

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX RÉCENTS SUR LES ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES EN MILIEU POREUX

PAR A. HOUPEURT *
ET R. IFFLY *

Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 8 juin 1967

Certaines opérations récemment entreprises par l'industrie pétrolière ont posé avec une importance toute nouvelle certains problèmes de mécanique des fluides dont on a bien dû admettre qu'on ne savait pas encore les résoudre.

Parmi ceux-ci figure le problème du déplacement d'un fluide 1 seul présent dans le milieu poreux par un fluide 2 miscible ou non avec le premier, ce déplacement se restreignant pourtant à un écoulement unidirectionnel (fig. 1).

La caractérisation des milieux poreux par les seuls coefficients de porosité et de perméabilité est évidemment insuffisante et les calculs que l'on peut faire en imaginant un mouvement d'ensemble comportant un front perpendiculaire à la direction de l'écoulement ne concordent pas avec l'expérience. Les coefficients de perméabilité relatives présentent l'inconvénient de n'être définis que lorsque les deux fluides sont à la fois présents dans le milieu poreux et leur conception même mériterait un examen critique sérieux. Ils ne peuvent en tout cas être d'aucun secours dans le problème actuel. Il s'impose donc de chercher et de trouver quelque chose d'autre pour résoudre celui-ci.

*
**

Un certain nombre d'observations faites au laboratoire et sur les chantiers amènent à envisager le déplacement d'un fluide par un autre avec peut-être

plus d'attention qu'on ne lui en a antérieurement accordée. Ces observations sont les suivantes :

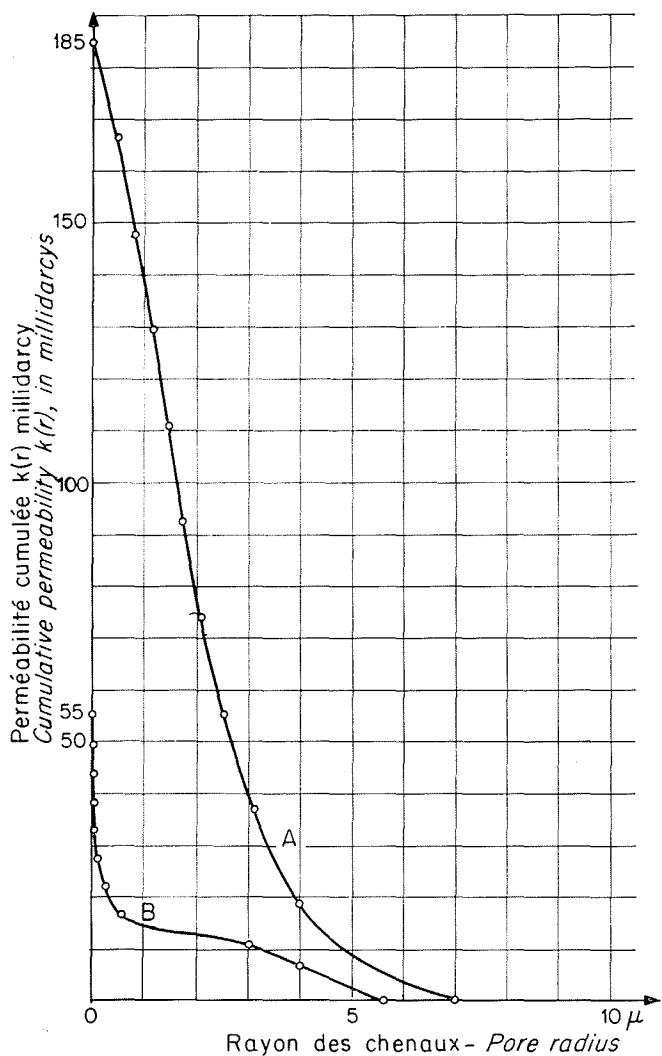
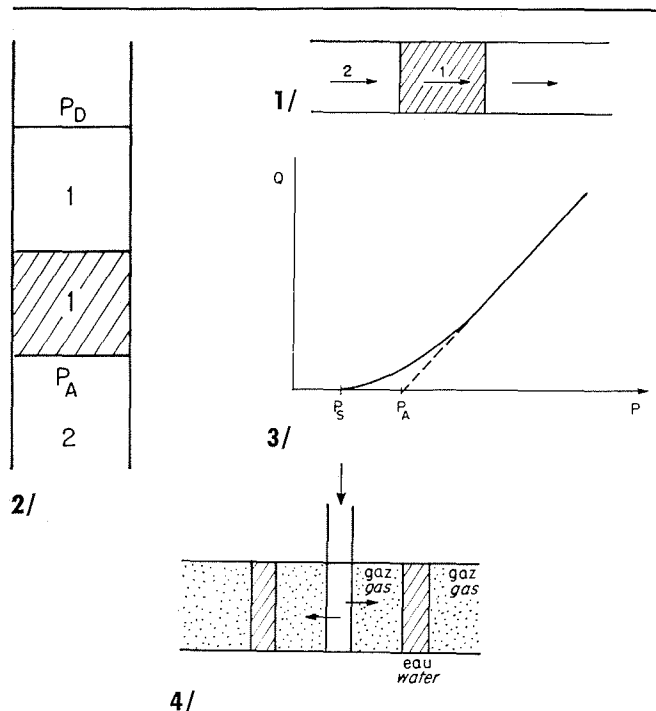
1. Quand on exerce avec un fluide 2 non mouillant et non miscible avec le fluide 1 une pression constante P_A sur un échantillon disposé comme sur la figure 2, la pression aval étant maintenue constante par une certaine charge de fluide 1, on constate que le fluide 2 traverse l'échantillon et débouche sur la face aval en un nombre limité de points disposés au hasard.

