

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :

**2 966 264**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

**11 59338**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 06 F 17/10** (2012.01), G 01 V 1/28

①2

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 17.10.11.

③0 Priorité : 15.10.10 CN 201010507993.3.

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 20.04.12 Bulletin 12/16.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION — CN et SINOPEC GEOPHYSICAL RESEARCH INSTITUTE — CN.

⑦2 Inventeur(s) : ZHICHENG LIU, JIN'E XIE, QINYONG YANG, XINBIAO DUAN et WULIANG SUN.

⑦3 Titulaire(s) : CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION, SINOPEC GEOPHYSICAL RESEARCH INSTITUTE.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET HIRSCH & PARTNERS.

⑤4 PROCÉDE DE TRAITEMENT ET DISPOSITIF POUR SIMULER ET AJOUTER DU BRUIT A DES SIGNAUX NUMERIQUES.

⑤7 La présente invention concerne un procédé de synthèse du bruit de changement de couleur, qui comprend les étapes suivantes consistant à : collecter de signaux numériques cibles ou traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit; générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc; effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur. De plus, l'invention concerne en outre un procédé et un dispositif pour effectuer la simulation et le traitement d'ajout de bruit en utilisant le bruit de changement de couleur.

**FR 2 966 264 - A1**



PROCEDE DE TRAITEMENT ET DISPOSITIF POUR SIMULER ET AJOUTER  
DU BRUIT A DES SIGNAUX NUMERIQUES

**DOMAINE TECHNIQUE**

5 L'invention concerne le domaine technique du traitement de signaux numériques, en particulier un procédé de traitement et un dispositif pour simuler et ajouter du bruit à des signaux numériques dans le domaine du traitement de signaux numériques tel que le domaine des informations électroniques, la communication (en particulier la communication sans fil), les sciences biomédicales, l'accentuation d'image, le  
10 traitement de signaux radars et géophysiques (en particulier pour le traitement de données sismiques).

**CONTEXTE DE L'INVENTION**

Dans le domaine du traitement des signaux numériques, tel que le domaine du  
15 traitement de signaux géophysiques (en particulier le traitement de données sismiques), des informations électroniques, des sciences biomédicales, du radar, de la communication et du traitement d'image, etc., l'ajout de bruit aux signaux numériques est généralement requis pour le traitement de simulation de signaux. Par exemple, pendant le traitement de données sismiques, il est généralement nécessaire  
20 de supprimer le bruit pour augmenter le rapport signal-sur-bruit. En particulier pour un bruit régulier, tel qu'une onde multiple, une onde diffusée et une onde superficielle, etc., celui-ci doit généralement être éliminé ou supprimé en adoptant un procédé de filtrage multidimensionnel. Cependant, un procédé de filtrage multidimensionnel peut produire un effet de distorsion de repliement, et un des  
25 résultats causés par cet effet est que la section temporelle de sortie est trop inflexible. Par conséquent, il est particulièrement nécessaire d'effectuer un traitement de simulation et d'ajout de bruit sur les groupes de traces après filtrage multidimensionnel.

30 Les procédés existants d'ajout de bruit aux signaux numériques peuvent être divisés en deux types, l'un consiste à ajouter du bruit blanc aux signaux numériques, et l'autre à ajouter du bruit coloré à des signaux numériques.

Le bruit blanc désigne le signal de bruit aléatoire dont la densité de puissance est une  
35 constante dans une plage de fréquence illimitée, et les propriétés d'un échantillon sont non corrélées à celles d'un autre, ce qui représente la stochasticité des signaux à un certain degré. Le bruit coloré désigne le signal de bruit aléatoire dont la densité de puissance varie avec les fréquences de signal, et il peut être identifié en fonction de

la sensibilité à différentes plages de fréquence. Le bruit coloré commun comprend le bruit rose, le bruit rouge, le bruit orange, le bruit bleu, le bruit violet, le bruit gris, le bruit brun et le bruit noir (bruit statique). Actuellement, des études sur le bruit dans le domaine du traitement de signaux numériques sont encore au stade de l'identification  
5 du bruit, tandis que l'étude de la synthèse de nouveau bruit est pratiquement inexistante.

Comme mentionné précédemment, le traitement d'ajout de bruit dans l'art antérieur est généralement l'ajout de bruit blanc ou de bruit coloré aux signaux ou traces de  
10 signaux cibles. En particulier, dans l'art antérieur,  $S'_i(t)$  est la trace de signal avec ajout de bruit obtenu en ajoutant directement une trace de signal de bruit blanc aux traces de signaux cibles, ce qui est un des procédés d'ajout de bruit conventionnels (la figure 3 et la figure 8 représentent respectivement la section temporelle et le spectre du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit). Il a une expression  
15 générale du type  $S'_i(t) = S_i(t) + \mu N_i(t)$ , où  $S_i(t)$  est la trace du signal cible qui doit être soumise au traitement d'ajout de bruit et de simulation (la figure 1 et la figure 6 représentent la section temporelle et le spectre du groupe de traces de signaux cibles, respectivement),  $N_i(t)$  est la trace du signal de bruit blanc (la figure 2 et la figure 7  
20 représentent respectivement la section temporelle et le spectre du groupe de traces de signaux de bruit blanc),  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité,  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de traces de signaux.

Il peut être observé sur la figure 3 et la figure 8 que le procédé d'ajout de bruit consistant à ajouter directement du bruit blanc au signal ou à la trace du signal cible  
25 ne peut pas réellement refléter ou restaurer le système de forme d'onde original, de sorte qu'il a un faible degré de simulation. De manière similaire, le procédé d'ajout de bruit consistant à ajouter directement du bruit coloré au signal cible ne peut pas réellement refléter ou restaurer le système de forme d'onde original, de sorte qu'il a un faible degré de simulation.

30

### RÉSUMÉ DE L'INVENTION

Afin de résoudre un ou plusieurs des problèmes mentionnés ci-dessus présents dans l'art antérieur, l'invention concerne un nouveau procédé de génération de bruit pour effectuer un traitement de simulation et d'ajout de bruit dans le domaine du  
35 traitement de signaux numériques, qui génère un nouveau bruit synthétique. Ce nouveau bruit synthétique est un bruit aléatoire naturel et réaliste, et le signal ou trace de signal qui est soumis à un ajout de bruit par le nouveau bruit a un degré de simulation extrêmement élevé.

L'invention concerne un procédé de génération de bruit de changement de couleur, qui comprend les étapes suivantes consistant à :

Étape 1 : collecter des signaux numériques cibles ou des traces de signaux numériques cibles ;

Étape 2 : générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc ;

Étape 3 : effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur, ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur.

Les signaux ou traces de signaux de bruit de changement de couleur sont des signaux ou traces de signaux numériques obtenus en exécutant une opération de convolution sur les signaux ou traces de signaux numériques cibles et les signaux ou traces de signaux de bruit blanc.

De préférence, le signal de bruit de changement de couleur est représenté par  $\hat{N}(t)$ , qui est exprimé par  $\hat{N}(t) = N(t) * S(t)$  où,  $N(t)$  représente le signal de bruit blanc,  $S(t)$  représente le signal cible qui doit être soumis au traitement d'ajout de bruit,  $t$  représente le temps, et l'opérateur « \* » représente l'opération de convolution.

De préférence, la trace de signal de bruit de changement de couleur est représentée par  $\hat{N}_i(t)$ , qui est exprimé par  $\hat{N}_i(t) = N_i(t) * S_i(t)$  où,  $N_i(t)$  représente la trace de signal de bruit blanc,  $S_i(t)$  représente la trace de signal cible qui doit être soumise au traitement d'ajout de bruit,  $i$  représente le numéro de séquence des traces de signaux,  $t$  représente le temps, et l'opérateur « \* » représente l'opération de convolution.

Selon une variante, l'étape 3 comprend en outre une sous-étape consistant à effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ , ou à effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de traces de signaux.

Selon une variante, l'étape 3 comprend en outre une sous-étape consistant à :

- effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les

traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  ;

5 - effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  ;

où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal et  $\omega$  représente la fréquence.

10

Selon une variante, l'étape 3 comprend en outre une sous-étape consistant à effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel

15  $\hat{N}(\omega)$ , ou à effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  ;

effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement

20 de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  ;

où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$

25 représente la fréquence.

Selon un autre aspect de l'invention, un procédé pour effectuer la simulation et l'ajout de bruit à des signaux numériques est prévu, qui comprend les étapes suivantes consistant à :

30 Étape 1 : collecter les signaux numériques cibles ou les traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;

Étape 2 : générer les signaux de bruit blanc ou les traces de signaux de bruit blanc ;

Étape 3 : effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de

35 couleur, ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ;

Étape 4 : ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés aux signaux

numériques cibles, ou ajouter les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées aux traces de signaux numériques cibles.

Selon une variante, l'étape 3 comprend en outre une sous-étape consistant à effectuer  
 5 une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de  
 bruit blanc  $N(t)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ ,  
 ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  
 $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer des traces de signaux de  
 bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le  
 10 numéro de séquence de trace de signal.

Selon une variante, l'étape 3 comprend en outre une sous-étape consistant à effectuer  
 une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de  
 signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le  
 15 domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le  
 domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  ;  
 effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces  
 de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le  
 domaine fréquentiel  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine  
 20 fréquentiel  $N_i(\omega)$  ;  
 où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de traces de signaux et  $\omega$   
 représente la fréquence.

Selon une variante, l'étape 3 comprend en outre une sous-étape consistant à effectuer  
 25 une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine  
 fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour  
 générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  
 $\hat{N}(\omega)$ , ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux  
 numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit  
 30 blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit  
 de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  ;  
 effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement  
 de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de  
 changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux  
 35 de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de  
 changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  ;  
 où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$   
 représente la fréquence.

Selon une variante, le traitement d'ajout de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape 4 est effectué conformément à l'équation suivante :

$$5 \quad \hat{S}(t) = S(t) + \mu \hat{N}(t)$$

où  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité et  $t$  représente le temps.

Selon une variante, le traitement d'ajout de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape 4 est effectué conformément à l'équation suivante :

$$10 \quad \hat{S}_i(t) = S_i(t) + \mu \hat{N}_i(t)$$

où  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité et  $t$  représente le temps.

15 Selon une variante, les traces de signaux numériques cibles sont les traces de signaux de données sismiques filtrées de façon multidimensionnelle.

Selon un autre aspect supplémentaire de l'invention, un dispositif pour simuler et ajouter du bruit à des signaux numériques est prévu, qui comprend :

20 des moyens d'entrée pour entrer les signaux numériques cibles ou traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;

des moyens de génération de bruit blanc pour générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc ;

25 des moyens de génération de bruit de changement de couleur, qui sont couplés aux moyens d'entrée et aux moyens de génération de bruit blanc, et sont configurés pour effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les

signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur, ou pour effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques

30 cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ;

des moyens de traitement d'ajout de bruit, qui sont couplés aux moyens d'entrée et aux moyens de génération de bruit blanc, et sont configurés pour ajouter les signaux

de bruit de changement de couleur générés aux signaux numériques cibles, ou pour ajouter les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées aux traces

35 de signaux numériques cibles.

Selon une variante, les moyens de génération de bruit de changement de couleur sont en outre configurés pour effectuer une opération de convolution sur les signaux

numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  pour générer les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ , ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal.

Selon une variante, les moyens de génération de bruit de changement de couleur sont en outre configurés pour effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  ; et effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  ; où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$  représente la fréquence.

Selon une variante, les moyens de génération de bruit de changement de couleur sont en outre configurés pour effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$ , ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  ; et effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$  représente la fréquence.

Selon une variante, les moyens de traitement d'ajout de bruit sont en outre configurés pour effectuer le traitement d'ajout de bruit conformément à l'équation suivante :  $\hat{S}(t) = S(t) + \mu\hat{N}(t)$  , où  $S(t)$  est le signal numérique cible à soumettre au traitement



d'ajout de bruit,  $\hat{N}(t)$  est le signal de bruit de changement de couleur,  $\hat{S}(t)$  est le signal numérique avec ajout de bruit,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, et  $t$  représente le temps.

