

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.04.02.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.10.03 Bulletin 03/44.

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) : KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRO-
NICS NV Naamloze vennootschap — NL.

72 Inventeur(s) : LEVRIER CLAIRE, COHEN BACRIE
CLAUDE, VILLAIN NICOLAS, LAGRANGE JEAN
MICHEL et ENTREKIN ROB.

73 Titulaire(s) :

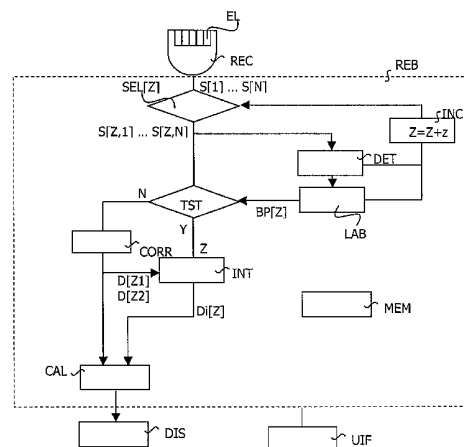
74 Mandataire(s) : SPID.

54 SYSTEME D'IMAGERIE ULTRASONORE A HAUTE RESOLUTION LATÉRALE.

57 L'invention concerne un système d'imagerie ultrasonore pour former une image échographique d'un milieu incluant un ensemble [REC] d'éléments transducteurs [EL] qui travaillent en transmission et en réception d'ondes ultrasonores, des moyens de construction [REB] de signaux échographiques à partir de signaux reçus [S [1]... S [N]] sur lesdits éléments transducteurs [EL], des moyens d'affichage [DIS] couplés aux dits moyens de construction [REB] pour afficher une image du milieu formée avec les signaux échographiques. Lesdits moyens de construction [REB] sont tels que dans des zones dite d'exclusion où un réflecteur cohérent est détecté et qui sont déterminées par des moyens de détermination [DET], les délais de réception [D] sont estimés de manière différente [INT] à celle [CORR] utilisée pour les autres zones. Le calcul [CAL] des signaux échographiques est alors réalisé à partir desdits délais estimés [D [Z], Di [Z]].

L'invention permet d'obtenir une correction des aberrations de phase tout en ayant une excellente résolution latérale, notamment dans le cas de réflecteurs cohérents ponctuels.

Application: Appareil ultrasonore particulièrement dans le domaine médical.



Description :

L'invention concerne un système d'imagerie ultrasonore pour former une image échographique d'un milieu incluant classiquement un ensemble d'éléments de transducteur travaillant en transmission et en réception d'ondes ultrasonores. Les inhomogénéités de la
5 vitesse du son dans les milieux biologiques provoquent des aberrations de phase qui dégradent la qualité des images. Différentes techniques permettant de corriger ces aberrations sont connues de l'homme du métier. L'une d'elles consiste à aligner par inter-corrélation, les signaux reçus sur les différents transducteurs avant de sommer ces signaux pour obtenir le signal échographique. Un des inconvénients de cette technique réside dans le
10 fait qu'elle conduit à une perte de résolution latérale, en particulier au niveau des réflecteurs cohérents de petite taille.

Un système utilisant cette technique est par exemple connu du document « Phase aberration correction using signals from point reflectors and diffuse scatterers : Basic principles » IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control,
15 vol.35(6), pp758-767, 1988. Le système connu de ce document utilise une technique de correction des aberrations de phases par inter-corrélation des signaux reçus sur chacun des transducteurs. Cependant ce système est sensible à la présence de cibles ponctuelles de petite taille dans le faisceau d'émission mais situées hors de l'axe de celui-ci. En effet, les signaux diffusés par un réflecteur ponctuel situé hors de l'axe du faisceau sont enregistrés
20 par les éléments transducteurs avec une inclinaison linéaire globale, qui est conservée après une correction des temps d'arrivée sur lesdits éléments par des délais géométriques. La somme des signaux reçus sur les éléments ne résulte alors pas dans une réponse d'amplitude importante du milieu à cause de l'inclinaison des signaux. La réponse du milieu à la profondeur considérée ne sera donc pas biaisée par la présence de ce réflecteur. En
25 revanche, lorsque la corrélation est utilisée, les signaux provenant du réflecteur hors axe étant réalignés, la contribution de ce réflecteur au signal échographique sera très importante.

Un objet de l'invention est de fournir un système d'imagerie ultrasonore adaptatif
30 permettant de corriger les aberrations de phase.

L'objet de l'invention est atteint au moyen d'un système conforme au paragraphe introductif caractérisé en ce qu'il comprend :

- un ensemble d'éléments de transducteur qui travaillent en transmission et en réception d'ondes ultrasonores,
- 35 - des moyens de construction de signaux échographiques à partir de signaux reçus sur lesdits éléments transducteurs,
- des moyens d'affichage couplés aux dits moyens de construction pour afficher une image du

milieu formée avec les signaux échographiques, lesdits moyens de construction incluant :

- des moyens de détermination de zones dite d'exclusion dans lesquelles au moins un réflecteur cohérent est détecté,
- des premiers moyens d'estimation des délais de réception pour les zones externes aux dites zones d'exclusion,
- des seconds moyens d'estimation des délais de réception pour les zones d'exclusion à partir des délais estimés dans les zones externes aux dites zones d'exclusion,
- des moyens de calcul des signaux échographiques à partir desdits délais estimés.

10 Le système selon l'invention permet ainsi d'éviter une estimation de délais par corrélation dans les zones où un réflecteur cohérent est détecté. Ainsi il permet une analyse fine des petits réflecteurs ponctuels présents dans le milieu. Un système d'imagerie ultrasonore adaptatif en fonction de la nature du milieu imagé est donc décrit selon l'invention.

15 Dans un mode de réalisation avantageux, les seconds moyens d'estimation des délais de réception pour la zone d'exclusion mettent en œuvre une interpolation des délais au sein de ladite zone d'exclusion à partir des délais estimés par les premiers moyens d'estimation dans les zones externes à ladite zone d'exclusion. En particulier, le calcul des délais au sein de la zone d'exclusion est réalisé par une interpolation linéaire, dans la direction perpendiculaire au réseau de transducteurs, des délais estimés dans les zones externes à ladite zone

20 d'exclusion.

L'invention permet d'introduire dans tout appareil ultrasonore des moyens pour améliorer les corrections d'aberrations de phase au niveau de petits réflecteurs cohérents. Ainsi,

25 l'invention trouve une application avantageuse dans le domaine de l'imagerie médicale et plus particulièrement dans le domaine de l'imagerie ultrasonore du sein pour laquelle la détection de petits réflecteurs ponctuels (micro-calcifications) est très importante. Dans une de ses applications, l'invention concerne également avantageusement l'imagerie par superposition d'images (« spatial compound imaging », en anglais) consistant à exciter un milieu suivant des directions différentes et à combiner les différentes images de manière à obtenir une image plus complète et moins bruitée. Les réflecteurs ponctuels sont très mal

30 définis par cette technique car la sommation des pics larges obtenus après corrélation ôte toute finesse à l'image combinée. En permettant d'affiner la réponse des réflecteurs cohérents vus sous les différents angles d'insonification, l'invention permet d'obtenir une image finale des réflecteurs ponctuels de meilleure résolution spatiale.

