

# Compte rendu des travaux du Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France

Meetings of the Technical Committee

Session des 25, 26 et 27 novembre 1952

Ont participé aux travaux de cette session :

a) *Conseil d'administration :*

M. MASSÉ, Président.  
MM. DEVUN, FERRENDIER, GENTHIAL, HUPNER, MICHE, NIZERY, DE ROUVILLE.  
MM. CHAUTRU et LECLÈRE, représentant M. HERMIL.  
M. LEGROS, représentant M. COYNE.

b) *Adhérents :*

Electricité de France, représentée par MM. BAUCHERON, BEAUREGARD, BIRARD, BLET, BONNIN, CAPPUS, CHABERT, DREULOT, DUMAINE, DUPUY, FAURE, FOREST, DE HART DE SIGY, LARRIEU, LEOMINO, LUGIEZ, MAITRE, MILLAT, MININI, MOLBERT, MORLET, RACTMADOUX, RENOLIS, REYNAUD, RODIER, ROTINOT, RUCHETON, SCHNEEBELI, SCHUTZENBERGER, TRIVIDIC, VANTRUYS.  
La Société Hydro-Electrique des Pyrénées, représentée par M. HERVÉ.  
Les Ets Neyrpic, représentés par MM. ALEXANDRE, BOUDAN, CONDOLIOS.  
Les Ets Schneider, représentés par MM. KEERENS et MANON, de la S.W.  
La Sté Lyonnaise des Eaux, représentée par MM. LERY, MIGNEREY.  
La Sté Hydraulique et Urbanisme, représentée par M. PONSAR.  
La Sté des Tuyaux Bonna, représentée par M. CAZALI.  
La Sté Hersent, représentée par M. P. CHALON.  
La Sté des Grands Travaux de Marseille, représentée par M. LAUBEL.  
La Société des Sondages, Injections et Forages, représentée par M. SABARLY.  
La Sté Ossude, représentée par MM. BAZIN, VAILLANT.

La Sté Chabal et Cie, représentée par M. HARDY.  
Les Entreprises de Grands Travaux Hydrauliques, représentées par M. HAMON.  
M. Paul DALARD.

c) *Comité technique .*

M. le Président BARRILLON.  
M. le Professeur PÉRÈS.  
M. BERGERON, Vice-Président de la Section « Machines ».  
M. RADIGUER, Président des Commissions de Révision des Cahiers des Charges.  
M. SERRA, Président de la Commission du « Déficit Ecoulement ».  
M. REMÉNIÉRAS, Secrétaire général.  
MM. ALLARD, BANAL, BATICLE, BOURGUIGNON, BRAUDEAU, CHAMAYOU, CHARRON, COLLET, DHAÏLE, DUBIN, DUFFAUT, DURAND R., FERRANDON, FERRY, FONTAINE, FRONTARD, GIBERT, GOUGENHEIM, GRIDEL, HAEGELEN, HAUSER, JUPILLAT, LACOMBE, LAFLÈCHE, LARRAS, LESCAU, LOMBARDI, DE MAUBLANC, MICHON, MONTAGNÉ, MORLAT, SANSON, SAUVAGE DE SAINT-MARC, SUQUET, THOMEL, TISSIER, VALEMBOIS, VENNIN.  
MM. DEVIMEUX et ORGERON représentant M. J. LAURENT.

d) *Invités :*

M. le Professeur TISON, de l'Université de Gand (Belgique).  
MM. SCHIJF et BIJKER, Ingénieurs au Rijkswaterstaat Directie Van de Waterstaat (Hollande).  
M. GRÉSELIN, de la Sté Edison, à Milan (Italie).  
M. Ch. BEAU, Président de la Sté Energie des Mers.  
M. MÉLOT, du Service Technique de l'Énergie Electrique et des Grands Barrages.  
M. TEXIER, de la Direction de l'Electricité.

M. HUARD DE LA MARRE, de l'Institut Blaise-Pascal.  
 MM. ORELLI, BEAUQUESNE et MONGIN, de la C.E.T.  
 M. ROBERT, Ingénieur en Chef de la 2<sup>e</sup> Circonscription  
 Electrique, à Dijon.  
 M. SIEGFRIED, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,  
 à Nantes.  
 M. ARLERY, de la Météorologie Nationale.  
 M. ARIS, Ingénieur au Service de la Colonisation et de  
 l'Hydraulique, à Alger.  
 M. LALLEMANT, de la Direction des Voies Navigables.  
 M. MICHAU, de la Direction des Services Techniques de  
 la Ville de Paris.  
 M. COLAS, Directeur de l'Association Française pour  
 l'Etude des Eaux.  
 M. SANTON, du Laboratoire d'Hydraulique de l'Université  
 de Grenoble.  
 M. RENEUE, Conservateur des Eaux et Forêts.  
 M. ROUSSELET, de la Cie des Compteurs.  
 M. BOURRIER, Ingénieur du Génie Rural, à Vergère (Bou-  
 ches-du-Rhône).  
 M. BACQUE, de la Sté Pépin et Gasquet.  
 MM. BLANCHARD et PIQUET, de la Cie Générale des Eaux.

M. EGALON, des Ets Kuhlmann.  
 M. BAFOUR, de la Sté d'Entreprises Générales.  
 M. ROUSSE, de la Sté Philips et Pain.  
 MM. PIVET et ALLARD, des Ateliers et Chantiers de Bre-  
 tagne.  
 M. PUTATTI, de la Sté « Le Tube d'Acier ».  
 MM. ROCHETTE et LEGRAND, de la Cie Sulzer.  
 M. REVOL, de la Houille Blanche.  
 Mlle GARENC, MM. MARTY et MARVAUD, du C.N.R.S.  
 M. HABIB, du Laboratoire du Bâtiment et des Travaux  
 Publics.  
 M. SCHNEIDER, de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaus-  
 sées.  
 MM. GASSIOT, CAHN.

*S'étaient excusés :*

MM. BOUCHAYER, H. BOUVIER, CAILLEUX, COUTAGNE, CRES-  
 CENT, DUQUENNOIS, ESCANDE, FERRAND, FROLOW, GARIEL,  
 GAGE, GILLIO, GRAVEUX, HERMIL, LEDOUX, SILBER, LUXO,  
 MARCELLO CL., MARQUENET, MÉRIER, OUDIN, PARDE,  
 PARODI, SCHLAG, SULZLEE, VIBERT.

## SÉANCE DU MARDI MATIN 25 NOVEMBRE 1952

La séance est ouverte à 9 heures, sous la présidence de  
 M. BARRILLON, Président du Comité Technique.

### Nécrologie

M. le Président a le regret de faire part au Comité  
 Technique du décès de :

M. DE PAMPOLONNE, Directeur Général Honoraire du Génie  
 Rural, Membre du Comité Technique.  
 M. Ettore SCIMEMI, Professeur d'Hydraulique à l'Univer-  
 sité de Padoue (Italie).

Le Comité adresse ses condoléances aux familles des  
 disparus.