- 5 Selon une variante, les moyens de traitement d'ajout de bruit sont en outre configurés pour effectuer le traitement d'ajout de bruit conformément à l'équation suivante :
- $$\hat{S}_i(t) = S_i(t) + \mu \hat{N}_i(t)$$
- 10 où  $S_i(t)$  est la trace de signal numérique cible,  $\hat{N}_i(t)$  est la trace de signal de bruit de changement de couleur,  $\hat{S}_i(t)$  est le signal numérique avec ajout de bruit cible,  $i$  représente le numéro de séquence de la trace de signal,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, et  $t$  représente le temps.

Selon une variante, les traces de signaux numériques cibles sont les traces de signaux des données sismiques filtrées de façon multidimensionnelle.

- 15 Selon une variante, le dispositif est utilisé pour simuler et ajouter du bruit aux signaux sismiques filtrés de façon multidimensionnelle pendant le traitement de l'onde sismique.

20 L'invention peut être largement appliquée au domaine technique du traitement de signaux numériques, tel que le domaine des informations électroniques, la communication (en particulier la communication sans fil), les sciences biomédicales, l'accentuation d'image, le traitement de signal radar et géophysique (en particulier pour le traitement de données sismiques), pour effectuer un traitement d'ajout de bruit idéal. Par exemple, lorsque l'invention est appliquée pour traiter les signaux

25 sismiques, les traces de signaux numériques cibles seraient les traces de signaux obtenues après un filtrage multidimensionnel des signaux sismiques numériques. Au moyen de l'invention, un traitement de simulation et d'ajout de bruit idéal peut être effectué sur les signaux sismiques filtrés de façon multidimensionnelle.

- 30 En comparant la sortie spectrale des signaux ou traces de signaux auxquels est ajouté le bruit de changement de couleur avec la sortie spectrale des signaux ou traces de signaux auxquels du bruit blanc ou bruit coloré est ajouté, il peut être observé que les signaux, traces de signaux ou groupe de traces de signaux qui ont été soumis à un
- 35 ajout de bruit en utilisant le bruit de changement de couleur de l'invention ont un degré de simulation extrêmement élevé, de sorte que le bruit de changement de couleur de l'invention est un bruit aléatoire synthétique naturel et réaliste.

**BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES**

Afin de décrire les modes de réalisation exemplaires de la présente invention de façon plus détaillée, il est fait référence ci-après aux figures annexées, pour que les aspects, caractéristiques et avantages de la présente invention soient compris de façon plus approfondie. Sur les figures :

- la figure 1 est un graphique illustrant la section temporelle du groupe de traces de signaux cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit et de simulation ;
- la figure 2 est un graphique illustrant la section temporelle du groupe de traces de signaux de bruit blanc ;
- la figure 3 est un graphique illustrant la section temporelle du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit obtenu en ajoutant directement des traces de signaux de bruit blanc aux traces de signaux cibles selon l'art antérieur ;
- la figure 4 est un graphique illustrant la section temporelle du groupe de traces de signaux du nouveau bruit aléatoire (c'est-à-dire, le bruit de changement de couleur) généré selon l'invention ;
- la figure 5 est un graphique illustrant la section temporelle du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit obtenu en ajoutant les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées selon l'invention aux traces de signaux cibles ;
- la figure 6 est un graphique illustrant le spectre du groupe de traces de signaux cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;
- la figure 7 est un graphique illustrant le spectre du groupe de traces de signaux de bruit blanc ;
- la figure 8 est un graphique illustrant le spectre du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit obtenu en ajoutant directement les traces de signaux de bruit blanc aux traces de signaux cibles selon l'art antérieur ;
- la figure 9 est un graphique illustrant le spectre du groupe de traces de signaux de bruit de changement de couleur généré selon l'invention ;
- la figure 10 est un graphique illustrant le spectre du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit obtenu en ajoutant les traces de bruit de changement de couleur générées selon l'invention aux traces de signaux cibles ;
- la figure 11 est un graphique illustrant le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) d'un groupe d'ensemble de CMP originaux (c'est-à-dire des groupes de Common Midpoint (point central commun)) collectés dans une zone de travail de prospection sismique selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;
- la figure 12 est un graphique illustrant le spectre des ensembles de CMP originaux comme représenté sur la figure 11 ;

la figure 13 est un graphique illustrant le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles de CMP obtenus en éliminant l'interférence multi-onde pour les groupes de CMP originaux comme représenté sur les figures 11 et 12 ;

5 la figure 14 est un graphique illustrant le spectre des ensembles de CMP obtenus en débruitant les ensembles de CMP ayant l'interférence multi-onde éliminée comme représenté sur la figure 13.

la figure 15 est un graphique illustrant le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles  
10 de CMP obtenus en ajoutant un bruit blanc aux ensembles de signaux comme représenté sur la figure 13 ;

la figure 16 est un graphique illustrant le spectre des ensembles de CMP obtenus en ajoutant du bruit blanc à l'ensemble de traces de signaux comme décrit sur la figure 13 ;

15 la figure 17 est un graphique illustrant le spectre des ensembles de CMP soumis à un filtrage passe-bande obtenus par filtrage passe-bande filtrant les ensembles de CMP auxquels un bruit blanc est ajouté comme représenté sur la figure 15 et la figure 16 ;

la figure 18 est un graphique illustrant le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles  
20 de CMP obtenus en ajoutant 30 % du bruit original (c'est-à-dire, un bruit coloré) à l'ensemble de traces de signaux représenté sur la figure 13 selon l'art antérieur ;

la figure 19 est un graphique illustrant le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles  
25 de CMP obtenus en ajoutant 30 % du bruit de changement de couleur à l'ensemble de traces de signaux (c'est-à-dire, l'ensemble de traces de signaux cibles) représenté sur la figure 13 selon l'invention ;

la figure 20 est un graphique illustrant le spectre des ensembles de CMP auxquels est ajouté un bruit de changement de couleur comme représenté sur la figure 19 ;

la figure 21 est un organigramme exposant la mise en œuvre dans un domaine  
30 temporel du procédé de simulation et d'ajout de bruit selon l'invention ;

la figure 22 est un organigramme exposant la mise en œuvre dans un domaine fréquentiel du procédé de simulation et d'ajout de bruit selon l'invention ;

la figure 23 représente le dispositif de simulation et d'ajout de bruit selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

35

Il doit être noté que, sur toutes les figures exposant des sections temporelles, l'axe horizontal représente le numéro de séquence de la trace de signal, et l'axe vertical représente le temps (t) ; dans tous les spectres, l'axe horizontal représente la

fréquence (f) et l'axe vertical représente l'amplitude ( $|A|$ ) ; et dans tous les spectres de vitesse, l'axe horizontal représente la vitesse (v) et l'axe vertical représente le temps (t).

## 5 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

Certains termes sont utilisés pour désigner des composants spécifiques d'un système dans l'ensemble de la demande. Comme il apparaîtra à l'homme du métier, différents noms peuvent généralement être utilisés pour indiquer le même composant, de sorte que ce document de demande n'est pas destiné à distinguer les composants qui sont  
10 nommés différemment mais ont la même fonction. Dans la présente demande, les termes « comprendre », « inclure », « avoir » sont utilisés de façon ouverte, de sorte qu'ils doivent être entendus comme « comprend mais non limité à... ». De plus, le terme « coupler » ou « couple » est destiné à désigner une connexion électrique indirecte ou directe. Par conséquent, si un premier dispositif est couplé à un  
15 deuxième dispositif, la connexion peut être réalisée par connexion électrique directe ou par connexion électrique indirecte par l'intermédiaire d'autres dispositifs et connexions.

L'invention est décrite ci-dessous en référence aux figures.

20

Comme décrit précédemment, les procédés antérieurs pour ajouter du bruit à des signaux numériques peuvent être divisés en deux types, l'un est l'ajout de bruit blanc à des signaux numériques, et l'autre est l'ajout de bruit coloré à des signaux numériques. Cependant, ces deux types de procédés d'ajout de bruit peuvent ne pas  
25 refléter réellement ou restaurer le système de forme d'onde original, de sorte qu'ils ont un faible degré de simulation, comme représenté sur la figure 3, la figure 6, la figure 7 et la figure 8.

La figure 6 représente le spectre du groupe de traces de signaux cibles  $S_i(t)$  à  
30 soumettre au traitement d'ajout de bruit, la figure 7 représente le spectre du groupe de traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$ , la figure 3 représente la section temporelle du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit  $S'_i(t)$  obtenu en ajoutant directement des traces de signaux de bruit blanc aux traces de signaux cibles selon l'art antérieur, et la figure 8 représente le spectre du groupe de traces de signaux avec  
35 ajout de bruit  $S'_i(t)$  obtenu en ajoutant directement les traces de signaux de bruit blanc aux traces de signaux cibles.

Comme représenté sur la figure 3, dans la section temporelle du groupe de traces de

- signaux avec ajout de bruit  $S_i'(t)$  obtenu en ajoutant directement des traces de signaux de bruit blanc aux traces de signaux cibles, il peut être observé un signe évident de traitement d'ajout de bruit. De plus, à partir du spectre du groupe de traces de signaux avec ajout de bruit  $S_i'(t)$  obtenu en ajoutant les traces de signaux de bruit blanc comme représenté sur la figure 8, il peut également être observé que le bruit blanc ajouté est uniformément distribué dans l'ensemble du domaine fréquentiel. Par conséquent, le traitement conventionnel d'ajout de bruit consistant à ajouter directement le bruit blanc a un faible degré de simulation.
- 5
- 10 Afin de résoudre les déficiences de l'art antérieur, l'invention concerne un procédé pour synthétiser un nouveau bruit (qui est ici appelé bruit de changement de couleur) ainsi qu'un procédé et un dispositif pour effectuer un traitement d'ajout de bruit en utilisant le nouveau bruit.
- 15 Selon le premier mode de réalisation préféré, l'invention concerne un procédé pour synthétiser le bruit de changement de couleur, qui comprend les étapes suivantes consistant à :
- Étape 1 : collecter des signaux numériques cibles ou des traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;
- 20 Étape 2 : générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc ;
- Étape 3 : effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur, ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de
- 25 signaux de bruit de changement de couleur ; et
- Étape 4 : transmettre les signaux de bruit de changement de couleur ou traces de signaux de bruit de changement de couleur générés.
- De préférence, le procédé pour synthétiser le bruit de changement de couleur peut être mis en œuvre dans le domaine temporel, et comprend les étapes suivantes
- 30 lorsqu'il est mis en œuvre dans le domaine temporel consistant à :
- collecter des signaux numériques cibles  $S(t)$  ou des traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  à soumettre au traitement d'ajout de bruit, où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de traces de signaux ;
- générer des signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou des traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  ;
- 35 effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur  $N^\wedge(t)$ , ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer des

traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  ; et transmettre les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  générés.

- 5 De plus, de préférence, le procédé pour synthétiser le bruit de changement de couleur peut également être mis en œuvre dans un domaine fréquentiel, qui comprend les étapes suivantes lorsqu'il est mis en œuvre dans un domaine fréquentiel :
- collecter des signaux numériques cibles  $S(t)$  ou des traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;
- 10 générer des signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou des traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  ; effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$ , où  $\omega$  représente la fréquence et  $i$  représente le numéro de
- 15 séquence de traces de signaux ; effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  ;
- 20 effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$ , ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux
- 25 de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  ; effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux
- 30 de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  ; et transmettre les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  générés.
- 35 Évidemment,  $\hat{N}_i(t)$  généré dans l'invention n'est pas totalement du type de bruit coloré, lorsque  $S_i(t)$  est une trace de signal de bruit blanc,  $\hat{N}_i(t)$  est également une trace de signal de bruit blanc.  $\hat{N}_i(t)$  est un nouveau type de bruit aléatoire variant avec le type de  $S_i(t)$  entre le signal de bruit blanc et le signal de bruit coloré, de sorte

qu'il est appelé bruit de changement de couleur dans l'invention.

