

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE, SUPPORT DE STOCKAGE ET SYSTEMES POUR UN SUIVI CLAIRSEME DANS L'IMAGERIE PAR IMPULSION DE FORCE DE RAYONNEMENT ACOUSTIQUE.

②② Date de dépôt : 12.01.16.

③③ Priorité : 12.01.15 US 14/595127.

⑥① Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : SIEMENS MEDICAL SOLUTIONS
USA INC — US.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.07.16 Bulletin 16/28.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 23.11.18 Bulletin 18/47.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : LABYED YASSIN, DUNCAN DAVID
P, HSU STEPHEN J, KIM SEUNGSOO et FAN
LIXIANG.

⑦③ Titulaire(s) : SIEMENS MEDICAL SOLUTIONS USA
INC.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET FLECHNER.



SUIVI CLAIRSEMÉ DANS L'IMAGERIE ACOUSTIQUE

À IMPULSION DE FORCE DE RAYONNEMENT

Les présents modes de réalisation se rapportent à l'imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique (ARFI). Par exemple, en émettant une impulsion d'excitation ARFI, l'ultrason peut être utilisé pour déplacer des tissus directement par la production d'une onde de cisaillement ou longitudinale. Le déplacement résultant de l'onde produite par l'impulsion d'excitation peut être mesuré en utilisant un suivi ou balayage à ultrason ultérieur.

Pour déterminer la vitesse de l'onde de cisaillement produite dans les tissus, des déplacements sont estimés au cours du temps pour chaque emplacement. Le déplacement maximum au cours du temps et/ou le décalage de phase relatif dans les profils temporels de déplacement entre des emplacements est trouvé. Le nombre d'emplacements qui peuvent être suivis simultanément dépend du nombre maximum de faisceaux de réception simultanés fournis par le formateur de faisceaux du système. Pour augmenter la dimension de la zone suivie, plusieurs faisceaux de réception simultanés sont nécessaires (par exemple un nouveau système, plus coûteux, est utilisé) ou des poussées ou impulsions ARFI répétées sont utilisés pour échantillonner d'autres emplacements de suivi.

Des impulsions d'excitation sont répétées pour mesurer le déplacement à différents emplacements à distance latéralement les uns des autres. En fonction de la dimension de la zone suivie et du nombre de faisceaux de réception simultanés utilisés dans le suivi, de

nombreuses transmissions de poussée ARFI peuvent être nécessaires. Cependant, la répétition d'impulsions ARFI peut entraîner un chauffage non souhaité du transducteur et introduire des retards dans le balayage.

5 A titre d'introduction, les modes de réalisation préférés décrits ci-dessous comportent des procédés, des instructions et des systèmes pour un suivi clairsemé ou "sparse" dans l'imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique. Le suivi est effectué de manière
10 clairsemée. Les déplacements sont mesurés une seule fois ou quelquefois pour chaque ligne de réception. Bien que cela puisse se traduire par des informations insuffisantes pour déterminer le décalage de phase du déplacement et/ou le déplacement maximum au cours du
15 temps, les échantillons de déplacement résultant pour différentes lignes de réception en fonction du temps peuvent être utilisés ensemble pour estimer la vitesse, tel qu'avec une Transformée de Radon. L'estimation peut être moins sujette au bruit dû à l'éparpillement des
20 échantillons de déplacement en utilisant une détection par compression.

Dans un premier aspect, un procédé est fourni pour un suivi clairsemé dans l'imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique. Un dispositif de balayage à
25 ultrasons émet une impulsion de force de rayonnement acoustique dans des tissus d'un patient le long d'une première ligne. Le balayeur à ultrasons suit une onde produite en réponse à l'émission avec quatre ou moins de quatre faisceaux de réception le long de chacune d'une
30 pluralité de lignes de suivi espacées de la première ligne. Le déplacement pour chaque ligne des lignes de suivi est déterminé. Les déplacements sont un échantillonnage de déplacement clairsemé des lignes de suivi. Les échantillons clairsemés de déplacement sont

traités en utilisant un algorithme de reconstruction de
détection par compression pour produire les coefficients
de Fourier significatifs de la Transformée de Fourier à
2D de la carte de déplacement (position latérale en
5 fonction du temps lent). La Transformée de Fourier
Inverse est appliquée aux coefficients de Fourier pour
reconstruire la carte de déplacement totalement
échantillonnée. Les résultats de la transformation de
Fourier inverse sont transformés Radon. Une vitesse de
10 l'onde est calculée à partir des résultats de la
Transformée de Radon. Une image de la vitesse est
produite.

Suivant un second aspect, un support de stockage
pouvant être lu par ordinateur non-transitoire comporte
15 mémorisées en son sein des données représentant des
instructions pouvant être exécutées par un processeur
programmé pour le suivi clairsemé dans une imagerie par
impulsion de force de rayonnement acoustique. Le support
de stockage comporte des instructions pour mesurer, en
20 utilisant un balayage à ultrasons, des déplacements en
réponse à une unique impulsion d'excitation, les
déplacements étant mesurés à des emplacements aléatoires
au cours du temps ; déterminer une vitesse d'une onde
produite par l'impulsion d'excitation unique à partir des
25 déplacements ; et émettre en sortie la vitesse.

Suivant un troisième aspect, un système est fourni
pour le suivi clairsemé dans l'imagerie par impulsion de
force de rayonnement acoustique. Un formateur de faisceau
d'émission est configuré pour produire une impulsion
30 d'excitation, et un formateur de faisceau de réception
est configuré pour suivre de manière clairsemée des
déplacements en réponse à l'impulsion d'excitation. Les
déplacements suivis de manière clairsemée sont répartis
par ligne de réception sur le temps d'échantillonnage, de

sorte qu'aucun déplacement ne soit fourni pour plus que la moitié ou plus d'1/4 des temps pour chacune des lignes de réception. Un processeur est configuré pour estimer la vitesse à partir des déplacements suivis de manière
5 clairsemée. Un dispositif d'affichage peut être mis en fonctionnement pour afficher la vitesse.

La présente invention est définie par les revendications qui suivent et rien dans la description ne doit être considéré comme une limitation aux
10 revendications. D'autres aspects et avantages de l'invention sont décrits ci-dessous en liaison avec description des modes de réalisation préférés et peuvent être revendiqués ultérieurement de manière indépendante ou en combinaison.

15 Les composants et les figures ne sont pas nécessairement à l'échelle, l'accent ayant été mis à la place sur l'illustration des principes de l'invention. En outre, dans les figures, des numéros de référence identiques désignent des parties correspondantes dans
20 toutes les différentes vues.

La figure 1 illustre une technique pour échantillonner complètement un déplacement par ligne de réception et temps ;

la figure 2 est une distribution à titre d'exemple
25 du déplacement par ligne et temps pour l'échantillonnage complet de la figure 1 ;

la figure 3 est un organigramme d'un mode de réalisation d'un procédé pour le suivi clairsemé dans une imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique ;

30 la figure 4 illustre une technique à titre d'exemple pour échantillonner de manière clairsemée un déplacement par ligne de réception et temps ;

la figure 5 illustre une région de la ligne de réception et de l'espace temps pour un échantillonnage

clairsemé limité de manière aléatoire ;

la figure 6 est une répartition à titre d'exemple d'un échantillonnage clairsemé pour un déplacement par ligne de réception et temps ;

5 la figure 7 représente une Transformée de Radon à titre d'exemple de la figure 2, et la figure 8 représente une Transformée de Radon à titre d'exemple de la figure 6 ;

la figure 9 représente un spectre de Fourier à deux dimensions à titre d'exemple de l'échantillonnage complet
10 de la figure 2, et la figure 10 représente un spectre de Fourier à deux dimensions à titre d'exemple de l'échantillonnage clairsemé de la figure 4 ;

la figure 11 est un spectre de Fourier reconstruit à deux dimensions à titre d'exemple à partir de
15 l'échantillonnage clairsemé de la figure 4 en utilisant une détection par compression ;

la figure 12 est une Transformée de Fourier inverse à titre d'exemple de la figure 11 ;

la figure 13 est une Transformée de Radon à titre
20 d'exemple de la figure 12 ;

la figure 14 est une courbe donnant la vitesse de cisaillement en fonction d'un nombre de balayages ou au cours du temps en utilisant une Transformée de Radon sur des déplacements clairsemés sans détection par
25 compression, sur des déplacements clairsemés avec une détection par compression et sur des déplacements échantillonnés de manière complète ;

la figure 15 est un échantillonnage de déplacement clairsemé à titre d'exemple à trois dimensions ; et

30 la figure 16 est un mode de réalisation d'un système pour l'acquisition de la commande pour le suivi clairsemé dans l'imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique.

Le suivi clairsemé ARFI à des emplacements

aléatoires avec une estimation de vitesse détectée de manière compressive est fourni. Des déplacements sur une grande zone d'imagerie sont suivis par un étalement réalisé de manière intelligente des emplacements de suivi
5 d'une manière clairsemée. Un nombre moindre de faisceaux de réception simultanés et potentiellement un nombre moindre de transmissions d'impulsion ARFI peuvent être nécessités en utilisant un échantillonnage clairsemé du déplacement plutôt qu'un échantillonnage complet.

10 Lorsqu'on utilise uniquement des données suivies de manière clairsemée, des algorithmes de déplacement à pic temporel classique pour estimer une vitesse de cisaillement ont un rendement médiocre. Il peut ne pas y avoir suffisamment d'échantillonnages de déplacement au
15 cours du temps pour un emplacement donné pour estimer le déplacement maximum ou le décalage dans le profil de déplacement de manière précise. Avec des déplacements échantillonnés de manière clairsemée, une estimation de la vitesse de cisaillement par Transformée de Radon peut
20 être utilisée pour trouver la vitesse. D'autres calculs de pente de ligne de réception en fonction du temps peuvent être utilisés. Des erreurs dans les estimées de vitesse peuvent toujours apparaître. Pour limiter des erreurs dues à l'échantillonnage clairsemé, les données
25 suivies de manière clairsemée sont combinées avec une reconstruction de détection par compression. Pour des systèmes à ultrason ayant une capacité limitée de faisceaux de réception simultanés ou pour estimer des vitesses dans des plans multiples (par exemple
30 l'échantillonnage de l'azimut et de l'élévation), des transmissions ARFI multiples peuvent être réduites ou évitées pour estimer la vitesse.

Les figures 1 et 2 représentent un échantillonnage de déplacement dans une imagerie ARFI classique. Des

déplacements estimés sur une grande région avec un système qui a une vitesse de formation de faisceau limitée nécessite des poussées ou impulsions ARFI répétées. La figure 1 représente une région d'intérêt sous la forme de la boîte hachurée. Quatre faisceaux de réception simultanés le long de quatre lignes de réception sont représentés dans la boîte. Après transmission d'une impulsion d'excitation ARFI, des multiples balayages des quatre mêmes lignes sont effectués pour suivre le déplacement aux quatre emplacements au cours du temps. Pour le balayage temporel, le même groupe de lignes de réception sont balayées au cours d'un intervalle de temps, par exemple pendant plus de 7 ms. Pour chaque poussée ou impulsion ARFI, uniquement un nombre limité d'emplacements sont suivis au cours de N échantillons à temps lent. Compte tenu de la région d'intérêt de la figure 1, sept répétitions de l'impulsion d'excitation ARFI et le suivi de déplacement en réponse à sept ensembles différents respectifs de lignes de réception sont effectués.

