

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU COMITÉ TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

PROCÈS-VERBAL DE LA RÉUNION DU 19 NOVEMBRE 1946

A) SÉANCE DU MATIN

Présents : MM. Ailleret, Barrillon, Baticle, Benoist (Gaston), Bergeron (Louis), Biézel, Craya (Antoine), Danel, Darrieus, Escande, Fortier, Gariel (Paul), Hauser, Henin, Jupillat, Labaye, Michon, Milon, Montagne, Nizery, Parisot, Remenieras, Suquet, De Saint-Vaulry, Thimel (André), Valembois, Vennin.

Excusés : MM. Bourgeat, Gaden, Gage, Henry, Thibaudin.

La séance est ouverte sous la présidence de M. BARRILLON qui, après adoption par l'Assemblée du procès-verbal de la précédente réunion, donne la parole à M. P. GARIEL pour l'exposé de la communication suivante :

I

Communication de MM. CRAYA et P. GARIEL :

Recherches théoriques et expérimentales sur l'écoulement dans un fluide hétérogène stratifié

Cette communication représentait une synthèse de deux communications faites par MM. CRAYA et P. GARIEL au VI^e Congrès de Mécanique Appliquée qui s'est tenu à Paris en septembre 1946. Le texte de ces deux communications sera publié dans le N^o 1 1949 (Janvier-Février) de « La Houille Blanche ».

Discussion.

Le Président remercie MM. CRAYA et GARIEL pour leur intéressant travail et ouvre la discussion en donnant lecture d'une lettre de M. HENRY, dont nous extrayons les passages suivants :

« Cette communication est très intéressante, tant par la nouveauté du sujet que par la façon brillante dont ce sujet a été traité : l'aperçu mathématique, basé sur des considérations de similitude, aboutit en fin de compte à une équation que l'expérience vérifie convenablement. Cette expérience a d'ailleurs été remarquablement conduite.

« Ceci dit, on peut se demander si le rôle de la viscosité a été suffisamment mis en évidence : si l'écoulement est laminaire dans une grande partie du volume intéressé, en sera-t-il de même en vraie grandeur ? Dans la négative, les résultats seront-ils changés ?

« Il semble que les océanographes pourraient utiliser les

« données de cette communication pour étudier les déplacements des eaux polaires, notamment dans les régions où le fond sous-marin est spécialement troublé. De cette étude pourrait naître une confirmation ou un perfectionnement des théories de MM. CRAYA et GARIEL.

« Il semble également que les mêmes données pourraient s'appliquer à l'étude des courants de densité dans les lacs naturels ou artificiels. S'il en est ainsi, les méthodes employées permettraient de prévoir l'effet d'une vanne de fond sur les dépôts dans un lac.

« Enfin, il paraît intéressant de s'assurer que les mêmes idées s'appliquent lorsque les liquides baignent un milieu poreux : c'est le problème des puits forés dans les régions tropicales arides lorsque l'eau douce flotte sur l'eau salée. »

Pour répondre à la lettre très pertinente de M. HENRY, M. P. GARIEL indique que, sans doute, au point de vue physique, il serait intéressant de préciser le rôle exact de la viscosité. Tout à fait de second ordre dans les expériences sur la hauteur limite, il était nettement plus important dans celles du gradient de densité. Nous avons montré théoriquement que son influence relative allait en diminuant quand les dimensions de l'écoulement augmentent.

Il est difficile de dire si l'écoulement en vraie grandeur sera turbulent du fait même de l'écoulement. Il y a bien le frottement interne aux pseudo interfaces, mais on peut penser que le gradient de densité, élément stabilisateur, s'opposerait, dans ce cas, à l'établissement d'une turbulence. Toutefois, il convient de souligner que dans la mer, une turbulence préexiste à l'écoulement : c'est elle qui donne naissance au gradient de densité. Cela ne doit pas changer très sensiblement les résultats prévus quant à la forme et aux dimensions de l'écoulement.

Signalons que le problème de couches superposées en milieu poreux a été étudié en Amérique à propos de l'aspiration simultanée de pétrole et d'eau salée.

Sur une demande de M. NIZERY, M. GARIEL précise que le dispositif expérimental utilisé ne permettait pas d'obtenir et de mesurer avec précision de faibles gradients de densité. En particulier, afin d'éviter la gêne apportée par les courants de convection, il aurait fallu disposer d'un canal de quelques mètres de profondeur.

M. AILLERET pense que le problème de la mesure de faibles écarts de densité pourrait être résolu en utilisant des solutions salines colorées judicieusement choisies dont le titrage pourrait être réalisé par voie colorimétrique. Cet artifice permettrait en outre de visualiser les phénomènes. M. GARIEL répond que la méthode employée a été choisie pour des raisons de commodité et de rapidité d'exécution,

compte tenu des circonstances de guerre, et s'est révélée suffisante dans les limites des recherches envisagées.

M. DARRIEUS signale que des expériences un peu analogues ont été faites à Washington (en utilisant de l'eau sucrée) pour étudier le comportement d'eaux limoneuses arrivant dans un grand lac.

M. GARIEL indique que des recherches de ce genre ont été faites dans plusieurs laboratoires américains en vue de l'étude de l'envasement des réservoirs, mais sans aboutir à des lois expérimentales et théoriques précises. M. DANEL précise qu'il en était bien ainsi au moment où les recherches de MM. GARIEL et CRAYA ont été faites, mais, d'après les informations récentes, les études américaines effectuées notamment en vue de dissiper les brouillards sur les terrains d'aviation, ont conduit aux mêmes lois que celles exposées dans le mémoire en discussion.

MM. DARRIEUS et BERGERON citent chacun une observation curieuse d'écoulement de brouillards.

M. AILLERET demande si on ne pourrait pas réaliser, dans le domaine hydraulique, l'équivalent des brouillards en utilisant des précipités chimiques dont on peut faire varier la vitesse de chute en agissant sur les facteurs de la réaction qui conditionnent la grosseur des cristaux formés. Un échange de vues sur cette question, entre MM. AILLERET, BARRILLON, DANEL, HENIN, termine la discussion.

II

Communication de M. VALEMBOIS :

Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des pressions fluctuantes

Cette communication a fait l'objet d'une thèse soutenue par M. VALEMBOIS devant la Faculté des Sciences de Grenoble pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Physiques. Cette thèse a été publiée par la Société Hydrotechnique de France dans la collection « Les Actualités Scientifiques » (Hermann & Co, éditeurs, 6, rue de la Sorbonne, Paris).

Discussion.

Après avoir remercié M. VALEMBOIS, M. le Président montre qu'il y aurait eu intérêt, dans les essais sur le mouvement oscillatoire d'un liquide, à effectuer la mesure de la phase en même temps que la mesure des amplitudes.

M. DANEL signale que les Ateliers Neyret-Beylier et Piccard-Pictet se sont intéressés au problème des fluctuations de pression étudié dans la communication de M. VALEMBOIS. Ils ont mis au point un système amortisseur à soupape qui, moyennant une perte d'eau judicieusement réglée de l'ordre du 1/20^e du débit total, régularise parfaitement la pression. Ce dispositif est employé dans leur station d'essais des turbines Pelton, qui est alimentée par une pompe centrifuge.

M. VALEMBOIS rappelle qu'il a effectué, sous la direction de M. FORTIER, des essais sur les fluctuations de pression dues à des coups de bélier. Une conduite bien droite, alimentée en eau par un réservoir à niveau bien constant au moyen d'une tuyère bien profilée, n'était le siège que de très petites fluctuations. En plaçant une perte de charge singulière à l'extrémité aval de la conduite, on

obtenait tout au long de celle-ci des fluctuations de pression, ce qui ne saurait être le fait de fluctuations turbulentes.

M. BERGERON insiste sur l'intérêt d'une mesure correcte des pressions moyennes au refoulement lors des essais de pompes centrifuges ; de par leur construction même, ces machines donnent des fluctuations de pression de grande amplitude et de fréquence élevée (500 à 600 p.s). Dans ces conditions, comment mesurer la valeur exacte de la pression moyenne ? Or, toute erreur sur celle-ci fausse les rendements auxquels sont attachées des primes et des pénalités souvent importantes.