### Légion d'Honneur

M. le Président est heureux de faire part au Comité  
 Technique de la promotion au grade de Commandeur  
 de :

M. CAMICHEL, Membre de l'Institut, Président d'Honneur  
 du Comité Technique.  
 M. KOCH, Membre du Comité Technique, Directeur des  
 Eaux et Assainissement à la Préfecture de la Seine.

Le Comité adresse ses félicitations aux nouveaux  
 promus.

### Admission au Comité technique

Le Comité approuve l'admission des personnalités ci-  
 après, présentées par M. le Président :

M. ROUSSELIER, Directeur-adjoint de l'Equipement à E.D.F.,  
 représentant la S.H.F. à la Commission des Irrigations.  
 M. CASACCI, Ingénieur aux Ets Neyrpic, déjà Membre de  
 la Section « Machines ».

MM. CHABERT, GERMAIN et MAITRE, Ingénieurs au Labora-  
 toire National d'Hydraulique de Châtou.

M. TALOBRE, Ingénieur en Chef au Service des Etudes et  
 Projets Hydro-électriques, Direction de l'Equipement  
 d'E.D.F.

M. WALLET, Ingénieur au Laboratoire Dauphinois d'Hy-  
 draulique.

### Documents reçus depuis la dernière session

La liste totale de ces documents a été distribuée à  
 l'entrée des séances. M. le Président mentionne spéciale-  
 ment :

— *Les méthodes statistiques*, par G. MORLAT, Ingénieur  
 au Service des Etudes et Recherches Hydrauliques  
 d'E.D.F.

C'est le texte des conférences faites par M. MORLAT,  
 sous l'égide de la Direction des Etudes et Recherches  
 d'E.D.F., sur les applications de la statistique aux divers  
 métiers d'ingénieurs; il y est demandé aux lecteurs de  
 séparer la philosophie des mathématiques dans ces appli-  
 cations, et de communiquer à l'auteur leurs réflexions et  
 suggestions.

— *Cavitation Mechanics and its Relations to the  
 Design of Hydraulic Equipment*, par Robert T. KNAPP  
 (Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers,  
 London, A. 1952, vol. 166, n° 2).

Basé, d'une part, sur les principes relatifs à la simi-  
 litude de la cavitation et, d'autre part, sur un examen  
 cinématographique à grande vitesse (1/3.000 de seconde)  
 de l'eau dans le tunnel d'essai, ce travail montre l'in-  
 fluence et l'évolution des bulles d'air dans le phénomène.

— *Etudes sur le tube de Pitot*, par Robert LEGENDRE.

Dans une étude présentée au Colloque de Mécanique de  
 Poitiers en 1950, notre collègue, M. Robert LEGENDRE,  
 Secrétaire Général Technique de l'O.N.E.R.A., a examiné  
 le cas de l'écoulement de la couche laminaire au vois-  
 nage d'une pointe d'obstacle : pour de très petits nombres  
 de Reynolds croissants, l'influence de la viscosité modifie  
 la constante du tube de Pitot, qui décroît jusqu'à 0,99  
 puis remonte asymptotiquement vers la valeur de 1. Un  
 Américain, M. SCHAPIRO, Professeur au Massachusetts  
 Institute of Technology, a trouvé, dans ses propres re-  
 cherches, la confirmation de ce phénomène.

— *Edges waves on a sloping beach*, par F. URSELL  
 (Reprinted from the Proceedings of the Royal Society,  
 A, vol. 214, p. 79, 1952).

Le mémoire URSELL est relatif aux mouvements de  
 l'eau dans un canal de section rectangulaire s'étendant

a l'infini dans une direction et limité par une berge inclinée.

L'auteur se borne au cas des amplitudes infiniment petites.

Dans la partie théorique relative à un cas plus général, il donne un excellent exposé d'ensemble des divers mouvements pouvant être provoqués par une perturbation périodique de période  $T$ . Introduisant comme d'usage  $\sigma = 2\pi/T$ , les divers mouvements forcés ont une amplitude  $A$ , fonction de  $\sigma$ . Dans le cas d'une résonance du type classique et au voisinage de certaines valeurs  $\sigma_R$ , les variations de  $A$  en fonction de  $\sigma$  sont :

$$A_R \text{ proportionnel à } \frac{1}{|\sigma - \sigma_R|}$$

Dans le cas d'une résonance du type « cut off », on a d'autres valeurs,  $\sigma_C$ , pour lesquelles :

$$A_C \text{ proportionnel à } \frac{1}{\sqrt{\sigma - \sigma_C}}$$

Suivant les cas, on n'a que des  $A_R$  (cuve limitée à parois verticales) ou bien on n'a que des  $A_C$  (cuve semi infinie à parois verticales) ou enfin on a à la fois des  $A_R$  et des  $A_C$ .

Dans la partie expérimentale, l'auteur montre d'abord qu'il y a accord entre les fréquences expérimentales et les fréquences théoriques (1<sup>re</sup> expérience), puisqu'il s'agit bien d'ondes de berge (2<sup>e</sup> expérience), enfin il montre l'augmentation d'amplitude due à la coïncidence d'un  $A_R$  et d'un  $A_C$  (3<sup>e</sup> expérience).

Les modifications apportées par la viscosité sont étudiées théoriquement.

— *An approach toward a rational classification of climate*, C.W. THORNTWAITE (Geographical Review de l'American Geographical Society de New-York, janvier 1948).

Ce mémoire donne les résultats d'une étude expérimentale du pouvoir évaporant de l'atmosphère et l'interprétation de ces résultats par une formule liant le pouvoir évaporant à la température et à la durée théorique de l'insolation.

Une application de la formule a été faite par M. DE MONTMABIN, dans son étude hydrologique de l'Oued El Lil et de l'Oued Rhezala, en Tunisie (Prix Henri MILON, 1952) et suivie d'un bilan de l'écoulement faisant intervenir mois par mois, la quantité d'eau nécessaire à la végétation et celle qui lui est effectivement apportée par la pluie. Il en résulte des reports positifs ou négatifs d'un mois sur l'autre qui sont comparés aux déficits d'écoulement déduits des mesures hydrométriques et pluviométriques.

L'application de la méthode, relativement facile en Tunisie, où les réserves du sol passent souvent par zéro est plus difficile pour la plupart des rivières métropolitaines. Cependant, certaines rivières, telle que la Drôme, présentent des conditions relativement favorables à cette application.

M. BERKALOFF. — *Recueil des observations hydrométriques* (année 1950-51) :

- Fasc. 1 — Débits journaliers;
- Fasc. 2 — Analyses chimiques de l'eau;
- Fasc. 3 — Travaux divers. — Jaugeages.

M. COUTAGNE. — *Etude hydrométéorologique du bassin du Fier*.

- *Initiation mathématique à l'hydrologie fluviale*.
- *Etude des caractéristiques et des corrélations ou covariations hydrométéorologiques d'un bassin fluvial, illustrée par un cas concret : la Tamise, à Teddington*.

M. DROUHIN. — *Les problèmes de l'eau en Afrique du Nord-Ouest*.

M. MONOD. — *Autour du problème du dessèchement africain*.

M. MORLAT. — *Sur la consigne d'exploitation optimum des réservoirs saisonniers*.

— *Note sur l'estimation des débits de crue*.

