



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
13.03.2013 Bulletin 2013/11

(51) Int Cl.:
E21B 41/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12290268.7**

(22) Date de dépôt: **07.08.2012**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME

(71) Demandeur: **IFP Energies Nouvelles**
92852 Rueil Malmaison Cedex (FR)

(72) Inventeur: **Le Ravalec, Mickaele**
92500 Rueil-Malmaison (FR)

(30) Priorité: **06.09.2011 FR 1102701**

(54) **Procédé d'exploitation d'un gisement pétrolier à partir d'une technique de sélection des positions des puits à forer**

(57) Procédé d'exploitation d'un gisement pétrolier à partir d'une technique de sélection des positions des puits à forer.

Le procédé se base sur une carte d'indicateurs de production comprenant un ensemble de mailles, chaque maille étant associée à un indicateur de production définissant un impact sur la production du fluide d'un ajout d'un puits dans cette maille. On construit une carte d'indicateur de production au moyen des étapes suivantes : on sélectionne des mailles parmi l'ensemble de mailles de la carte ; on détermine des indicateurs de production aux mailles sélectionnées ; et on interpole les indicateurs de production déterminés à l'étape précédente sur l'ensemble des mailles de la carte, au moyen d'un modèle d'interpolation prenant en compte une distance entre la maille à interpoler et le puits le plus proche de la maille à interpoler. Enfin, on définit la position du puits à forer par la maille où l'indicateur de production est maximal.

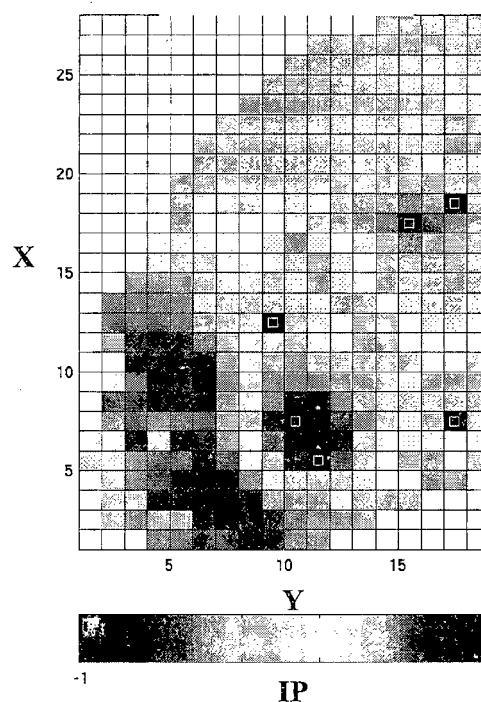


Figure 1

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine technique de l'industrie pétrolière, et plus particulièrement l'exploitation de réservoirs souterrains, tels que des réservoirs pétroliers ou des sites de stockage de gaz.

[0002] En particulier, l'invention permet de planifier efficacement le développement d'un réservoir en sélectionnant les positions où forer de nouveaux puits, pour lesquelles le potentiel de production sera maximal.

[0003] L'optimisation et l'exploitation des gisements pétroliers reposent sur une description aussi précise que possible de la structure, des propriétés pétrophysiques, des propriétés des fluides, etc., du gisement étudié. Pour ce faire, les spécialistes utilisent un outil qui permet de rendre compte de ces aspects de façon approchée : le modèle de réservoir. Un tel modèle constitue une maquette du sous-sol, représentative à la fois de sa structure et de son comportement. Généralement, ce type de maquette est représenté sur un ordinateur, et l'on parle alors de modèle numérique. Un modèle de réservoir comporte un maillage ou grille, généralement tridimensionnelle, associée à une ou plusieurs cartes de propriétés pétrophysiques (porosité, perméabilité, saturation...). L'association consiste à attribuer des valeurs de ces propriétés pétrophysiques à chacune des mailles de la grille.

[0004] Pour être jugé fiable, le modèle de réservoir doit vérifier autant que possible l'ensemble des données collectées sur le terrain : les données de diagraphie mesurées le long des puits, les mesures réalisées sur des échantillons de roche prélevés dans les puits, les données déduites de campagnes d'acquisition sismiques, les données de production comme les débits d'huile, d'eau, de pression... Ces données sont insuffisantes pour caractériser précisément les valeurs des propriétés pétrophysiques à attribuer aux mailles du modèle. C'est pourquoi on recourt d'ordinaire à un formalisme stochastique. Les propriétés pétrophysiques sont considérées comme des réalisations de fonctions aléatoires. On génère alors une image possible du réservoir, c'est à dire un modèle, à partir de techniques géostatistiques de simulation. La résolution des équations d'écoulement pour ce modèle fournit des réponses en production. Ces réponses sont alors comparées aux données de production mesurées dans les puits. Pour accroître la prédictivité du modèle de réservoir, il faut minimiser l'écart entre les réponses simulées et les données acquises sur le terrain. Cette étape passe par un processus de calage ou d'optimisation. Ce dernier est en général très coûteux en temps calcul, car il est itératif et nécessite une simulation d'écoulement par itération. Or, une unique simulation d'écoulement implique souvent quelques heures de temps calcul.

[0005] Lorsqu'un modèle respectant les données mesurées sur le terrain est finalement obtenu, il est utilisé pour prédire les déplacements de fluide dans le réservoir et planifier le développement futur du champ. Par exemple, pour les champs matures, il faut pouvoir sélectionner les zones où forer de nouveaux puits, soit pour produire l'huile par déplétion, soit pour injecter un fluide qui maintient la pression à un niveau suffisant dans le réservoir. Pour apprécier la performance d'un puits en un point, on peut s'appuyer sur le modèle de réservoir, y positionner le puits à la position souhaitée et exécuter une simulation d'écoulement. La performance d'un puits s'apprécie à partir de la quantité d'hydrocarbure qu'il produit. L'objectif final étant de maximiser la production ou la rentabilité du champ, il faudrait pouvoir tester toutes les positions possibles et ainsi sélectionner la meilleure d'entre elles. Une telle approche est inappropriée en pratique, car trop consommatrice en temps de calcul. Une alternative consiste à lancer un processus d'optimisation visant à placer un puits le mieux possible pour optimiser la production. Toutefois, cette démarche reste délicate à mettre en oeuvre, car elle nécessite quelques milliers d'itérations.

