linéaire de l'échantillon courant bruité et de la somme des échantillons prédécesseurs pondérés, ladite combinaison linéaire étant normalisée par la combinaison de l'unité et de la somme des poids affectés aux échantillons
10 prédécesseurs,

 et la répétition de ces étapes pour tous les pixels de la matrice de l'image courante.

 Le procédé selon l'invention est un procédé de filtrage temporel qui offre un net avantage vis-à-vis du procédé connu de
15 l'état de la technique parce que ce procédé de filtrage s'adapte rapidement à l'apparition ou à la disparition d'une discontinuité d'intensité. Ce procédé réduit ainsi fortement les traînées de bruit qui apparaissent derrière les discontinuités d'intensité dues aux objets en mouvement. De plus, le nombre d'opérations à effectuer
20 pour obtenir le filtrage est très restreint. **Le procédé selon l'invention permet donc de travailler exactement en temps réel.**

 Le procédé selon l'invention présente l'avantage de reconstruire l'image filtrée en prenant en compte l'image bruitée correspondante et les images filtrées précédentes. Ce procédé
25 fournit donc le filtrage de l'image arrivant au dernier instant structement en temps réel.

 Le procédé selon l'invention présente aussi l'avantage de réduire efficacement le bruit même lorsque le signal temporel dans la séquence d'images comporte encore des discontinuités d'intensité
30 dues à des mouvements résiduels (c'est-à-dire qui n'ont pu être éliminés par un traitement préalable de correction de mouvement) ; à cet effet il prend en compte des informations sur la statistique du bruit et sur son comportement spatial ; de ce fait, ce procédé est bien adapté au type particulier de bruit des images de fluoroscopie
35 et est donc très efficace ; il ne laisse pour ainsi dire pas de traînée de bruit ; il ne détériore pas les fronts de discontinuité d'intensité du signal temporel et donc n'efface pas les petits

objets ou les détails de l'image filtrée reconstruite dans la séquence d'image .

Le procédé selon l'invention montre encore l'avantage d'éliminer, si besoin est, les pics de bruit, en les distinguant des autres types de variations abruptes d'intensité dans le signal temporel.

Un dispositif mettant en oeuvre ce procédé comprend : une mémoire d'images pour mémoriser successivement des données d'images d'une séquence d'images sous forme de matrice bidimensionnelles de pixels ayant des valeurs d'intensité bruitées numérisées, et pour fournir l'intensité bruitée appelée échantillon courant bruité, d'un pixel courant, ayant une localisation donnée dans la matrice d'une image arrivant à cet instant courant, les intensités appelées échantillons prédécesseurs bruités des pixels de même localisation dans la matrice des images précédentes,

un sous-ensemble recevant à son entrée les échantillons prédécesseurs et courant pour l'évaluation d'une relation appelée relation d'intégration et fournissant à sa sortie une valeur d'intensité qui est l'échantillon filtré pour reconstruire l'échantillon courant bruité, cette évaluation étant répétée pour chaque pixel de l'image courante, pour fournir cette image courante filtrée.

Ce dispositif offre l'avantage d'être simple à mettre en oeuvre et de fournir strictement et exactement en temps réel un filtrage temporel du bruit efficace qui ne détruit pas les détails de l'image.

L'invention est décrite ci-après en détail, en référence avec les figures schématiques annexées dont :

- la FIG.1 qui représente un dispositif de prises de vues à rayons X ;
- la FIG.2 qui représente une séquence d'images numériques ;
- la FIG.3A qui représente un signal temporel bruité correspondant à un pixel A localisé aux coordonnées x,y, avec une discontinuité due à un mouvement ;
- la FIG.3B qui représente un autre signal temporel bruité, avec un pic de bruit ;

- la FIG.4A qui représente le signal temporel filtré correspondant au signal temporel bruité de la FIG.3A ;
- la FIG.4B qui représente le signal temporel filtré spatialement correspondant au signal bruité de la FIG.3B ;
- 5 - la FIG.4C qui représente le signal temporel filtré et correspondant au signal temporel bruité de la FIG.3A, selon une variante de l'invention ;
- les FIG.5A à 5C qui illustrent la détermination de l'écart type du bruit σ_B par rapport à la moyenne du bruit m_B ;
- 10 - la FIG.6A qui illustre une étape d'une méthode spatiale de compensation de mouvement de translation, et la FIG.6B qui illustre une seconde étape de cette méthode ;
- les FIG.7A à 7D qui montrent divers exemples possibles de la fonction F ;
- 15 - la FIG.8 qui montre sous forme de blocs fonctionnels, un dispositif pour mettre en oeuvre le procédé de filtrage temporel ;
- la FIG.9A qui illustre une méthode de lissage des pics de bruit par un filtre médian simple, et la FIG.9B qui illustre une méthode de lissage des pics de bruit par un filtre médian plus
- 20 sophistiqué.

I/ Dispositif à rayons X

En référence avec la FIG.1, un système de radiographie numérisée comprend un générateur 1 de rayons X ; une table mobile 2
25 pour recevoir un patient ; un dispositif intensificateur d'image 3 couplé à un tube vidéo 4, qui fournit des données à un système 5 de traitement numérique d'image comprenant un microprocesseur. Ce dernier comprend plusieurs sorties dont une sortie 6 couplée à un moniteur 7 pour la visualisation de la séquence d'images
30 radiographiques ou des images d'intensité.

L'image radiographique numérisée peut contenir 512 x 512 ou 1024 x 1024 pixels codés sur 8 bits ou 10 bits. Chaque pixel peut être ainsi affecté d'un parmi 256 ou 1024 niveaux de gris ou niveaux d'intensité. Les régions sombres ont un niveau de gris
35 faible, et les régions claires de l'image ont un niveau de gris élevé.

L'invention trouve donc son application dans le domaine de la formation d'images fluoroscopiques numérisées pour aider à la détection d'anomalies du corps humain.

5 Le mode fluoroscopique est particulièrement utile dans la formation d'images angiographiques. Les angiographies sont des images spécialisées pour la visualisation des vaisseaux sanguins. Plusieurs types d'angiographies sont réalisables : les angiographies coronariennes pour la visualisation des artères irriguant le muscle du coeur ou myocarde, l'ensemble de ces artères formant l'arbre
10 coronarien ; les angiographies périphériques pour visualiser l'irrigation des membres inférieurs ou supérieurs ; les angiographies cérébrales.

L'introduction ces dernières années de la radiographie numérisée qui combine l'utilisation d'un détecteur de rayons X
15 donnant une image en temps réel et la numérisation des images, a constitué un progrès majeur dans le domaine de la formation d'images par rapport à la radiographie conventionnelle. Elle offre, en effet, accès aux nombreuses possibilités offertes par les techniques de traitement numérique d'images.

20 Dans tous les cas, la présente invention ne tient pas compte de la méthode par laquelle la séquence d'images numériques a été obtenue, ni de la nature des objets qu'elle représente, mais concerne seulement le traitement de ces images dans cette séquence pour éliminer le bruit.

25 La réalisation d'angiographies suppose qu'un patient, en général éveillé, se voit injecter, par exemple par l'artère fémorale au moyen d'un cathéter, un produit contrastant ; l'opération d'introduction de ce cathéter doit être menée avec prudence. Les mouvements d'avance du cathéter dans les artères doivent être suivis
30 avec une grande précision. A cet effet, l'opérateur suit l'opération sur le moniteur vidéo qui affiche les images à un taux de plusieurs images par secondes, soit 30 images par seconde en mode fluoroscopique standard, soit 12,5 images par seconde en mode fluoroscopique pulsé.

35 II/ Procédé de filtrage temporel du bruit.

La présente invention propose un procédé de réduction du bruit d'une image dans une séquence d'images, appelé procédé de

filtrage temporel, fondé sur des étapes de filtrage récursif adaptatif. Ce procédé fournit le signal filtré de la dernière image observée, c'est-à-dire de l'image observée à l'instant présent strictement en temps réel, sans retard d'image.

5 Ce procédé peut être mis en oeuvre avec ou sans compensation de mouvement, car il est capable d'effectuer la détection de mouvement d'objets enregistrés sur les images dans la séquence.

En référence avec la figure 2, le procédé de filtrage temporel du bruit comporte d'abord l'acquisition et la numérisation
10 d'un certain nombre d'images d'intensité, formant une séquence d'images numérisées bruitées, réalisée à une cadence donnée, c'est-à-dire composée, de l'instant le plus éloigné, jusqu'à l'instant présent :

- d'une première image d'intensité formée à un premier instant
15 $t - k_0$, où k_0 est un nombre entier égal au nombre d'images de la séquence moins un, et où t est l'instant présent, en fait l'instant de la dernière image de la séquence ; la première image d'intensité est donc notée J_{t-k_0} ;

- d'un certain nombre d'images d'intensité, notées J_j , formées
20 à chaque instant j depuis le premier instant $t - k_0$; chaque image d'intensité J_j a un indice $j = t - k$ donné par rapport à l'instant présent t , où k est un nombre entier égal au nombre d'images moins un séparant l'image courante J_j de la dernière image de la séquence J_t ;

25 cette séquence continuant par exemple par :

- une image d'intensité notée J_{t-3} , formée à l'instant $t-3$ par rapport à l'instant présent t ;

- et des images d'intensités notées respectivement J_{t-2} , J_{t-1}
30 et J_t , cette dernière étant la dernière image de la séquence, c'est-à-dire l'image à l'instant présent t . Cette image est filtrée dès son arrivée à cet instant présent t .

Chaque image numérisée J_j est une matrice bidimensionnelle de pixels notés $A_j(x, y)$. Chaque pixel A_j de l'image J_j est
35 caractérisé par ses coordonnées x, y dans la matrice et par un niveau de gris $I_j(x, y)$ sur une échelle de niveaux de gris. Au lieu de parler de niveaux de gris, on peut parler de façon équivalente de niveaux d'intensité.

Pour un pixel courant $A_t(x, y)$ de coordonnée x, y de la dernière image J_t observée à l'instant présent t , le niveau de gris $I_t(x, y)$ est déterminé et mémorisé. Et de même les niveaux de gris $I_{t-1}(x, y)$, $I_{t-2}(x, y)$, $I_{t-3}(x, y)$, $I_j(x, y)$, $I_{t-k_0}(x, y)$ des pixels précurseurs de ce pixel donné, de même localisation x, y , ont été déterminés dans les images précédentes de la séquence d'images d'intensité notées J_{t-1} , J_{t-2} , J_{t-3} ..., J_{t-k_0} aux instants précédents et mémorisés.

Un signal, appelé signal temporel bruité, est formé des différents niveaux de gris (ou des intensités) $I_t(x, y)$ des pixels courants $A_t(x, y)$ portés en ordonnée en fonction du temps porté en abscisse, comme représenté sur les FIG.3A et 3B. Le procédé de filtrage temporel selon l'invention a pour objet le filtrage ou lissage du bruit qui affecte ce signal temporel noté $I(\tau)$, de manière à obtenir un signal temporel filtré comme représenté sur les FIG.4A à 4C, noté $P(\tau)$.

Le procédé selon l'invention s'applique au cas où les mouvements qui pourraient se produire dans la séquence d'image sont compensés préalablement à la mise en oeuvre du présent procédé. Cette compensation peut être effectuée par des méthodes de compensation de mouvement connus de l'état de la technique.

Certaines des méthodes d'estimation de mouvement classiques déjà connues de l'état de la technique sont aussi connues comme généralement très coûteuses en temps de calcul. Ce genre de méthode doit être évitée puisque l'invention vise la fourniture d'un procédé applicable strictement en temps réel. A cet effet, on effectue, de préférence, la procédure de correction de mouvement suivante, comprenant, en référence avec les FIG.6A et 6B :

- la projection des pixels de chacune des images sur un certain nombre d'axes de la matrice bidimensionnelle ; dans un cas particulier, on choisit uniquement de réaliser la projection des intensités des pixels de chaque image numérique sur l'axe des X et sur l'axe des Y d'un repère orthonormé, formé par exemple d'un axe X parallèle au bord horizontal et un axe Y parallèle au bord vertical de l'image. Par ce genre de projection, on entend que l'on effectue la somme $\sum I(V)$ des intensités des pixels de chaque colonne V prise une à une dans l'image, et que l'on trace la courbe de résultats de

ces sommes d'intensités des pixels des colonnes en fonction d'un numéro attribué à chaque colonne respectivement. La même opération est réalisée pour les lignes H : on effectue la somme Σ des intensités des pixels pour chacune des lignes H prises une à une et on trace la courbe des résultats de ces sommes $\Sigma I(H)$ en fonction d'un numéro attribué à chaque ligne H.

