(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 704 231**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **93 04801**

(51) **Int Cl⁵ : C 09 K 7/02**

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 21.04.93.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 28.10.94 Bulletin 94/43.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *COMPAGNIE DES SERVICES DOWELL SCHLUMBERGER (SA)* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Maroy Pierre et Baret Jean François.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :**

(54) Fluides pétroliers leur préparation et leurs utilisations au forage, à la complétion et au traitement de puits, et en fracturation et traitements de matrice.

(57) La phase particulaire des fluides selon l'invention est composée de particules dont la granulométrie est spécifiquement adaptée. Toutes les propriétés essentielles des fluides sont très nettement améliorées, y compris leur coût.

Application à toutes les opérations sur puits, pétroliers ou analogues, au traitement matriciel, et analogues.

FR 2 704 231 - A1

Fluides pétroliers
leur préparation et leurs utilisations au forage, à la complétion et au traitement de puits, et en fracturation et traitements de matrice.

La présente invention concerne le secteur technique des puits pétroliers, à gaz, à eau, géothermiques et analogues, ainsi que les opérations correspondantes.

L'invention s'applique aux fluides de forage, de fracturation, de séparation ("spacers"), de diversion, de pose de gravier-filtre ("gravel-packing") et de manière générale tous les fluides analogues et les opérations qui les utilisent.

Ces opérations sont extrêmement bien connues de l'homme de métier, aussi bien dans leur principe que dans leur exécution ; les grandes difficultés de leur exécution sont également bien connues.

Il est donc totalement inutile de rappeler ici ces données. Seul l'essentiel sera brièvement mentionné ci-dessous.

Les fluides de forage, notamment les boues de forage, ("drilling fluids ou muds") sont bien connus. Ce sont des fluides généralement chargés qui doivent présenter des caractéristiques très précises.

Outre les propriétés généralement recherchées de compatibilité physico-chimique avec les formations forées, les fluides doivent présenter des caractéristiques très

précises, principalement en termes de densité, rhéologie, onctuosité ("lubricity") et perte de filtrat ("fluid loss"), et ce, sans compromettre l'avancement de l'outil de forage ("rate of penetration").

- La densité joue un rôle essentiel quant à la sécurité du forage, de nature hydrostatique, visant à prévenir l'invasion du trou par les fluides de formation - qui pourrait aller jusqu'à la catastrophique "éruption incontrôlée" ("blow-out") - ou à l'autre extrême fracturer les formations forées et résulter en une perte de fluide mettant aussi en jeu le contrôle du puits.

La densité influe également sur la stabilité du trou ouvert, le poids de la colonne de boue tendant à équilibrer la pression lithostatique exercée sur les formations.

- Les caractéristiques rhéologiques doivent réaliser un compromis entre des pertes de charge minimale et une bonne capacité à remonter les déblais ("cuttings") résultant du forage le long de l'espace annulaire, jusqu'en surface.

- On recherche d'ordinaire à minimiser la perte de filtrat résultant de l'exposition du fluide à des formations perméables, de façon à ne pas compromettre la sécurité de l'opération ni sa viabilité économique. Une attention plus particulière y est portée lors du forage des formations productrices ("payzone") afin de minimiser l'endommagement induit par l'invasion du filtrat, qui oblige à recourir à des traitements curatifs.

On comprendra sans peine que la conception d'une boue de forage adaptée à une situation particulière résulte d'un délicat compromis entre des objectifs parfois contradictoires. A titre d'exemple, il est habituellement admis par l'homme de métier, que les propriétés recherchées en terme de perte de filtrat, mentionnées plus haut, étaient préjudiciables à l'avancement de l'outil, s'agissant notamment des outils à molette ("roller-bit"). De même il est fait état de ce que de fortes teneurs en solides, parfois rendues inévitables par le besoin d'une densité élevée, et/ou des viscosités élevées ont un impact négatif sur l'avancement de l'outil.

Ces objectifs contradictoires sont aujourd'hui - en partie seulement - résolus par des additifs chimiques solution dont les inconvénients sont mentionnés plus loin, les moindres n'étant pas leur éventuel impact sur l'environnement et leur coût.

Au contraire, l'invention présentée ici suggère que, grâce à un choix judicieux de la distribution des tailles des solides en suspension dans la boue, il est possible de réconcilier ces objectifs en apparence incompatibles, ou tout au moins d'en minimiser les intéractions antagonistes.

Un autre domaine particulier concerne le forage des puits de petit diamètre (ou "slim holes"). Cette technique requiert des fluides de faible viscosité, un très bon contrôle de la perte d'eau, une très faible tendance à la sédimentation ainsi qu'à l'arcboutage ("bridging") des particules dans un

annulaire qui est souvent très étroit, afin d'éviter de trop fortes pertes de charge. Une difficulté supplémentaire apparaît lorsqu'une densité élevée de la boue est requise. Le rapport élevé entre les solides et le fluide cause alors des instabilités (effet "Boycott").

L'invention apporte une solution à ces problèmes.

Dans l'application "drilling-fluid" pour les "slim holes", on évitera de densifier la boue en utilisant des particules de la même taille que les "cuttings" de façon à minimiser l'effet de viscosification de la boue par les "cuttings" et à favoriser la séparation des "cuttings" des agents alourdissants sur les "shakers" (systèmes vibrants).

Pour régler le problème de la réinjection des débris de forage, il faut une rhéologie pas trop élevée.