[0006] Le concept de carte d'indicateurs de production, également appelée dans la littérature carte de qualité, a été introduit pour répondre de façon pratique au problème du placement des nouveaux puits dans un réservoir. Il s'agit d'une carte bidimensionnelle, comprenant un ensemble de mailles, où chaque maille est associée à une valeur réelle qui montre comment un nouveau puits placé dans la maille en question impacte la production ou la valeur actuelle nette (VAN) par rapport à un par rapport au cas de base. Le cas de base correspond au schéma d'exploitation initial, c'est à dire ici un schéma pour lequel aucun nouveau puits n'est ajouté. (Da Cruz, P.S., Horne, R.N., Deutsch, C., The Quality map: A tool for reservoir quantification and decision making, SPE ATCE, SPE 56578, Houston, TX, USA, 1999). Un indicateur de production définit un impact sur la production du fluide (hydrocarbure) lié à l'ajout d'un puits dans la maille considérée.

[0007] Pour construire cette carte, on peut faire une simulation d'écoulement pour chaque maille ou il est possible de placer un puits. Si le réservoir comprend N_X et N_Y mailles suivant les axes X et Y, le nombre total de mailles à examiner est de $N_X \times N_Y$ auquel on soustrait les nombres de mailles non actives et de mailles dans lesquelles on a déjà un puits pour le cas de base. Cette approche nécessite un temps de calcul significatif dès que $N_X \times N_Y$ est important. En outre, les mailles possibles étant considérées les unes après les autres, les interférences entre les nouveaux puits ne sont pas prises en compte.

[0008] Pour réduire les temps de calcul, une approche par interpolation a été envisagée (Cottini-Loureiro, A., Araujo, M., Optimized well location by combination of multiple realization approach and quality map methods, SPE 95413, SPE ATCE, Dallas, TX, US, 9-12 October, 2005). On fait alors une simulation pour certaines mailles de la carte, les valeurs dans les autres mailles sont estimées par interpolation. Toutefois, cette approche ne rend pas compte des interférences entre les nouveaux puits.

[0009] La carte d'indicateurs de production quantifie pour chaque maille l'impact sur un indicateur de production du à l'ajout d'un puits dans cette maille. Elle ne tient compte que d'un puits unique. Pour ajouter plusieurs puits et prendre en compte les interférences entre ces puits, il a été suggéré de suivre une approche séquentielle. Les puits sont ajoutés les uns après les autres. A chaque fois qu'un puits est ajouté, la carte de qualité est mise à jour dans la région englobant la position sélectionnée. Une simulation d'écoulement est faite pour chacune des mailles de la région en question (Cheng, Y., McVay, D.A., Lee, W.J., A practical approach for optimization of infill well placement in tight gas reservoirs, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 1, 165-176, 2005). Cette solution nécessite de nombreuses simulations et demande donc un temps de calcul important.

[0010] Aucun des procédés développés ne propose donc une solution qui, à la fois, donne des résultats précis en un temps de calcul réduit et prend en compte les interférences avec les puits ajoutés.

[0011] Ainsi, l'objet de l'invention concerne un procédé alternatif pour exploiter un gisement pétrolier à partir d'un modèle de réservoir. Ce procédé alternatif repose sur la construction de la carte d'indicateurs de production, comprenant un ensemble de mailles, pour lesquelles certains indicateurs de production sont déterminés par interpolation, la méthode d'interpolation choisie étant dépendante de la distance entre la maille considérée et le puits le plus proche de ladite maille considérée. Ce procédé permet également de mettre à jour ladite carte d'indicateurs de production lorsque des puits sont ajoutés séquentiellement dans le modèle de réservoir, sans avoir besoin de réaliser de nouvelles simulations. Par conséquent, grâce à cette méthode, on prend en compte les interférences entre puits, et ce, en un temps de calcul limité.

Le procédé selon l'invention

[0012] L'invention concerne un procédé d'exploitation d'un réservoir souterrain, notamment d'un réservoir pétrolier, traversé par au moins un premier puits à partir duquel un fluide est produit, dans lequel on détermine une position d'au moins un second puits à forer à l'aide d'une carte d'indicateurs de production comprenant un ensemble de mailles, chaque maille étant associée à un indicateur de production définissant un impact sur la production du fluide d'un ajout d'un puits dans cette maille. Le procédé comprend les étapes suivantes :

- on construit ladite carte au moyen des étapes suivantes :

- a) on sélectionne des mailles parmi l'ensemble de mailles de ladite carte ;

- b) on détermine des indicateurs de production aux mailles sélectionnées ;

- c) on interpole lesdits indicateurs de production déterminés à l'étape b) sur l'ensemble des mailles de ladite carte, au moyen d'un modèle d'interpolation prenant en compte une distance entre la maille à interpoler et le puits le plus proche de ladite maille à interpoler ; et

- on définit la position dudit second puits par la maille où ledit indicateur de production est maximal.

[0013] Dans un mode de réalisation, l'indicateur de production mesure une variation de paramètres impactant la production du fluide lors d'un ajout d'un puits dans la maille.

[0014] De préférence, l'indicateur de production est un incrément de volume de fluide produit en plaçant un puits dans la maille ou une variation de la valeur nette attendue.

[0015] Selon un mode de réalisation avantageux, la sélection des mailles est réalisée par échantillonnage.

[0016] Avantageusement, on sélectionne les mailles en réalisant les étapes suivantes :

- i. on détermine des attributs du réservoir ;

- ii. on construit une carte d'identification des régions par une classification des attributs ; et

- iii. on sélectionne lesdites mailles en fonction de ladite carte d'identification de régions.

[0017] Dans un mode de réalisation, les attributs du réservoir utilisés sont choisis parmi les attributs suivants la distance entre chaque maille et le puits le plus proche de ladite maille ; des données dynamiques, telles que la pression et le volume de fluide connecté, des données sismiques telles que les vitesses et densités.

[0018] Selon un mode de réalisation préférentiel, le procédé de classification est l'algorithme du K-means.

[0019] De préférence, les étapes c) et de définition de la position du second puits sont répétées pour la détermination d'une position d'au moins un autre puits, en prenant en compte l'impact lié à l'ajout d'un ou plusieurs puits sur la distance

entre une maille et le puits le plus proche de ladite maille.

[0020] Avantageusement, le modèle d'interpolation utilisé à l'étape e) est un modèle d'interpolation polynômial, de préférence d'ordre 2, ou un modèle d'interpolation par krigeage, ou une combinaison d'un modèle d'interpolation polynômial et d'un modèle d'interpolation par krigeage.

[0021] L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur et/ou exécutable par un processeur, dans lequel il comprend des instructions de code de programme pour la mise en oeuvre du procédé tel que défini ci-dessus, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

[0022] En outre, l'invention concerne un procédé tel que défini ci-dessus, dans lequel on réalise des forages d'exploration auxdites positions déterminées.

[0023] D'autres caractéristiques et avantages du procédé selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

Présentation succincte des figures

[0024]

La figure 1 illustre une carte d'indicateurs de production de référence.

La figure 2 illustre une carte d'identification des régions réalisée à partir d'une classification des attributs.

