



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 167 865 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
02.01.2002 Bulletin 2002/01

(51) Int Cl.7: **F17D 1/00, F17D 3/05**

(21) Numéro de dépôt: **01401422.9**

(22) Date de dépôt: **31.05.2001**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeurs:
• **Duret, Emmanuel**
92500 Rueil-Malmaison (FR)
• **Faille, Isabelle**
78240 Carrière sur Seine (FR)
• **Heintze, Eric**
92190 Meudon (FR)

(30) Priorité: **23.06.2000 FR 0008200**

(71) Demandeur: **INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE**
92852 Rueil-Malmaison Cedex (FR)

(54) **Méthode de maillage automatique de conduites permettant l'implémentation de codes de modélisation de flux**

- (57) -Méthode de maillage automatique de conduites permettant l'implémentation de codes de modélisation de fluides acheminés par ces conduites.
- La méthode comporte essentiellement, compte-tenu d'une taille minimale et une taille maximale de maille, une subdivision de la conduite en tronçons délimités par des coudes, un positionnement de mailles de taille minimale de part et d'autre de chaque coude, un positionnement de grandes mailles de taille au plus égale à la taille maximale dans la portion centrale de chaque tronçon, et une répartition de mailles de tailles croissantes ou décroissantes sur les portions intermédiaires de chaque tron-

çon entre chaque maille de taille minimale et la portion centrale. De préférence, la méthode comporte une étape de simplification préalable de la topographie de la conduite par analyse de spectres de poids ou de fréquence, de manière à diminuer le nombre de mailles total sans nuire à la représentativité de la modélisation des flux opérée avec le maillage.

- Applications aux maillages de conduites pétrolières par exemple.

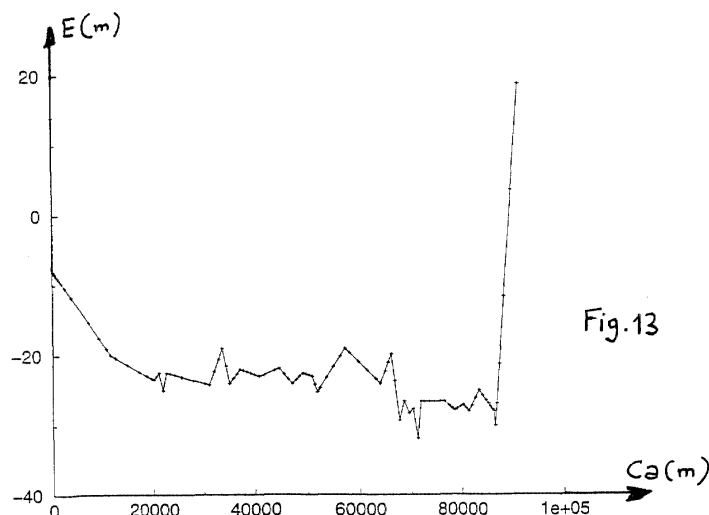


Fig.13

EP 1 167 865 A1

Description

[0001] La présente invention concerne une méthode de maillage automatique de conduites permettant l'implémentation de codes de modélisation de fluides acheminés par ces conduites.

[0002] La méthode selon l'invention trouve des applications dans de nombreux domaines. On peut notamment l'utiliser dans le domaine de la production d'hydrocarbures pour l'implémentation de codes de simulation d'écoulements polyphasiques dans des conduites pétrolières depuis des sites de production jusqu'à des sites de destination.

[0003] Le maillage obtenu par la méthode peut être utilisé notamment pour l'implémentation du code de modélisation TACITE (marque déposée) destiné à simuler des écoulements permanents ou transitoires d'hydrocarbures dans des conduites. Différents algorithmes permettant de conduire la simulation des écoulements suivant le code TACITE ont fait l'objet des brevets US 5 550 761, FR 2 756 044 et FR 2 756 045 (US 5 960 187).

[0004] Les modes d'écoulement de fluides polyphasiques dans des tubes sont extrêmement variés et complexes. Les écoulements diphasiques, par exemple, peuvent être stratifiés, la phase liquide s'écoulant dans la partie inférieure de la conduite, ou intermittents avec une succession de bouchons liquides et gazeux, ou bien encore dispersés, le liquide étant entraîné sous forme de fines gouttelettes. Le mode d'écoulement varie notamment avec l'inclinaison des conduites par rapport à l'horizontale et il dépend du débit de la phase gazeuse, de la température etc. Le glissement entre les phases qui varie selon que l'on considère les tronçons de conduite ascendants ou descendants, entraîne des variations de pression sans qu'il y ait toujours compensation. Les caractéristiques du réseau d'écoulement (dimensionnement, pression, débit de gaz, etc.) doivent être déterminées avec soin.

[0005] Le code de simulation TACITE prend en compte un certain nombre de paramètres influant directement sur la physique du problème à traiter. Parmi ceux-ci, on trouve les propriétés des fluides et des modes d'écoulement, les variations topographiques (variations de longueurs, d'inclinaison, de diamètre etc.), la rugosité éventuelle des conduites, ses propriétés thermiques (nombre de couches d'isolant et leur nature) ou encore la disposition d'équipements le long de la conduite (pompes, injecteurs, séparateurs, etc.) qui entraînent des changements de flux physique.

Etat de la technique

[0006] Le maillage d'un domaine physique est une étape primordiale lors d'une simulation numérique. De sa qualité dépendent la validité des résultats et les temps de calcul. Il est donc fondamental de fournir au code un maillage correct avant de commencer une simulation. On juge généralement la qualité d'un maillage

à sa capacité à bien décrire les phénomènes physiques sans que la simulation ne prenne trop de temps, si bien qu'il existe toujours un maillage optimal pour chaque problème étudié. Un maillage inadapté peut conduire, dans l'exécution du schéma numérique qui régit la simulation, à des erreurs difficilement détectables, du moins au premier abord, voire même rendre le calcul impossible et stopper l'exécution du code, s'il est par trop aberrant. Les utilisateurs des codes n'ont pas forcément une expérience suffisante en analyse numérique pour la réalisation d'un maillage correct, susceptible de rendre réellement compte des phénomènes physiques que l'on veut étudier.

[0007] La topographie d'une conduite cylindrique peut être assimilée à une succession de segments de droites reliant des points successifs. En coordonnées cartésiennes, deux points successifs de la conduite sur ses portions verticales (montantes ou descendantes) peuvent avoir même abscisse (courbe A sur la Fig.1). Il est bien préférable de ce fait de représenter l'élévation de chaque point en fonction de son abscisse curviligne le long de la conduite. Avec ce mode de représentation, des points successifs de la conduite d'élévations différentes ont forcément deux abscisses curvilignes distinctes et la pente des tronçons de conduite est au plus égale à 45° par rapport à l'horizontale (cas des tronçons montants ou descendants absolument verticaux courbe B de la Fig.1). A une abscisse correspond toujours une ordonnée et une seule.

[0008] Avec un peu de sens physique, certaines erreurs de maillage peuvent être évitées. Aux endroits de la conduite susceptibles de connaître de grandes variations des paramètres physiques si on est en mesure de les prévoir, on peut imposer un maillage plus fin qu'ailleurs. Ainsi, on effectue moins de calculs à chaque pas de temps, tout en conservant la finesse souhaitée aux endroits importants. Mais, dans l'optique d'obtenir une solution continue, le passage d'une maille fine à une maille plus grossière doit, lui aussi, être continu.

[0009] La Fig.2a montre par exemple une portion de conduite en W d'une longueur de 2 km comprenant quatre tronçons de 500 m. Si on discrétise une telle conduite par des mailles à pas de 40 m constant du début à la fin, on laisse de côté les points importants du tracé à 500 m et 1500 m. La simulation ne permettra pas de rendre compte correctement de l'accumulation de liquide à ces points bas de la topographie. Plus important encore, le calcul est faussé par le fait qu'on ait remplacé les angles du W par des segments de droites horizontaux (Fig. 2b). Les phénomènes physiques ne seront pas ceux recherchés.