Après que tous les échos provenant des emplacements latéraux à l'intérieur de la région souhaitée aient été acquis, les données brutes sont passées par un processus d'estimation de déplacement, fournissant un déplacement pour chacun des temps et emplacements. Le résultat est un profil de déplacement pour chaque emplacement de ligne de réception au cours du temps. La figure 2 représente l'information de déplacement. L'axe des x est le temps lent ou taux d'échantillonnage pour le déplacement, et l'axe y est la position latérale ou ligne de réception. La couleur ou clarté est l'amplitude du déplacement. Pour une ligne de réception donnée (par exemple une ligne de réception à 3 mm), un déplacement pendant 7 ms est mesuré. Dans cet exemple, environ cinq déplacements sont

mesurés en séquence à chaque milliseconde. Comme quatre faisceaux de réception simultanés sont utilisés, les déplacements au cours du temps lent pour quatre positions latérales sont acquis aux mêmes instants. Pour d'autres
5 lignes de réception, la séquence d'impulsion d'excitation ARFI et le suivi de déplacement au cours des 7 ms est répété.

Dans la technique classique, le déplacement maximum au cours du temps est trouvé pour chaque position
10 latérale. Compte tenu de la distance du foyer ARFI et de la durée du déplacement maximum créé par l'onde, une vitesse de l'onde se propageant vers cet emplacement est calculée. Une vitesse est déterminée pour chaque emplacement. Les vitesses peuvent être affichées en tant
15 qu'information spatiale ou combinées (par exemple moyennées) pour représenter une vitesse dans cette zone. Dans la représentation de la figure 2, la pente de la ligne (par exemple le rebord de déplacement haut) est directement proportionnelle à l'estimée de la vitesse de
20 cisaillement. Ce processus de déplacement maximum, bien que direct, peut exiger de nombreux emplacements de suivi et par conséquent de nombreuses poussées ou impulsions ARFI comme représentées à la figure 1. Le résultat est un risque accru de chauffe du transducteur et du patient,
25 plus de temps de refroidissement entre des impulsions d'excitation ARFI, et un processus d'estimation plus long en raison du temps de refroidissement et/ou pour l'échantillonnage complet du déplacement.

La figure 3 représente un mode de réalisation d'un
30 procédé pour un suivi clairsemé dans l'imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique. Plutôt qu'échantillonner complètement le déplacement en terme d'emplacement et de temps, l'échantillonnage clairsemé en terme d'emplacement et/ou de temps est utilisé. En

utilisant une Transformée de Radon, une adaptation de ligne et un calcul de pente, ou d'autre processus, la vitesse est estimée à partir des déplacements échantillonnés de manière clairsemée.

5 Le procédé est mis en œuvre par le système de la figure 16 ou un système différent. Par exemple, n'importe quel dispositif de balayage à ultrason connu aujourd'hui ou qui sera développé plus tard effectue l'étape 26. Un processeur, un dispositif de commande ou un processeur
10 d'image du dispositif de balayage à ultrason effectue les étapes 34 et 44. En variante, un processeur d'un ordinateur ou un poste de travail distinct ou éloigné du dispositif de balayage à ultrason effectue les étapes 34 et 44. Des formateurs de faisceaux d'émission, des
15 mémoires, des détecteurs et/ou d'autres dispositifs peuvent être utilisés pour acquérir les données, effectuer une ou plusieurs des étapes et/ou émettre en sortie des données. Le processeur peut commander les dispositifs pour effectuer le procédé de la figure 3.

20 Les étapes décrites ci-dessous sont pour une estimation de vitesse d'onde de cisaillement. Les ondes de cisaillement se propagent latéralement, de sorte que des estimées latérales à une profondeur donnée ou dans une gamme de profondeur sont utilisées. Dans d'autres
25 modes de réalisation, la vitesse d'une onde longitudinale ou une autre onde est estimée. L'échantillonnage de déplacement peut être clairsemé spatialement en profondeur plutôt que dans les directions latérales ou en plus des directions latérales. N'importe laquelle des
30 estimations de caractéristique d'onde, telles que l'élasticité, l'onde de cisaillement ou d'autres caractéristiques induites par ARFI peuvent utiliser l'échantillonnage de déplacement clairsemé du procédé. La vitesse y est utilisée en tant que la caractéristique,

mais d'autres caractéristiques effectuant la paramétrisation des tissus en réponse à l'onde induite acoustiquement peuvent être estimées.

Des étapes supplémentaires, différentes, ou moins
5 d'étapes peuvent être prévues. Par exemple, le procédé est effectué sans émettre en sortie la vitesse à l'étape 44. A titre d'un autre exemple, les étapes 36 à 42 représentent une séquence à titre d'exemple pour déterminer la vitesse de l'étape 34. D'autres étapes ou
10 sous-étapes peuvent être utilisées pour déterminer la vitesse à partir d'un échantillonnage de déplacement clairsemé. Par exemple, la Transformée de Radon de l'étape 40 est fournie sans la détection par compression de l'étape 36 et la Transformée de Fourier inverse de
15 l'étape 38. A titre d'un autre exemple, l'étape 42 est effectuée par adaptation de ligne et calcul de pente sans aucune des étapes 36 à 40. Dans d'autres exemples, le filtrage ou d'autres traitements de données est appliqué aux déplacements.

20 Les étapes sont effectuées dans l'ordre décrit ou représenté, mais peuvent être effectuées dans d'autres ordres. Par exemple, l'étape 28 représente la transmission d'une impulsion d'excitation unique. L'étape 28, et les étapes 30 et 32 en réponse, peuvent être
25 répétées pour mesurer la répartition clairsemée de manière plus dense pour une région d'intérêt ou pour une plus grande région d'intérêt. Cette répétition a lieu avant la détermination de l'étape 34.

A l'étape 26, le dispositif de balayage à ultrason
30 mesure les échos pour des déplacements en réponse à une impulsion d'excitation unique. Les mesures pour plus d'emplacements qu'une capacité de formation de faisceaux de réception simultanés du dispositif de balayage à ultrasons sont effectuées en réponse à l'impulsion

d'excitation unique en échantillonnant de manière clairsemée les déplacements. En utilisant la mesure de déplacement clairsemé, des déplacements sur une région latérale plus grande ou sur plusieurs emplacements latéraux peuvent être mesurés en réponse à une impulsion d'excitation unique, par rapport à ce qui serait le cas si un échantillonnage temporel complet du déplacement était utilisé. La région peut en outre être étendue par des mesures répétées en réponse à une ou plusieurs autres impulsions d'excitation.

Les déplacements sont mesurés par le fait d'effectuer les étapes 28 à 32. A l'étape 28, une poussée ARFI est émise par le dispositif de balayage à ultrason dans des tissus d'un patient. La transmission est un faisceau d'émission focalisé à une profondeur ou à un domaine de profondeurs. Le faisceau émis ARFI est émis le long d'une ligne de balayage d'émission. La profondeur focale se trouve sur la ligne de balayage d'émission. La figure 4 représente l'émission ARFI en tant qu'une impulsion d'excitation avec une représentation en largeur de faisceau. La partie étroite est la région focale.

Un réseau d'éléments dans un transducteur à ultrason émet le faisceau ARFI converti à partir des formes d'onde électrique. L'énergie acoustique est émise vers le tissu d'un patient. La forme d'onde acoustique est émise pour produire une onde de cisaillement, longitudinale, ou autre type d'onde en tant que contrainte pour déplacer du tissu. L'excitation est une impulsion d'excitation à ultrason. L'énergie acoustique est focalisée pour appliquer suffisamment d'énergie pour faire en sorte qu'il soit produit une ou plusieurs ondes se propageant à travers les tissus à partir de l'emplacement focal. La forme d'onde acoustique peut soi-même déplacer les tissus. D'autres sources de contrainte

peuvent être utilisées.

La ou les ondes de cisaillement sont produites à la région focale et se propagent latéralement, axialement et/ou dans d'autres directions à partir de la région focale. Les ondes peuvent se propager suivant de multiples directions. Les ondes diminuent en amplitude au fur et à mesure que les ondes se propagent dans le tissu.

Pour produire l'onde, des excitations de puissance ou amplitude élevée sont souhaitées. Par exemple, l'excitation a un indice mécanique qui est proche de 1,9 sans le dépasser à n'importe lequel des emplacements focaux ou de foyer et/ou dans le champ de vision. Pour être modéré et prendre en compte la variation de sonde, un indice mécanique de 1,7 ou un autre niveau peut être utilisé en tant que la limite supérieure. Des puissances plus grandes (par exemple un MI dépassant 1,9) ou moindres peuvent être utilisées.

L'impulsion d'excitation est émise avec des formes d'onde ayant n'importe quel nombre de cycles. Dans un mode de réalisation, la plupart ou toutes les formes d'ondes pour un événement d'émission ont 100 à 2 000 cycles. Le nombre de cycles est dix, cent, mille ou plus pour les formes d'onde émises en continu appliquées aux éléments du réseau pour l'impulsion d'excitation. Contrairement aux impulsions d'imagerie qui sont de 1 à 5 cycles, l'impulsion d'excitation ARFI a un nombre de cycles plus grand pour produire une contrainte suffisante pour faire en sorte que l'onde déplace le tissu avec une amplitude suffisante pour le détecter.

A l'étape 30, l'onde produite est suivie. L'onde est produite en réponse à l'émission ARFI. La réponse des tissus est une fonction de l'onde créée par le faisceau ARFI et les caractéristiques du tissu. L'onde est suivie à n'importe quel emplacement. Pour une onde de

cisaillement, l'onde est suivie à des emplacements espacés latéralement d'une même profondeur ou d'un domaine de profondeurs. Le suivi détecte les résultats de l'onde plutôt qu'identifier de manière précise où l'onde
5 est située à un instant donné.

Le suivi est effectué par un balayage à ultrason. Un balayage par mode B ou autre balayage le long d'une ou plusieurs lignes de réception est effectué pour le suivi. Le déplacement indique l'onde, de sorte que aucun
10 déplacement indique une absence de l'onde et un déplacement indique un effet de tissu causé par l'onde. Lorsque l'onde passe à un emplacement donné, les tissus se déplacent d'une quantité ou distance qui augmente jusqu'à une quantité crête et ensuite diminue au fur et à
15 mesure que le tissu revient au repos. Le suivi peut détecter les effets de l'onde à n'importe quelle étape (c'est-à-dire aucune onde, déplacement qui augmente, maximum ou déplacement qui diminue).

Le tissu est balayé plusieurs fois pour déterminer
20 le déplacement, tel que le fait de balayer une région au moins deux fois. Pour déterminer le déplacement à un instant, un retour d'écho d'échantillon est comparé à une référence. Le déplacement est fourni en tant que différence ou décalage par rapport au balayage de
25 référence (premier balayage) et une mesure et un balayage ultérieur (mesure de déplacement). Le tissu est balayé en utilisant une modalité d'imagerie quelconque capable de balayer pour un déplacement pendant la réponse du tissu à la forme d'onde d'excitation, tel que pendant ou après
30 l'application de l'impulsion d'excitation ARFI.

Pour un balayage à ultrason, l'onde est détectée à des emplacements adjacents à la région focale et/ou à distance de la région focale pour l'impulsion d'excitation ARFI. La figure 4 représente la région pour

le suivi en tant qu'une région en pointillé. Les déplacements sont échantillonnés à diverses lignes de réception, huit d'entre elles étant représentées en tant que lignes verticales parallèles. Des lignes de réception
5 non parallèles et/ou non verticales peuvent être utilisées. N'importe quel nombre d'emplacements latéraux peuvent être utilisés, tels que vingt-huit.