Dans l'art antérieur, cet impératif empêche les fortes concentrations en matières solides (autre impératif, mais contradictoire). Par ailleurs, si le trépan produit des débris de taille importante, l'art antérieur exige leur broyage fin. On verra ci-dessous que l'invention rend possible simultanément, une basse rhéologie et une concentration élevée en matières solides, et tolère, et même préfère, des broyages plus grossiers. Le résultat est particulièrement efficient et économique. Dans l'application concernant la réinjection des "cuttings" on préfèrera utiliser deux ou trois coupes disjointes de "cuttings" dont la granulométrie des plus grosses sera choisie étroite pour minimiser la réduction de viscosité et donc pouvoir incorporer plus de solides, soit en sélectionnant des

filtres adéquats, soit en réglant de façon convenable la broyeuse. Par contre la coupe la plus fine sera au contraire très large vers les petites dimensions de façon à minimiser le contrôle de filtrat et la stabilité de la suspension.

Un autre type important de fluides de l'industrie pétrolière et parapétrolière est constitué par les "fluides de séparation" (ou "spacers").

Lors de l'opération de cimentation de puits bien connue de l'homme de métier, il est impératif de séparer physiquement la boue de forage d'avec le laitier de ciment, en raison d'incompatibilités chimiques. On utilise, soit des dispositifs mécaniques, soit des fluides inertes de séparation.

Ces fluides ont deux fonctions principales, la première étant de bien "déplacer" la boue de forage, et la seconde de n'autoriser aucun contact ciment/boue.

Ici encore, les caractéristiques de rhéologie, de densité, et de profil de vitesse ("velocity profile") ont une importance essentielle, ainsi que le contrôle du filtrat ("fluid loss control") et la stabilité ou contrôle de la sédimentation ("settling control").

Dans l'application aux "spacers", on évitera les rapports de taille trop importants entre deux coupes de granulométrie contigües, et on ne dépassera de préférence pas un rapport de 15, car dans cette application on a besoin d'une très bonne résistance à la sédimentation et une grande fluidité pour les applications en régime turbulent, et on recherchera donc à minimiser la concentration minimale en particules

pour obtenir une sédimentation collective ("hindered settling").

Quant aux fluides de fracturation, il s'agit de fluides viscosifiés ou gélifiés et/ou réticulés, dont la fonction est de transmettre la pression aux roches entourant le puits, jusqu'à la "fracturation" de la formation. Une fonction essentielle de ces fluides est d'être capables d'être chargés en "agents de soutènement" ("proppant") et surtout de transporter cet agent, sans qu'il sédimente, jusqu'à l'intérieur de la fracture créée par le fluide. Il s'agit donc encore de fluides chargés, dont la rhéologie est essentielle, notamment la propriété suspensoïde, et la stabilité, ainsi que la propriété de contrôle de la perte de fluide lors de la mise en place.

Une autre caractéristique essentielle de ces fluides, ainsi que des fluides pour gravier-filtre dont il sera fait mention ci-dessous, est qu'ils doivent conserver une bonne caractéristiques de perméabilité au compactage.

Une sous-classe particulière des fluides de fracturation concerne les "pre-pad fluids" destinés à tapisser la paroi de la fracture pour optimiser l'action du fluide de fracturation contenant l'agent de soutènement, et éviter la perte de fluide, particulièrement dans les formations poreuses.

On verra que l'invention permet de former un "gâteau" ou pellicule ("cake") à la fois fin et non pénétrant dans la matrice. Ce "cake" va donc se comporter excellement tout en

se désagrègeant facilement en présence de l'agent de soutènement après la fin de l'opération, au moment de l'inversion des pressions et de la mise du puits en production (encore deux impératifs contradictoires dans l'art antérieur).

Pour l'application "pre-pad" pour la fracturation, on choisira les plus grosses particules du "pre-pad" d'une taille très nettement inférieure (2 ordres de grandeur au moins) à la taille du proppant pour favoriser le détachement du gâteau de la paroi de la fracture lors de la mise en production, et la chute des morceaux du gâteau. Le PVF* sera choisi très élevé avec de nombreuses modalités, chaque coupe de particules ayant une distribution étroite pour avoir un gâteau très fin, dur et imperméable, ce qui favorise son détachement en fin d'opération et permet de mieux contrôler les pertes de fluide pendant la phase d'ouverture de la fracture. Cf définition du PVF pages 23-24.

Par ailleurs, l'application "pre-pad" en fracturation indique que l'invention représente également une solution pour les agents de diversion ("diverters") lors des traitements, également bien connus, d'acidification de la matrice.

L'application "diverter" est très semblable à l'application "pre-pad" avec une différence cepandant, car on n'est pas limité dans la taille des particules les plus grosses que l'on peut utiliser, car en fin d'opération le gâteau ne

* PVF = "Packing Volume Factor" = facteur de compactage

tombe pas dans une fracture étroite, mais dans le puits de forage ("wellbore").

Une autre classe de fluides auxquels l'invention s'applique consiste en les fluides pour mise en place de "gravier-filtre" (ou "gravel pack"). Ces fluides doivent également transporter, jusqu'au niveau de la formation, pour les y mettre en place, des matériaux particulaires dont la fonction est de constituer un filtre empêchant les particules fines d'obstruer le voisinage des "perforations" par lesquelles le pétrole est produit.

On retrouve encore, pour de tels fluides, l'exigence d'un contrôle très précis de la rhéologie, viscosité, stabilité et propriété suspensoïde.