L'invention est décrite en détail ci-après en référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma explicitant la réception selon l'invention des signaux reçus en provenance d'un milieu,

- la figure 2 est un schéma explicitant le problème technique que se propose de résoudre l'invention,
- la figure 3 est un schéma fonctionnel d'un procédé selon l'invention,
- la figure 4 est un schéma fonctionnel explicitant un exemple de procédés pour réaliser l'étape de détermination des zones d'exclusion,
- la figure 5 est un schéma explicitant le fonctionnement de l'invention,
- les figures 6a et 6b illustrent plus précisément le fonctionnement de l'invention selon un mode de réalisation préféré,
- la figure 7 illustre les effets de l'invention sur l'amplitude de l'écho d'un diffuseur ponctuel,
- la figure 8 est une représentation schématique d'un système d'imagerie ultrasonore selon l'invention.

La description qui va suivre est présentée pour permettre à un homme du métier de réaliser et de faire usage de l'invention. Des alternatives diverses au mode de réalisation préféré seront évidentes à l'homme du métier et les principes génériques de l'invention exposés ici peuvent être appliqués à d'autres mises en œuvre. Ainsi, la présente invention n'est pas censée être limitée au mode de réalisation décrit mais plutôt avoir la portée la plus large en accord avec les principes et les caractéristiques décrits ci-après.

La figure 1 montre un schéma pour expliciter la réception de signaux ultrasonores selon les besoins de l'invention. Un milieu MID excité par des ondes ultrasonores renvoie des signaux SIG. Afin d'adapter la correction des délais au contenu du milieu, il faut d'abord être capable de détecter la présence de réflecteurs cohérents dans le milieu. Cette première partie de l'invention utilise par exemple la technique présentée dans la demande de brevet français antérieure n°01 06747 au nom de la demanderesse pour fournir, à partir des signaux reçus sur chacun des éléments de transducteur, une image binaire du milieu signalant la présence des réflecteurs cohérents.

Selon la figure 1, les signaux sont reçus classiquement sur un certain nombre N d'éléments présent sur une barrette REC d'éléments. En général, la même barrette REC sert aussi en émission. Classiquement un nombre fini d'éléments de la barrette REC est utilisé en émission, ces éléments étant excités de manière à focaliser l'onde selon un faisceau axé sur une ligne. La ligne selon laquelle le milieu est excité peut être perpendiculaire à la barrette d'éléments EL comme représenté sur la figure 1 ou faire un angle quelconque avec la même barrette d'éléments EL. L'excitation selon différents angles sera par exemple utilisée pour des prises d'images en technique dite de « compounding » en anglais, l'excitation se faisant alors pour la même zone dans plusieurs directions différentes successivement, les images obtenues étant ensuite combinées.

Selon l'invention, le système et le procédé proposés déterminent une zone dite d'exclusion quand un réflecteur ponctuel est détecté par analyse de l'ensemble de signaux reçus.

L'intérêt du procédé selon l'invention est de calculer des délais de réception des ondes ultrasonores d'une première manière pour les zones externes à ladite zone d'exclusion, et
5 d'une seconde manière pour la zone d'exclusion. Par exemple, les délais au sein de la zone d'exclusion sont calculés en utilisant les délais calculés au sein des zones externes à ladite zone d'exclusion. Ensuite, le procédé selon l'invention permet de former une image à partir des délais calculés selon les procédés classiques de l'état de la technique.

La diffusion de l'onde ultrasonore par un réflecteur cohérent produit un signal réfléchi SIG
10 reçu par l'ensemble d'éléments EL. Ce signal réfléchi arrive sur chaque élément de la barrette REC d'éléments à des instants différents. Le signal définit dans le temps un ensemble de signaux reçus $S[i]$, ici, $S[1]$ à $S[N]$, c'est-à-dire autant que d'éléments activés en réception. Une réflexion à la profondeur DEP égale à Z donne sur les éléments i , i inclus dans l'intervalle $[1, N]$. Sur la figure 1, N éléments EL sont activés pour la réception.

L'analyse classique qui résulte en la formation d'une image à partir de cet ensemble de
15 signaux consiste à focaliser en réception l'ensemble des signaux reçus à chaque fois que le faisceau est déplacé sur la barrette d'éléments, pour ensuite construire une image à partir des amplitudes échographiques reconstruites pour chaque position du faisceau. Cette opération inclut deux étapes : un recalage temporel des signaux reçus en des instants
20 différents, ce phénomène étant notamment dû à la différence de position des éléments de réception par rapport au réflecteur (correction géométrique) et une sommation des signaux recalés sur les différents éléments pour reconstruire le signal échographique.

La figure 2 illustre le problème posé que l'invention se propose de résoudre. Sur les figures 2a et 2b, le faisceau BEA selon lequel le milieu MID est excité est représenté
25 schématiquement. Sur la figure 2a, le réflecteur cohérent COH est centré par rapport au faisceau. Ainsi, lorsque la correction géométrique des temps d'arrivée GC est appliquée, on obtient un signal corrigé SGA identique pour tous les éléments pour une même profondeur. La sommation des signaux sur la totalité des éléments de réception donne alors une valeur importante au signal échographique. Sur la figure 2b, la position du faisceau BEA est telle
30 que le réflecteur cohérent COH est décentré par rapport au faisceau BEA. Ainsi, lorsque la correction géométrique GC est réalisée, l'ensemble des signaux SGB n'est pas en phase. Cela se traduit graphiquement par le fait que les signaux reçus par les différents éléments ne sont pas alignés après correction géométrique. La sommation des signaux sur la totalité des éléments de réception donne alors une valeur faible au signal échographique. Le signal
35 échographique présente alors une allure telle que représentée sur la courbe WOE. Afin de corriger les aberrations de phase dues aux inhomogénéités des vitesses du son dans le milieu, on applique classiquement une corrélation CORR des signaux recalés par les délais

géométriques. Ensuite la sommation sur tous les éléments est réalisée et une amplitude échographique est obtenue pour la position du faisceau étudiée. Son report sur un graphe portant l'amplitude de l'écho à la profondeur du diffuseur ponctuel en fonction de la position latérale du faisceau donne une courbe de l'amplitude de l'écho en fonction du numéro d'élément de transducteur de l'allure de la courbe WCE. La faiblesse d'une telle technique est l'élargissement du pic qui représente le réflecteur cohérent et donc une perte conséquente au niveau de la résolution latérale. C'est cet inconvénient de diminution de résolution latérale que l'invention se propose notamment de résoudre.

La figure 3 représente un schéma fonctionnel d'un procédé selon l'invention. Le but de ce procédé est de former une image échographique à partir de signaux ultrasonores échographiques $S[i]$ reçus en provenance d'un milieu excité avec des ondes ultrasonores. La description est ici réalisée pour une mise en œuvre particulière de l'invention.