La figure 3 illustre plusieurs cartes. Les figures 3.1) à 3.4) représentent l'actualisation de la carte de distance minimale. Les figures 3.5) à 3.8) du milieu représentent l'actualisation de la carte d'indicateurs de production. Les figures 3.9 à 3.12) représentent la position du puits ajouté (position foncée isolée). Les figures 3.1), 3.5), 3.9) représentent les puits existants initialement, c'est à dire 6 producteurs. Les figures 3.2), 3.6), 3.10) représentent le cas précédent auquel on a ajouté un 1 injecteur. Les figures 3.3), 3.7), 3.11) représentent le cas précédent auquel on a ajouté un deuxième injecteur. Les figures 3.4), 3.8), 3.12) représentent le cas précédent auquel on a ajouté un troisième injecteur.

Description détaillée du procédé

[0025] Le procédé selon l'invention permet d'exploiter efficacement un gisement pétrolier. Le procédé permet de sélectionner successivement des zones où il est intéressant de mettre un nouveau puits, producteur ou injecteur, pour améliorer la productivité du réservoir. Il s'appuie sur la construction d'une carte d'indicateurs de production (Figure 1) prenant en compte les interférences entre les puits.

[0026] Le procédé selon l'invention comporte les étapes listées ci-dessous :

1) on construit la carte d'indicateurs de production

a) on sélectionne des mailles parmi l'ensemble de mailles de ladite carte,

b) on détermine des indicateurs de production aux mailles sélectionnées,

c) on réalise les étapes suivantes pour déterminer les indicateurs de production à l'ensemble des mailles de la carte :

i. on définit un modèle d'interpolation prenant en compte la distance entre la maille à interpoler et le puits le plus proche et on estime les paramètres de ce modèle d'interpolation à partir desdits indicateurs de production déterminés à l'étape b),

ii. on interpole lesdits indicateurs de production sur l'ensemble des mailles de ladite carte, au moyen du modèle d'interpolation et des paramètres spécifiés à l'étape c) i., et

2) on définit la position dudit nouveau puits par la maille où ledit indicateur de production est maximal.

Etape 1) Construction de la carte d'indicateurs de production

[0027] Cette carte d'indicateurs de production comprend un ensemble de mailles, chaque maille étant associée à un indicateur de production (IP). Un indicateur de production (IP) quantifie un impact sur la production du fluide dû à l'ajout d'un puits dans cette maille. L'indicateur de production (IP) mesure une variation des paramètres impactant la production du fluide lors d'un ajout d'un puits dans la maille. Cet indicateur de production (IP) peut être notamment une variation de production totale de l'ensemble des puits, une variation de la valeur actuelle nette attendue, une variation de la pression ou du débit. Dans un mode de réalisation, l'indicateur de production (IP) est l'incrément de volume d'huile

produit en plaçant un puits, par exemple un puits injecteur, dans cette maille.

a) Sélection de mailles (Figure 2)

[0028] Avantageusement, on sélectionne des mailles de la carte à estimer à partir d'une technique d'échantillonnage, qui peut être entièrement informatisée, ou informatisée, puis complétée manuellement, ou réalisée entièrement manuellement. Par exemple, ladite technique d'échantillonnage est un hypercube latin, s'appuyant sur un critère "Maximin", qui permet de découper l'espace en sous-espaces équiprobables et échantillonnés de manière uniforme.

[0029] Selon un mode de réalisation préféré, on utilise une carte d'identification des régions, élaborée au préalable à partir d'attributs. Le procédé selon l'invention permet d'exploiter efficacement un gisement pétrolier, pour lequel un ensemble de propriétés (pétrophysiques, ou sismiques) telles que la perméabilité, la porosité, les saturations... est connu. On appelle attributs, ces propriétés du réservoir, qui peuvent être mesurées, simulées ou calculées, il s'agit notamment de données géologiques, de données géométriques, de données sismiques et de données dynamiques telles que : la pression au temps précédant l'ajout des nouveaux puits, le volume de fluide connecté, la distance minimale par rapport aux puits existants, la perméabilité moyenne, la porosité, les vitesses, la densité...

[0030] Des attributs caractérisant le réservoir étant connus, on applique une méthode de classification, pour les analyser et les séparer en classes. On en déduit une carte bidimensionnelle, dite carte d'identification des régions, distinguant des régions pour lesquelles les attributs appartiennent à la même classe. Les mailles appartenant à une même région sont donc caractérisés par des attributs proches ou similaires. Il est avantageux de recourir à des attributs, car ils ne demandent qu'un temps de calcul négligeable.

[0031] Dans un mode de réalisation préférentiel, la classification se fait suivant l'algorithme du K-means, qui permet de regrouper les attributs en K classes ne se chevauchant pas. On choisit un nombre de classes (ou coefficient K), en général inférieur à 10, afin d'obtenir un résultat relativement stable. Cet algorithme présente les avantages d'une simplicité conceptuelle, d'une rapidité d'exécution et de faibles exigences en taille mémoire.

[0032] La figure 2 représente un exemple de carte obtenue par application de cette méthode. Le nombre de classes étant fixé à cinq, on distingue cinq régions d'attributs différents. La position des puits existants est indiquée par des carrés blancs. Les mailles sélectionnées par échantillonnage sont représentées par un cercle noir et celles ajoutées manuellement par un point noir.

[0033] La carte d'identification de régions étant établie, elle peut guider le processus de sélection de mailles. Il est donc avantageux de superposer les mailles sélectionnées sur la carte d'identification des régions. Si une classe identifiée lors de la création de la carte d'identification des régions est jugée a priori intéressante par un spécialiste, mais comprend peu de mailles sélectionnées, des mailles supplémentaires sont sélectionnées manuellement par ledit spécialiste. Un choix pertinent des mailles sélectionnées, en particulier à partir de la carte d'identification des régions, permet de construire une carte d'indicateurs de production plus précise et plus fiable.

b) Détermination des indicateurs de production aux mailles sélectionnées

[0034] On détermine pour chaque maille sélectionnée à l'étape a), l'indicateur de production (IP), soit par mesure, soit par calcul ou soit par simulation.