Ces fluides, outre la propriété de perméabilité, après la phase finale, lors de la mise en production, mentionnée ci-dessus, nécessitent un excellent contrôle du filtrat lors de la mise en place.

Dans les fluides pour graviers à filtre un mode d'utilisation préféré de la méthode consiste à ce que la nature chimique des coupes de particules utilisées, sauf la coupe des particules de plus grand diamètre, soit telle que les particules soient dégradables. Ceci permet de "décolmater" le gravier filtre avant la mise en service, par exemple par un traitement acide. Du fait de la multicontinuité du gâteau formé, lors de la destruction des particules fines, les particules les plus grosses, qui sont en contact les unes avec les autres, ne bougent pas, ce qui

assure une grande porosité du gravier-filtre.

Les tailles des particules doivent être choisies pas trop éloignées entre les différentes coupes-rapport 10 à 15 de façon à ce que les petites particules soient bien bloquées dans le gâteau. On choisira pour les mêmes raisons des coulis ayant des teneurs très élevées en particules. Grâce à la technique, ceci est rendu possible du fait de la viscosité réduite et du fait de la moindre sensibilité du coulis à des pertes de fluide éventuelles.

Comme indiqué plus haut l'ensemble de ces fluides et les propriétés qu'on en exige, sont bien connus de l'homme du métier.

On connaît également de très nombreux additifs de toutes sortes que l'homme de métier utilise seuls ou en combinaisons diverses pour concevoir le meilleur fluide possible pour un puits donné.

Cette conception d'un fluide n'est jamais facile.

Elle est souvent imparfaite car beaucoup de propriétés requises exigent le recours à des moyens antagonistes.

Par ailleurs, il subsiste toujours un certain degré d'incertitude quant aux conditions de fond de puits ("bottom hole"), par exemple, température maximale, présence de fissures etc... Ces incertitudes conduisent l'homme du métier à, par exemple, surdoser tel additif pour éviter tel risque majeur.

Il en résulte une grande compléxité de la conception du fluide, et des moyens et additifs mis en oeuvre, avec les risques et le coût inhérents.

L'invention propose une technique de conception des fluides de l'industrie pétrolière qui se caractérise par sa grande simplicité, son faible coût, et l'excellence des propriétés obtenues. On obtient en effet de manière simple une amélioration spectaculaire de toutes les propriétés utiles, sans générer d'inconvénients et notamment sans antagonismes entre les effets obtenus.

Le procédé selon l'invention est caractérisé en ce que l'on incorpore au fluide considéré des additifs particulaires insolubles dont la combinaison, entre eux et avec les autres composants particulaires éventuels du fluide, va créer une répartition granulométrique qui va modifer profondément, de manière inattendue, de nombreuses propriétés essentielles du fluide.

De manière tout à fait préférée, lesdits additifs particulaires seront de type minéral. Les additifs minéraux seront tout à fait préférés pour leur faible coût et leur inocuité pour l'environnement.

Cependant, la présente invention peut également utiliser des déchets de matières plastiques ou d'autres déchets, évidemment broyés à la granulométrie souhaitée. Accessoirement, ceci peut être un facteur favorable pour l'environnement par enfouissement (évidemment contrôlé) de déchets non dégradables qui autrement seraient mis en décharge.

Dans le cas des boues de forage, un matériau particulaire "imposé" va consister obligatoirement en les débris de forage ("cuttings") dont la boue va se charger. La conception d'une boue de forage, selon l'invention, sera donc particulièrement difficile.

Les fluides de fracturation et de "gravier filtre" vont également poser de grandes difficultés car les fines introduites selon l'invention auront tendance à réduire leur perméabilité (ce qui les a d'ailleurs exclues de tels fluides dans l'art antérieur).

Dans l'état de la technique, des ajouts de minéraux particulaires à un fluide pétrolier ont déjà été effectués, comme cela est bien connu, dans le but d'améliorer certaines propriétés. On sait également que la plupart des propriétés essentielles mentionnées plus haut, dans les fluides concernés, sont, à ce jour contrôlées (dans les limites précisées plus haut) à l'aide d'additifs organiques.

Ces additifs posent un problème grave et bien connu de l'homme de métier, qui est que la plupart d'entre eux ont une action simultanée et contradictoire sur une propriété donnée, ou sur plusieurs propriétés simultanément.

Par exemple, un dispersant abaisse la viscosité mais favorise la sédimentation. Un agent de contrôle du filtrat ("fluid loss control") réduit évidemment le filtrat mais augmente la viscosité.

Par ailleurs, la plupart des additifs connus et utilisés à ce jour ont aussi une influence sur les mécanismes d'action des fluides et/ou sur la formation elle même.

On sait également que la plage d'efficacité de tels additifs est souvent étroite du fait d'une grande sensibilité à la température, aux concentrations ioniques (sels) de l'eau interstitielle etc... et aux composants de la formation le cas échéant. Outre des développements longs et coûteux, le résultat est souvent une formulation qui ne convient que pour telle température et/ou telle salinité et/ou telle formation etc...

Depuis des décades, l'homme de métier a dû s'adapter à cet état de fait. On a ainsi dû multiplier les additifs avec chacune, en général, des conditions d'emploi spécifiques.

Pour pallier les inconvénients de la complexité de plus en plus grande des solutions possibles, de nombreux logiciels ont été développés.

Ces logiciels ne font que souligner la complexité des formulations chimiques, et facilitent la gestion de cette complexité, mais sans en résoudre les inconvénients.