*Le pouvoir évaporant de l'atmosphère*. — Exposé sommaire des travaux et formules de C.W. THORNTWAITE.

M. GOUGENHEIM. — *Observations de marée en Terre-Adélie pendant l'année 1950*.

M. MICHE. — *Propriété des trains d'ondes océaniques et de laboratoire*.

MM. LAURENT et DEVIMEUX. — *Etude expérimentale de la réflexion de la houle sur des obstacles accores* (don de M. LARRAS).

M. BOURGUIGNON. — *Jaugeage au moulinet*.

M. STOLZ. — *Mesures effectuées avec des diaphragmes munis de prises de pression « Vena Contracta » aux usines de Gennevilliers, Lourches et Comines*.

G. FERRAND. — *Utilisation du principe du relèvement de la limite élastique des aciers par écrouissage et vieillissement artificiel à la construction des conduites forcées et économie en résultant* (4<sup>e</sup> Congrès International Des Fabrications Mécaniques, Stockholm, 4-10 juin 1952).

M. WIDMANN. — *Observations glaciologiques 1951*. — *Glacier Noir et Glacier Blanc*.

MM. MERCANTON et RENAUD. — *Les variations des glaciers des Alpes Suisses*.

M. GAGE. — *Équipement, E.D.F., 1951*.

M. TH. MONOD. — *Reconnaissance au Dohone*.

— *L'Atlas général international de l'Ouest-Africain*.

MM. TH. MONOD et A. POURQUIÉ. — *Le cratère d'Aouelloul* (Adrar, Sahara occidental).

*Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer*, année 1950 (Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer).

DINO TONINI. — *Sulla attendibilita del dimensionamento degli impianti idroelettrici*.

M. JORISSEN. — *Discharge coefficients of Herschel-type venturi tubes*.

H. ONDE. — *Notre sur les Dolomites Occidentales*.

### Activité de la Société

— *Séances d'information générale du 21 mars 1952* : Voir « Houille Blanche », n° B. 1952, p. 469.

— *Commission de Révision* :

a) *Codes d'Essais des Installations Hydrauliques* : Réunions des 23 avril et 28 mai 1952, sur les « Caractéristiques de fonctionnement des machines hydrauliques ».

b) *Cahiers des Charges des Conduites Forcées en Métal* : Adoption des 2 avenants 1952 au cours des réunions des 13 juin et 15 octobre 1952 : Avenant n° 1 — 1952 — Conduites souterraines. — n° 2 — 1952 — Modification du coefficient de sécurité.

— *Section d'Hydraulique Fluviale et Maritime* : à la réunion du 19 mai, communications de :

— M. VALEMOIS, sur « la mesure des caractéristiques de la houle, dans la nature et dans les modèles ».

— M. MICHE, sur une « étude théorique des déferlements dus aux fluctuations de la houle », dont l'auteur donnera la substance au Comité Technique, le 26 novembre après-midi.

— M. LACOMBE, sur « les théories des marées fluviales Mascaret — Calcul pratique de la propagation d'une onde marée dans un fleuve ».

Des discussions intéressantes ont suivi ces exposés.

— *Sous-Section de Glaciologie :*

a) à la réunion du 6 juin 1952, communications de :

— M. CHALLEUX, « Premiers enseignements glaciologiques des Expéditions Polaires Françaises, 1948-1951 ».

M. CHABROL, « Compte rendu des études glaciologiques de 1949 à 1951 dans la Haute-Garonne ».

— M. CHERREY et GARAVEL, « Observations au glacier de Sarennes-Campagne 1951-1952 ».

— M. GARAVEL, « L'avalanche d'Huez du 11-12 janvier 1952 ».

— M. GARAVEL, « Méthode actuelle de lutte contre les avalanches »,

et analyses de travaux glaciologiques étrangers.

b) Représentation de la S.H.F. au Voyage d'Études F.A.O. dans les Alpes Françaises (28 juin-7 juillet 1952), pour la correction des torrents et la lutte contre les avalanches (voir compte rendu de MM. RENEUVE et MARQUENET, page 168 du présent numéro).

c) Au cours de la « Tournée Glaciologique », des 27, 28 et 29 juillet, dans les Dolomites (glacier de la Marmolada et installations hydroélectriques de la Piave) avec le concours de la Società Adriatica di Elettrici et du Comité Glaciologique Italien, démonstration de sondages sismiques sur le glacier de la Marmolada, par M. CALOI, Professeur de Géophysique à l'Université de Rome, et visite du barrage de Pieve di Cadore et de la Centrale de Soverzene. — Participation de MM. les Présidents BARRILON, MASSE, MESSINES DU SOURBIER, de MM. SEMENZA et TONINI, Directeurs à la S.A.D.E.

— *Commission du Déficit d'Écoulement* (Président : M. SERBA). — Réunions 22 avril et 14 novembre 1952. — Définition du bilan hydrologique, examen des formules, représentation graphique des résultats. Prochainement, étude des bilans sur courtes périodes et du phénomène d'évapo-transpiration.

### Deuxièmes Journées de l'Hydraulique (Grenoble, 25-29 juin 1952)

Organisées par la S.H.F., avec le concours des Ets Neyric et de l'Institut Polytechnique de Grenoble, et sur le sujet : *Transport Hydraulique et Décantation des Matériaux solides*, les Deuxièmes Journées de l'Hydraulique ont obtenu un succès confirmant celui des Premières Journées, tenues en 1949.

25 mémoires, axés sur ce sujet, ont été présentés à 218 participants, et amplement discutés au cours de huit séances de travail, associées à des visites d'ateliers de construction et de laboratoires, à Grenoble, et suivies d'excursions aux Aménagements de la Haute-Isère, à Donzère-Mondragon et à la Station Expérimentale du Sautet. Le compte rendu est en préparation.

Les prochaines « Journées de l'Hydraulique » auront lieu en 1954.

### Commission de la Sédimentation

Créée à Grenoble, à l'issue des « Journées de l'Hydraulique », la Commission de la Sédimentation a tenu sa première réunion sous la présidence de M. NIZENY, le 13 novembre 1952. De nombreux hydrauliciens préoccupés par le problème de la sédimentation des retenues ont décidé :

1° De travailler en commun et en confiance réciproque au cours de réunions trimestrielles.

2° D'aborder l'étude par deux aspects :

— normalisation des mesures et légitimité des modèles réduits,

— physico-chimie de la sédimentation.

Prochaine réunion : Mi-février 1953.

### Prix de la S.H.F.

La proclamation des prix attribués en 1952 a été faite à l'issue des « Journées de l'Hydraulique » (voir page 143).

De nouveaux concours sont ouverts pour 1953.

En ce qui concerne le *Prix Henri Milton*, les travaux doivent parvenir à la S.H.F., avant le 1<sup>er</sup> avril 1953. La Commission se réunira entre temps pour examiner les résultats obtenus depuis la fondation, les compléments éventuels aux ouvrages primés, et les possibilités de perfectionner le prix.

