

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
11 janvier 2001 (11.01.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/02876 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷: G01V 11/00

(21) Numéro de la demande internationale:

PCT/FR00/01853

(22) Date de dépôt international: 30 juin 2000 (30.06.2000)

(25) Langue de dépôt: français

(26) Langue de publication: français

(30) Données relatives à la priorité:

99/08605 2 juillet 1999 (02.07.1999) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US): INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE [FR/FR]; 1 & 4, avenue de Bois Préau, F-92852 Rueil Malmaison Cedex (FR). ELF EP [FR/FR]; Tour Elf, 2, place de la Coupole, La Défense 6, F-92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): HU, Lin-Ying [FR/FR]; 4, rue Louis Borthou, F-64140 Billere (FR). NOETINGER, Benoît [FR/FR]; 57, rue Emile Guichenné, F-64000 Pau (FR).

(74) Représentant commun: INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE; 1 & 4, avenue de Bois Préau, F-92852 Rueil Malmaison Cedex (FR).

(81) États désignés (national): NO, US.

(84) États désignés (régional): brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

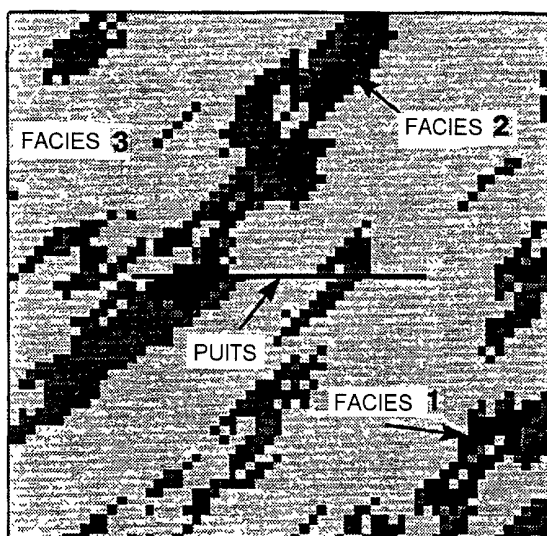
Publiée:

— Avec rapport de recherche internationale.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR GRADUALLY DEFORMING SEQUENTIAL SIMULATIONS OF A HETEROGENEOUS ENVIRONMENT SUCH AS AN UNDERGROUND ZONE

(54) Titre: METHODE POUR DEFORMER GRADUELLEMENT DES SIMULATIONS SEQUENTIELLES D'UN MILIEU HETEROGENE TEL QU'UNE ZONE SOUTERRAINE



(57) Abstract: The invention concerns a method for gradually deforming representations or productions, generated by sequential simulation, of a stochastic model not necessarily Gaussian of a physical quantity z in a meshed heterogeneous environment, so as to adjust them to a set of data concerning the structure or the state of the environment collected by prior measurements and observations. It consists essentially in applying an algorithm gradually deforming a stochastic model to a Gaussian vector with N mutually independent variables, which is linked to a uniform vector with N mutually independent variables by the function of Gaussian distribution so as to define productions of the uniform vector, and in using said productions to generate representations of said physical quantity z , which is set relative to the data. The invention is useful for example to display the statistic configuration of a quantity: the permeability of an underground deposit, atmospheric pollution and others.

(57) Abrégé: Méthode pour déformer graduellement les représentations ou réalisations, générées par simulation séquentielle, d'un modèle stochastique non nécessairement gaussien d'une grandeur physique z dans un milieu hétérogène

maillé, afin de les ajuster à un ensemble de données relatives à la structure ou l'état du milieu qui sont collectées par des mesures et observations préalables. Elle comporte essentiellement l'application d'un algorithme de déformation graduelle d'un modèle stochastique à un vecteur gaussien à N variables mutuellement indépendantes, qui est relié à un vecteur uniforme à N variables uniformes mutuellement indépendantes par la fonction de répartition gaussienne de façon à définir des réalisations du vecteur uniforme, et l'utilisation de ces réalisations pour générer des représentations de cette grandeur physique z , que l'on cale par rapport aux données. Applications par exemple pour visualiser la configuration statistique d'une grandeur: la perméabilité d'un gisement souterrain, la pollution atmosphérique, etc.



WO 01/02876 A1



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

METHODE POUR DEFORMER GRADUELLEMENT DES SIMULATIONS SEQUENTIELLES D'UN MILIEU HETEROGENE TEL QU'UNE ZONE SOUTERRAINE

5 La présente invention a pour objet une méthode pour déformer graduellement des représentations ou réalisations, générés par simulation séquentielle, d'un modèle stochastique non nécessairement gaussien d'un milieu hétérogène, en se basant sur un algorithme de déformation graduelle de modèles stochastiques gaussiens.

10 La méthode selon l'invention trouve des applications dans la modélisation de zones souterraines où il s'agit de générer des représentations montrant comment est distribuée une certaine grandeur physique dans une zone du sous-sol (la perméabilité z par exemple), qui soient compatibles au mieux avec des données observées ou mesurées : données géologiques,
15 enregistrements sismiques, mesures obtenues dans des puits notamment mesures des variations au cours du temps de la pression et du débit de fluides issus d'un gisement etc.