La présente invention, de manière surprenante, supprime la complexité.

Pour la première fois depuis des décades, au lieu de combiner ensemble de plus en plus d'additifs de plus en plus sophistiqués, il a été découvert que de nombreuses propriétés essentielles pouvaient être satisfaites en

raisonnant en terme de sélections et de combinaisons de produits de préférence minéraux présentant des granulométries différentes.

De tels produits minéraux utilisés selon l'invention sont notamment la silice, l'hématite (ou autre oxydes de fer), la baryte, et également les carbonates, l'alumine etc..., et on citera également des produtis organiques comme des déchets plastiques et autres déchets compatibles évidents. Le choix pourra notamment être déterminé par, par exemple, la densité à atteindre. Il a été découvert que par simple combinaison de plusieurs granulométries de ce type, en combinaison le plus souvent avec la granulométrie des autres composants particulaires éventuels du fluide considéré, on obtenait spontanément un ensemble convergent de propriétés favorables, à condition également de sélectionner les granulométries des produits considérés, et leurs proportions respectives, de manière à travailler au PVF maximum, ou à un PVF aussi proche que possible de ce PVF maximum (PVF = "Packing Volume Fraction" ou "Fraction volumique des particules solides à la compaction"), et à condition encore de sélectionner une proportion de matières solides par rapport au fluide de mélange tel que le fluide se place en régime de "sédimentation collective" (ou "hindred settling"). On sait que dans un tel régime, les particules solides se comportent "collectivement" comme un matériau solide poreux. Au contraire, hors de ce régime, les particules de taille différente vont sédimenter séparément à des vitesses différentes.

Ce régime de "sédimentation collective" correspond en pratique à des concentrations en matières solides dans le fluide beaucoup plus élevées que celles admises dans l'art antérieur. Il a été découvert un seuil élevé en concentration de matières solides au-delà duquel la "sédimentation collective" apparaît.

Ce seuil est évidemment fonction des granulométries choisies.

Il est important de noter que de telles concentrations, jugées impossibles à utiliser dans l'art antérieur (problèmes graves de viscosités trop élevées et de capacité au mélange ou "mixability), sont utilisables selon l'invention grâce au choix de conditions proches du PVF_{max}.

L'invention consiste donc en la <u>combinaison</u> de trois facteurs essentiels :

a. utilisation de au moins trois matériaux particulaires insolubles en milieu (de préférence) aqueux, de préférence minéraux, les (au moins) trois granulométries étant "disjointes" (cf. description ci-dessous),

<u>et</u>

b. le choix des proportions des matières solides définies sous a), par rapport au fluide de mélange tel que le fluide obtenu soit placé en régime de "sédimentation collective",

<u>et</u>

c. le choix des proportions des matières solides définies sous a), entre elles, et en fonction de leurs granulométries respectives, tel que l'on travaille au PVF_{max} de l'ensemble des particules considérées, ou à un PVF le plus proche possible du PVF_{max}.

Nous avons vu que le seuil de la "sédimentation collective" n'a jamais été atteint ni même approché dans l'art antérieur des matériaux particulaires pétroliers. Au contraire, l'homme de métier prenait soin de rester à des concentrations en matières solides suffisamment faibles pour être certain d'éviter les graves problèmes prévisibles.

Quant au critère concernant le PVF, son importance n'a jamais été relevée dans l'art antérieur général des matériaux particulaires.

Selon l'invention, on a ainsi pu régler favorablement et simultanément la rhéologie, l'eau libre, la sédimentation, le contrôle du filtrat, la résistance à la compression, la stabilité, les propriétés suspensoïdes et la perméabilité, le tout pratiquement sans avoir recours aux additifs organiques classiques.

En fait, l'invention consiste à, et permet de, régler à des valeurs très favorables les grandeurs ci-dessus, par combinaisons de matériaux minéraux de différentes granulométries dans le respect des trois critères ci-dessus, après quoi un réglage fin des propriétés est possible par

ajout de petites quantités d'additifs organiques classiques.

Sans être limité par une quelconque théorie, il apparaît que l'art antérieur constant n'est jamais parvenu à maîtriser le trop grand nombre de paramètres qui apparaissent en rhéologie etc... lorsque plus de deux granulométries sont présentes.

L'invention repose au contraire sur un concept radicalement opposé, dénommé ci-après "multimodal" et dont l'optimum est la "multicontinuité". Ce concept a permis d'incorporer simultanément plus de deux granulométries différentes y compris de grande dimension. Le résultat a été que, sous réserve d'incorporer au moins une petite quantité de "fines" et de respecter les trois critères ci-dessus, non seulement il ne se produisait pas de sédimentation anormale, mais que de plus, de manière totalement inattendue, toutes les propriétés essentielles du fluide étaient nettement améliorées sans aucun recours aux additifs classiques.

Le concept "multimodal" (ainsi que sa réalisation optimale de "multicontinuté" des phases particulaires) selon l'invention seront expliqués plus en détail dans ce qui suit.

Il est lié au facteur PVF évoqué plus haut et repose sur l'emploi, en premier lieu, de particules minérales de grandes dimensions (les "grosses").

Cela est rigoureusement contraire à l'enseignement constant de l'art antérieur de l'industrie pétrolière notamment selon lequel la présence de "grosses" particules et a fortiori de

"très grosses particules" entrainaît un risque de sédimentation, ce qui est exact.