### Publications de la Société

a) *Parues depuis la dernière session :*

— *Mémoires et Travaux*, n<sup>os</sup> I et II, 1952.

— *Annuaire Hydrologique de la France*, 1950.

— *Monographie Hydrologique du bassin du Da Nhim*, par M. SLIVITSKY (ouvrage honoré d'une subvention de l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer).

— *Code d'Essais des Installations Hydrauliques* (2<sup>e</sup> édition), fascicules 2, 3 et 4 (détaillés, voir page ...).

— *Addenda 1952 au Cahier des Charges des Conduites Forcées en Métal*.

— Liste des publications mise à jour.

b) *Sous presse :*

— *Annuaire Hydrologique de la France*, année 1951.

— *Transport hydraulique et décantation des matériaux solides* (compte rendu des « Deuxièmes Journées de l'Hydraulique »).

c) *En préparation :*

— *Stations Hydrométriques Françaises* (3<sup>e</sup> partie : région des Pyrénées et autres bassins divers).

### COMMUNICATION DE MM. REMENIERAS ET BOURGUIGNON

### QUELQUES APPLICATIONS DE LA MÉTHODE DE PRÉDÉTERMINATION DES PERTES DE CHARGE D'UNE CANALISATION D'EAU SOUS PRESSION A PARTIR DE CELLES MESURÉES SUR LE MÊME OUVRAGE PARCOURU PAR DE L'AIR

Ce mémoire sera publié *in extenso* dans le *Génie Civil*, du 15 mars 1953.

### Sommaire

La méthode est basée sur le fait que la perte de charge (exprimée en « hauteur de fluide ») entre deux points d'une canalisation quelconque parcourue en régime permanent par un fluide incompressible en charge est, pour une même valeur du nombre de Reynolds, indépendante de la nature du fluide transité (eau, huile et même air, dans la mesure où sa compressibilité est négligeable).

La réalisation stricte de l'égalité des nombres de Rey-

nolds conduirait à admettre pour l'écoulement de l'air, toutes choses égales d'ailleurs, des vitesses 10 à 15 fois supérieures à celles prévues pour l'eau, ce qui exigerait, en général, une installation de ventilation trop onéreuse. Mais le coefficient de rugosité  $\lambda$  d'un tronçon de galerie peut être considéré comme constant dans toute l'étendue du régime turbulent rugueux (harpe de Nikuradse); il suffit alors, pour prédéterminer dans ce domaine la perte de charge de la galerie écoulant de l'eau, de réaliser un courant d'air correspondant à un nombre de Reynolds supérieur à la valeur critique  $R'_{C'}$ , donnée par la formule de Moody. On est ainsi conduit à une installation de ventilation tout à fait acceptable pour des essais sur des galeries brutes.

Pour des galeries ou de grandes conduites à revêtement lisse, en raison des fortes valeurs de  $R'_{C'}$  nécessaires, l'installation de ventilation dont on disposera ne pourra souvent fournir qu'un écoulement correspondant au régime de transition entre les régimes lisses et « turbulents rugueux ». On est alors amené à calculer par extrapolation, d'après les diagrammes de Nikuradse ou de Colebrook, la valeur de  $\lambda$ , correspondant à l'écoulement d'eau prévu, d'après la valeur  $\lambda_a$  obtenue expérimentalement pour ce paramètre, lors de l'essai par circulation d'air.

\*\*\*

Pour l'application de la méthode à de grandes galeries, la circulation de l'air est assurée par des ventilateurs axiaux à grand débit. Ce débit et la longueur du secteur de mesure sont choisis de façon à réaliser un nombre de Reynolds convenable et une bonne précision des mesures de pression.

Le débit d'air est mesuré par exploration du champ des vitesses dans une section de jaugeage disposée dans une buse circulaire installée dans l'axe de la galerie. Les vitesses sont mesurées par tube de Pitot, anémomètre ou moulinet hydrométrique spécialement étalonnés. Les relevés de pressions sont effectués par manomètres différentiels inclinés à l'alcool, reliés à des prises de pression statique du type tube de Prandtl.

Le calcul du coefficient  $\lambda$  de la formule universelle nécessite la détermination du rayon hydraulique moyen du secteur de mesure intéressé. A cet effet, on relève le long de ce secteur plusieurs profils en travers au moyen d'un appareil enregistreur dont le principe est analogue à celui des « conformateurs » des chapeliers.

\*\*

Le mémoire décrit ensuite les essais réalisés sur :

1. Diverses galeries d'aménée de l'aménagement du Pouget dans l'Aveyron.
2. La galerie d'adduction de la Rhue dans la retenue de Bort sur la Dordogne;
3. Le canal de fuite souterrain à écoulement libre de l'usine de Peyrat-le-Château sur la Maulde;
4. La galerie d'aménée de l'usine de Pragnères (aménagement de Cap-de-Long);
5. La galerie d'aménée de l'usine de Nentilla (Aude supérieure).

Les résultats obtenus sont toujours dans le sens de la sécurité et ont permis d'éviter le revêtement de longs secteurs de galerie en bon terrain.

Ils ont, en outre, précisé certains points d'une portée plus générale, tels que : la perte de charge afférente à des profils partiellement revêtus, l'influence de courts anneaux bétonnés, disposés comme soutènement dans une galerie brute, etc...

La méthode qui a déjà procuré des économies intéressantes dans l'établissement des galeries d'aménée d'usines hydroélectriques peut s'adapter au contrôle des pertes de charge dans la réception — en usine ou sur le chantier — des conduites d'adduction d'eau, des pipes-lines pour gaz ou pétrole, des pièces spéciales (vannes, bifurcations, etc.).

## Discussion

Sur la demande de M. le Président, M. REMENIERAS précise que des dispositions ont été prises pour pouvoir mesurer — à titre de contrôle — les pertes de charge des galeries ayant fait l'objet des essais par circulation d'air lorsqu'elles seront parcourues par de l'eau en service normal.

M. BLER souligne qu'alors que dans la galerie de Pare-loup la présence d'une voie ferrée reposant sur un radier revêtu entraîne un léger supplément de perte de charge, dans la galerie de Peyrat-le-Château, le revêtement du radier n'a pas entraîné une diminution appréciable de celle-ci. Ce résultat s'explique — ainsi que le confirme M. REMENIERAS — par le fait que, dans ce dernier cas, le radier *avant revêtement*, constitué par de menus déblais bien colmatés enrobant presque complètement la voie ferrée de 0,60 m, était peu rugueux.

M. BLER en déduit qu'il n'y a peut-être pas intérêt à revêtir les radiers des galeries d'aménée à faible vitesse qui ont tendance à se remblayer, alors que le revêtement se justifie pour les radiers des galeries, ou des canaux d'adduction, à écoulement libre et à forte pente : pour ces derniers, en effet, par gros débit, le radier se nettoie de ses dépôts et la rugosité générale du canal est alors augmentée. M. BLER ajoute que de toute façon le revêtement du radier facilite l'entretien de la galerie.