On obtient de cette façon un profil intégré sur l'axe horizontal X des intensités $I(V)$ des pixels des colonnes V, et un profil intégré sur l'axe vertical Y des intensités $I(H)$ des lignes H des pixels. En référence avec la FIG 6A, on montre à titre d'exemple, les profils $\Sigma I_{t-1}(V)$ et $\Sigma I_t(V)$ intégrés sur l'axe des X, des intensités des pixels des colonnes V des images consécutives J_{t-1} et J_t . On remarque une composante de translation horizontale noté TH.

En référence avec la FIG.6B, on montre, à titre d'exemple, les profils $\Sigma I_{t-1}(H)$ et $\Sigma I_t(H)$ intégrés sur l'axe des Y, des intensités des lignes H des images consécutives J_{t-1} et J_t . On remarque une composante de translation verticale notée TV. Ces opérations de projection sont effectuées pour chacune des images de la séquence prises deux à deux. On déduit de ces opérations de projection une loi de mise en correspondance très simple entre les images consécutives, qui consiste, d'une image à l'image suivante, à trouver la loi de translation telle que les profils intégrés correspondant soient le mieux corrélés possible.

On applique alors une loi de translation inverse consistant en un vecteur de correction, pour corriger les effets dûs aux mouvements dans la séquence d'images. S'il y a eu un mouvement, un pixel étant repéré par sa position x et y sur les axes respectivement horizontal et vertical, provient d'un autre pixel dit antécédent dans l'image précédente, repéré par les coordonnées (x-TH, y-TV) où TH est la translation entre les deux images dans le sens des X et TV la translation entre les deux images dans le sens des Y.

La translation de composantes TH,TV est supposée être la même pour tous les pixels. On en déduit les valeurs corrigées spatialement des intensités bruitées $I_j(x, y)$ pour chaque pixel A_j

(x, y) dans chaque image J_j . On ne considérera désormais, dans la suite de l'exposé, que ces valeurs d'intensité bruitées corrigées spatialement.

Il faut noter que, même lorsqu'un procédé de compensation de mouvement a été ainsi appliqué sur une séquence d'images, on ne peut jamais affirmer que les mouvements aient été réellement tous compensés, parce que les techniques de compensation de mouvement ne sont pas parfaites, que ce soient les techniques connues de l'état de la technique, ou bien la technique présentée plus haut.

Pour prendre en compte cet état de fait, le présent procédé de filtrage temporel inclut des éléments qui permettent de s'affranchir de mouvements locaux des objets représentés dans la séquence d'images.

Le présent procédé effectue donc un filtrage du bruit du signal temporel en prenant en compte des petits mouvements locaux des objets dans la séquence d'image, ces mouvements étant par exemple non compensables, ou résiduels après application d'une procédure de compensation des grands mouvements.

Le présent procédé considère le signal temporel $I(\tau)$ constitué par les intensités I_j à chaque instant $t - k_0$, $j \dots t$ du temps τ (lire tau), pour chaque pixel de coordonnées x, y fixées de la matrice bidimensionnelle des images de la séquence. Ce signal temporel bruité $I(\tau)$ porté en ordonné est traité point sur l'axe du temps (τ) porté en abscisse, et, pour filtrer l'intensité I_t à l'instant présent t et la reconstruire, on utilise uniquement la donnée d'intensité I_t bruitée observée à cet instant présent t , et les données d'intensité bruitée observées, ou bien les données d'intensité déjà filtrées, aux pixels précurseurs, c'est-à-dire aux pixels de même localisation x, y dans les images précédentes.

La figure 3A montre un signal temporel $I(\tau)$ bruité ayant une discontinuité d'intensité D entre D_1 et D_2 due à un petit mouvement local. Ce petit mouvement se traduit entre l'instant $t-3$ et l'instant $t-4$ par une brusque variation de l'intensité formant un front de montée du signal temporel $I(\tau)$. Ce signal temporel montre en outre des dents de scie serrées correspondant au bruit. Cela signifie que le niveau de gris d'un même pixel varie constamment entre un gris plus clair et un gris plus foncé provoquant dans une

image un aspect de chute de neige. Le filtrage permet de supprimer cet aspect en lissant la valeur du niveau de gris d'un pixel donné à une valeur moyenne constante. Le filtrage temporel selon l'invention est capable de s'adapter à une discontinuité d'intensité telle que

5 D. Ainsi, les FIG.4A et 4C montrent le même signal temporel $P(\tau)$ lissé par le procédé selon l'invention dans diverses formes de réalisation.

Le présent procédé est fondé sur une formulation spécifique du signal temporel filtré P_t à l'instant présent t , s'exprimant par

10 la relation (1) :

$$P_t = \frac{I_t + \sum_{j=t-k_0}^{j=t-1} b_j \times I_j}{1 + \sum_{j=t-k_0}^{j=t-1} b_j} \quad (1)$$

où j est un indice qui indique l'instant, et cet indice va par exemple de $t-k_0$ à $t-1$. Donc l'intensité reconstruite, ou signal temporel filtré P_t , est une combinaison linéaire de l'intensité

15 bruitée observée à l'instant présent t et des intensités bruitées observées aux instants précédents. On appelle ci-après "échantillons" les intensités du pixel courant à l'instant présent t , également appelé instant courant t et de ses prédécesseurs de coordonnées x, y fixées.

20 La formulation du signal temporel filtré reconstruit P_t sous forme de fraction est simplement fondée sur le fait qu'il faut que la somme des poids, c'est-à-dire des coefficients que l'on applique aux différents échantillons soit égale à 1. En effet, si la somme de ces coefficients n'était pas égale à 1, la moyenne du signal filtré

25 reconstruit P ne serait plus égale à la moyenne du signal bruité observé I . Or il faut que la moyenne du signal reconstruit P soit égale à la moyenne du signal observé I . C'est pourquoi, le dénominateur de l'équation (1) est un facteur de normalisation qui assure que la somme des coefficients est égale à 1.

30 Le présent procédé est donc fondé sur une combinaison linéaire des échantillons, combinaison linéaire dans laquelle on

impose que ces coefficients ou poids b_j aient une forme spécifique. Selon l'invention, ces coefficients b_j ne peuvent être quelconques.

On remarquera que dans la formulation du signal filtré reconstruit P_t , on affecte à la valeur du signal bruité observé I_t à l'instant présent, placée au numérateur, un poids égal à 1 puisque I_t n'est pas sous le signe somme Σ ; seules les valeurs d'intensité aux instants précédents I_{t-1} , I_{t-2} etc.. sont affectées d'un coefficient b_j . Le poids général de I_t n'est cependant pas égal à 1, puisqu'il faut encore diviser ce poids par le dénominateur de l'équation (1). Ce dénominateur est un facteur de temporisation. Donc, relativement au numérateur, le poids de I_t est 1, ce qui signifie que l'on prend entièrement l'échantillon courant au temps présent dans la combinaison linéaire.

L'échantillon juste précédent I_{t-1} est ensuite retenu seulement dans la mesure où il n'est pas trop différent de l'échantillon courant I_t au temps présent t . On se fonde en effet sur l'hypothèse que si l'échantillon précédent n'est pas trop différent de l'échantillon courant au temps présent, c'est qu'il appartient au même objet et donc il peut être pris en compte dans la combinaison linéaire.

Cette hypothèse s'exprime par la formulation des poids b_j selon laquelle, d'abord :

b_{t-1} est une fonction de $(|I_t - I_{t-1}|)$

ou mieux b_{t-1} est une fonction de $|I_t - P_{t-1}|$

Par cette formulation, on exprime que le coefficient b_{t-1} est une fonction de la différence entre I_t et I_{t-1} , ou mieux de la différence entre I_t et P_{t-1} . En effet, P_{t-1} est la valeur d'intensité déjà filtrée à l'instant précédent noté $(t-1)$, et donc réputée moins bruitée que I_{t-1} du fait du filtrage. On a donc une confiance plus grande en P_{t-1} qu'en I_{t-1} . Ainsi, on considère d'une manière générale, la différence entre l'intensité du pixel, ou échantillon, à l'instant courant et à l'instant précédent. Si la différence est faible, on affecte au poids correspondant b_{t-1} une valeur "élevée" proche de 1. Si la différence entre les intensités I_t et P_{t-1} est grande, alors on affecte au poids b_{t-1} une valeur

proche de 0 (zéro). Dans ce cas, l'échantillon en question n'est pratiquement pas pris en compte.

Ensuite, le calcul du poids b_{t-2} impose que l'intensité du pixel à l'instant $t-2$, ou échantillon à $t-2$, soit non seulement
 5 assez semblable à l'intensité du pixel à l'instant $t-1$, mais aussi à l'intensité du pixel à l'instant courant t . Par cette condition, on applique le filtrage seulement à des échantillons n'ayant pas subi de modifications autres que celles dues au bruit.

La condition (1) exprimée plus haut conduit à formuler les
 10 poids b_j comme le produit de fonctions des discontinuités ou différences d'intensité apparaissant sur le signal temporel. Ce qui conduit à écrire que :

b_{t-1} est proportionnel à une fonction $F(|I_t - P_{t-1}|)$

Pour simplifier l'écriture, on pose :

15 $b_{t-1} = \alpha_t \quad (2a)$

En fait, la fonction α_t est interprétée comme une probabilité de continuité. Ainsi la condition devient que s'il y a continuité d'intensité entre l'échantillon à l'instant t et l'échantillon à l'instant précédent $t-1$, alors α_t est grand. Et s'il y a
 20 discontinuité d'intensité, alors α_t devient proche de 0.

La continuité d'intensité des échantillons entre l'instant t et l'instant $t-2$ implique qu'il faut qu'il y ait continuité d'intensité entre les instants t et $t-1$, et continuité d'intensité entre les instants $t-1$ et $t-2$. Ceci, en probabilité, se traduit par
 25 un produit de probabilités dans lequel il faut que la probabilité de continuité d'intensité entre les instants t et $t-1$ soit forte, et que la probabilité de continuité d'intensité entre les instants $t-1$ et $t-2$ soit forte. Ceci conduit aux relations :

$b_{t-1} = \alpha_t \quad (2a)$

30 $b_{t-2} = \alpha_t \times \alpha_{t-1} \quad (2b)$

$b_{t-3} = \alpha_{t-2} \times \alpha_{t-1} \times \alpha_t \text{ etc.} \quad (2c)$

On voit donc apparaître que la formulation de ces coefficients b_j est réalisée au moyen de produits de probabilités α_j .

A titre d'exemple, en référence avec la FIG.3A, un mouvement entre deux images de la séquence, par exemple entre l'instant $t-4$ et l'instant $t-3$, se traduit par un front de montée, du signal temporel $I(\tau)$. Donc, sur la FIG.3A, on trouve un "haut plateau" de signal
 5 entre les instants t et $t-3$, puis une "plaine basse" aux instants précédant l'instant $t-4$.

Ainsi dans l'exemple de la FIG.3A, lorsque l'on considère l'intensité à l'instant $t-4$ où l'on voit une discontinuité d'intensité D sur le dessin entre les points $D1$ et $D2$, le calcul de
 10 b_{t-4} par le produit des probabilités montre que la probabilité α_{t-3} est très proche de 0 (zéro) car du fait de la grande différence des intensités entre les instants $t-4$ et $t-3$, la fonction α_{t-3} est à peu près égale à 0. Comme b_{t-4} est obtenu par le produit des probabilités incluant ce terme α_{t-3} , ce produit tend aussi vers
 15 zéro. Et ensuite b_{t-5} tend aussi vers zéro du fait que sa formulation inclut un produit contenant des termes proches de zéro. Dès qu'il y a un terme proche de zéro dans le produit des probabilités, la présence de ce terme annule ce produit et tous les produits correspondant aux instants qui précèdent l'instant où ce
 20 terme proche de zéro apparaît. Il en résulte que les poids b_j des échantillons correspondant auxdits instants précédents sont proches de zéro.