[0035] De manière préférentielle, on exécute une simulation d'écoulement de fluide contenu dans le réservoir vers les puits producteurs, pour chaque maille sélectionnée, en partant de l'hypothèse qu'on rajoute un puits dans ladite maille sélectionnée. Par conséquent, si à l'étape b) de sélection, N mailles sont retenues, on exécute N simulations d'écoulement avec pour chacune d'entre elles un unique puits ajouté à la position considérée. Ces simulations donnent la valeur exacte de l'indicateur de production (IP1, IP2 ... IPN) pour les mailles sélectionnées. Grâce à l'invention, on exécute des mesures, des calculs ou des simulations d'écoulement uniquement pour les mailles sélectionnées. Pour exécuter une simulation d'écoulement, il est connu de l'homme du métier d'utiliser un logiciel appelé simulateur d'écoulement tel que Pumaflow® (IFP Energies nouvelles, France).

c) Détermination des indicateurs de production sur l'ensemble des mailles de la carte

i. Définition du modèle d'interpolation et de ses paramètres

[0036] Afin de ne pas avoir à déterminer les indicateurs de production sur l'ensemble des mailles de la carte à partir d'un processus coûteux en temps calcul comme une simulation d'écoulement, et par conséquent pour diminuer le temps de calcul, l'indicateur de production est estimé par interpolation sur l'ensemble des mailles non échantillonnées de la carte. Afin de prendre en compte les interférences avec les puits, le modèle d'interpolation est construit à partir d'un groupe de régresseurs comprenant un attribut qui dépend de la distance entre la maille à interpoler et le puits le plus proche de ladite maille à interpoler. Ce puits peut être un puits existant ou un puits déjà ajouté.

[0037] Dans un mode de réalisation, on peut utiliser un modèle d'interpolation polynômial ou un modèle d'interpolation par krigeage. Pour ces modèles, les mailles sont caractérisées par les valeurs des régresseurs qui leur sont associés, par exemple leurs coordonnées spatiales x et y et la distance entre la maille à interpoler et le puits le plus proche de ladite maille à interpoler. Ce dernier régresseur est introduit pour prendre en compte les interférences entre les puits ajoutés. L'indicateur de production en une maille peut donc être exprimé par la formule suivante :

$$IP(x, y) = f(x, y, D \min, IP1, IP2, \dots, IPN)$$

avec IP l'indicateur de production à la maille considérée, et $IP1$, $IP2$, IPN , les indicateurs de production connus (aux mailles sélectionnées et aux puits).

[0038] En outre, le modèle d'interpolation dépend de paramètres de construction du modèle, qui doivent être ajustés au réservoir étudié. Pour réaliser cet ajustement, on se sert des valeurs des indicateurs de production obtenus à l'étape b). En effet, cela est rendu possible car aux mailles sélectionnées, seuls ces paramètres de construction sont inconnus.

ii. Interpolation (Figure 3.5) à 3.8))

[0039] Les paramètres du modèle d'interpolation ayant été estimés à l'étape c) i., on détermine par interpolation les indicateurs de production aux mailles non sélectionnées de la carte. L'estimation des indicateurs de production par interpolation permet de s'affranchir d'un simulateur annexe et de réduire les temps de calcul.

[0040] Les figures 3.5) à 3.8) montrent des exemples de cartes d'indicateurs de production pour un exemple, chaque cas correspondant une configuration initiale différente des puits construites pour un nombre croissant de puits. L'indicateur de production choisi est l'incrément de volume d'huile produit. Les zones en noires correspondent aux zones où l'indicateur de production est minimal et les zones en gris foncé correspondent aux zones où l'indicateur de production est maximal.

[0041] En outre, cette carte présente l'avantage de pouvoir être mise à jour pour intégrer l'influence des puits successivement ajoutés sans avoir à relancer de nouvelles simulations d'écoulement. La figure 1 représente un exemple de carte d'indicateurs de production. La valeur en une position correspond à l'indicateur de production, il s'agit ici, en valeur relative (%), de l'incrément de volume d'huile produit en plaçant un puits injecteur à cette position. Les carrés blancs indiquent les puits existants.

Etape 2) Positionnement d'un nouveau puits (Figure 3.9) à 3.12))

[0042] La valeur maximale de l'indicateur de production ainsi construit correspond à la maille où il sera le plus avantageux de positionner un puits. On ajoute au schéma de production alors un puits qu'on intègre au groupe des puits existants. Le puits pourra alors être foré ultérieurement.

[0043] Les figures 3.9) à 3.12) représentent un exemple de positionnement successif de puits. Le puits ajouté est représenté par la maille coloriée en noire.

Ajout de puits supplémentaires

[0044] Pour définir l'emplacement optimal d'au moins un autre nouveau puits, on réalise au préalable la mise à jour des distances minimales au puits le plus proche pour chaque maille de la carte. Cette mise à jour tient compte du puits qui vient d'être ajouté. En effet, un puits ayant été ajouté au groupe des puits existants, il faut recalculer pour chacune des mailles la distance la séparant du puits existant ou simulé le plus proche. On obtient alors une carte de distance minimale actualisée, telle que présentée pour un exemple aux figures 3.1) à 3.4). De fait, les coordonnées des mailles de la carte sont modifiées. On rappelle que ces coordonnées sont x , y et la distance de la maille considérée au puits existant ou simulé le plus proche. Les indicateurs de production courants ne sont donc plus à jour.

[0045] On répète alors l'étape c) ii, ce qui aboutit à la mise à jour de la carte d'indicateurs de production. On notera que les valeurs des indicateurs de production déterminés à l'étape b) avant l'ajout du premier puits sont conservées pour les mailles sélectionnées, sauf pour les mailles sélectionnées pour lesquelles la distance au puits le plus proche a variée. La prise en compte de la distance au puits le plus proche dans le processus d'interpolation engendre naturellement une décroissance des indicateurs de production de ces mailles.

[0046] La carte d'indicateurs de production ayant été actualisée, on répète l'étape 2) de définition de la position d'un nouveau puits.

[0047] Cette procédure est répétée tant qu'on souhaite ajouter un puits.

[0048] Ainsi, grâce à l'invention, le positionnement du nouveau puits est un paramètre entrant en compte dans la

détermination des indicateurs de production. Par conséquent, les interférences entre les puits sont prises en compte. En outre, l'étape b) de détermination des indicateurs de production aux mailles sélectionnées et l'étape c) i. de définition du modèle d'interpolation et de ses paramètres ne sont pas répétées, ce qui apporte un gain de temps de déroulement du procédé. Ce gain est significatif, notamment quand le nombre de mailles échantillonnées est important et quand l'étape b) recourt à un simulateur d'écoulement pour déterminer les indicateurs de production aux mailles échantillonnées.

Exemple d'application

[0049] Pour illustrer le procédé, on reprend un cas test élaboré dans le cadre du projet européen "Production forecasting with UNcertainty Quantification" à partir d'un réservoir pétrolier réel. Le champ contient de l'huile et du gaz. Il est produit à partir de 6 puits producteurs localisés près de la ligne de contact entre l'huile et le gaz. Le schéma de production de base couvre la période allant du 01/01/1967 au 15/01/1975. Les puits sont ensuite fermés pendant trois ans avant d'être mis en production à débit imposé les quatre dernières années. Au terme des huit ans se pose la question d'ajouter des puits d'injection d'eau pour soutenir la pression dans le réservoir. On suppose que du 15/01/75 au 15/01/80, la production est pilotée par les six puits producteurs et des puits injecteurs. Le problème consiste à identifier les positions les plus stratégiques pour l'implantation des puits injecteurs.