M. REMENIERAS fait observer qu'il n'y a pas lieu de rechercher une très faible rugosité pour le radier revêtu d'une galerie brute, car cette rugosité intervient peu sur les pertes de charge, la turbulence dans l'ensemble de la section étant commandée par l'influence prépondérante des parois demeurées brutes. Le revêtement bétonné lisse du radier ne s'impose donc pas et peut être remplacé économiquement par une sorte de macadam dont la couche supérieure est fixée par un revêtement bitumeux ou un enrobage en mortier de ciment; des trous de drainage doivent être prévus pour éviter le soulèvement éventuel du radier par les sous-pressions, notamment au cours de la vidange de la galerie.

Répondant à une question de M. DUBIN sur la validité des résultats de Nikuradse et de Colebrook, M. REMENIERAS indique que ses expériences corroborent les résultats de Nikuradse dans la zone de l'écoulement turbulent rugueux, mais ne permettent guère de choisir entre la tendance Nikuradse et la tendance Colebrook dans la zone dite de transition; la courbe du coefficient  $\lambda$  est sensiblement parallèle à l'axe des nombres de Reynolds, pour les galeries brutes et tend vers la courbe de Prandtl pour les galeries lisses. Les formules autres que la formule universelle peuvent donner de bons résultats quelle que soit leur forme, pourvu qu'elles reposent sur des essais précis et que l'on ne les applique pas en dehors du domaine exploré par ces derniers, car elles se prêtent généralement mal aux extrapolations.

M. le Président dit que les formules utilisées pour le gaz confirment nettement la tendance Colebrook.

COMMUNICATION DE M. PONSAR

## ÉTUDES RÉCENTES SUR DES SIPHONS ET APPAREILS DÉRIVÉS

Après une brève suspension de séance, la parole est donnée à M. PONSAR, pour la présentation de sa communication, dont on trouvera le texte *in extenso*, pages 144 et suivantes du présent numéro.

M. le Président remercie M. PONSAR de sa très intéressante communication et signale qu'il a eu l'occasion de constater le parfait fonctionnement des appareils d'essai dont M. PONSAR vient d'entretenir le Comité Technique.

La séance est levée à 11 h 45.

## SÉANCE DU MARDI APRÈS-MIDI 25 NOVEMBRE 1952

La séance est ouverte à 14 h 15, sous la présidence de M. MASSÉ, Président de la S.H.F.

COMMUNICATION DE M. PARDE

### LE BOOM RÉCENT DES ÉTUDES HYDROGRAPHIQUES DANS LA FRANCE D'OUTRE-MER

PRÉSENTÉE PAR M. BOYER

#### Résumé

A une époque encore très récente, vers 1940 ou même en 1945, l'hydrologie de la France d'Outre-Mer restait extrêmement mal connue, sauf pour quelques rivières isolées : débit du fleuve Rouge puis de ses affluents, la rivière Claire et la rivière Noire du Tonkin. (*Les crues du fleuve Rouge et la défense du delta du Tonkin contre les inondations*. Annales des Ponts et Chaussées, 1925.)

D'autre part, les études météorologiques, en particulier celles de l'éminent M. DROUIN pour l'Afrique Occidentale, du Père Poisson pour Madagascar, celles des Services Météorologiques de l'Algérie et de l'Indochine, etc., marquaient une large avance sur l'investigation hydrologique.

En quelques années, le retard et l'insuffisance de l'hydrologie coloniale sont devenus, pour diverses régions importantes, modernisation, diligence et véritable abondance, grâce au dynamisme de quelques animateurs cités ci-après :

#### I. — AFRIQUE DU NORD

En Algérie, le Service de la Colonisation et de l'Hydraulique, actuellement dirigé par M. DROUIN, avec MM. GAUTIER et MALLET, fait paraître depuis 1946-1947 par la Section d'Hydrologie et de Climatologie, dirigée par M. MENINGER, de solides *Annuaire hydrologiques*, liant les données météorologiques et les valeurs hydrologiques, et préfacés par des brillants articles sur des sujets hydrométéorologiques. En outre, dès 1948, le même Service a publié un inestimable *Recueil des observations de 1924 à 1946* (même depuis septembre 1912 pour le Hamiz à Fondouk). Enfin *Terres et Eaux*, l'excellente et très belle revue du S.C.I.L., contient çà et là des précisions sur l'hydrométéorologie algérienne.

Citons quelques détails notables qui ressortent de ces études. Comme le montre le tableau ci-après, la plupart des rivières algériennes ont un module médiocre, ou même pitoyable, faute d'abondance pluviale. On trouve des débits moins misérables, ou même honorables dans les petits bassins qui occupent les versants septentrionaux pluvieux de l'Atlas Tellien, en bordure de la mer et une moyenne quelque peu atténuée pour certaines rivières qui viennent de l'Atlas Saharien. On voit quelle est, dans l'ensemble, la pauvreté de l'Algérie en eau, dont ce pays a tant besoin pour son agriculture; et justement l'utilisation rationnelle de ressources aussi chétives nécessite une connaissance approfondie de leur volume et de leur variabilité.

La comparaison instructive que les publications considérées permettent entre les précipitations et les débits fluviaux, a montré que, dans l'ensemble, pour des mêmes valeurs respectives moyennes des pluies et des tempé-

ratures annuelles, le déficit d'écoulement était moins élevé que certains ne l'auraient attendu, d'après les formules établies pour la majeure partie de l'Europe où les pluies surviennent bien plus en saison chaude, époque d'évapotranspiration intense, qu'elles ne le font en Algérie. MM. Ch. MALLET et M. GAUTIER, dans un mémoire de la revue *Travaux* (1947, 27 grandes pages, 11 figures), M. A. COUTAGNE dans un vigoureux et savant article publié au début de l'Annuaire 1947-1948, et M. G. MEDINGER ont élaboré des formules qui visent à spécifier ces relations avec une approximation suffisante.

D'autre part, quelques données sur les transports de boue indiquent que maints cours d'eau algériens ont une turbidité énorme.

Ces charriages très fâcheux parce qu'ils menacent les réservoirs de comblements rapides sont, en vertu d'un processus facilement explicable, assez bien corrélatifs aux plus maigres débits spécifiques précisés plus haut, ceux-ci indiquant, grâce à la faiblesse des pluies, une végétation trop indigente pour protéger contre l'attaque par les eaux ruisselantes, un sol que les longues sécheresses estivales contribuent pour beaucoup à rendre pulvérisant. Mais il va de soi que les transports de matériaux, pour de mêmes précipitations totales, ou de mêmes débits, sont d'autant plus intenses que le sol est plus friable et que les averses peuvent être plus violentes. Et, comme de juste, dans les bassins, à la fois constitués de roches suffisamment dures, et où l'abondance pluviale annuelle crée un bon manteau végétal, les charriages de boues peuvent devenir modérés, ou même assez petits. Ce doit être le cas, en particulier, pour un certain nombre de rivières telliennes.

#### II. — TUNISIE ET MAROC

La Tunisie est très comparable à l'Algérie pour la médiocrité fluviale et pour les ravages érosifs; le Maroc est plus favorisé à ces deux points de vue.