Dans cette mise en œuvre, l'invention utilise un réseau 1D (une dimension) de transducteurs, le procédé peut également être appliqué à l'utilisation de réseaux 1.5D, 1.75D, 2D... de transducteurs. Le procédé selon l'invention inclut une étape de réception REC des ondes ultrasonores échographiques $S[i]$ sur un ensemble d'éléments de réception. Les ondes reçues $S[i]$ sur l'ensemble d'éléments définissant un ensemble de signaux reçus $S[1]...S[N]$. Les temps d'arrivée de ces signaux reçus sont corrigés par les délais géométriques. Cette correction est classiquement réalisée en réception sur une barrette

d'éléments et ne sera donc pas décrite plus en détail ici. Le procédé selon l'invention fonctionne en traitant les données selon leur arrivée dans le temps, ce qui correspond à chaque instant à une profondeur Z . Cette progression sur la profondeur est symbolisée sur la figure 3 par une étape de sélection SEL de la profondeur Z de manière à simplifier l'explication du fonctionnement de l'invention. En effet, les signaux correspondant donc à

une profondeur Z donnée sont alors noté $S[Z,1]...S[Z,N]$. Les signaux $S[i]$ sont reçus durant un certain temps et une portion de ces signaux seulement $S[Z,i]$ correspond à l'écho réfléchi par une zone située à la profondeur moyenne Z . Ces signaux servent ensuite dans une étape de construction de signaux échographiques REB et notamment présentés, au sein de cette étape de construction de signaux échographiques REB, en entrée d'une étape de détermination DET de zone dite d'exclusion où un réflecteur ponctuel est détecté par analyse de l'ensemble de signaux reçus $S[i]$. Une zone d'exclusion est déterminée lorsqu'un réflecteur cohérent est détecté. La détermination d'une zone d'exclusion est donc basée sur une détection de réflecteur cohérent. La présence de réflecteur cohérent n'étant pas obligatoire dans un milieu, il se peut qu'aucune zone d'exclusion ne soit déterminée. Ici, pour les besoins de l'invention, le cas où un réflecteur cohérent est détecté sera décrit. Dans le cas où aucun réflecteur cohérent n'est détecté (sur une ligne où il n'y a pas de réflecteur ponctuel par exemple), le procédé, comme nous le verrons, correspond à celui décrit

auparavant et une corrélation des signaux $S[i]$ est réalisée sur chaque ligne. Par exemple, l'étape de détermination DET des zones d'exclusion est réalisée selon un procédé tel que décrit dans la demande de brevet française n°01 06747. Cette étape met ainsi, par exemple, en œuvre un procédé décrit sur la figure 4.

- 5 La figure 4 présente un schéma fonctionnel d'un exemple d'une mise en œuvre de l'étape de détermination DET des zones d'exclusion. Cet exemple se propose d'utiliser les signaux $S[Z,1]$ à $S[Z,N]$ tels qu'ils arrivent, pour la profondeur Z , sur les éléments pour détecter la présence éventuelle d'un réflecteur cohérent. Cet exemple propose de corréler les signaux $S[Z,i]$ entre eux. Avantageusement, cet exemple utilise les signaux $S[1]$ à $S[N]$ après qu'ils
- 10 aient été recalés dans le temps par correction géométrique, c'est-à-dire après la première étape de l'opération de focalisation en réception exposée auparavant. La correction géométrique permet théoriquement de mettre les signaux reçus en phase, le front d'onde étant horizontal lorsque le réflecteur cohérent est centré dans le faisceau. Il est alors plus facile de repérer les portions de signaux $S[Z,i]$ correspondant à une profondeur donnée. Les
- 15 signaux diffusés par un réflecteur cohérent résultent en un maximum de corrélation généralement important entre signaux échographiques voisins. Ledit maximum est alors observé même pour des signaux provenant d'éléments de réception éloignés entre eux. En revanche, les valeurs de maximum de corrélation pour des signaux correspondant à des données bruitées (zone de « speckle » en anglais) diminuent linéairement en fonction de
- 20 l'éloignement des éléments de réception pour ensuite s'annuler. C'est l'exposé du théorème de Van Cittert Zernicke. L'exemple de procédé de détermination d'une zone d'exclusion propose d'analyser lesdits maximums de corrélation pour détecter un réflecteur cohérent au sein d'un milieu duquel résulte des données bruitées. Selon l'exemple proposé, les signaux $S[Z,1]$ à $S[Z,N]$ sont ainsi corrélés deux à deux au sein d'une étape $COR[Z,i,j]$, i et j
- 25 décrivant l'intervalle $[1,N]$. Ladite étape $COR[Z,i,j]$ réalise la corrélation entre les signaux provenant des éléments i et j pour la profondeur Z . Les valeurs des maximums de corrélation $DC[Z,i,j]$ sont obtenues pour chacune des corrélations $COR[Z,i,j]$ qui sont réalisées entre les signaux reçus sur les éléments i et j . Lesdits maximums de corrélation sont ensuite analysés dans une étape ANA de manière à détecter la présence d'un réflecteur cohérent sur la ligne. L'étape d'analyse ANA peut par exemple utiliser une comparaison du
- 30 maximum de corrélation avec une valeur seuil. Par exemple, lorsque le maximum de corrélation calculé pour deux éléments i et j dépasse cette valeur, la présence d'un réflecteur cohérent est affirmée par l'étape de corrélation. Cette valeur seuil est déterminée en tenant compte du théorème de Van Cittert Zernicke et donc de l'éloignement des éléments i et j .
- 35 Selon le résultat de cette étape d'analyse, si un réflecteur cohérent est détecté (cas Y), la zone d'où vient cette information reçoit un label dans une étape LAB puis le procédé analyse une autre zone correspondant à une profondeur moyenne $Z = Z + z$ incrémentée dans une

étape INC. Si aucun réflecteur cohérent n'est détecté (cas N) par l'étape d'analyse ANA, le procédé incrémente directement la profondeur Z dans l'étape d'incrémentation INC. Cette incrémentation peut être plus ou moins importante de manière à sonder le milieu de manière plus ou moins fine. L'analyse est ensuite réalisée à la profondeur suivante et le

5 procédé peut ainsi être appliqué à toutes les profondeurs d'un milieu : une analyse de toute une ligne du milieu est alors obtenue. Ainsi, l'étape de labélisation LAB permet de différencier les zones où un réflecteur cohérent est détecté et celles où aucun réflecteur cohérent n'est détecté. Ainsi, il est, par exemple, possible de former une image binaire du milieu (ou de la ligne du milieu qui est excitée) avec par exemple, un 0 là où aucun

10 réflecteur cohérent n'est détecté et un 1, là où un ou plusieurs réflecteur cohérent est détecté. La figure 4 n'est donnée qu'à titre d'exemple, tout autre procédé pour repérer un réflecteur cohérent au sein d'un milieu peut être utilisé. Par exemple, un seul calcul de corrélation entre les signaux sur deux éléments transducteurs éloignés d'un nombre donné d'éléments (par exemple 10) peut être utilisé. Le maximum de la corrélation est alors, de la

15 même manière que ci-avant, comparé à une valeur seuil. Toute autre technique de repérage d'un réflecteur ponctuel peut être ici utilisée : analyse de l'intensité sur l'image, sélection de zones par l'utilisateur...