Pour détecter le déplacement, l'énergie à ultrason est émise vers le tissu subissant le déplacement, et des
10 réflexions de l'énergie sont reçues. Pour détecter la réponse de tissu aux ondes dans une région d'intérêt, des émissions sont réalisées vers la région et la détection est effectuée dans la région. Ces autres transmissions sont pour une détection des ondes ou un déplacement
15 plutôt que pour créer l'onde ou le déplacement. La transmission pour la détection peut avoir une puissance plus faible et/ou des impulsions courtes (par exemple 1 à 5 cycles de porteuse).

La transmission pour la détection peut avoir un
20 profil de faisceau plus large le long d'au moins une dimension, telle que latéralement, pour former simultanément des échantillons de réception le long d'une pluralité de lignes de balayage (par exemple une formation de faisceaux de réception simultanément le long
25 de quatre lignes de réception ou plus). Les formateurs de faisceau de réception ont des capacités limitées pour une formation de faisceaux de réception simultanés, tel qu'un multiple de deux ou plus. Par exemple, seuls quatre ou moins de quatre faisceaux de réception simultanés peuvent
30 être formés pour le suivi. La figure 4 représente deux ensembles de telles lignes de réception. Les émissions de suivi et les faisceaux de réception correspondants sont effectués en séquence vers les deux ensembles différents d'emplacements représentés à la figure 4 et éventuellement

d'autres emplacements. Certains formateurs de faisceaux peuvent être capables uniquement de deux ou un faisceau de réception par faisceau d'émission dans le suivi. Pour un événement de réception donné (c'est-à-dire la
5 réception d'échos en réponse à une émission donnée pour le suivi), N faisceaux de réception sont formés.

Une région d'intérêt est suivie pour détecter l'onde. La région d'intérêt a n'importe quelle dimension. Par exemple, l'onde est détectée le long de diverses
10 profondeurs d'une ou de plusieurs lignes dans l'imagerie ARFI. A titre d'un autre exemple, les déplacements sont suivis à chacun d'une pluralité d'emplacements espacés latéralement pour une profondeur limitée dans l'imagerie d'onde de cisaillement.

15 Dans un échantillonnage complet, la transmission et la réception pour la détection ou le suivi sont effectuées plusieurs fois pour chaque ligne de réception pour déterminer le changement dû au déplacement au cours du temps. N'importe quelle séquence d'émission et de
20 réception peut être utilisée. Pour un échantillonnage clairsemé, le nombre de balayages pour une ligne de balayage donnée ou un ensemble de faisceaux de réception simultanés est limité dans le temps et/ou l'espace. Par exemple, un balayage de référence de toutes les lignes de
25 réception dans la région d'intérêt est effectué avant l'émission ARFI de l'étape 28. Après l'émission ARFI de l'étape 28, N groupes ou ensembles de suivi différents de lignes de réception simultanées sont utilisés. N est un multiple de deux ou plus du nombre de faisceaux de
30 réception simultanés dont le formateur de faisceau de réception est capable. Dans l'exemple de la figure 4, le formateur de faisceau de réception de quatre faisceaux de réception simultanés. La région d'intérêt, à une résolution souhaitée, fournit huit ou plus

emplacements espacés latéralement pour le suivi, tel qu'un suivi à 28 lignes de réception. Les opérations de réception ou de suivi ont lieu pour plus de quatre lignes de réception en réponse à une émission ARFI donnée. Il en

5 résulte que l'échantillonnage temporel pour le déplacement à un emplacement donné est moindre, puisque au moins un événement d'émission et de réception pour le suivi a lieu à un autre emplacement, qui n'est pas dans le groupe de faisceau ou dans la capacité de nombre de

10 faisceaux du formateur de faisceau de réception. En suivant tous les emplacements latéraux ou un sous-ensemble d'emplacements latéraux plus grands qu'une capacité en simultané du formateur de faisceau, les échantillons résultant pour le calcul de déplacement sont

15 clairsemés dans le temps et/ou l'emplacement. Chaque emplacement est échantillonné un moindre nombre de fois. Par exemple, chaque emplacement est échantillonné juste une fois en plus d'une référence. Dans d'autres exemples, chaque emplacement est échantillonné deux ou plusieurs

20 fois, mais moins que la moitié, moins que $3/4$, moins que $1/4$, ou un autre rapport du nombre d'évènements d'émission/réception de suivi possibles sur la période de temps lent (par exemple sur 7 ms).

Le suivi clairsemé accélère le processus en

25 rassemblant des informations pour plus d'emplacements que ce qui pourrait être suivi par un formateur de faisceau donné avec un échantillonnage complet. Une plus grande partie ou la totalité de la région d'intérêt peut être surveillée à la même densité d'emplacements

30 d'échantillonnage, mais avec une résolution temporelle moindre à chaque emplacement. Par exemple, le formateur de faisceau de réception est capable de N faisceaux de réception simultanés (par exemple 4). Les échos acoustiques pour N déplacements sont mesurés par

événement de réception pour N lignes de suivi. Cette mesure est répétée pour d'autres groupes de N lignes de suivi plutôt que pour le même groupe de lignes de suivi, au moins pour une ou plusieurs fois pendant le passage de l'onde produite en réponse à une émission ARFI donnée. XN lignes de réception sont mesurées en réponse à une excitation d'impulsion unique, où X est égal à deux ou plus. Plutôt que juste mesurer les mêmes N lignes en réponse à une impulsion d'excitation, toutes les lignes ou XN lignes sont mesurées, ce qui se traduit par moins d'échantillons pour chaque emplacement latéral. Un retour acoustique pour mesurer les déplacements n'est pas mesuré pour au moins certaines des lignes de réception à l'échantillonnage complet, pour plus de la moitié de l'échantillonnage complet, ou même plus qu'une fois pendant le passage de l'onde de cisaillement. En fonction de la configuration d'échantillonnage, il peut ne pas y avoir de mesures de déplacement effectuées pendant le passage de l'onde pour un ou plusieurs emplacements.

N'importe quelle configuration d'échantillonnage fournissant les mesures clairsemées peut être utilisée. Par exemple, les emplacements latéraux sont mesurés par groupes de N à partir de la gauche vers la droite ou vice-versa. La figure 4 représente un échantillon pour chacun des deux groupes différents de N lignes (par exemple 4 faisceaux de réception simultanés). Plutôt que répéter l'échantillonnage le long des mêmes lignes pour chaque impulsion d'excitation ARFI, l'échantillonnage s'effectue le long de différentes lignes de réception au cours du temps pour une impulsion d'excitation ARFI donnée. Cette configuration peut être répétée s'il y a suffisamment de temps. En variante, chaque groupe de N emplacements latéraux est mesuré plus d'une fois avant le déplacement vers le groupe suivant. Des configurations

plus complexes peuvent être utilisées, telles que mesurer le long de certaines lignes ou emplacements latéraux plus fréquemment (par exemple plus proches du foyer ARFI) et/ou mesurer sur la base de la propagation attendue de l'onde.

Dans un mode de réalisation, la configuration de balayage des lignes de réception ou des emplacements latéraux est aléatoire. Les échantillons à temps lent sont classés de manière aléatoire le long des lignes de réception dans la région d'intérêt. Les déplacements sont mesurés à des emplacements aléatoires au cours du temps. Le suivi avec les faisceaux de réception est réparti de manière aléatoire le long des lignes de suivi.

Le placement aléatoire est de N groupes de lignes de réception adjacents. En variante, chaque emplacement latéral est échantillonné de manière aléatoire sans groupage N, tel qu'en recevant de manière simultanée des échos le long de N lignes qui peuvent être ou ne pas être adjacentes en raison du placement aléatoire et en répétant le long d'autres lignes affectées de manière aléatoire. L'affectation aléatoire peut être créée à la volée ou lorsque le balayage a lieu. En variante, l'affectation aléatoire est effectuée une fois et est utilisée pour chaque mise en œuvre. Un échantillonnage affecté de manière aléatoire prédéterminée est utilisé. Dans des modes de réalisation en variante, une affectation non aléatoire est utilisée.

L'affectation aléatoire pour un échantillonnage clairsemé des déplacements accélère l'estimation de la vitesse en raison du fait qu'elle est clairsemée. Le caractère aléatoire peut encore mieux fournir une estimation de vitesse en utilisant une Transformée de Radon ou d'autres estimées sur la base d'angle. Les emplacements latéraux de suivi sont affectés d'une

manière aléatoire pour le suivi à partir d'une poussée ARFI unique (c'est-à-dire tous les échantillons à temps lent pendant une poussée unique sont répartis latéralement d'une manière pseudo-aléatoire).

5 Pour un échantillonnage configuré ou aléatoire, les emplacements latéraux échantillonnés à n'importe quel instant peuvent être limités. Par exemple, un échantillonnage pseudo-aléatoire est fourni. Les emplacements de faisceaux de suivi pour chaque temps lent
10 sont de manière aléatoire sous échantillonnés en utilisant une répartition uniforme, mais sont également contraints de se trouver à l'intérieur d'un "cône" de vitesse de cisaillement potentiel. La vitesse de cisaillement qui peut exister dans des tissus mous ou un
15 domaine de tissu différent est limitée. Le cône est défini par les vitesses de cisaillement possibles minimum et maximum. L'échantillonnage est limité pour se trouver à l'intérieur de ce domaine de vitesses. La vitesse est cartographiée par rapport à la distance d'un emplacement
20 latéral par rapport au temps à partir de la production de l'onde de cisaillement par le ARFI. La figure 5 représente un cône (par exemple deux lignes rouges) représentant le temps minimum pour atteindre chaque emplacement et le temps maximum pour atteindre chaque
25 emplacement. Ce cône est représenté sur l'échantillonnage complet de la figure 2, mais peut être appliqué à l'échantillonnage clairsemé. L'échantillonnage est limité pour se trouver à l'intérieur de ce cône de cisaillement probable. N'importe quel déplacement à l'extérieur du
30 cône est susceptible d'être du bruit plutôt que d'être du au cisaillement. Les balayages de suivi ont lieu sur un domaine temporel dans lequel la forme d'onde souhaitée (c'est-à-dire une onde de cisaillement) peut passer à travers le tissu.

Le cône peut être défini sur la base des tissus humains probables. En variante, le cône est basé sur une application. Par exemple, une application de foie peut fournir un domaine différent ou un cône différent qu'une
5 application d'un muscle, puisque le cisaillement se propage dans les différents tissus liés et/ou types de lésions trouvés dans ces tissus à différents taux. Pour un tissu ou une application donné, le domaine d'emplacements en fonction du temps auquel l'onde passera
10 est réglé.

La figure 6 représente les résultats de l'échantillonnage aléatoire avec un formateur de faisceau de réception capable d'uniquement un faisceau de réception à un instant. L'échantillonnage est restreint
15 par le cône de possibilité, mais est sinon aléatoire à l'intérieur de ces limites. Le format aléatoire peut être sélectionné en tant qu'un qui est plus uniformément réparti que d'autres formats aléatoires. Pour chaque instant d'échantillonnage après une poussée ARFI unique,
20 uniquement un emplacement latéral est échantillonné dû à un faisceau par limitation d'événement du formateur de faisceau ou l'utilisation du formateur de faisceau avec un faisceau par événement. Pour les emplacements latéraux de 2,5 à 7 mm à partir du foyer ARFI, n'importe quel
25 nombre d'échantillons peut être fourni en raison du caractère aléatoire. Dans l'exemple de la figure 6, la plupart des emplacements latéraux sont échantillonnés à uniquement un instant. Certains sont échantillonnés à deux instants (par exemple 5 mm et 6,16 mm), certains à
30 trois instants (par exemple 6 mm et 6,6 mm), certains à quatre instants (par exemple 6,66 mm et 6,82 mm), et certains ne sont pas échantillonnés du tout (par exemple 2,66 mm et 4,5 mm). Le nombre croissant d'échantillons pour des emplacements latéraux toujours plus loin est dû

à la forme de cône ou divergente de la limitation rendant les emplacements supplémentaires disponibles pour l'échantillonnage au cours d'un domaine de temps plus grand.