Dans des expériences sur les pertes de charge dans les conduites, M. DANEL a constaté des fluctuations supérieures à la perte de charge mesurée, et des erreurs de mesure pouvant aller jusqu'à l'inversion de la pression différentielle.

En enregistrant les variations de la différence de pression entre les deux faces d'un diaphragme AFNOR, M. FORTIER a observé des fluctuations dont l'amplitude est dix fois supérieure à la différence de pression moyenne entre les deux faces du diaphragme.

M. REMENIERAS indique que, dans les essais d'usines hydroélectriques, ces fluctuations sont en général peu gênantes pour la mesure des hauteurs de chute, mais elles peuvent introduire des erreurs importantes dans les mesures de différence de pression exécutées pour la détermination des pertes de charge ou le tarage d'un dispositif du type Venturi par exemple. La détermination de la puissance hydraulique d'une veine pulsante peut poser un problème de principe délicat du fait que l'on ignore s'il existe un déphasage entre la charge totale et le débit.

**

Plus rien n'étant à l'ordre du jour, la séance est levée à 12 h. 20.

B) SÉANCE DE L'APRÈS-MIDI

Présents : MM. Barrillon, Bergeron (L.), Besson, Biéssel, Blanchet, Charron, Craya (A.), Danel (P.), Deymie, Dienert, Escande, Gariel (M.), Gariel (P.), Hauser, Hénin, Jupillat, Labaye, Ledoux, Lombardi, Micheletti, Michon, Montagne, Parisot, M^{lle} Pauthenier, MM. Perrier, Quesnel, Remenieras, De Rouville, Suter, Tellegen, Tissier, Valembos, Vennin.

La séance est ouverte sous la présidence de M. L. BERGERON, qui excuse M. BARRILLON, empêché d'assister à la première partie de la séance.

I

Communication de M. JONTE :

Note sur l'étude des coupures des boucles de l'Isère en amont de Grenoble

Cette communication fera l'objet d'un article dans le numéro spécial « A » 1949.

M. le Président donne la parole à M. l'Inspecteur général DE ROUVILLE qui, en l'absence de M. JONTE, retenu à

Grenoble, a bien voulu se charger de l'exposé de la communication de ce dernier.

Discussion.

M. BERGERON remercie MM. JONTE et DE ROUVILLE et demande si les personnalités présentes, qui ont participé aux essais décrits par M. JONTE (essais encore en cours), pourraient fournir quelques renseignements complémentaires.

M. BLANCHET, qui a suivi les expériences en question, estime que le mémoire de M. JONTE donne une vue d'ensemble remarquable des résultats acquis au moment où il a été rédigé. Depuis lors, des essais ont été effectués dans le but de déterminer l'ordre dans lequel on devait procéder aux coupures des deux boucles en série de l'Isère pour, d'une part, limiter l'exhaussement des secteurs aval de la rivière ; d'autre part, réduire le délai de mise en service des coupures. Les essais ne sont pas encore terminés, mais on a pu diminuer sensiblement le cube des matériaux à évacuer vers l'aval en établissant dans les boucles « à couper » de petits barrages retenant les graviers. L'une des difficultés du problème est d'augmenter la capacité de transport de l'Isère à l'aval de Grenoble, afin de lui permettre de transiter le cube de matériaux mis en mouvement par le creusement hydraulique du lit à l'amont.

« Ce problème est lié à celui de l'aménagement du secteur de l'Isère compris entre Grenoble et Saint-Gervais et également à celui de l'aménagement du Drac, dont les apports solides grossissent ceux de l'Isère à l'aval de Grenoble. Ces aménagements sont étudiés actuellement par les Ponts et Chaussées en conjugaison avec l'équipement hydro-électrique de l'Isère, entre Grenoble et Saint-Gervais. »

La discussion se termine par un échange de vues entre MM. BARRILLON, BERGERON et DE ROUVILLE au sujet de la publication éventuelle du mémoire de M. JONTE.

M. BERGERON cède la présidence de la séance à M. BARRILLON, qui donne la parole à M. BIESEL pour l'exposé de sa communication.

II

Communication de M. BIESEL :

Les réseaux maillés de conduites

Cette communication a fait l'objet d'un article publié dans la « Houille Blanche » N° 3, année 1947 : « Etude d'un réseau maillé de distribution d'eau sur modèle réduit », par E. SETRUK et F. BIESEL.

Discussion.

Après avoir remercié M. BIESEL, M. le Président ouvre la discussion en donnant la parole à M. KOCH.

Commentant le début de l'exposé du conférencier, M. KOCH insiste sur la façon dont se pose le problème comparativement aux imprévisions que l'on rencontre dans tous les domaines techniques. La plupart du temps, on se trouve à l'intérieur de certaines limites de probabilités, tandis que, dans le calcul d'un réseau maillé de conduites, l'incertitude est très grande. Le problème se rapproche à certains égards d'un phénomène biologique, puisqu'il dépend du développement de la ville considérée. Il ne faut pas, pour cela, renoncer aux calculs, mais se dire seulement

qu'ils n'ont qu'une portée limitée. M. KOCH regrette surtout qu'il n'y ait pas davantage d'appareils de mesure sur les réseaux de distribution d'eau. On pourrait faire des calculs beaucoup plus sûrs si l'on s'appuyait sur les résultats d'observations, l'expérience étant à la base de toute science d'application.

M. BIESEL partage l'avis de M. KOCH et souligne que pour étudier l'influence d'une modification locale sur un réseau, il faut déjà connaître ce qui se passe avant réalisation de celle-ci.

M. BARRILLON estime qu'un article comprenant les calculs résumés par le conférencier pourrait se terminer avantageusement par quelques planches indiquant les résultats obtenus dans des cas très simples ; c'est bien ce que M. BIESEL compte faire.

En effet, les variations de pression provoquées ne dépendent pas seulement des variations du débit, mais aussi de sa valeur initiale. Ce genre de problème est intéressant, car il se présente fréquemment ; il peut se poser, par exemple, à l'occasion de la mise hors service d'un tronçon de conduite pour entretien.

M. KOCH fait remarquer qu'il faut différencier les données des deux problèmes suivants : le calcul des bouches d'incendie d'une part, et les calculs de consommation normale d'autre part. A ce propos, M. BIESEL signale un résultat intéressant : c'est que dans une ville la dimension des mailles des conduites principales est déterminée beaucoup plus, à densités de petites conduites égales, par la demande normale que par la demande d'incendie.

Une discussion s'engage alors sur la possibilité de réaliser des modèles réduits de réseaux de distribution de grandes villes. M. BERGERON estime que c'est possible et nécessaire, mais M. KOCH fait observer que, pour une distribution d'une certaine importance, on ne saurait réaliser tout un maillage, avec des conduites de diamètre uniforme (et des diaphragmes convenablement choisis), sans aboutir à des dimensions prohibitives ; M. DANIEL remarque qu'il faut un minimum de perte de charge par diaphragme. La première condition serait donc d'avoir des appareils de mesure, répète M. KOCH ; c'est un problème délicat, mais qui doit être soluble. D'ailleurs cela permettrait également de déterminer les effets sur place « du vieillissement des conduites en service », élément qu'on ignore généralement à l'heure actuelle, alors que les conduites sont cependant d'âges très différents et alimentées de manière fort diverse.

M. BARRILLON remercie les personnes qui ont bien voulu participer à la discussion et donne la parole à M. HENIN pour l'exposé de sa communication.

III

Communication de M. HENIN :

Précipitations et déficit d'écoulement

a) Extraits :

Nous reproduisons ci-après in extenso des extraits importants de cet intéressant travail : Etablissement de la relation de base, résumé et conclusions.