Comme, dans les fluides considérés, la présence de ces particules est impérative (cf. ci-dessus) l'art antérieur s'est contenté de multiplier les palliatifs et correcteurs chimiques.

L'invention a surmonté ce préjugé par l'emploi simultané de particules (minérales) fines (les "fines") et il a été découvert que la coopération des "grosses" ou "très grosses", des particules "moyennes" du fluide, et des "fines", dans le respect des trois critères ci-dessus, stabilisait l'ensemble au lieu de créer les inconvénients (sédimentation, viscosification...) prévisibles selon l'enseignement de l'art antérieur. L'invention, selon les trois critères ci-dessus, permet même d'incorporer des particules "très grosses".

Dans tous les cas, l'invention réduit dramatiquement les coûts des fluides pétroliers considérés ce qui est un impératif, jamais atteint, depuis une dizaine d'années dans l'industrie pétrolière.

Naturellement, une fois ce concept "multimodal" établi, on a cherché à multiplier les différentes combinaisons entre particules "moyennes", une ou plusieurs "fines", une ou plusieurs "grosses, et analogues. Tous les résultats ont été convergents.

Selon le principe ci-dessus de l'invention, qui consiste à chercher à incorporer des "grosses" ou "très grosses" et/ou "moyennes" particules en combinaison avec des particules "fines" et éventuellement "très fines", on a constaté qu'une combinaison "trimodale" de type (non limitatif) :

- "moyennes" (dimension moyenne environ 10-20 microns)
- "fines" (dimension moyenne environ 1 micron)
- "très fines" (dimension moyenne environ 0,1 - 0,30 microns)

permettait déjà d'atteindre presque parfaitement tous les avantages précités. On aura évidemment noté l'absence d'additifs classiques.

Cependant, une combinaison "tétramodale" de type (non limitatif également) :

- "grosses" (moyenne environ 200 microns et plus)
- "moyennes" (moyenne environ 10-20 microns)
- "fines" (moyenne environ 1 micron)
- "très fines" (moyenne environ 0,1 - 0,30 microns)

améliore encore plus l'ensemble des propriétés recherchées.

On a encore constaté selon l'invention que, malgré les très fortes concentrations en matières solides admissibles et même recherchées selon l'invention, on améliorait de manière surprenante la facilité de mélange (ou "mixabilité") de l'ensemble.

Autre facteur essentiel, l'invention permet aussi de réduire la sensibilité de la rhéologie aux facteurs extérieurs (telle que perte de fluide, etc...). Il en résulte une sécurité beaucoup plus importante de l'opération. Cela est dû au fait, comme indiqué plus haut, que l'invention préconise de travailler au-dessus du seuil en matières solides correspondant à la "sédimentation collective". Selon l'art antérieur, de telles concentrations auraient dû entraîner inéluctablement précipitation et déshydratation. Au contraire, grâce au respect du critère PVF_{max} selon l'invention, cela ne se produit pas.
De manière générale, on préfèrera le mode "tetra modal" au mode "tri modal".

Une caractéristique essentielle à respecter est que les granulométries utilisées ne se recouvrent pas dans une grande proportion.
En pratique, on peut grossièrement considérer que le critère à respecter est que les courbes granulométriques soient au moins décalées d'une distance correspodant au demi-pic comme représenté sur la Figure unique annexée.

On peut alors symboliser ce critère par la notion de "granulométries disjointes" que l'on utilisera ci-dessous pour plus de clarté.

Par exemple, on a obtenu de très bons résultats avec un écart d'environ un facteur 5 à 50 et de manière préférée autour de 10 entre chaque dimension moyenne, comme selon les exemples non-limitatifs tri- et tetra modal ci-dessus.

Naturellement, un mode "penta-modal" etc... produit des résultats au moins aussi intéressants qu'un tetra ou même un tri modal. Cependant, le gain en termes de propriétés s'accompagne d'un retour à une certaine complexité, et ces modes, bien que réalisables et utilisables, seront moins préférés sauf dans certaines applications très particulières.

On citera encore les combinaisons (selon les critères ci-dessus) entre les catégories non limitatives suivantes :

- "très grosses" par exemple sable de verrier ou déchets broyés (dimension moyenne > 1 mm)
- "grosses" par exemple sable ou déchets broyés (dimension moyenne 200 - 800 microns)
- "moyennes" telles que déchets broyés (dimension moyenne 10 - 20 microns)
- "fines" comme par exemple un micromatériau, ou certaines cendres volantes fines ou autres déchets industriels fins ("micro fly ash", "micro slag") (dimension moyenne 0,5 - 10 microns)
- "très fines" comme par exemple un latex ou certains pigments ou certains migrogels de polymères comme un agent de contrôle classique du filtrat (dimension moyenne 0,05 - 0,5 microns)

- "ultra fines" comme certaines silices ou alumine colloïdales, etc... (dimension moyenne 7 - 50 nanomètres).

L'emploi des particules "ultra fines" est réservé par exemple aux situations où l'on recherche un bouchage ou colmatage extrême en milieu agressif, et par exemple à haute température, lorsque le coût n'est pas le facteur décisionnel.

Dans de nombreux cas, on pourra aussi éviter l'emploi de particules "très fines". En effet, l'amélioration supplémentaire de propriétés apportée par l'ajout de "très fines" pourrait ne pas être économiquement rentable, notamment en ce qui concerne le contrôle du filtrat. On notera que cela n'est possible que grâce à l'amélioration déjà décisive obtenue selon l'invention par une combinaison ne comportant pas de "très fines", amélioration qui permet de se contenter de très faibles quantités d'addifits organiques onéreux.