Comme représenté sur la figure 4 et la figure 9, le bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  généré dans l'invention est encore un bruit aléatoire, et les caractéristiques de distribution d'énergie (voir la figure 4) de  $\hat{N}_i(t)$  dans la section temporelle  
 5 coïncident avec les caractéristiques de distribution d'énergie des traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$ , et les caractéristiques spectrales (voir la figure 9) de  $\hat{N}_i(t)$  coïncident également avec les caractéristiques spectrales de  $S_i(t)$ .

10 Par conséquent, le résultat de l'analyse montre que le bruit de changement de couleur généré dans l'invention est un bruit aléatoire synthétique relativement naturel et réaliste.

15 Ci-après, le deuxième mode de réalisation préféré de l'invention est décrit comme ci-dessous.

Selon le deuxième mode de réalisation, l'invention concerne un procédé de traitement pour simuler et ajouter du bruit aux signaux numériques, qui comprend les étapes suivantes consistant à :

- 20 Étape 1 : collecter les signaux numériques cibles ou les traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;  
 Étape 2 : générer les signaux de bruit blanc ou les traces de signaux de bruit blanc ;  
 Étape 3 : effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de  
 25 couleur, ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ;  
 Étape 4 : ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés aux signaux numériques cibles, ou ajouter les traces de signaux de bruit de changement de  
 30 couleur générées aux traces de signaux numériques cibles ;  
 Étape 5 : transmettre les signaux numériques ou traces de signaux numériques qui ont subi le traitement d'ajout de bruit.

De préférence, comme représenté sur la figure 21, le procédé de traitement pour  
 35 simuler et ajouter du bruit aux signaux numériques peut être mis en œuvre dans un domaine temporel, et le procédé pour simuler et ajouter du bruit comprend les étapes suivantes lorsqu'il est mis en œuvre dans un domaine temporel consistant à :

- (1) collecter des signaux numériques cibles  $S(t)$  ou des traces de signaux numériques

- cibles  $S_i(t)$  à soumettre au traitement d'ajout de bruit, où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de traces de signaux ;
- (2) générer des signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou des traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  ;
- 5 (3) effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}(t) = N(t) * S(t)$ ) pour générer des signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ , ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}_i(t) = N_i(t) * S_i(t)$ ) pour générer des traces de
- 10 signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  ; et
- (4) ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés  $\hat{N}(t)$  aux signaux numériques cibles  $S(t)$ , ou ajouter les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées  $\hat{N}_i(t)$  aux traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  ; et
- (5) transmettre les signaux numériques  $\hat{S}(t)$  ou les traces de signaux numériques
- 15  $\hat{S}_i(t)$  avec ajout de bruit.

De préférence, le traitement d'ajout de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape (4) ci-dessus est effectué conformément à l'équation  $\hat{S}(t) = S(t) + \mu \hat{N}(t)$ , où  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, qui peut

20 être déterminé par des techniciens conformément au besoin pratique.

De préférence, le traitement d'ajout de traces de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape (4) ci-dessus est effectué conformément à l'équation  $\hat{S}_i(t) = S_i(t) + \mu \hat{N}_i(t)$ , où  $i$  représente le numéro de séquence des traces

25 de signaux, qui est un entier positif ;  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, qui est de préférence un pourcentage compris entre 0 et 1.

De préférence, comme représenté sur la figure 22, le procédé de traitement pour simuler et ajouter du bruit à des signaux numériques peut être mis en œuvre dans un

30 domaine fréquentiel, et le procédé pour simuler et ajouter du bruit comprend les étapes suivantes lorsqu'il est mis en œuvre dans un domaine fréquentiel consistant à :

(1) collecter des signaux numériques cibles  $S(t)$  ou des traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;

(2) générer des signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou des traces de signaux de bruit blanc

35  $N_i(t)$  ;

(3) effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  (c'est-à-dire  $S(\omega) = \text{FFT}\{S(t)\}$ ) ou des traces de



- signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  (c'est-à-dire  $S_i(\omega) = \text{FFT}\{S_i(t)\}$ );
- (4) effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  (c'est-à-dire  $N(\omega) = \text{FFT}\{N(t)\}$ ) ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  (c'est-à-dire  $N_i(\omega) = \text{FFT}\{N_i(t)\}$ );
- (5) effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}(\omega) = N(\omega) \cdot S(\omega)$ ), ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}_i(\omega) = N_i(\omega) \cdot S_i(\omega)$ );
- (6) effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}(t) = \text{FFT}^{-1}\{\hat{N}(\omega)\}$ ) ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}_i(t) = \text{FFT}^{-1}\{\hat{N}_i(\omega)\}$ );
- (7) transmettre les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  générés;
- (8) ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés  $\hat{N}(t)$  aux signaux numériques cibles  $S(t)$ , ou ajouter les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées  $\hat{N}_i(t)$  aux traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$ ; et
- (9) transmettre les signaux numériques  $\hat{S}(t)$  ou les traces de signaux numériques  $\hat{S}_i(t)$  avec ajout de bruit (cette étape n'est pas représentée sur la figure 22).
- 30 De préférence, le traitement d'ajout de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape (8) ci-dessus est effectué selon l'équation  $\hat{S}(t) = S(t) + \mu\hat{N}(t)$ , où  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, qui peut être déterminé par des techniciens selon les besoins pratiques.
- 35 De préférence, le traitement d'ajout de traces de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape (8) ci-dessus est effectué conformément à l'équation  $\hat{S}_i(t) = S_i(t) + \mu\hat{N}_i(t)$ , où  $i$  représente le numéro de séquence des traces de signaux, et  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité.

En comparant la figure 5 (c'est-à-dire la section temporelle de l'ensemble de traces de signaux avec ajout de bruit selon l'invention) à la figure 3 (c'est-à-dire la section temporelle de l'ensemble de traces de signaux avec ajout de bruit selon l'art antérieur) et en comparant la figure 10 (c'est-à-dire le spectre de l'ensemble de traces de signaux avec ajout de bruit selon l'invention) à la figure 8 (c'est-à-dire le spectre de l'ensemble de traces de signaux avec ajout de bruit selon l'art antérieur), il peut être observé clairement que dans la section temporelle (figure 5) ou le spectre (figure 10) des traces de signaux numériques  $S_i^{\wedge}(t)$  obtenues en effectuant un traitement d'ajout de bruit en utilisant le bruit de changement de couleur généré selon l'invention, il n'y a pratiquement pas de signe du traitement d'ajout de bruit. Cela peut prouver que le bruit de changement de couleur généré selon l'invention est un bruit aléatoire synthétique naturel et réaliste, et les signaux cibles ou traces de signaux qui ont subi l'ajout de bruit avec le bruit de changement de couleur ont un degré de simulation extrêmement élevé par rapport aux procédés d'ajout de bruit de l'art antérieur.

Ci-après, le troisième mode de réalisation de l'invention est décrit en référence à la figure 23.

20

La figure 23 représente le troisième mode de réalisation de la présente invention, qui concerne un dispositif de simulation et d'ajout de bruit 100 pour simuler et ajouter du bruit à des signaux numériques, le dispositif comprend :

des moyens d'entrée 101 pour entrer les signaux numériques cibles ou traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;

des moyens de génération de bruit blanc 102 pour générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc ;

des moyens de génération de bruit de changement de couleur 103, qui sont couplés aux moyens d'entrée 101 et aux moyens de génération de bruit blanc 102, et sont configurés pour effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur, ou pour effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ;

des moyens de traitement d'ajout de bruit 104, qui sont couplés aux moyens d'entrée 101 et aux moyens de génération de bruit de changement de couleur 103, et sont configurés pour ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés aux signaux numériques cibles, ou pour ajouter les traces de signaux de bruit de

changement de couleur générées aux traces de signaux numériques cibles ;  
des moyens de sortie 105 pour transmettre les signaux numériques ou traces de  
signaux numériques avec ajout de bruit.

- 5 De préférence, les moyens de génération de bruit de changement de couleur 103 sont  
en outre configurés pour effectuer une opération de convolution sur les signaux  
numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  (c'est-à-dire  
 $\hat{N}(t) = N(t) * S(t)$ ) pour générer les signaux de bruit de changement de couleur  
 $\hat{N}(t)$ , ou pour effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux  
10 numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  (c'est-à-dire  
 $\hat{N}_i(t) = N_i(t) * S_i(t)$ ) pour générer les traces de signaux de bruit de changement de  
couleur  $\hat{N}_i(t)$ .

En variante, les moyens de génération de bruit de changement de couleur 103 sont en  
15 outre configurés pour :

effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les  
traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles  
dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  (c'est-à-dire  $S(\omega) = \text{FFT}\{S(t)\}$ ) ou des traces de  
signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  (c'est-à-dire  
20  $S_i(\omega) = \text{FFT}\{S_i(t)\}$ );

effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces  
de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le  
domaine fréquentiel  $N(\omega)$  (c'est-à-dire  $N(\omega) = \text{FFT}\{N(t)\}$ ) ou des traces de signaux  
de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  (c'est-à-dire  
25  $N_i(\omega) = \text{FFT}\{N_i(t)\}$ );

effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le  
domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  
 $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine  
fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}(\omega) = N(\omega) \cdot S(\omega)$ ), ou effectuer une opération de  
30 multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine  
fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  
 $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le  
domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}_i(\omega) = N_i(\omega) \cdot S_i(\omega)$ );

effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement  
35 de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de  
changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux  
de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  (c'est-à-dire  $\hat{N}(t) = \text{FFT}^{-1}\{\hat{N}(\omega)\}$ ) ou  
les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  (c'est-à-dire

$$N_i^{\wedge}(t) = \text{FFT}^{-1}\{N_i^{\wedge}(\omega)\}.$$

De préférence, les moyens de traitement d'ajout de bruit 104 sont en outre configurés pour effectuer l'ajout de bruit conformément à l'équation  $S^{\wedge}(t) = S(t) + \mu N^{\wedge}(t)$ , où  
 5  $S(t)$  représente le signal numérique cible à soumettre au traitement d'ajout de bruit,  $N^{\wedge}(t)$  représente le signal de bruit de changement de couleur,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, et  $S^{\wedge}(t)$  représente le signal numérique avec ajout de bruit.

10 De préférence, les moyens de traitement d'ajout de bruit 104 sont en outre configurés pour effectuer l'ajout de bruit conformément à l'équation  $S_i^{\wedge}(t) = S_i(t) + \mu N_i^{\wedge}(t)$ , où  $S_i(t)$  représente la trace de signal numérique cible,  $N_i^{\wedge}(t)$  représente la trace de signal de bruit de changement de couleur,  $S_i^{\wedge}(t)$  représente le signal numérique avec ajout de bruit cible,  $i$  représente le numéro de séquence de la trace de signal,  $\mu$   
 15 représente un coefficient de proportionnalité, et  $t$  représente le temps.

Les caractéristiques et avantages de la présente invention sont en outre décrits en référence aux exemples spécifiques suivants.

20 La figure 11 représente le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) d'un ensemble de groupes de CMP originaux (c'est-à-dire des groupes de Common Midpoint (point central commun)) collectés dans une zone de travail de prospection sismique selon un mode de réalisation préféré de l'invention. La figure 12 représente le spectre des ensembles  
 25 de CMP originaux comme représenté sur la figure 11. Il peut être observé sur ces deux figures qu'une interférence multi-onde importante se produit sous 3500 ms.

La figure 13 représente le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles de CMP  
 30 obtenus en éliminant l'interférence multi-onde des ensembles de CMP originaux comme représenté sur la figure 11 et la figure 12. La figure 14 représente le spectre des ensembles de CMP obtenus par débruitage des ensembles de CMP dans lesquels l'interférence multi-onde est éliminée comme représenté sur la figure 13. Il peut être observé à partir du spectre de vitesse représenté sur la figure 13 que l'interférence  
 35 multi-onde a été éliminée, mais il persiste un problème en ce que les ensembles de CMP ressemblent à un modèle synthétique et ne sont pas naturels.