Ainsi, si l'on considère les coefficients b_j correspondants au cas particulier de la FIG. 3A, on a :

$$25 \quad b_{t-1} \approx 1 ; b_{t-2} \approx 1 ; b_{t-3} \approx 1 ; b_{t-4} \approx 0$$

La formule générale des poids b_j est donnée par la relation
 (2) :

$$b_{t-k} = \prod_{j=t-k+1}^t \alpha_j \quad (2)$$

avec k au moins égal à 1. Ainsi, pour calculer le coefficient b_j
 30 correspondant à un instant éloigné de t , on réalise le produit de tous les α depuis cet instant éloigné plus un, jusqu'à l'instant présent t .

La construction spécifique de ces coefficients selon la formulation (2), l'équation 1, dont le calcul était très complexe,
 35 est transformée en un seul groupe de trois relations simples,

réalisant le filtrage temporel requis. Ce filtrage temporel a la propriété est de n'intégrer que les points situés dans un passé où il n'y a pas eu de discontinuité d'intensité, donc pas de mouvements. Et, s'il y a un mouvement ou une discontinuité d'intensité dans le passé, ce procédé de filtrage ne prend pas en compte les informations précédant ce mouvement ou cette discontinuité. Donc, selon l'invention, le filtrage s'applique à tous les échantillons ayant des intensités sensiblement égales, considérées dans le temps passé ; et le filtrage s'arrête dès qu'un échantillon montre une discontinuité d'intensité ; en effet, pour filtrer le premier point à droite de la discontinuité, ce procédé de filtrage ne peut prendre en compte les points à gauche de la discontinuité puisque leurs poids est proche de zéro ; donc ce premier point à droite de la discontinuité, a pour intensité sa propre intensité bruitée non modifiée ; le procédé agit comme s'il avait "oublié" tout le passé, c'est-à-dire tous les échantillons situés dans le passé de l'instant où apparaît cette discontinuité.

Partant de l'équation linéaire (1), on impose donc des coefficients ayant une forme spécifique (2), ce qui conduit à une formulation de l'équation réursive (3) suivante :

$$P_t = P_{t-1} + K_t \times (I_t - P_{t-1}) \quad (3)$$

Cette formulation de l'échantillon filtré P_t à l'instant t prend en compte l'échantillon filtré P_{t-1} à l'instant $t-1$, modifié par ce qu'on appelle ci-après un terme d'innovation constitué par la différence entre l'échantillon filtré P_{t-1} à l'instant $t-1$ et l'échantillon bruité I_t observé à l'instant t . Ce terme d'innovation est multiplié par un terme appelé gain K , qui varie entre 0 et 1.

On montre maintenant que ce gain K n'est pas un gain de Kalman, mais un terme de gain complètement différent. Ce terme de gain est donné selon l'invention par l'équation réursive suivante (4) :

$$K_t = \frac{K_{t-1}}{K_{t-1} + \alpha_t} \quad (4)$$

Le passage entre le modèle correspondant aux équations (1) + (2) et le modèle correspondant à l'équation (3) est fondé sur le

fonctionnement du système d'équations suivantes :

$$P_t = P_{t-1} + K_t \times (I_t - P_{t-1}) \text{ appelée équation d'intégration (3)}$$

$$K_t = \frac{K_{t-1}}{K_{t-1} + \alpha_t} \text{ appelée équation de gain (4)}$$

$$\text{et } \alpha_t = F \left(\left| \frac{I_t - P_{t-1}}{\sigma_B \sqrt{1+K_{t-1}}} \right| \right) \text{ appelé coefficient de discontinuité (5).}$$

5 L'itération de cette équation (3), en commençant à
t-ko dans le temps, permet de retrouver exactement l'équation (1),
telle que formulée plus haut. La formulation (3) correspond donc
simplement à une combinaison linéaire des échantillons, associée à
un facteur d'intégration qui dépend simplement des discontinuités ou
10 différence des intensités entre les échantillons.

Le coefficient de discontinuité α_t est explicitée ci-après.
On a d'abord posé comme définition du coefficient α_t , sa
proportionnalité à la fonction F de $|I_t - P_{t-1}|$, c'est-à-dire à la
valeur absolue de la discontinuité ou différence d'intensité entre
15 l'intensité bruitée I_t observée à l'instant courant t et l'intensité
filtrée P_{t-1} reconstruite à l'instant précédent t-1, pour le pixel
de coordonnées fixées x, y, et notée ci-après Δ :

$$\Delta = |I(t) - P(t-1)| \quad (6)$$

Lors de l'estimation de cette valeur de discontinuité Δ ou
20 différence d'intensité, il convient de déterminer si ce terme de
différence Δ est réellement relatif à une discontinuité telle que D
sur la FIG.3A, ou s'il est seulement relatif à du bruit. Par
exemple, dans une image non bruitée, une déviation d'un seul niveau
de gris peut être considérée comme une discontinuité. Par contre,
25 s'il existe dans l'image un bruit de 7 niveaux de gris en moyenne et
qu'on observe une différence Δ de 5 niveaux de gris, on admettra que
cette différence Δ est relative au bruit.

Pour régler ce problème, la participation du bruit doit être
déterminée. A cet effet, la fonction F de la discontinuité doit être
30 normalisée par un facteur appelé écart type du bruit, correspondant
à la quantité notée $\Delta(6)$.

L'écart type du bruit pour chaque échantillon I_j peut être
estimé par toute méthode connue de l'état de la technique, ou bien

peut être estimé à priori. L'écart type du bruit est mesuré en niveaux de gris (ou intensité). Il peut être par exemple 5 ou 10 niveaux de gris. Il est indispensable de réaliser une estimation de l'écart type du bruit σ_B pour mener à bien le procédé selon l'invention.

On donne ci-après une méthode simple pour déterminer cet écart type du bruit noté σ_B (lire sigma du bruit) correspondant à l'échantillon bruité I_t observé à l'instant courant t .

L'écart type du bruit σ_B dont la connaissance est nécessaire au calcul de la fonction de filtrage (3) en combinaison avec les relations (4) et (5), peut être estimé avec la seule connaissance d'un paramètre physique du dispositif à rayons X qui est la dose de rayons X.

En référence avec la FIG.1, le système à rayons X comporte d'abord le tube 1 à rayons X qui génère un "bruit de Poisson" proportionnel à la dose de rayons X émise. Puis le patient 2 qui est interposé sur le passage du faisceau de rayons X produit une dispersion des rayons, résultant en l'apparition de rayons X indirects purement aléatoires générant un bruit peu important interprété comme un bruit blanc, d'autant moins important qu'une grille, non représentée, est interposée à l'entrée du dispositif intensificateur d'images 3, rejetant les rayons indirects. Le système à rayons X comporte donc ensuite ce dispositif intensificateur d'images 3 qui amplifie l'image et qui est disposé à l'avant de la caméra 4. Ce dispositif intensificateur 3 augmente la valeur du signal sans changer la forme du bruit, et présente deux propriétés. La première propriété est que les électrons (les photons sont transformés en électrons à l'entrée de l'intensificateur d'images) sont accélérés par un champ électrique de telle sorte qu'ils présentent davantage d'énergie quand ils atteignent un écran situé à la sortie. La seconde propriété est que le faisceau d'entrée est focalisé sur l'écran de sortie. L'influence de l'intensificateur d'image 3 est dans ce cas simplement de diviser le bruit par un facteur constant, de telle sorte que sa forme n'est pas modifiée. Après l'écran de sortie se trouve disposée la caméra 4, qui introduit un bruit électronique.

A la fin de la chaîne d'acquisition se trouve le dispositif 5 appliquant un procédé de traitement d'images pour accroître le contraste en contrôlant la puissance du faisceau de rayons X.

Il en résulte que d'après le "processus de Poisson", la
5 variance du bruit en chacun des pixels est proportionnelle à la valeur moyenne de l'intensité des rayons X. On rappelle que la variance σ_B^2 selon le processus de Poisson est la moyenne des écarts au carré du bruit dans une région considérée de l'image (les écart d'intensité dus au bruit étant mesurés par rapport à la moyenne
10 locale) et est proportionnelle à la moyenne de l'intensité des rayons X dans cette région là.

Ce procédé de traitement d'image peut comprendre aussi une transformation de l'image rendue nécessaire par le comportement du bruit dans une image fluoroscopique typique. Le bruit n'est pas
15 important dans les zones sombres et brillantes, mais il est très important dans les zones de niveau de gris moyen. L'image est normalement codée sur 8 bits, mais comme l'oeil ne peut pas aisément détecter le contraste dans une zone brillante, une compression des niveaux de gris des régions blanches est appliquée ; cette
20 compression consiste à coder les parties les plus brillantes de l'image avec une précision moindre que les parties sombres par exemple sur 6 bits au lieu de 8 bits. Cette compression permet d'atténuer la connexion du bruit avec le niveau de gris.

Cette transformation des intensités de l'image peut intervenir, dans
25 le système représenté sur la FIG.1, selon cette loi de compression, après la détection des rayons X et avant la numérisation de l'image. Il en résulte, dans ce cas, que la détermination de l'écart type du bruit se trouve compliquée du fait que l'on a introduit une transformation de l'image selon une loi de compression avant la
30 numérisation du signal, et que l'écart type du bruit σ_B est alors une fonction de l'intensité I_j à chaque instant, en chaque pixel.

La détermination de l'écart type du bruit doit donc être faite localement en chacun des pixels de l'image, en fonction de la moyenne d'intensité de la région correspondante : ainsi le bruit est
35 caractérisé spatialement du fait que l'on calcule localement une

variance du bruit et une moyenne du signal observé, et on arrive donc à séparer ce qui est dû à l'image même, ou signal, du bruit.

Selon la méthode proposée, en référence avec la FIG.5A, on détermine dans l'image J_j des petites fenêtr W_j , typiquement des zones de 5×5 ou 3×3 pixels autour de chaque pixel $A_j(x,y)$. Et dans chacune de ces petites fenêtr $W_j(x,y)$ on détermine la variance du bruit et la moyenne d'intensité observé.

A Cet effet, n étant le nombre de pixels d'une petite fenêtr $W_j(x,y)$, pour chaque position de cette petite fenêtr centrée sur un pixel $A_j(x,y)$, on détermine :

-les intensité $I_j(k,\ell)$ de chacun des pixels de la petite fenêtr $W_j(x,y)$, les indices k et ℓ étant les coordonnées des pixels considérés situés dans cette fenêtr par rapport aux coordonnées rectangulaires X et Y de l'image J_j .

-la moyenne d'intensité $m_W(x,y)$ dans cette fenêtr, en cette position, donnée par la relation :

$$m_W(x,y) = \frac{1}{n} \sum I_j(k, \ell)$$

-la variance du bruit $\sigma_{BW}(x,y)$ au carré, dans cette fenêtr, donnée par la relation :

$$\sigma_{BW}^2(x,y) = \frac{1}{n} \sum [I_j(k,\ell) - m_W(x,y)]^2$$

où interviennent sous le signe somme $\sum$ la différence au carré entre les intensités de chaque pixel de la fenêtr et la moyenne $m_W(x,y)$; somme dont on prend en outre la moyenne par le nombre n de pixels dans la fenêtr.

En référence avec la FIG.5B, on réalise ensuite un histogramme à deux dimensions dans lequel on porte sur l'axe horizontal des valeurs moyennes $m_W(x,y)$ de l'intensité avec une précision donnée : par exemple de 10 niveaux de gris en 10 niveaux de gris, et sur l'axe vertical la valeur moyenne de la variance.

Dans chaque intervalle de la moyenne d'intensité $m_W(x,y)$ porté sur l'axe horizontal, on trouve le décompte de la fréquence N de la variance ou nombre de fois qu'une variance donnée se produit pour cet intervalle de la moyenne d'intensité. Tout à fait à titre

d'exemple, pour la clarté de l'exposé, sur la FIG.7B, on a représenté qu'entre les valeurs 10 et 20 de la moyenne $m_W(x,y)$ la fréquence N_{01} de la variance ayant la valeur 1 est 0
la fréquence N_{11} de la variance ayant la valeur 4 est 10
5 la fréquence N_{21} de la variance ayant la valeur 9 est 20
la fréquence N_{31} de la variance ayant la valeur 16 est 35
la fréquence N_{41} de la variance ayant la valeur 25 est etc..