« Les agronomes utilisent assez fréquemment pour leurs études les cases lysimétriques, cubes de béton remplis de terre et drainés. On peut alors déterminer la quantité

« d'eau reçue et la quantité d'eau écoulée. Ils ont donc la possibilité d'effectuer des bilans de l'eau sur de petites surfaces. Nous avons essayé d'établir une relation mathématique du phénomène en partant des deux hypothèses suivantes :

« **Hypothèse a :** Étant donné le fait expérimental bien connu que le sol possède une capacité de rétention pour l'eau, une pluie de faible importance ou une série de petites pluies ne pénètrent pas en profondeur, car l'eau reste à la surface du terrain où elle est soumise à l'action évaporante de l'air. »

« **Hypothèse b :** Pour de très fortes pluviosités théoriquement infinies, le pouvoir évaporant de l'air devient nul et toute l'eau tombée est drainée. »

« Traduisons ces deux hypothèses sous une forme mathématique. Soit E l'évaporation et P les précipitations. L'hypothèse (a) se traduit en écrivant : $E = P$ si P est petit. Mais comme ceci n'est vrai qu'à la limite, la formule réelle est : $E = P.f(P)$.

« L'hypothèse (b) donne : $E = 0$ si P est infini. Déterminons donc $f(P)$ pour remplir cette condition.

« Nous posons :

$$f(P) = \frac{1}{\alpha + \beta P + \gamma P^2 + \dots}$$

d'où :

$$E = \frac{P}{\alpha + \beta P + \gamma P^2 + \dots}$$

« Mais si E tend vers P, pour P petit, $\alpha = 1$. D'autre part, les termes en βP donnent des formes $E = \frac{1}{\beta}$

« pour P tendant vers l'infini, que nous n'envisageons pas dans nos hypothèses, et la forme la plus simple répondant aux idées directrices est :

$$E = \frac{P}{1 + \gamma P^2} \quad (1)$$

« Partant de ces deux hypothèses simples et qui d'ailleurs se sont trouvées vérifiées expérimentalement, il a été possible de représenter assez grossièrement, il est vrai, les résultats exprimant le bilan d'eau annuel des cases lysimétriques et des fleuves. Cette vérification s'est trouvée confirmée quand, après avoir explicité la valeur de γ , il est apparu une relation étroite entre la variation de la fonction $P \sqrt{\gamma}$ et de l'indice d'aridité. L'application du drainage calculé à la classification des sols a renforcé encore cette synthèse. Enfin, il semble que les formules puissent s'étendre sans modifications appréciables aux résultats mensuels ou même décennaux. On peut donc dire que ces formules représentent la réalité. Une telle extension de constatations était nécessaire, car il faut insister sur le caractère approximatif de chaque variation partielle.

« Par ailleurs la méthode de travail utilisée ne permet pas de parler de loi. Aucune des idées introduites ne correspondant à un mécanisme du phénomène, elles traduisent seulement quelques relations nécessaires. Tel est bien le caractère, en effet, de l'hypothèse a. Il s'évapore autant de pluie qu'il en tombe aux faibles précipitations. Ce phéno-

mène implique l'intervention de la capacité du sol pour l'eau. L'hypothèse b, concernant la diminution de l'évaporation avec l'accroissement des précipitations, est non moins nécessaire. L'introduction de la formule $P = D + E$ n'est même plus une hypothèse : c'est la méthode de calcul employée pour calculer le déficit de saturation, etc...

« On peut donc dire que, partant de l'analyse qualitative du phénomène, nous lui avons conféré un aspect quantitatif en utilisant des formules empiriques pour exprimer l'action de chaque facteur particulier.

« Il résulte de ces considérations que l'on peut substituer aux expressions introduites toute formule qui, dans l'intervalle considéré pour chaque facteur, fournira des résultats approximativement identiques. C'est un résultat de ce genre que l'on obtient en comparant $P \sqrt{\gamma}$ et l'indice de M. DE MARTONNE.

« On peut même envisager de remplacer les grandeurs qui figurent dans nos calculs par toutes autres grandeurs qui soient en corrélation suffisamment étroite avec elles. Aussi, il se peut que l'on soit amené à remplacer la température dans la valeur de γ par le nombre de calories reçues. Ceci permet de prévoir dès à présent comment il sera possible d'introduire dans cet ensemble toute loi précise portant sur un aspect particulier du phénomène. Et ces considérations guideront les recherches futures qui s'appuieront sur ces résultats ou permettront la synthèse de ces nouveaux résultats et de ceux que nous venons d'établir.

« Il serait en effet désirable que, tant du côté expérimental que du côté calcul, des chercheurs tentent d'autres vérifications de ce genre, afin que l'on puisse, le plus tôt possible, se faire une idée de la stabilité des résultats et c'est dans cet espoir que nous avons présenté cet exposé. »

b) Discussion :

M. le Président ouvre la discussion en donnant lecture d'une lettre de M. le Professeur PARDE résumant les remarques et observations que lui ont suggérées le mémoire de M. HENIN. M. PARDE pense que l'hypothèse suivant laquelle le déficit d'écoulement E décroîtrait progressivement jusqu'à zéro lorsque le montant des précipitations augmente au delà d'une certaine valeur, ne pourrait être admise « que si elle était vérifiée pour des températures à peu près identiques ». Il incline à croire qu'au delà d'une certaine valeur de P d'autant plus grande, que la température T est plus forte, E plafonne « soit indéfiniment, soit jusqu'à une valeur encore plus élevée de la chute d'eau » ; il doute qu'il existe pratiquement, sur le globe, des chutes d'eau annuelles assez fortes pour comporter l'effet d'annulation de E envisagé par M. HENIN. M. PARDE insiste ensuite sur la nécessité de faire intervenir dans les formules de nombreux facteurs dont l'influence peut être considérable : situation géographique (régime des pluies et des températures), saison, humidité relative de l'air, nature du sol (constitution et disposition des couches), etc. Il remarque enfin que la relation $D = P - E$ paraît conduire à ne pas tenir compte de l'existence des nappes souterraines dont l'action sur une année isolée peut être capitale.

En ce qui concerne la validité de l'hypothèse $E = 0$ pour P augmentant indéfiniment, M. HENIN répond qu'elle semble vérifiée par le fait que la formule proposée :

1° donne des résultats acceptables non seulement pour les rivières françaises, mais aussi pour des observations faites

en Suède, en Norvège et ailleurs où le coefficient A est supérieur à 1 ;

2^o permet de prévoir grosso modo les écoulements même dans certains cas où ceux-ci sont assez grands « pour se placer assez loin sur la branche ascendante de P ».

L'influence des facteurs signalés par M. PARDE n'a pas échappé à M. HENIN, qui a proposé des formules susceptibles d'en tenir compte au moins partiellement.

M. SUTER demande si la condensation, surtout importante sur la neige et les glaciers, ne constitue pas un facteur essentiel dans certains cas. Il rappelle les opinions et observations contradictoires qui ont été publiées à ce sujet et fait part de la comparaison qu'il a eu l'occasion de faire entre deux bassins de haute montagne analogues situés entre 2.500 et 3.000 mètres d'altitude. L'un des bassins comportait un névé subsistant tout l'été, tandis que l'autre voyait toutes ses neiges disparaître. Le débit annuel par km² de bassin versant du premier était supérieur de 50 % à celui du second, alors que les relevés de précipitations accusaient une différence beaucoup moindre. Cet écart est-il dû aux condensations ?

M. MONTAGNE pense que la différence observée pourrait provenir d'une exposition différente du bassin aux vents, ce qui entraîne des écarts de précipitations pouvant atteindre 100 %. La théorie de M. PERS sur l'influence des vents ascendants qui soufflent par temps pluvieux contre de fortes pentes formant en quelque sorte écran, explique les différences observées. En haute montagne un bassin versant à forte pente étant, en somme, le meilleur réceptacle, on constate que le coefficient de ruissellement donné d'une part par des jaugeages, et d'autre part par un pluviomètre horizontal et la projection du bassin sur la carte, peut atteindre 1,5, ce qui serait anormal sans l'influence du vent. La condensation sur la neige est peut-être aussi compensée par l'évaporation comme tendrait à le montrer une observation faite par M. MONTAGNE.