La figure 15 représente le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la

section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles de CMP obtenus en ajoutant du bruit blanc aux ensembles de traces de signaux comme représenté sur la figure 13. La figure 16 représente le spectre des ensembles de CMP obtenus en ajoutant du bruit blanc aux ensembles de traces de signaux comme représenté sur la figure 13. La figure 17 représente le spectre des ensembles de CMP soumis à filtrage passe-bande obtenus par filtrage passe-bande des ensembles de CMP auxquels est ajouté du bruit blanc comme représenté sur la figure 15 et la figure 16. Il peut être observé à partir de ces trois figures qu'il existe un signe évident d'ajout de bruit blanc dans la section temporelle (figure 15) ou le spectre (figure 16). Bien que le filtrage passe-bande (5, 10, 60, 80 Hz) puisse masquer les signes d'ajout de bruit dans la section temporelle, le spectre de sortie (figure 17) présente encore des signes d'ajout de bruit blanc, et cela n'est pas souhaitable dans le processus d'analyse de données.

La figure 18 représente le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles de CMP obtenus en ajoutant 30 % du bruit original (c'est-à-dire un bruit coloré) aux groupes des ensembles de signaux représentés sur la figure 13 selon l'art antérieur. Il peut être observé sur la figure 18 que l'interférence multi-onde dans les ensembles de CMP est affaiblie à un certain degré, mais dans le spectre de vitesse, il existe encore une énergie multi-onde élevée, ce qui est très désavantageux.

La figure 19 représente le spectre de vitesse (voir la partie gauche du graphique) et la section temporelle (voir la partie droite du graphique) des ensembles de CMP obtenus en ajoutant 30 % du bruit de changement de couleur aux ensembles de traces de signaux (c'est-à-dire les ensembles de traces de signaux cibles) représentés sur la figure 13 selon l'invention. La figure 20 représente le spectre des ensembles de CMP auxquels du bruit de changement de couleur est ajouté comme représenté sur la figure 19. Il peut être observé à partir de ces deux figures que la section temporelle des ensembles de CMP semble naturelle, et qu'il n'y a pas d'onde multiple dans le spectre de vitesse. De plus, en comparant les spectres des ensembles de CMP représentés sur la figure 19 aux spectres des ensembles de traces de signaux cibles, il peut être observé que l'ajout du bruit de changement de couleur aux ensembles de traces de signaux cibles ne modifie pas les caractéristiques spectrales des ensembles de traces de signaux cibles. Par conséquent, il n'y a pratiquement pas de signe de traitement d'ajout de bruit dans la section temporelle ou dans le spectre, et le résultat est idéal.

Il peut être observé à partir de l'illustration ci-dessus que les ensembles de traces de signaux transmis obtenus en effectuant un traitement d'ajout de bruit avec le bruit de changement de couleur généré selon l'invention sont caractérisés en ce qu'un bruit évident est représenté dans le domaine temporel, mais en ce qu'il n'y a pas de bruit évident représenté dans le domaine fréquentiel. En d'autres termes, des signes de traitement d'ajout de bruit ne peuvent pas être observés dans la section temporelle ou dans le spectre des traces de signaux avec ajout de bruit selon l'invention, et les traces de signaux avec ajout de bruit ont un degré de simulation extrêmement élevé, de sorte que cela est très utile dans la résolution de problèmes de suppression de bruit, de simulation et d'ajout de bruit dans le traitement de signaux numériques.

L'explication ci-dessus du mode de réalisation est uniquement illustrative à tous les égards, et ne doit pas être considérée comme étant restrictive. La portée de la présente invention est indiquée par les revendications plutôt que le mode de réalisation ci-dessus. De plus, il est entendu que tous les changements qui sont équivalents à une revendication dans le sens et la portée de la doctrine d'équivalence sont inclus dans la portée de la présente invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement pour simuler et ajouter du bruit à des signaux numériques de données sismiques, caractérisé en ce que ce procédé comprend les étapes suivantes consistant à :

Étape 1 : collecter les signaux numériques cibles ou les traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;

Étape 2 : générer les signaux de bruit blanc ou les traces de signaux de bruit blanc ;

Étape 3 : effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur, ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ;

Étape 4 : ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés aux signaux numériques cibles, ou ajouter les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées aux traces de signaux numériques cibles.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape 3 comprend en outre :

effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ , ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence des traces de signaux.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape 3 comprend en outre :

effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  ;

effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  ;

où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal et  $\omega$  représente la fréquence.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'étape 3 comprend en outre :

effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel numériques cibles  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $N^{\wedge}(\omega)$ , ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $N_i^{\wedge}(\omega)$  ;

effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $N^{\wedge}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $N_i^{\wedge}(\omega)$  pour obtenir les signaux de bruit de changement de couleur  $N^{\wedge}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $N_i^{\wedge}(t)$  ;

où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$  représente la fréquence.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le traitement d'ajout de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape 4 est effectué conformément à l'équation suivante :

$$S^{\wedge}(t) = S(t) + \mu N^{\wedge}(t)$$

où  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité et  $t$  représente le temps.

6. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le traitement d'ajout de signaux de bruit de changement de couleur comme décrit dans l'étape 4 est effectué conformément à l'équation suivante :

$$S_i^{\wedge}(t) = S_i(t) + \mu N_i^{\wedge}(t)$$

où  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité et  $t$  représente le temps.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les traces de signaux numériques cibles sont les traces de signaux de données sismiques filtrées de façon multidimensionnelle.

8. Procédé de génération de bruit de changement de couleur, caractérisé en ce



que le procédé comprend les étapes suivantes consistant à :

Étape 1 : collecter des signaux numériques cibles ou des traces de signaux numériques cibles ;

Étape 2 : générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc ;

Étape 3 : effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur, ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ;

et en ce que les signaux numériques sont des signaux numériques de données sismiques.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'étape 3 comprend en outre :

effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ , ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal.

10. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'étape 3 comprend en outre :

effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  ;

effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  ;

où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal et  $\omega$  représente la fréquence.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'étape 3 comprend en outre :

effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel

$N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$ , ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  ;  
 effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$  ;  
 où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$  représente la fréquence.

12. Dispositif pour simuler et ajouter du bruit à des signaux numériques de données sismiques, caractérisé en ce que le dispositif comprend :  
 des moyens d'entrée (101) pour entrer les signaux numériques cibles ou les traces de signaux numériques cibles à soumettre au traitement d'ajout de bruit ;  
 des moyens de génération de bruit blanc (102) pour générer des signaux de bruit blanc ou des traces de signaux de bruit blanc ;  
 des moyens de génération de bruit de changement de couleur (103), qui sont couplés aux moyens d'entrée (101) et aux moyens de génération de bruit blanc (102), et sont configurés pour effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles et les signaux de bruit blanc pour générer des signaux de bruit de changement de couleur ou pour effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles et les traces de signaux de bruit blanc pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur ; et  
 des moyens de traitement d'ajout de bruit (104), qui sont couplés aux moyens d'entrée (101) et aux moyens de génération de bruit de changement de couleur (103), et sont configurés pour ajouter les signaux de bruit de changement de couleur générés aux signaux numériques cibles, ou pour ajouter les traces de signaux de bruit de changement de couleur générées aux traces de signaux numériques cibles.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens de génération de bruit de changement de couleur (103) sont en outre configurés pour effectuer une opération de convolution sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  et les signaux de bruit blanc  $N(t)$  pour générer les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$ , ou effectuer une opération de convolution sur les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  et les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour générer les

traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps et  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal.

14. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens de génération de bruit de changement de couleur (103) sont en outre configurés pour : effectuer une transformée de Fourier sur les signaux numériques cibles  $S(t)$  ou les traces de signaux numériques cibles  $S_i(t)$  pour obtenir des signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  ou des traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  ; et effectuer une transformée de Fourier sur les signaux de bruit blanc  $N(t)$  ou les traces de signaux de bruit blanc  $N_i(t)$  pour obtenir des signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  ou des traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  ; où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$  représente la fréquence.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que les moyens de génération de bruit de changement de couleur (103) sont en outre configurés pour : effectuer une opération de multiplication sur les signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S(\omega)$  et les signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N(\omega)$  pour générer des signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$ , ou effectuer une opération de multiplication sur les traces de signaux numériques cibles dans le domaine fréquentiel  $S_i(\omega)$  et les traces de signaux de bruit blanc dans le domaine fréquentiel  $N_i(\omega)$  pour générer des traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  ; et effectuer une transformée de Fourier inverse sur les signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}(\omega)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur dans le domaine fréquentiel  $\hat{N}_i(\omega)$  pour obtenir les signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}(t)$  ou les traces de signaux de bruit de changement de couleur  $\hat{N}_i(t)$ , où  $t$  représente le temps,  $i$  représente le numéro de séquence de trace de signal, et  $\omega$  représente la fréquence.

16. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens de traitement d'ajout de bruit (104) sont en outre configurés pour effectuer le traitement d'ajout de bruit conformément à l'équation suivante :  $\hat{S}(t) = S(t) + \mu \hat{N}(t)$ , où  $S(t)$  est le signal numérique cible à soumettre au traitement d'ajout de bruit,  $\hat{N}(t)$  est le signal de bruit de changement de couleur,  $\hat{S}(t)$  est le

signal numérique avec ajout de bruit,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, et  $t$  représente le temps.

17. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens de traitement d'ajout de bruit (104) sont en outre configurés pour effectuer le traitement d'ajout de bruit conformément à l'équation suivante :

$S_i^{\wedge}(t) = S_i(t) + \mu N_i^{\wedge}(t)$  , où  $S_i(t)$  est la trace de signal numérique cible,  $N_i^{\wedge}(t)$  est la trace de signal de bruit de changement de couleur,  $S_i^{\wedge}(t)$  est le signal numérique avec ajout de bruit cible,  $i$  représente le numéro de séquence de la trace de signal,  $\mu$  représente un coefficient de proportionnalité, et  $t$  représente le temps.

18. Dispositif selon l'une des revendications 12 à 17, caractérisé en ce que les traces de signaux numériques cibles sont les traces de signaux de données sismiques filtrées de façon multidimensionnelle.

19. Dispositif selon l'une des revendications 12 à 18, caractérisé en ce que le dispositif est utilisé pour simuler et ajouter du bruit à des signaux sismiques filtrés de façon multidimensionnelle pendant le traitement d'une onde sismique.