5 En comparant la figure 2 à la figure 6, il y a bien moins d'échantillons acquis pour l'échantillonnage clairsemé de la figure 6. A la figure 2, il y a 28 emplacements latéraux, chacun échantillonnés complètement 33 fois pendant les 7 ms, fournissant 924 échantillons
10 des échos de réception dans le suivi. Pour l'échantillonnage clairsemé de la figure 6, il y a 33 échantillons, un pour chaque instant. Dans d'autres modes de réalisation, il pourrait y avoir plus ou moins d'échantillons. Par exemple, en effectuant une formation
15 de faisceaux de réception parallèles avec quatre faisceaux simultanés, il peut y avoir 132 échantillons avec quatre échantillons pour chaque instant. 132 est toujours bien moindre que les 924 échantillons et permet toujours un suivi sur la zone plus grande en réponse à
20 une impulsion d'excitation ARFI plutôt qu'à sept.

La figure 6 représente l'échantillonnage à deux dimensions, la position latérale (par exemple l'azimut) et le temps. Dans d'autres modes de réalisation, l'échantillonnage est fourni sur des dimensions
25 supplémentaires. Par exemple, les lignes de suivi sont réparties à la fois pour l'azimut et l'élévation relative au transducteur. Dans un autre exemple, le processus est répété aussi à différentes profondeurs, fournissant un suivi en quatre dimensions (par exemple l'azimut,
30 l'élévation, la profondeur et le temps).

En revenant à la figure 3, les échantillons sont utilisés pour déterminer le déplacement à l'étape 32. Le déplacement à chacun des emplacements pour n'importe quel instant pour lequel un écho est échantillonné est

déterminé. Pour l'imagerie d'onde de cisaillement, le déplacement à la profondeur ou au domaine de profondeurs le long de chaque ligne de suivi est déterminé.

Le déplacement est calculé à partir des données de balayage à ultrason. Le tissu se déplace entre deux balayages. Un balayage de référence est effectué avant l'émission ARFI de l'étape 28 et/ou après que l'onde produite soit passée à l'emplacement. Les données du balayage d'échantillon ou le balayage de référence est
5 traduit ou décalé d'une, deux ou trois dimensions relativement aux données dans l'autre balayage. Pour chaque position relative possible, une quantité de similarité est calculée pour les données autour d'un emplacement. La quantité de similarité est déterminée par
10 corrélation, telle qu'une corrélation croisée. Une somme minimum de différences absolues ou d'autres fonctions peuvent être utilisées. Le décalage spatial avec la corrélation suffisante ou la plus élevée indique la quantité de déplacement pour un emplacement donné. Dans
20 d'autres modes de réalisation, un décalage de phase de données reçues des différents instants est calculé. Le décalage de phase indique la quantité de déplacement. Dans encore d'autres modes de réalisation, des données représentant une ligne (par exemple axiale) à différents
25 instants sont corrélées pour déterminer un décalage pour chaque profondeur d'une pluralité de profondeurs le long de la ligne.

Une impulsion d'excitation ARFI unique est utilisée pour estimer les déplacements pour tous les emplacements.
30 La figure 6 représente une estimation pour tous les emplacements dans une région de 2,5 à 7 mm d'intérêt à une profondeur donnée. L'impulsion d'excitation et le suivi peuvent être répétés pour différentes profondeurs. Pour surveiller une région latérale plus grande, des

impulsions d'excitation et le suivi sont répétés pour d'autres emplacements.

La figure 6 représente les déplacements sous la forme de couleurs pour les différents emplacements et temps. L'arrière-plan bleu représente des emplacements et des instants sans échantillon, de sorte qu'il n'y a pas de déplacement correspondant. Les couleurs des autres emplacements indiquent une quantité de déplacement. En raison de la synchronisation d'échantillonnage qui n'est pas spécifique pour un instant inconnu de déplacement maximum, les déplacements échantillonnés peuvent être ou ne pas être associés à un déplacement maximum créé par l'onde passant dans le tissu. En raison de l'échantillonnage clairsemé, un déplacement de profil à résolution complète, à 3/4 ou même à moitié en fonction du temps n'est pas fourni pour n'importe lesquels des emplacements. A la figure 6, les déplacements clairsemés sont fournis en tant qu'un pour chaque faisceau de réception avec N déplacements par événement de réception (c'est-à-dire, à la figure 6, $N=1$). Comme le profil de déplacement en fonction du temps pour chaque emplacement a une faible résolution (par exemple 0 à 4 échantillons dans l'exemple de la figure 4), utiliser le profil de déplacement au cours du temps pour calculer la vitesse pour cet emplacement n'est pas fiable.

A l'étape 34 de la figure 3, la vitesse de l'onde produite par l'impulsion unique ou les quelques impulsions d'excitation est déterminée. La vitesse est déterminée à partir des déplacements. La vitesse doit être déterminée sans identification du déplacement maximum à n'importe quel emplacement donné. Les amplitudes des déplacements sont déterminées sans identifier spécifiquement (par exemple sans calcul par un processeur) un temps de déplacement maximum pour

n'importe laquelle des lignes de suivi ou des emplacements latéraux correspondants. Des estimations de vitesse avec les déplacements sous échantillonnés ne sont pas effectuées avec des procédés d'estimation à pic
5 temporel classique, mais à la place utilisent un procédé de transformée.

Dans un mode de réalisation, la transformée est une Transformée de Radon. La Transformée de Radon est appliquée aux données de déplacement, telles que
10 représentées à la figure 6. La Transformée de Radon projette les données le long de lignes à différents angles. L'angle de projection avec l'intensité la plus élevée le long de l'angle indique l'onde. La figure 7 représente un sinogramme de Transformée de Radon de
15 l'échantillonnage complet de la figure 2. La figure 8 représente le sinogramme de Transformée de Radon de l'échantillonnage clairsemé de la figure 6. L'axe des x est l'angle de projection. Pour la projection, une somme des déplacements orthogonalement à l'angle est effectuée,
20 ce qui résulte en une ligne d'amplitudes de déplacement le long de l'angle de projection. L'axe des y est le déplacement sommé ou projeté le long de l'orthogonale. Chaque ligne verticale suivant l'axe des x représente la projection en série des déplacements orthogonalement à
25 cet angle. La vitesse est déterminée à partir de l'angle. L'angle représente une distance en fonction du temps de l'onde. D'autres transformées peuvent être utilisées.

Dans d'autres modes de réalisation, une adaptation de ligne est utilisée (par exemple les moindres carrés).
30 Une ligne droite est adaptée aux déplacements en fonction du temps, tels que l'adaptation de la ligne à la figure 6. L'adaptation peut être pondérée par les amplitudes des déplacements. Les amplitudes des déplacements peuvent être ajustées pour tenir compte de l'atténuation d'onde

en fonction de la distance avant l'adaptation par pondération des déplacements. Une fois adaptée, la ligne fournit une pente ou un angle utilisé pour calculer la vitesse.

5 Comme représenté à la fois aux figures 7 et 8, bien que les images de projection soient qualitativement similaires, l'estimée d'angle d'intensité de pic dans l'image sous échantillonnée de la figure 8 peut être plus sujette au bruit car le nombre réduit d'échantillons tend
10 à étaler le pic de projection et diminuer le rapport signal-bruit de déplacement global (SNR) à partir des niveaux de signaux abaissés. Pour réduire ces problèmes, les déplacements peuvent être filtrés ou sinon traités autrement. La figure 3 représente une technique à titre
15 d'exemple pour diminuer des erreurs dues au sous échantillonnage. Les étapes 36 et 38 sont effectuées avant que l'on effectue la Transformée de Radon à l'étape 40 et que l'on calcule la vitesse à l'étape 42. Des étapes supplémentaires différentes ou moins d'étapes
20 peuvent être utilisées. Par exemple, les étapes 40 et 42 sont effectuées sans les étapes 36 et 38. Comme autre exemple, une étape 42 est effectuée sans l'étape 40.

A l'étape 36, une détection de compression est effectuée sur les déplacements échantillonnés de manière
25 clairsemée. Les données représentées à la figure 6 ou d'autres échantillonnages clairsemés de déplacements sont soumis à une détection de compression. Afin d'améliorer le rapport signal-bruit SNR des estimations de la vitesse de cisaillement à partir des déplacements sous
30 échantillonnés une technique par détection à compression est utilisée, dans laquelle le caractère clairsemé de Fourier des déplacements à temps lent est accepté.

N'importe quelle récupération de signal compressé de détection peut être utilisée. Dans un mode de

réalisation, une poursuite par correspondance orthogonale est utilisée. La poursuite par correspondance orthogonale est un algorithme de récupération de type gourmand qui récupère uniquement les coefficients de Fourier les plus
5 significatifs à partir du spectre sous échantillonné. Le nombre de coefficients pour récupérer est prédéterminé ou sélectionné par l'utilisateur. L'échantillonnage de déplacement clairsemé est détecté par compression pour reconstruire un spectre de Fourier.

10 Un exemple de détection par compression est expliqué en référence aux figures 9 à 11. La figure 9 représente un spectre de Fourier à deux dimensions des déplacements complètement échantillonnés en fonction du temps de la figure 2. La figure 10 représente le spectre
15 de Fourier à deux dimensions des déplacements échantillonnés de manière clairsemée de la figure 6. En utilisant une détection par compression des déplacements échantillonnés de manière clairsemée de la figure 6, le spectre de Fourier de la figure 11 est obtenu. La figure
20 11 est un spectre de Fourier à deux dimensions reconstruit en utilisant une détection par compression. La plupart du bruit provenant de l'échantillonnage clairsemé est diminué ou éliminé (comparer les figures 10 et 11).

25 A l'étape 38, le spectre de Fourier reconstruit est transformé par Fourier inverse. Les résultats ou la sortie de la détection par compression sont transformés à partir du domaine de fréquence dans l'emplacement en fonction du domaine de temps lent. Par exemple, la figure
30 12 représente une Transformée de Fourier Inverse à titre d'exemple du spectre de Fourier de la figure 11. Le résultat a trois crêtes d'amplitude élevée en parallèle. Trois crêtes plutôt qu'une crête est le résultat de discontinuités dans le spectre de Fourier à 2D, mais la

Transformée de Radon, l'adaptation de ligne, ou tout autre détection d'onde peut toujours fonctionner. Dans d'autres exemples, uniquement un ou un autre nombre de crêtes apparaît. Le spectre peut être lissé avant la transformation de Fourier inverse pour fournir une crête unique.

A l'étape 40, la Transformée de Radon est appliquée à la sortie ou aux résultats de la Transformée de Fourier Inverse. La figure 13 représente le sinogramme de la Transformée de Radon. Comparée à la figure 8, l'intensité est plus focalisée. Les effets de bruit provenant de l'échantillonnage clairsemé des déplacements sont diminués. D'autres transformées ou techniques d'identification d'angle peuvent être utilisées.

A l'étape 42, la vitesse est calculée à partir des résultats ou de la sortie de la Transformée de Radon. L'angle ayant l'intensité maximum dans le sinogramme de la Transformée de Radon est identifié. L'angle indique la ligne de suivi ou l'emplacement latéral en fonction du temps. La pente de cet angle est proportionnelle à la vitesse. La pente elle-même est utilisée en tant que la vitesse ou la vitesse est calculée à partir de la pente.