[0010] La méthode selon l'invention permet d'obtenir automatiquement un maillage ou discrétisation d'une conduite tenant compte au mieux de la topographie et des paramètres physiques affectant la physique des écoulements, soumis aux contraintes suivantes :

- 1 - Assurer la convergence du calcul ;

- 2 - Représenter au mieux les accumulations importantes de liquide dans les points bas de la conduite ;
- 3 - Placer les équipements sur un bord de maille ;
- 4 - Imposer à deux mailles consécutives d'avoir le même ordre de longueur ;
- 5 - Respecter la longueur totale de la conduite ;
- 6 - Limiter le nombre de mailles au minimum possible en respectant les contraintes précédentes, pour ne pas trop pénaliser la simulation avec le temps de calcul.

[0011] Le respect des six contraintes précédentes n'est pas une tâche aisée, mais il est le passage obligé pour éviter de mailler la conduite étudiée de façon homogène, sans se soucier de la physique du problème, comme le font la plupart des mailleurs automatiques.

[0012] Pour limiter le nombre de mailles, il faut chercher, si cela est possible, à simplifier la topographie pour ne retenir que les seules zones de la conduite où se trouvent les variations significatives du profil susceptibles d'intervenir de façon significative sur les phénomènes physiques.

La méthode selon l'invention

[0013] La méthode selon l'invention permet de mailler automatiquement une conduite 1D présentant sur toute sa longueur une topographie ou profil quelconque dans le but de faciliter l'implémentation de codes de modélisation de flux. Le maillage obtenu par la méthode présente une répartition de mailles de dimensions variables, appropriée pour tenir compte au mieux de la physique des écoulements.

[0014] La méthode est caractérisée en ce que, ayant défini une taille minimale de maille et une taille maximale de maille, on subdivise la conduite en tronçons délimités par des coudes, on positionne une maille de taille minimale de part et d'autre de chaque coude, on positionne des grandes mailles de taille au plus égale à la taille maximale dans la portion centrale de chaque tronçon, et on répartit des mailles de tailles croissantes ou décroissantes sur les portions intermédiaires de chaque tronçon entre chaque maille de taille minimale et la portion centrale.

[0015] La répartition des mailles de tailles croissantes ou décroissantes sur les portions de chaque tronçon intermédiaire entre chaque maille de taille minimale et la portion centrale, est obtenue par exemple en déterminant les points d'intersection avec chaque tronçon de conduite, d'un faisceau de droites concourant en un point et formant entre elles un angle constant.

[0016] On détermine par exemple la position du sommet du faisceau de droites sur un axe passant par un coude de la conduite et perpendiculaire à chaque tronçon, à une distance de celui-ci qui est fonction de la taille des mailles extrêmes de chaque portion intermédiaire et de leur écart.

[0017] Le positionnement automatique des mailles

avec des mailles plus petites au voisinage des extrémités de chaque tronçon permet d'apporter un plus grand soin à la modélisation des phénomènes dans les portions de conduite présentant des changements de direction (inflexion ou coude).

[0018] La méthode selon l'invention comporte de préférence une simplification préalable de la topographie de la conduite de façon que le nombre total de mailles du maillage de la conduite permettent une modélisation réaliste de la physique des phénomènes dans un temps fixé.

[0019] Suivant un premier mode d'implémentation, la méthode comporte une représentation de la conduite sous la forme d'un graphe reliant l'abscisse curviligne et la variation de niveau, et une simplification du nombre de tronçons a) en affectant à chaque point entre deux tronçons successifs un poids prenant en compte la longueur des tronçons et leurs pentes respectives, b) en sélectionnant parmi les points rangés par ordre de poids croissant ou décroissant, ceux dont le poids est le plus élevé, la topographie simplifiée étant celle du graphe passant par les points sélectionnés.

[0020] La sélection des points de la conduite dont le poids est le plus élevé est obtenue par exemple en repérant dans le rangement de points une discontinuité de poids supérieure à un certain seuil fixé.

[0021] Suivant un autre mode d'implémentation, la méthode comporte une représentation de la conduite sous la forme d'un graphe reliant l'abscisse curviligne et la variation de niveau, et une simplification du nombre de tronçons par a) la formation du spectre de fréquence de la courbe représentative de la topographie de la conduite, b) l'atténuation des plus hautes fréquences du spectre traduisant les plus petites variations de topographie et c) la reconstruction d'une topographie simplifiée correspondant au spectre de fréquence rectifié.

[0022] La sélection est effectuée par exemple par a) un échantillonnage de la courbe représentative de la topographie de la conduite avec un pas d'échantillonnage choisi pour que le plus petit tronçon de la conduite contienne au moins deux pas d'échantillonnage, b) une détermination du spectre de fréquence de la courbe échantillonnée par application, c) une correction du spectre par filtrage passe-bas dont la fréquence de coupure est choisie en fonction d'un nombre de mailles maximal fixé pour subdiviser la conduite, et, d) une détermination de la topographie correspondant au spectre de fréquence rectifié.

[0023] Les deux modes de simplification automatique précédents peuvent être appliqués indépendamment l'un de l'autre ou bien successivement, le second mode étant appliqué de préférence quand le premier mode ne permet pas de simplification notable de la topographie.

Présentation sommaire des figures

[0024] D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de

la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisation, en se référant aux dessins annexés où :

- la Fig.1 montre deux modes de représentation schématique de la variation de l'élévation (E) d'une conduite en fonction de l'abscisse (A) selon que c'est une abscisse cartésienne (ca) ou curviligne (cu);
- les Fig.2a, 2b montrent respectivement la topographie schématique d'une conduite en forme de W en coordonnées curvilignes, et une partie agrandie de cette même topographie, discrétisée par un maillage approprié ;
- la Fig. 3 montre un mode d'attribution de poids (P) à des points de la topographie d'une conduite ;
- la Fig. 4 montre un exemple de spectre adimensionnel (PA) de poids en fonction de la longueur (L);
- la Fig. 5 montre un exemple d'arrangement des points par paliers de poids décroissants, permettant de repérer la position d'un seuil et de simplifier la topographie de la conduite ;
- la Fig. 6 montre un exemple de topographie d'une conduite marine (variation de l'élévation E en fonction de l'abscisse curviligne ca) comportant un « riser » à ses extrémités ;
- la Fig. 7 montre la topographie simplifiée de la même conduite, que l'on obtient par sélection des poids ;
- la Fig. 8 montre que, sans les « risers » terminaux, la forme générale de la même conduite est plus difficile à dégager ;
- la Fig.9 montre un spectre de fréquence typique d'une conduite ;
- la Fig. 10 montre un exemple de tronçon de conduite avec une distribution de mailles de différentes tailles, les plus petites M1 étant positionnées aux coudes, les plus grandes, M2 étant placées dans le tiers central, les mailles intermédiaires M3 étant interposées et résultant d'une interpolation I entre les unes et les autres ;
- la Fig. 11 montre un mode de formation de mailles de tailles croissantes ;
- la Fig. 12 illustre le mode de découpage angulaire d'une portion intermédiaire sur un tronçon de conduite ; et
- la Fig.13 montre le maillage obtenu par la mise en

oeuvre de la méthode, sur une conduite sous-marine de 90km de longueur.

DESCRIPTION DETAILLEE

I) Simplification de la topographie d'une conduite

[0025] On n'a généralement aucune difficulté à faire ressortir au premier coup d'oeil la forme globale d'un profil quelconque. La méthode selon l'invention permet, par des critères purement mathématiques, le repérage automatique de la configuration d'une conduite, en se basant sur une analyse spectrale de la courbe représentative des variations du profil. Parmi tous les spectres que l'on peut associer à une topographie donnée, on en recherche un qui permette de distinguer les portions du profil à simplifier et les portions du profil importantes.

I-1) Premier mode de simplification

[0026] Dans une topographie, les seuls critères faisant en sorte qu'un point est simplifiable par rapport à un autre, ne peuvent être que les longueurs des sections qui l'entourent et la différence angulaire les séparant (Fig.3). Lorsqu'on construit les deux « spectres » (Indices du tronçon) - (Longueurs des tronçons) et (Abscisse curviligne des points) - (Différence angulaire des tronçons entrant et sortant), on se rend compte qu'ils présentent des différences notables d'ordres de grandeur mais également que ces deux spectres sont indépendants, si bien qu'en simplifiant des points négligeables dans l'un, il se peut qu'on ait effacé des points importants dans l'autre.