1/13

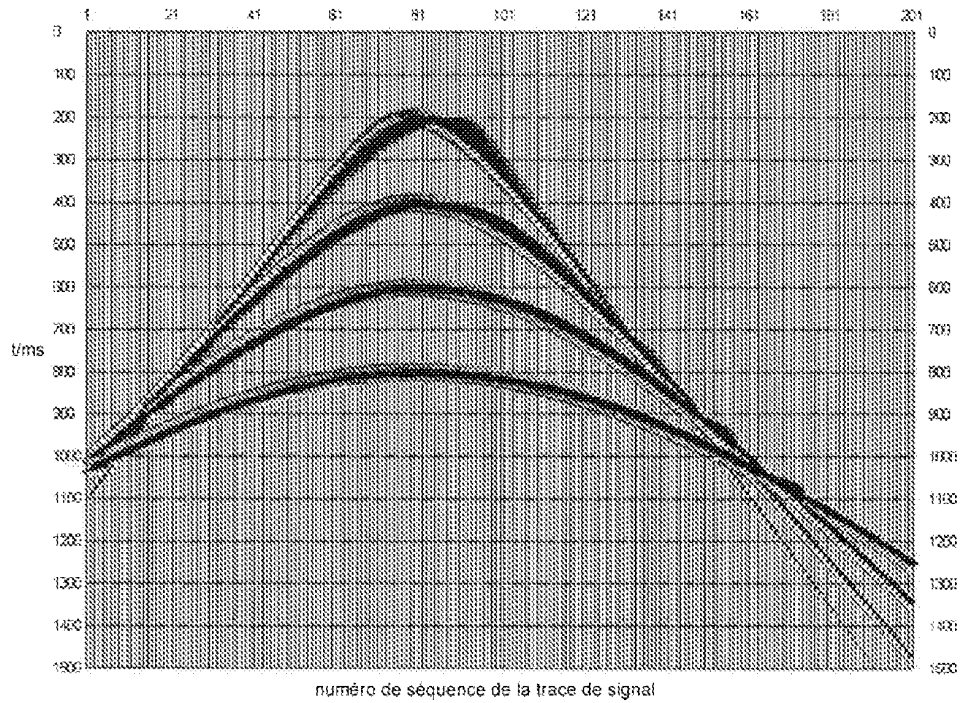


Fig. 1

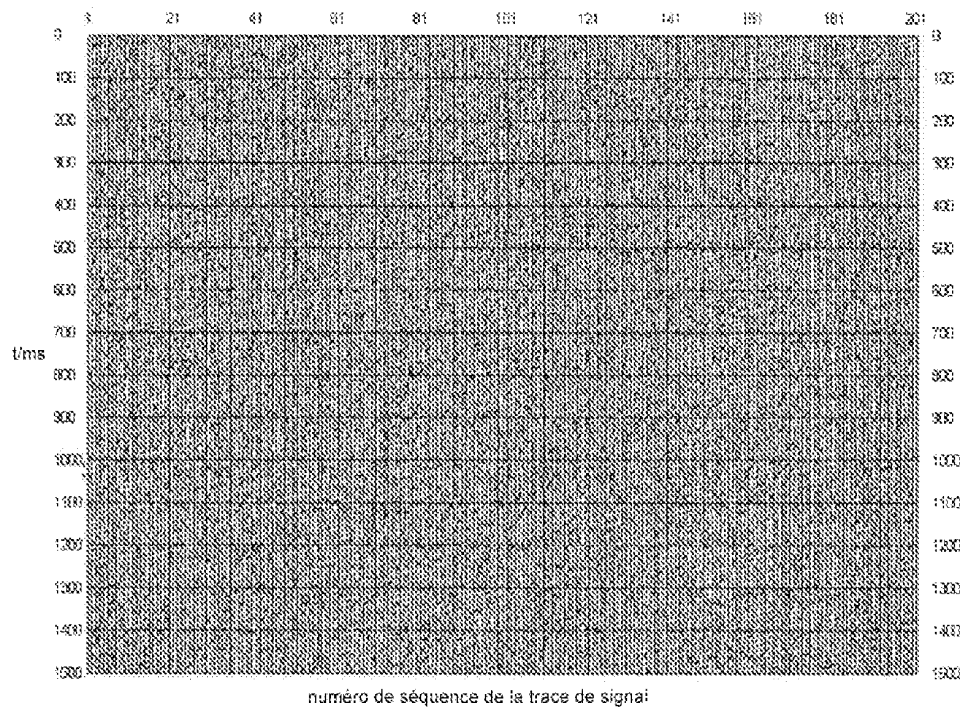


Fig. 2

2/13

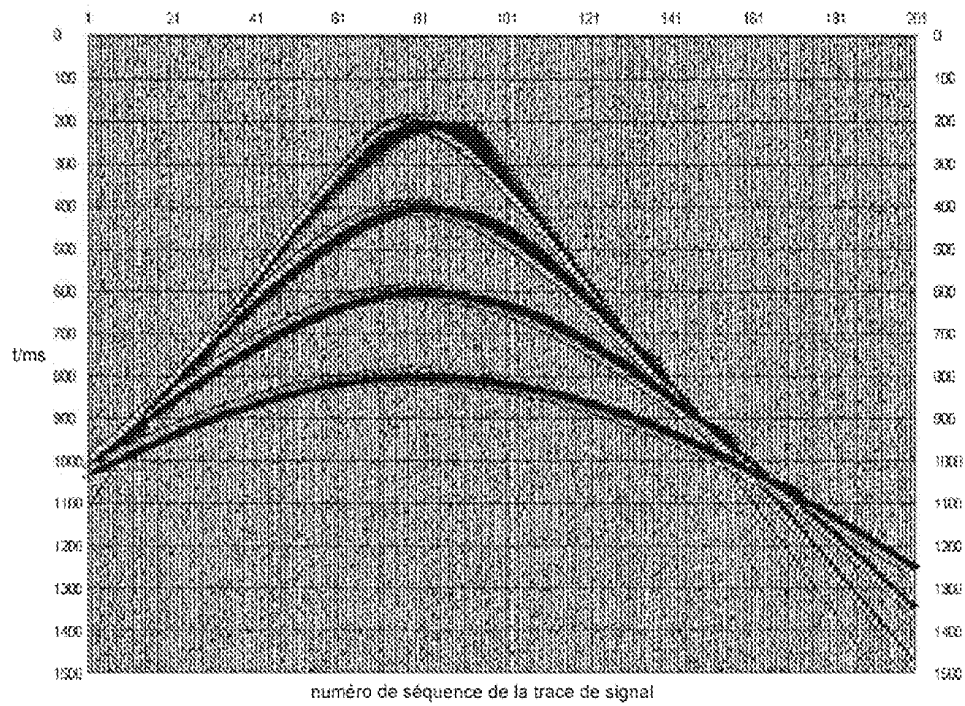


Fig. 3

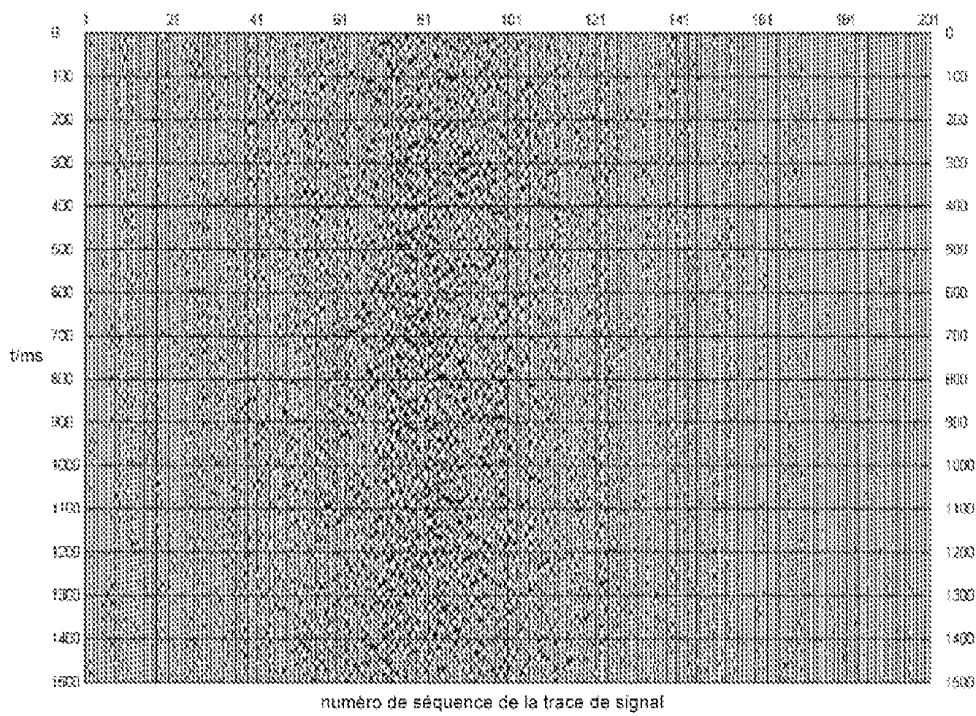


Fig. 4

3/13

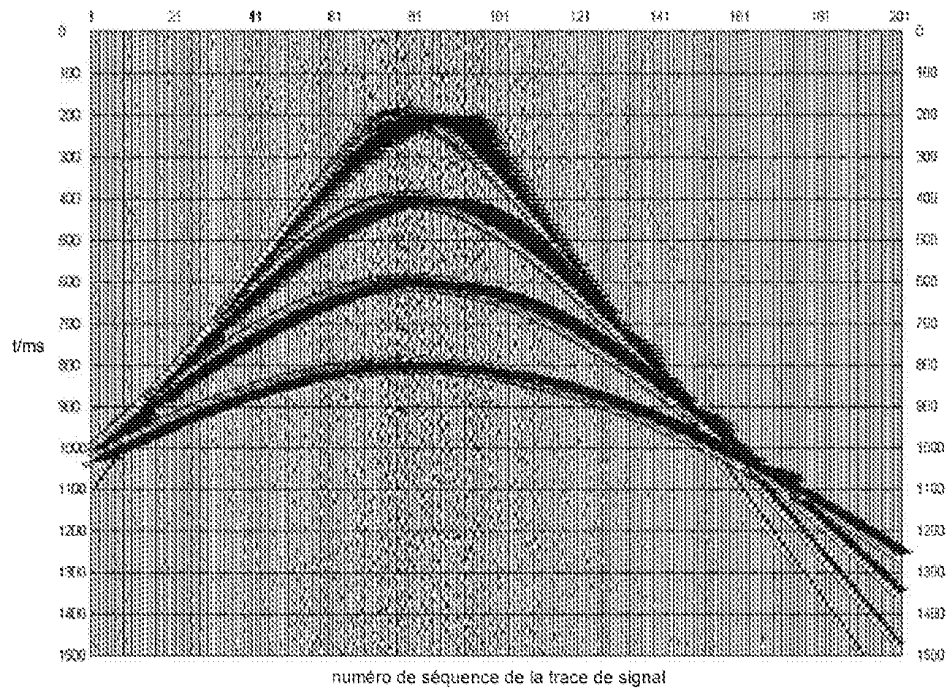


Fig. 5

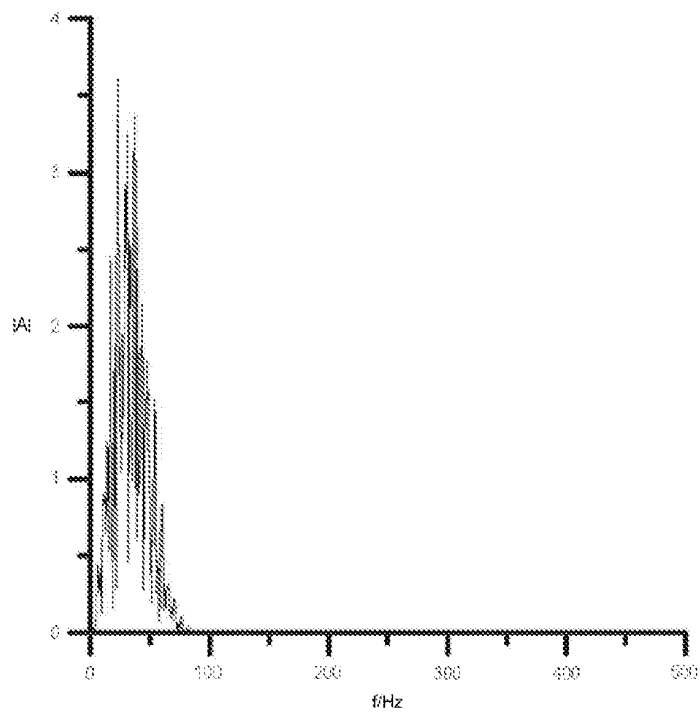