En pratique, comme le montreront les exemples ci-dessous, la majeure partie des cimentations classiques peut être realisée avec des combinaisons (toujours en respectant les trois critères fondamentaux ci-dessus) de type (non-limitatif) :

- très grosses
- grosses
- moyennes
- fines

ou

- grosses
- moyennes (déchets broyés)
- fines (micro fly ash, etc...)

et autres combinaisons qui seront évidentes à l'homme de métier.

De manière générale, l'invention consiste donc en la combinaison :

A. de particules "grosses de dimension moyenne d'un ordre de grandeur de 100 - 300, de préférence 200 microns et plus, choisies par exemple selon le fluide à concevoir, parmi gravier, sable, silice, carbonate, baryte, hématite et autres oxydes de fer ou produits analogues et certains déchets plastiques ou autres, broyés,

B. de "moyennes" (10 - 20 microns), par exemple des déchets broyés,

C. de "fines" (environ 1 micron) choisies parmi :
- les carbonates (marbre, craie, calcite...)
- la baryte ("blanc fixe")
- l'hématite et autres oxydes de fer
- la silice, le carbone, le soufre et analogues
- et certains résidus industriels fins,

D. de "très fines" (environ 0,1 micron) comme par exemple un latex, un condensat de silice (fumée de silice ou "silica fume") ou d'oxyde de manganère dans les fumées.

Comme on l'a vu, il sera aussi très avantageux d'employer des particules "très grosses" (>1 mm) et, dans les situations où les problèmes techniques à résoudre sont extrêmes, des particules "ultra fines". Une combinaison particulièrement avantageuse sera du type "trimodal" :

- gros sable (sable de verrier) (350 microns)
- matériau (certains déchets industriels broyés) (10 - 20 microns)
- micro silice ou déchets industriels (0,5 - 3 microns)

accompagnée d'une très faible quantité (0,5% par rapport aux solides) d'agent de contrôle du filtrat, et éventuellement de très faibles quantités d'autres additifs organiques classiques, pour optimiser et affiner les propriétés du fluide.

Les exemples suivants illustrent l'invention sans toutefois en limiter la portée.

On ne donnera pas ici les domaines de proportions relatives pour les différentes catégories de matériaux particulaires. En effet ces pourcentages de A, de B, etc... sont à établir en fonction du critère d'obtention de PVF_{max} ou d'un PVF aussi proche que possible de PVF_{max}. On rappelera ici que le calcul de PVF est connu et classique. Il est fondé sur des équations connues faisant intervenir un "découpage" de chaque granulométrie de chaque composant du mélange

particulaire. Dans les exemples ci-dessous, les valeurs de PVF ont été obtenues en divisant chaque courbe granulométrique de chaque composant en 31 "fractions".

Les exemples suivants illustrent l'invention sans toutefois en limiter la portée.

Exemple 1

On a préparé un fluide de séparation pour cimentation, ou "spacer", à l'aide de :

- 206 g d'eau
- 656 g de carbonate de calcium (100 microns) (73% du total) et de microcarbonate (2 microns) (27% du total) ce qui forme une combinaison selon l'invention, dite "bimodale".

On obtient une densité de 1,9 g/cm3 (16 ppg).

Au rhéomètre Fann 35, avec un nombre de rotor de 1, un nombre de BOB de 1, un nombre de ressort de 1, et une résistance du ressort égale à 0 on obtient à la température ambiante les résultats suivants :

MODELE	10D	Pv mPa.s (CP)	Ty lbf/100ft2	Pa	n	k kg.s^n	viscosité mPa.s (CP)
Newtonien	0,945	-	-	-	-	-	142
Bingham	0,998	82,9	40,6	19.4	-	-	-
Loi en puissance	0,995	-	-	-	0,358	0,055(*)	-

(*) = 0,122 lb.s^n

Pv = viscosité plastique
Ty = seuil de cisaillement

Un test de sédimentation effectué à 85°C (185°F) par une mesure de la densité au sommet et à la base d'une colonne de fluide de 250 ml, selon la norme API : diamètre 40 mm, hauteur 20 cm, mesure au terme de 2 heures, donne les résultats suivants :

Sommet : 1,85 g/cm3 (15,5 ppg)

Base : 1,86 g/cm3 (15,6 ppg)

Eau libre : 1,5%

On constate la manifestation, sans additif organique, d'une bonne rhéologie et d'une bonne stabilité.

Exemple 2

On prépare un fluide de séparation selon l'invention à partir de :

- 205 cm3 d'eau
- 2,05 g de polynaphtalène sulfonate (dispersant)
- 656 g de carbonate de calcium (environ 100 microns) (66,4% du total en volume), de microcarbonate (2 microns) (24,5%) et de microsilice (0,5 micron) (9,1%).

On obtient une densité de 1,9 g/cm3 (16 ppg).