[0027] Pour regrouper ces deux spectres en un seul, on va affecter à chaque point topographique un poids prenant en compte les longueurs de tronçons, et les différences angulaires qui les séparent. On utilise par exemple la pondération suivante :

$$Poids = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} (P_2 - P_1)^2$$

où L_1 et L_2 sont les longueurs des tronçons, et

$$P_1 = \frac{y_1}{x_1}$$

et

$$P_2 = \frac{y_2}{x_2}$$

sont les pentes. Ainsi, à longueurs égales, on simplifiera les tronçons séparés par la plus petite différence de

pente. Et à angles égaux, on simplifiera les longueurs les plus courtes.

Construction du spectre

[0028] Le spectre (Abscisse curviligne - Poids) présente dans la majorité des cas, une succession de pics de toutes tailles. Ces spectres tel celui de la Fig.4 ne sont généralement pas analysables directement. Dans ces conditions, la technique que l'on utilise ici consiste à classer les poids (P) par ordre croissant ou décroissant et à leur affecter à chacun l'indice correspondant de classement (CI) par poids de 1 à N. De préférence, on utilise une représentation (Log Poids- Indice) qui fait mieux ressortir les ordres de grandeur car un saut de n sur un tel spectre signifie un rapport de 10^n sur les poids. Tous les poids ayant le même ordre de grandeur sont classés sur des paliers plus ou moins horizontaux. Deux poids d'ordres de grandeur différents seront séparés par un segment de droite vertical. On aboutit à un spectre en cascade, permettant de lire aisément les différents ordres de grandeurs présents dans la topographie. Sur l'exemple de la Fig.5 par exemple, le spectre logarithmique Log P contient deux paliers bien distincts séparés par un segment vertical.

[0029] On cherche le premier triplet de points consécutifs du spectre, défini par exemple par un seuil ΔP fixé sur l'échelle logarithmique ($\Delta P=1$ par exemple) entre le deuxième et le troisième, qui suit un saut inférieur à ΔP entre le premier et le deuxième. Les deux premiers points sont du même ordre de grandeur. Tous les points suivants sont d'un ordre de grandeur négligeable par rapport aux deux premiers. De cette façon, on s'assure que tous les poids à droite du triplet en question, seront au moins 10 fois inférieurs au poids du deuxième et donc négligeables par rapport aux points en amont. Sur la table de correspondance (indice de poids-abscisse curviligne), on sélectionne les points d'abscisse curviligne correspondant aux poids les plus forts sélectionnés. La topographie simplifiée sera la ligne passant par ces points.

[0030] Sur l'exemple de topographie de la Fig.6, on y distingue trois parties distinctes. Elle commence par un « riser » de 3 kms, suivi d'une partie horizontale en dents de scie sur 20 kms qui se termine par un autre « riser » de 200 m lui aussi en dents de scie. Son spectre est celui de la Fig.5. Le premier triplet qui obéit au critère de seuillage est formé par les points 4, 5 et 6. Le seuil de simplification est le point d'indice 6. Un saut supérieur à 2 dans l'échelle logarithmique sépare les paliers horizontaux de part et d'autre des points 5 et 6. Ainsi, on s'assure que les points à gauche de l'indice 5 ont des poids au moins 100 fois supérieurs à ceux qui se trouvent à droite de l'indice 6.

[0031] Dans cet exemple, on simplifie la topographie en ne gardant que les points d'abscisse curviligne correspondant aux poids supérieurs ou égaux à celui du point 6. On obtient la topographie simplifiée de la Fig.7.

La forme globale est conservée. Toutes les petites variations en dents de scie sur la partie horizontale de 20 kms ont été supprimées. Le nombre de points est passé de 43 initialement (Fig.6) à 6, soit une réduction d'un facteur 7. Ce cas se prête particulièrement bien au seuillage, puisque les différents ordres de grandeurs sont visibles sur la topographie initiale.

[0032] Le premier mode de simplification qui vient d'être décrit est facile à mettre en oeuvre et fondé sur des algorithmes relativement simples exécutables rapidement. Il est adapté aux topographies possédant plusieurs ordres de grandeurs, comme la topographie précédente qui a pu être considérablement simplifiée car elle contenait des points ayant des poids négligeables par rapport à d'autres.

[0033] Le problème est tout autre si on ne s'intéresse qu'à la partie centrale de cette topographie, en retirant les risers aux extrémités car dans ce cas, comme le montre la Fig.8, la forme générale de la conduite est plus difficile à dégager. La simplification de cette topographie par une droite reliant le point de départ et celui d'arrivée, n'est plus possible. Son spectre est exactement le même que celui de la topographie initiale, à ceci près qu'il commence au point 6. Aucun seuil n'est présent dans cette partie du spectre, les points ont tous le même ordre de grandeur. Et même si le poids le plus élevé vaut plus de 100 fois le plus faible, on passe de l'un à l'autre de façon continue.

I-2) Deuxième mode de simplification

[0034] Pour les topographies avec des points présentant le même ordre de grandeur, qui ne peuvent pas être traitées par la méthode de seuillage précédente, on procède à un filtrage spectral. Les petites variations dans le profil de la conduite se traduisent par des hautes fréquences dans le spectre de Fourier de la fonction représentative de la topographie. En coupant ou en atténuant les fréquences les plus hautes de son spectre de fréquence, il est possible de simplifier la topographie.

[0035] A cet effet, on échantillonne la fonction topographique et l'on détermine son spectre par la méthode dite FFT (Fast Fourier Transform). Le pas d'échantillonnage doit être assez petit pour bien rendre compte de toutes les plages de fréquence en évitant le repliement du spectre. Pour ce faire, le nombre de points d'échantillonnage est choisi de telle façon que le plus petit tronçon de conduite contienne au moins deux subdivisions pour s'assurer que la transformée de Fourier agira sur toutes les parties de la conduite, même les plus insignifiantes. L'atténuation des hautes fréquences doit bien entendu être effectuée avec discernement et ajustée de façon que la fonction topographique reconstituée reste représentative de la fonction initiale.

[0036] La méthode de filtrage la plus simple consiste par exemple à appliquer un seuil, tous les coefficients de Fourier (FC) dont l'amplitude A(FC) est inférieure à ce seuil étant éliminés (coefficients inférieurs à 40 par

exemple sur l'exemple de la Fig.9. Seule l'information contenue dans les fréquences inférieures à ce seuil est conservée. On reconstitue par transformée inverse la typographie simplifiée correspondante.

[0037] En se fixant une fréquence de coupure, on fixe ainsi le nombre maximal d'oscillations du signal reconstitué. Si l'on ne garde que les dix premières fréquences, la fonction reconstituée va suivre la forme générale de la conduite, avec un maximum de vingt extrema.

II) Sélection des tailles de maille sur chaque tronçon de conduite

Principe

[0038] Le principe du maillage va consister à mailler indépendamment les tronçons de conduite entre deux bords imposés. Comme l'intérêt d'un maillage bien fait est de pouvoir observer correctement les accumulations de liquide dans les coudes, il est préférable que le maillage soit affiné aux points de la topographie susceptibles de voir s'accumuler du liquide ou du gaz. C'est pourquoi, on va s'arranger pour placer une maille courte avant et après chaque coude et des plus grandes entre les coudes. Par contre, il n'est pas utile de mailler finement les parties intermédiaires des tronçons entre les coudes.

[0039] La topographie de la conduite ayant été au préalable (quand c'était nécessaire) simplifiée et réduite à un certain nombre de tronçons, on fixe pour les mailles une taille minimale et une taille maximale. On isole alors tout d'abord les bords de chacun d'eux (leur entrée, leur sortie) par des cellules de petite taille et ensuite on insère des bords de mailles sur leur partie centrale qui est plus longue. Il n'est généralement pas utile d'affiner le maillage en entrée et en sortie en dehors des portions aux extrémités de chaque tronçon et l'on peut donc insérer sur une bonne part de la longueur de chaque tronçon (par exemple sur les 2/3 de la longueur) de la taille maximale que l'on s'est fixé.

[0040] Comme distribution, on peut choisir par exemple que la taille des mailles après celle qui suit un coude, augmente graduellement sur un tiers de la longueur du tronçon, reste constante sur le tiers suivant pour enfin diminuer graduellement sur le dernier tiers avant la maille courte finale comme le montre la Fig. 10.

Définition des longueurs de cellules minimale et maximale

[0041] On va définir deux longueurs de cellules, une longueur minimale, qui va servir à isoler les bords de mailles imposés par des cellules de petites tailles, et une longueur maximale, qui va servir à mailler les milieux des tronçons compris entre deux cellules courtes.