La méthode proposée se poursuit en référence avec la FIG.5C
10 par le tracé de la courbe de la fréquence N d'occurrence des variances portée sur l'axe vertical en fonction de la variance $\sigma_{BW}^2(x,y)$, pour tout intervalle considéré de l'intensité moyenne $m_W(x,y)$. Cette courbe des fréquences N en fonction de la variance passe par un maximum qui donne une valeur possible de la variance,
15 et qui doit être déterminé pour chacun des intervalles de la moyenne d'intensité.

On obtient ainsi une variance du bruit en fonction de la valeur moyenne du niveau de gris attribué à chaque pixel $A_j(x,y)$. Cette technique permet d'extraire l'information concernant le bruit
20 à partir de l'image même. La variance du bruit pour chaque pixel de chaque image est obtenue d'une façon très simple, en fonction de la moyenne d'intensité, sans entrer dans des détails de réglage très complexes de l'appareil à rayons X.

Considérant maintenant à nouveau le terme de différence:

$$25 \quad \Delta = |I_t - P_{t-1}| \quad (6)$$

Du fait du bruit, ce terme a un certain écart type vis-à-vis de la valeur qu'aurait la différence d'intensité non bruitée. Cet écart type peut maintenant être estimé, pour cette différence Δ , comme suit :

30 Cette différence d'intensité Δ concerne deux échantillons d'image aux instants t et t-1. A l'instant t, on peut s'attendre à une variance du bruit exprimée par σ_B^2 correspondant à l'échantillon I_t . Mais du fait que l'on considère aussi l'échantillon P_{t-1} dans la différence d'intensité Δ , il faut prendre en compte la variance du
35 bruit résiduelle correspondant à l'échantillon P_{t-1} déjà filtré à

l'instant précédent, donnée approximativement par le produit $K_{t-1} \times \sigma_B^2$, et cumuler ces valeurs ; de sorte que la variance du bruit relative à Δ est $\sigma_B^2 + K_{t-1} \times \sigma_B^2$.

Le coefficient α_t est donc une fonction d'une différence Δ donnée par la relation (6), normalisée par une approximation de l'écart type du bruit de ladite différence. Le calcul du coefficient α_t comprend, en chaque point de la courbe $I(\tau)$ de la FIG.3A, la mesure de l'écart du bruit par rapport à la moyenne.

Dans l'équation (5) la différence Δ est alors, selon l'invention, normalisée par l'écart type du bruit relatif à cette différence Δ . Cet écart type est donné par :

$$S_t = \sigma_B \sqrt{1+K_{t-1}} \quad (11C)$$

C'est pour prendre en compte le fait que la différence Δ est affectée par le bruit, que l'on normalise le coefficient de discontinuité α_t par cet écart type du bruit.

La fonction réursive (3) est maintenant aisément calculable parce que cette fonction dépend uniquement du facteur de gain K_t donné par l'équation (4). Or, ce facteur de gain K_t dépend lui-même uniquement du facteur de gain K_{t-1} déjà calculé dans le passé et du coefficient de discontinuité α_t . Ce coefficient de discontinuité α_t dépend aussi du facteur de gain déjà calculé K_{t-1} , d'où il résulte que ce coefficient de discontinuité α_t est d'abord aisément calculable, et que l'équation de gain K_t est ensuite aisément calculable avec le coefficient de discontinuité α_t .

La fonction (3), associée aux relations (4) et (5) est donc la fonction de filtrage proposée selon l'invention. La force du procédé de filtrage fondé sur la calcul de cette fonction réside tout particulièrement dans le fait que l'expression α_t est normalisée comme proposé. Puisque l'on a pris en compte, pour cette normalisation non seulement la variance σ_B^2 du bruit de l'échantillon courant I_t mais aussi la variance $\sigma_B^2 \times K_{t-1}$ du bruit de l'échantillon filtré P_{t-1} , avec cette formulation, on est capable d'obtenir une estimation du bruit résiduel dans l'image après

traitement. En effet, l'équation (5) montre que pour chaque échantillon le facteur de gain permet une estimation du bruit résiduel de l'échantillon filtré en question, de variance, le produit de σ_B^2 par ce facteur de gain.

5 La fonction F est maintenant définie ci-après.

L'argument de la fonction F est noté z par souci de simplicité d'écriture :

$$z = \left| \frac{I_t - P_{t-1}}{\sigma_B \sqrt{1 + K_{t-1}}} \right| = \frac{\Delta}{S_t} \quad (12)$$

10 de sorte que la fonction F(z) est tracée sur les FIG.7A à 7D en portant ses valeurs en ordonnée, et en portant z en abscisse.

Selon l'invention, la fonction F(z) a d'abord une valeur constante Fmax lorsque $0 \leq z \leq 1$; puis la fonction F(z) est décroissante jusqu'à une valeur Fmin pour $1 < z$. La valeur Fmax est telle que : $Fmax \leq 1$. La valeur Fmin est telle que $0 \leq Fmin$.

15 Des exemples de telles fonctions F sont donnés ci-après.

Exemple I : illustré par la FIG.7A

La fonction F(z) est choisie constante et égale à une valeur fmax = 1 quand $0 \leq z \leq 1$,

20 puis la fonction F(z) est choisie décroissante jusqu'à une valeur Fmin = 0 quand $1 \leq z$.

La fonction F(z) est alors choisie avantageusement, dans cette région, de la forme d'une Gaussienne affectée d'un facteur de normalisation, telle que :

25 quand $1 \leq z$, alors $F(z) = \exp \left[-\frac{z^2}{0,75} \right]$

Exemple II : illustré par la FIG.7B

La fonction F(z) est choisie constante et égale à une valeur Fmax inférieure à 1, par exemple Fmax = 0,85 quand
30 $0 \leq z < 1$;

puis la fonction F(z) est choisie décroissante quand $1 \leq z$. La fonction F(z) est choisie limitée en décroissance par exemple à Fmin = 0,10

Ce qui en résumé s'exprime par :

quand $0 \leq z \leq 1$, alors $F(z) = 0,85 = F_{\max}$

quand $1 < z$, alors $0,85 \geq f(z) > 0,10 = F_{\min}$

La fonction $F(z)$ peut être, dans ce cas, une gaussienne décalée,
 5 dont on ne donne pas l'équation par souci de simplicité, car une
 telle fonction est connue de tout homme du métier.

Exemple III : illustré par la FIG.7C

La fonction $F(z)$ est choisie constante et égale à une valeur
 10 $F_{\max}$ inférieure à 1, mais proche de 1, telle que
 $F_{\max} = 0,85$ lorsque $0 \leq z \leq 1$

Puis la fonction $F(z)$ est linéairement décroissante jusqu'à
 une valeur $F_{\min}$ proche de 0, par exemple $F_{\min} = 0,10$, qu'elle
 atteint par exemple pour $z = 2$.

15 Ensuite la fonction $F(z)$ est linéairement constante et égale
 à $F_{\min} = 0,10$ pour $2 < z$

Exemple IV : illustré par la FIG.7D

Dans cet exemple, la fonction $F(z)$ est une fonction linéaire
 par morceau dont la définition est à la portée de tout homme du
 20 métier, et qui est une approximation de la fonction de l'exemple I,
 ou bien de la fonction de l'exemple II.

La fonction $F(z)$ peut être choisie parmi l'un des exemples
 cités, ou bien avoir d'autres formes appropriées dont la définition
 est à la portée de l'homme du métier. Cependant, dans tous les cas :

25 $F(z) = F_{\max} \leq 1$ pour $0 \leq z \leq 1$
 $F_{\max} \searrow F_{\min}$ pour $1 < z$

La fonction $F(z)$ règle la puissance de filtrage. Lorsque $F_{\max}$
 = 1, la puissance de filtrage est maximale.

Lorsque $F_{\max}$ est inférieure à 1, la puissance de filtrage est
 30 légèrement limitée.

Lorsque $F_{\min}$ est supérieure à zéro, la puissance de filtrage
 n'est jamais nulle.

Exemple de réalisation de l'invention avec une fonction F de
 l'exemple I

35 La FIG.4B est le résultat du filtrage du signal temporel
 bruité avec discontinuité due à un mouvement de la FIG.3A en
 utilisant une fonction $F(z)$ ayant $F_{\max} = 1$ et $F_{\min} = 0$. Lorsqu'une

elle fonction F de l'exemple I est utilisée, il reste, après filtrage, la première dent de bruit en D2 à l'instant $t-3$. En effet, le procédé selon l'invention, dans l'exemple particulier du signal bruité de la FIG.3A, produit un lissage du signal temporel, comme
 5 montré sur la FIG.4A, à gauche de la discontinuité D, vers le passé, de $t-4$ vers $t-k_0$; mais il oublie le passé, à droite de cette discontinuité d'intensité D en $t-3$, de sorte que le filtrage est très efficace au point D1 de la courbe de signal temporel et à gauche de ce point D1, puis le signal est légèrement bruité au point
 10 D2, car en ce point D2, le procédé ne connaît que l'intensité bruitée observée et non plus le passé. En effet en $t-3$, le signal I_{t-3} est non filtré du fait que les coefficients b_{t-4} affectés au signal en $t-4$ sont nuls, puisque la différence d'intensité entre $t-3$ et $t-4$ est grande.

15 Cependant, comme montré ci-après, selon l'invention le passé peut n'être "oublié" que dans une certaine mesure.

Exemple de réalisation de l'invention avec une fonction F de l'exemple II.

La FIG.4C est le résultat du filtrage du signal de la FIG.3A en utilisant une fonction $F(z)$ ayant $F_{\max} = 0,85$ et
 20 $F_{\min} = 0,10$. Lorsqu'une telle fonction F de l'exemple II est utilisée, le résultat du filtrage est moins parfait, mais la première dent de bruit D2 après la discontinuité D est amortie du fait que la fonction $F(z)$ n'est jamais nulle et donc que les données
 25 au temps $t-4$ permettent de filtrer le signal au temps $t-3$.

Dans tous les cas, le filtrage redevient immédiatement très efficace, à droite du point D2. Le procédé selon l'invention peut être amélioré en tenant compte du fait que dans tout signal d'intensité, il apparaît souvent des pics de bruit. Un signal bruité
 30 comportant un pic de bruit est représenté à titre d'exemple sur la FIG. 3B.

En référence avec la FIG.3B, le signal temporel bruité $I(\tau)$ montre un pic de bruit D', par exemple apparaissant entre les instants $t-4$ et $t-2$, c'est-à-dire à l'instant $t-3$. Un pic de bruit
 35 se distingue d'une discontinuité réelle par le fait qu'il ne correspond pas au même phénomène de mouvement spatial. Un tel pic de bruit peut être filtré spatialement par la méthode décrite ci-après.

De préférence, selon l'invention un tel filtre sera appliqué au signal bruité $I(\tau)$ avant l'application du présent procédé.

En référence avec la FIG.9A, on fait passer sur chaque image J_j à traiter, et en chaque pixel $A_j(x, y)$, un filtre médian de par exemple 3 pixels. Ce filtre pourrait aussi couvrir 5 pixels. Dans une petite fenêtre $W_j(x, y)$, ce filtre centré sur le pixel courant $A_j(x, y)$ calcule l'intensité des 3 pixels adjacents, sur une direction donnée, par exemple horizontale, ordonne leurs valeurs d'intensité de la plus petite à la plus grande intensité et retient comme intensité filtrée, l'intensité autre que la plus petite et la plus grande, appelée intensité médiane. Cette intensité médiane est affectée au pixel courant $A_j(x, y)$, ce filtre est passé sur tous les pixels de l'image J_j .

En référence avec la FIG.9B, on fait passer sur chaque image J_j à traiter et en chaque pixel $A_j(x, y)$ un filtre médian délimité par une fenêtre $W_j(x, y)$ centrée en x, y , ce filtre ayant- plusieurs orientations possibles par exemple

1 orientation horizontale appelée H
verticale appelée V
selon une première diagonale appelée d1
selon une seconde diagonale appelée d2.

La valeur médiane est d'abord déterminée sur chaque orientation. Puis deux nouvelles valeurs médianes sont déterminées en prenant le résultat des deux orientations H et V avec l'intensité du point central $A_j(x, y)$ d'une part, et le résultat des deux orientations D1 et D2 d'autre part avec l'intensité de point central $A_j(x, y)$.