[0050] Il s'agit alors de construire, en utilisant le procédé selon l'invention, une carte d'indicateurs de production (IP), et d'en déduire la position des puits à ajouter tout en l'actualisant au fur et à mesure.

[0051] Le modèle de réservoir est discrétisé sur une grille de $19 \times 28 \times 5$ mailles, dont 1761 sont actives. Cette configuration nous amène à construire une carte d'indicateurs de production sur une grille de 19×28 mailles, dont 396 peuvent accueillir un nouveau puits. Le cas de base correspond au volume d'huile cumulé produit par les six puits producteurs au 15/01/80 en l'absence de tout puits injecteur. L'indicateur de production attribué à une maille de la carte d'indicateurs de production correspond à la quantité d'huile produite en plus lorsqu'un puits injecteur est placé dans la maille en question.

[0052] Une simulation d'écoulement pour le cas PUNQ demande un temps de calcul très réduit. Dans ces conditions très particulières, il est tout à fait envisageable de faire une simulation d'écoulement pour toutes les mailles possibles, ce qui donne accès à la carte exacte d'indicateurs de production (IP) (Figure 1).

[0053] Plusieurs attributs ont été déterminés pour le cas test, parmi lesquels la pression et le volume d'huile connecté le 15/01/75 ainsi que la perméabilité moyenne connectée. L'algorithme du K-means est ensuite appliqué pour identifier des régions. Cinq classes sont considérées pour l'exemple étudié. La carte d'identification des régions en résultant est reportée sur la Figure 2. A ce stade, il est difficile d'estimer l'intérêt des régions en termes de performance ou de rentabilité. Des indices sont toutefois apportés par l'analyse des attributs. Par exemple, une zone où la pression est forte est sans doute favorable à l'implantation d'un nouveau puits. Il est aussi préférable de mettre un puits dans une maille où le volume d'huile connecté est important, où les perméabilités sont fortes, dans une maille suffisamment éloignée des puits existants, etc. De fait, il est probable que les classes notées 1 et 4 présentent un potentiel intéressant pour le forage de nouveaux puits, contrairement à la classe 5.

[0054] On sélectionne ensuite des mailles de la carte par échantillonnage à partir d'un hypercube latin s'appuyant sur un critère "Maximin". En identifiant les mailles sélectionnées sur la carte d'identification des régions (Figure 2), on observe que deux amas de la classe 1, qui est majoritairement représentée et dont le potentiel est a priori important pour le spécialiste, ne sont pas échantillonnés. Le spécialiste intervient alors manuellement : les positions supplémentaires ainsi sélectionnées sont indiquées par des disques noirs. On sélectionne 5 mailles dans la classe 1 et 1 dans la classe 5. On fait ensuite une simulation d'écoulement avec un moyen de simulation d'écoulement Pumaflow® (IFP Energies nouvelles, France) avec un puits injecteur placée sur chacune des mailles sélectionnées, les unes après les autres. On en déduit l'indicateur de production (IP1, IP2, ..., IPN) associé à ces mailles dont les coordonnées sont les coordonnées spatiales (X, Y) et la valeur de la distance (Dmin) qui les sépare du puits existant le plus proche.

[0055] La distance minimale (Dmin) par rapport aux puits le plus proche (existant ou simulé) est présentée sur la Figure 3.1). Les indicateurs de production (IP) dans les mailles non sélectionnées sont alors déduits d'une interpolation par krigeage, dont les paramètres auront été déterminés au préalable à partir desdites simulations d'écoulement aux mailles sélectionnées. La Figure 3.5) montre la carte d'indicateurs de production qui en résulte. Elle est très proche de la carte d'indicateurs de production de référence (Figure 1), bien qu'elle ait été construite à partir de 26 simulations d'écoulement au lieu de 396. On définit à présent la position du premier puits à ajouter par la maille où l'indicateur de production (quantité d'huile produite) est maximal (Figure 3.9)), celui-ci étant intégré au groupe des puits existants. Pour placer le puits suivant, on actualise la carte de distance minimale, puis la carte d'indicateurs de production. On répète cette procédure tant que l'on souhaite ajouter des puits. Les Figures 3.1) à 3.4) montrent l'évolution de la carte de distance minimale avec l'ajout successif de puits. Les Figures 3.5) à 3.8) montrent l'évolution qui en résulte pour la carte d'indicateurs de production. Les Figures 3.9) à 3.12) montrent la position sélectionnée pour le nouveau puits à partir des cartes d'indicateurs de production actualisées.

Revendications

1. Procédé d'exploitation d'un réservoir souterrain, notamment d'un réservoir pétrolier, traversé par au moins un premier puits à partir duquel un fluide est produit, dans lequel on détermine une position d'au moins un second puits à forer à l'aide d'une carte d'indicateurs de production comprenant un ensemble de mailles, chaque maille étant associée à un indicateur de production (IP) définissant un impact sur la production du fluide d'un ajout d'un puits dans cette maille, **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes :
 - on construit ladite carte au moyen des étapes suivantes :
 - a) on sélectionne des mailles parmi l'ensemble de mailles de ladite carte ;
 - b) on détermine des indicateurs de production (IP) aux mailles sélectionnées ;
 - c) on interpole lesdits indicateurs de production (IP) déterminés à l'étape b) sur l'ensemble des mailles de ladite carte, au moyen d'un modèle d'interpolation prenant en compte une distance entre la maille à interpoler et le puits le plus proche de ladite maille à interpoler ; et
 - on définit la position dudit second puits par la maille où ledit indicateur de production est maximal.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'indicateur de production (IP) mesure une variation de paramètres impactant la production du fluide lors d'un ajout d'un puits dans la maille.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'indicateur de production (IP) est un incrément de volume de fluide produit en plaçant un puits dans la maille ou une variation de la valeur nette attendue.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la sélection des mailles est réalisée par échantillonnage.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on sélectionne les mailles en réalisant les étapes suivantes :
 - i. on détermine des attributs du réservoir ;
 - ii. on construit une carte d'identification des régions par une classification des attributs ; et
 - iii. on sélectionne lesdites mailles en fonction de ladite carte d'identification de régions.
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel les attributs du réservoir utilisés sont choisis parmi les attributs suivants la distance entre chaque maille et le puits le plus proche de ladite maille ; des données dynamiques, telles que la pression et le volume de fluide connecté, des données sismiques telles que les vitesses et densités.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes 5 et 6, dans lequel le procédé de classification est l'algorithme du K-means.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les étapes c) et de définition de la position du second puits sont réitérées pour la détermination d'une position d'au moins un autre puits, en prenant en compte l'impact lié à l'ajout d'un ou plusieurs puits sur la distance entre une maille et le puits le plus proche de ladite maille.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le modèle d'interpolation utilisé à l'étape e) est un modèle d'interpolation polynômial, de préférence d'ordre 2, ou un modèle d'interpolation par krigage, ou une combinaison d'un modèle d'interpolation polynômial et d'un modèle d'interpolation par krigage.
10. Produit programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur et/ou exécutable par un processeur, dans lequel il comprend des instructions de code de programme pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel on réalise des forages d'exploration auxdites positions déterminées.