[0042] Toutes les mailles qu'on insère après ces deux étapes sont déduites des cellules initiales par interpolation entre une cellule courte et une cellule longue. Elles

ont donc des tailles intermédiaires. Cette propriété est intéressante. Elle indique que le nombre de mailles total sera forcément compris entre le nombre qu'on aurait obtenu en maillant de façon homogène avec la longueur minimale, et le nombre obtenu de la même façon mais avec la longueur maximale. Ainsi, on peut contrôler le nombre de mailles total à partir des tailles minimale et maximale.

[0043] Une des contraintes du maillage automatique réside dans le nombre de mailles total. Celui-ci doit engendrer un temps de simulation le plus court possible, tout en permettant une bonne visualisation des phénomènes physiques. L'expérience montre d'une part qu'une discrétisation de moins de 40 mailles ne permet pas une bonne description physique des problèmes. D'autre part, les maillages de plus de 150 mailles engendrent des simulations trop longues. Le maillage par défaut doit donc être assez souple et comporter entre 40 et 100 mailles.

[0044] Un nombre de mailles aussi faible ne convient pas pour tous les cas. Le nombre de mailles idéal pour un cas précis dépend de plusieurs facteurs, entrant en compte dans le schéma numérique. A topographie égale par exemple, un cas comportant un grand nombre de changements de section nécessitera un maillage plus fin. La méthode selon l'invention laisse une grande latitude à l'utilisateur de choisir le nombre total de mailles qui lui convient.

[0045] A partir de ce nombre N, le code calcule les longueurs minimales Min et maximale Max de la façon suivante :

$$Min = \frac{L}{N+P}$$

$$Max = \frac{L}{N-P}$$

[0046] Le paramètre P permet de réduire l'écart entre les longueurs minimale et maximale de façon à rendre progressivement le maillage homogène pour les grands nombres de mailles.

[0047] On définit ce paramètre par exemple comme suit. Pour un nombre de mailles demandé inférieur ou égal à 60 par exemple, on le fixe par exemple à 60. C'est le maillage par défaut. Le paramètre vaut 40. La plus petite maille vaudra L/100 et la plus grande L/20. Le nombre de mailles total sera compris entre 20 et 100.

[0048] Un nombre de mailles supérieur ou égal à 150 signifie que la modélisation à traiter est certainement plus délicate. Le but est alors de construire un maillage homogène. Pour cela, les tailles minimales et maximales doivent être proches l'une de l'autre. On va donc fixer le paramètre à 10. Le nombre de mailles total sera alors compris entre $\frac{L}{N+10}$ et $\frac{L}{N-10}$. On obtient le nombre de mailles demandé, à 20 mailles près, sur plus de 150.

[0049] Pour faire en sorte que le maillage s'homogénéise progressivement entre 60 et 150 mailles, on va

calculer le paramètre par interpolation linéaire entre les deux domaines, ce qui s'exprime de la façon suivante :

$$P=40 \text{ si } N<60$$

$$P=-\frac{1}{3}N + 60 \text{ si } 60<N<150$$

et

$$P=10 \text{ si } N>150$$

[0050] Ce paramètre étant déterminé, il est possible d'isoler les bords imposés par des cellules courtes et de discrétiser les milieux des tronçons par des cellules longues.

[0051] Il ne reste plus qu'à trouver un moyen pour passer graduellement d'une cellule courte à une longue. On connaît les longueurs des trois cellules, et on cherche à insérer des bords de mailles sur la partie centrale. Les tailles des mailles ainsi créées doivent être comprises entre celles des cellules extrêmes. Partant de la plus petite, la maille suivante doit toujours être plus longue que la précédente, mais plus courte que la suivante.

[0052] Dans le cas général, il n'existe aucun couple $(f, n) \in (R, N)$ tel que:

- la taille d'une maille se déduit de celle de la précédente en la multipliant par un facteur f .
- la somme des n longueurs ainsi créées soit égale à (L_1+L_2)
- la taille de la dernière cellule puisse s'exprimer sous la forme $f^{n+1} \cdot L_1$.

[0053] Il en va de même pour une éventuelle interpolation linéaire entre les deux mailles. Le fait de connaître les trois longueurs impose une surabondance de données par rapport aux inconnues. Il est alors impossible de satisfaire toutes les contraintes.

[0054] Pour pallier cette difficulté, on propose une méthode de type géométrique où l'on utilise la propriété que les segments L_1, L_2, L_3, L_4 découpés sur un axe par les droites d'un faisceau régulier (d'écartement angulaire α constant les uns par rapport aux autres) dont le sommet est en dehors de cet axe, varient progressivement (Fig. 11).

[0055] On considère (Fig.12) un tronçon de conduite commençant par une petite maille $(0, x_1)$ de longueur L_1 et se terminant par une maille (x_2, x_3) de longueur $L_3 > L_1$. On peut montrer qu'il existe un point sur une perpendiculaire au tronçon de conduite à l'abscisse 0 tel que les mailles de longueurs L_1 et L_3 soient vues de ce point sous le même angle α . L'ordonnée y de ce sommet est donné par la relation :

$$y = \sqrt{\frac{L_1(L_1+L_2)(L_1+L_2+L_3)}{(L_3-L_1)}}$$

où L_2 est la longueur du segment (x_1, x_2) .

[0056] Il s'agit ensuite de couper l'angle β en N parties égales, N étant égal à la division entière de β par α , soit $N = E(\frac{\beta}{\alpha})$. Chacun des N angles découpant β est toujours supérieur ou égal à α .

[0057] Le principe utilisé pour réaliser l'insertion des bords de mailles est à la fois simple et souple. Il permet, par le biais d'un unique paramètre, de créer un maillage soit uniforme, soit hétérogène affiné aux endroits importants.

Revendications

1. Méthode de maillage automatique de conduites permettant l'implémentation de codes de modélisation de fluides acheminés par ces conduites, **caractérisée en ce que**, ayant défini une taille minimale de maille et une taille maximale de maille, on subdivise la conduite en tronçons délimités par des coudes, on positionne une maille de taille minimale de part et d'autre de chaque coude, on positionne des grandes mailles de taille au plus égale à la taille maximale dans la portion centrale de chaque tronçon, et on répartit des mailles de tailles croissantes ou décroissantes sur les portions intermédiaires de chaque tronçon entre chaque maille de taille minimale et la portion centrale.
2. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'on répartit des mailles de tailles croissantes ou décroissantes sur les portions de chaque tronçon intermédiaire entre chaque maille de taille minimale et la portion centrale en déterminant les points d'intersection avec chaque tronçon de conduite, d'un faisceau de droites concourant en un point et formant entre elles un angle constant.
3. Méthode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'on détermine la position du sommet du faisceau de droites sur un axe passant par un coude de la conduite et perpendiculaire à chaque tronçon, à une distance (y) de celui-ci qui est fonction de la taille (L_1, L_3) des mailles extrêmes de chaque portion intermédiaire et de leur écart (L_2).
4. Méthode de maillage selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce qu'elle** comporte une simplification préalable de la topographie de la conduite.
5. Méthode de maillage selon la revendication 4, **caractérisée en ce qu'elle** comporte une représentation de la conduite sous la forme d'un graphe reliant

l'abscisse curviligne et la variation de niveau, et une simplification du nombre de tronçons en affectant à chaque point entre deux tronçons successifs un poids prenant en compte la longueur (L_1 , L_2) des tronçons et leurs pentes respectives (P_1 , P_2) et en sélectionnant parmi les points rangés par ordre de poids croissant ou décroissant, ceux dont le poids est le plus élevé.

6. Méthode de maillage selon la revendication 5, **caractérisée** en ce l'on sélectionne les points de la conduite dont le poids est le plus élevé en repérant dans le rangement de points une discontinuité de poids supérieure à un certain seuil fixé (ΔP).

7. Méthode de maillage selon la revendication 5, **caractérisée en ce qu'elle** comporte une représentation de la conduite sous la forme d'un graphe reliant l'abscisse curviligne et la variation de niveau, et une simplification du nombre de tronçons par la formation du spectre de fréquence de la courbe représentative de la topographie de la conduite, l'atténuation des plus hautes fréquences du spectre traduisant les plus petites variations de topographie et la reconstruction d'une topographie simplifiée correspondant au spectre de fréquence rectifié.