Les études sur les rivières, grâce aux Directions des Travaux Publics, y vont bon train, après y avoir démarré plus tard qu'en Algérie.

En Tunisie, la Direction des Travaux Publics vient de publier un « Recueil d'observations hydrologiques », sorte d'annuaire hydrologique. La Medjerdah, très dangereuse par ses inondations et par ses divagations dans son cours inférieur, est susceptible, pour certaines branches de son réseau supérieur, d'aménagements par retenue pour l'hydroélectricité et les irrigations; la correction de son lit en plaine donne lieu depuis quelques années à des études sur modèle réduit. Puis, M. Claude COLLET, Ingénieur au Service de l'Hydraulique tunisien, organise une quantité de mesures variées. Il compte les utiliser dans un livre qu'il prépare sur l'hydrographie de tout le bassin. Et déjà, un autre Ingénieur de l'Atlas, M. DE MONTMARIN, Chef de l'Arrondissement des Barrages au Service des Grands Travaux, vient de lui fournir un brillant exemple en publiant une monographie des plus satisfaisantes pour le fond comme pour la forme et pour l'illustration, sur deux petits cours d'eau, l'un affluent, et l'autre sous-tributaire de la Medjerdah, à savoir l'*Oued El Lil* et l'*Oued Rhezala* (1952, 98 pages, 8 tableaux numériques, très nombreuses figures). Cet ouvrage vient d'être honoré par le prix annuel de la Société Hydrotechnique de France. On y note qu'à cause d'une forte pluviosité due au relief et au voisinage de la mer, les petites rivières en question ont des modules

spécifiques bien supérieurs (17,6 et 10,4 l/s par km<sup>2</sup>) à ceux de la haute Medjerdah elle-même, 1,45, et surtout de son principal affluent, venu des régions sèches intérieures méridionales, l'oued Mellegue (moins de 0,5). Plus curieuse est l'indication que le sol des deux cours d'eau pourrait absorber respectivement 285 et 275 mm de pluie avant ruissellement, au cas de grande sécheresse préalable. Et pourtant ce terrain, à vrai dire épais de 8 mètres, aurait pour origine l'altération d'une roche mère argileuse, c'est-à-dire extrêmement imperméable, d'après les théories classiques. Autre originalité des mêmes rivières : la turbidité spécifique, ou charge moyenne annuelle en boues par m<sup>3</sup> ne dépasserait point 200 grammes par m<sup>3</sup> pour l'oued El Lil, ni 500 grammes pour le Rhezala, chiffres médiocres en comparaison de ceux que l'on a vus pour certains cours d'eau algériens et de ceux que présentent, d'après des relevés significatifs, le Mellegue et la basse Medjerdah (au moins plusieurs kilos par m<sup>3</sup>). Il faut invoquer, ici, l'œuvre protectrice contre l'érosion d'une assez dense couverture végétale due à la richesse locale en précipitations.

Au Maroc, l'apparition d'un annuaire était récemment considérée comme imminente, par le principal animateur du Service Hydrologique dans ce pays, M. H. ROEDERER. Parmi les études et mesures auxquelles cet ingénieur se dévoue, nous citerons le jaugeage sensationnel d'une grande crue (2.640 m<sup>3</sup>) sur l'Ouergha, à l'Ourtzagh, le 7 février 1951. L'opération, effectuée sur 14 verticales, en toutes profondeurs, avec 98 points pour les prises de vitesse, malgré les obstacles opposés par un courant furieux (jusqu'à 5,56 m à la seconde) comptera dans les annales de l'Hydrométrie française.

### III. — AFRIQUE NOIRE ET TERRITOIRES PLUS LOINTAINS D'OUTRE-MER

#### 1. Publications :

Mais voici des résultats encore plus passionnants peut-être non pour leur intérêt intrinsèque, pas supérieur à celui de l'hydrologie maghrébinne, mais par leur nouveauté et par leur caractère en quelque sorte inattendu.

Indiquons d'abord, par MM. LESGUILLONS et RODIER, une *Monographie Hydrologique du cours supérieur du Niger* (1) (1949, 68 pages polycopiées, 23 planches), puis en deux éditions successives à peu d'intervalle, par M. RODIER, des *Données de base sur les régimes hydrologiques de l'Afrique Noire française* (deuxième édition, 1952, 64 pages polycopiées, nombreuses figures). Cette publication ne doit d'ailleurs point faire oublier le beau livre publié en 1947 par un grand initiateur, M. P. DANAULT, Ingénieur en Chef des Travaux Publics des Colonies, *Régime de quelques cours d'eau d'Afrique Equatoriale et Etude de leur utilisation industrielle* (Paris, Larose, in-8°, 131 p., 68 fig., 18 pl. h.-texte). Et nous aurions scrupule de ne point rendre hommage aux deux gros volumes publiés, il y aura bientôt quarante ans, par le lieutenant-de-vaisseau H. ROUSSILLE, sur ses explorations hydrographiques dans les parties françaises du réseau congolais. Mission hydrologique Congo-Oubangui-Sanga, Paris, 1913.

Parmi les mémoires consacrés à des sujets plus restreints, indiquons une monographie de M. AUVRAY, sur le *Konkouré, petite fleuve côtier guinéen*, puis, en 1952, par MM. BRESSON et BOUCHARDEAU, une *Monographie hydrologique de la Haute-Bénoué*, ouvrages récompensés par des prix de la Société Hydrotechnique de France, mais point encore publiés. J'ai, d'autre part, entre les mains, une étude des *Crues des Mayos du Nord-Cameroun*, par M. A. BOUCHARDEAU (1951, polycopié, 32 pages, 7 planches).

Et nous en viendrons à une publication d'ensemble, fondamentale, en présentant l'*Annuaire Hydrologique de*

la France d'Outre-Mer, édité par l'O.R.S.O.M., avec le concours de l'E.D.F. et de la S.H.F. L'Annuaire de 1950 comprend 158 pages (139 pour le tome précédent). Les chiffres sont donnés pour 28 stations de jaugeages, dont 16 africaines, 3 pour Madagascar (l'Ikopa, la Varahina-Sud et la Mandraka à l'issue de très petites surfaces), puis pour une de la Réunion (rivière Langevin), une de la Guadeloupe (le Grand-Carbet) et une de l'Indochine (le Da-Nhim). Par sa conception générale, cet ouvrage de premier ordre ressemble à l'Annuaire Hydrologique de la France, avec plus de renseignements sur les facteurs du régime, et plus de place aussi pour les textes scientifiques au début de l'ouvrage (47 pages pour le fascicule 1950), sans compter 20 pages d'excellents tableaux et de cartes pour l'énumération et certaines caractéristiques de toutes les stations hydrométriques existant ou ayant existé dans la France d'Outre-Mer, outre celles pour lesquelles on publie les résultats. Pour chaque poste, on spécifie la longitude, la latitude, et l'altitude de l'échelle, puis différentes valeurs sur l'hyposométrie du bassin, quelques indications sommaires sur la nature du sol, ou tout au moins des roches-mères, sur les zones de végétation, sur la largeur, le matériel et la stabilité du lit au droit de l'échelle, sur le nombre et l'échelonnement des jaugeages, et sur le degré d'exactitude de ces expériences. En outre, innovation de la plus haute valeur, une carte du bassin à l'amont, porte les lignes d'égales intensités de pluie pour l'année en question.