On constate qu'il s'établit un débit constant.

Quand on augmente la pression amont, le débit croît et prend une nouvelle valeur stable. Le fluide 2 sort de l'échantillon par un nombre plus grand de points.

En procédant à des mesures de débit et de pression au cours de telles expériences, on peut tracer une courbe analogue à celle de la figure 3, comportant d'abord une partie courbe, puis une variation linéaire. L'écoulement ne commence à travers l'échantillon que si P_A est supérieur à une certaine valeur P_S . Une telle expérience donne à penser que le cheminement du fluide 2 a lieu dans des canaux différenciés qui se débouchent au fur et à mesure de l'accroissement de la pression P_A . Il est facile de montrer que la différence des pressions en amont et en aval de l'échantillon est pratiquement égale à la pression capillaire maximale pouvant exister entre les deux fluides. On peut alors tracer la courbe de croissance du débit avec la pression capillaire disponible. Elle a, bien entendu, la même forme que celle de la figure 3. On est alors tout naturellement

* Société Géopétrole, Paris.



5/ Comparaison de la croissance de la perméabilité avec le rayon des pores pour deux échantillons A et B.
Increase in permeability with pore radius for samples A and B.

conduit à souhaiter connaître ainsi la contribution des canaux caractérisés par des seuils compris entre deux limites, à la réalisation de la perméabilité d'ensemble de l'échantillon. Cela peut se faire sous certaines hypothèses visant à relier la pression différentielle qui s'exerce réellement sur le fluide en circulation dans les canaux de cette classe avec la pression capillaire régnant au moment où l'écoulement est observé. On peut également mesurer la saturation existant dans l'échantillon alors qu'une certaine perméabilité y a été créée par l'écoulement stabilisé du fluide 2.

On dispose alors de tous les éléments permettant d'étudier, dans l'hypothèse d'un mouvement à interface, le déplacement du fluide 1 par le fluide 2 dans les différents canaux.

Le calcul ne présente aucune difficulté, mais plusieurs façons de voir peuvent être choisies pour expliciter les conditions du mouvement en aval de l'interface, en sorte que ces travaux ne sont pas encore très avancés.

2. Au cours de nombreuses mesures de perméabilités relatives dans nos laboratoires, nous avons rencontré de nombreuses difficultés pour chasser jusqu'à la limite fixée l'eau d'abord mise en place dans l'échantillon (le montage est assez peu différent de celui de la figure 2). En réfléchissant aux raisons pour lesquelles, malgré l'écoulement de quantités considérables de fluide 2, le fluide 1 refusait de céder la place, il nous est apparu clairement que la pression capillaire susceptible d'engendrer la désaturation était précisément égale à la différence des pressions en amont et en aval de l'échantillon, et que cette différence était toujours assez étroitement limitée au cours des expériences. Il va de soi d'ailleurs qu'au fur et à mesure que croît la perméabilité au fluide 2, il est de plus en plus difficile de maintenir la pression capillaire à une forte valeur, étant donné que les débits à réaliser augmentent très vite.

On doit en outre remarquer que le rôle de la tension interfaciale entre les fluides et le rôle des viscosités dans les perméabilités relatives n'ont pas été clairement explicités.

Enfin et surtout, quand on réfléchit au concept des perméabilités relatives, que l'on revient au travail original de Buckley et Leverett, et qu'on voit l'usage qui en a été fait par la suite, on est contraint de se demander si on a le droit de prétendre étudier des mouvements transitoires à l'aide de paramètres qui ne se conçoivent bien qu'en écoulement permanent. Qu'en forçant les débits Q_1 et Q_2 des fluides 1 et 2 simultanément dans un échantillon, il s'établisse dans celui-ci des saturations caractérisées par les valeurs σ_1 et σ_2 , n'a rien de normal et de sensé. Mais on peut se demander si l'on a le droit de renverser la proposition et de dire que si les saturations sont σ_1 et σ_2 , il ne peut passer qu'un mélange de composition correspondant à Q_1 et Q_2 , c'est-à-dire contenant en proportion $Q_1/(Q_1 + Q_2)$ de fluide 1 et le complément de fluide 2. L'expérience montre d'ailleurs qu'on peut parfaitement faire passer un fluide 3 imprévu dans la théorie.

3. Au cours de l'étude systématique des contre-courants en milieu poreux à laquelle nous nous livrons pour le compte d'une Société de recherche de pétrole, nous avons constaté, à l'aide de prises de vues

en accéléré, le style de progression du fluide 2 dans un massif artificiel de fluide 1 dont la visualisation avait été assurée par un ajustement des indices de réfraction du milieu lui-même et des deux fluides 1 et 2 qui se distinguaient cependant par leur coloration.

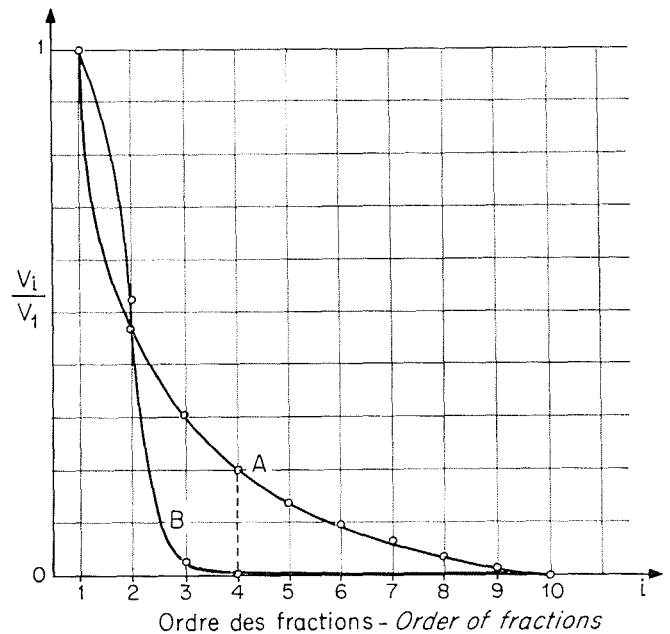
Les images obtenues montrent que la pénétration du fluide 2 est un phénomène de type parfaitement capillaire et que les molécules avancées du fluide 2 cherchent leur chemin en « tâtant » les dimensions des orifices qui se présentent. Leur progression est successivement orientée dans toutes les directions suivant sans doute la disposition des seuils de plus grande dimension qui se présentent autour d'une certaine position. On a d'ailleurs également constaté au cours de ces expériences que le massif qui avait été voulu homogène et parfaitement régulier, et qui apparaissait comme tel dans certaines conditions, révélait en fait de grandes variations de saturation d'un point à un autre et que les cheminements étaient inégalement distribués. Ceci amenait à penser aussi que l'écoulement se faisait grâce à des canaux plus ou moins indépendants les uns des autres et joignant peut-être sans retours en arrière, la face d'entrée à la face de sortie. La réalisation toute récente de contre-courants forcés nous donne également à penser qu'il y a une spécialisation des chemins qui ne dépend que des pressions capillaires et qui n'a sans doute que de lointains rapports avec celle qui peut s'organiser dans les expériences classiques de mesure des perméabilités relatives.

4. Il n'est pas que le laboratoire qui fournisse des arguments en faveur d'une révision de nos façons de voir à l'égard des écoulements en milieu poreux. Les observations faites récemment sur les chantiers d'une Société pétrolière nous ont donné à penser que le déplacement d'un fluide mouillant par un fluide non mouillant présente des caractéristiques qui excluent le traitement du problème sans référence aux forces capillaires : l'anneau d'eau injecté et repoussé par le gaz se laisse traverser par celui-ci et constitue un obstacle apparemment stable à la progression de celui-ci. La concordance des observations de chantier et des résultats de laboratoire est manifeste. On ne voit d'ailleurs pas bien pour quelle raison il ne se créerait pas des cheminements préférentiels à l'intérieur de l'anneau qui va en s'amincissant au fur et à mesure de la poursuite des opérations (fig. 4).

En pensant à ces observations, on est enclin à faire à l'intérieur du milieu poreux (même homogène et isotrope au sens habituel des termes) plus de distinctions qu'on n'en fait habituellement.

Il apparaît, toute réflexion faite, que la loi de Darcy définit un coefficient dont l'intérêt énergétique est évident, puisqu'il nous permet de calculer la puissance nécessaire pour établir un certain écoulement permanent dans un milieu, mais que ce coefficient n'a aucune valeur cinématique. Il nous permet tout au plus de définir une vitesse moyenne qui n'a qu'un intérêt académique.

Toutes les molécules présentes à un instant pris comme origine du mouvement dans un échantillon (fig. 1) et soumises à un flux de molécules de même espèce ne sortent pas pour laisser place à celles qui entrent. Certaines sortent d'abord, d'autres ensuite;



6/ Comparaison de la distribution des vitesses.
Comparative velocity distribution graph.

certaines même ne sortiront que beaucoup plus tard, suivant la distribution des vitesses qui participent à la réalisation de la vitesse moyenne. On nous pardonnera la trivialité de la comparaison avec le passage des voitures circulant sur une autoroute devant un repère fixe. Nous pensons que nous avons ici besoin de savoir non pas la vitesse moyenne des véhicules qui sortent, mais bien les vitesses propres des diverses files, c'est-à-dire les vitesses de circulation effectives dans des chenaux que tout nous conduit à considérer comme individualisés et comme de dimensions différentes.

Il va de soi que la connaissance de la courbe de croissance de la perméabilité avec la pression capillaire, que nous pouvons déduire des expériences décrites en premier lieu (fig. 5), nous permet de caractériser les vitesses de circulation dans les différentes classes de canaux par la vitesse au seuil, et que la variation relative des vitesses est sans doute un bon étalon de ce qu'on pourra appeler « l'hétérogénéité essentielle des milieux poreux ».

La figure 6 montre comment apparaissent les distributions de vitesse pour deux roches extrêmement différentes, caractérisées par les courbes de croissance de perméabilité de la figure 5.

Il est visible que les dix fractions constituant le débit global sont animées de vitesses décroissant régulièrement depuis l'unité (puisqu'on a pris comme référence la vitesse de circulation aux plus larges seuils) jusqu'à zéro pour l'échantillon A, alors que seules les quatre premières fractions du flux ont une vitesse appréciable pour l'échantillon B. Ceci laisse supposer que le déplacement du fluide 1 par le fluide 2 sera beaucoup plus complet, toutes choses égales par ailleurs, pour l'échantillon A que pour l'échantillon B. En fait, la percée a lieu pour le premier pour un volume injecté égal à 30 % du volume des pores, et pour le second à 20 %, ce qui correspond au fait que les plus gros

pores ne sont pas disproportionnés les uns avec les autres (7 et 5,5 μ), mais, par contre, la récupération asymptotique est de l'ordre de 75 % pour l'échantillon A et n'atteint que 45 % pour l'échantillon B, avec un niveau de pression capillaire disponible pourtant élevé (4 bars).

**

Les auteurs regrettent de n'avoir pu avancer davantage ces travaux et de n'avoir pu soumettre à

la Société Hydrotechnique de France qu'une suite de réflexions qu'ils espèrent constructives, mais dont certaines faiblesses apparaissent clairement. Ils remercient les Sociétés pour le compte desquelles ils ont travaillé d'avoir déjà antérieurement autorisé la soutenance de thèse de M. Lelièvre sur les écoulements à contre-courant, et la communication au 7^e Congrès Mondial du Pétrole de quelques idées nouvelles sur une conception cinématique du déplacement des fluides, idées qui ont trouvé place dans la présente communication.

Discussion

Président : M. CHAYA

L'exposé de M. HOUPEURT est suivi de la projection d'un film.

M. le Président pense que M. HOUPEURT a fort utilement attiré l'attention de l'auditoire sur cet aspect local des écoulements en milieu poreux. La vue de son film lui a rappelé par moment le modèle de diffusion constitué par la marche au hasard.

M. THIRRIOT rappelle que M. HOUPEURT a étudié la cinématique des écoulements diphasiques, tandis qu'à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse il étudie avec ses collaborateurs ce problème sous l'angle de la mécanique des fluides, et notamment le remplacement d'un fluide par un autre dans des modèles analogiques : modèles de canaux non cylindriques, comme ceux dans lesquels ils ont étudié la déviation de la loi de Darcy (1), et modèles de canaux capillaires.

M. ARIBERT, présent à la séance, a obtenu par voie théorique et par voie expérimentale des renseignements assez intéressants et, pour une part, assez originaux, sur le phénomène de piston dont a parlé M. HOUPEURT, et pourra dire quelques mots sur cette question.

Au-delà, il faut aller jusqu'à l'échelle moléculaire pour savoir comment ces molécules, au voisinage de la paroi ou au voisinage de l'interface, vont être mises en mouvement au cours de ce remplacement d'un fluide par un autre. Les phénomènes d'adsorption sont alors très importants et peuvent arriver à créer une couche de plusieurs molécules, en particulier à l'interface, qui sera presque rigide et va justifier pleinement le phénomène de piston.

M. ARIBERT décrit les travaux mentionnés par M. THIRRIOT :

On considère le déplacement à vitesse uniforme d'un ménisque séparant deux fluides (1) et (2) de viscosités différentes μ_1 et μ_2 entre deux plaques parallèles rapprochées (fig. 1). Actuellement, l'étude mathématique qui a été faite se limite à un schéma où la forme du ménisque, assimilé à un piston, n'a pas été considérée (en réalité, des interfaces rigoureusement planes n'existent pas dans les tubes capillaires). Même avec cette simplification, on se heurte encore à des difficultés d'ordre physico-chimique.

Sur le plan théorique, M. ARIBERT a calculé les formes de cet écoulement en raccordant au niveau de l'interface deux solutions de problèmes bi-harmoniques correspondant aux phases 1 et 2 (on néglige les effets d'inertie et les forces de pesanteur et on suppose un régime d'écoulement du type de Stokes). Il a été admis que la vitesse aux parois est nulle, autrement dit que le fluide 1 déplace complètement le fluide 2 et qu'il ne reste, en particulier, pas de couche adsorbée aux parois. La solution en fonction courante a été donnée sous la forme :

$$\Psi^{(1)} = \sum_{n=1}^{\infty} \left[(A_n^{(1)} + \alpha B_n^{(1)}) e^{-p_n y} \sin p_n y + \int_0^{\infty} c_n^{(1)} (y \operatorname{ch} l y - \operatorname{coth} l \operatorname{sh} l y) \sin l x dl \right]$$

Il est intéressant d'étudier le processus de substitution du fluide 2 par le fluide 1 et la redistribution à l'interface des particules qui étaient dans le fluide 1 pour assurer l'uniformité de la vitesse de ce piston théorique.

M. ARIBERT arrive ainsi à des configurations d'écoulement relatif en prenant des axes liés à ce piston qui ont l'allure suivante (fig. 2).

Dans le mouvement absolu, on a dans chaque phase, à l'infini, une répartition de vitesse parabolique du type de Poiseuille, la répartition de la vitesse normale à l'interface étant par hypothèse uniforme (fig. 1).

Sur la demande de M. le Président, M. ARIBERT précise que l'interface plane n'a pas été considérée comme un piston solide et qu'en première approximation, il a tenu compte de l'égalité des contraintes de cisaillement entre les deux phases.

M. le Président demande s'il est possible par la suite de supposer une interface non plane.

M. ARIBERT indique que l'écoulement représenté par la figure 2 correspond au cas où la viscosité du fluide 1 est inférieure à celle du fluide 2. Le calcul montre qu'il est nécessaire qu'il se forme dans le fluide le moins visqueux un tourbillon qui joue un peu le rôle de roulement et qui assure l'égalité des vitesses tangentielles de part et d'autre de l'interface, à son voisinage immédiat.

Ce qui intriguait un peu, c'était de savoir si, en somme, ce modèle mathématique était valable aux parois, si le fluide 2 était totalement remplacé aux parois ou s'il restait un mince film de fluide 2 aux parois, auquel cas les conditions limites auraient été modifiées par rapport au modèle admis.

Actuellement, des expériences, qui sont encore assez rudimentaires, semblent bien vérifier, dans le cas d'un tube capillaire, que la vitesse est effectivement nulle aux parois, bien que le fluide 2 soit un fluide mouillant et que le fluide 1 ne soit pas un fluide mouillant.

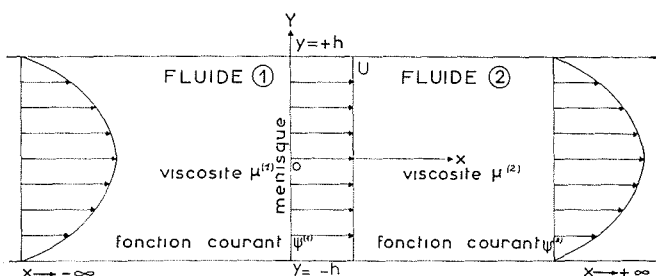
M. HOUPEURT se demande si la nullité de la vitesse aux parois est une hypothèse de Poiseuille ou s'il y a des cas où cette vitesse est vraiment nulle.

Si on fait passer du mercure dans un tube qui contient de l'air (et on peut se demander si la vitesse aux parois est nulle), c'est l'air qui est mouillant.

Dans ce cas-là, il ne reste guère d'air sur le plan pratique et cela n'a aucun rapport avec ce qui se passe quand on étudie la ligne des particules dans un fluide qui se meut à l'intérieur d'un tube capillaire, où l'on a une série de paraboloïdes et où l'on peut étudier ce qui se passe dans n'importe quelle section.

M. HOUPEURT serait heureux d'avoir connaissance d'expériences sur la viscosité du mercure, afin de pouvoir discerner

(1) G. CHAUVETEAU et Cl. THIRRIOT : Régimes d'écoulement en milieu poreux et limite de la loi de Darcy. Comité Technique de la S.H.F., Session de novembre 1966; voir *La Houille Blanche*, n° 2-1967, p. 141-148.



1/

si, dans ce cas, la vitesse aux parois est ou n'est pas nulle. A son avis, la mouillabilité, la vitesse nulle sur les parois, dépendent de la physicochimie de la surface et des phénomènes d'adsorption du fluide 1 et du fluide 2 sur les différentes matières chimiques qui constituent la surface.

M. le Président rappelle qu'au temps de Poiseuille la préoccupation de la vitesse de glissement n'était pas rare. On a été conduit à y renoncer par la suite pour l'explication des phénomènes courants de l'hydrodynamique. On peut se reposer la question dans des circonstances plus exceptionnelles.

M. ARIBERT pense qu'en présence de deux phases, on peut penser que l'une des phases joue le rôle de film assurant un glissement.

M. HOUPEURT estime que, suivant ce qu'on écrit, on met indirectement en cause le caractère newtonien ou non-newtonien du fluide; il cherche à savoir ce qui se passe en faisant des mesures de perméabilité aussi fines que possible. Certains travaux russes mettent en évidence une viscosité apparente le long de la paroi, différente de celle de l'intérieur de la masse. Les études font apparaître une masse de fluide adsorbée qui ne réagit pas comme le reste de la masse aux propositions d'augmentation du volume qu'on lui présente: cela militerait en faveur de la nullité de la vitesse sur la paroi.

M. le Président se demande s'il n'existe pas aussi des travaux techniques en relation avec les problèmes évoqués.

M. THIRRIOT indique que, dans certaines expériences de M. ARIBERT, il semble difficile de mettre en évidence le rouleau de la figure 2. On peut penser que des molécules adsorbées à l'interface forment une couche à peu près rigide. Dans ces cas, les vitesses aux parois étant nulles, on retrouverait le problème du piston solide.

M. le Président demande à nouveau ce qui se passe si, avec toujours des écoulements de Poiseuille aux deux extrémités, l'interface n'est pas supposée plane.

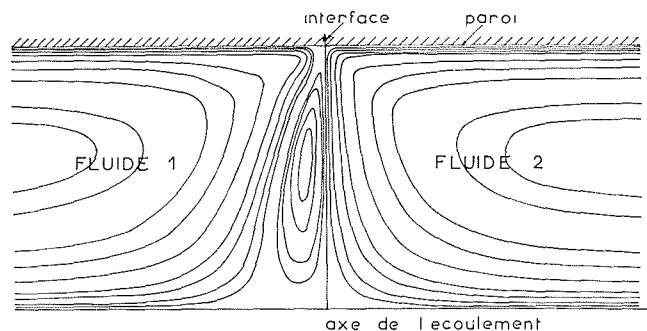
M. THIRRIOT explique que M. ARIBERT est parti d'une image physique pour formuler le problème mathématique, qui paraît intéressant, mais difficile. (Suit un échange de vues entre M. le Président, M. HOUPEURT et M. THIRRIOT sur la façon d'aborder ce problème.)

M. VACHAUD est d'accord avec M. HOUPEURT pour dire que, tant que l'on reste dans le domaine microscopique, disons de la dimension des grains, il n'est pas question de parler de loi de Darcy. Le vecteur vitesse varie et fluctue en effet d'un point à l'autre du milieu.

Mais, lorsque l'on change d'échelle, et que l'on commence à se placer dans un domaine suffisamment grand où la vitesse moyenne au sens de Darcy puisse avoir un sens, il semble possible d'appliquer la loi de Darcy pour des milieux non saturés, et de l'utiliser pour analyser ce type d'écoulement.

M. VACHAUD a pu notamment — en considérant le déplacement de l'air par de l'eau dans une colonne de sol — démontrer la signification cinématique de cette loi. Les travaux de Corey sur le déplacement d'huile par du gaz semblent également démontrer la validité de la loi de Darcy généralisée.

M. HOUPEURT indique, qu'à son avis, les tubes capillaires déforment considérablement le milieu poreux. On a cru pouvoir étudier le phénomène en prenant des massifs à granulométrie très calibrée et avec des milieux que l'on voulait



2/

aussi homogènes que possible dans ce cas, il est certain que le degré de diversité des seuils qui s'offrent est bien réduit.

Sur des massifs particulièrement grossiers et dans certaines conditions, on peut quelquefois se rendre compte de phénomènes analogues à ceux que M. HOUPEURT a représentés. Mais ce sont des cas limites et en général cela ne se passe pas de cette façon.

M. HOUPEURT ajoute :

« Nous avons fait des modèles du genre de ceux que j'ai présentés. Nous en avons fait deux qui se voulaient aussi identiques qu'il était humainement possible de le faire. Nous nous sommes servis, tantôt du modèle A et tantôt du modèle B pour étudier des courbes de pertes de charge, les points étant pris indifféremment sur le modèle A ou sur le modèle B. Nous avons eu des courbes qui filaient remarquablement, que les points viennent du modèle A ou du modèle B; il s'agissait de coefficients de perte de charge, de perméabilité, rapportés à des conditions de saturation moyenne dans le milieu. Sur l'ensemble du milieu, nous procédions à une inspection par gammagraphie de tout ce qui se passait. Comme je vous l'ai dit, nous avions des valeurs moyennes et des points qui filaient remarquablement, mais lorsqu'on regardait le détail de la distribution des saturations à l'intérieur du modèle A ou du modèle B, c'était très décevant. Ces modèles, qui se voulaient aussi homogènes qu'il était possible et qui avaient certainement un degré de régularité de construction infiniment supérieur à n'importe quel sédiment naturel, présentaient des écarts locaux de propriété qui se traduisaient par des variations de saturation: 20 à 80 %, alors que la valeur moyenne était de 40 %.

« Le détail à l'intérieur de chacun des milieux conservait un caractère aléatoire qui était extrêmement clair. J'en ai déduit la notion d'hétérogénéité essentielle des milieux poreux. Il n'y a pas de milieu poreux qui soit littéralement homogène.

« Quand nous disons que le milieu est homogène, cela veut dire que nous avons pris des échantillons qui sont assez grands pour retrouver des propriétés macroscopiques différentes de moins des n % que nous nous sommes fixés à l'avance. Moyennant quoi nous disons que les deux échantillons sont représentatifs du milieu.

« Si je regarde de quoi est fait un de ces échantillons, par exemple avec la méthode de caractérisation que j'ai présentée beaucoup trop vite pour que vous puissiez en saisir tous les détails, je peux dire qu'il est, en réalité, constitué de tout un ensemble de chenaux qui sont distincts les uns des autres. Et lorsque nous faisons nos expériences de caractérisation, il est spectaculaire de voir l'air sortir par trois ou quatre points à la première tranche de chenaux que nous ouvrons. Lorsque l'on passe d'un état permanent à un autre état permanent, par augmentation de pression, on constate un foisonnement qui se traduit par cinquante points de sortie; on ne peut même plus en estimer le nombre; on a la sensation d'une distribution à peu près homogène sur l'ensemble de la surface.

« Cela ne veut pas dire que toutes les veines fluides sortent de l'échantillon à la même vitesse... »

M. le Président, avec un grand regret, arrête la discussion très active de cette communication, et se tenant à l'heure qui lui a été fixé, lève la séance et remercie tous ceux qui, par leur contribution à la discussion, ont contribué à son succès.

Abstract

Recent experimental data on two-phase flow in porous media

by A. Houpeurt * and R. Iffly *

It is pointed out that there is no known way of providing for the replacement of one fluid by another in a porous medium sample, even with simple flow in one direction only. An account is given of observations on the displacement of a wetting fluid by a non-wetting immiscible one and it is shown that permeability rise can be plotted in terms of capillary pressure, from which one can deduce permeability rise in terms of the threshold radii of channels playing an effective part in the fluid flow and interpret these results from the angle of velocity distribution in a steady single-phase flow. It is shown that a porous medium can thus in practice be divided into several channel systems in which each channel is typified by its threshold dimensions and gives the medium a certain degree of porosity and permeability. In each such system, the displacement of one fluid by another may be comparable in practice to that due to the effect of a piston, and the overall phenomenon may be the sum of the individual phenomena occurring in each such system.

* Société Géopétrole, Paris.