M. HENIN ne croit pas à l'influence des condensations, sauf sur des glaciers situés au voisinage de la mer. On a bien constaté à Versailles de légers suintements dans les tuyaux de drainage provenant uniquement de la différence de température entre l'air chaud ambiant et le sol frais, mais l'aération du sol en profondeur ne peut se faire que dans les couches superficielles et reste très faible.

M. REMENIERAS signale que, dans le cas de terrains très fissurés comme les nappes de basalte de la Haute-Auvergne, on a cru pouvoir attribuer à la condensation les débits d'été relativement élevés de certains ruisseaux. La condensation cesserait alors d'être un phénomène superficiel pour intéresser tout le volume de la masse basaltique.

N.B. — Quelques jours après la séance faisant l'objet du présent procès-verbal, nous avons reçu de M. COUTAGNE une note détaillée sur le travail de M. HENIN. Nous résumons ci-après les principales observations de M. COUTAGNE.

Il rapproche tout d'abord la formule donnée par M. HENIN :

$$E = \frac{P}{1 + \gamma P^2} \quad (1)$$

de celles qu'il avait lui-même proposées antérieurement :

$$E = P - \lambda P^2 \quad D = \lambda P^2 \quad (2)$$

$$E = E_0 e^{-\lambda (P - P_0)^2} \quad (3)$$

$$E = E_0 + \alpha (P - P_0) \quad (4)$$

Les courbes définies par les expressions (1) et (2) sont, jusqu'à leur maximum, à peu près équivalentes. On a la relation : $\gamma = 4 \lambda^2$.

La formule de M. HENIN rend mieux compte des phénomènes relatifs aux fortes pluviosités ; par contre, elle présente les mêmes inconvénients :

— elle s'applique mal aux faibles valeurs de P ;

— elle fait correspondre à la valeur maxima E_m de l'évaporation une valeur $P_m = E_m/2$ de la pluviosité ; la réalité n'est certainement pas aussi simple.

En comparant les valeurs obtenues pour E à l'aide des diverses formules en partant des débits d'une source des environs de Lyon, il constate que l'expression linéaire (4) est celle qui donne les meilleurs résultats. **Le maximum de la courbe n'est pratiquement jamais atteint.**

M. COUTAGNE étudie ensuite l'influence de la température. Les deux expressions :

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \frac{1}{0,15 T - 0,13} && \text{(HENIN)} \\ \lambda &= \frac{1}{0,8 + 0,14 T} && \text{(COUTAGNE)} \end{aligned} \right\}$$

sont à peu près équivalentes. Si on calcule d'une part $4\lambda^2$, d'autre part γ , on trouve des nombres très voisins.

Il semble donc possible de rattacher toutes ces formules les unes aux autres, donc d'exprimer le bilan de l'écoulement d'une infinité de manières, toutes à peu près équivalentes. Seule la statistique pourra déterminer celle qu'il convient d'adopter, c'est-à-dire celle donnant les écarts les plus faibles.

Aussi bien la plus simple, la plus générale, et, pensons-nous, la plus exacte — dans le cas où l'on cherche à exprimer, annuellement, pour un bassin donné, le débit en fonction du seul facteur précipitations — est la formule linéaire, s'il y a effectivement corrélation entre ces deux facteurs considérés seuls (ce qui peut ne pas être).

Une seule formule revêtira, par exemple, l'une des formes suivantes :

$$(A) \frac{Q}{Q_0} - 1 = \lambda \left(\frac{P}{P_0} - 1 \right)$$

exprimant la corrélation entre la pluviosité $\frac{P}{P_0}$ et l'hydraulicité $\frac{Q}{Q_0}$

(B) $Q - Q_0 = \mu (P - P_0)$ exprimant les corrélations entre le débit et les précipitations, supposées connues en valeur absolue.

(C) $Q = P - E_0 - \alpha (H - H_0)$

Q_0, P_0 et E_0 étant les valeurs moyennes de Q, P et E.

L'étude de nombreux bassins situés dans les régions les plus diverses, montre que le coefficient α , caractérisant en quelque sorte la capacité de rétention du bassin est toujours ≥ 0 .

Peut-il être $<_0$ (déficit d'écoulement diminuant quand la pluviosité augmente) ? Un seul bassin — sur 25 étudiés — la Cère — semble présenter ce caractère, mais le cas est douteux, étant donné la courte période considérée (6 ans) et l'incertitude des données pluviométriques et fluviales (valeurs absolues) dont il a été fait état.

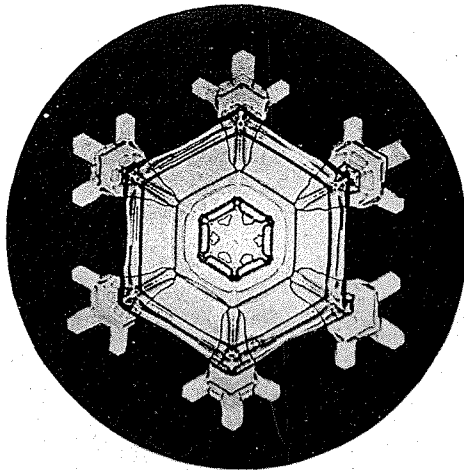
L'existence d'une courbe présentant effectivement un maximum n'est constatée que dans le cas où l'on étudie la variation de Q en fonction de P (Q et P moyens) pour une série de bassins d'une certaine région, et l'existence de ce maximum semble plutôt due à des variations thermiques qu'à des variations pluviométriques.

En réponse à la note de M. COUTAGNE et aux diverses critiques exprimées, M. HENIN nous a fait parvenir la réponse suivante :

« De nombreuses formules ont été proposées pour exprimer les relations existant entre P, T, D. Il est évident qu'aucune d'entre elles n'a été proposée gratuitement,

« mais qu'elles sont toutes plus ou moins en accord avec un nombre plus ou moins grand d'observations. Chacune semble donc vérifiée ainsi que l'hypothèse qui, explicitement ou implicitement, leur sert de base. Le but que nous avons poursuivi a été l'établissement d'une formule unique basée sur des hypothèses aussi simples et aussi générales que possible. Ce que nous avons voulu montrer, c'est que au moins la forme algébrique permettait d'interpréter des phénomènes très divers et était valable dans le cas de l'étude des écoulements que l'on prenne des écoulements annuels, mensuels ou même décennaires et que, d'autre part, on pouvait passer d'une façon assez simple d'une formule à l'autre. Le but visé semble donc sinon avoir été atteint ou du moins nous en sommes voisin.

« Dans l'esprit de ce travail, s'il y a une critique à faire, ce serait l'interprétation trop précise de certains résultats. Quand on parle d'une relation entre l'évaporation et la température moyenne, cela ne veut pas dire que le facteur actif soit cette donnée, ce peut être tout autre facteur en corrélation avec lui : c'est d'ailleurs ce qui ressort du commentaire qui accompagne ce travail. »



COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU COMITÉ TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

PROCÈS-VERBAL DE LA RÉUNION DU 29 AVRIL 1947

A) SÉANCE DU MATIN

a) Membres du Comité Technique

Présents : MM. Barrillon (Président), Benoist, Castillon, Dienert, Ferrendier, Frolow, Larrieu, Legendre, Montagne, Perrier, De Rouville, Suquet, Thimel, Vennin.

b) Invités

MM. Craya, Genthial, Hauser, Labaye, Le Cam, Lemoine, Lombardi, Lugiez, Morlat, M^{lle} Pauthenier (M^{me} Mariée), MM. Sauvage de Saint-Marc, Valembois.

Excusés : MM. Blosset, Brard, Charpy, Clément, Coyne, Duffaut, Escande, Ferrand, Génissieu, Ledoux, Lyon, Lutaud, Masse, De Pampelonne, Parde.