On soulignera encore mieux la valeur éminente de cette publication en signalant les captivants mémoires par lesquels débute le fascicule de 1950 :

1° Activité du Service Hydrologique de l'O.R.S.O.M. (9 pages non signées) ;

2° Etude de l'alimentation des nappes souterraines de la Réunion, par M. Pierre TOUCHEBEUR DE LUSIGNY (14 pages, 3 figures) ;

3° Caractéristiques hydrologiques de l'année 1950 dans les Territoires et les Départements d'Outre-Mer, par Jean RODIER et Gilbert MARIN (15 pages remarquablement substantielles, consciencieuses et sagaces).

#### 2. Quelques phénomènes révélés par ces études :

Le fait primordial, d'après les données actuellement retenues est que dans les régions tropicales, d'altitude modérées, le déficit annuel d'écoulement pourrait atteindre et dépasser 1.400 mm, même 1.450, pour 2.000 mm et plus de précipitations, alors qu'on estimait plutôt jusqu'alors son plafond à quelque 1.300 mm. Ce dépassement aurait lieu surtout pour les régimes *tropicaux de transition*, d'après le classement judicieux de M. RODIER, ces régimes correspondant à une saison pluvieuse de 5 à 6 mois, dont la longueur favorise l'œuvre de l'évaporation. Cependant sous le climat *équatorial*, qui connaît des pluies bien plus durables encore, cette tendance serait plus que compensée par la persistance d'une humidité très forte, donc par la saturation de l'atmosphère pendant presque toute l'année. Il ne serait alors pas impossible que, pour ces régimes, les plafonds du déficit annuel d'une longue période ne dépassent point 1.300 ou même 1.250 mm.

Des indices de 1.160, pour le Haut-Niger et pour le Sanaga, fleuve du Cameroun, sont à peu près conformes aux valeurs attendues et correspondent logiquement à des précipitations plus faibles (1.525 et 1.600 mm), sous un régime tropical mixte, avec pluies un peu moins persistantes que dans la sous-catégorie de transition. Mais bien entendu et comme nous l'avons rappelé à propos du Maghreb, toutes choses égales, d'ailleurs, le déficit est influencé par la végétation et par la nature du sol et du sous-sol. Nous posons depuis longtemps comme règle probablement exacte que lorsque que le sol est perméable sur une grande profondeur, le déficit se réduit dans de larges proportions. Il semble qu'on trouve une

1. Rappelons sur ce fleuve des études précédentes de M. V. FROLOW.

confirmation éclatante de plus à cette théorie dans le bilan annuel de la Djoué, affluent du Congo inférieur, à savoir 800 mm au lieu de 1.250 attendus pour 1.645 mm de pluies. C'est que la Djoué draine une épaisseur énorme de grès décomposés en sables où les eaux pluviales, rapidement infiltrées, se mettent en réserve comme dans une colossale éponge et sont ainsi soustraites à l'évaporation. Ce phénomène a pour conséquence (on dirait aussi bien pour corollaire), des débits si étonnamment avantageux et soutenus lors des sécheresses, que même pour les bassins calcaires ou basaltiques les plus favorables aux emmagasinsements souterrains avec restitution lente, nous ne connaissons pas dans le monde d'étiages relativement plus fort (77 % du débit moyen annuel de 2 ans pour le minimum de la Djoué! (1). En revanche, des climats avec pluies bien moins persistantes et sols mal doués pour la rétention rendent très faibles, voire très voisins de zéro, ou même nuls, les maigres d'autres rivières de l'Afrique Noire.

En ce qui concerne les étiages caractéristiques (10 jours par an), et les crues, le Niger, à Koulikoro, tombe à 0,31 l/s par km<sup>2</sup> (crue : 10.000 m<sup>3</sup>), contre 17 ou 18 pour la Djoué, 0,03 pour le Sénégal au Félou, bien près de 0 sur le même fleuve à Bakel (crue maximum jaugée 7.000 m<sup>3</sup>), 0,09 pour la Bénoué à Riao (crue : 1.681 m<sup>3</sup>); mais on relève encore 5,5 pour la Sanaga, 16,6 pour l'Oubangui. En corrélation avec ces pénuries et aussi avec les crues, le rapport des moyennes mensuelles extrêmes d'une longue période peut varier du tout au tout. Il atteint 1,4 sur « l'introuvable » Djoué; mais 11,2 sur l'Oubangui, 13,2 sur la Sanaga, 84 sur le Niger à Koulikoro, 620 pour le Sénégal à Bakel.

Les crues roulent, certes, des débits maxima assez gros, mais bien moins exorbitants, à surfaces réceptrices égales, que pour une foule de rivières méditerranéennes,

1. Même proportion pour le minimum connu de la Métolius, dans les basaltes à l'est des Monts des Cascades des Etats-Unis.

nord-américaines, et de l'Asie des moussons. Cette heureuse infériorité semble la plus sensible pour les bassins d'étendues médiocres ou faibles (moins de 5.000, de 1.000, de 100 km<sup>2</sup>). Elle tient à un fait qui demande confirmation, mais semble d'ores et déjà établi : les fameuses tornades ou orages de l'Afrique Noire déverseraient des pluies bien moins intenses et bien plus étroitement localisées que maints « cloudbursts » ou « nubifragii » des zones plus haut indiquées.

Selon l'abondance pluviale et le déficit d'écoulement, les débits moyens annuels spécifiques sont très variés quoique bien moins que les valeurs en litres/secondes par km<sup>2</sup> pour les étiages. On trouve, par exemple 3,8 (710 m<sup>3</sup>) pour le Sénégal à Bakel, 8,5 pour l'Oubangui (4.230 m<sup>3</sup>), 12,3 pour le Niger à Koulikoro (1.480 m<sup>3</sup>), 16 pour la Sanaga à Edéa (2.170 m<sup>3</sup>), 22 pour la Konkouré et pour la Djoué. Mais à la Guadeloupe, de juillet 1950 à juin 1951, le Grand-Carbet a débité 150 l/s, pour chacun de ses 11,8 km<sup>2</sup>.

Nous voulons enfin mentionner avec honneur les conclusions de M. Pierre TOUCHEBET DE LISIGNY, sur l'alimentation des nappes souterraines de la Réunion, pays avant tout basaltique et donc très perméable. D'après les évaluations en grande partie théoriques, mais très bien raisonnées de cet auteur, pour 2.800 mm de pluies reçues en année moyenne par l'île sur 2.510 km<sup>2</sup>, le déficit d'écoulement réel ne dépasse point 775 mm, le ruissellement immédiat n'utilise que 475 mm, l'infiltration globale absorbe 1.350 mm, dont un quart seulement, soit 390 mm, après avoir pénétré dans les nappes souterraines « perchées » rejoint les lits fluviaux avant les embouchures, ce qui implique un débit total à l'air libre de 475+390=865 mm, et un coefficient d'écoulement apparent de 30 % seulement. Malgré la remarquable abondance de la pluie, 75 % des eaux d'infiltration, soit en gros 1.160 mm, sont recueillies par les nappes de bases qui se vident directement dans la mer et qu'on ne peut utiliser que par captation dans le sous-sol, avec ou sans pompes.