Enfin, une dernière valeur médiane est déterminée en prenant ces deux valeurs nouvelles avec l'intensité de point central $A_j(x, y)$. Cette dernière valeur médiane est affectée au point central $A_j(x, y)$. Ce filtre est passé sur tous les pixels de l'image J_j .

Dans ce cas, le signal bruité déjà filtré spatialement sera noté G au lieu de I affecté des mêmes indices que I pour désigner l'instant.

Dans ce cas, le système d'équation de filtrage s'écrit maintenant selon les relations :

$$P_t = P_{t-1} + K_t \times |G_t - P_{t-1}| \quad \text{équation d'intégration filtrée spatialement (3')}$$

$$K_t = \frac{K_{t-1}}{K_{t-1} + \alpha_t} \quad \text{équation de gain} \quad (4')$$

$$\alpha_t = F \left(\frac{|G_t - P_{t-1}|}{\sigma_B(G_t) \sqrt{1+K_{t-1}}} \right) \quad \text{coefficient de discontinuité} \quad (5'')$$

On utilisera de préférence cette formulation du coefficient de discontinuité pour mener à bien le procédé selon l'invention.

5 Dans ces équations, on a aussi exprimé que l'écart type du bruit est aussi une fonction du signal bruité α_t puisque l'on a vu qu'il était réalisée une compensation "blanche" du signal bruité, avant sa numérisation.

10 Il est important de noter, que la première image filtrée est en fait la deuxième image arrivant dans la séquence puisque l'on a besoin des données de l'image précédente pour filtrer l'image courante. Les données de la première image de la séquence ne sont pas filtrées pour leurs propres affichages et ne sont pas filtrées pour l'utilisation du filtrage de l'image arrivant en deuxième. Le
15 filtrage réel commence à cette deuxième image.

III/ Dispositif

En référence avec la FIG. 8, un dispositif simple pour mettre en oeuvre le procédé de filtrage précédemment décrit, est représenté sous forme de blocs fonctionnels.

20 L'intensité bruitée $I(\tau)$ est mesurée au pixel $A_j(x, y)$ de coordonnées x, y dans chacune des images I_j de la séquence. Pour l'image courante à l'instant t , l'intensité bruitée I_t est amenée à l'entrée 100 du dispositif.

25 Cette intensité bruitée I_t est d'abord passée dans un filtre spatial FILT 10 capable d'éliminer substantiellement, par la fonction G , les pics de bruit et de fournir à sa sortie, un signal G_t bruité mais dépourvu des pics de bruit.

30 Le signal bruité G_t est ensuite amené vers une fonction σ_B tabulée dans une Table LUT 11 (en anglais, LUT = LOOK UP TABLE) qui fournit l'écart type du bruit σ_B du signal bruité G_t , noté par simplicité σ_B

L'écart type du bruit σ_B est disponible à la sortie de la Table 11.

Les gains K sont stockés dans la mémoire MEM 17. Cette mémoire MEM 17 a une sortie pour fournir les gains K_{t-1} de l'instant précédent, pour chaque pixel, et a une entrée pour recevoir les gains K_t calculés pour l'instant présent t.

5 Le dispositif comprend une Table LUT 13 (LOOK UP TABLE) qui contient des valeurs tabulées pour fournir immédiatement la valeur

$$S_t = \sigma_B (G_t) \sqrt{1+K_{t-1}} \text{ noté } \sigma_B \sqrt{1+K_{t-1}} \quad (11')$$

dès qu'on lui introduit la valeur de σ_B venant de la Table LUT 11, et la valeur du gain K_{t-1} venant de la mémoire MEM 17. La valeur S_t constitue le dénominateur de l'expression (5) qui permet le calcul
10 du coefficient de discontinuité α_t . Cette valeur de dénominateur S_t est disponible à la sortie de la Table LUT 13 et est introduite dans la Table LUT 14 (LOOK UP TABLE).

Le dispositif comprend une seconde mémoire MEM 10 pour
15 stocker les intensités filtrées aux différents instants pour chaque pixel traité.

A l'instant t, où l'on cherche à calculer l'intensité filtrée P_t , le mémoire MEM 10 contient déjà l'intensité filtrée P_{t-1} correspondant à l'instant précédent et fournit donc P_{t-1} sur sa
20 sortie.

L'intensité filtrée à l'instant précédent P_{t-1} est amenée sur l'additionneur 12 en même temps que l'intensité bruitée observée à l'instant t, déjà traitée spatialement G_t . L'additionneur 12 fournit à sa sortie la différence entre les deux intensités l'une bruitée à
25 l'instant t notée G_t , l'autre filtrée à l'instant t-1, notée P_{t-1} .

La Table LUT 14 prend la valeur absolue de la différence fournie par l'additionneur 12, et reçoit en outre le dénominateur S_t . La Table LUT 14 fournit alors, à sa sortie, l'argument z de la fonction F(z) :

$$30 \quad z = \frac{|G_t - P_{t-1}|}{\sigma_B (G_t) \times \sqrt{1+K_{t-1}}} \quad (12')$$

La Table LUT 15 (LOOK UP TABLE) contient la fonction F(z) choisie tabulée. Cette Table LUT 15 reçoit à son entrée l'argument z et fournit le coefficient de discontinuité α_t

$$\alpha_t = F \left(\frac{|\alpha_t - P_{t-1}|}{\sigma_B \sqrt{1+K_{t-1}}} \right) \quad (5')$$

La Table LUT 16 contient la formulation tabulée pour fournir le gain K_t à l'instant t à partir du gain K_{t-1} de l'instant précédent, provenant de la mémoire MEM 17, et à partir du coefficient de discontinuité α_t arrivant de la Table LUT 15. Ce gain :

$$K_t = \frac{K_{t-1}}{K_{t-1} + \alpha_t} \quad (4')$$

est fourni en sortie de la Table LUT 16, et est dirigé d'une part vers la mémoire MEM 17 pour remplacer la valeur du gain K_{t-1} de l'instant précédent, et d'autre part vers un multiplicateur 19.

La fonction d'intégration (3') peut maintenant être calculée.

L'additionneur 18 reçoit d'abord le signal bruité observé à l'instant t noté I_t provenant de l'entrée 100, et le signal filtrée à l'instant précédant $t-1$ provenant de la sortie de la mémoire MEM 10, en fournit la différence

$$\Delta = |\alpha_t - P_{t-1}| \quad (6')$$

Cette différence provenant de l'additionneur 18 est amenée sur le multiplicateur 19 en même temps que le gain K_t provenant de la Table LUT 16. Le multiplicateur 19 effectue le produit

$$K_t \times (\alpha_t - P_{t-1})$$

et en fournit le résultat à sa sortie.

L'additionneur 20 reçoit d'une part le produit venant du multiplicateur 19, et d'autre part le signal déjà filtré à l'instant précédent, noté P_{t-1} , provenant de la mémoire MEM 10. L'additionneur fournit à la sortie générale 200 du filtre, la valeur de l'intensité filtrée à l'instant t . Cette valeur filtrée P_t vient aussi remplacer, dans la mémoire MEM 10, l'intensité filtrée à l'instant $t-1$, qui est introduite par l'entrée 120 de cette mémoire 21. D'où l'équation d'intégration :

$$P_t = P_{t-1} + K_t \times (\alpha_t - P_{t-1}) \quad (3')$$

Les différentes images de la séquence d'images filtrées sont ainsi rendues visibles sur le moniteur 7 du dispositif d'affichage (voir FIG.1).

REVENDECATIONS :

1. Procédé de traitement d'images pour la réduction du bruit successivement dans chaque image (J_j) d'une séquence d'images ($J_{t-ko}, \dots, J_j, \dots, J_t, J_{t+1}, J_j, J_{t+k}$) mémorisées sous forme de matrices bidimensionnelles de pixels [$A_j(x,y)$] ayant des valeurs d'intensité bruitées numérisées, ce procédé comprenant :
 - la détermination et la mémorisation de l'intensité bruitée (I_t) appelée échantillon courant bruité, d'un pixel [$A_t(x,y)$] courant, ayant une localisation donnée (x,y) dans la matrice d'une image (J_t) arrivant à cet instant courant (t), et
 - des intensités appelées échantillons prédécesseurs [$I_{t-ko}, \dots, I_j, \dots, I_{t-1}$] bruités des pixels de même localisation (x,y) dans la matrice des images précédentes,
 - l'évaluation d'un poids (b_j), de 0 (zéro) à 1, affecté à chaque échantillon prédécesseur, selon la probabilité d'existence ou de non-existence respectivement, de discontinuité d'intensité dans le passé dudit échantillon,
 - l'évaluation d'une intensité filtrée (P_t) appelée échantillon courant filtré, par la combinaison linéaire de l'échantillon courant bruité (I_t) et de la somme (Σ) des échantillons prédécesseurs pondérés, ladite combinaison linéaire étant normalisée par la combinaison de l'unité (1) et de la somme (Σ) des poids affectés aux échantillons prédécesseurs,
 - et la répétition de ces étapes pour tous les pixels de la matrice de l'image courante (J_t).
2. Procédé selon la revendication 1, comprenant l'évaluation des poids (b_j) affectés à chaque échantillon prédécesseur par le produit, effectué de l'échantillon le plus lointain dans le passé jusqu'à l'échantillon prédécesseur correspondant, de coefficients de discontinuité (α_j) de 0 (zéro) à 1, selon la probabilité d'existence ou de non existence de discontinuité d'intensité dans le passé dudit échantillon prédécesseur dont le poids est déterminé.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, pour la détermination de l'échantillon filtré (P_t) à l'instant courant (t), l'évaluation de la combinaison linéaire normalisée est réalisée en effectuant l'évaluation d'une relation appelée relation

d'intégration donnant une valeur d'intensité (P_t) à l'instant courant (t) qui est l'échantillon courant filtré recherché pour reconstruire l'intensité du pixel courant, dans l'image courante (J_t), et comprenant pour l'évaluation de la relation d'intégration :

5 la détermination d'une différence d'échantillons (Δ) entre l'échantillon bruité (I_t) à l'instant courant (t) et l'échantillon prédécesseur filtré (P_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$),

10 la détermination d'un facteur (K_t) appelé facteur de gain courant à l'instant courant (t) fonction du facteur de gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) et du coefficient de discontinuité courant (α_t) à l'instant courant (t) normalisé par la variance du bruit,

15 la détermination de la somme de l'échantillon prédécesseur filtré (P_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) et du produit dudit facteur de gain courant (K_t) par ladite différence des échantillons (Δ).

4. Procédé selon la revendication 3 dans lequel ledit facteur (K_t) de gain courant à l'instant courant (t) est évalué par
20 le rapport du facteur de gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) sur la somme dudit facteur de gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent et dudit coefficient de discontinuité courant (α_t) normalisé par la variance du bruit.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel le
25 coefficient de discontinuité courant (α_t) est évalué par une fonction (F) des valeurs absolues de la différence d'échantillons (Δ), divisé par un facteur de normalisation (S_t) égal à la racine carrée du cumul des variances du bruit de chacun des échantillons de la différence, par rapport à la moyenne du bruit.

30 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le facteur de normalisation (S_t) de ladite différence d'échantillons (Δ) est pris égal à la racine carrée de la somme de la variance (σ_B^2) du
35 bruit de l'échantillon bruité (I_t) et de la variance du bruit de l'échantillon filtré (P_{t-1}), cette dernière étant le produit du gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédant ($t-1$) l'instant courant par ladite variance du bruit (σ_B^2) de l'échantillon bruité.

7. Procédé selon l'une des revendications 5 ou 6, dans lequel :

la fonction (F) de la différence d'échantillons (Δ) normalisée est inférieure ou égale à 1 lorsque son argument (z) varie de 0 à 1, et décroît vers une valeur égale ou supérieure à zéro, lorsque son argument est supérieur à 1.