Etat de la technique

20 Par la demande de brevet FR 98/09.018, on connaît une méthode pour déformer graduellement un modèle stochastique (de type gaussien ou apparenté) d'un milieu hétérogène tel qu'une zone souterraine, contraint par une ensemble de paramètres relatifs à la structure du milieu. Cette méthode comporte le tirage d'un nombre p ($p=2$ par exemple) de réalisations (ou représentations) indépendantes du modèle ou d'une partie au moins du modèle
25 choisi du milieu, parmi l'ensemble de toutes les réalisations possibles et une

ou plusieurs étapes itératives de déformation graduelle du modèle en effectuant une ou plusieurs combinaisons linéaires successives de p réalisations initiales indépendantes entre elles puis des réalisations composites successivement obtenues éventuellement avec de nouveaux tirages, etc., les
5 coefficients de cette combinaison étant tels que la somme de leurs carrés est égale à 1.

Les modèles gaussiens ou apparentés conviennent pour modéliser des champs de grandeurs continues et, de ce fait, sont mal adaptés à la modélisation de zones traversées par des réseaux de fractures ou des systèmes
10 de chenaux, par exemple.

On connaît par ailleurs les algorithmes dits de simulation séquentielle, les plus largement utilisés parmi les algorithmes de simulation géostatistique. Bien qu'ils conviennent particulièrement pour la simulation des modèles gaussiens, il n'impliquent pas en principe une limitation à ce type de modèle.

15 On forme une représentation géostatistique d'une zone souterraine par exemple en la subdivisant par un réseau à N mailles et en déterminant un vecteur aléatoire à N dimensions $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_N)$ correspondant au mieux à des mesures ou observations obtenues sur la zone. Comme le montre par exemple Johnson, M.E. ; in « Multivariate Statistical Simulation » ; Wiley &
20 Sons, New York, 1987, cette approche réduit le problème de la création d'un vecteur à N dimensions à une série de N problèmes mono-dimensionnels. Un tel vecteur aléatoire n'est ni nécessairement multi-gaussien ni stationnaire. La simulation séquentielle de Z implique d'abord la définition d'un ordre selon lequel les N éléments $(Z_1, Z_2, \dots, Z_N)$ du vecteur Z sont générés l'un après
25 l'autre. Sans rien perdre de généralité, on suppose que les N éléments de Z

sont générés en séquence depuis Z_1 jusqu'à Z_N . Pour tirer une valeur de chaque élément Z_i , ($i = 1, \dots, N$), il faut réaliser les opérations suivantes :

a) construire la distribution de Z_i conditionnée par $(Z_1, Z_2, \dots, Z_{i-1})$

$$F_c(z_i) = P(Z_i \leq z_i / Z_1, Z_2, \dots, Z_{i-1}) ; \text{ et}$$

5 b) tirer une valeur de Z_i de la distribution $F_c(z_i)$.

Dans la pratique de la géostatistique, la simulation séquentielle est utilisée fréquemment pour engendrer des vecteurs multi-gaussiens et des vecteurs d'indicateur non-gaussiens. La tâche principale de la simulation séquentielle est la détermination des distributions conditionnelles $F_c(z_i)$ ($i = 1, \dots, N$). Des algorithmes et logiciels pour estimer ces distributions sont décrits
10 par exemple dans :

- Deutsch, C.V. et al, « GSLIB (Geostatistical Software Library) and User's Guide » ; Oxford University Press, New York, Oxford 1992.

En ce qui concerne le tirage des valeurs à partir de la distribution $F_c(z_i)$,
15 il existe aussi un vaste ensemble d'algorithmes connus.

On considère la méthode de distribution inverse par laquelle on obtient une réalisation de Z_i : $z_i = F_c^{-1}(u_i)$, où u_i est tiré d'une distribution uniforme entre 0 et 1. Il s'ensuit qu'une réalisation du vecteur Z correspond à une réalisation du vecteur U dont les éléments $U_1, U_2, \dots, U_N$, sont mutuellement
20 indépendants et uniformément distribués entre 0 et 1.

On s'aperçoit qu'une simulation séquentielle est une opération S qui transforme un vecteur uniforme $U = (U_1, U_2, \dots, U_N)$ en un vecteur structuré $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_N)$:

$$Z = S(U) \quad (1)$$

Le problème que représente la contrainte d'un vecteur Z à différents types de données peut être résolu en contraignant les distributions conditionnelles $F_c(z_i)$ ($i = 1, \dots, N$) et/ou le vecteur uniforme $U = (U_1, U_2, \dots, U_N)$.

Des travaux récents sur l'algorithme séquentiel ont été concentrés sur l'amélioration de l'estimation des distributions conditionnelles $F_c(z_i)$ par intégration de données géologiques et de données sismiques.