Fig. 6

4/13

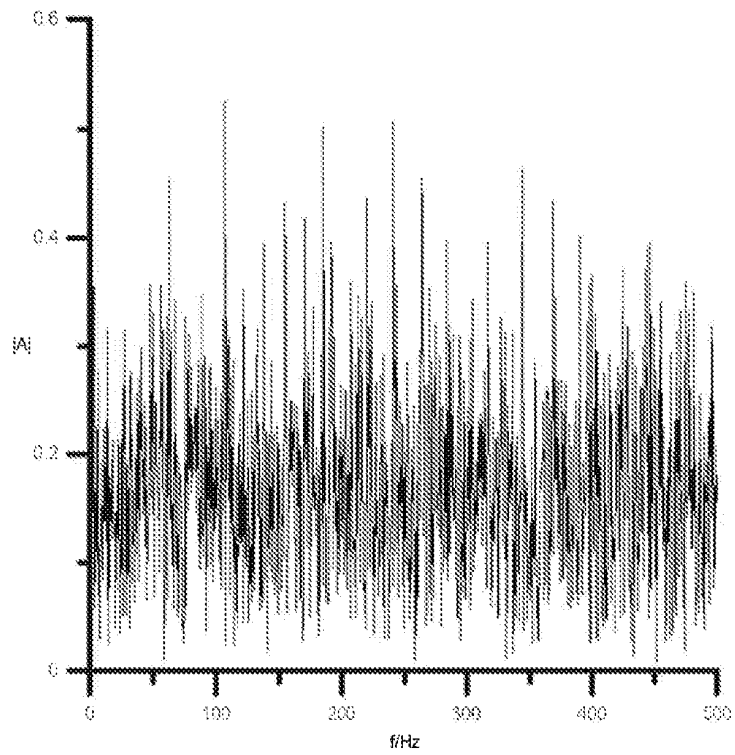


Fig. 7

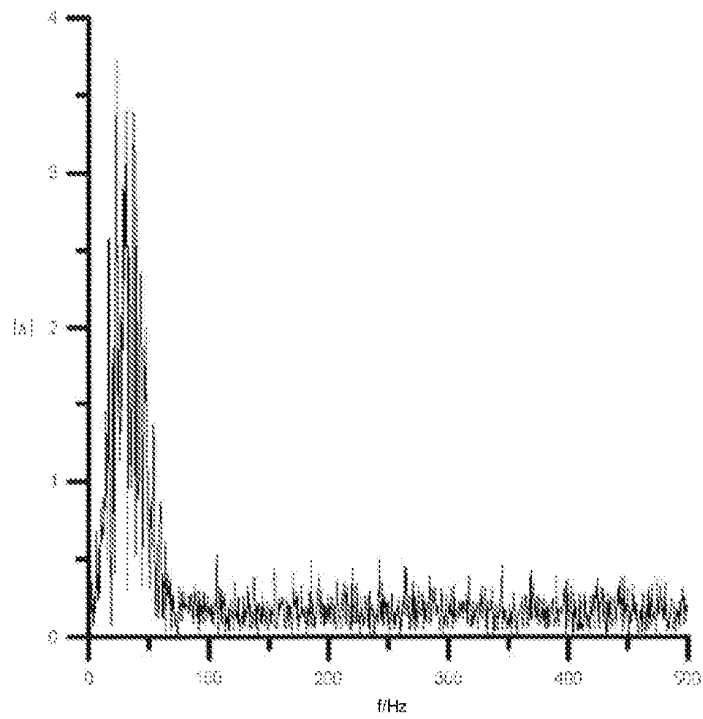


Fig. 8



5/13

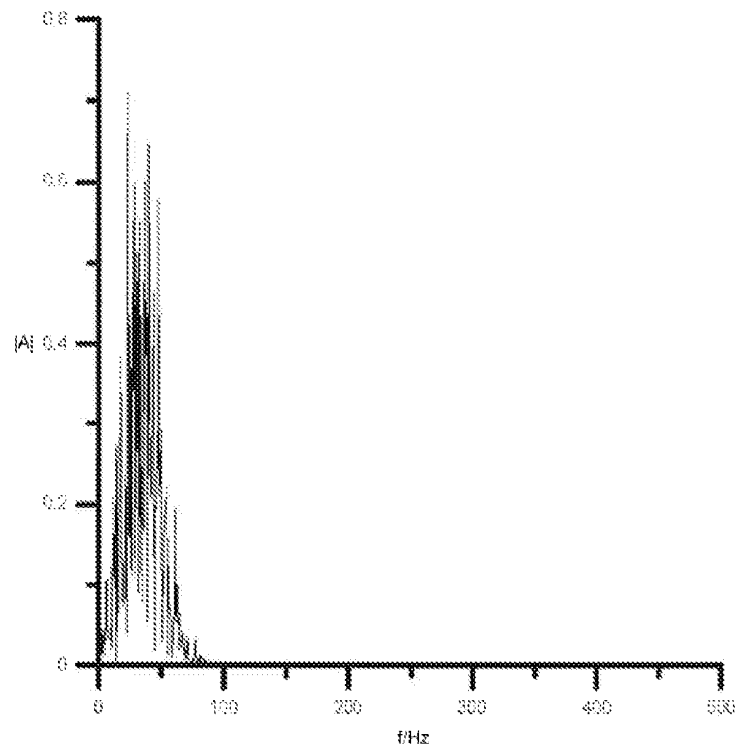


Fig. 9

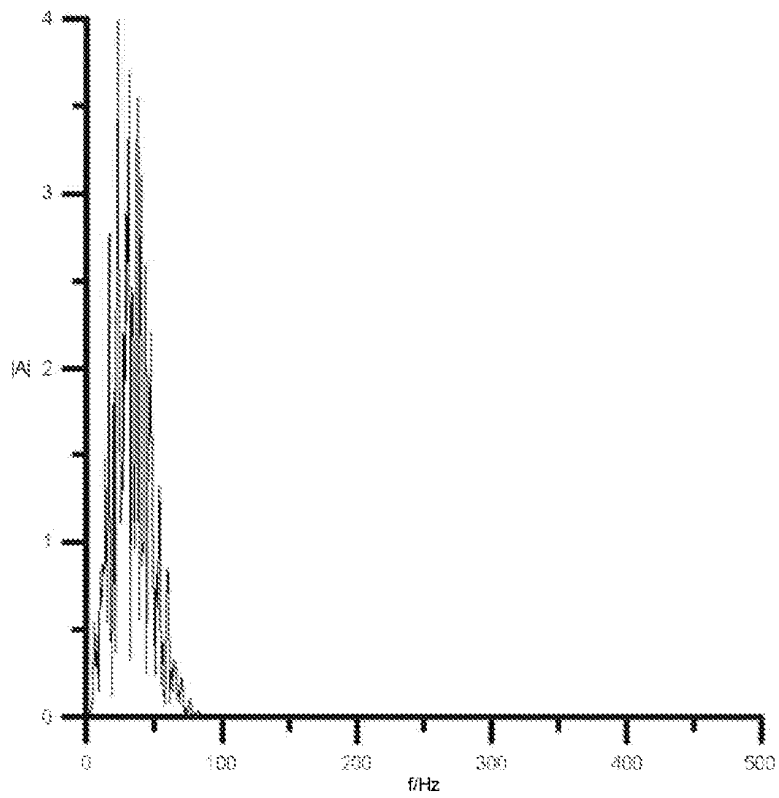


Fig. 10

6/13

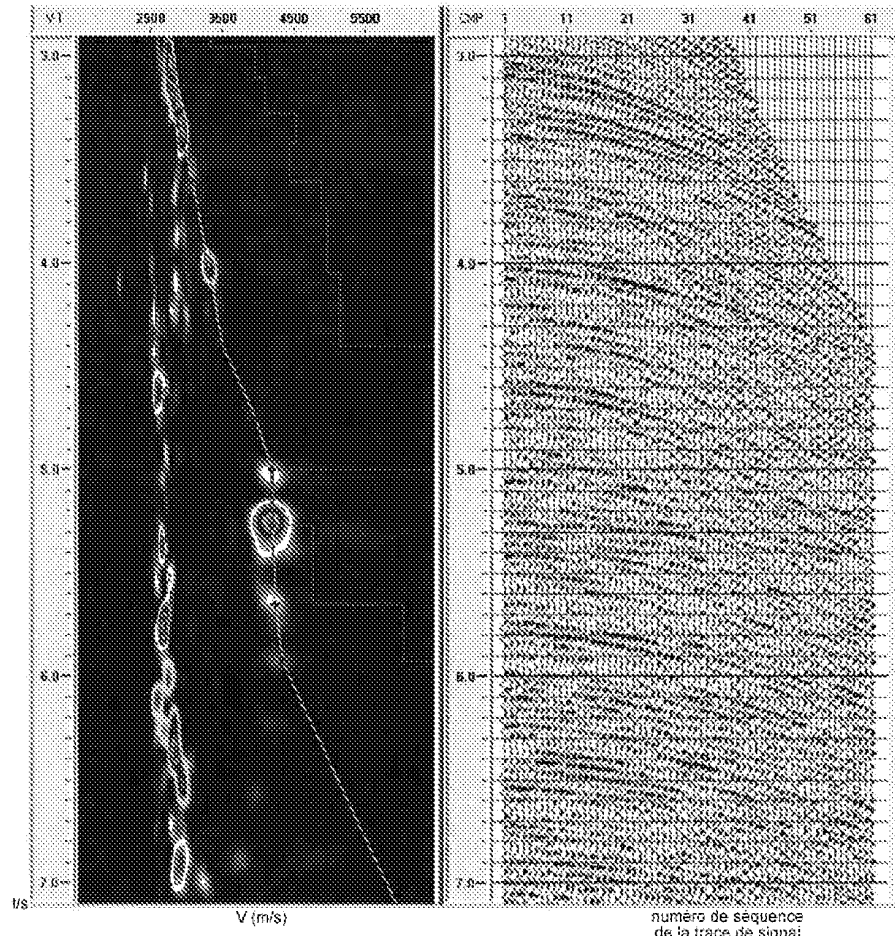


Fig. 11

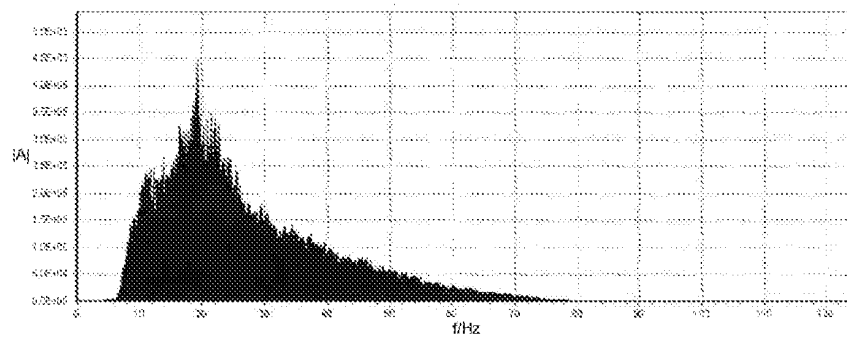