La séance est ouverte sous la présidence de M. BARRILLON qui, après l'adoption par l'Assemblée du procès-verbal de la précédente réunion, fait part aux membres présents :

- des excuses reçues de certains absents ;
- de la démission, pour raisons de santé, de M. GENISSIEU de la présidence de la section « Génie Civil » et de la nécessité de prévoir son remplacement (les noms de M. SUQUET et de M. COYNE sont prononcés, mais M. SUQUET s'effaçant, celui de M. COYNE est retenu en principe, l'élection n'étant toutefois pas urgente) ;
- de l'élection à l'Académie des Sciences de M. DARRIEUS (une réunion à laquelle la S. H. F. participera est prévue pour fêter cette réception) ;
- de la parution d'un livre de M. MASSE : « Les réserves de la régulation de l'avenir » (statistique des réserves d'eau, d'électricité et de tous les biens en général) ;
- de la communication faite à l'Académie des Sciences par M. CHEVALLIER, de Lyon, au sujet du réseau hydrologique souterrain avec une analyse très détaillée de la Dent de Crolles.

I

Communication de M. LEGENDRE

« Distribution des vitesses moyennes pour l'écoulement turbulent dans les conduites cylindriques ».

Cette communication est publiée à la page 579 du présent numéro. M. le Président demande à M. LEGENDRE quelques précisions sur les graphiques qu'il a remis à l'Assemblée pour illustrer son exposé.

Discussion.

M. le Président précise que les résultats exposés par M. LEGENDRE concernent la **zone de transition** entre le film laminaire et le noyau central turbulent, zone qui, jusqu'à présent, avait été réduite à un point, la loi de VON KARMAN ne considérant que les deux tranches précitées.

M. le Président ne croit pas, contrairement aux hypothèses de M. LEGENDRE, qu'expérimentalement on puisse, pour le moment, affirmer que la courbe de la dérivée passe par l'origine, c'est-à-dire que la vitesse présente une valeur maximum sans discontinuité de dérivée. Ceci n'est pas impossible toutefois et il serait intéressant de pouvoir expérimenter dans cette zone, bien que les évaluations des dérivées de vitesses soient pratiquement assez difficiles à obtenir. On devrait, d'après M. le Président, s'écarter des conduites cylindriques à axes droits, un peu trop simples ; et considérer des sections très aplaties, la formule de M. LEGENDRE étant valable théoriquement même pour des plans parallèles. Il est possible que les tourbillons émis sur les parois crèvent les veines intermédiaires et se rencontrent dans la zone moyenne, créant un point singulier au centre.

II

Communication de M. GENTHIAL

« Application du règlement S. H. F. concernant les téléphériques aux chantiers d'équipement hydroélectrique en cours ».

NOTA. — M. GENTHIAL nous a écrit entre temps que le texte S. H. F. a été homologué, moyennant de très légères modifications par la Sécurité Sociale par arrêté du 18 août 1947 paru au J. O. du 29 août, et nous a remis un exemplaire de la norme ainsi homologuée, qui a été diffusée par E. D. F. auprès des entrepreneurs de chantiers hydroélectriques.

Discussion.

M. le Président propose d'approuver les quelques modifications apportées par M. GENTHIAL au texte initial de la S. H. F., compte tenu de l'expérience faite pendant plusieurs années, notamment en ce qui concerne la hauteur du garde-corps portée de 40 à 110 cm. La hauteur de 40 cm. avait été adoptée à l'époque parce qu'on était assis ou à plat dans les téléphériques : maintenant où on compte jusqu'à 15 ouvriers transportés debout, la hauteur de 1 m. 10 est convenable (M. GENISSIEU qui, en qualité de Président de la Section « Génie Civil », avait participé à l'élaboration de ces textes et qui n'a pu assister à la séance,

nous a d'ailleurs donné son accord de principe à ce sujet dans sa lettre de démission).

M. le Président proposant de remanier l'article relatif aux câbles porteurs, M. GENTHIAL attire l'attention de l'Assemblée sur la nécessité, à son avis, de n'apporter que des modifications de détail, afin de laisser à la S. H. F. un rôle tout à fait passif dans cette question et de permettre l'homologation rapide du texte par la Sécurité Sociale et le Service de Contrôle en vue de son utilisation urgente dans les chantiers d'équipement.

Le texte de la S. H. F. a l'avantage, pour les téléphériques des chantiers qui ne survivent pas à ces derniers, de ne pas entrer dans le détail et les calculs des divers organes des téléphériques ainsi que cela a été fait par M. BATICLE au Ministère des T. P. et de s'en tenir à des mesures de sécurité très larges.

M. GENTHIAL précise sa pensée en ces termes :

« Je me permets seulement de souhaiter, d'émettre le vœu, qu'on ne change pas le règlement actuellement, que la SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE et son Comité Technique soient mis au courant de l'attitude que la Sécurité Sociale aura finalement, puisqu'elle ne s'est pas encore finalement prononcée là-dessus. A ce moment-là, vous aurez un texte qui sera peut-être très légèrement revu ; peut-être ira-t-on plus loin que je ne souhaite — je ne suis pas le maître —, et alors ce texte-là vous pourrez, à ce moment-là, le critiquer ou l'approuver. Et dans ce dernier cas modifier, en tant que besoin, votre règlement. »

M. SUQUET demande si l'assimilation des blondins est à craindre, ces organes étant destinés au seul transport du matériel, mais susceptibles d'être utilisés « exceptionnellement » par les mécaniciens chargés de leur entretien.

M. GENTHIAL pense que cette assimilation ne saurait être justifiée, étant donné le caractère exceptionnel du transport du personnel, qui n'a lieu que certains jours et dans des conditions choisies.

M. SUQUET pense qu'il faudrait définir le téléphérique comme un appareil pouvant transporter « couramment » ou « normalement » les ouvriers, afin d'exclure les blondins.

M. le Président et M. GENTHIAL pensent que le titre du règlement S. H. F. : « Règles à observer pour la construction des téléphériques de chantier susceptibles d'être utilisés pour le transport des personnes » suffit à exclure les blondins qui sont assimilables à un pont roulant, par exemple, et dont l'accès pour l'entretien ne saurait être considéré comme un transport normal. On peut d'ailleurs, fait observer M. MONTAGNE, imposer aux spécialistes chargés de cet entretien, des mesures de sécurité, telles que le port de la ceinture, le verrouillage des sectionneurs, etc...

M. GENTHIAL note toutefois l'idée d'éliminer du règlement non seulement les blondins, mais tous les engins de levage et de transport, quels qu'ils soient, qui ne sont pas affectés au transport des personnes.

D'autre part, il est bien entendu qu'on ne mettra pas en tête : Règlement de la S. H. F...., mais Règlement homologué et tiré du Règlement S. H. F.... Il est convenu que M. GENTHIAL nous informera dès que la situation sera arrêtée à la Direction de la Sécurité Sociale et le Comité Technique pourra alors apprécier la situation, et si on a trop modifié son texte, élever une protestation. M. le Pré-

sident remercie M. GENTHIAL d'avoir mis le Comité au courant de cette intéressante question.

Comme conclusion, la proposition de M. GENTHIAL a été acceptée.

III

Discussion en vue d'une réorganisation du fonctionnement général du Comité technique

M. le Président pose les deux questions suivantes :

1° Doit-on fixer les dates ne varietur pour nos séances, dates fixées d'après la fête de Pâques, par exemple, ou continuer comme par le passé, à faire des séances quand il y a matière suffisante ?

2° Y a-t-il intérêt à faire de nombreuses séances ou à en faire une ou deux par an ? Cette question intéresse notamment les membres de province.

M. le Président demande de ne pas ouvrir une discussion là-dessus et que les membres qui auraient une idée la communiquent par écrit à la S. H. F. : on pourra les discuter à la réunion prochaine, ou même à la séance de l'après-midi du 29 avril 1947.

IV

Communication de M. COUTAGNE présentée par M. LE CAM

« LE DÉBIT D'INFILTRATION »

Résumé de M. LE CAM.