La figure 14 représente une comparaison du calcul de vitesse de cisaillement sur la base d'une Transformée de Radon des déplacements totalement échantillonnés, sur la base d'une transformée de Radon des déplacements échantillonnés d'une manière clairsemée sans détection par compression et sur la base d'une transformée de Radon des déplacements échantillonnés de manière clairsemée avec la détection par compression. Les vitesses du suivi complet ont la moindre variance. Le nombre de balayages de l'axe x est pour différents ensembles de données provenant de différents emplacements du transparent afin de montrer la variabilité. La vitesse de cisaillement à

partir de la Transformée de Radon des déplacements clairsemés sans détection de compression a la plus grande variance. La détection de compression diminue la variance dans la vitesse de cisaillement estimée. Dans l'exemple
5 de la figure 14, la vitesse à partir de l'échantillonnage complet a une moyenne de 1,2495 m/s avec un écart type de 0,0306. La vitesse à partir de l'échantillonnage clairsemé sans détection de compression a une moyenne de 1,2228 m/s avec un écart type de 0,1903. La vitesse à
10 partir de l'échantillonnage clairsemé avec une détection de compression a une moyenne de 1,2059 m/s avec un écart type de 0,0814. La détection de compression diminue la variance des estimées.

D'autres caractéristiques que la vitesse peuvent
15 être calculées et/ou la vitesse peut être utilisée pour calculer une autre caractéristique. Par exemple, un module de cisaillement ou autres caractéristique élastique est calculé.

La vitesse peut être calculée à partir
20 d'échantillons le long de différents emplacements latéraux suivant une ligne, tels que des emplacements espacés les uns des autres dans la direction azimutale. Dans d'autres modes de réalisation, les déplacements sont échantillonnés à des emplacements latéraux à la fois en
25 prenant l'azimut et l'élévation à une profondeur. La figure 15 représente un volume formé à partir d'emplacements d'échantillonnage en deux dimensions spatiales (par exemple l'azimut et l'élévation relative au transducteur) et dans le temps (par exemple le temps
30 lent). Les lignes de suivi sont espacées dans les directions azimutale et d'élévation. Les lignes de suivi sont échantillonnées de manière aléatoire ou d'autres techniques d'échantillonnage clairsemé sont appliquées. La figure 15 représente un échantillon non déplacé en

tant que le niveau bleu d'arrière-plan et les échantillons de déplacement obtenus de manière clairsemée sous la forme d'autres couleurs.

La dimension ajoutée de la répartition de suivi
5 peut se traduire par un nombre beaucoup plus grand de lignes de suivi. Il en résulte qu'un formateur de faisceau donné peut être moins capable d'échantillonner complètement sans une répétition ARFI, un échauffement de transducteur et/ou du patient. Même des formateurs de
10 faisceaux de réception qui peuvent former simultanément des dizaines de faisceaux de réception (par exemple 32 à 64 faisceaux de réception simultanés) peuvent ne pas être capables d'effectuer un échantillonnage complet. Pour échantillonner un grand volume, un échantillonnage
15 clairsemé et une estimation de vitesse correspondante peuvent être utilisés. Comparé à l'échantillonnage complet, l'échantillonnage clairsemé peut diminuer les temps de récupération tout en fournissant encore des bonnes estimations des vitesses de cisaillement.

20 A l'étape 44 de la figure 3, la vitesse est émise en sortie. La sortie est vers une mémoire, sur un réseau ou un dispositif d'affichage. Pour le dispositif d'affichage, la vitesse ou une autre caractéristique de l'onde est affichée en tant qu'une valeur en chiffres
25 et/ou lettres (par exemple "2,0 m/s"). En variante, une représentation graphique de la vitesse ou de la caractéristique est utilisée, telle qu'un pointeur sur une échelle ou un diagramme en bâtons. La vitesse peut être affichée sous la forme d'une couleur ou un autre
30 symbole indexé.

Suivant un mode de réalisation, une vitesse unique est déterminée. Un utilisateur positionne un pointeur sur une image. En réponse, le dispositif de balayage à ultrason émet en sortie une vitesse calculée pour ce

point (par exemple le point est utilisé pour le foyer ARFI et la vitesse pour une petite région à proximité ou autour du point est calculée). Dans d'autres modes de réalisation, plus d'une vitesse est émise en sortie. La
5 vitesse à différents emplacements est trouvée. Par exemple, une courbe est adaptée et la pente de la courbe à différents emplacements représente les différentes vitesses. A titre d'un autre exemple, différentes mesures sont effectuées pour différents emplacements.

10 Une image de la vitesse est un dispositif d'affichage d'une vitesse unique ou un affichage de vitesses multiples. Pour des vitesses mesurées à différents emplacements, l'image peut comporter une représentation à une, deux ou trois dimensions de la
15 vitesse ou d'une caractéristique telle qu'une fonction de l'espace ou de l'emplacement. Par exemple, la vitesse de cisaillement sur toute une région est affichée. Les valeurs de vitesse de cisaillement modulent les couleurs pour des pixels dans une région suivant une image à mode
20 B modulé en échelle de gris. L'image peut représenter une information de déplacement, telle que le cisaillement ou des modules (par exemple les modules de cisaillement) pour différents emplacements. La grille d'affichage peut être différente de la grille de balayage et/ou de la
25 grille pour laquelle les déplacements sont calculés. La couleur, la clarté, la luminance, la teinte ou une autre caractéristique de pixels est modulée en fonction de l'information déduite des déplacements.

La figure 16 représente un mode de réalisation d'un
30 système 10 pour un suivi clairsemé dans une imagerie par impulsion de force de rayonnement acoustique. Des ultrasons produisent un déplacement de tissu, tel que par l'intermédiaire de la création d'une onde longitudinale ou de cisaillement, et un balayage des données en réponse

au tissu répondant au déplacement est utilisé pour déterminer la vitesse ou une autre caractéristique de l'onde dans le tissu. Pour accélérer le balayage et/ou diminuer le chauffage, la réponse du tissu peut être échantillonnée de manière clairsemée. Plus (par exemple d'un facteur de 2, 3, 4, 5 ou plus) d'emplacements espacés latéralement qu'il y a de faisceaux de réception simultanés sont échantillonnés en réponse à une impulsion d'excitation ARFI donnée.

10 Le système 10 est un système d'imagerie à ultrason de diagnostic médical. Dans des modes de réalisation en variante, le système 10 est un ordinateur personnel, un poste de travail, une station PACS ou un autre agencement à un même emplacement ou réparti sur un réseau pour une image à acquisition en temps réel ou post acquisition.

Le système 10 met en œuvre le procédé de la figure 3 ou d'autres procédés. Le système 10 comporte un formateur 12 de faisceaux d'émission, un transducteur 14, un formateur 16 de faisceaux de réception, un processeur 18 d'image, un dispositif d'affichage 20 et une mémoire 22. Des composants supplémentaires différents ou moins de composants peuvent être prévus. Par exemple, une entrée d'utilisateur est prévue pour une désignation assistée ou manuelle d'une région d'intérêt pour laquelle l'information doit être obtenue.

Le formateur 12 de faisceau d'émission est un émetteur à ultrason, une mémoire, un dispositif d'impulsion, un circuit analogique, un circuit numérique ou une combinaison de ceux-ci. Le formateur 12 de faisceau d'émission est configuré pour fournir des formes d'onde pour une pluralité de canaux ayant des amplitudes, des retards et/ou des phases différentes ou relatives. Les formes d'onde sont produites et appliquées à un réseau du transducteur 14 avec n'importe quelle

synchronisation ou fréquence de répétition d'impulsion. Par exemple, le formateur 12 de faisceau d'émission produit une impulsion d'excitation pour calculer la vitesse dans une région d'intérêt et produit des
5 émissions correspondantes pour suivre des déplacements résultant avec l'ultrason.

Le formateur 12 de faisceau d'émission se connecte au transducteur 14, tel qu'en passant par un commutateur émission/réception. Lors de la transmission d'ondes
10 acoustiques du transducteur 14 en réponse aux ondes produites, un ou plusieurs faisceaux sont formés pendant un événement d'émission donné. Les faisceaux sont des impulsions d'excitation et/ou des faisceaux de suivi. Pour un balayage de déplacement de tissu, une séquence de
15 faisceaux d'émission est produite pour balayer une région à une, deux ou trois dimensions. Des formats Sector, Vector (marque déposée), linéaires ou d'autres formats de balayage peuvent être utilisés. Le balayage par le formateur 12 de faisceaux d'émission a lieu après
20 émission de l'impulsion d'excitation, mais peut inclure un balayage pour des trames de référence utilisées dans le suivi avant l'émission de l'impulsion d'excitation. Les mêmes éléments du transducteur 14 sont utilisés à la fois pour le balayage et le déplacement de tissu, mais
25 des éléments, transducteurs et/ou formateurs de faisceaux différents peuvent être utilisés. N'importe quelle configuration peut être utilisée pour balayer des lignes dans le suivi, telle qu'une configuration aléatoire qui s'adapte à l'échantillonnage de réception
30 aléatoire.

Le transducteur 14 est un réseau à 1, 1,25, 1,5, 1,75 ou 2 dimensions d'éléments membrane piézoélectrique ou capacitive. Le transducteur 14 comporte une pluralité d'éléments pour une transduction entre des énergies

acoustiques et électriques. Par exemple, le transducteur 14 est un réseau PZT à une dimension qui comporte environ 64 à 256 éléments.

Le transducteur 14 se connecte au formateur 12 de faisceau d'émission pour convertir des formes d'onde électriques en des formes d'onde acoustiques, et se connecte au formateur 16 de faisceau de réception pour convertir des échos acoustiques en des signaux électriques. Le transducteur 14 émet l'impulsion d'excitation et des faisceaux de suivi. Les formes d'ondes sont focalisées à une région de tissu ou à des emplacements d'intérêt du patient. Les formes d'ondes acoustiques sont produites en réponse à l'application des formes d'ondes électriques aux éléments transducteurs. Pour un balayage par ultrason pour détecter le déplacement, le transducteur 14 émet une énergie acoustique et reçoit des échos. Les signaux de réception sont produits en réponse à l'énergie à ultrason (écho) qui tombe sur les éléments du transducteur 14.

Le formateur 16 de faisceau de réception comporte une pluralité de canaux comportant des amplificateurs, des dispositifs à retard et/ou des rotateurs de phase et un ou plusieurs sommateurs. Chaque canal se connecte à un ou plusieurs éléments transducteurs. Le formateur 16 de faisceau de réception applique des retards relatifs, des phases relatives et/ou une apodisation pour former un ou plusieurs faisceaux de réception en réponse à chaque émission pour la détection. Une focalisation dynamique sur la réception peut être prévue. Lorsqu'il y a uniquement une profondeur ou un domaine de profondeurs d'intérêt, la focalisation dynamique peut ou ne pas être prévue. Le formateur 16 de faisceau de réception émet en sortie des données représentant des emplacements dans l'espace utilisant les signaux acoustiques reçus. Des

retards et/ou des phasages relatifs et la sommation des signaux provenant des différents éléments fournissent la formation de faisceau. Suivant des modes de réalisation en variante, le formateur 16 de faisceau de réception est
5 un processeur pour produire des échantillons en utilisant des Transformées de Fourier ou d'autres transformées.

Pour une formation de faisceau de réception parallèle, le formateur 16 de faisceau de réception est configuré pour comporter un ou plusieurs ensembles
10 supplémentaires de canaux et de sommateurs correspondants. Chaque canal applique des retards relatifs et/ou une phase à un faisceau avec le sommateur. Le formateur 16 de faisceau de réception peut avoir un nombre N quelconque d'ensembles de canaux et de
15 sommateurs, tels que $N=1-8$, pour former un nombre correspondant de faisceaux simultanément ou en réponse à un même faisceau d'émission de suivi.