On peut citer par exemple le papier de Zhu, H. et al ; « Formatting and Integrating Soft Data : Stochastic Imaging via the Markov-Bayes Algorithm » in Soares, A., Ed. Geostatistics Troia 92, vol.1 : Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, The Netherlands, p.1-12, 1993.

Cependant, cette approche ne peut être étendue à l'intégration de données non linéaires comme les pressions issues des tests de puits et les historiques de production, sauf à imposer une sévère linéarisation. En outre, comme toute combinaison de vecteurs uniformes U ne donne pas un vecteur uniforme, la méthode de déformation graduelle d'un modèle stochastique développée dans le brevet déjà cité, ne peut être directement appliquée dans le cadre de la technique séquentielle rappelée ci-dessus.

Aussi, la méthode selon l'invention permet de rendre compatible les deux approches i.e. d'étendre le formalisme développé dans le brevet précédemment cité, à la déformation graduelle de réalisations, générées par simulation séquentielle, d'un modèle stochastique non nécessairement gaussien.

Définition de la méthode

La méthode permet de déformer graduellement une représentation ou réalisation, générée par simulation séquentielle, d'un modèle stochastique non nécessairement gaussien d'une grandeur physique z dans un milieu hétérogène tel qu'une zone souterraine, afin de la contraindre à un ensemble de données collectées dans le milieu par des mesures et observations préalables, relatives à son état ou sa structure.

Elle est caractérisée en ce qu'elle comporte l'application d'un algorithme de déformation graduelle d'un modèle stochastique à un vecteur gaussien (Y) ayant un nombre N de variables mutuellement indépendantes qui est relié à un vecteur uniforme (U) à N variables uniformes mutuellement indépendantes par une fonction de répartition gaussienne (G), de façon à définir une chaîne de réalisations $u(t)$ du vecteur (U), et l'utilisation de ces réalisations $u(t)$ pour générer des réalisations $z(t)$ de cette grandeur physique que l'on cale par rapport aux données (non linéaires).

Suivant un premier mode de mise en œuvre, on définit la chaîne de réalisations $u(t)$ du vecteur uniforme (U) à partir d'une combinaison linéaire de réalisations d'un vecteur gaussien (Y) dont les coefficients de combinaison sont tels que la somme de leurs carrés est égale à l'unité.

Suivant un autre mode de mise en œuvre, on réalise une déformation graduelle d'un nombre n de parties du modèle représentatif du milieu hétérogène tout en préservant la continuité entre ces n parties du modèle, par une subdivision du vecteur uniforme (U) en un nombre n de sous-vecteurs mutuellement indépendants.

D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'un exemple non limitatif de réalisation, en se référant aux dessins annexés où :

- la Fig.1 montre la couche médiane d'une réalisation d'un modèle de faciès servant de référence, générée par simulation séquentielle d'indicatrices ;
- la Fig.2 montre la variation en fonction du temps de la pression obtenue dans un test de puits du modèle de référence ;
- les Fig.3A à 3E montrent respectivement cinq réalisations initiales de la couche médiane d'une zone réservoir, contraintes seulement par les faciès le long du puit ;
- les Fig. 4A à 4E montrent respectivement pour ces cinq réalisations, les courbes des pressions au puits dans le modèle de référence comparées à celles correspondant aux modèles initiaux ;
- les Fig.5A à 5E montrent respectivement cinq réalisations de la couche médiane du modèle de faciès conditionnées aux faciès le long du puits et calées par rapport à la courbe de pression obtenue par test de puits ;
- les Fig. 6A à 6E montrent respectivement pour les cinq réalisations, les courbes des pressions au puits dans le modèle de référence comparées à celles correspondant aux modèles calés ;
- les Fig.7A à 7E montrent respectivement comment les fonctions objectif correspondant respectivement à ces cinq exemples, varient avec le nombre d'itérations ;

- les Fig. 8A à 8E montrent les déformations graduelles opérées par un changement de coefficient d'anisotropie, sur un modèle à trois faciès généré par simulation séquentielle d'indicatrices; et
- les Fig. 9A à 9E montrent les déformations graduelles locales d'un modèle à trois faciès, générées par simulation séquentielle d'indicatrices.

Description détaillée de la méthode

On considère une zone d'étude que l'on subdivise par une grille à N mailles et l'on cherche à construire des réalisations ou représentations d'un modèle stochastique d'une certaine grandeur physique z représentant par exemple la perméabilité des formations dans la zone. Le modèle recherché doit s'ajuster à des données obtenues par des mesures ou observations en un certain nombre de points, et notamment à des données non linéaires.