8. Méthode de maillage selon la revendication 7, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un échantillonnage de la courbe représentative de la topographie de la conduite avec un pas d'échantillonnage choisi pour que le plus petit tronçon de la conduite contienne au moins deux pas d'échantillonnage, une détermination du spectre de fréquence de la courbe échantillonnée par application, une correction du spectre par filtrage passe-bas dont la fréquence de coupure est choisie en fonction d'un nombre de mailles maximal fixé pour subdiviser la conduite, et la détermination de la topographie correspondant au spectre de fréquence rectifié.

45

50

55

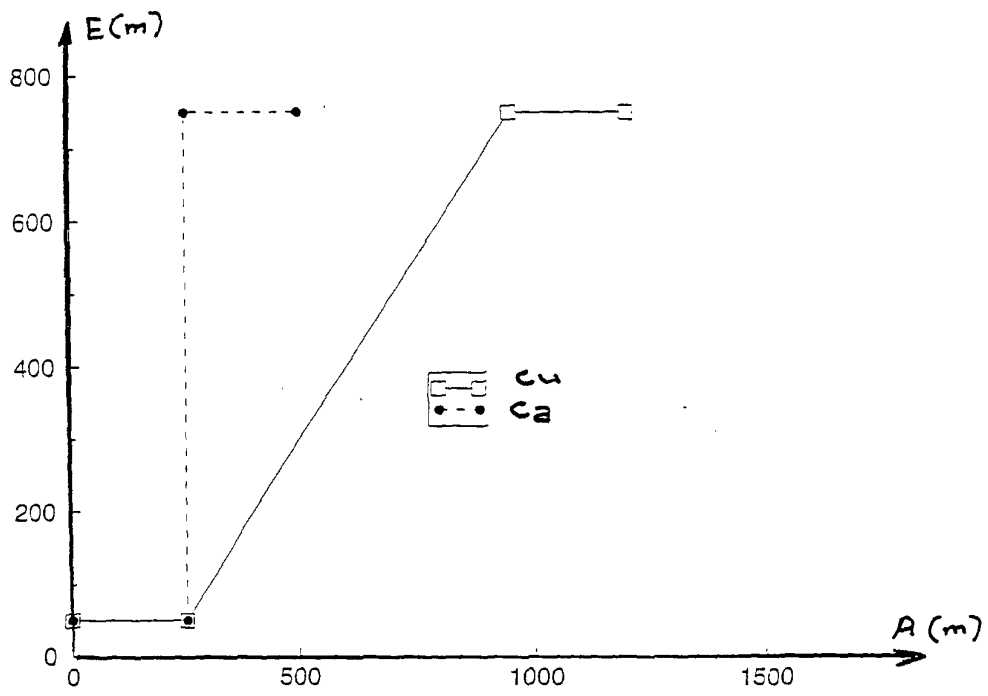


Fig. 1

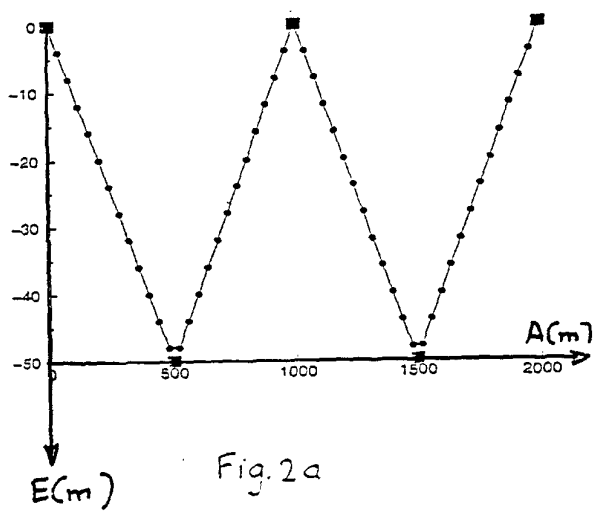


Fig. 2a

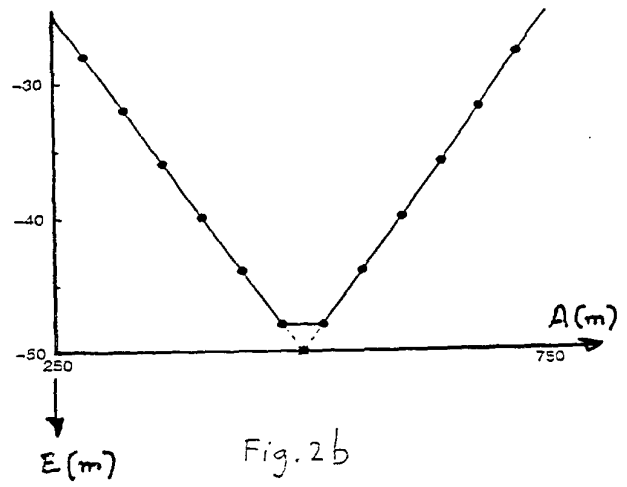


Fig. 2b

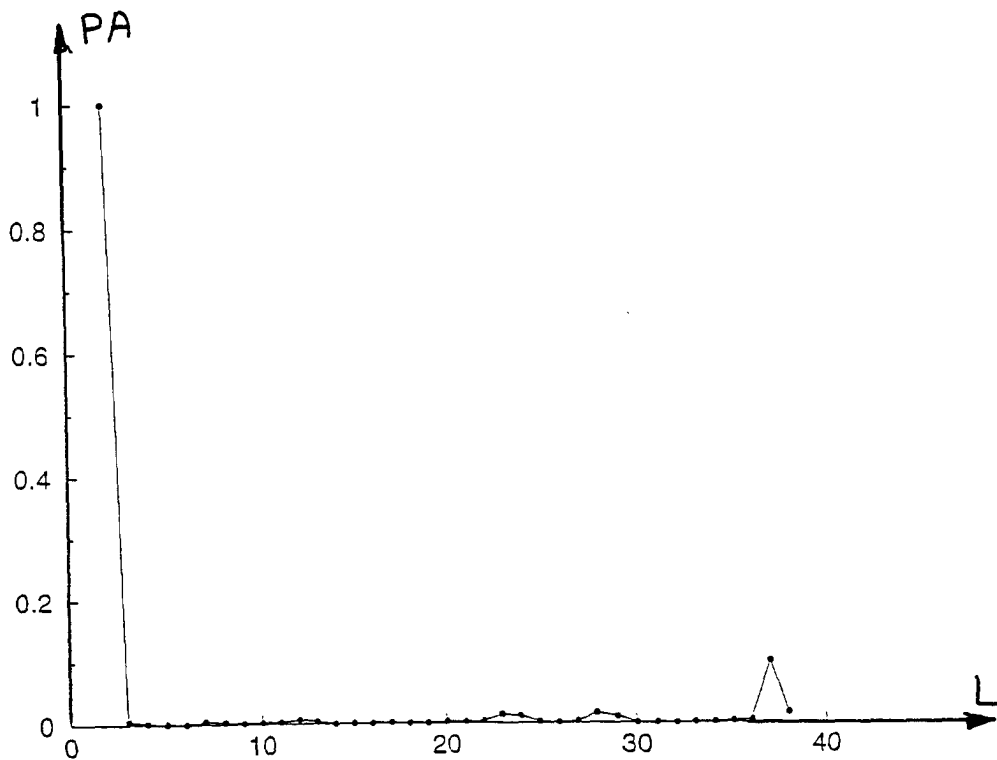
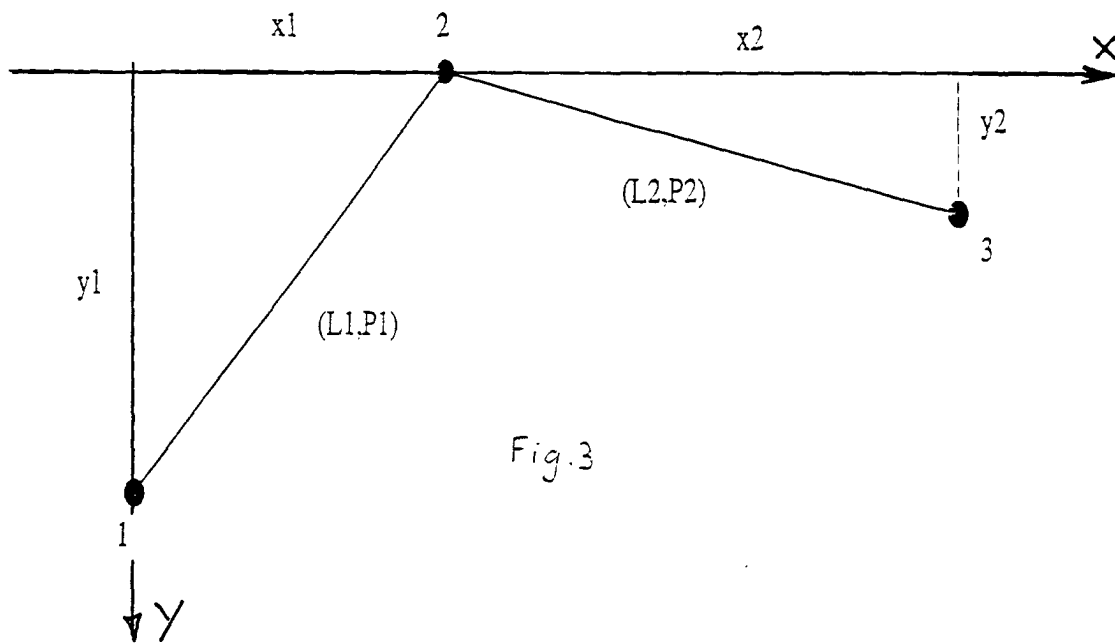
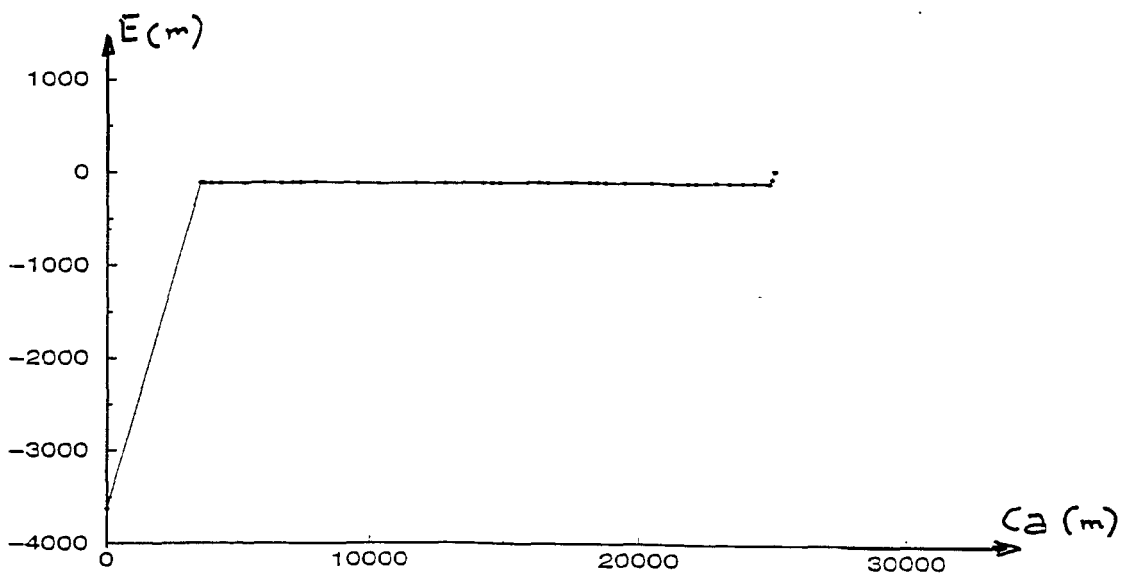
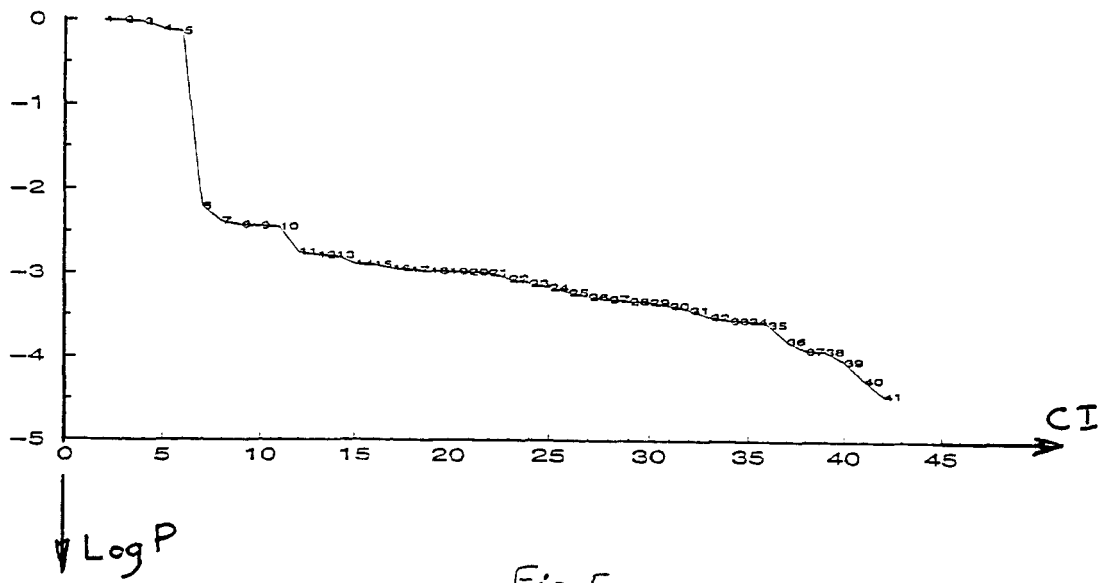