8. Procédé selon l'une des revendications 3 à 7, comprenant, pour la détermination de la variance (σ_B^2) du bruit de l'échantillon courant (I_t) :

10 la détermination spatiale de la moyenne d'intensité dans une fenêtre [$W_j(x,y)$] autour de chaque pixel [$A_j(x,y)$] de l'image courante et l'attribution de cette moyenne à ce pixel,

la détermination locale de la variance du bruit dans ladite fenêtre,

15 la formation d'un histogramme à deux dimensions donnant, pour différents intervalles d'intensité de la moyenne d'intensité [$m_W(x,y)$] du bruit correspondant à ladite fenêtre [$W(x,y)$], et pour des variances de bruit (σ_{BW}^2) correspondant auxdits intervalles, la fréquence d'occurrence (N) d'une variance donnée pour un intervalle
20 donné,

la formation d'une courbe des fréquences d'occurrence (N) en fonction de la variance du bruit (σ_{BW}^2), correspondant à chaque intervalle de moyenne d'intensité du bruit [$m_W(x,y)$]

et la détermination du maximum de ladite courbe pour fournir
25 la variance du bruit (σ_B^2) correspondant aux pixels ayant une moyenne d'intensité de bruit dans l'intervalle de moyenne d'intensité de bruit considéré.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8 comprenant, antérieurement au filtrage du bruit, une étape de filtrage spatial
30 des mouvements d'objets, mouvements se produisant au cours de l'acquisition de la séquence d'images, cette étape comprenant la projection des pixels de chaque groupe de deux images consécutives à filtrer, sur les axes de coordonnées de la matrice bidimensionnelle, en formant la somme des intensités de chaque colonne de pixels,
35 prises une à une, et de chaque ligne de pixels prises une à une

respectivement, en traçant une courbe de ces sommes d'intensité des pixels de chaque colonne et chaque ligne, en fonction d'un numéro attribué à ces colonnes et lignes respectivement et en déterminant des vecteurs de translation horizontale et verticale pour chaque

5 groupe de deux images pour rectifier les coordonnées des pixels de la seconde des deux images du groupe, vis-à-vis de la première.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant, antérieurement au filtrage du bruit, une étape de filtrage des pics de bruit en effectuant un filtrage spatial médian

10 dans une fenêtre autour de chaque pixel dans chaque image et en attribuant cette intensité médiane (G_j) comme intensité bruitée (I_j) du pixel courant [$A_j(x,y)$].

11. Dispositif de traitement d'images pour mettre en oeuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 10 comprenant :

15 une mémoire d'images (5) pour mémoriser successivement des données d'images (J_j) d'une séquence d'images ($J_{t-k_0}, \dots, J_j, \dots, J_t$) sous forme de matrice bidimensionnelles de pixels [$A_j(x,y)$] ayant des valeurs d'intensité bruitées numérisées, et pour fournir l'intensité bruitée (I_t) appelée échantillon courant bruité, d'un

20 pixel [$A_t(x,y)$] courant, ayant une localisation donnée (x,y) dans la matrice d'une image (J_t) arrivant à cet instant courant (t), les intensités appelées échantillons prédécesseurs [$I_{t-k_0}, \dots, I_j, \dots, I_{t-1}$] bruités des pixels de même localisation (x,y) dans la matrice des images précédentes,

25 un sous-ensemble recevant à son entrée (100) les échantillons prédécesseurs et courant pour l'évaluation d'une relation appelée relation d'intégration et fournissant à sa sortie (200) une valeur d'intensité (P_t) qui est l'échantillon filtré pour reconstruire l'échantillon courant bruité,

30 cette évaluation étant répétée pour chaque pixel de l'image courante, pour fournir cette image courante filtrée.

12. Dispositif selon la revendication 11, comprenant dans le sous-ensemble pour l'évaluation de la relation d'intégration :

un additionneur (12) pour la détermination d'une

35 différence d'échantillons (Δ) entre l'échantillon bruité (I_t) à

l'instant courant (t) et l'échantillon prédécesseur filtré (P_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$),

une table (LUT 16) pour la détermination d'un facteur (K_t) appelé facteur de gain courant à l'instant courant (t) fonction
 5 du facteur de gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) et du coefficient de discontinuité courant (α_t) à l'instant courant (t) normalisé par la variance du bruit,

des additionneurs (18, 20) et multiplicateur (19) pour la détermination de la somme de l'échantillon prédécesseur filtré
 10 (P_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) et du produit dudit facteur de gain courant (K_t) par ladite différence d'échantillons (Δ).

13. Dispositif selon la revendication 12 dans lequel dans le sous-ensemble ladite table (LUT 16) pour la détermination du facteur (K_t) de gain courant à l'instant courant (t) comprend un rapport
 15 tabulé du facteur de gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) sur la somme dudit facteur de gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent et dudit coefficient de discontinuité courant (α_t) normalisé par la variance du bruit.

14. Dispositif selon la revendication 13, dans lequel une
 20 table (LUT 15) évalue le coefficient de discontinuité courant (α_t) par une fonction tabulée (F) de la valeur absolue de la différence des échantillons (Δ), normalisée par la racine carrée du cumul des variances du bruit de chacun des échantillons de la différence, par rapport à la moyenne du bruit.

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel une table
 25 (LUT 14) évalue un facteur de normalisation (S_t) de ladite différence d'échantillon (Δ) par la racine carrée tabulée de la somme de la variance (σ_B^2) du bruit de l'échantillon bruité (I_t) et de la variance du bruit de l'échantillon filtré (P_{t-1}), cette
 30 dernière étant le produit du gain prédécesseur (K_{t-1}) à l'instant précédent ($t-1$) par ladite variance du bruit (σ_B^2) de l'échantillon bruité (I_t) à l'instant courant.

16. Dispositif selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel, dans le sous-ensemble, une table (LUT 15) fournit la
 35 fonction (F) tabulée inférieure ou égale à 1 lorsque son argument

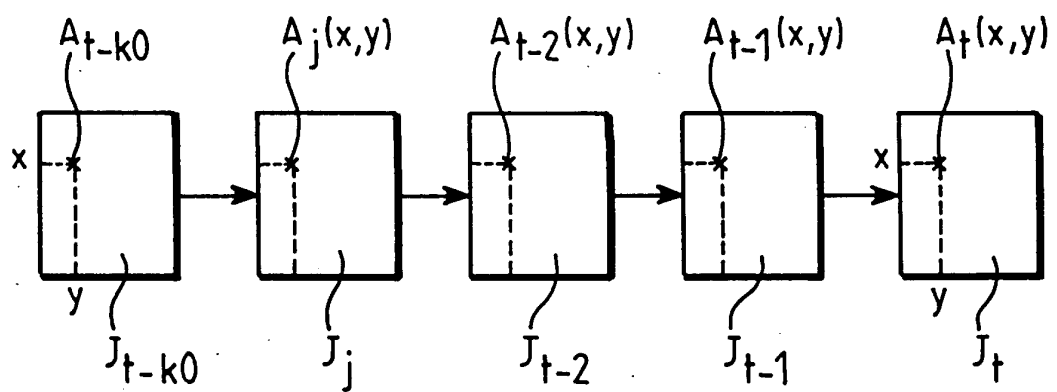
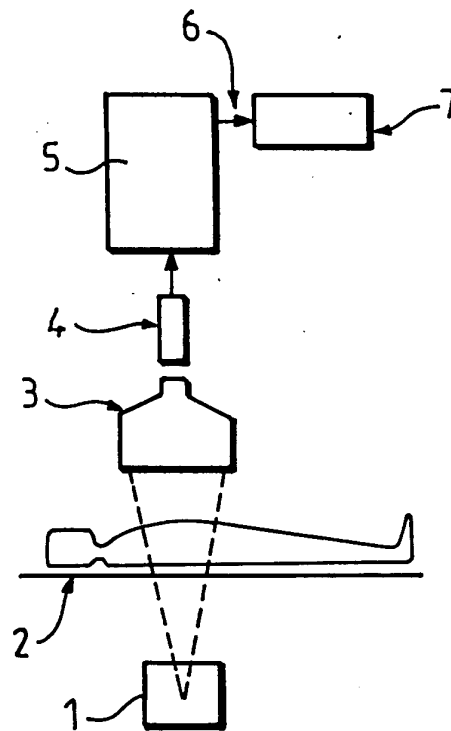
(z) varie de 0 à 1, et décroît vers une valeur égale ou supérieure à zéro, lorsque son argument est supérieur à 1.

17. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 16 comprenant, sur l'entrée (100) du sous-ensemble, un filtre spatial (FILT 101) comprenant une combinaison de filtres médians pour éliminer substantiellement les pics de bruit.

18. Dispositif pour l'aide à la visualisation d'images médicales, comprenant un dispositif selon l'une des revendications 11 à 17, et en particulier :

- 10 un dispositif d'acquisition d'une séquence d'images d'une région du corps humain,
- une mémoire d'images (5) pour mémoriser successivement des données d'images (J_j) d'une séquence d'images ($J_{t-k_0}, \dots, J_j, \dots, J_t$) sous forme de matrice bidimensionnelles de pixels [$A_j(x,y)$] ayant
- 15 des valeurs d'intensité bruitées numérisées, et pour fournir l'intensité bruitée (I_t) appelée échantillon courant bruité, d'un pixel [$A_t(x,y)$] courant, ayant une localisation donnée (x,y) dans la matrice d'une image (J_t) arrivant à cet instant courant (t), et les intensités appelées échantillons prédécesseurs [$I_{t-k_0}, \dots, I_j, \dots, I_{t-1}$]
- 20 bruitées des pixels de même localisation (x,y) dans la matrice des images précédentes,
- un sous-ensemble recevant à son entrée (100) les échantillons prédécesseurs et courant pour l'évaluation d'une relation d'intégration et fournissant à sa sortie (200) une valeur
- 25 d'intensité (P_t), qui est l'échantillon filtré pour reconstruire l'échantillon courant bruité, cette évaluation étant répétée pour tous les pixels de l'image courante pour la reconstruction de cette image filtrée,
- et des moyens d'affichages (7) desdites images.