Fig. 12

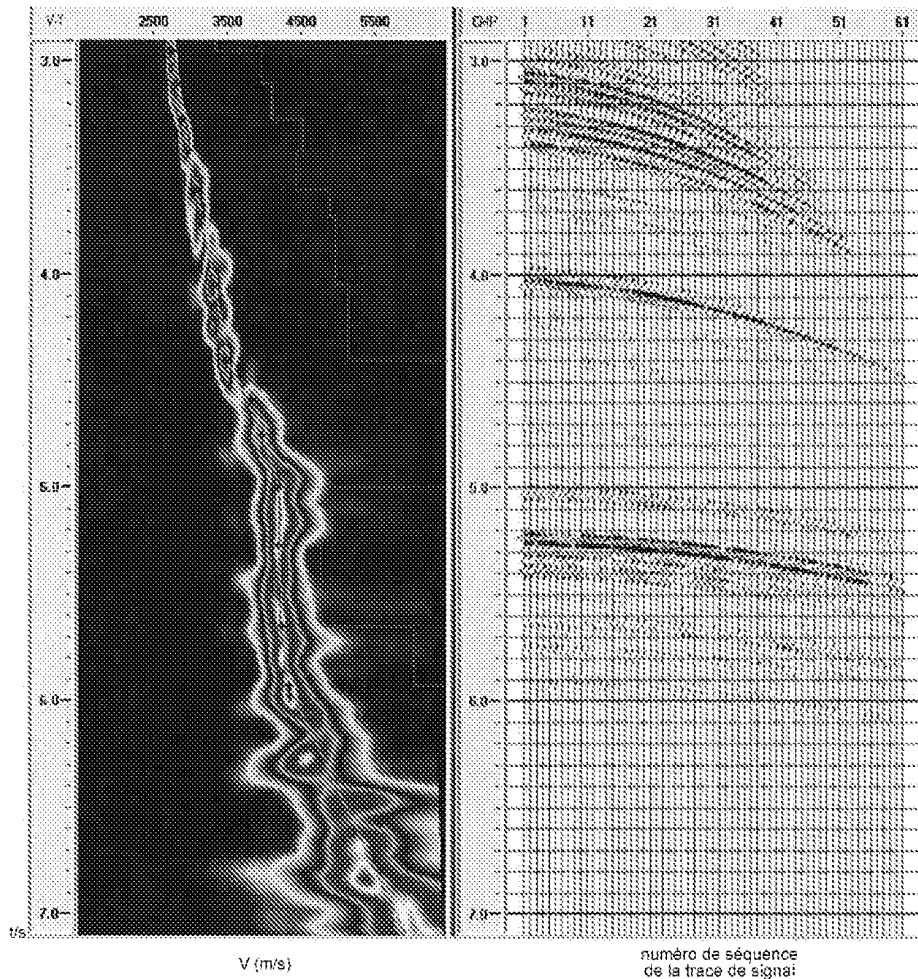


Fig. 13

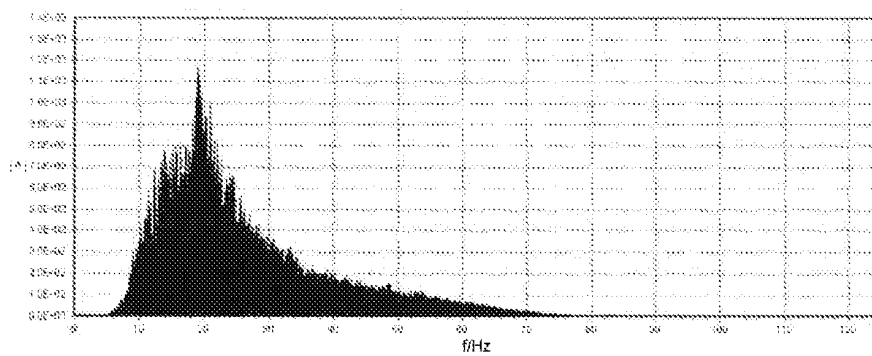


Fig. 14

8/13

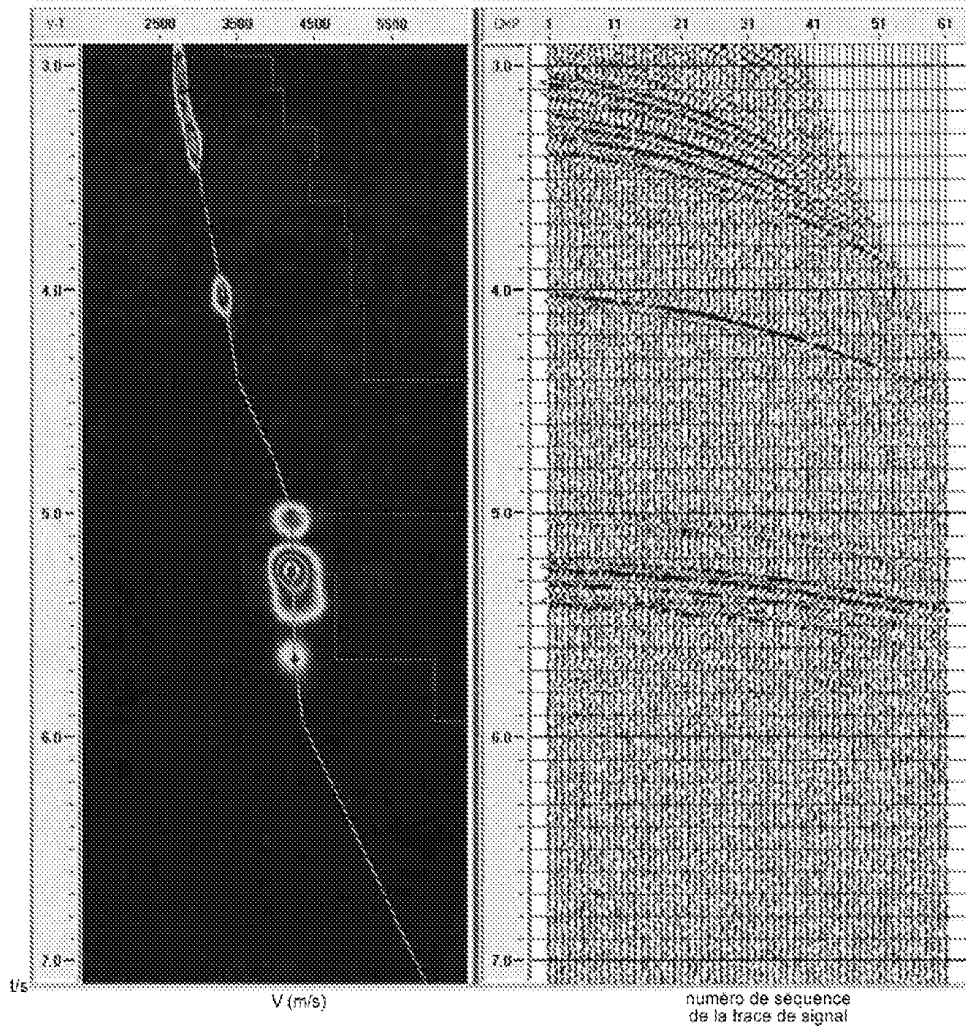


Fig. 15

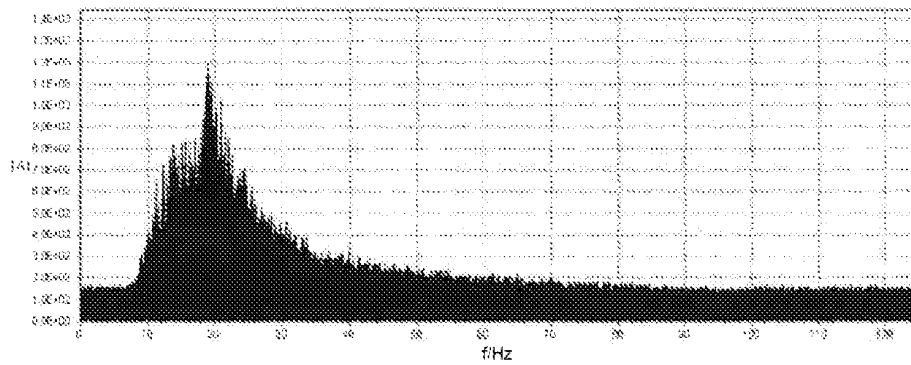


Fig. 16

9/13

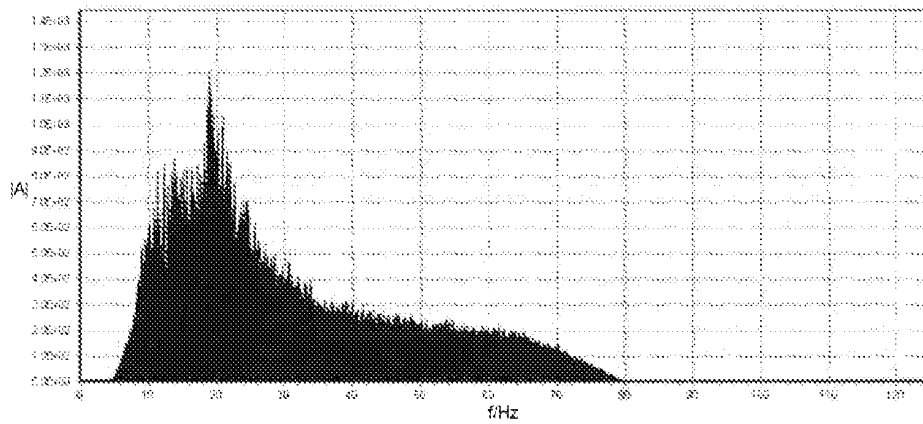


Fig. 17

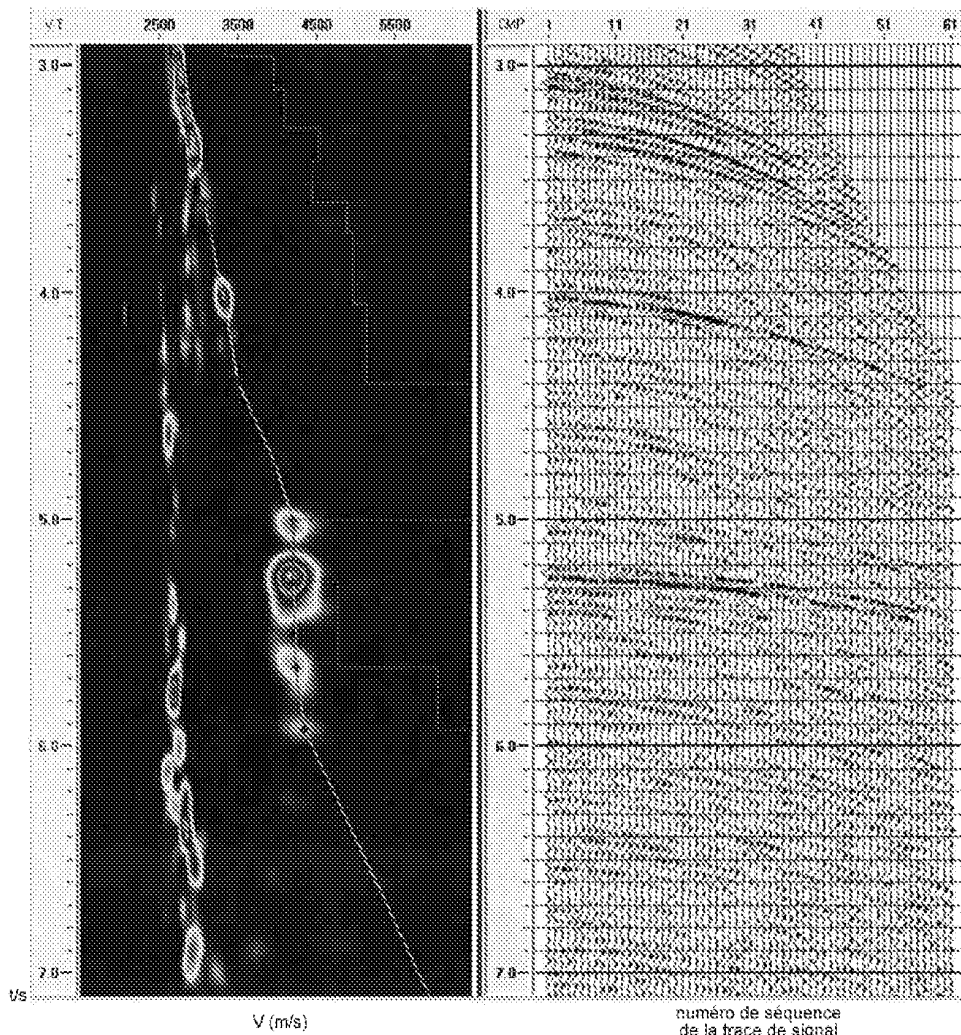