Ensuite, en se référant à nouveau à la figure 3, l'invention met en œuvre deux étapes distinctes de calcul des délais de réception des ondes ultrasonores. Une première étape

20 CORR calcule les délais pour les zones externes à ladite zone d'exclusion, et une seconde étape INT calcule les délais pour la zone d'exclusion. Les délais obtenus servent dans une étape de calcul CAL de l'image échographique et d'une image finale selon les techniques classiques de formation d'images échographiques. Enfin une étape d'affichage DIS est réalisée. Dans le schéma ici présenté, une étape de test TST permet de choisir l'une ou

25 l'autre des étapes de calcul de délais, pour une profondeur Z. Cette étape TST teste si la profondeur Z sélectionnée porte un label BP[Z] d'une zone ou région d'exclusion incluant un réflecteur cohérent COH ou non. Si la zone n'appartient pas à une zone d'exclusion (cas N), les délais sont estimés par une première étape CORR. Si la zone appartient à une zone d'exclusion (cas Y), cela signifie, en se référant à la figure 5, et plus précisément à la figure

30 6a qui est un agrandissement de la figure 5, que la profondeur observée Z est incluse dans l'intervalle [Z1 ; Z2] qui délimite la zone d'exclusion sur le faisceau analysé. Les délais sont alors calculés par une seconde étape d'estimation de délai INT. Ici, pour les profondeurs autres que celle incluses dans l'intervalle [Z1 ; Z2], les délais ont été estimés par la première étape d'estimation des délais CORR.

35 Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, la seconde étape d'estimation INT des délais au sein de la zone d'exclusion utilise les délais calculés au sein des zones externes à ladite zone d'exclusion. Dans un mode de réalisation préféré, les délais au sein de la zone

d'exclusion sont une interpolation des délais en fonction de la profondeur. Cette interpolation est avantageusement linéaire dans le mode de réalisation préféré. Une telle interpolation linéaire est alors réalisée le long des lignes en pointillés sur la figure 6a. Cet exemple est présenté pour une excitation perpendiculaire à la barrette d'éléments mais tout
 5 autre angle est envisageable pour l'excitation du milieu. La première étape d'estimation des délais pour les zones externes aux zones d'exclusion utilise avantageusement la corrélation des signaux reçus sur les différents éléments transducteurs. Cette première étape permet, comme nous l'avons vu auparavant, de corriger les aberrations de phase dues aux inhomogénéités de la vitesse du son dans le milieu. Au moins les délais estimés par
 10 corrélation pour les deux points se situant à la frontière de la zone d'exclusion IDE (c'est-à-dire aux profondeurs Z1 et Z2) servent de références pour le calcul par interpolation des délais sur la droite en pointillés au sein de la zone d'exclusion IDE. Des délais calculés au voisinage de ces points peuvent aussi être utilisés pour l'interpolation.

La figure 6b représente la partie d'une carte des délais correspondant à la position du faisceau signalé sur la figure 6a. Au sein de la zone IDE, les délais sont interpolés
 15 linéairement à partir des délais calculés par corrélation sur les deux droites séparant la zone IDE de la zone DEL où les délais sont estimés par corrélation. Ces deux droites correspondent selon l'explication précédente aux profondeurs Z1 et Z2. En général l'interpolation est réalisée en fonction de la profondeur Z, comme explicité ci-après.

20 Selon le mode de réalisation préféré de l'invention, les délais D[Z1] et D[Z2] estimés par la première étape aux points situés sur la ligne d'excitation aux profondeurs Z1 et Z2 sont alors utilisés selon l'invention pour réaliser une interpolation linéaire des délais Di[Z, Z ∈ [Z1, Z2]] au sein de la zone d'exclusion, c'est-à-dire entre les profondeurs Z1 et Z2. Ainsi, dans le cas d'une interpolation linéaire, pour Z ∈ [Z1, Z2] :

$$25 \quad D_i[Z] = \frac{Z2 \cdot D[Z1] - Z1 \cdot D[Z2]}{Z2 - Z1} + Z \frac{(D[Z2] - D[Z1])}{Z2 - Z1}.$$

Toute autre sorte d'interpolation peut également être envisagée si les configurations du système l'obligent (par exemple si les délais ne sont pas linéaires dans la configuration : tir angulaire...). L'interpolation peut aussi être réalisée soit en temps réel, à chaque « tir »
 30 ultrasonore, soit une fois une image du milieu formée incluant des zones d'exclusion où les délais sont ensuite interpolés.

L'invention revient donc à adapter la correction des délais appliquée sur les ondes réfléchies par le milieu et donc à adapter la formation du faisceau en réception en fonction de l'analyse du milieu. Il faut aussi noter que par exemple, une autre mise en oeuvre du procédé détermine d'abord une image binaire en deux (ou plus) dimensions de la totalité du milieu.

35 Sur cette image binaire est déterminée une zone d'exclusion EXA dans laquelle est localisé le réflecteur cohérent COH. Ensuite, cette image binaire est utilisée pour former l'image finale

avec les données échographiques. Dans ce cas, sur l'image binaire, la zone d'exclusion telle que représentée sur les figure 5 et 6a est connue dans sa totalité, à la différence de la mise en œuvre présentée auparavant.

La figure 7 représente le résultat de l'invention et les avantages de celle-ci. La figure 7 porte, sur un diagramme, l'amplitude des échos obtenus au niveau d'un réflecteur ponctuel en fonction du numéro des éléments de transducteur et donc de la position du faisceau d'émission sur la barrette d'éléments. Les courbes de la figure 7 correspondent à une réflexion sur un réflecteur ponctuel. La courbe TS correspond à la réponse échographique du diffuseur connaissant la vraie vitesse du son du milieu. Dans le milieu réel, cette vitesse du son réelle n'est cependant pas homogène et des aberrations de phases sont introduites dans le milieu conduisant à une courbe WS qui est le résultat obtenu avec des délais uniquement corrigés par correction géométrique, pour une vitesse du son supposée. Cette courbe ne permet pas une bonne localisation du réflecteur cohérent. L'utilisation de la corrélation pour la formation de l'image conduit à l'obtention de la courbe CS. On remarque que la corrélation permet de retrouver l'amplitude du pic obtenue avec la vraie vitesse du son. Cependant, la résolution latérale est médiocre par rapport à la courbe correspondant à la vraie vitesse du son TS. La courbe CVS représente l'amplitude de l'écho obtenue pour ce même réflecteur cohérent en utilisant l'invention. On constate la nette amélioration de la résolution latérale par rapport à la courbe CS où la corrélation est utilisée à toutes les profondeurs et pour toutes les positions du faisceau. En effet lorsque le faisceau est centré sur l'élément 16, ce qui correspond à la position du faisceau pour laquelle celui-ci est centré sur le réflecteur cohérent, les délais ne souffrent pas de l'utilisation de la corrélation et sont toujours justes. Le pic obtenu est donc exact. Le problème d'élargissement du pic est en effet uniquement posé pour les positions du faisceau voisines de celle pour laquelle le faisceau est centré sur le réflecteur. Selon l'invention, les valeurs des délais au voisinage du réflecteur ponctuel sont calculées à partir de valeurs de délais pour des points situés dans la zone où aucun réflecteur cohérent n'a été détecté grâce à la forme de la zone d'exclusion. Ces délais correspondant à des zones situées loin du réflecteur ne subissent pas l'influence de la présence du réflecteur ponctuel dans le faisceau. C'est ainsi que la courbe CVS présente un pic bien défini très proche de celui correspondant à la vraie vitesse du son.