L'étude du débit d'infiltration a donné lieu à de très nombreuses recherches. Il ne saurait être question de les mentionner toutes ici. Je me contenterai de vous communiquer quelques idées de M. COUTAGNE sur cette question, ainsi que les applications qu'il en a faites.

Remarquons tout d'abord qu'il s'agit du débit d'infiltration, c'est-à-dire, selon M. COUTAGNE, « du débit des eaux pluviales, nivales ou glaciaires ayant séjourné plus ou moins longtemps dans les couches superficielles ou profondes du sol ».

Cette définition un peu vague revient à dire que l'auteur ne veut considérer que le comportement des sources ou rivières non soumises à l'action directe des facteurs météorologiques.

Pour une nappe profonde on pourrait dire que l'on observe un régime propre.

Dans ces conditions, certains auteurs : DUPUIT, POISEUILLE, MAILLET, BOUSSINESQ ont cherché à appliquer à la circulation souterraine de l'eau les équations générales de l'hydrodynamique. Dans l'hypothèse de pertes de charge proportionnelles au carré de la vitesse, ou à la vitesse elle-même et par des calculs vraiment compliqués, BOUSSINESQ a obtenu des résultats assez conformes à l'expérience.

M. COUTAGNE montre ici que les formules les plus simples de BOUSSINESQ s'obtiennent facilement en posant : $Q = K V^n$, c'est-à-dire en supposant que le débit est proportionnel à une puissance de l'eau en réserve.

On obtient alors :

$$\frac{V}{V_0} = \left[1 + (n - 1) \alpha_0 t \right]^{\frac{1}{1-n}}$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \left[1 + (n - 1) \alpha_0 t \right]^{\frac{n}{1-n}}$$

$$\frac{z}{z_0} = \left[1 + (n - 1) \alpha_0 t \right]^{-1}$$

ou dans le cas $n = 1$ $\frac{Q}{Q_0} = C$

les cas les plus intéressants s'obtiennent en posant :
 $n = 0, 1/2, 1, 3/2, 2,$

Le cas $n = 0$ correspond à la vidange d'un réservoir à débit constant, $n = 1/2$ à la vidange d'un réservoir cylindrique percé d'un trou à la partie inférieure : c'est la formule de TORRICELLI ; $n = 3/2$ correspond à la vidange d'un réservoir par un seuil formant déversoir. Ces formules n'ont pas grand intérêt pour les débits d'infiltration.

Par contre, les cas $n = 1$ et $n = 2$ qui correspondent respectivement, selon BOUSSINESQ, au cas d'une source profonde et d'une nappe superficielle, sont beaucoup plus intéressants ; ils donnent respectivement :

$$Q = Q_0 \frac{C - \alpha_0 t}{1} \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \frac{1}{(1 + \alpha_0 t)^2} \quad (2)$$

M. COUTAGNE remarque que l'on obtient ces résultats avec des réservoirs cylindriques percés au fond, ou faisant déversoir, mais en supposant que la perte de charge est proportionnelle à la vitesse. D'après lui, la concordance de ces formules avec l'expérience prouverait qu'effectivement, dans la circulation souterraine, la perte de charge est proportionnelle à la vitesse.

L'hypothèse essentielle à la base de toute cette thèse est que l'on puisse exprimer le débit en fonction seulement des volumes en réserve.

C'est évidemment une hypothèse assez étroite ; il est certain que dans la formule $Q = f(V)$ il faut supposer que f varie avec la saison. On tiendra compte de ceci en modifiant les coefficients.

Mais il n'est pas certain qu'il existe une telle fonction. L'exemple de réservoirs en chaîne montre clairement que le débit ne dépend pas du seul volume en réserve.

Avec ces restrictions on pourra évidemment comparer l'épuisement des diverses sources par leur coefficient de tarissement α_0 : plus α_0 sera petit pour une même formule interprétative, meilleure sera la source.

Ici s'intercale un passage dont le sujet n'est pas le débit d'infiltration proprement dit. M. COUTAGNE y considère quelques formules de GARRIGOU LAGRANGE (1905, pluies, rivières et sources) où l'on essaie d'exprimer le débit d'une période en fonction de la pluie de cette période et du débit Q_0 de la période immédiatement antérieure :

$$Q_1 = f(Q_0, P_1)$$

la formule proposée pour un ruisseau expérimenté (2.000 hectares - 10 années d'observation) est :

$$Q_1 = \alpha Q_0 + (\beta + \gamma Q_0) P_1$$

les coefficients α, β, γ ayant des valeurs numériques différentes, suivant la période considérée et la saison.

Ces relations permettent de suivre le débit moyen probable et de déterminer dans ce débit la part qui revient à la pluie tombée qui s'écoule (βP_1) le débit minimum en l'absence de toute pluie (αQ_0 que l'on retrouve par la

formule générale du débit d'infiltration $\frac{Q_1}{Q_0} = e^{-\alpha_0 t}$

enfin la part d'eau qui s'écoule lorsque le terrain est plus ou moins saturé : $\gamma Q_0 P_1$.

Dans le même ordre d'idées, FISCHER a établi des formules de la forme : $Q_1 = f(P_0, P_1)$ (linéaires en P_0 et P_1). P_0 représentant les précipitations de la période antérieure, les écarts probables de ces formules sont de 7 à 8 %.

Revenant au débit d'infiltration proprement dit, M. COUTAGNE donne quelques exemples illustrés par des graphiques, et dont il a ajusté les observations recueillies à l'une ou l'autre des formules (1) et (2) ci-dessus :

1° Certains cours d'eau semblent avoir un régime simple, correspondant sensiblement à l'une de ces formules. Ce serait le cas notamment pour :

a) Formule $Q = Q_0 e^{-\alpha t}$:

- Le Drac au Sautet ;
- Quelques bassins italiens étudiés par l'ingénieur PALLUCHINI : Adige, Tessin, Adda, Arno, Tibre, Volturno.

b) Formule $Q = \frac{Q_0}{(1 + \alpha t)^2}$:

- Le Bés à Saint-Juéry (souterrain granitique et imperméable) ;
- L'Argentine (Beaufortin) ;
- Le Litani (Liban).

2° Une source de la région lyonnaise, provenant de drainage de terrain granitique, donne deux courbes successives dans le temps, qui se raccordent et paraissent correspondre : l'une suivant formule (2) à l'épuisement des couches superficielles, et l'autre suivant formule (1) à l'épuisement des couches profondes.

3° D'autres, pour lesquels il semble difficile de tirer une conclusion positive, paraissent influencées par des bassins voisins ou des nappes profondes pratiquement inépuisables :

- le Dorinet de Belleville, dans lequel les infiltrations du lac de la Girotte pourraient jouer un certain rôle ;
- la Bourne (Vercors), qui comporterait une capacité de rétention interne de nature karstique (terme constant).

Le torrent Noci (Italie) semble influencé par d'autres éléments.

M. COUTAGNE remarque incidemment :

a) que plus le tarissement est lent, plus les différentes formules interprétatives tendent l'une vers l'autre (terme des puissances supérieures négligeables) ;

b) l'intérêt, en matière de prévision, de régions telles que le bassin du Litani, qui ne reçoit pratiquement aucune précipitation pendant les six mois d'été.

Discussion.

M. le Président remercie M. LE CAM de son compte rendu précis de la communication de M. COUTAGNE.

Il serait souhaitable d'aboutir à une loi de décroissance permettant de déterminer la vie d'une source en fonction du temps nécessaire pour que son débit diminue dans le rapport de 1 à 1/2 avec d'autres paramètres, si besoin est.

Le mémoire de M. COUTAGNE ne comporte pas de conclusion, mais il constitue une base de discussion, une mise au point de la question.

Il faut accumuler un grand nombre de courbes de débit avant de savoir s'il y a une loi ou s'il n'y en a pas.

M. MONTAGNE nous a laissé, après la séance, les notes ci-après : se reporter, pour appréciation, à ses travaux sur la question :

1° le C. R. A. S., 1931 ;

2° Technique Moderne de 1942.