Fig. 18

10/13

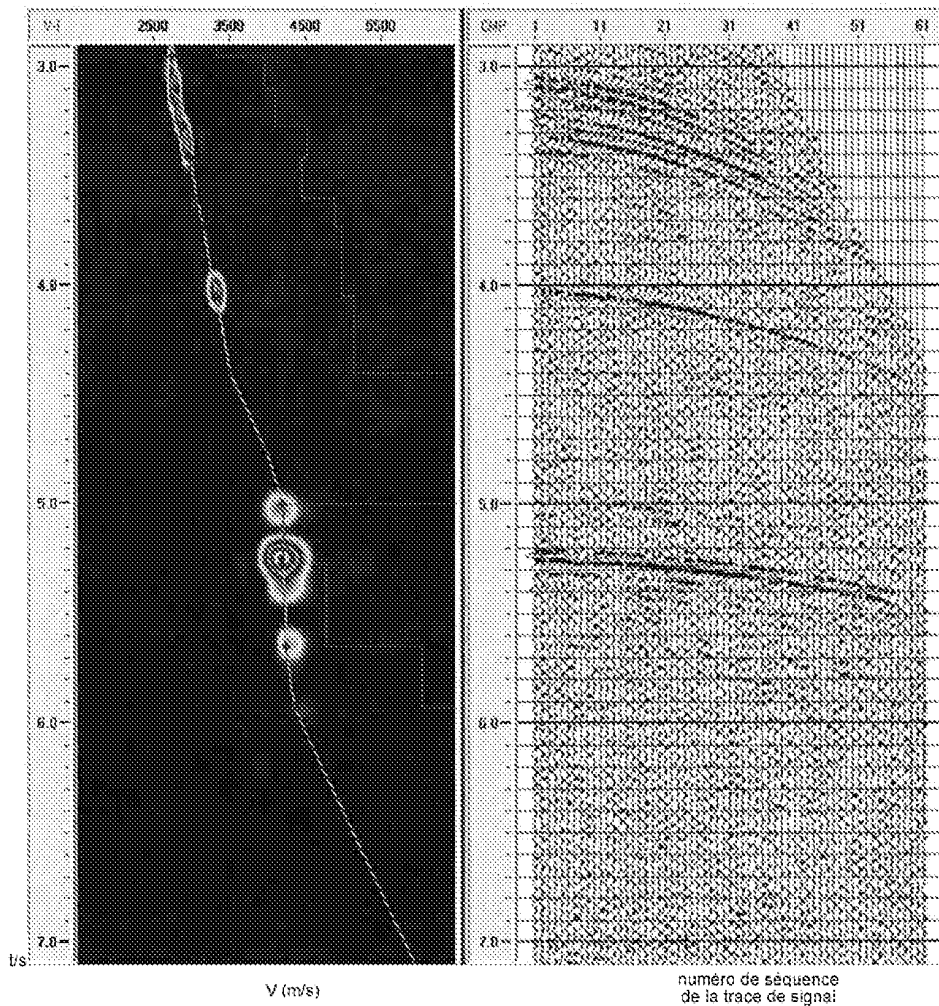


Fig. 19

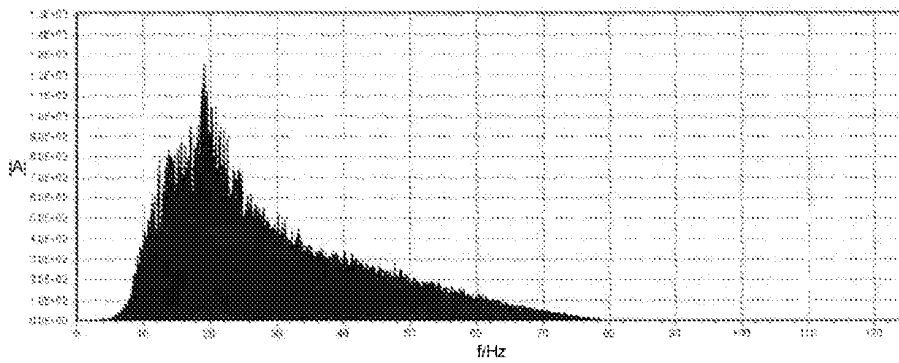


Fig. 20

11/13

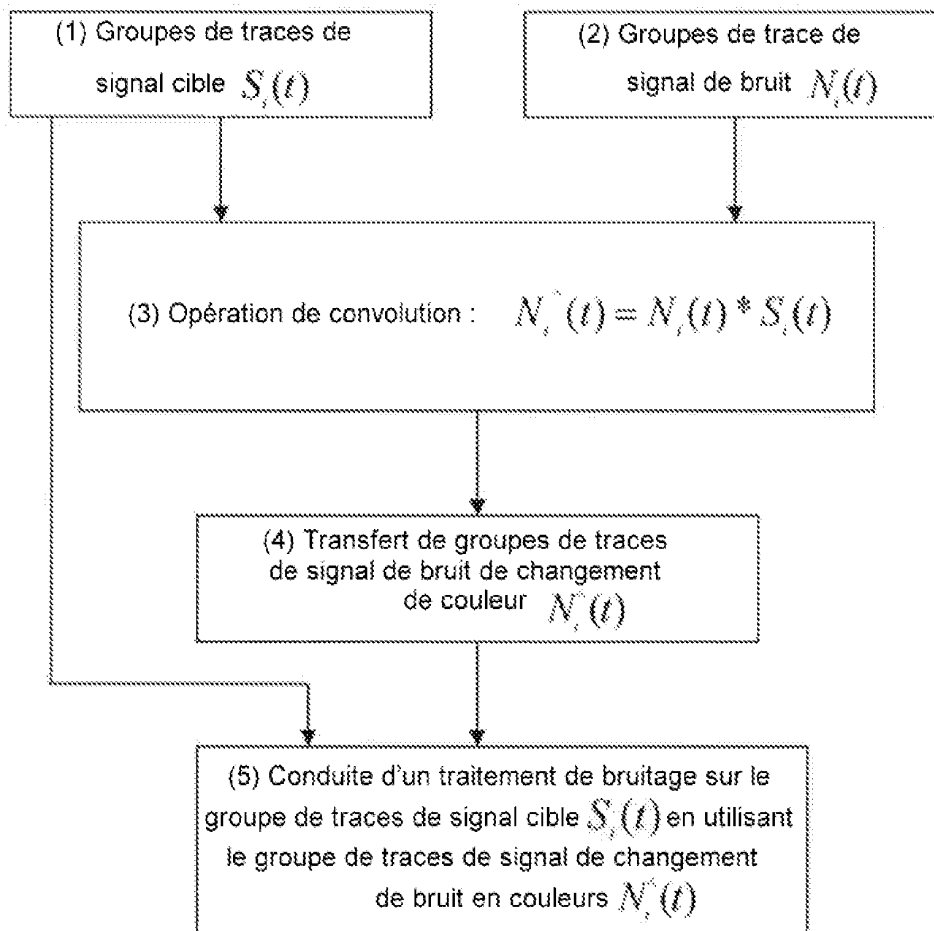


Fig. 21

12/13

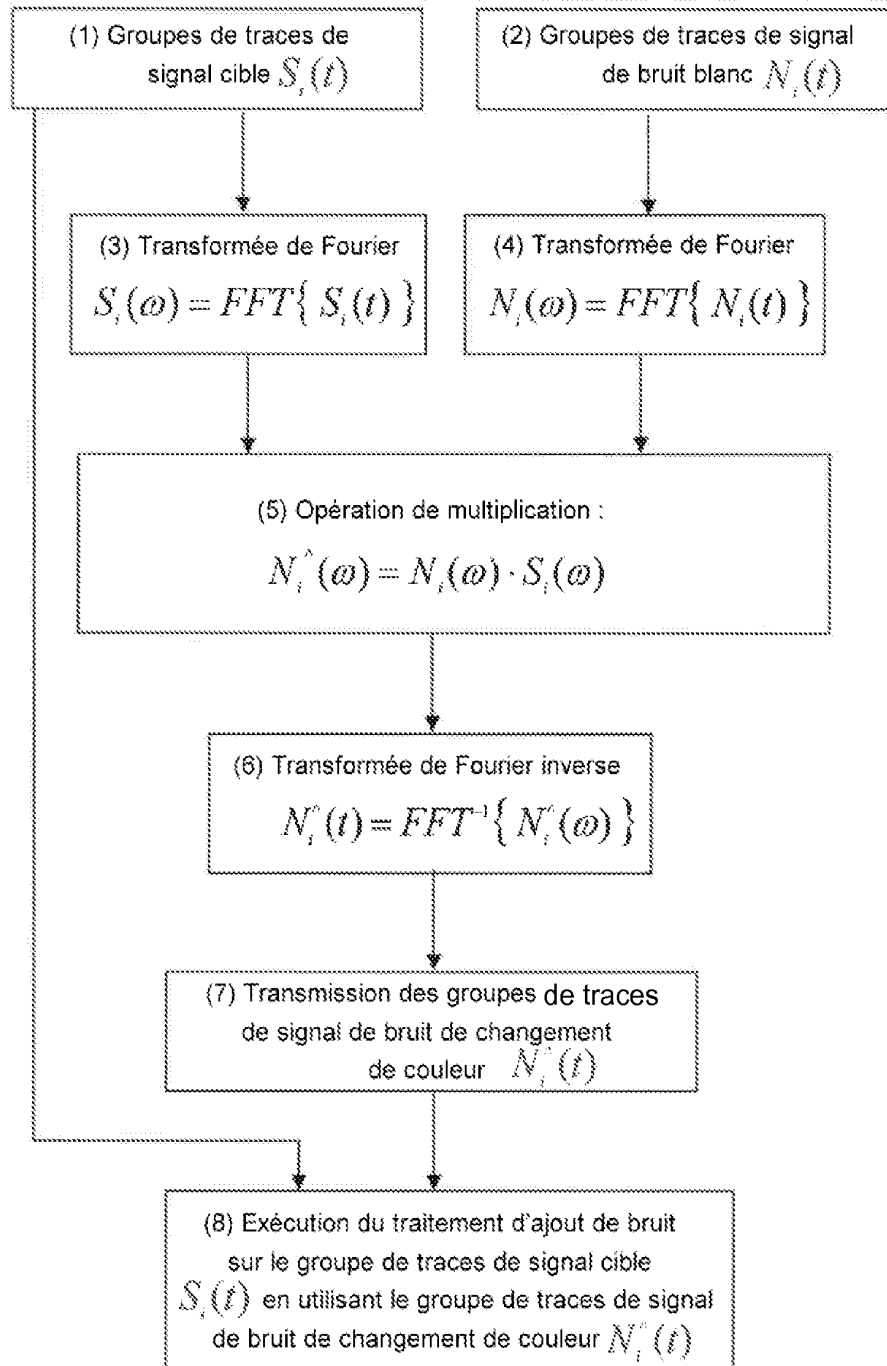


Fig. 22



13/13

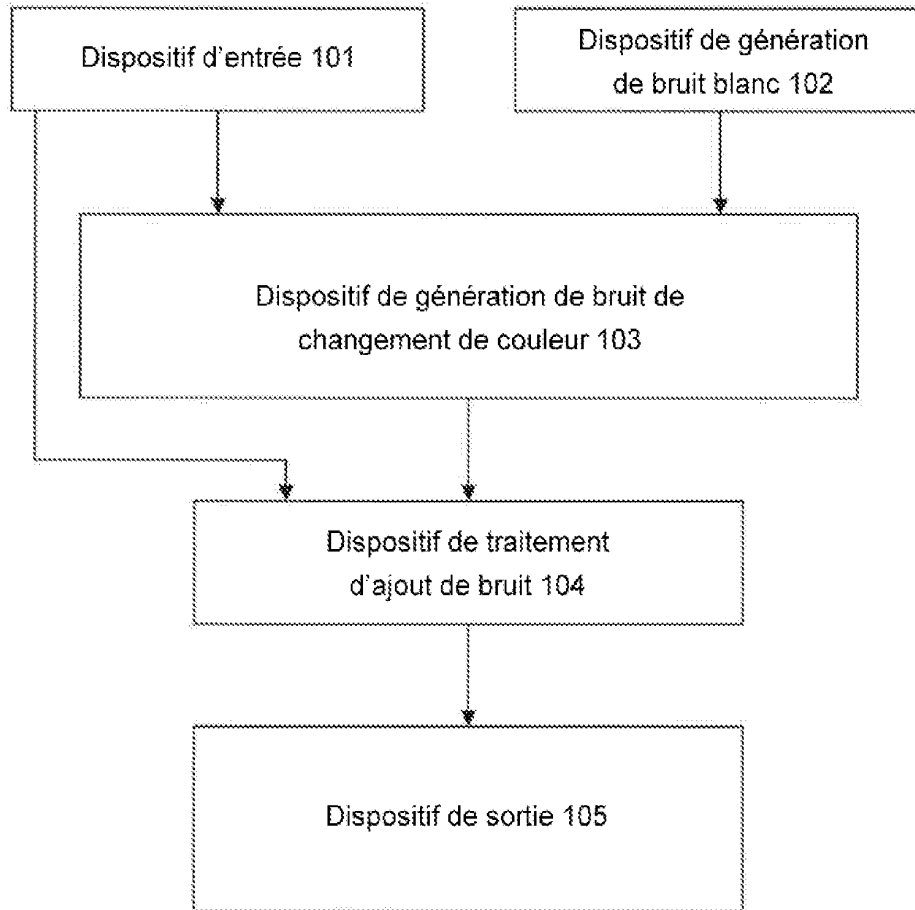


Fig. 23