Le formateur 16 de faisceau de réception peut comporter un filtre, tel qu'un filtre pour isoler
20 l'information à une seconde harmonique ou d'autres bandes de fréquence relatives à la bande de fréquence transmise. Une telle information peut plus probablement comporter un tissu souhaité, un agent de contraste et/ou des informations de flux.

25 Le formateur 16 de faisceau de réception émet en sortie des données sommées de faisceau représentant des emplacements dans l'espace. Des données pour un emplacement unique, des emplacements le long d'une ligne, des emplacements pour une zone ou des emplacements pour
30 un volume sont émises en sortie. Les données peuvent être pour différents buts. Par exemple, différents balayages sont effectués pour une détection en mode B ou une détection de tissu plutôt que pour une détection d'onde longitudinale ou de cisaillement. En variante, les

données de mode B sont également utilisées pour déterminer le déplacement créé par une onde longitudinale ou de cisaillement.

Le formateur 16 de faisceau de réception est
5 configuré pour suivre de manière clairsemée des déplacements en réponse à une impulsion d'excitation. Les échos reçus par les transducteurs 14 sont formés en faisceau en des échantillons de données. Ces échantillons peuvent être utilisés pour estimer des déplacements. Le
10 formateur 16 de faisceau de réception est configuré pour suivre de manière clairsemée en formant des faisceaux de réception pour un échantillonnage clairsemé dans le temps et/ou l'emplacement pour estimer des déplacements à ces instants et/ou emplacements. Les mesures de suivi
15 clairsemé pour des déplacements sont réparties par ligne de réception sur un temps d'échantillonnage, de sorte qu'aucun déplacement n'est prévu pour plus que la moitié des temps d'échantillonnage pour chacune des lignes de réception en réponse à une impulsion d'excitation donnée.
20 Plutôt qu'un échantillonnage complet sur une même durée à chaque emplacement, moins de la moitié, par exemple uniquement 1 à 25% des emplacements sont échantillonnés à un instant donné. Lorsqu'une formation de faisceau de réception parallèle est utilisée, le formateur 16 de
25 faisceau de réception est configuré pour mesurer N des déplacements à chacun des instants d'échantillonnage avec les lignes de réception pour les déplacements qui sont positionnés de manière aléatoire sur XN lignes des lignes de réception, où X est égal à deux ou plus.

30 Le processeur 18 ou un dispositif de commande de formateur de faisceau distinct configure les formateurs 12, 16 de faisceau. En chargeant des valeurs dans des registres ou un tableau utilisé, pour le fonctionnement, les valeurs de paramètres d'acquisition utilisés par les

formateurs 12, 16 de faisceau pour l'imagerie ARFI sont réglées. N'importe quelle structure ou format de commande peut être utilisée pour établir la séquence d'imagerie ARFI. On fait en sorte que les formateurs 12, 16 de
5 faisceau acquièrent des données pour l'imagerie ARFI à une vitesse de trame et/ou avec une résolution. Différentes valeurs de l'un ou plusieurs des paramètres d'acquisition peuvent se traduire par une résolution et/ou une vitesse de trame différente.

10 Le processeur 18 est un détecteur en mode B, un détecteur Doppler, un détecteur d'onde Doppler pulsée, un processeur de corrélation, un processeur de Transformée de Fourier, un circuit intégré spécifique d'application, un processeur général, un processeur de commande, un
15 processeur d'image, un réseau de grille programmable à champ, un processeur de signal numérique, un circuit analogique, un circuit numérique, des combinaisons de ceux-ci ou n'importe quel autre dispositif connu maintenant ou développé ultérieurement pour détecter et
20 traiter des informations à partir d'échantillons à ultrason formés en faisceaux.

Dans un mode de réalisation, le processeur 18 comporte un ou plusieurs détecteurs et un processeur distinct. Le processeur distinct est un processeur de
25 commande, un processeur général, un processeur de signal numérique, une unité de traitement graphique, un circuit intégré spécifique d'application, un réseau de grille programmable par champ, un réseau, un serveur, un groupe de processeurs, un trajet de données, des combinaisons de
30 ceux-ci ou autre dispositif connu aujourd'hui ou développé ultérieurement pour déterminer un déplacement et/ou pour calculer une vitesse à partir de déplacements. Le processeur 18 est configuré par logiciel et/ou matériel pour effectuer les étapes.

Dans un mode de réalisation pour une imagerie ARFI, le processeur 18 estime un déplacement de tissu pour chaque emplacement latéral à aucun instant, à un instant ou à plusieurs instants en correspondance avec l'échantillonnage clairsemé. Les données émises en sortie par le formateur 16 de faisceau de réception sont utilisées pour déterminer le déplacement à différents instants pour différents emplacements, mais de manière clairsemée. Les déplacements sont estimés pour différents emplacements à différents instants relativement à l'impulsion d'excitation ARFI, plutôt qu'à chaque emplacement à chaque instant. Les déplacements peuvent être obtenus par corrélation ou sinon par détermination autre du niveau de similarité entre des données de référence et des données obtenues pour représenter le tissu à un instant.

Le processeur 18 est configuré pour calculer des caractéristiques du tissu à partir des déplacements du tissu à différents emplacements au cours du temps. Par exemple, une vitesse de cisaillement est calculée à partir des déplacements. Dans un autre exemple, le processeur 18 calcule la viscosité et/ou le module. Le processeur 18 peut calculer d'autres propriétés, telles que la contrainte ou l'élasticité.

Le processeur 18 est configuré pour estimer la vitesse ou d'autres caractéristiques à partir de l'échantillonnage clairsemé des déplacements. Par exemple, une pente d'une ligne de déplacements détectés en fonction du temps est trouvée. Une adaptation de ligne peut être utilisée. Dans un mode de réalisation, une transformée de Radon est utilisée. La pente fournit la distance en fonction du temps, donnant la vitesse. Le processeur 18 peut être configuré pour diminuer le bruit dans l'estimée de vitesse créé par l'échantillonnage

clairsemé. Par exemple, le processeur 18 effectue une détection par compression sur les déplacements clairsemés, transforme par Fourier inverse la sortie de la détection de compression, applique la Transformée de Radon à la sortie de la Transformée de Fourier inverse, et estime ensuite la vitesse à partir de l'angle du maximum dans le sinogramme de Transformée de Radon. Le processeur 18 peut estimer la vitesse en réponse à une impulsion d'excitation unique qui a plus d'emplacements latéraux que le formateur 16 de faisceau de réception est capable de balayer simultanément. Par exemple, la région peut avoir plus d'emplacements d'un facteur 2, 3, 4, 5 ou plus que le nombre de faisceaux de réception simultanés, où les emplacements sont échantillonnés en réponse à une impulsion d'excitation. Dans d'autres modes de réalisation, l'échantillonnage clairsemé et l'estimation de la vitesse sont effectués en utilisant des impulsions d'excitation multiples, mais avec un échantillonnage clairsemé.

Le processeur 18 produit et émet en sortie une image ou des valeurs d'affichage configurées à partir de la propriété au dispositif 20 d'affichage. Par exemple, la valeur de la vitesse, du module de cisaillement, ou autre est déterminée. Un texte ou une indication numérique de la propriété est affiché à l'utilisateur. Une courbe de la propriété au cours du temps peut être affiché.

Dans un mode de réalisation, la propriété est affichée en fonction de l'emplacement. Des valeurs, courbes et/ou représentations de tissu peuvent être affichés en utilisant la vitesse à différents emplacements. Pour une représentation du tissu, l'amplitude de la caractéristique de tissu module la couleur, la teinte, la clarté et/ou d'autres

caractéristiques d'affichage pour différents pixels représentant une région de tissu. Le processeur 18 détermine une valeur de pixel (par exemple RGB) ou une valeur scalaire convertie à une valeur de pixel. L'image est produite en tant que valeurs scalaires ou de pixel. L'image peut être émise en sortie vers un processeur vidéo, une table de consultation, une carte couleur, ou directement vers le dispositif 20 d'affichage.

Le dispositif 20 d'affichage est un dispositif CRT, LCD, un moniteur, un plasma, un projecteur, une imprimante ou un autre dispositif pour afficher une image ou une séquence d'images. N'importe quel dispositif 20 d'affichage connu aujourd'hui ou développé ultérieurement pourra être utilisé. Le dispositif 20 d'affichage peut être mis en fonctionnement pour afficher une image ou une séquence d'images. Le dispositif 20 d'affichage affiche des images en deux dimensions ou en trois dimensions. Le dispositif 20 d'affichage affiche une ou plusieurs images représentant les caractéristiques de tissu ou d'autres informations déduites des déplacements. A titre d'exemple, une vitesse associée à un emplacement indiqué sur une image à deux dimensions ou une représentation en mode B à trois dimensions est affichée. En variante ou en plus, l'image est une courbe.

Le processeur 18, le formateur 16 de faisceau de réception et le formateur 12 de faisceau d'émission fonctionnent à la suite d'instructions mémorisées dans la mémoire 22 ou une autre mémoire. Les instructions configurent le système pour que soient effectuées les étapes de la figure 3. Les instructions configurent le processeur 18, le formateur 16 de faisceau de réception et/ou le formateur 12 de faisceau d'émission pour un fonctionnement en étant chargées dans un dispositif de commande, en faisant en sorte que soit chargée une table

de valeurs (par exemple une séquence d'imagerie d'élasticité) et/ou en étant exécutées. Le formateur 12 de faisceau d'émission est configuré par les instructions pour faire en sorte que soit produit un faisceau
5 d'excitation et des faisceaux de suivi. Le formateur 16 de faisceau de réception est configuré par l'instruction pour acquérir des données pour le suivi. Le processeur 18 est configuré pour estimer des déplacements et déterminer la vitesse à partir des déplacements clairsemés.

10 La mémoire 22 est un support de stockage pouvant être lu par ordinateur de manière non-transitoire. Les instructions pour la mise en œuvre des processus, procédés et/ou techniques décrits ici sont fournies sur le support de stockage pouvant être lu sur ordinateur ou
15 des mémoires, telles qu'un cache, un tampon, une RAM, un support amovible, un disque dur ou d'autres supports de stockage pouvant être lus par ordinateur. Des supports de stockage pouvant être lus par ordinateur comportent divers types de supports de stockage volatile et non-
20 volatile. Les fonctions, étapes ou tâches illustrées aux figures ou décrites ici sont exécutés en réponse à un ou plusieurs ensembles d'instructions mémorisées dans ou sur des supports de stockage pouvant être lus par ordinateur. Les fonctions, tâches et étapes sont indépendantes du
25 type particulier d'ensemble d'instructions, supports de stockage, processeurs ou stratégie de processeur et peuvent être effectuées par logiciel, matériel, circuit intégré, micro code et analogue, fonctionnant seul ou en combinaison. De manière identique, les stratégies de
30 processeurs peuvent comporter un multiprocesseur, un processeur multitâche, un processeur parallèle et analogue. Dans un mode de réalisation, les instructions sont mémorisées sur un dispositif de support amovible pour une lecture par des systèmes à distance ou locaux.

Dans d'autres modes de réalisation, les instructions sont mémorisées à un emplacement à distance pour un transfert par un réseau d'ordinateur ou par des lignes téléphoniques. Dans d'autres modes de réalisation, les
5 instructions sont mémorisées à l'intérieur d'un ordinateur donné, à une CPU, une GPU ou un système.