1/7



2/7

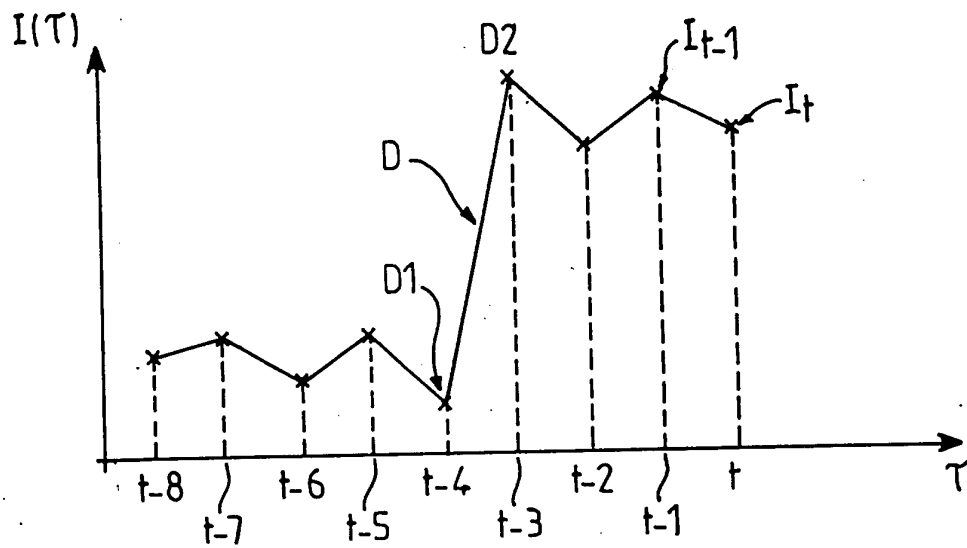


FIG. 3A

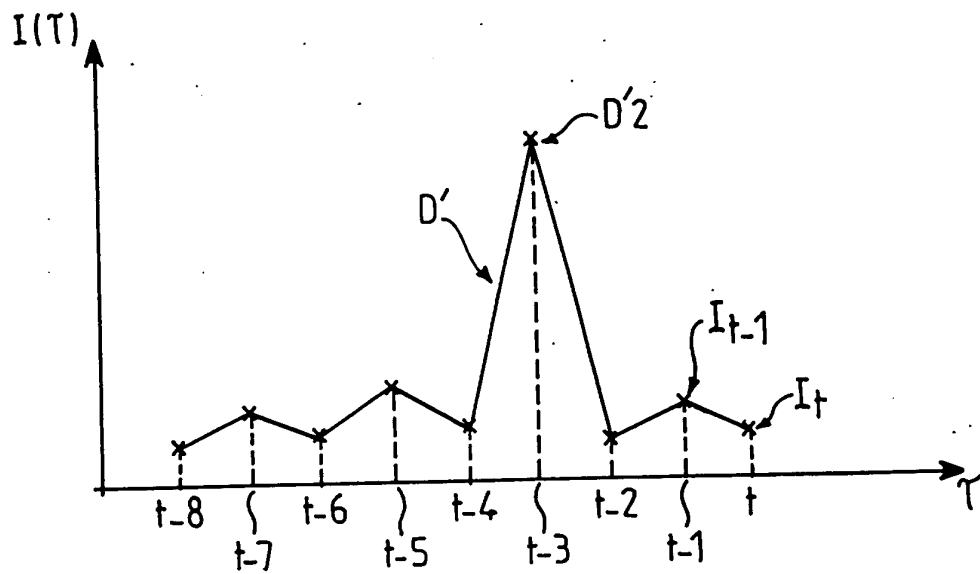
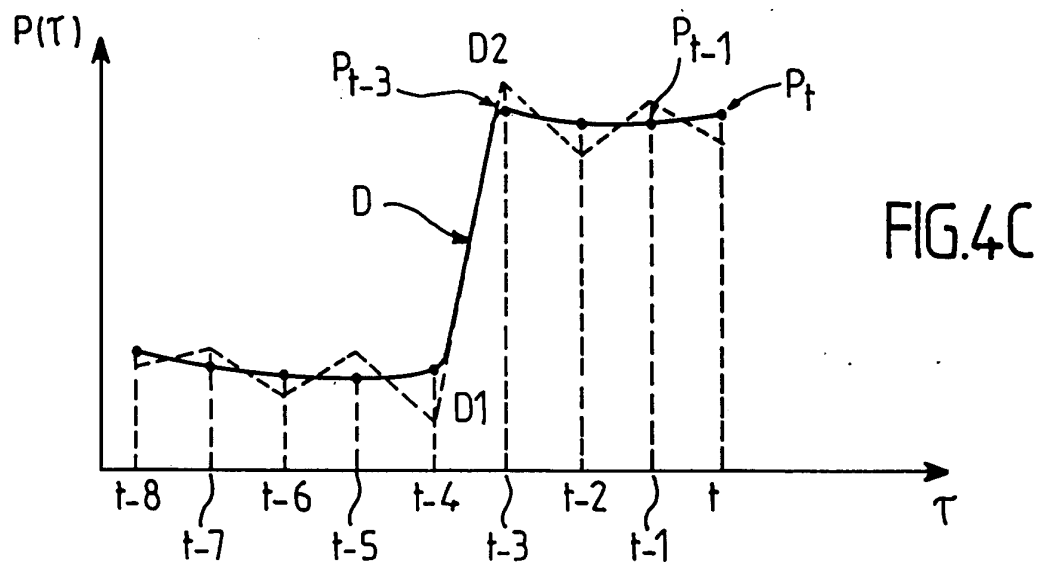
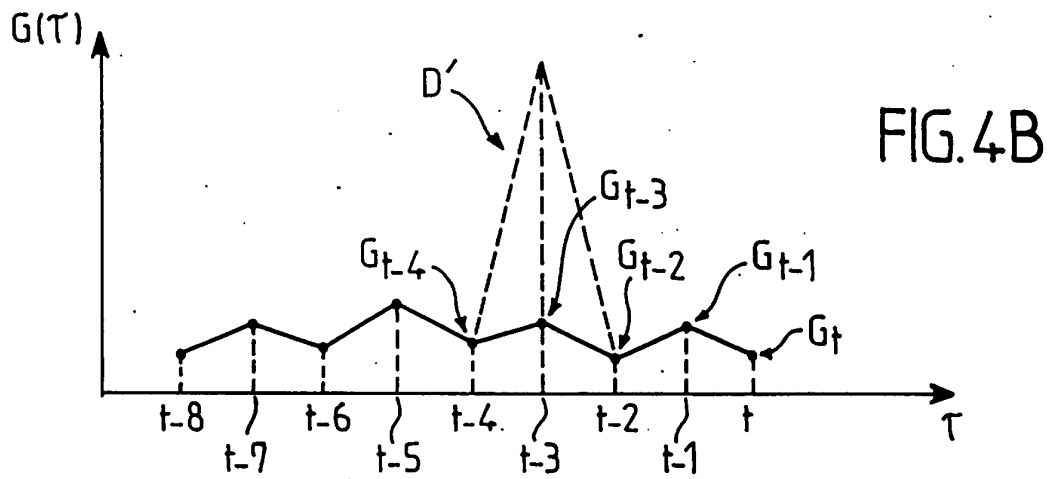
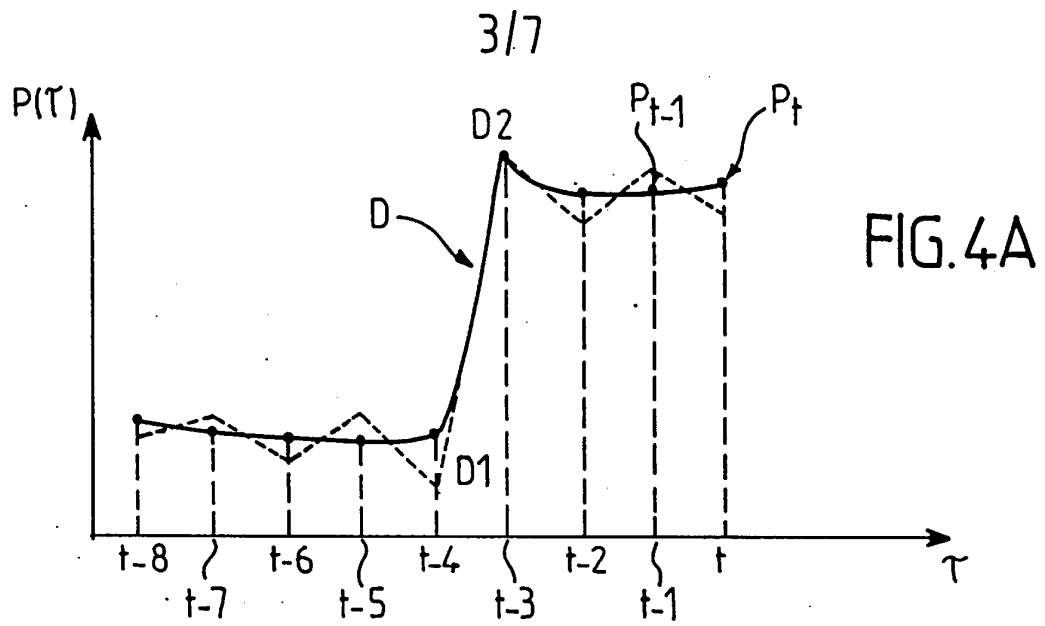