Dans les mêmes conditions que dans l'exemple 1, on obtient les résultats suivants :

MODELE	10D	Pv mPa.s (CP)	Ty lbf/100ft2	Ty Pa	n	k kg.s^n	viscosité mPa.s (CP)
Newtonien	0,998	-	-	-	-	-	83,6
Bingham	1	77	4,54	2,17	-	-	-
Loi en puissance (Tre ambiante)	0,996	-	-	-	0,72	0,00376(+)	-
Newtonien	0,987	-	-	-	-	-	46,2
Bingham	0,999	37,5	6,05	2,89	-	-	-
Loi en puissance (85ºC,185ºF)	0,988	-	-	-	0,514	0,0068(++)	-

(+) = 0,00836 lb.s^n
(++) = 0,0151 lb.s^n

Un essai de sédimentation, dans les mêmes conditions que celles de l'exemple 1, donne les résultats suivants :

	à 85ºC (185ºF)	à 204ºC (400ºF)
Sommet	1,84 g/cm3 (15,4 ppg)	1,82 g/cm3 (15,2 ppg)
Base	1,84 g/cm3 (15,4 ppg)	1,83 g/cm3 (15,3 ppg)

On voit que, avec une très faible proportion de dispersant, cette combinaison trimodale conduit à une basse rhéologie très favorable et à une absence de sédimentation malgré cette rhéologie très basse.

Exemple 3

On a préparé un système trimodal selon l'invention, à partir de :

Sable (environ 180 microns) 66,4% BVOS*

Farine de silice (environ 20 microns) 24,5% BVOS

Carbonate (dimension variable) 9,1% BVOS

* BVOS = en volume de solides

Densité calculée : 1,9 g/cm3 (16 ppg)

Porosité calculée : 46%

On trouvera ci-dessous les résultats obtenus en fonction de la dimension du carbonate.

Dimension * moyenne du carbonate	4 microns	2 microns	1,3 microns
Pv	160	163	108
Ty lb/100 ft2	21,5	24,7	10
Pa	10,3	11,8	4,79

* on pourra choisir des carbonates, par exemple, d'environ 1 à 5 microns

On a effectué les même mesures en utilisant un carbonate de dimension moyenne 2 microns et en ajoutant une très faible proportion de polynaphtalène sulfonate (dispersant).

On a obtenu les résultats ci-dessous :

dispersant % BWOW (% en poids d'eau)	0	0,1
Pv mPa.s (CP)	163	121
Ty lb/100 ft2	24,7	17,0
Pa	11,8	8,14

On voit que l'on obtient une bonne rhéologie et une bonne stabilité pour les systèmes considérés.

Exemple 4

On a préparé un système tetra modal selon l'invention en utilisant deux silices différentes, une alumine et un latex :

Sable (180 microns) : 64,1% BVOS

Farine de silice (20 microns) : 24,0% BVOS

Alumine AL_2O_3 (densité 3,85) : 8,8% BVOS

Latex styrène - butadiène (environ 0,15 microns) : 3,1% BVOS

L'alumine joue également un rôle d'agent alourdissant.

En fonction de la dimension moyenne de particules de l'alumine, on obtient les résultats suivants :

dimension moyenne de l'alumine	- porosité (%) - densité (g/cm3) [ppg]	- Pv mPa.s (CP) - Ty (lb/100 ft2) [Pa]	filtrat	remarques
1,3 microns	40,6 (2,0) [17,0]	179 (1,7) [0,81]	40 ml en 7 min	légère sédimentation
0,5 microns	40,6 (2,0) [17,0]	188 (12) [5,74]	40 ml en 13 min	0,2% de PNS (1)

(1) PNS = polynaphtalènesulfonate

On obtient une rhéologie favorable et un contrôle intéressant du filtrat.

Exemple 5

On a préparé un système quadrimodal selon l'invention à l'aide de deux silices différentes, d'un oxyde de manganèse et d'un latex :

432 g de sable (180 microns)

162 g de farine de silice (20 microns)

106,6 g d'oxyde de manganèse (1 micron)

("MICROMAX")

Quantité variable de latex styrène - butadiène (environ 0,15 micron)

On règle la quantité d'eau pour obtenir une densité de 1,84 g/cm3 (15,4 ppg).

On obtient les résultats suivants :

quantité de latex (g)	15	16,26	20	24	32,26	45
Pv mPa.s (CP)	84	90	94	76	53	61
Ty (Pa)	14	10	10	11	5	8,5
Filtrat *	50 ml en 30 secondes	48 ml en 1 min 30 sec	15 ml en 30 min	9 ml en 30 min	8 ml en 30 min	7,5 ml en 30 min
Filtrat * selon normes API	744 ml	429 ml	30 ml	18 ml	16 ml	15 ml

* à la température ambiante

On constate que la rhéologie est très bonne, et que le contrôle du filtrat est également très bon.

REVENDICATIONS

1. Fluide pour l'industrie pétrolière, parapétrolière, géothermiques et analogues, caractérisé en ce que,

a) outre le fluide de base, il contient au moins trois additifs particulaires dont, pour chaque additif, la distribution granulométrique est "disjointe" par rapport aux autres additifs, l'une au moins de ces granulométries étant "fine", et

b) on choisit les proportions relatives des additifs particulaires de façon à travailler au PVF_{max} de la combinaison considéré d'additifs particulaires, ou aussi proche que possible du PVF_{max}, (PVF étant la fraction volumique des particules solides à la compaction), et

c) on choisit la proportion de matières solides par rapport à l'eau ou au fluide de mélange de manière à travailler au-dessus du seuil de concentration en matières solides où apparaît le régime dit de "sédimentation collective".