La figure 8 représente schématiquement un système dans lequel est mis en œuvre un procédé selon l'invention. Ce système inclut une sonde de réception de signaux échographiques REC incluant des éléments de réception EL. Ladite sonde REC est reliée par des moyens classiques à des moyens de construction REB d'images échographiques. Ces moyens de construction REB peuvent être complétés par des moyens de traitement de données classiquement utilisés en imagerie ultrasonore. Ces moyens classiques sont

simplement juxtaposés aux moyens de construction de signaux échographiques, généralement sans interaction avec les moyens de construction de signaux échographiques ou avec des interactions qui n'affectent pas le principe de l'invention explicité dans la description présentée ci-après des moyens de construction de signaux échographiques REB.

5 Ces moyens classiques ne sont pas décrits ici. Avantageusement ces moyens classiques incluent des moyens pour recalcr par une correction géométrique les signaux reçus $S[1]$ à $S[N]$ par les éléments EL de la sonde REC. Cette étape est, en général, réalisée dans tout appareil ultrasonore pour ensuite permettre de reconstruire l'écho du milieu. Selon l'invention, les moyens de construction de signaux échographiques REB traitent les données

10 en fonction de la profondeur Z (ou, de manière équivalente, du temps de réception). Ce traitement des données en fonction de la profondeur Z est figuré dans le diagramme schématique de la figure 8 par des moyens de sélection SEL qui permettent de sélectionner des portions de signaux correspondant à des zones de profondeurs moyennes Z données du milieu. Les signaux sont alors caractérisés par la profondeur d'où ils proviennent :

15 $S[Z,1]...S[Z,N]$. Les moyens de construction de signaux échographiques incluent des moyens de détermination DET de zone d'exclusion où est détecté au moins un réflecteur cohérent ponctuel. Ces moyens de détermination DET travaillent, par exemple, selon le procédé décrit sur la figure 4 et mettent généralement en œuvre des moyens logiciels de traitement des données. Notamment une étape d'incrémentatation de la profondeur INC permet une

20 détermination des zones d'exclusion sur toute la profondeur du milieu insonifiée par le faisceau d'ultrasons. Ces moyens de détermination DET sont complétés dans la pratique par des moyens de labellisation de zone LAB qui donnent un label $BP[Z]$ à la zone de profondeur Z sur la ligne d'excitation correspondant aux échos reçus. Ces moyens de labellisation de zone permettent à des moyens de test TST pour tester la nature de la profondeur Z sur la

25 ligne d'excitation traitée. Si le label $BP[Z]$ est tel que la zone n'est pas qualifiée d'exclusion, les délais sont estimés par des premiers moyens d'estimation CORR des délais qui utilisent par exemple la corrélation des signaux reçus par les éléments adjacents. Ces moyens fonctionnent selon les techniques connues de l'état de la technique. Si le label $BP[Z]$ est tel que la zone est qualifiée d'exclusion, les délais sont estimés par des seconds moyens

30 d'estimation des délais INT qui utilisent par exemple une interpolation des délais à partir de ceux estimés par les premiers moyens d'estimation CORR dans les zones externes aux zones d'exclusion. Enfin des moyens de calcul des signaux échographiques CAL utilisent les délais calculés par les deux moyens d'estimation pour obtenir les signaux échographiques et former une image qui est ensuite affichée sur des moyens d'affichage classiques DIS. Les

35 calculs incluent notamment une sommation des signaux obtenus sur les éléments de transducteur pour une position donnée du faisceau d'émission. Cette sommation est réalisée par des moyens classiques connus de l'homme du métier.

Les moyens de calcul des signaux échographiques CAL peuvent travailler selon les manières connues de l'état de la technique. Selon l'invention, seule l'estimation des délais change, leur utilisation est commune à l'état de la technique. Les moyens d'estimation et de calcul travaillent avantageusement en relation avec une mémoire MEM qui garde les résultats

5 intermédiaires et permet de conserver les données reçues pour les différentes profondeurs et pour les différentes positions de la ligne d'excitation du milieu. Une interface utilisateur UIF est avantageusement reliée aux moyens de construction de signaux échographiques REB pour le contrôle de ces moyens et leur paramétrage : par exemple, la modification de la

10 l'utilisateur ainsi que la valeur de l'incrément en profondeur qui déterminent la précision de la détection.

L'invention permet d'obtenir une détection accrue des réflecteurs cohérents au sein d'un milieu homogène pour lequel des signaux bruités (« speckle » en anglais) sont obtenus, signaux au sein desquels il est généralement difficile de détecter des réflecteurs cohérents

15 avec les moyens connus. De plus, on obtient selon l'invention une très bonne résolution latérale de ces réflecteurs ponctuels.

Les moyens présentés auparavant pour réaliser les fonctions présentées dans les étapes du procédé selon l'invention peuvent être intégrés en tant qu'application additionnelle dans un appareil classique ultrasonore ou être mis en œuvre dans un appareil indépendant

20 destiné à être relié à un appareil classique ultrasonore pour réaliser les fonctions selon l'invention. Il existe de nombreuses façons de mettre en œuvre les fonctions présentées dans les étapes des procédés selon l'invention par des moyens logiciels et/ou matériels accessibles à l'homme du métier. C'est pourquoi les figures sont schématiques. Ainsi, bien que les figures montrent différentes fonctions réalisées par différents blocs, cela n'exclut pas

25 qu'un seul moyen logiciel et/ou matériel permette de réaliser plusieurs fonctions. Cela n'exclut pas non plus qu'une combinaison de moyens logiciels et/ou matériels permettent de réaliser une fonction. Bien que cette invention ait été décrite en accord avec les modes de réalisation présentés, un homme du métier reconnaîtra immédiatement qu'il existe des variantes aux modes de réalisation présentés et que ces variantes restent dans l'esprit et

30 sous la portée de la présente invention. Ainsi, de nombreuses modifications peuvent être réalisées par un homme du métier sans pour autant s'exclure de l'esprit et de la portée définies par les revendications suivantes.

Revendications :

1. Système d'imagerie ultrasonore pour former une image échographique d'un milieu incluant :
 - un ensemble d'éléments transducteurs qui travaillent en transmission et en réception d'ondes ultrasonores,
 - 5 - des moyens de construction de signaux échographiques à partir de signaux reçus sur lesdits éléments transducteurs,
 - des moyens d'affichage couplés aux dits moyens de construction pour afficher une image du milieu formée avec les signaux échographiques, lesdits moyens de construction incluant :
 - des moyens de détermination de zones dite d'exclusion dans lesquelles au moins un réflecteur
 10 cohérent est détecté,
 - des premiers moyens d'estimation des délais de réception pour les zones externes aux dites zones d'exclusion,
 - des seconds moyens d'estimation des délais de réception pour les zones d'exclusion à partir des délais estimés dans les zones externes aux dites zones d'exclusion,
 - 15 - des moyens de calcul des signaux échographiques à partir desdits délais estimés.
2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les seconds moyens d'estimation des délais de réception des signaux pour la zone d'exclusion mettent en œuvre une interpolation des délais au sein de ladite zone d'exclusion à partir des délais estimés par les
 20 premiers moyens d'estimation dans les zones externes à ladite zone d'exclusion.
3. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que les éléments de transducteur travaillant en émission de manière à ce que l'excitation du milieu soit réalisée sous la forme d'un faisceau centré sur un des éléments selon une direction dite de focalisation,
 25 l'interpolation des délais au sein de la zone d'exclusion à partir des délais estimés dans les zones externes à ladite zone d'exclusion est une interpolation linéaire selon la profondeur.
4. Système selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les premiers moyens d'estimation des délais de réception des signaux d'écho pour les zones externes à ladite
 30 zone d'exclusion mettent en œuvre une corrélation des délais dans les zones externes à la zone d'exclusion.
5. Procédé pour imager un milieu avec des ultrasons incluant les étapes de :
 - transmission d'énergie ultrasonore dans le milieu ;
 - 35 - réception d'ondes ultrasonores en réponse à l'énergie ultrasonore transmise par des éléments de transducteur;
 - construction de signaux échographiques à partir des signaux reçus par lesdits éléments

transducteurs,

- affichage pour afficher une image du milieu formée avec les signaux échographiques construits,

ladite étape de construction incluant :