FIG. 3B



4/7

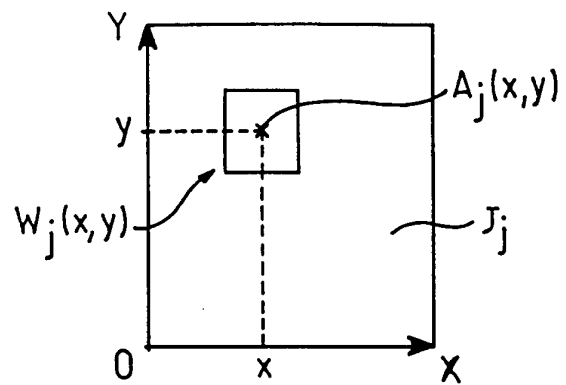


FIG. 5A

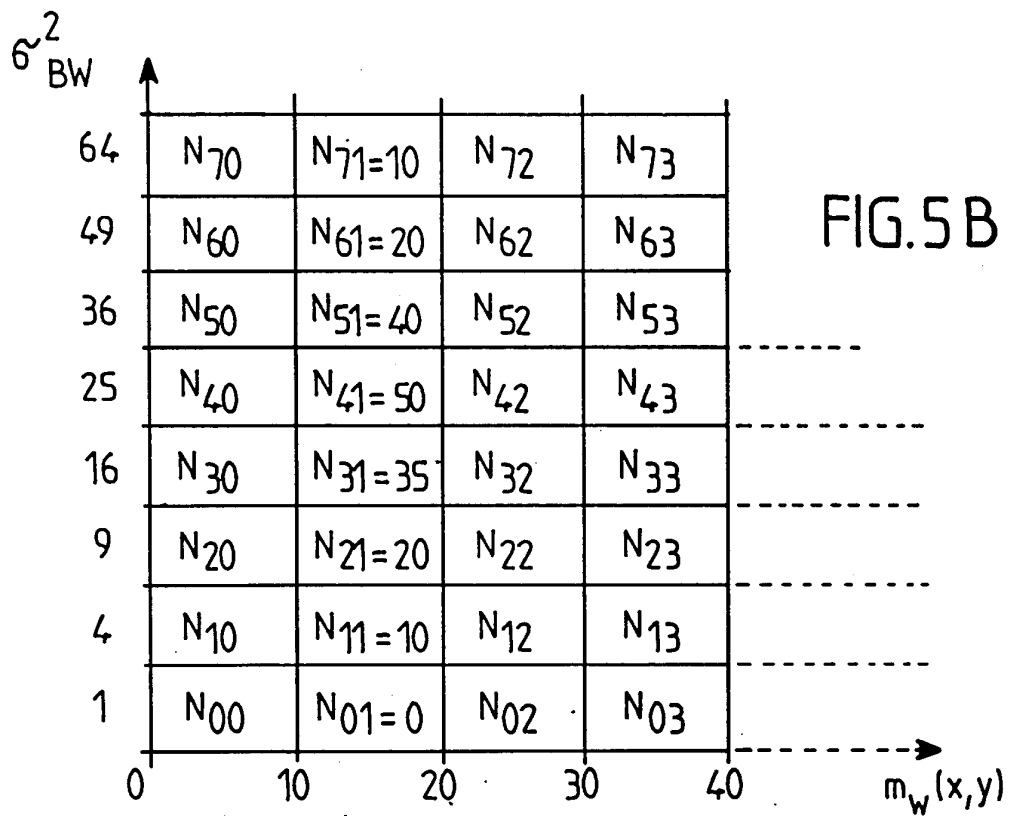


FIG. 5B

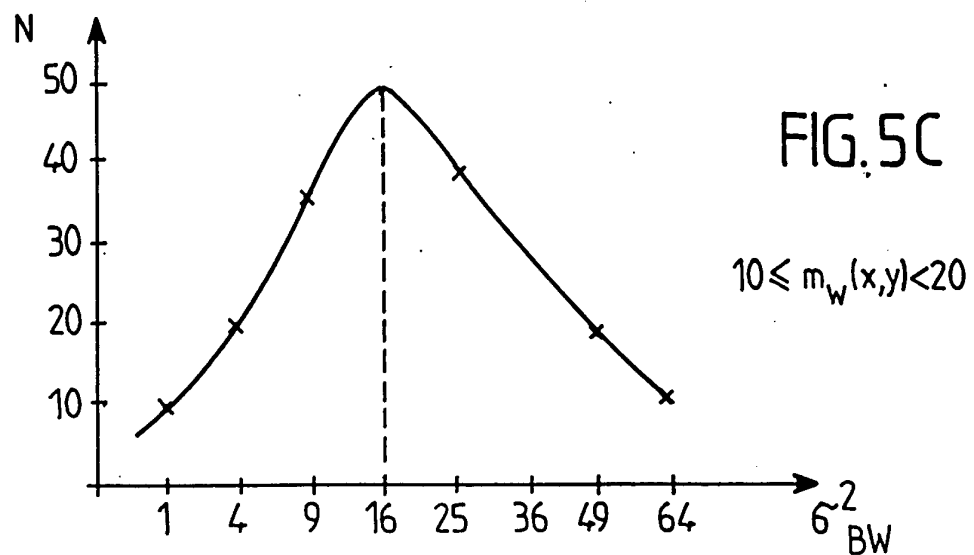


FIG. 5C

$$10 \leq m_w(x, y) < 20$$

5/7

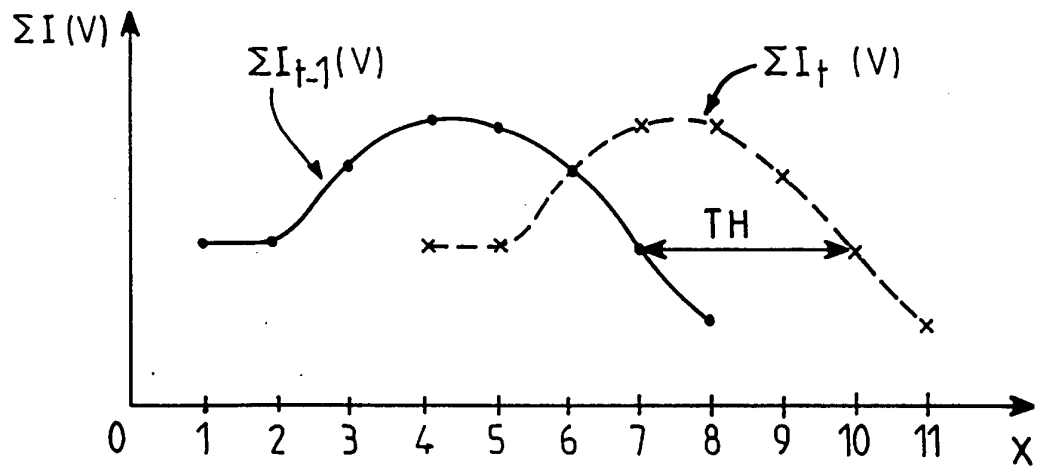


FIG. 6A

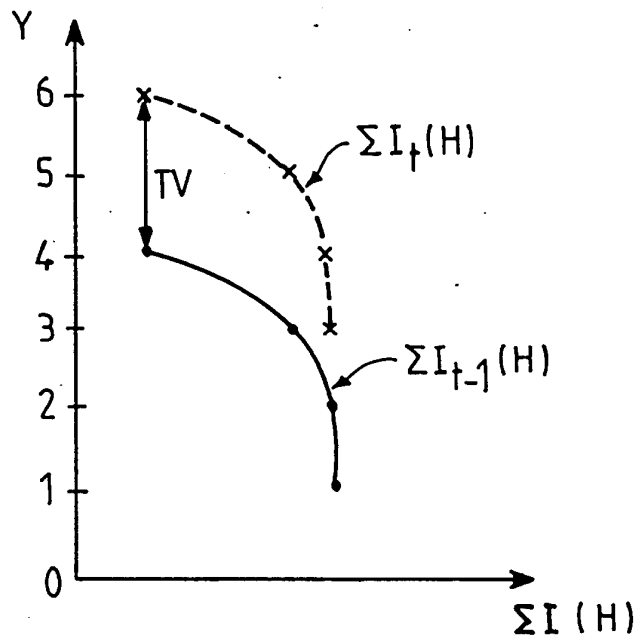


FIG. 6B

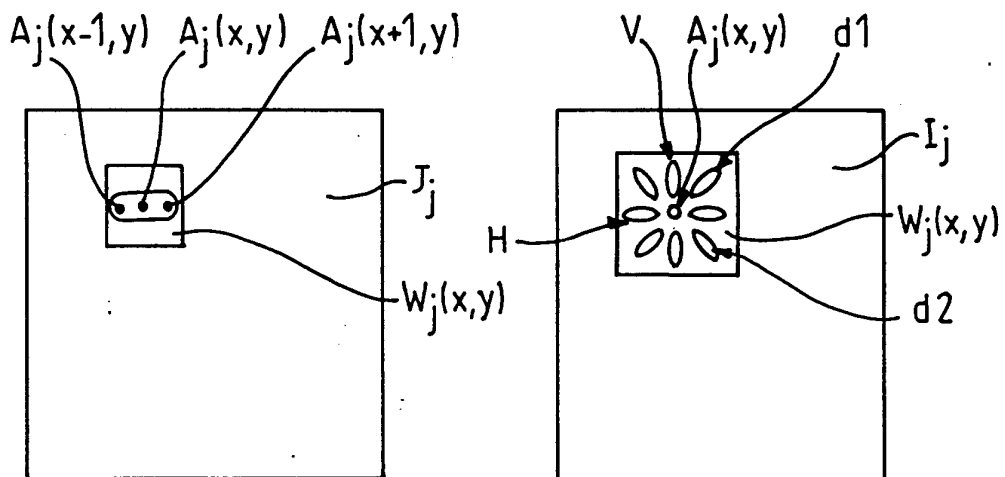


FIG. 9A

FIG. 9B

6/7

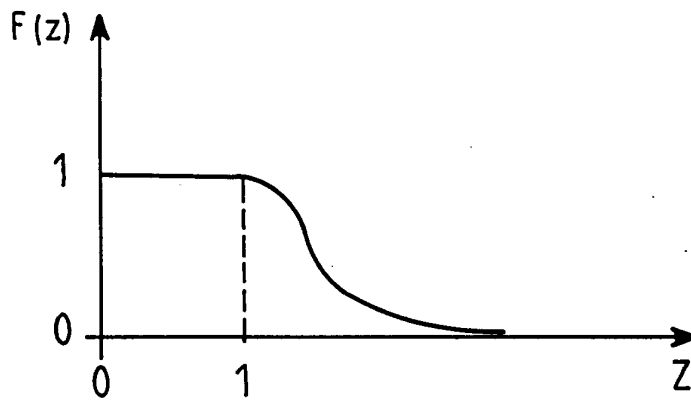


FIG. 7A

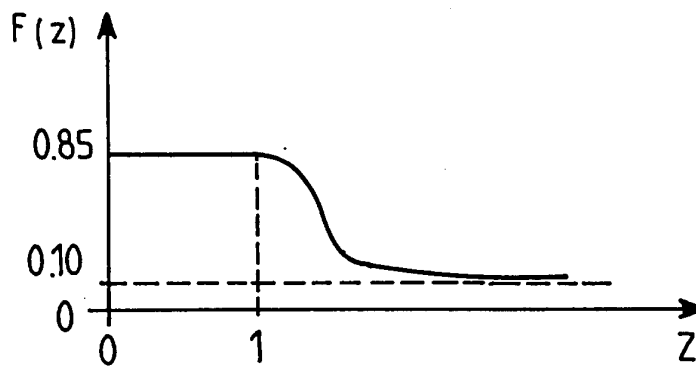


FIG. 7B

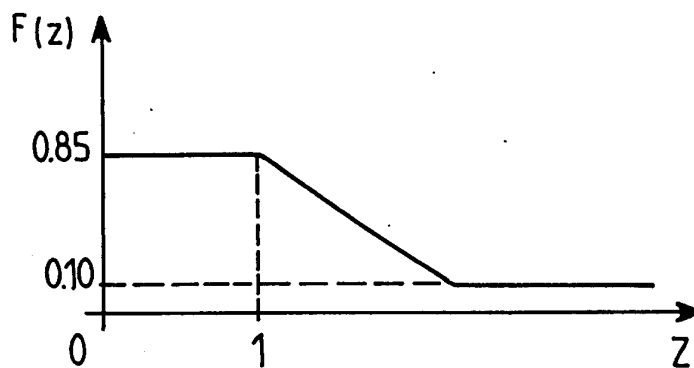


FIG. 7C

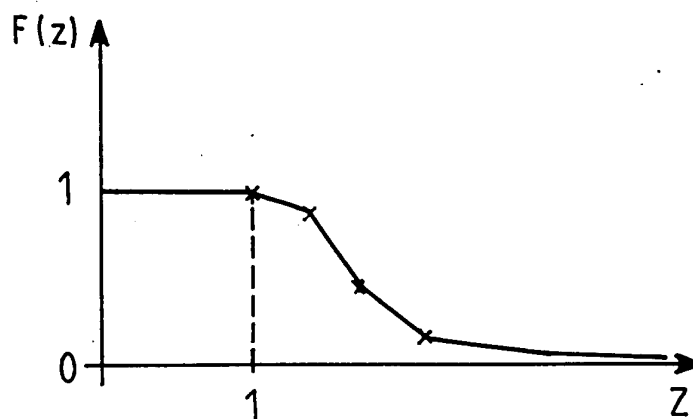


FIG. 7D

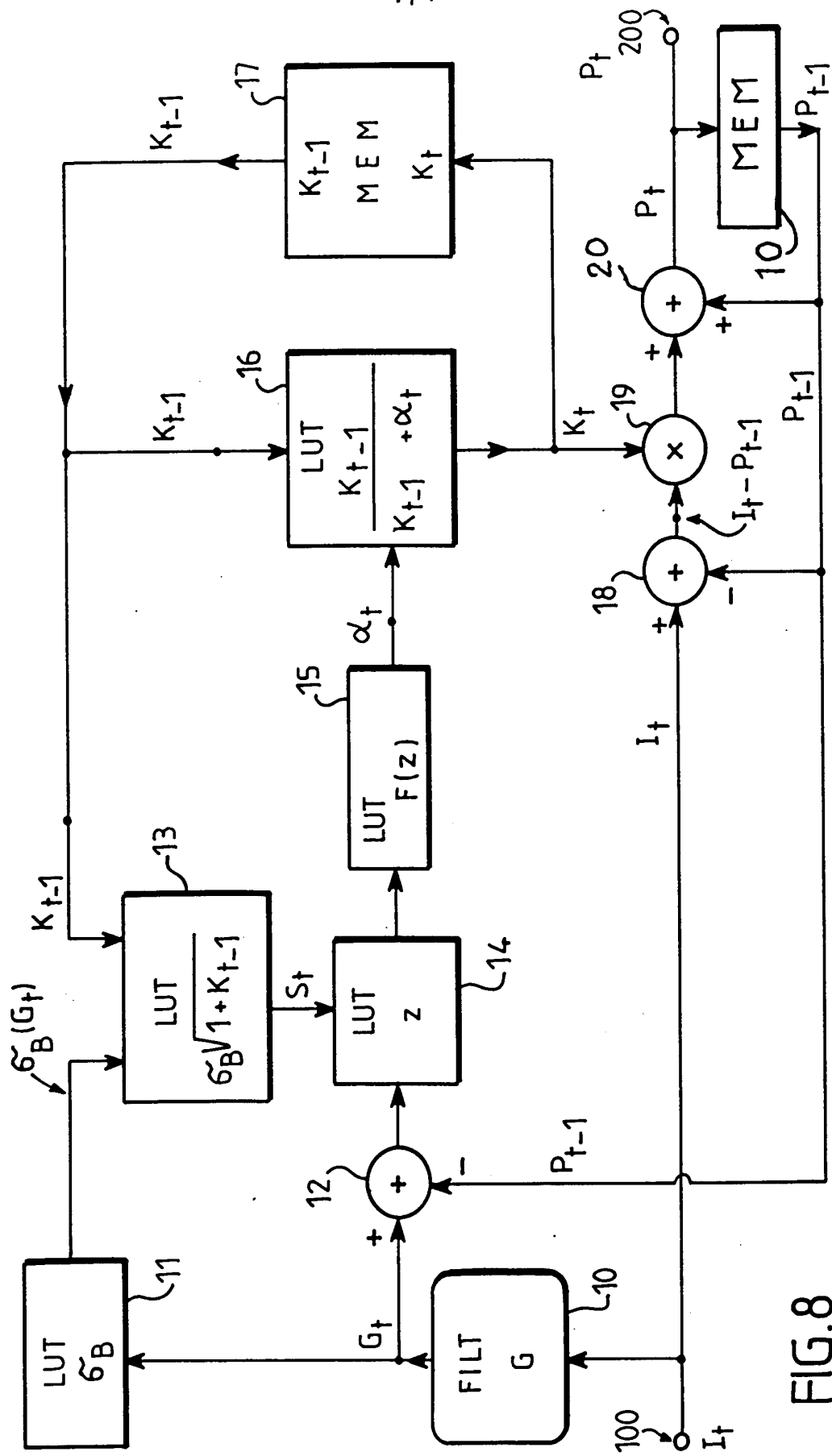


FIG. 8

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2736181

N° d'enregistrement
nationalFA 519395
FR 9507888

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	WO-A-92 22876 (GUISSIN ET AL.) * abrégé * * page 7, ligne 8 - page 8, ligne 24 * * page 57, ligne 2 - ligne 7 * ---	1-18
A	IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, vol.39, no.5, Mai 1991, USA pages 1146 - 1163 ARCE G R 'Multistage Order Statistic Filters for Image Sequence Processing.' * alinéa II * -----	1-18
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		G06T
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
28 Décembre 1995		Gonzalez Ordenez, O
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		