Fig. 4



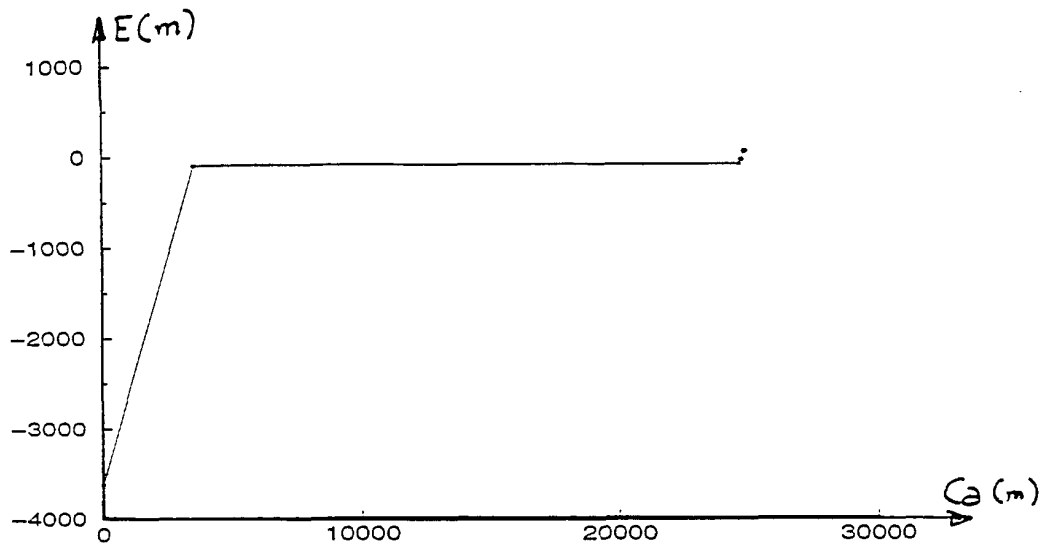


Fig. 7

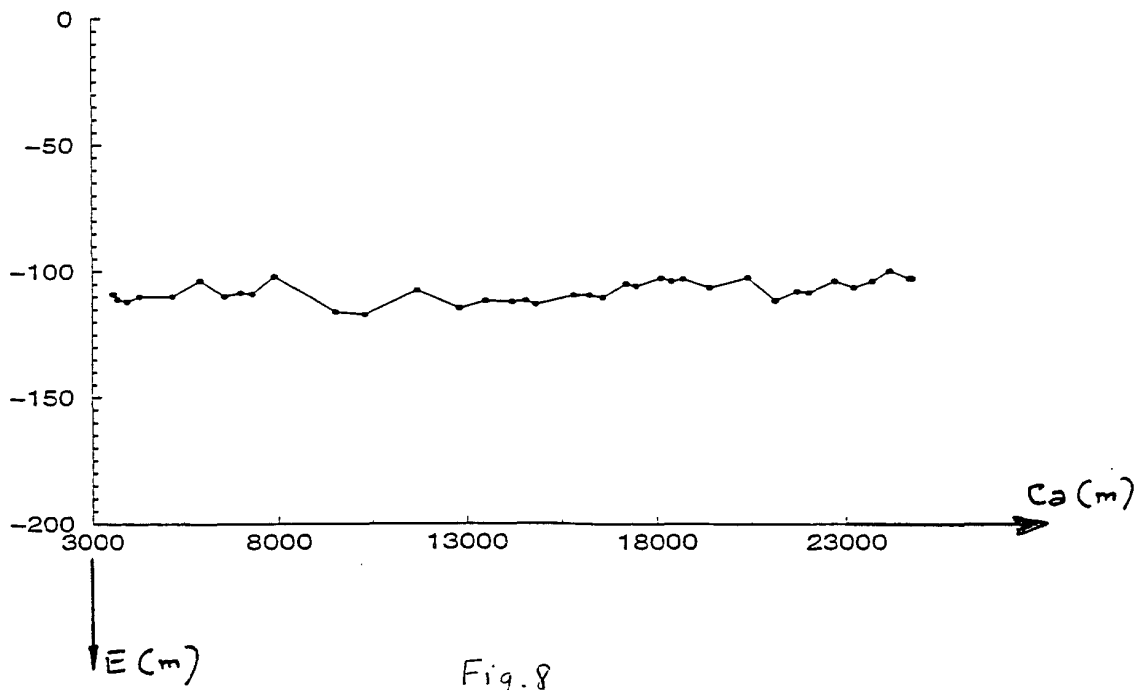


Fig. 8

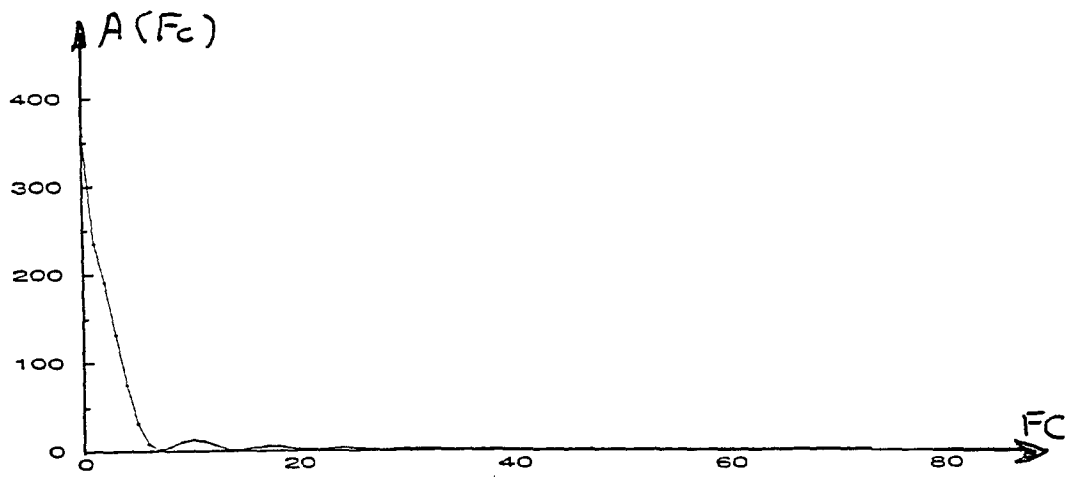


Fig. 9

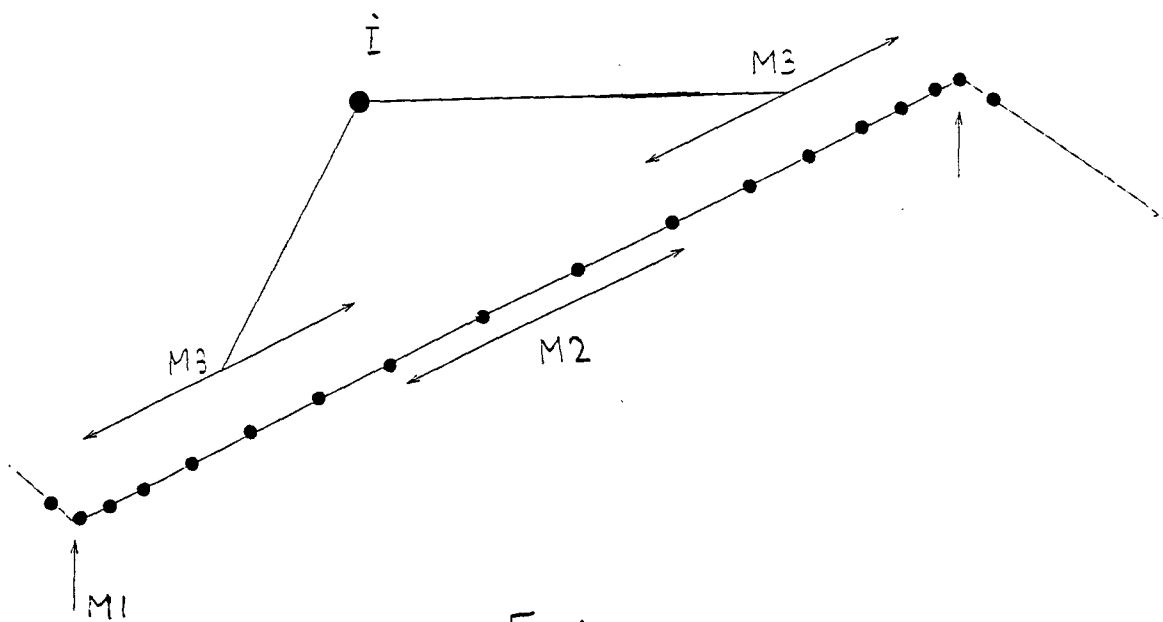


Fig. 10

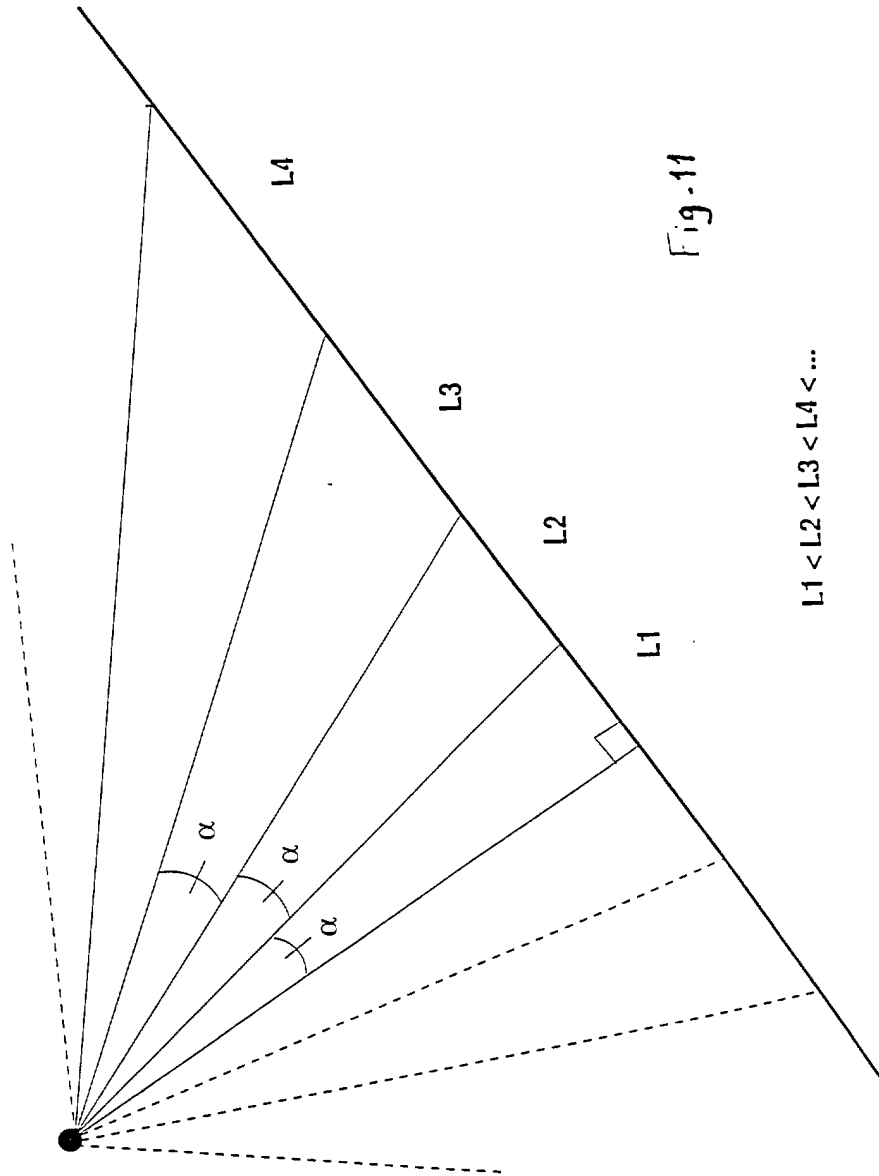


Fig. 11

$$L_1 < L_2 < L_3 < L_4 < \dots$$

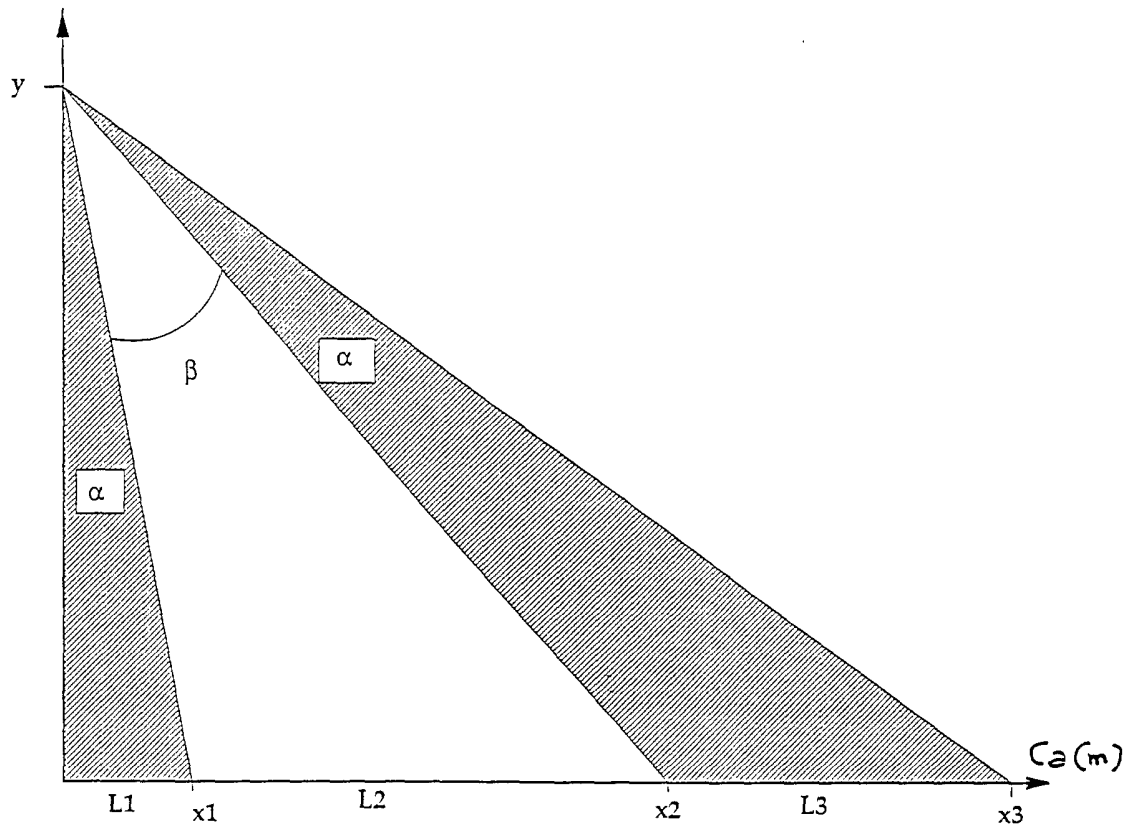


Fig.12

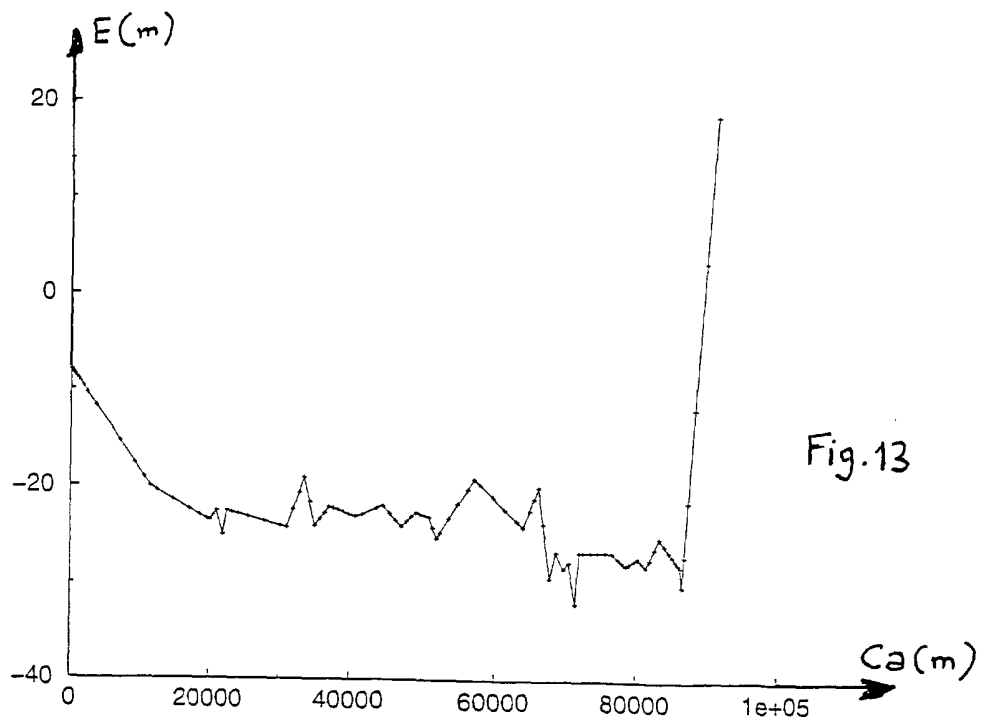


Fig.13



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 01 40 1422

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CI.7)
A,D	US 5 960 187 A (FAILLE ISABELLE ET AL) 28 septembre 1999 (1999-09-28) * colonne 3, ligne 21 - colonne 6, ligne 10; figures *	1	F17D1/00 F17D3/05
A	US 5 274 643 A (FISK BENJAMIN W) 28 décembre 1993 (1993-12-28) * colonne 3, ligne 29 - ligne 69; figure 3 *	1	
A	EP 0 626 652 A (TOKYO GAS CO LTD) 30 novembre 1994 (1994-11-30) * abrégé; figure 5 *	1	
A,D	US 5 550 761 A (FERSCHNEIDER GILLES ET AL) 27 août 1996 (1996-08-27) * colonne 7, ligne 32 - colonne 8, ligne 26; figures 8A,8B *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.7)
			F17D G06F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 1 octobre 2001	Examineur Christensen, J
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 03/02 (P04C02)

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

EP 01 40 1422

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.

01-10-2001

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5960187 A	28-09-1999	FR 2756045 A1	22-05-1998
		BR 9705486 A	18-05-1999
		GB 2321541 A	29-07-1998
		IT MI972533 A1	18-05-1998
		NO 975267 A	19-05-1998
US 5274643 A	28-12-1993	AUCUN	
EP 0626652 A	30-11-1994	US 5414641 A	09-05-1995
		EP 0626652 A1	30-11-1994
		DE 69321101 D1	22-10-1998
		DE 69321101 T2	02-06-1999
		US 5592397 A	07-01-1997
US 5550761 A	27-08-1996	AUCUN	

EPO FORM P0460

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