- 5
 - une étape de détermination d'une zone dite d'exclusion où un réflecteur ponctuel est détecté,
 - une première étape d'estimation des délais de réception pour les zones externes à ladite zone d'exclusion,
 - une seconde étape d'estimation des délais de réception pour la zone d'exclusion à partir des délais estimés dans les zones externes à ladite zone d'exclusion,
- 10
 - une étape de calcul des signaux échographiques à partir desdits délais estimés.

- 6. Produit programme d'ordinateur destiné à être exécuté par un processeur mis en œuvre au sein d'un appareil selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il inclut un ensemble d'instructions pour exécuter les étapes d'un procédé d'analyse tel que revendiqué
- 15 dans la revendication 5.

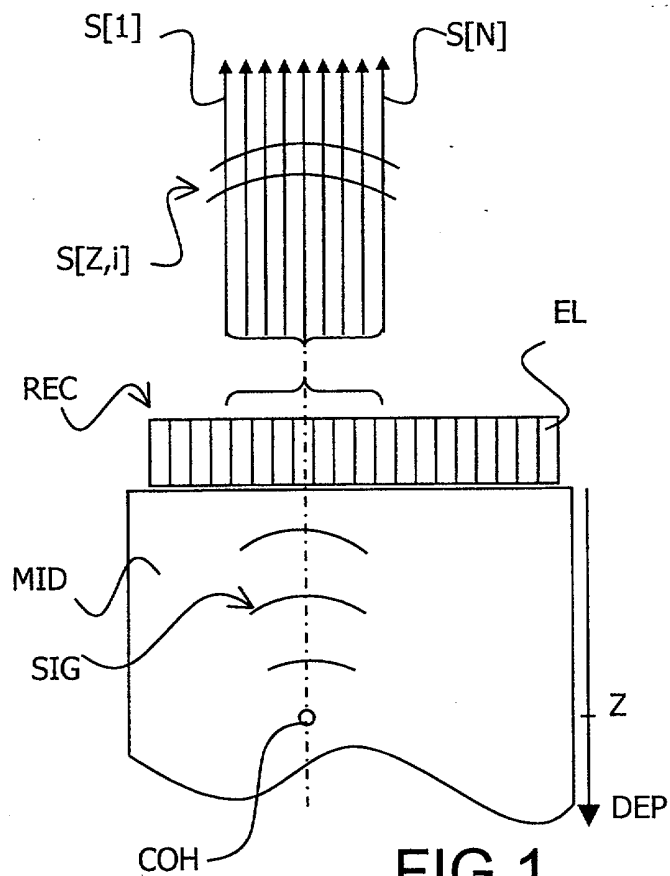