2. Fluides pour l'industrie pétrolière, parapétrolière, géothermique et analogues, selon la revendication 1, caractérisés en ce qu'ils contiennent tout ou partie des additifs suivants :

- "très grosses" par exemple sable de verrier ou déchets broyés (dimension moyenne > 1mm) et/ou

- "grosses" par exemple sable ou déchets broyés (dimension moyenne 200-800 microns) et/ou
- "moyennes" telles que déchets broyés (dimension moyenne 10-20 microns) et
- "fines" comme par exemple un micromatériau, ou certaines cendres volantes fines ou autres déchets industriels fins ("micro fly ash", "micro slag") (dimension moyenne 0,5 - 10 microns) et/ou
- "très fines" comme par exemple un latex ou certains pigments ou certains microgels de polymères comme un agent de contrôle classique du filtrat (dimension moyenne 0,05 - 0,5 microns) et/ou
- "ultra fines" comme certaines silices ou alumine colloïdales, etc... (dimension moyenne 7 - 50 nanomètres).

3. Fluides de séparation ou "spacers" pour l'industrie pétrolière, caractérisés en ce qu'ils consistent en fluides selon la revendication 1 ou 2.

4. Fluides de séparation selon la revendication 3 caractérisés en ce qu'ils contiennent, comme additifs particulaires du carbonate de calcium environ 100 microns et du microcarbonate environ 2 microns.

5. Fluides de séparation selon la revendication 3 caractérisés en ce qu'ils contiennent, comme additifs particulaires du carbonate de calcium environ 100 microns, du microcarbonate environ 2 microns et de la microsilice (0,5 microns).

6. Fluides de séparation selon la revendication 3 caractérisés en ce qu'ils contiennent, comme additifs particulaires du sable (environ 180 microns), de la farine de silice (environ 20 microns) et un carbonate (d'environ 1 à 5 microns, de préférence autour de 2 microns).

7. Fluides de séparation selon la revendication 3 caractérisés en ce qu'ils contiennent, comme additifs particulaires du sable (environ 180 microns), une farine de silice (20 microns), de l'alumine (0,5 à 1,3 micron), un latex (environ 0,15 micron).

8. Fluides de séparation selon la revendication 3 caractérisés en ce qu'ils contiennent, comme additifs particulaires du sable (environ 180 microns), de la farine de silice (20 microns), un oxyde de manganèse (1 micron), et un latex (environ 0,15 micron).

9. Utilisation des fluides selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 comme

- fluides de forage
- fluides de réinjection des débris de forage
- fluides de fracturation y compris de "pre-pad"
- fluides de diversion.

10. Procédé de forage et/ou de traitement de puits pétroliers, à gaz, d'eau, géothermiques ou analogues, caractérisé en ce que l'on utilise un fluide selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

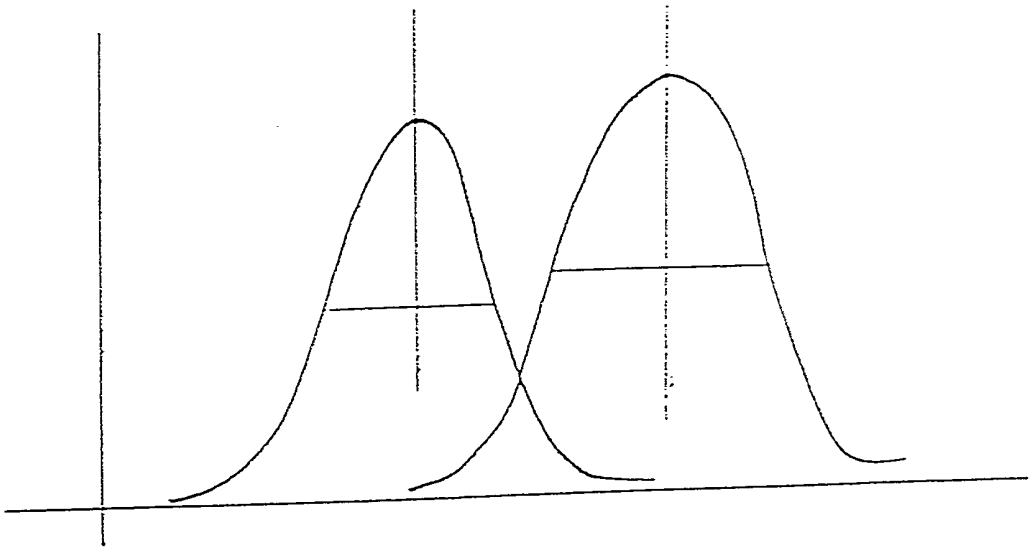


Fig. unique

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

PRELIMINAIRE

2704231

N° d'enregistrement national

FA 488301
FR 9304801

RAPPORT DE RECHERCHE

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

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	EP-A-0 119 745 (HALLIBURTON) * page 3, ligne 2 - page 4, ligne 8 * * page 4, ligne 24 - page 5, ligne 29 * * page 6, ligne 13 - page 7, ligne 6 * * page 7, ligne 4 - ligne 30 *	1-10	
A	US-A-4 232 740 (J.H.PARK) * colonne 3, ligne 18 - colonne 4, ligne 59 * * revendications 1-32 *	1-10	
A	US-A-4 217 229 (J.L.WATSON) * colonne 1, ligne 6 - ligne 43 * * colonne 5, ligne 48 - ligne 63 *	1-10	
A	US-A-2 455 188 (W.F.OXFORD) * colonne 2, ligne 5 - colonne 3, ligne 14 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5) C09K E21B

Date d'achèvement de la recherche: 22 Décembre 1993

Examinateur: Boulon, A

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)