Le calage d'un modèle stochastique à des données non linéaires peut être formulée comme un problème d'optimisation. On désigne par $f^{obs} = (f_1^{obs}, f_2^{obs}, f_3^{obs} \dots f_p^{obs})$, le vecteur des données non linéaires observées ou mesurées dans le milieu étudié (la zone réservoir), et par $f = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_p)$, le vecteur correspondant des réponses du modèle stochastique de la perméabilité $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_N)$. Le problème de contraindre le modèle stochastique Z par les observations consiste à générer une réalisation z de Z qui réduit à une valeur assez faible une fonction objectif que l'on définit comme la somme des erreurs quadratiques pondérées des réponses du modèle par rapport aux observations ou mesures dans la zone-réservoir, soit :

$$O = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \omega_i (f_i - f_i^{obs})^2$$

où ω_1 représente le poids attribué à la réponse f_i . Les fonctions f_i ($i=1, 2, \dots, p$) ainsi que la fonction objectif O sont des fonctions du vecteur Z . On se trouve devant un problème d'optimisation de dimension N .

Pour étendre le formalisme développé dans le brevet déjà cité, à la
 5 déformation graduelle de réalisations générées par simulation séquentielle non nécessairement gaussienne, on va partir d'un vecteur gaussien à N variables Y_i avec $i = 1, 2, \dots, N$, mutuellement indépendantes, de moyenne nulle et de variance égale à l'unité, et on va définir N variables uniformes mutuellement indépendantes $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ par :

$$10 \quad U_i = G(Y_i) \quad \forall i = 1, 2, \dots, N$$

où G désigne la fonction de répartition gaussienne standardisée.

Ceci posé, on va appliquer l'algorithme de déformation graduelle développé dans un cadre gaussien, au vecteur gaussien $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$, pour construire une chaîne continue de réalisations du vecteur uniforme $U =$
 15 $(U_1, U_2, \dots, U_N)$. Etant donné deux réalisations indépendantes y_a et y_b de Y , on définit la chaîne de réalisations $u(t)$ du vecteur U que l'on obtient selon la relation :

$$u(t) = G(y_a \cos t + y_b \sin t) \quad (2)$$

Pour chaque t , $u(t)$ est une réalisation du vecteur U . Ensuite, par
 20 échantillonnage de la distribution conditionnelle $F_c(z_i)$ ($i=1, 2, \dots, N$) en utilisant les éléments du vecteur $u(t)$, on obtient un vecteur $z(t)$ qui est, pour chaque t , une réalisation du vecteur aléatoire Z . En conséquence, on peut ajuster le paramètre t comme dans le cas gaussien de façon à caler $z(t)$ à des

données non linéaires. Cette procédure est itérée jusqu'à atteindre un calage satisfaisant.

Calage d'un modèle de faciès à des données de pression obtenues par des tests de puits

5 Pour illustrer l'application de la méthode d'optimisation stochastique ci-dessus définie, on va chercher à caler un modèle stochastique de réservoir à des données de pressions obtenues par des tests de puits. La construction du modèle de réservoir est dérivée d'une formation pétrolière réelle qui comporte trois types de faciès : deux faciès réservoir de bonne qualité (faciès 1 et 2) et
10 un type de faciès réservoir de très mauvaise qualité (faciès 3). La table 1 définit les propriétés pétrophysiques des trois faciès :

	$K_x(md)$	$K_y(md)$	$K_z(md)$	$\Phi(\%)$	$c_t(10^{-5} bar^{-1})$
faciès 1	10.	10.	10.	17	2.1857
faciès 2	1.	1.	1.	14	2.0003
faciès 3	0.1	0.1	0.001	9	1.8148

Pour représenter la distribution spécifique de faciès de la formation pétrolifère, on génère d'abord une réalisation binaire pour représenter le faciès
15 3 et son complément. Ensuite, dans la partie complémentaire du faciès 3, on génère une autre réalisation binaire indépendante de la première pour représenter les faciès 1 et 2. La formation est discrétisée par un maillage régulier de 60x59x15 blocs de taille 15mx15mx1.5m. Un modèle de variogramme exponentiel est utilisé pour estimer les distributions

conditionnelles. La direction d'anisotropie principale est diagonale par rapport au maillage. Les portées du variogramme du faciès 3 selon les trois directions d'anisotropie sont respectivement de 300m, 80m et 3m. Les portées du variogramme des faciès 1 et 2 selon les trois directions d'anisotropie sont respectivement de 150m, 40m et 1.5m. Les proportions des faciès 1, 2, 3 sont
5 respectivement de 6%, 16% et 78%.

On a réalisé un test de puits au moyen d'un simulateur de test de puits à différences finies, de la manière décrite par :

- Blanc, G. et al : « Building Geostatistical Models Constrained by Dynamic
10 Data - A Posteriori Constraints » in SPE 35478, Proc. NPF/SPE European 3D Reservoir Modelling Conference, Stavenger, Norway, 1996.

On voit sur la Fig.1 la couche médiane d'une réalisation qui sert de modèle de référence pour cette validation. La section du puits qui a été perforée traverse horizontalement la couche médiane du modèle de réservoir le long de l'axe x. Le diamètre du puits est de 7.85cm, la capacité du puits est
15 nulle et les facteurs pariétaux (skin) des faciès 1, 2 et 3 sont respectivement 0, 3 et 50. Le test de puits synthétique dure 240 jours avec un débit constant de 5 m3/jour de façon à investiguer presque la totalité du champ pétrolifère. La Fig.2 montre la variation de pression en fonction du temps.