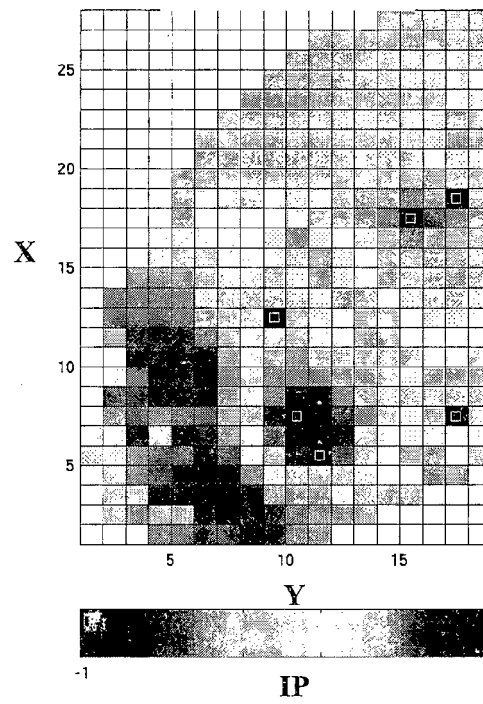


Figure 1

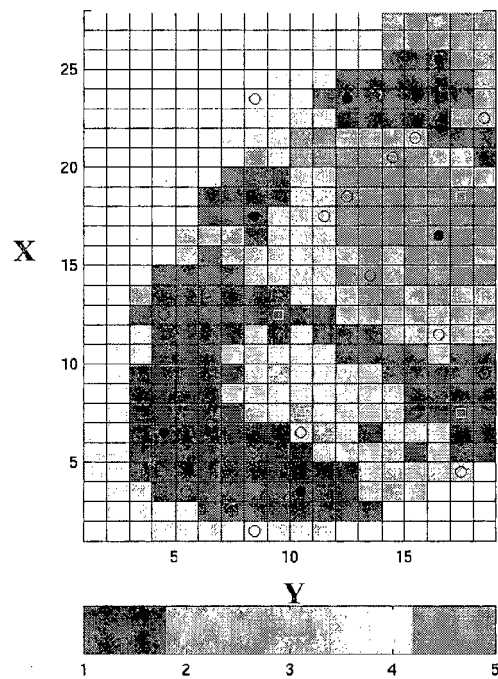


Figure 2

Figure 3.1)

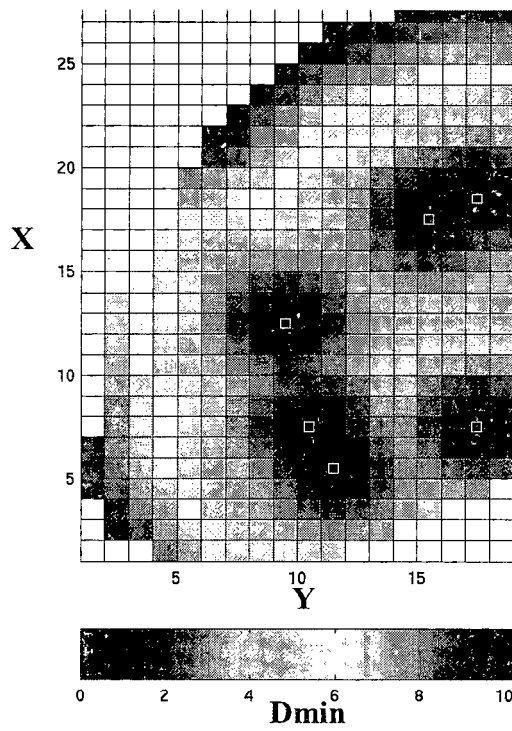


Figure 3.2)

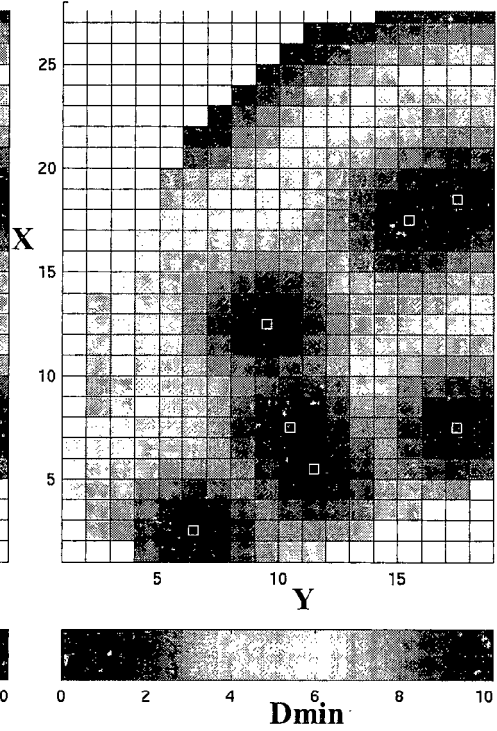


Figure 3.3)

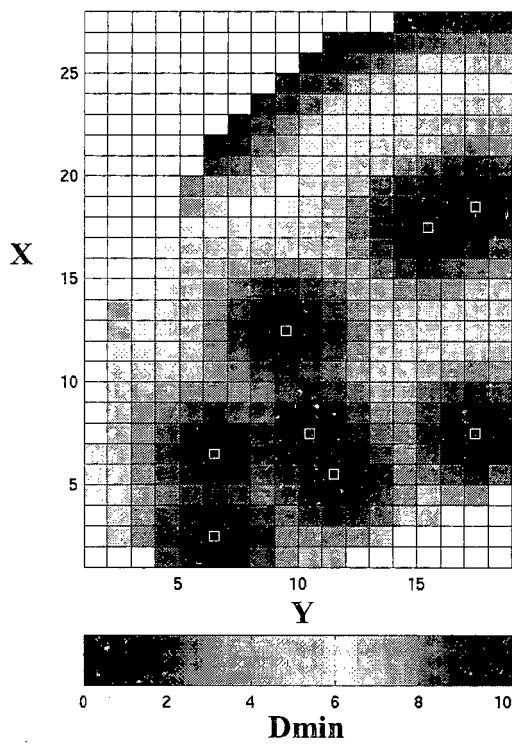


Figure 3.4)