(La loi de décroissance ne s'applique qu'en année moyenne).

V

Communication de M. ESCANDE

présentée par M. REMENIERAS

« Remarque sur la suppression maximum engendrée par la régulation des groupes hydroélectriques munis de déchargeurs ».

Cette communication est publiée à la page 585 du présent numéro.

Après l'exposé, M. le Président regrette l'absence de M. ESCANDE et remercie M. REMENIERAS.

Personne ne demandant la parole, M. le Président déclare la séance levée et convoque les membres du Comité Technique pour la réunion de l'après-midi, à 14 h. 30.

SÉANCE DE L'APRÈS-MIDI

Présents : MM. Barrillon (Président), Bergeron, Brillouin, Castillon, Caquot, Chevrier, Craya, Destenay, Dienert, Frow, Jupillat, Hauser, Labaye, Labetoulle, Lemoine, Lombardi, Lugiez, Montagne, De Rouville, Sauvage de St-Marc, Valembos, Vantroys, Villard, Vennin.

La séance est ouverte sous la présidence de M. BARRILLON, qui donne la parole à M. MONTAGNE, pour sa communication.

I

Communication de M. MONTAGNE

« La condition du ressaut à l'aval des vannes et des déversoirs et ses applications ».

Résumé

M. MONTAGNE rappelle d'abord la mise au point de la condition d'équilibre dynamique des déversoirs à crête épaisse

$$h = \frac{2H}{3}$$

H et h étant les tirants d'eau à l'amont et à l'aval du déversoir (M. MONTAGNE a présenté cette étude au Comité Technique de la S. H. F., en 1935).

La condition ci-dessus, obtenue par intersection des courbes :

$$\frac{V^2}{g} h = f(h), \text{ et } h^2 = f(h)$$

a conduit M. MONTAGNE, par intuition, à rechercher, suivant une méthode de calcul analogue, les conditions du ressaut à l'aval des vannes et des déversoirs.

Dans le cas le plus simple, c'est-à-dire dans le cas où la différence des niveaux amont et aval est faible, M. MONTAGNE écrit pour l'unité de largeur et en coordonnées sans dimension l'équation d'équilibre entre la quantité de mouvement de la veine et la pression totale fournie par le niveau aval :

$$\frac{U_1^2}{g} h_1 = \frac{h_2^2 - h_1^2}{2}$$

l'indice 1 se rapportant à l'amont et l'indice 2 à l'aval.

L'intersection des deux courbes $f\left(\frac{h_1}{h^2}\right)$, représentant les

deux membres de l'équation, a bien pour abscisse $\frac{1}{3}$,

montrant que l'équilibre correspond à la condition :

$$h_1 = \frac{h_2}{3}$$

dans le cas de perte de charge faible et de vitesse aval ou vitesse résiduelle également faible. Dans le cas le plus fréquent des pertes de charges importantes, ce rapport théorique peut être réduit à 2,6 ou 2,56, ce qui a pu masquer jusqu'à présent la véritable condition d'équilibre.

Dans le cas d'une grande différence des niveaux amont et aval, les expériences de BAKMETEFF et celles de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse ont montré que la condition d'équilibre se maintient même quand le rapport

$\frac{h_2}{h_1}$ est très supérieur à 3, quand la veine est bien guidée sur une grande longueur et dans l'axe du canal aval,

avec $m \frac{V^2}{g} = \frac{h_2^2 - h_1^2}{2}$; dans ce cas la longueur sur laquelle le ressaut se produit est sensiblement constante et de l'ordre de $5 h_2$.

Mais si le radier ne se prolonge pas sur une distance suffisante dans l'axe du canal, ou s'il existe d'autres conditions d'écoulement encore à préciser, la longueur sur laquelle le ressaut se forme est très inférieure à $5 h_2$. Il peut y avoir formation brusque du ressaut, avec tendance au déferlement.

Par une construction graphique représentant l'impulsion des forces horizontales au moyen d'un trapèze de bases h_1 et h_2 , M. MONTAGNE détermine le centre des impulsions correspondant au centre de gravité du trapèze : suivant la position de ce centre au-dessus ou au-dessous du niveau donné par h_1 le plan théorique passant par la vanne basculera, changeant les conditions de l'écoulement, ou restera stable.

La condition théorique $h_1 = \frac{h_2}{3}$ correspond sensiblement aux résultats cités par M. BOUASSE dans son ouvrage

« Jets, tubes et canaux », dans le cas du ressaut expérimental

classique. Dans le cas de ressaut à grande différence du niveau amont et aval, on trouve le rapport $\frac{1}{3}$ dans certaine

figure de BAZIN dessinée à l'échelle. M. MONTAGNE a vérifié également des fronts qui donnent $L = h_2$ et qui sont sur le point de déferler vers l'amont avec de fortes ondulations prolongées, montrant que la perte de charge se prolonge après le front. Il n'y a pas eu de vérification à l'échelle industrielle, mais les photographies et les mesures relevées en laboratoire font ressortir un gonflement de la veine pour h_2 beaucoup plus grand que $3 h_1$.

Comme applications des calculs ci-dessus aux déversoirs, M. MONTAGNE rappelle :

a) les études de M. ESCANDE relatives au relèvement en nappe ondulée d'une veine influencée par le niveau aval : il n'y a pas ressaut ; par contre, si la lame peut s'appuyer sur un barrage de pente convenable et si

$$h_1 = \frac{h_2}{3}, \text{ le ressaut se forme ;}$$

b) les partiteurs de débit réalisés par les Etablissements Neyret-Beylier & Piccard-Pictet : différence des niveaux amont et aval réduite au minimum par la création d'un divergent dans le plan horizontal et l'existence du parement aval de faible pente (divergent dans le plan vertical). De plus, M. MONTAGNE retrouve le coefficient théorique des crêtes épaisses (0,385) en appliquant la formule

$$h_1 = \frac{h_2}{3} \text{ à un barrage épais de pente faible, ainsi que}$$

la longueur sur laquelle se forme le ressaut : $x = 1,25.h$. Ceci prouverait que les profils CREAGER ne seraient pas favorables à l'écoulement des crues.

En ce qui concerne les **vannes de fond**, M. MONTAGNE distingue dans les applications le cas où il n'y a pas risque de déferlement du ressaut vers l'amont ($L = 4,5$ à $5 h_2$) : dans ce cas, l'orifice sera considéré comme dénoyé lorsqu'on aura :

$$m V^2 = \frac{h_2^2 - h_1^2}{2}$$

Quand L sera très inférieur à $4,5 h_2$, il y aura risque de déferlement du ressaut vers l'amont, et on aura à vérifier expérimentalement si l'orifice se noie ou non pour $h_2 > 3 h_1$.

M. MONTAGNE remarque ici que le coefficient de dépense des veines à coursier varie avec l'ouverture de la vanne, et, plus exactement, avec le rapport de l'ouverture à la largeur de la vanne ($\frac{h}{l}$).

Il termine en citant VENTURI qui dessécha des terrains en faisant déboucher des tuyaux de drainage directement en amont du ressaut.

Nota. — Le résumé ci-dessus tient compte des précisions données par M. MONTAGNE postérieurement à la séance.

Discussion.

M. le Président remercie M. MONTAGNE de ses excellentes observations et de ses réflexions sur le fond de la question. Les démonstrations ne sont pas absolument rigoureuses (M. MONTAGNE rappelle qu'il s'en est excusé),

mais le problème est intéressant et provoquera, peut-être, de nouvelles recherches.

M. CRAYA croit que la condition n'est pas empirique, mais rationnelle, et qu'elle se rattache à la loi de NEWTON. La question lui paraît difficile à étudier autrement que par le théorème des quantités de mouvement. Le parallèle entre le déversoir et le ressaut est délicat ; M. MONTAGNE en convient.

M. le Président conclut que les résultats seront plus difficiles à obtenir lorsqu'on fera intervenir les pertes de charge, mais que l'exposé de M. MONTAGNE constitue un excellent mémoire.