20 Le but était de construire des réalisations du modèle de faciès contraint par les faciès rencontré le long du puits et par la courbe de pression obtenue lors du test de puits. La fonction objective est définie comme la somme des différences quadratiques entre les réponses en pression du modèle de référence et les réponses en pression de la réalisation. Du fait que le comportement
25 dynamique du modèle de réservoir est principalement contrôlé par le contraste

entre les faciès réservoir de bonne et de mauvaise qualités, la réalisation binaire utilisée pour générer les faciès 1 et 2 a été fixée d'abord et seule la réalisation binaire utilisée pour générer le faciès 3 a été déformée pour le calage des données de pression.

5 Les réponses en pression résultant des tests de puits pour les cinq réalisations des Fig.3A à 3E, sont différentes de celle du modèle de référence, comme le montrent les Fig. 4A à 4E. Partant respectivement de ces 5 réalisations indépendantes, en utilisant la méthode de calage itératif ci-dessus, on obtient après quelques itérations, cinq réalisations calées (Fig. 5A à 5E)
10 pour lesquelles les courbes de pression correspondantes sont tout à fait en accord avec celles du modèle de référence, comme le montrent les Fig.6A à 6E.

Déformation graduelle par rapport aux paramètres structuraux

Dans de nombreux cas, on ne dispose pas de données suffisantes pour
15 en déduire les paramètres structuraux du modèle stochastique : moyenne, variance, fonction de covariance, etc. Ces paramètres structuraux sont souvent donnés en termes d'intervalles ou de distributions a priori. Si leurs valeurs sont fausses, il est vain de rechercher une réalisation calée sur des données non linéaires. Aussi, il est essentiel pour les applications de pouvoir procéder à une
20 déformation graduelle d'une réalisation avec modification simultanée de nombres aléatoires et des paramètres structuraux. L'algorithme de simulation séquentielle définie par l'équation (1) fournit cette possibilité de changer simultanément ou séparément l'opérateur structurel S et le vecteur uniforme U. Les Fig.8A-8E montrent les déformations graduelles que l'on obtient pour une
25 réalisation fixe du vecteur uniforme U quand on change le coefficient d'anisotropie.

Déformation graduelle locale ou régionalisée

Quand les observations sont réparties sur des zones différentes d'une formation étudiée, un calage qui utiliserait une déformation globale risquerait d'être inefficace car l'amélioration de l'accord que l'on obtiendrait sur une zone pourrait le détériorer sur une autre zone. Il est donc bien préférable d'appliquer des déformations graduelles zone par zone. On considère une subdivision du vecteur U en un certain nombre n de sous-vecteurs $U^1, U^2, \dots, U^n$ mutuellement indépendants ce qui rend possible de réaliser individuellement leur déformation graduelle. En appliquant séparément à chacun des sous-vecteurs $U^1, U^2, \dots, U^n$, l'algorithme de déformation graduelle, on obtient une fonction de dimension n , du vecteur uniforme U :

$$U(t_1, t_2, \dots, t_n) = \begin{bmatrix} U^1(t_1) \\ U^2(t_2) \\ \vdots \\ U^n(t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G(Y_a^1 \cos t_1 + Y_b^1 \sin t_1) \\ G(Y_a^2 \cos t_2 + Y_b^2 \sin t_2) \\ \vdots \\ G(Y_a^n \cos t_n + Y_b^n \sin t_n) \end{bmatrix}$$

où Y_a^i et Y_b^i pour tout $i = 1, 2, \dots, n$, sont des sous-vecteurs gaussiens indépendants. Pour un ensemble de réalisations de Y_a^i et Y_b^i , on résout un problème d'optimisation de n paramètres $t_1, t_2, \dots, t_n$ pour obtenir une réalisation qui améliore, sinon maintient, le calage des données. Cette procédure peut être itérée jusqu'à atteindre un calage satisfaisant.

En réalisant des déformations locales graduelles, on améliore de façon significative la vitesse de calage dans tous les cas où les mesures ou observations sont réparties dans différentes zones du milieu.

On voit bien l'effet de cette déformation locale graduelle sur le modèle à trois faciès, des Fig. 9A à 9E où seule la partie inférieure gauche délimitée est affectée.

La méthode selon l'invention peut être facilement généralisée à la
5 déformation graduelle d'une représentation ou réalisation d'un modèle stochastique quelconque, car générer une réalisation d'un tel modèle stochastique se ramène toujours à la génération des nombres uniformes.

REVENDICATIONS

1) Méthode pour déformer graduellement une représentation ou réalisation, générée par simulation séquentielle, d'un modèle stochastique non nécessairement gaussien d'une grandeur physique z dans un milieu hétérogène tel qu'une zone souterraine, afin de la contraindre à un ensemble de données collectées dans le milieu par des mesures et observations préalables, relatives à son état ou sa structure, caractérisée en ce qu'elle comporte l'application d'un algorithme de déformation graduelle d'un modèle stochastique à un vecteur gaussien (Y) à N variables mutuellement indépendantes qui est relié à un vecteur uniforme U à N variables uniformes mutuellement indépendantes par une fonction de répartition gaussienne (G), de façon à construire une chaîne de réalisations $u(t)$ du vecteur U , et l'utilisation de ces réalisations $u(t)$ pour générer des réalisations $z(t)$ de cette grandeur physique, que l'on cale par rapport aux données.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on définit une chaîne de réalisations $u(t)$ du vecteur (U) à partir d'une combinaison linéaire de réalisations du vecteur gaussien (Y) dont les coefficients de combinaison sont tels que la somme de leurs carrés est égale à l'unité.

3) Méthode selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle comporte une déformation graduelle du modèle représentatif du milieu hétérogène, simultanément par rapport aux paramètres structuraux et aux nombres aléatoires.

4) Méthode selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle comporte une déformation graduelle séparée d'un nombre n de parties du

modèle représentatif du milieu hétérogène tout en préservant la continuité entre ces n parties du modèle, par une subdivision du vecteur uniforme en n sous-vecteurs mutuellement indépendants.

1/3

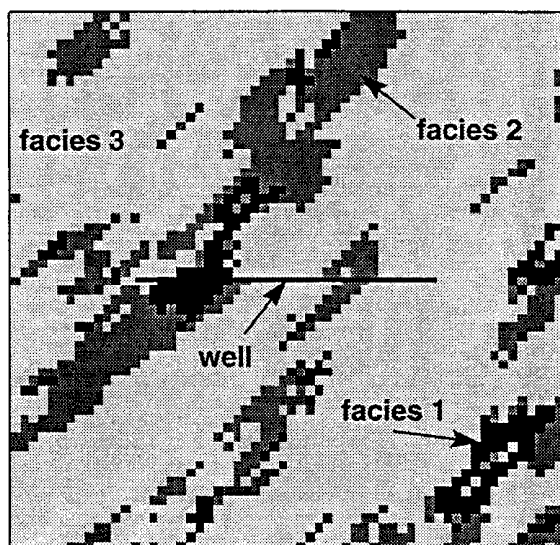


Fig. 1

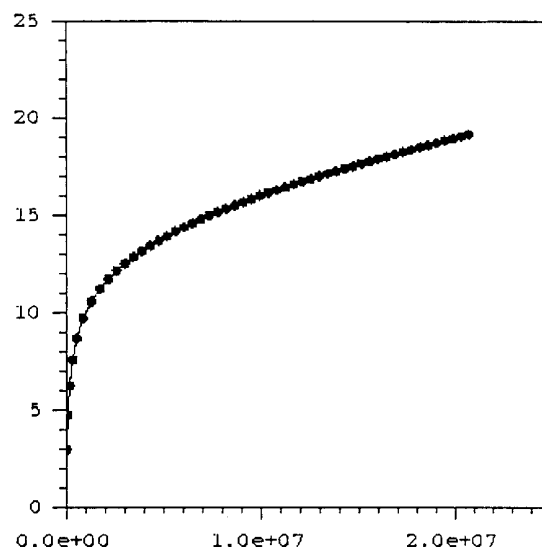


Fig.2

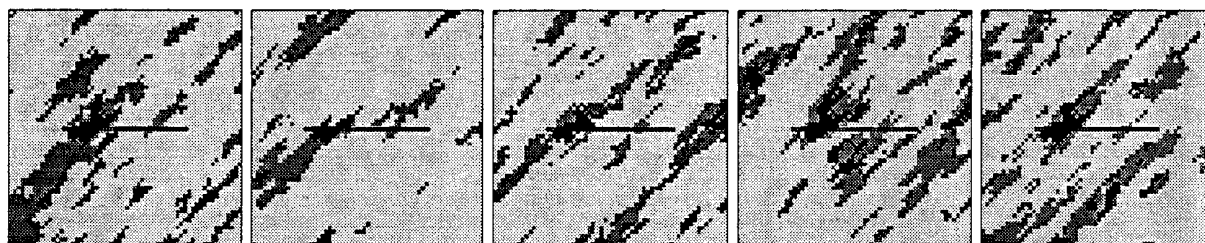


Fig.3A

Fig.3B

Fig.3C

Fig.3D

Fig.3E

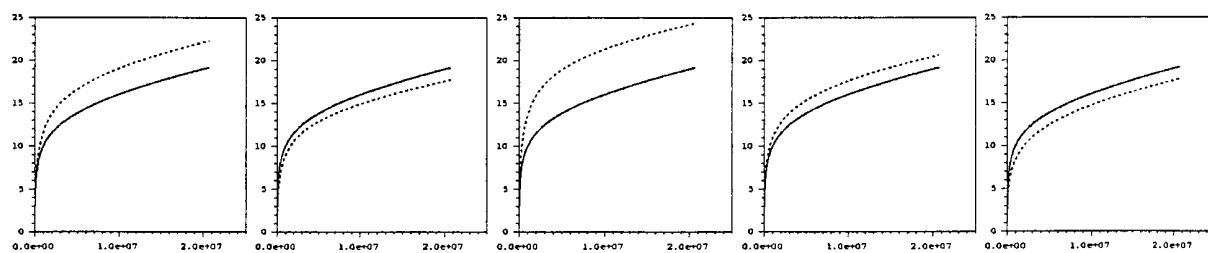


Fig.4A

Fig.4B

Fig.4C

Fig.4D

Fig.4E

2/3

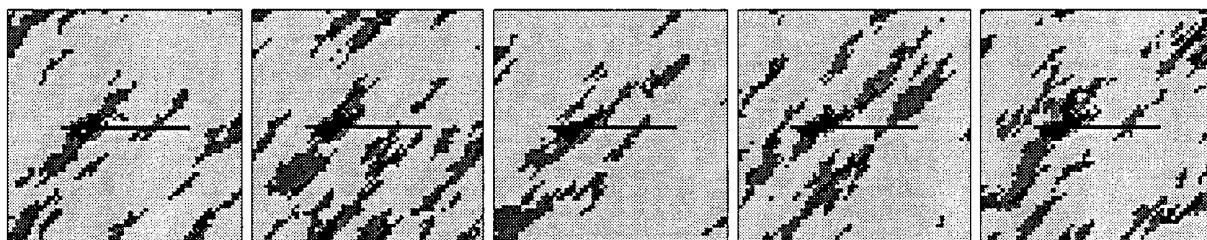


Fig.5A

Fig.5B

Fig.5C

Fig.5D

Fig.5E

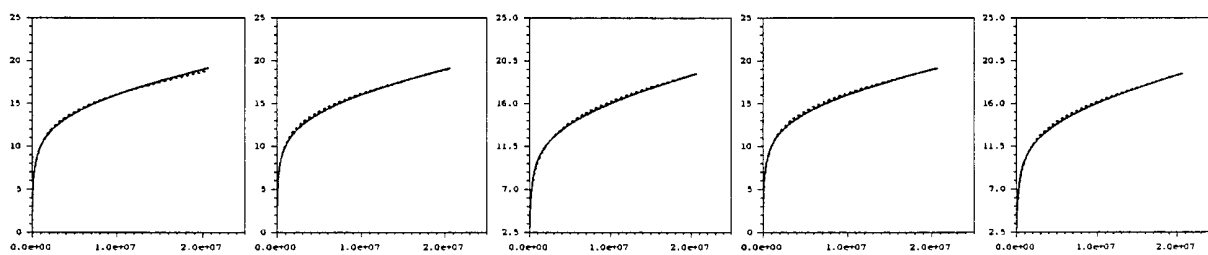


Fig.6A

Fig.6B

Fig.6C

Fig.6D

Fig.6E

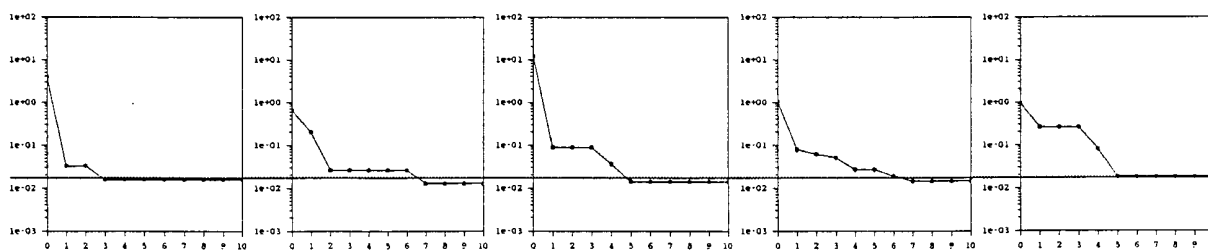


Fig.7A

Fig.7B

Fig.7C

Fig.7D

Fig.7E

3/3

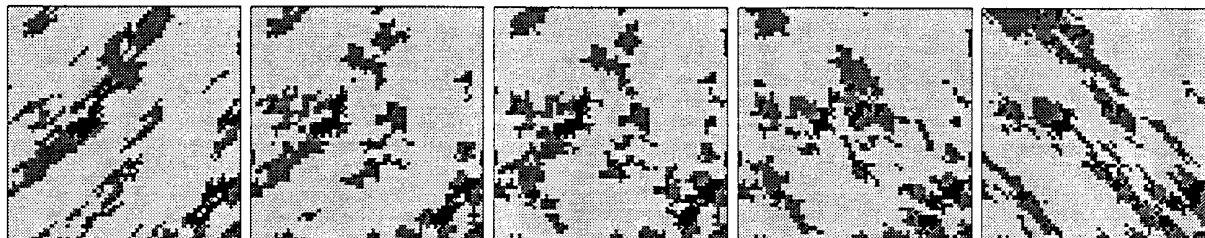


Fig.8A

Fig.8B

Fig.8C

Fig.8D

Fig.8E

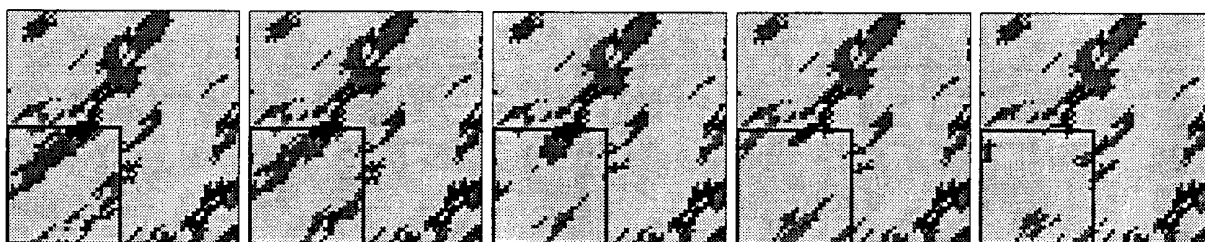


Fig.9A

Fig.9B

Fig.9C

Fig.9D

Fig.9E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/01853

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01V11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01V

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 911 652 A (WESTERN ATLAS INT INC) 28 April 1999 (1999-04-28) column 2, line 57 -column 3, line 13 column 4, line 34 -column 7, line 12 ---	1-4
A	US 5 838 634 A (HELWICK JR STERLING J ET AL) 17 November 1998 (1998-11-17) column 19, line 30 -column 21, line 30 ---	1-4
A	DEUTSCH C V ET AL: "GEOSTATISTICAL TECHNIQUES IMPROVE RESERVOIR MANAGEMENT" PETROLEUM ENGINEER INTERNATIONAL, US, HART PUBLICATIONS, vol. 69, no. 3, 1 March 1996 (1996-03-01), pages 21-22, 24-27, XP000596614 ISSN: 0164-8322 page 25, left-hand column -page 26, middle column --- -/--	1-4

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 September 2000

Date of mailing of the international search report

13/09/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentiaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Swartjes, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/01853

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CARR JAMES R ET AL: "Use of geostatistics for accurate mapping of earthquake ground motion" GEOPHYSICAL JOURNAL,US,GORDON AND BREACH, NEW YORK, NY, vol. 97, 1 January 1989 (1989-01-01), pages 31-40, XP002097135 ISSN: 0275-9128 -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern: al Application No

PCT/FR 00/01853

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0911652 A	28-04-1999	US 5995906 A NO 984499 A	30-11-1999 06-04-1999
US 5838634 A	17-11-1998	CA 2251365 A EP 0891562 A NO 984621 A WO 9738330 A	16-10-1997 20-01-1999 04-12-1998 16-10-1997

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR 00/01853

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE IPC 7 G01V11/00 Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) IPC 7 G01V Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	n° des revendications visées
A	EP 0 911 652 A (WESTERN ATLAS INT INC) 28 avril 1999 (28-04-1999) colone 2, ligne 57 –colone 3, ligne 13 colone 4, ligne 34 –colone 7, ligne 12	1-4
A	US 5 838 634 A (HĒLWICK JR STERLING J ET AL) 17 novembre 1998 (17-11-1998) colone 19, ligne 30 –colone 21, ligne 30	1-4
A	DEUTSCH C V ET AL: "GEOSTATISTICAL TECHNIQUES IMPROVE RESERVOIR MANAGEMENT" PETROLEUM ENGINEER INTERNATIONAL, US, HART PUBLICATIONS, vol. 69, no. 3, 1 mars 1996 (01-03-1996), pages 21-22, 24-27, XP000596614 ISSN: 0164-8322 Page 25, colone de gauche -page 26, colone du milieu ---	1-4
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents. ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe.		
* Catégories spéciales de documents cités : "A" document définissant l'état général de la technique, n'étant pas considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais après la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour permettre de comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche a été effectivement achevée 6 septembre 2000		Date d'expédition du rapport de recherche 13/09/2000
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale E.P.O. n° de télécopieur		Fonctionnaire autorisé n° de téléphone

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR 00/01853

C (suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	n° des revendications visées
A	CARR JAMES R ET AL: "Use of geostatistics for accurate mapping of earthquake ground motion" GEOPHYSICAL JOURNAL,US,GORDON AND BREACH, NEW YORK, NY, vol. 97, 1 janvier 1989 (01-01-1989) , pages 31-40, XP002097135 ISSN: 0275-9128 -----	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR 00/01853

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0911652 A	28-04-1999	US 5995906 A NO 984499 A	30-11-1999 06-04-1999
US 5838634 A	17-11-1998	CA 2251365 A EP 0891562 A NO 984621 A WO 9738330 A	16-10-1997 20-01-1999 04-12-1998 16-10-1997