FIG. 1

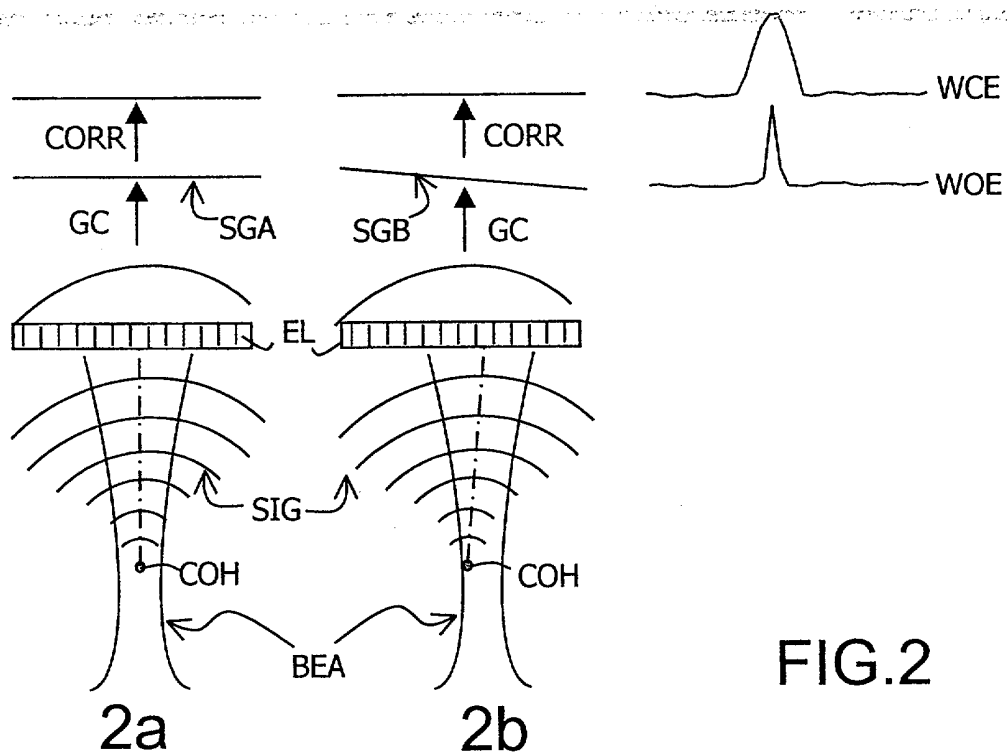


FIG. 2

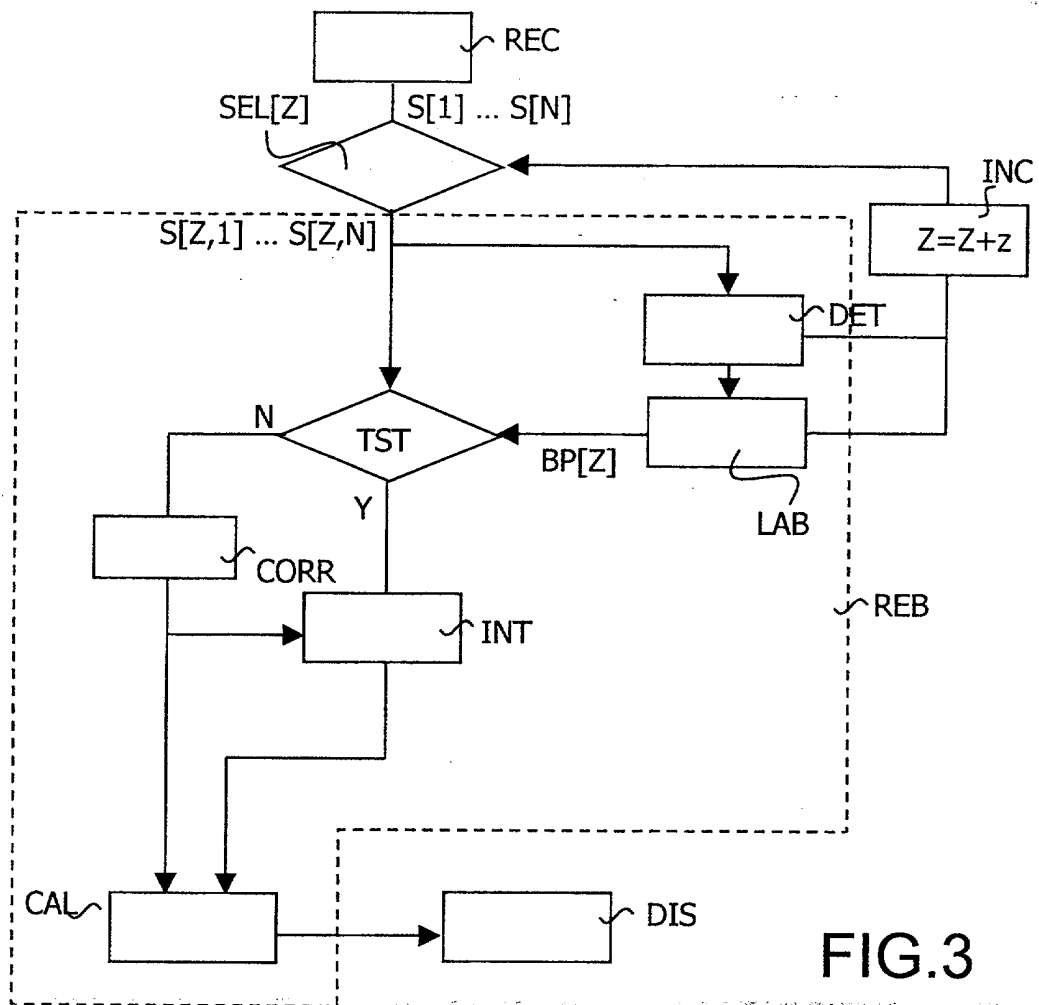


FIG. 3

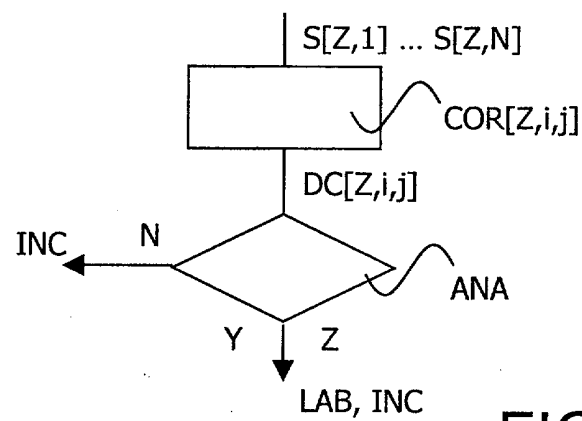


FIG. 4

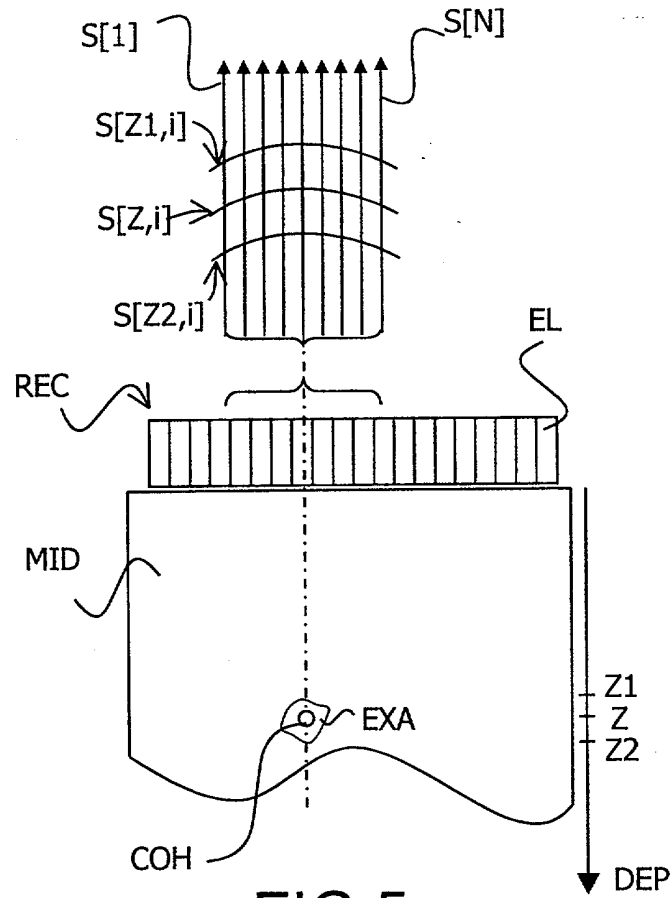


FIG. 5

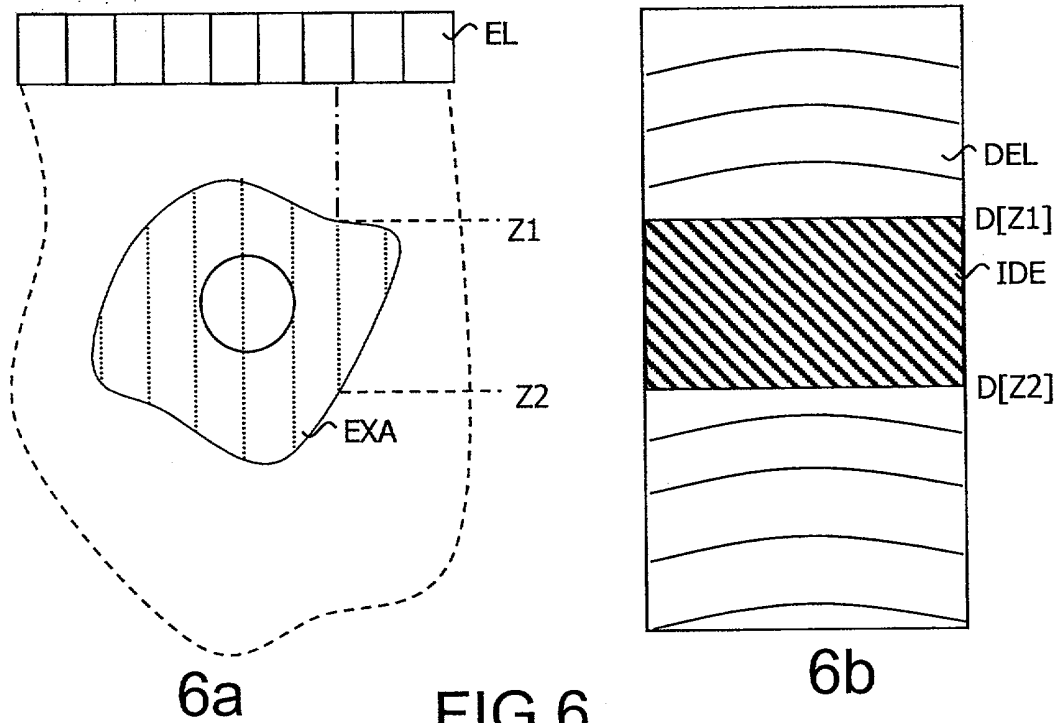


FIG. 6

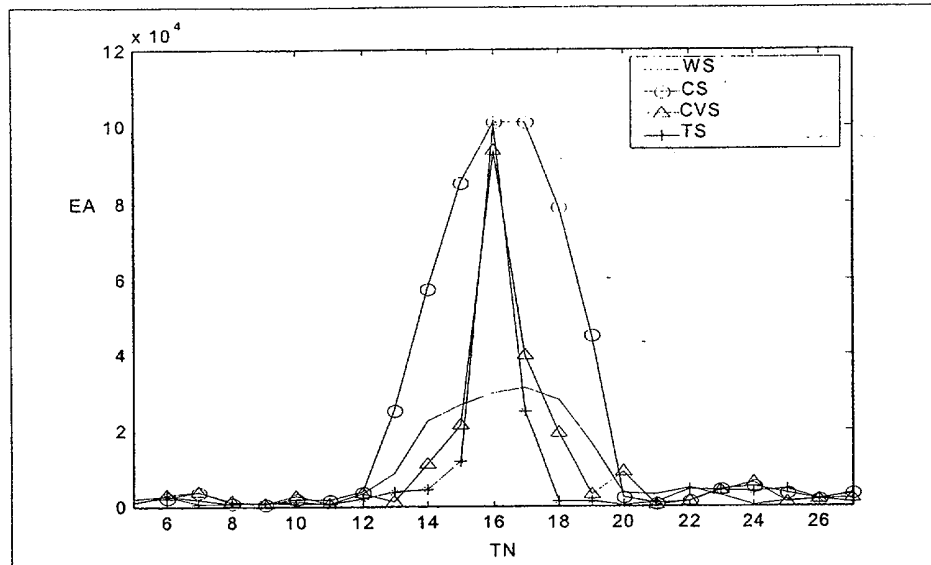


FIG. 7

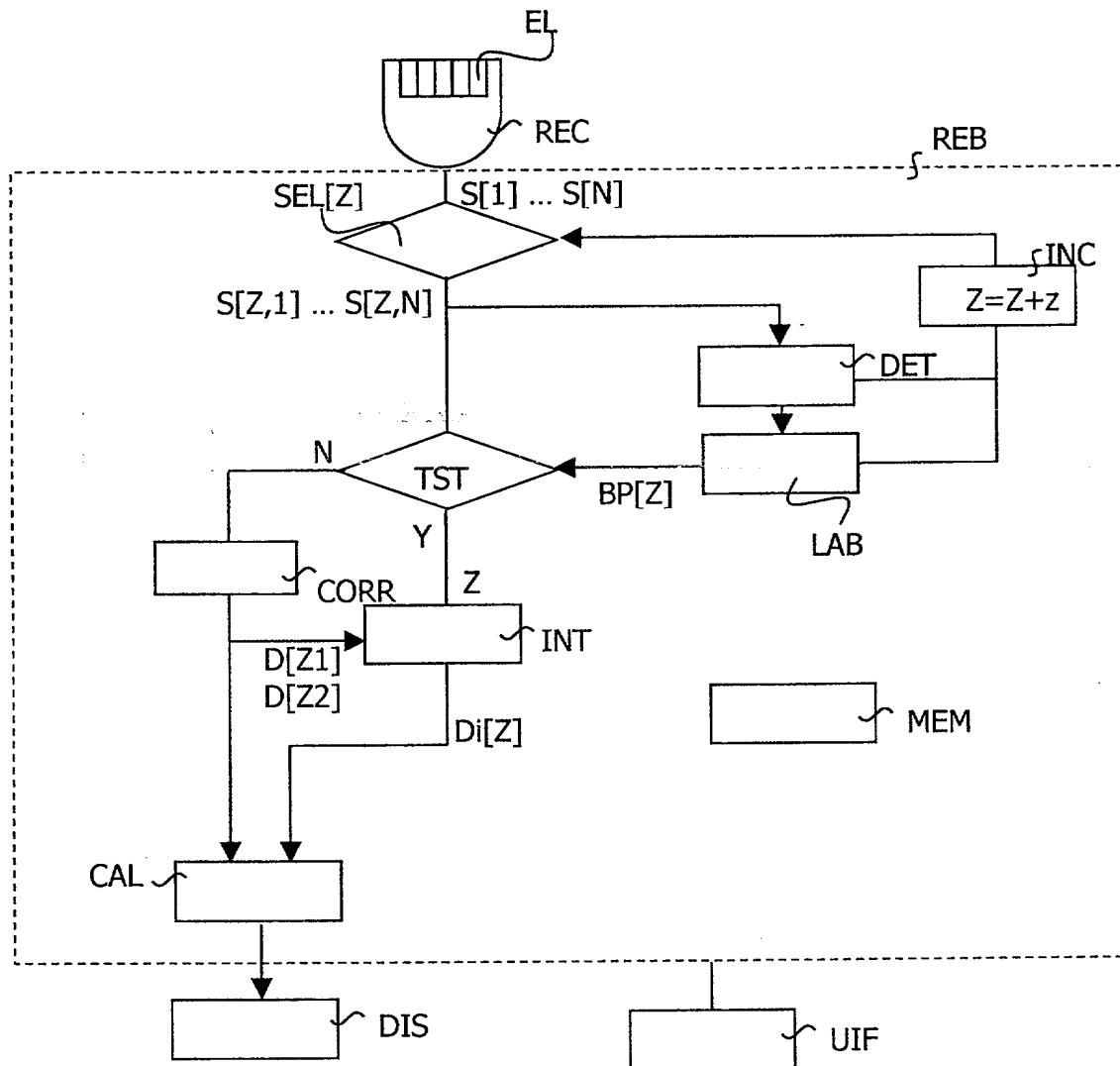


FIG. 8

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 618149
FR 0205439

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 6 120 450 A (LI YUE) 19 septembre 2000 (2000-09-19) * abrégé * * colonne 6, ligne 50 - colonne 21, ligne 19 * * figures 1,4,6,8-10,13 *	1-6	G01S7/52 A61B8/14
D,A	FLAX S W ET AL: "Phase-aberration correction using signals from point reflectors and diffuse scatterers: basic principles", IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL, NOV. 1988, USA, VOL. 35, NR. 6, PAGE(S) 758 - 767 XP002229375 ISSN: 0885-3010 * page 758 - page 767 *	1,4-6	
A	US 5 184 623 A (MALLART RAOUL) 9 février 1993 (1993-02-09)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 janvier 2003		Jacobs, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0205439 FA 618149

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-01-2003**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6120450 A	19-09-2000	AU 718764 B2	20-04-2000
		AU 4475096 A	14-08-1996
		WO 9623387 A1	01-08-1996
		JP 11503927 T	06-04-1999
		US 6027447 A	22-02-2000
US 5184623 A	09-02-1993	FR 2662815 A1	06-12-1991
		DE 69106049 D1	02-02-1995
		DE 69106049 T2	06-07-1995
		EP 0459583 A1	04-12-1991
		IL 98279 A	11-11-1994
		JP 4231033 A	19-08-1992