Bien que l'invention ait été décrite ci-dessus en référence à divers modes de réalisation, il va de soi que de nombreux changements et modifications peuvent y être
10 effectuées sans sortir de l'étendue de protection de l'invention. Il est par conséquent dans l'intention de la description détaillée qui précède d'être considérée comme à titre d'illustration, plutôt que limitative et il va de soi que ce sont les revendications qui suivent, en y
15 incluant l'ensemble des équivalents, qui sont destinées à définir l'étendue de protection de la présente invention.

De préférence, l'émission comporte le fait d'émettre l'impulsion de force de rayonnement acoustique focalisée à une profondeur le long de la première ligne,
20 et dans lequel le suivi comporte le suivi de l'onde à la profondeur sur les lignes de suivi, l'onde comportant une onde de cisaillement.

De préférence, le suivi comporte le suivi avec les faisceaux de réception qui sont répartis de manière
25 aléatoire dans le temps le long des lignes de suivi.

De préférence, le suivi comporte le suivi sur N des lignes de suivi, où N est un multiple de deux ou plus d'un nombre capacité de faisceaux de réception simultanés du dispositif de balayage à ultrason.

30 De préférence, la détermination comporte le fait de déterminer une quantité de décalage du tissu par rapport à une référence.

De préférence, le suivi comporte le suivi avec une formation de faisceaux de réception en parallèle

simultanés avec N faisceaux de réception simultanés par événement de réception, et dans lequel la détermination comporte le fait de déterminer les déplacements avec un déplacement par faisceau de réception et N déplacements
5 par événement de réception.

De préférence, la détermination comporte le fait de déterminer des amplitudes des déplacements sans identification spécifique d'un déplacement maximum à n'importe laquelle des lignes de suivi.

10 De préférence, la mesure comporte la mesure de N déplacements par événement de réception pour N lignes de suivi, respectivement, et la répétition des mesures pour d'autres groupes N des lignes de suivi.

De préférence, les emplacements aléatoires se
15 trouvent à l'intérieur d'une région limitée des lignes de suivi et du temps à partir de l'impulsion d'excitation.

De préférence, l'émission en sortie comporte l'affichage d'une valeur de la vitesse pour un emplacement sélectionné par l'utilisateur.

20 De préférence, le processeur est configuré pour estimer la vitesse par détection de compression.

REVENDECATIONS

1. Procédé pour un suivi (30) clairsemé dans une imagerie par impulsion de force de rayonnement
5 acoustique, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte les étapes dans lesquels :

on émet (28), avec un dispositif de balayage à ultrason, une impulsion de force de rayonnement acoustique dans du tissu d'un patient le long d'une
10 première ligne ;

on suit (30), avec le dispositif de balayage à ultrason, une onde produite en réponse à l'émission (28) avec quatre ou moins de quatre faisceaux de réception le long de chacune d'une pluralité de lignes de suivi à
15 distance de la première ligne ;

on détermine (32) un déplacement pour chacune des lignes de suivi, les déplacements comportant un échantillonnage de déplacement clairsemé des lignes de suivi ;

20 on effectue (36) une détection par compression de l'échantillonnage de déplacement clairsemé ;

on effectue une transformation (38) de Fourier Inverse des résultats de la détection par compression ;

on effectue la transformation (40) de Radon des
25 résultats de la transformation (38) de Fourier inverse ;

on calcule (42) une vitesse de l'onde à partir des résultats de la transformation (40) de Radon ; et

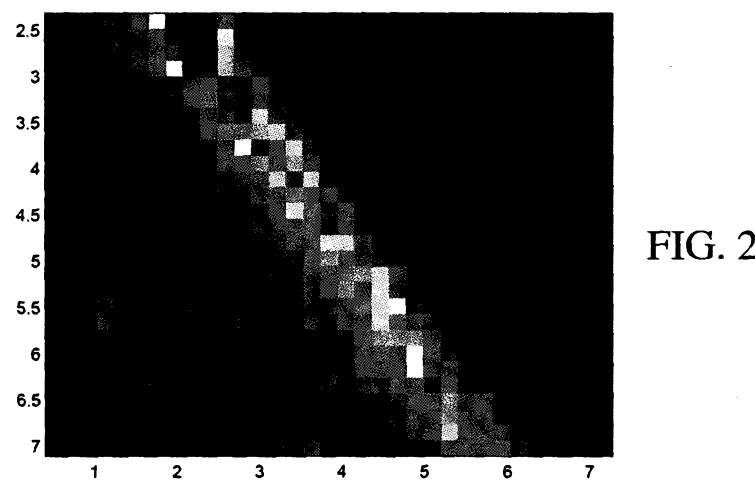
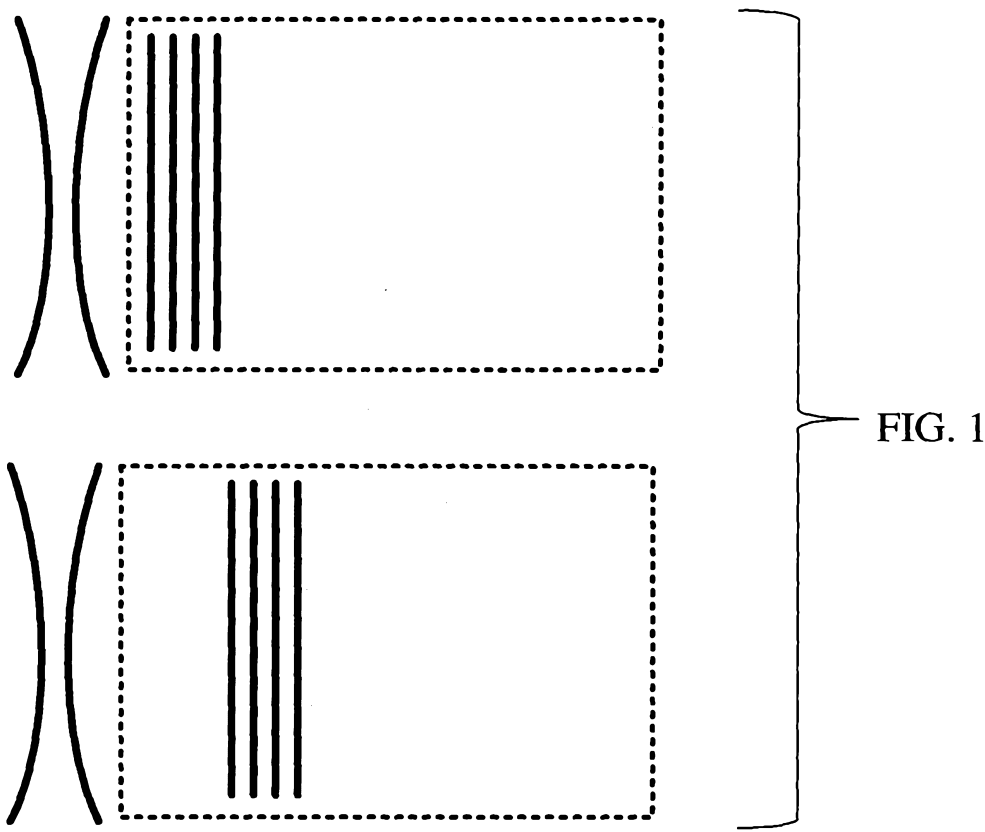
on produit (44) une image de la vitesse.

30 2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'émission (28) comporte le fait d'émettre (28) l'impulsion de force de rayonnement acoustique focalisée à une profondeur le long de la première ligne, et dans

lequel le suivi (30) comporte le suivi (30) de l'onde à la profondeur sur les lignes de suivi, l'onde comportant une onde de cisaillement.

- 5 3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le suivi (30) comporte le suivi (30) avec les faisceaux de réception qui sont répartis de manière aléatoire dans le temps le long des lignes de suivi.
- 10 4. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le suivi (30) comporte le suivi (30) sur N des lignes de suivi, où N est un multiple de deux ou plus d'un nombre capacité de faisceaux de réception simultanés du dispositif de balayage à ultrason.
- 15 5. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la détermination (32) comporte le fait de déterminer (32) une quantité de décalage du tissu par rapport à une référence.
- 20 6. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le suivi (30) comporte le suivi (30) avec une formation de faisceaux de réception en parallèle simultanés avec N faisceaux de réception simultanés par événement de réception, et dans lequel la détermination (32) comporte le fait de déterminer (32) les déplacements avec un déplacement par faisceau de réception et N déplacements par événement de réception.
- 25 7. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la détermination (32) comporte le fait de déterminer (32) des amplitudes des déplacements sans identification spécifique d'un déplacement maximum à n'importe laquelle des lignes de suivi.
- 30