II

Documents reçus par la S. H. F.

M. le Président, pour couper la séance, signale à l'Assemblée les documents reçus par la S. H. F. depuis la dernière réunion du Comité :

1° **Cahier des Charges des conduites forcées métalliques.** Mis à jour par une commission présidée par M. RADIGUER, et dans laquelle M. Gaston BENOIST a eu un rôle important, ce document a été étudié par la S. H. F., qui en assure la vente.

2° **Note sur la vérification du taux de sécurité des tuyaux autofrettés,** par M. FERRAND, de la Société Dauphinoise d'Etudes et de Montage : procès-verbal détaillé des essais faits chez Bouchayer & Viallet, en présence de MM. Colomb, Girerd, Haegelen, J. Bouchayer, G. Ferrand. Ce document est déposé au Secrétariat.

III

Communication de M. LABAYE

« Etat actuel de la question du débit solide transporté en suspension par les cours d'eau ».

Cette communication est incluse dans le mémoire publié à la page 600 du présent numéro.

M. le Président, avant d'ouvrir la discussion, remarque que M. LABAYE a très bien séparé le sujet : d'un côté la formation des débits solides, ensuite le phénomène de salutation ; d'autre part, il s'occupe uniquement du régime permanent et du maintien en suspension des particules solides. M. le Président n'est pas convaincu que le nombre de Reynolds doive intervenir, car il n'est pas sûr qu'il y ait une relation entre la vitesse de chute en eau tranquille et le phénomène en eau turbulente.

M. MONTAGNE présente quelques observations sur :

- a) certains désaccords avec des théoriciens américains ;
- b) les résultats des dernières expériences qui ont été faites sur la question.

a) ROUSE, considérant l'influence du gradient de vitesse (parabole de FLAMENT), admet l'existence d'une force verticale plus grande vers le haut que vers le bas, qui tend à déformer les particules fluides au fur et à mesure que la vitesse centrifuge s'intensifie et à imprimer au débit solide un mouvement louvoyant qui va l'attirer beaucoup plus vers le haut que vers le bas (M. MONTAGNE fait un dessin montrant la déformation d'un cube liquide).

b¹) FRANCIS a observé, il y a déjà 60 ans, que de l'eau de savon introduite dans un cours d'eau par le bas se

répandait suivant un cône dont le rapport de la hauteur à la longueur était variable périodiquement, ce qui semble déceler l'existence d'une composante verticale soumise à une pulsation.

b²) M. MONTAGNE, reprenant sous une autre forme les essais de FRANCIS, a constaté la présence de ce qu'il appelle une « onde » en observant le fait suivant : des bâtons lestés placés dans un canal près d'une paroi, tendent à s'éloigner de la paroi ; de plus, si on limite leur déplacement horizontal vers l'axe par un fil de fer parallèle à la paroi, certains bâtons restent verticaux, certains autres s'inclinent de 5 à 10° en touchant le fil de fer. D'où l'idée de la composante variant avec le temps.

M. MONTAGNE soupçonne que ces composantes ascendantes seraient provoquées par le ralentissement causé par l'usure et le déplacement du lit, mais leur formation n'a pas encore été étudiée rationnellement.

M. LABAYE n'a pas encore pris connaissance du dernier livre de ROUSE, mais il réserve son opinion sur l'interprétation qu'en donne M. MONTAGNE en a). Il estime, d'autre part, que la turbulence suffit à expliquer la diffusion et les fluctuations visées en b₁ et b₂.

M. le Président fait préciser ce qu'on entend par « onde » et qui serait plutôt, d'après M. REMENIERAS, une variation de vitesse avec le temps, autrement dit la sinusoïde que décrit l'axe d'un courant plus ou moins virtuel.

M. le Président préférerait que l'expérience soit faite avec des particules très petites qui, jusqu'à présent, n'ont pas révélé « d'ondes » au voisinage des parois. Il fait préciser à M. MONTAGNE que la dernière édition du livre de ROUSE est conforme à l'exposé de M. LABAYE, sauf en ce qui concerne la déformation du cube mentionné plus haut.

M. REMENIERAS pense, d'accord avec M. MONTAGNE, que la formation d'ondes est un phénomène qui se rattache au charriage.

M. le Président conclut que ce débat fait le point sur l'état de notre ignorance de la question, car nous ne sommes pas encore tous d'accord sur ce sujet, et il remercie M. LABAYE.

IV

Communication de M. CRAYA

« La propagation des ondes dans les écoulements à surface libre graduellement variés ».

Cette communication a fait l'objet du fascicule N° 1549 publié en janvier 1946 par le Centre de Perfectionnement Technique, Maison de la Chimie, 28, rue Saint-Dominique (Presses documentaires, Paris).

M. le Président, précédé par les applaudissements de l'auditoire, remercie M. CRAYA : il souhaiterait une application des épures synoptiques sur les plans UV et Xt à un cas particulier même très simple.

M. CRAYA signale qu'un tel exemple a été traité dans « La Houille Blanche » : c'est le cas de la rupture d'un barrage sur le Rhin ; ce cas s'écarte un peu du cadre des équations de SAINT-VENANT, tout au moins au démarrage du phénomène, mais l'expérience montre que le frottement et la pente régularisent l'intumescence, et on a voulu traiter cet exemple parce que difficile ; des problèmes de lâcher plus faciles peuvent être résolus très simplement.

M. le Président observe qu'on néglige la partie la plus

intéressante, qui est à l'origine de l'intumescence, mais admet qu'à partir d'un certain temps on peut suivre l'évolution, d'autant plus qu'on a déjà fait des relevés analogues, par exemple ceux de M. HENRY sur le Rhône. On ne voit pas très bien le moment où on passerait du discontinu du niveau au continu par des méthodes autres que les méthodes analytiques.

M. CRAYA souligne que la méthode graphique couvre le même domaine que les équations de SAINT-VENANT, et, comme elle, néglige les courbures.

M. REMENIERAS fait observer que l'épure donne la hauteur du corps de l'onde (rectangle constitué par l'ordonnée moyenne des relevés expérimentaux) et non la forme de la tête de l'onde.

M. CRAYA rappelle que, simultanément, en Suisse, M. DE HALLER employait une représentation analogue pour les écoulements dans les gaz.

V

Communication de M. NIZERY

présentée par M. VALEMBOS

« Etude des déformations de la houle au voisinage d'une jetée ».

Cette communication est publiée à la page 628 du présent numéro.

A la fin de l'exposé, M. le Président, après avoir demandé quelques explications sur une photographie jointe au mémoire, remercie M. VALEMBOS de la présentation de cet exposé.

La discussion est ouverte.

M. DE ROUVILLE, sans vouloir défendre intégralement la théorie de M. IRIBARREN, expose que ce dernier a fait certaines observations auxquelles il a voulu appliquer un peu vite un appareil mathématique insuffisant, mais qu'il est tout de même intéressant de la connaître.

M. le Président conclut en disant que, si l'on veut réfuter les idées de M. IRIBARREN, il faut le faire sérieusement, et il espère que cela attirera l'attention des spécialistes.

La séance est levée.

Nota. — M. NIZERY nous a communiqué depuis les observations suivantes :

1° Ma communication ne relate que fragmentairement les théories émises par M. IRIBARREN. Néanmoins, ce qui est relaté est à peu près textuellement extrait du mémoire qui nous a été communiqué.

2° Il est exact, comme l'a fait remarquer M. CRAYA, que les Anglais ont étudié ces questions pendant la guerre d'une manière approfondie. Je n'ai eu communication de ces travaux qu'après rédaction de ma note et je n'y ai d'ailleurs pas trouvé l'exposé quantitatif de la théorie en cause.

3° La photographie annexée à ma note avait pour objet non pas de montrer ce qui se passe, mais plutôt de montrer que la ligne de démarcation de la zone agitée et de la zone abritée dont l'existence résulterait de la théorie de M. IRIBARREN, n'existe pas en réalité.