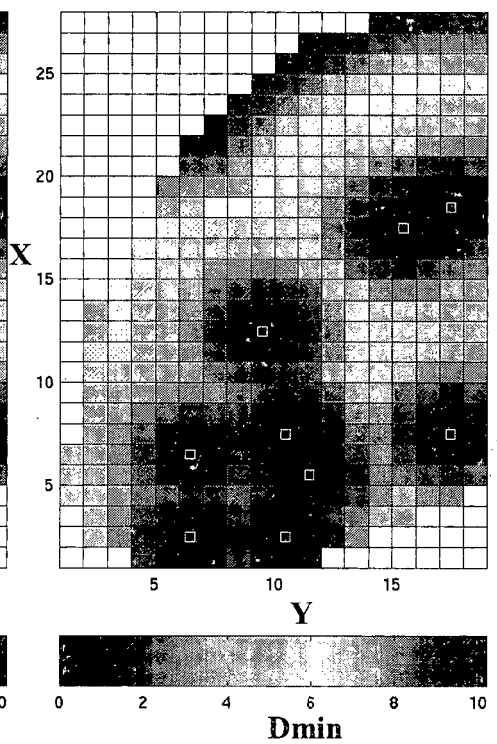


Figure 3.5)

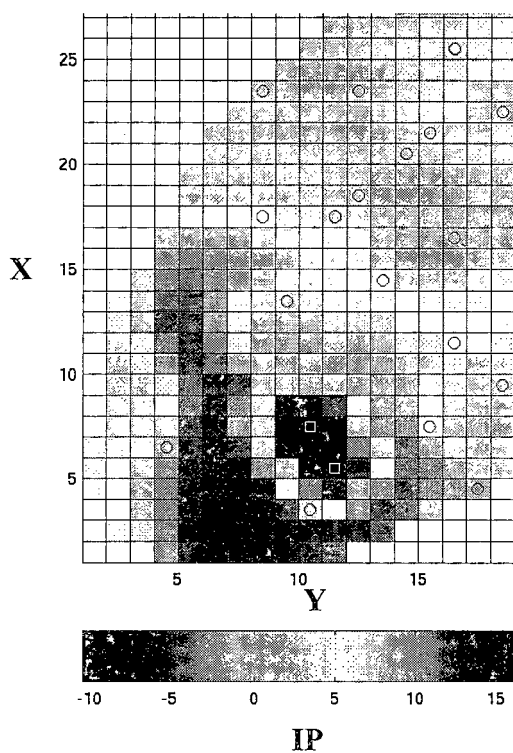


Figure 3.6)

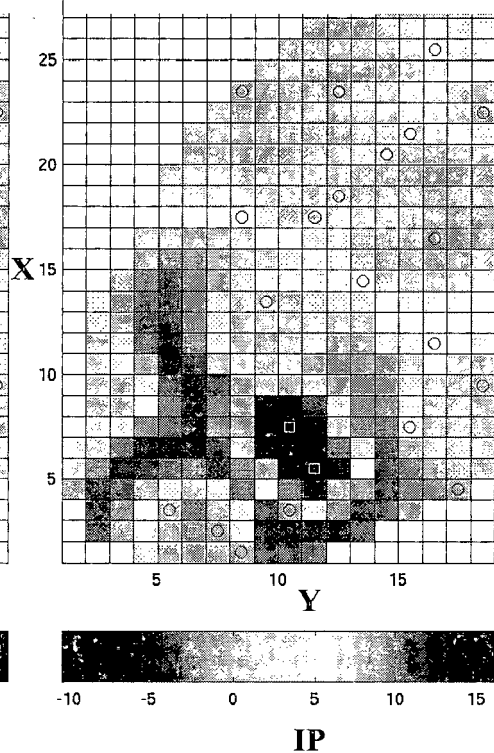


Figure 3.7)

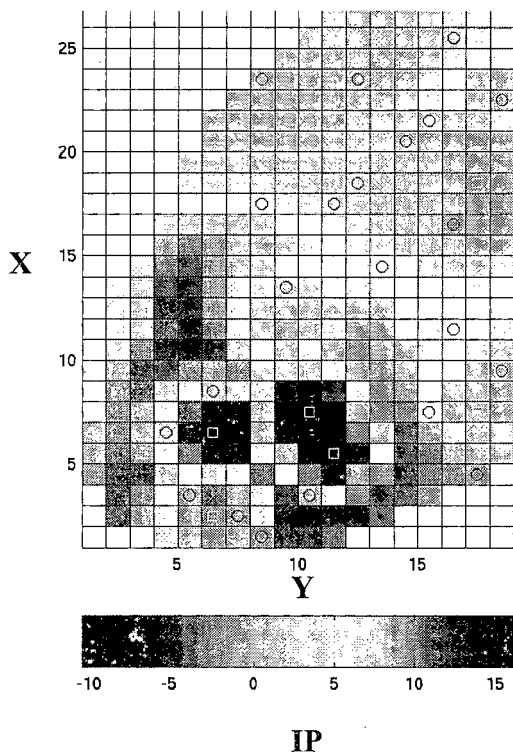


Figure 3.8)

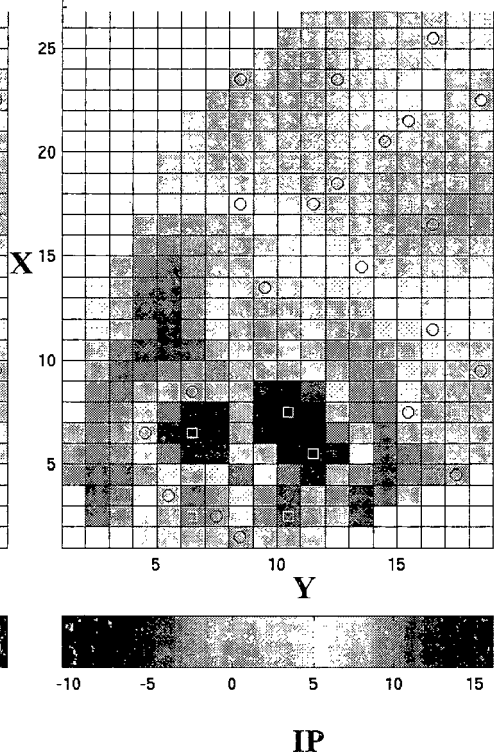


Figure 3.9)