1/7



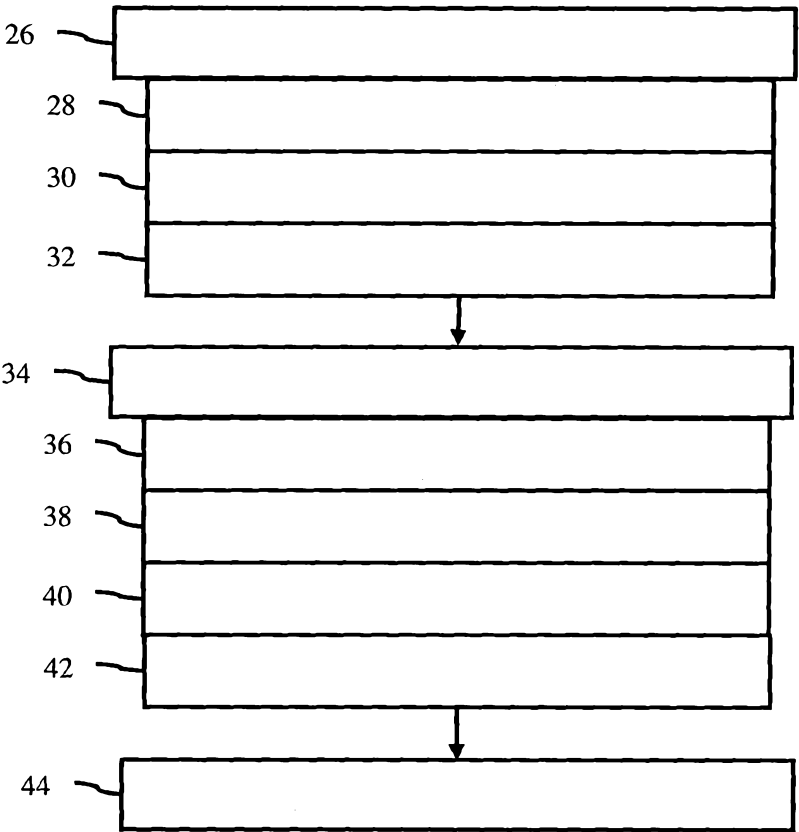


FIG. 3

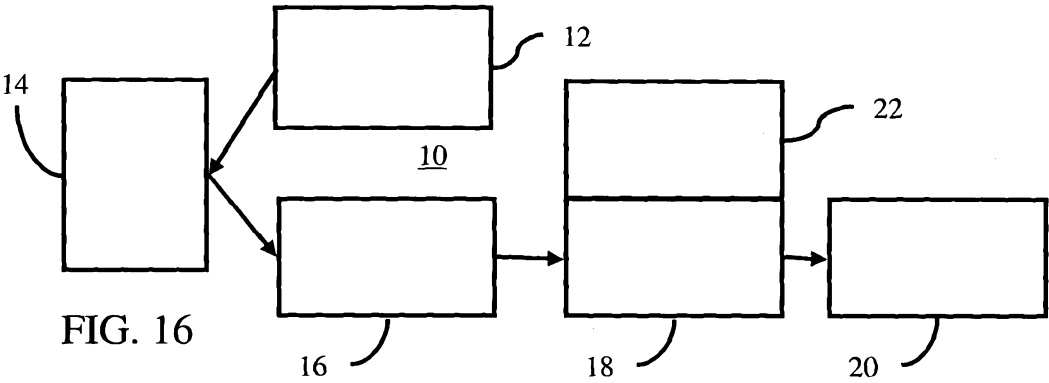


FIG. 16

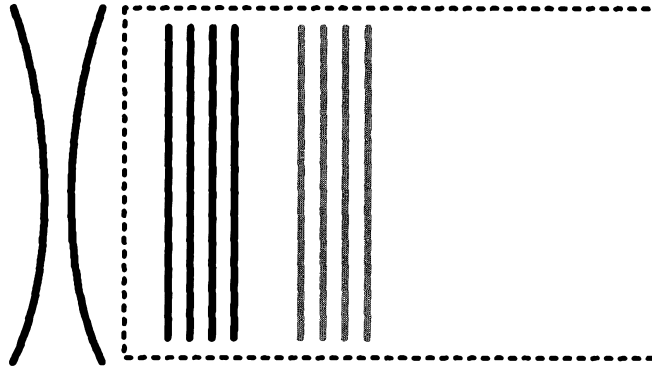
$3/7$ 

FIG. 4

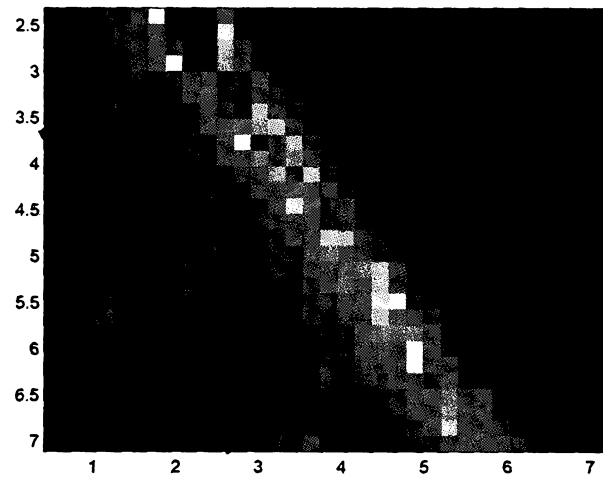


FIG. 5

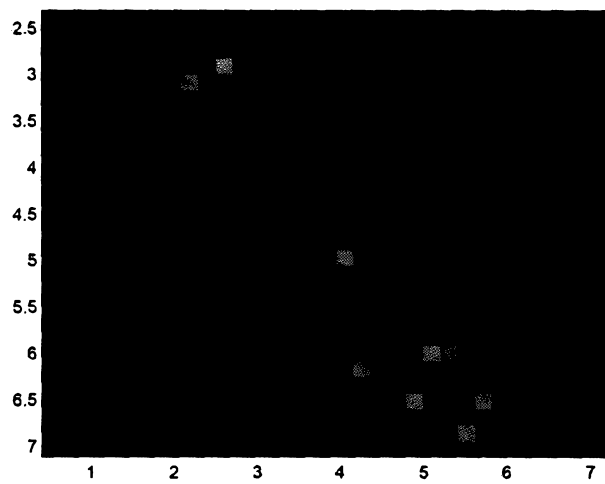


FIG. 6

4/7

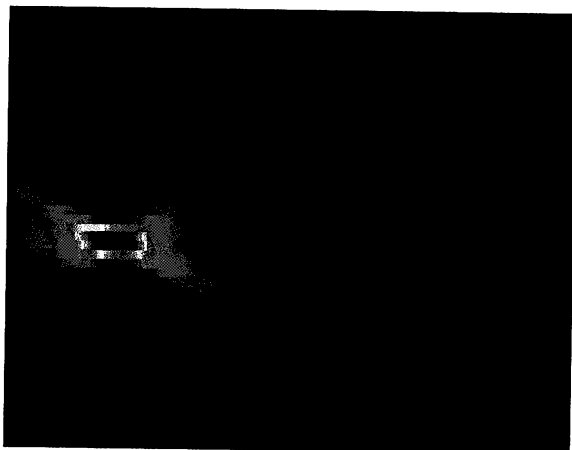


FIG. 7



FIG. 8

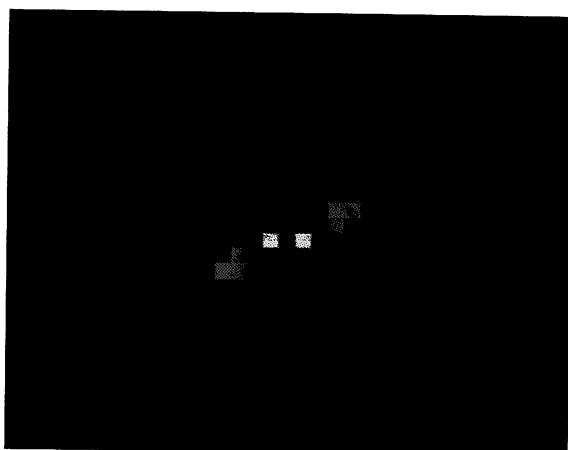


FIG. 9

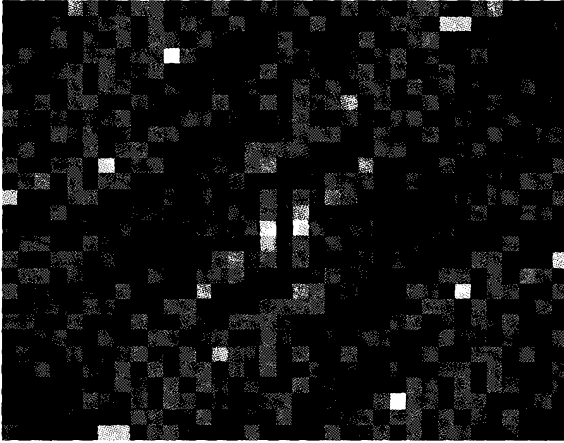
5/7

FIG. 10



FIG. 11

6/7

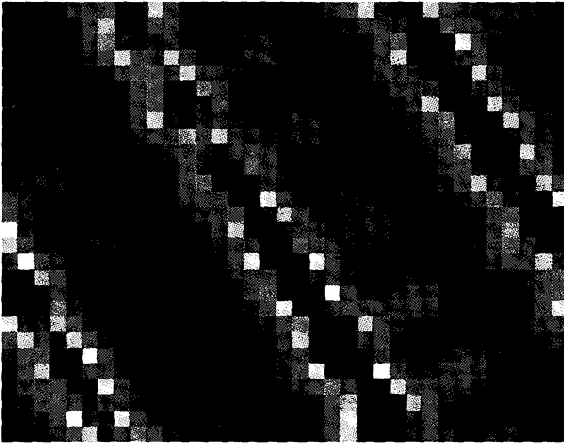


FIG. 12

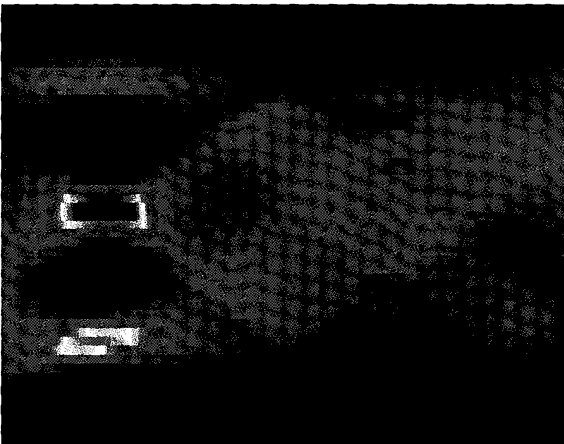


FIG. 13

7/7

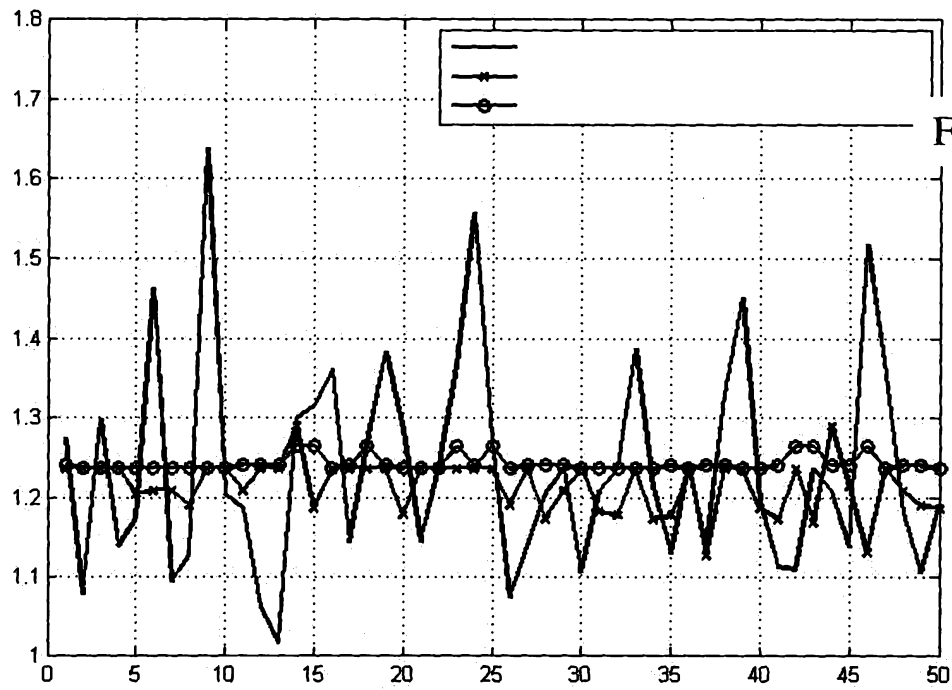


FIG. 14

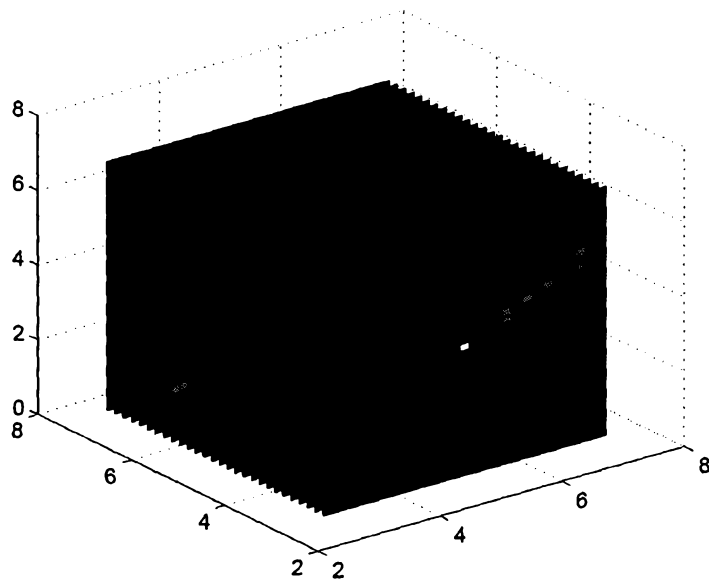


FIG. 15

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- ☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☒ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

JEREMY J DAHL ET AL: "A parallel tracking method for acoustic radiation force impulse imaging", IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL, IEEE, US, vol. 54, no. 2, 1 février 2007 (2007-02-01), pages 301-312, XP011168520, ISSN: 0885-3010, DOI: 10.1109/TUFFC.2007.244

CN 103 431 874 A (SHENZHEN INST OF ADV TECH CAS)
11 décembre 2013 (2013-12-11)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT