



LES FLUIDES NON-NEWTONIENS DANS LE CONTEXTE INDUSTRIEL FRANÇAIS

Communication présentée au
Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France
le 20 mars 1970

PAR Cl. THIRRIOT * ET
D. AMOROS **

I. — Introduction

Un aspect relativement nouveau de la Mécanique des fluides industrielle concerne les écoulements non-newtoniens. La naissance de produits nouveaux, l'utilisation dans des conditions exceptionnelles de fluides conventionnels, l'interaction de phénomènes d'échange thermique sur les variations de viscosité, la recherche de procédés nouveaux de fabrication, incitent à faire le point sur les problèmes industriels concernant les écoulements de fluides ne suivant pas la loi classique de Newton.

Pour préciser l'importance économique de ces problèmes, indiquons simplement que pour la seule année 1964, l'industrie chimique américaine a dépensé entre 12 et 15 milliards de dollars pour l'étude et la production de fluides non-newtoniens.

Sous l'incitation du Comité Scientifique Mécanique de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (***) a entrepris une très large enquête auprès des entreprises industrielles françaises pour mieux définir les problèmes pratiques qui se posent actuellement dans la production, le transport et la conservation des produits présentant un caractère rhéologique différent des produits newtoniens, et dégager ainsi des orientations de recherches, pouvant à plus ou moins longue échéance, déboucher sur l'amélioration des procédés de fabrication et d'utilisation.

L'Institut de Mécanique de Fluides de Toulouse qui a été chargé de cette enquête, ne possède comme la majorité des laboratoires universitaires français à vocation scientifique

que bien peu d'expérience dans le domaine des sondages. Nous verrons plus loin les incidences de cette inexpérience sur notre travail.

L'industriel par contre sait de quoi il s'agit quand on lui parle d'enquête. La conjugaison de ces deux aspects aurait pu être catastrophique si le côté scientifique du questionnaire proposé, dans un cadre national, n'avait permis de matérialiser, d'une façon certaine, ce qu'il est convenu d'appeler « la liaison Université-Industrie ».

II. — Revue bibliographique

Pour définir « l'univers » de l'enquête c'est-à-dire les industriels à consulter, une étude bibliographique préalable était nécessaire. Cette étude nous a conduit à distinguer *a priori* les domaines suivants où l'on rencontre des écoulements non-newtoniens.

L'industrie métallurgique.

Au cours du fluage, il n'est plus possible de considérer le métal comme un système élastique. Les écoulements de métaux en fusion présentent ainsi un comportement qui ne peut être rangé dans la classe des écoulements newtoniens.

L'industrie minière.

Pour des problèmes d'étanchéité ou d'extraction, on est amené à injecter dans les roches divers fluides pseudo-plastiques. L'aération des galeries nécessite parfois la circulation d'aérosols. Les opérations de lavage et de tri des minerais font intervenir souvent des mélanges de fluides et de suspensions.

* Professeur à l'Université de Toulouse.

** Ingénieur au C.N.R.S., Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse.

*** Ont participé à cette enquête en particulier, MM. Bellet, Bories, Jean Sengelin, Poujol, Miré.

L'industrie de la verrerie.

Lors de la coulée le verre se trouve à l'état liquide dont les lois classiques ne peuvent prévoir le comportement au cours de leur transport.

Les industries chimiques.

Le développement des recherches appliquées a en effet ces dernières années lancé sur le marché une multitude de produits nouveaux, le plus souvent synthétiques dont le comportement défie les lois classiques. Citons parmi les plus connus : le polyéthylène glycol, l'alcool polyvinylique, l'hydroxyéthylcellulose, le natrosol, le C.M.C., produits entrant directement en jeu dans les industries de transformation.

Les élastomères sont un exemple très intéressant de produits au comportement rhéologique très varié. Par exemple le latex est un liquide non-newtonien qui devient caoutchouc cru puis est transformé en solide de haute élasticité par vulcanisation.

Un autre exemple est celui de la pétrochimie où se côtoient produits naturels et composés artificiels dans une gamme très largement ouverte de viscosité souvent variable avec les conditions d'emploi.

Le domaine des suspensions.

Les suspensions sont des répartitions homogènes de particules dans un fluide. Il en existe à l'état naturel mais on les prépare en général dans un but précis.

On ne peut évidemment citer toutes les industries qui emploient des suspensions car elles sont trop nombreuses (peintures, vernis, laques, teintures, encres, etc.). Les suspensions entrent d'abord dans la fabrication des pâtes à ciment. Elles peuvent aussi servir à véhiculer des débris comme dans les boues de forage (ex. bentonite). Le milieu suspensif est le plus souvent un liquide mais il peut être gazeux. On a alors une fluidisation et ce phénomène est fort utilisé pour le transport économique des poudres sèches. La combustion en lit fluidisé est aussi de plus en plus utilisée par les constructeurs de chaudières. Or, les utilisateurs des suspensions se sont aperçus depuis longtemps que le comportement de celles-ci ne répondait pas à ce que la mécanique classique des fluides visqueux aurait pu prévoir.

L'industrie des peintures, vernis et colles.

Des problèmes rhéologiques sont posés par le stockage des peintures puisque les particules pigmentaires, lorsqu'elles sont plus denses que le milieu liquide, ont tendance à sédimenter lors de ce stockage. Il se forme au fond du récipient un dépôt plus ou moins compact qu'il est parfois difficile de remettre en suspension.

De même, on rencontre des problèmes posés par l'application d'une peinture puisque la peinture qui se trouve avant emploi à la viscosité minimale tolérée pour éviter la sédimentation des pigments lors du stockage doit être diluée à l'aide de solvants pour arriver à la viscosité d'emploi.

Les industries textiles.

L'écoulement des résines synthétiques et du nylon pose des problèmes de tréfilerie et d'ajutage.

Les industries du papier.

De son origine jusqu'au laminage la pâte à papier passe par différents états, suspension de copeau dans une liqueur ou mélasse. Son transport ou sa transformation posent de nombreux problèmes rhéologiques spécifiques.

Les industries alimentaires.

La science de l'écoulement des liquides aide beaucoup l'industrie des brasseries, des distilleries, l'œnologie. La technologie des pâtes est fortement influencée par des particularités rhéologiques non-newtoniennes telles que l'effet Weisseberg.

L'industrie des lubrifiants.

La technique de la lubrification a également bénéficié d'un nouvel essor par l'adoption du schéma plastique de Bingham, ces lubrifiants étant constitués par des fractions de pétrole brut à point d'ébullition supérieur à 350 °C ou encore des produits synthétiques. Par exemple, afin que le lubrifiant ne fuie pas par les engrenages à basse vitesse et en même temps assure une action efficace de lubrification sur toutes les surfaces aux grandes vitesses, il est nécessaire que la viscosité apparente diminue quand le glissement croît ce qui est précisément prévu par le modèle de Bingham.

Etude des sols.

En mécanique des sols la rhéologie intervient par exemple dans la consolidation des terrains chargés, les déformations et ruptures d'équilibre de talus naturels ou d'ouvrages dues à des écoulements plastiques. Ces problèmes sont aussi à rapprocher de ceux de l'écoulement des glaciers.

Bien d'autres domaines seraient à signaler où interviennent des écoulements à caractère non-newtonien mais cette rapide revue bibliographique est suffisante pour définir un classement des secteurs industriels.

III. — Organisation de l'enquête

Nous avons choisi de limiter le découpage de l'univers d'enquête aux huit sous-ensembles de secteurs principaux d'activité suivants :

- 1 Chimie, matières plastiques ;
- 2 Industries alimentaires ;
- 3 Peintures, colles, teintures, etc. ;
- 4 Industrie pharmaceutique, savons, parfums ;
- 5 Pétrole et dérivés ;
- 6 Bois, papier, carton ;
- 7 Céramique, chaux, ciment ;
- 8 Métallurgie, verrerie.

A l'intérieur de chaque sous-ensemble, comment caractériser une entreprise ? Le choix des critères est nombreux :
— taille de l'entreprise : personnel ou capital qui caractérise en fait l'importance économique ;
— situation géographique ;
— matériau fabriqué ou employé.

Nous avons essentiellement retenu le dernier critère.

Le tableau III.1 indique le nombre d'entreprises contactées par matériau ou groupe de matériaux.

Recherche des adresses.

Les premières listes d'adresses furent dressées à partir des renseignements puisés auprès des Chambres de commerce et d'industrie et des Chambres syndicales. Elles furent développées et complétées par la consultation de nombreux annuaires professionnels. La marge d'erreur annoncée par les éditeurs de tels annuaires, marge que nous avons pu vérifier, est de 15 %.

Tableau III.1

Céramique	78
Caoutchouc, pneumatiques	101
Matière plastique	101
Corps gras, savons	110
Cire	101
Papier, carton	75
Peinture, vernis	84
Colorant	19
Lait, fromage	306
Chocolat	39
Parfumerie, cosmétique	30
Acierie, fonderie	159
Goudron, bitume	29
Combustibles, hydrocarbures	23
Chaux, ciment	31
Engrais	101
Encre	39
Colle, gélatine	72
Bière, boisson	55
Pigment	15
Moutarde	14
Sucre	21
Verrerie, cristallerie	62
Produits pharmaceutiques	60

Constitution des fichiers.

Afin de faciliter le dépouillement de l'enquête nous avons adopté la solution du traitement automatique.

Un fichier central a donc été constitué après codage de la liste des entreprises retenues.

En définitive, nous avons travaillé sur un ensemble de 1 800 entreprises.

Pour donner d'un seul coup d'œil une idée de la réparti-

tion géographique des entreprises consultées, nous avons sur la figure III.1 indiqué d'une croix les sous-groupes régionaux formés d'environ 10 entreprises. Cette représentation même imparfaite confirme bien la concentration de l'industrie en quelques régions privilégiées, qui constitue l'un des plus graves problèmes de l'économie française.

A titre d'exemple, nous donnons aussi les deux figures III.2 et III.3 indiquant la distribution des entreprises dans deux sections très différentes : la métallurgie et la verrerie, d'une part, les industries alimentaires, d'autre part. Pour le premier secteur, le barycentre de la distribution est évidemment situé dans le Nord-Est de la France alors que les industries alimentaires sont assez harmonieusement réparties sur tout le territoire.

IV. — Définition des modalités de la consultation

a) Des modalités.

La synthèse bibliographique nous ayant permis de définir les branches d'activités concernées, et les listes d'adresses étant dressées, restait le problème essentiel : le questionnaire. Nous avons déjà dit notre inexpérience en la matière. Pour mieux cerner le problème, nous avons procédé à une pré-enquête dans la région économique Midi-Pyrénées.

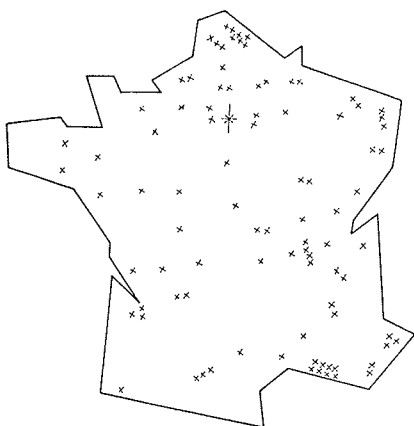
Cette étape s'est traduite par des visites auprès d'industriels dans pratiquement tous les secteurs définis plus haut.

Un questionnaire définitif, revu et corrigé à la lumière de ces entretiens, a pu être élaboré à partir de deux ébauches, l'une brève, l'autre plus importante.

Parallèlement à cette enquête régionale, nous avons pris contact avec les différents laboratoires centraux et grands centres de recherches concernés par le problème.

La préparation du document d'enquête par voie de contact a bien sûr été l'occasion de démarrer l'investigation sur l'usage industriel des fluides non-newtoniens. Les résultats de la pré-enquête régionale ont été ensuite incorporés dans le sondage national.

ENVOI GLOBAL DES DOCUMENTS D'ENQUETE



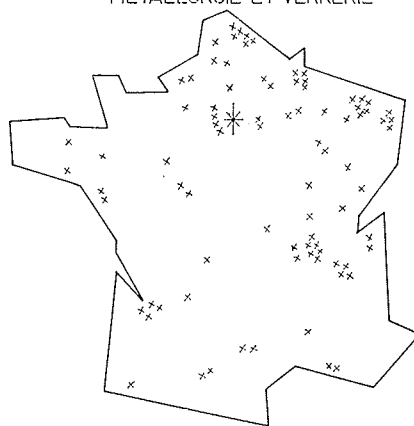
Chaque croix représente approximativement un sous groupe de 10 entreprises soit environ 0,5% de la population totale

Détail des entreprises consultées dans la région parisienne

DEPARTEMENT	POURCENTAGE
75	20%
91	0,5%
92	4%
93	6,5%
94	5%
95	12%

III-1

ENVOIS AUX ENTREPRISES DES SECTEURS METALLURGIE ET VERRERIE



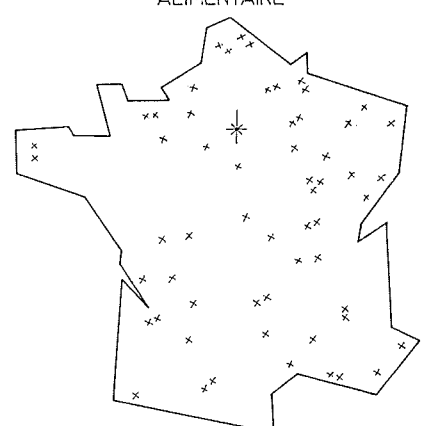
Chaque croix représente un sous groupe de 10 entreprises soit environ 0,5% de la population totale

Détail des entreprises consultées dans la région parisienne

DEPARTEMENT	POURCENTAGE
75	34,5%
91	0,5%
92	7,5%
93	7,5%
94	3,5%
95	1%

III-2

ENVOIS AUX ENTREPRISES DU SECTEUR ALIMENTAIRE



Chaque croix représente approximativement un sous groupe de 20 entreprises soit environ 1% de la population totale

Détail des entreprises consultées dans la région parisienne

DEPARTEMENT	POURCENTAGE
75	6,5%
92	1,5%
94	1,5%

III-3

b) Du questionnaire.

Le document d'enquête se compose de trois parties principales.

La première a trait aux caractéristiques de l'entreprise consultée telle que nature, secteur d'activité, implantation géographique ou importance du personnel.

La deuxième partie est plus spécialement consacrée au fluide fabriqué ou utilisé. Les premières questions sont destinées à le caractériser aussi bien au point de vue importance dans l'activité de l'entreprise que distribution et utilisation extérieure (nom commercial).

Nous avons ensuite le chemin d'interrogation reproduit à la figure IV.1.

Après avoir distingué s'il s'agissait d'un fluide homogène ou d'un produit hétérogène, les questions successives permettent d'apprécier le degré de connaissances des propriétés rhéologiques et thermiques du fluide dont dispose l'industriel et par complémentarité la nécessité d'approfondissement des mesures.

Partant de questions sur les mesures les plus simples donnant une indication globale, on demande progressivement des renseignements plus précis permettant de vérifier le comportement non-newtonien du fluide : influence du débit ou de la vitesse d'écoulement sur la loi de perte de charge, évolution en fonction de l'histoire du fluide et de son âge. Car certains fluides non-newtoniens ont un comportement qui évolue avec la durée du mouvement. La viscosité peut augmenter (on dit le fluide rhéopectique) ou bien diminuer (le produit présente alors le caractère thixotropique). Dans ce phénomène, il s'agit de la mémoire du passé récent. Mais l'évolution à long terme peut être aussi très importante. Elle peut entraîner un vieillissement qui modifie la qualité chimique et les propriétés mécaniques.

Vient ensuite une série de questions sur les propriétés thermiques du fluide et de l'intervention des transferts de chaleur, que ce soit au cours de la fabrication ou bien dans l'utilisation pour le chauffage et la réfrigération.

La troisième partie du questionnaire ouvre la porte aux prolongements éventuels (contacts directs, étude du fluide, document de synthèse).

Possibilité était laissée à l'industriel consulté de fournir toutes observations personnelles éventuelles. Il en a en général été fait un large usage.

Comme le montre le schéma d'enquête, nous avons essayé d'obtenir des informations sur la situation actuelle, sur les problèmes qui se posent à l'entreprise et, dans une certaine mesure sur la situation future, afin de dégager des orientations de recherche.

V. — Déroulement de l'enquête

Pour nous faire une idée des délais de réaction à notre sollicitation d'information, nous avons tenu à jour l'arrivée des réponses. Cette chronologie nous a permis d'établir quelques graphes de distribution dans le temps.

La figure V.1 donne le nombre de réponses au cours du premier mois suivant l'envoi du questionnaire.

Le graphe des fréquences de la figure V.2 met encore mieux en évidence les traits généraux de la réaction des entreprises devant une enquête. Le plus souvent la réponse est rapide, les retours de questionnaires sont les plus nombreux la deuxième semaine. Ensuite apparaît un régime de croisière d'une dizaine de réponses par semaine qui proviennent surtout d'entreprises importantes où le questionnaire a cheminé avant d'atteindre la personne qui répon-

dra. Passé le délai d'un mois, les réponses deviennent plus rares mais souvent plus complètes et plus intéressantes, assorties parfois de demande d'explication ou d'entretien.

L'examen de la chronologie des réponses par secteur d'économie montre que l'industrie chimique a répondu massivement dès la première semaine, signe probable, à la fois de son intérêt et de sa compétence dans le domaine des fluides non-newtoniens.

La répartition des réponses dans le temps en fonction de la taille des entreprises est aussi significative. Les sociétés groupant moins de 50 personnes ont répondu immédiatement. Les réponses des entreprises fortes de 100 personnes et plus sont plus étalées avec une recrudescence à la cinquième semaine.

VI. — Premiers résultats et méthodes d'interprétation

Résultats liés à la nature de l'entreprise.

Comme il était facile de le prévoir, la majorité des réponses proviennent de la région parisienne. Les renseignements émanent en général (fig. VI.1) d'usines de fabrication (pour 65 %). Il est à noter le faible pourcentage (7 %) de réponses venant de laboratoires industriels. Sur la figure VI.2 nous avons comparé en pourcentage la répartition par secteur industriel des envois et des réponses.

Paradoxalement, ce sont les industries les moins nombreuses dans l'univers consulté qui ont donné les meilleurs taux de réponses. Les industries alimentaires n'ont pas manifesté d'enthousiasme pour cette enquête. Peut-être l'explication réside-t-elle dans le fait que ces entreprises ont un langage différent de celui que nous avons employé dans le questionnaire et qu'elles sont, de plus, satisfaites des méthodes et procédés qu'elles emploient dans la fabrication ou la conservation de leurs produits.

Résultats bruts.

En règle générale, la part de l'emploi du fluide considéré est primordiale. Il s'agit pour 54 % des réponses d'un liquide, pour 39 % d'un fluide pâteux, et pour 7 % d'un gaz, encore que les réponses correspondant à ces 7 % ne puissent être considérées comme très valables. Dans 60 % des cas enfin, il s'agit de suspensions soit dans l'eau (50 %) soit dans un autre fluide (10 %).

Il était intéressant de savoir dans quelles plages de viscosité se situent les fluides, objets de réponse. La figure VI.3 montre qu'il s'agit en général de viscosités supérieures à 20 centipoises, 57 % seulement de ces valeurs ont été mesurées par l'entreprise elle-même et dans 41 % des cas, on a constaté des divergences suivant le mode opératoire.

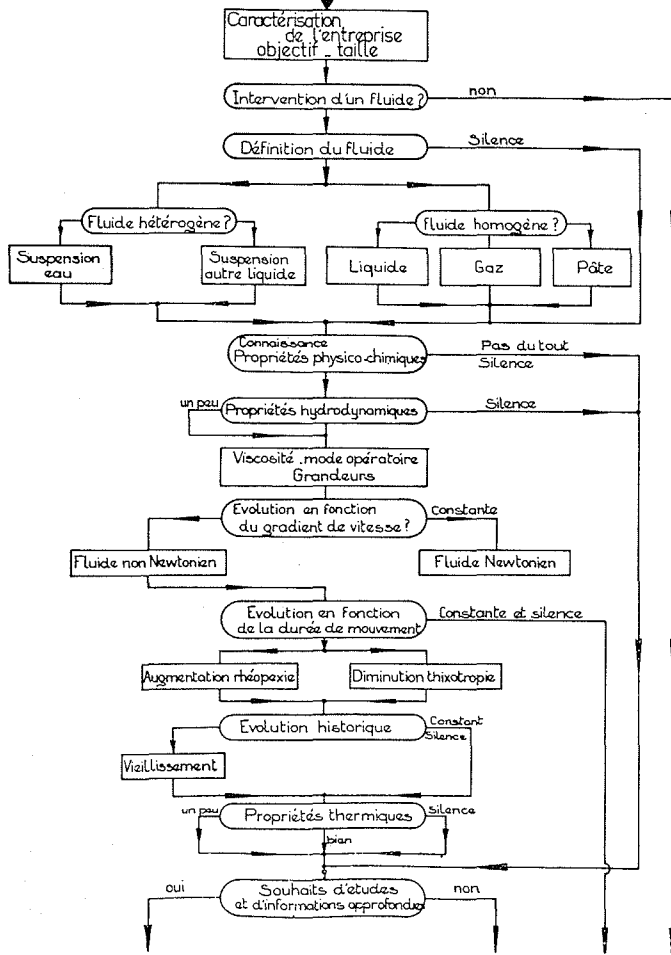
Dans 55 % des cas, la variation de la viscosité en fonction du gradient de vitesse est inconnue. Dans l'hypothèse contraire, il s'agit à 65 % d'une fonction décroissante, à 24 % d'une fonction croissante, et à 11 % d'une fonction monotone.

Ces chiffres sont à rapprocher de ceux concernant la variation de la viscosité apparente lors de la mise en mouvement.

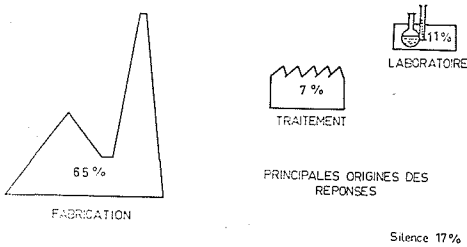
Pour les 65 % des fluides dont la variation n'est pas ignorée, 37 % sont thixotropes et 8 % rhéopectiques. Dans 16 % des cas, la variation est nulle.

Notons que dans 51 % des cas, on assiste à un vieillissement du fluide c'est-à-dire à une dégradation de ses propriétés au cours du temps.

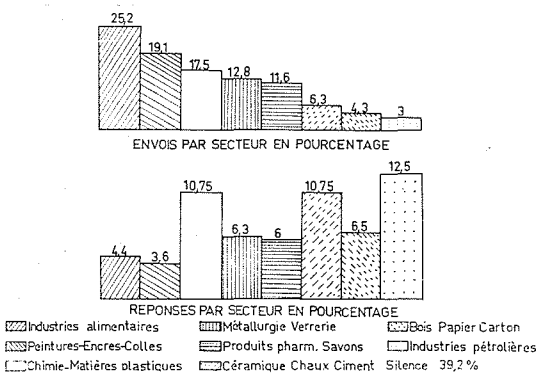
ORGANIGRAMME DU QUESTIONNAIRE



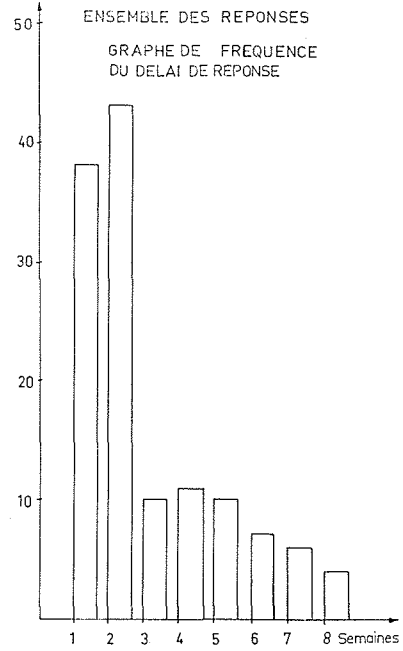
IV.1/



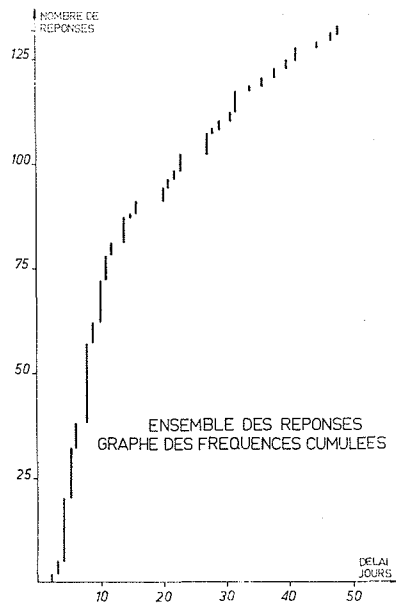
VI.1/



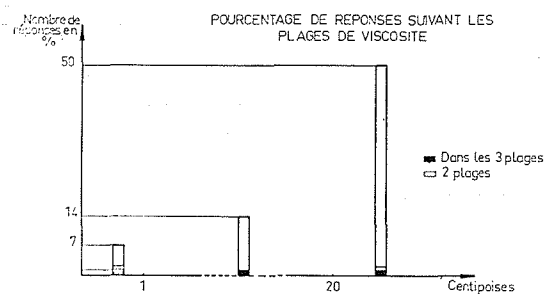
VI.2



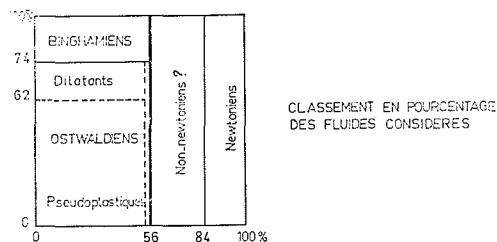
V.1/



V.2/



VI.3/



VI.4/

Pour donner une idée de l'état des connaissances des propriétés rhéologiques et thermophysiques, nous avons indiqué dans le tableau VI.1 quelques pourcentages afférents aux questions clés.

	OUI	NON	SANS RÉPONSE
Connaissez-vous la notion de fluide non-newtonien ?	77	23	0
Le fluide peut-il être considéré comme non-newtonien ?	56	16	28
Ce fluide a-t-il un rôle caloporteur ?	9	73	18
Connaissez-vous la valeur de la conductivité thermique ?	23	65	12
L'avez-vous mesurée vous-même ?	7	63	30

Le fluide objet de la réponse est considéré comme non-newtonien dans 56 % des cas, et comme newtonien dans 16 % des cas. Les trois quarts des réponses seulement font état de la connaissance de la notion de fluide non-newtonien. Ceci explique peut-être les 28 % d'ignorance ou de non réponse à la question précédente (fig. VI.4).

Constatons qu'il ne s'agit en général pas de fluides ayant un rôle caloporteur. Parmi ceux qui ont cet office, 80 % servent à apporter des calories et 20 % à en évacuer.

Essais de corrélations.

Un certain nombre de réponses (55 %) montrent de l'intérêt pour une étude approfondie du fluide. Nous avons essayé de savoir si cet intérêt était justifié par certaines carences dans le domaine des mesures par exemple. Nous avons donc établi les corrélations suivantes ci-après schématisées.

Intérêt pour une étude approfondie du fluide.

- Mesure de la viscosité effectuée par l'industriel.
- Méconnaissance de la valeur de la viscosité en fonction du gradient de vitesse.
- Vieillessement du fluide.
- Connaissance du coefficient de conductivité thermique.
- Importance industrielle de la connaissance des propriétés physico-chimiques.

Comment ont-été établies les corrélations ? Concrètement la corrélation correspond au nombre de documents qui appartiennent aux sous-ensembles A & B afférents aux deux questions que l'on désire relier.

La valeur numérique indiquée dans le tableau VI.2 résume les différents pourcentages sur le rapport du nombre 4 à 13.

	OUI	NON
Intérêt pour une étude approfondie du fluide	56	25
Mesures de viscosité effectuées ..	59	31
Connaissance de la variation de la viscosité en fonction du gradient de vitesse	30	38
Vieillessement du fluide	50	26
Connaissance de la conductivité thermique	23	65
Intérêt pour la connaissance des propriétés physico-chimiques ..	47	28

Ces chiffres tendraient à prouver que les industriels qui ont amorcé l'étude du fluide en désirent l'approfondissement.

Les mesures, surtout celles de viscosité apparente, semblent sommaires. C'est également les fluides pour lesquels on assiste à un vieillissement au cours du temps qui suscitent l'intérêt.

VII. — Essai de définition d'orientations de recherches

L'enquête nationale complétée par les contacts de la pré-enquête régionale nous permet de définir un certain nombre d'orientations de recherche :

Problèmes de métrologie « in situ ».

La plupart des industriels se heurtent au problème de la mesure de certains paramètres fondamentaux au cours de la fabrication, de la manutention des produits. Plus particulièrement, leur souci essentiel vient de la nécessité de ne pas perturber le déroulement normal des processus. Les principaux domaines de mesure à étudier sont :

- mesure *in situ* de débits industriels ;
- mesure des paramètres rhéologiques *in situ* ;
- mesure des pertes de charge.

Prévision et amélioration du fonctionnement des ajutages.

Le problème de l'amélioration de fonctionnement des ajutages est un souci commun à beaucoup d'industriels : fabricants de colles et gélatines, de pâtes alimentaires, de céramiques, de textiles artificiels.

Il semblerait que des recherches portant sur le fonctionnement et sur la définition du meilleur profil à adopter suivant les buts poursuivis et les produits utilisés soient du plus grand intérêt.

Directement lié au problème des ajutages figure celui de la pulvérisation de certains fluides non-newtoniens en gouttes de calibre prédéterminé.

Etudes de transferts thermiques en fluide non-newtoniens.

Ce domaine relativement peu étudié jusqu'à présent, mérite aux yeux des industriels d'être approfondi surtout dans le domaine de la convection forcée seule. Il apparaît en effet qu'au sein des fluides non-newtoniens la part de la convection naturelle est faible.

Écoulement de fluides non-newtoniens en milieu poreux.

Un des domaines de recherche important que nous ont signalé les pétroliers concerne la possibilité d'emploi de fluides visco-élastiques pour effectuer des récupérations secondaires dans le milieu poreux que constitue la roche-magasin. Ces mêmes industriels semblent très désireux de voir développées les études sur les transferts thermiques en présence de fluides non-newtoniens dans les milieux poreux.

Les résultats obtenus permettraient d'améliorer très sensiblement les rendements atteints lors de la combustion *in situ*.

Dans un tout autre domaine, les biologistes paraissent très intéressés par une meilleure connaissance des écoulements sanguins dans le tissu osseux, qui en première approximation, peut être traité comme un milieu poreux.

VIII. — Conclusion

Nous l'avons dit au paragraphe II, notre laboratoire n'avait que peu d'expérience dans le domaine des sondages. Au vu des résultats, un certain nombre de remarques liées à cette inexpérience s'imposent :

Discussion

Président : M. A. MAYER

M. le Président ouvre la séance en soulignant l'intérêt de l'étude des fluides non newtoniens que la Société Hydrotechnique a mise à l'ordre du jour de la présente session; cette extrapolation de l'hydrotechnique classique prend de plus en plus d'importance ainsi que le montreront les exposés de cette matinée.

M. le Président donne la parole à M. AMOROS qui présente la communication qu'il a établie en collaboration avec M. le Professeur C. THIRRIOT.

M. le Président remercie M. AMOROS de son exposé et félicite l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse d'avoir réalisé avec beaucoup de réalisme une enquête sur les industriels intéressés par les fluides non newtoniens; c'est là un excellent prélude à une liaison plus féconde entre l'Université et l'Industrie.

Il ouvre ensuite la discussion.

M. SCHUTZ (Ecole Supérieure de Chimie de Mulhouse) souligne l'intérêt de l'industrie textile pour la rhéologie de certains produits qu'elle utilise au rythme de plusieurs milliers de tonnes par an, pour l'encollage, l'apprêt et l'ennoblissement des tissus. Il y a en France des centaines de tissages qui font de l'encollage au moyen de solutions de produits amylacés, de dérivés polyacryliques, d'alcool polyvinylique, etc., sans compter tous les ennoblisseurs apprêteurs (appelés « manutentionneurs »). Cette branche industrielle a-t-elle été touchée par l'enquête ?

M. AMOROS répond qu'en raison du peu d'expérience de son équipe en matière de « sondages », certains secteurs d'activité n'ont sans

— La définition de l'univers d'enquête que nous avons établie était par trop étroite. C'est ainsi que nous avons omis d'interroger des secteurs industriels qui, à première vue, n'étaient pas concernés, mais, qui, tout en augmentant le silence certes, auraient pu nous permettre de découvrir de nouveaux domaines d'activité des fluides non-newtoniens.

— Certaines entreprises ont été contactées plusieurs fois. Il aurait fallu au moment de dresser les listes d'adresses effectuer une enquête approfondie des relations interprofessionnelles.

— Les différentes questions de l'enquête auraient pu peut-être cerner un peu mieux le problème, et ce, bien que la rédaction ait été effectuée avec les conseils d'un psychologue et la discussion en équipe. Et nous devons ici insister sur le fait que cette enquête a été le fruit de l'activité de tout un groupe.

Une des conclusions et non des moindres que l'on puisse tirer de ce travail concerne l'enthousiasme porté par le milieu industriel à cette initiative qui caractérise, répétons-le, une matérialisation de la liaison nécessaire entre l'Université et l'Industrie.

Dans chaque branche d'activité touchée se sont dégagés des problèmes de recherches liés à l'utilisation de fluides non-newtoniens : problèmes d'acuité plus ou moins grande mais dont certains du moins présentent aux yeux des industriels un caractère primordial.

Malgré l'apparente disparité des problèmes et des secteurs, un certain nombre de recherches peuvent être regroupées sous de grandes rubriques.

Enfin, il nous faut constater qu'il est absolument impossible, à l'heure actuelle, de faire un tel travail sur l'ensemble industriel français seul. En effet, un certain nombre de réponses nous sont parvenues d'autres pays du Marché Commun et même de Grande-Bretagne.

doute pas été suffisamment prospectés et il y aurait probablement intérêt à compléter l'enquête en utilisant les informations que M. SCHUTZ a bien voulu apporter.

M. LAUNAY (Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires) intervient en ces termes :

« Certains auditeurs ont semblé un peu surpris que les propriétés d'écoulement des produits alimentaires présentent une grande importance industrielle. En fait, dans la mise au point d'un nouveau produit — un produit laitier frais par exemple — les efforts de recherche sont très orientés vers l'étude de caractéristiques telle que la texture; d'autre part, l'évolution de beaucoup de fabrications alimentaires vers des procédés de « fabrication continue » implique une bonne connaissance rhéologique des produits.

J'aimerais demander à l'orateur quel a été le pourcentage des réponses parmi les industriels de l'alimentation? Comment se compare-t-il à celui obtenu dans l'industrie chimique par exemple? »

En réponse, M. le Professeur THIRRIOT, précise que sur 1 800 questionnaires envoyés, 450 étaient destinés aux « Industries alimentaires » (produits laitiers, pâtes alimentaires, etc.). Bien que ces industries aient constitué la partie essentielle de l'échantillon étudié, le nombre de réponses reçues à ce jour est seulement de six; nous pouvons espérer encore quelques réponses mais ce résultat décevant peut être dû en partie à l'inadéquation du « questionnaire » ou à un mauvais choix de l'échantillon constitué par les firmes interrogées.

M. THIRRIOT sollicite des suggestions sur la meilleure procédure à

suivre pour connaître dans ce domaine les besoins des petites entreprises; un effort collectif sous l'égide de la D.G.R.S.T. pourrait améliorer les procédés de fabrication et de transport de nombreux produits.

M. LAUNAY pense que pour les entreprises de l'industrie alimentaire, et, en particulier pour celles qui sont de petite taille, il serait utile que l'enquête passe par un organisme intermédiaire susceptible d'explicitier la liaison entre le contenu du questionnaire et certaines préoccupations techniques des industriels intéressés. Il prendra contact avec MM. THIRRIOT et AMOROS à ce sujet.

M. THIRRIOT remercie M. LAUNAY et aussi la Société Hydrotechnique de France qui n'a pas craint de mettre à l'ordre du jour ces problèmes un peu en marge de ses préoccupations habituelles.

M. DELOOF a noté dans les résultats de l'enquête que certaines

industries utilisent des fluides non newtoniens à des températures inférieures à 0 °C. De quels types d'industries s'agit-il ? Des industries alimentaires répond M. AMOROS.

M. BONNIN signale que des mélanges de fluides newtoniens, tels que les émulsions et les écoulements cavitant en bulles, peuvent avoir un comportement non newtonien (dans la mesure où l'on peut les considérer comme macroscopiquement homogènes), l'équation d'état contenant alors les dérivées temporelles de la masse volumique et prenant une forme telle que :

$$F(p, \rho, \frac{\partial \rho}{\partial t}, \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} \dots) = 0$$

M. le Président clôt la discussion en remerciant les conférenciers et toutes les personnes qui sont intervenues.