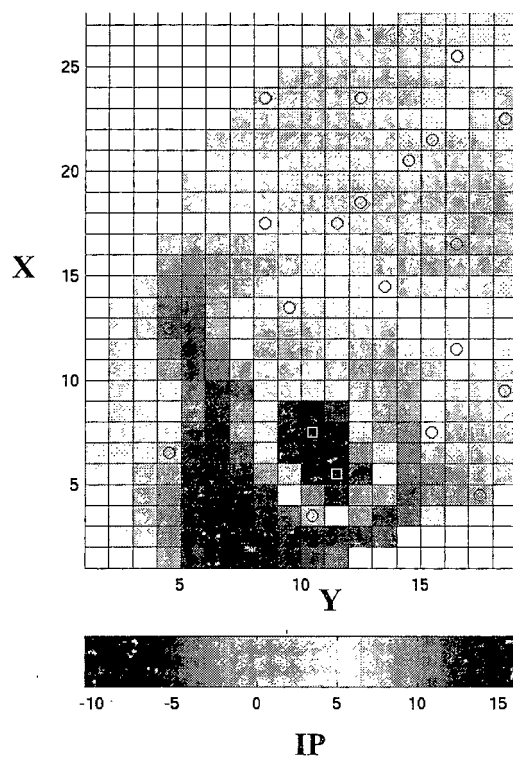


Figure 3.10)

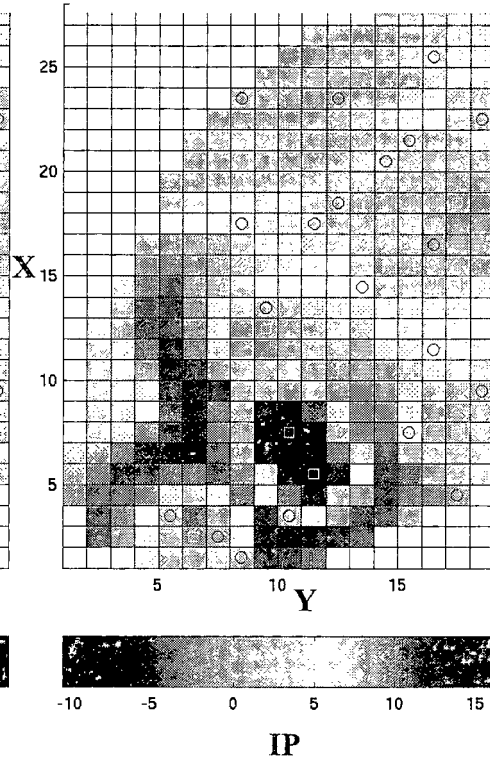


Figure 3.11)

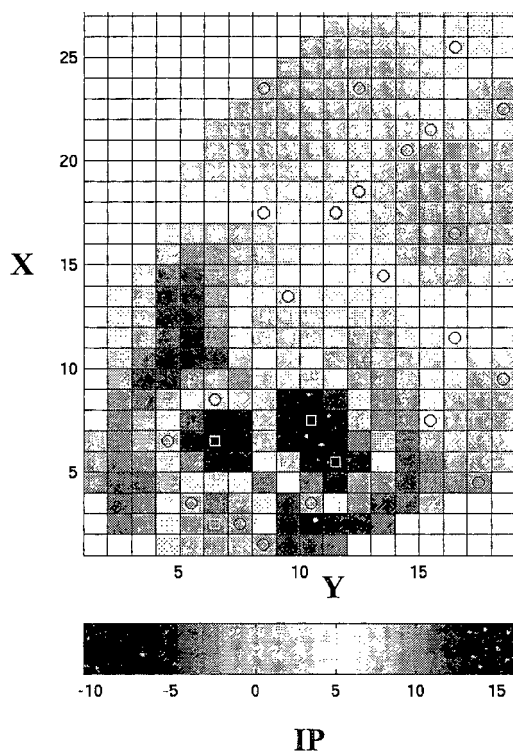
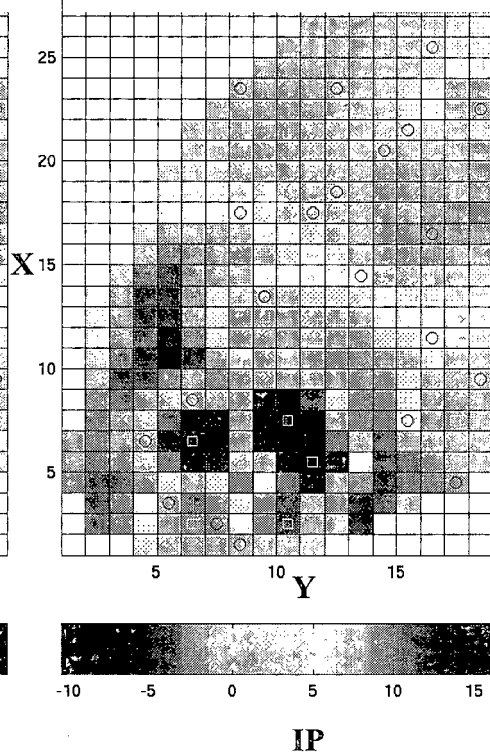


Figure 3.12)





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 29 0268

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 5 757 663 A (LO TAK-SING [US] ET AL) 26 mai 1998 (1998-05-26) * abrégé *	1-11	INV. E21B41/00
A	----- WO 01/23829 A2 (MOBIL OIL CORP [US]) 5 avril 2001 (2001-04-05) * page 6, ligne 5 - page 8, ligne 21 * * page 18, ligne 3 - page 20, ligne 11 *	1-11	
A	----- CAVALCANTE J.: "Methodology for Quality Map Generation to Assist with the Selection and Refinement of Production Strategies", SPE 101940, 12 octobre 2005 (2005-10-12), pages 1-10, XP002676803, * le document en entier *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			E21B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 26 septembre 2012	Examineur Ott, Stéphane
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03/82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 12 29 0268

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

26-09-2012

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5757663	A	26-05-1998	AUCUN	
WO 0123829	A2	05-04-2001	AT 500486 T	15-03-2011
			AU 777657 B2	28-10-2004
			AU 7706100 A	30-04-2001
			BR 0014186 A	29-07-2003
			CA 2384810 A1	05-04-2001
			CN 1421009 A	28-05-2003
			EP 1389298 A2	18-02-2004
			MX PA02003097 A	16-12-2002
			NO 20021383 A	15-05-2002
			US 6549879 B1	15-04-2003
			WO 0123829 A2	05-04-2001

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **DA CRUZ, P.S. ; HORNE, R.N. ; DEUTSCH, C.** The Quality map: A tool for reservoir quantification and decision making. *SPE ATCE, SPE 56578, Houston, TX, USA, 1999 [0006]*
- **COTTINI-LOUREIRO, A. ; ARAUJO, M.** Optimized well location by combination of multiple realization approach and quality map methods. *SPE 95413, SPE ATCE, Dallas, TX, US, 09 Octobre 2005 [0008]*
- **CHENG, Y. ; MCVAY, D.A. ; LEE, W.J.** A practical approach for optimization of infill well placement in-tight gas reservoirs. *Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2005, vol. 1, 165-176 [0009]*