TABLEAU

N° DES STATIONS	DÉBITS MÉDIOGRES	MODULE l/s km <sup>2</sup>	SUPERFICIE B.V. km <sup>2</sup>	TRANSPORTS SOLIDES p/m <sup>3</sup> d'eau et par an en kg
1	Tafna à Beni-Bahdel .....	2,70	1.860	
3	<i>Meffrouch à Tlemcen .....</i>	<i>8 à 10</i>	<i>90</i>	
4	Ysser à Montagnac .....	< 3		
5 bis	Mekerra à Chanzy .....	0,5	1.850	
6	Mekerra à Sidi-Bel-Abbès .....	0,5	3.050	
7	Mekerra au barrage des Cheurfas .....	< 0,5	4.150	7 à 15
8	Hamman, Bou-Haniffa .....	0,5	7.854	
11	Oued El Abid à Uzès-le-Duc .....	1	2.400	
13	Oued Mina à Bakhadda .....	< 2	1.300	
14	Chélif à Pontéba .....	0,55	29.250	
15	Fodda à Lamartine .....	> 3		
18	<i>Mazafran à Pont du Fer-à-Cheval .....</i>	<i>4,91</i>	<i>1.150</i>	
20	<i>Oued Hamiz au barrage .....</i>	<i>11,3</i>	<i>139</i>	
21	Isser à Tablat .....	11,3	466	
24	<i>Sébaou (oued Aïssi) .....</i>			20
25	Ksob à son barrage .....	1,4	1.310	13
28	Oued Abiod — Foum el Gherza .....	0,5	1.300	
31	<i>Guïess au barrage .....</i>	<i>2</i>	<i>156</i>	
35	Seybouse à Boudaroua .....	1,5	5.488	

NOTA. — Les stations et chiffres en italiques correspondent aux rivières bien alimentées.

### Discussion

M. le Président souligne l'enthousiasme particulièrement fondé de M. PARDÉ pour les travaux hydrologiques accomplis depuis quelques années dans la France d'Outre-Mer.

M. RODIER rappelle que ces travaux ont été entrepris sous l'impulsion de la Direction des Travaux Publics de la France d'Outre-Mer, qui a mis les crédits nécessaires à la disposition d'O.R.S.O.M. et d'E.D.F.

M. RODIER donne quelques résultats complémentaires obtenus par son Service depuis la publication des données sur lesquelles s'appuie M. PARDÉ.

#### 1° Crues :

En Afrique Noire, les débits spécifiques de l'ordre de 60 l/s/km<sup>2</sup> pour la crue annuelle et de 80 l/s/km<sup>2</sup> pour la crue trentenaire, sont à peu près homogènes pour les bassins versants compris entre 4.000 et 100.000 km<sup>2</sup> (par exemple, le Niger), mais peuvent dépasser ces chiffres pour de petits bassins, et atteindre 1 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> pour des crues périodiques de 4 ou 5 ans sur des bassins de l'ordre de 50 km<sup>2</sup>, comme cela s'est produit récemment au Cameroun et en Guinée. Ces débits de crue correspondent sensiblement aux régimes du Massif Central et des Pyrénées, mais sont très loin du régime méditerranéen.

Par contre, les mêmes valeurs sont en moyenne de 300 l/s/km<sup>2</sup> à Madagascar — chiffre dépassé largement sur la côte est, sujette aux cyclones — et atteignent des maxima de 30 et même 50 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> aux Antilles et surtout à la Réunion, chiffres comparables à ceux de la catastrophe d'Amélie-les-Bains, en octobre 1940.

D'une manière générale, ces débits de crue sont fonction du relief et de la végétation, et ces considérations ne doivent pas être perdues de vue par les utilisateurs qui seraient tentés d'extrapoler les résultats obtenus sur le Niger où le Niaouan a de très petits bassins.

#### 2° Déficit d'écoulement :

Les résultats donnés par M. PARDÉ se confirment sensiblement à savoir : croissance des déficits d'écoulement depuis le désert jusqu'au régime tropical de transition, où l'on frise les 1.400 mm par an, puis décroissance vers la zone équatoriale où il semble que le minimum soit fixé vers 500 ou 600 mm.

#### 3° Annuaire 1951 :

Cet Annuaire laisse beaucoup moins de lacunes que les précédents, notamment pour Madagascar qui y figure avec 9 stations groupées sur les Hauts-Plateaux, sur la Montagne d'Ambre et suivant les côtes sud et sud-ouest, jusque vers la région de Moroudarra.

### COMMUNICATION DE M. SERRA

#### LA MESURE CORRECTE DES PRÉCIPITATIONS

Le mémoire de M. SERRA et la discussion ayant suivi son exposé sont publiés pages 152 et suivantes du présent numéro.

### COMMUNICATION DE M. FERRY

#### QUATRE ANS D'UTILISATION DES MÉTHODES STATISTIQUES POUR LA PRÉVISION DES APPORTS DE PRINTEMPS ET D'ÉTÉ DANS LES RÉSERVOIRS DE MONTAGNE D'E.D.F.

#### Résumé

Le principe de la méthode de prévisions et les premiers résultats relatifs à l'année 1949 ont été présentés par M. FERRY au Comité Technique, respectivement les 8 mars

et 7 décembre 1949 et publiés dans *Mémoires et Travaux*, dans les numéros et aux pages ci-après :

Année 1949. — N° 1, pages 30 et 31 : *Les méthodes d'estimation de Penneigement*.

Année 1950. — N° 1, pages 78 à 86 : *Sur les essais de prévision des apports de printemps et d'été 1949 dans certains réservoirs*.

Dans la présente communication, M. FERRY rappelle d'abord le problème : calcul des probabilités des apports globaux résultant de la corrélation entre l'écoulement à prévoir et la valeur représentative des réserves naturelles en eau (solides et liquides) connues au moment de la prévision.

Cette valeur représentative est exprimée, soit par les précipitations d'hiver sur le bassin, soit par la différence entre ces précipitations et l'écoulement au cours de la même période, soit pour certains bassins et vers la fin de la fusion par l'écoulement au cours d'une courte période précédant la date de la prévision.

Suivent des études critiques :

- De la sélection des stations pluviométriques ;
- De la pondération des données de ces stations ;
- Du choix de la valeur représentative des réserves précitées.

Des tableaux montrent le développement progressif des prévisions émises de 1949 à 1952 : ces prévisions ont touché 18 bassins et une valeur énergétique de l'eau accumulée qui représente 80 % du total emmagasiné dans l'ensemble des Pyrénées et des Alpes. Un graphique montre d'autre part, l'extension des périodes couvertes par les prévisions d'apport, qui ne se bornent pas toutes au 31 août, bien que cette date soit particulièrement importante pour l'exploitation des réservoirs.

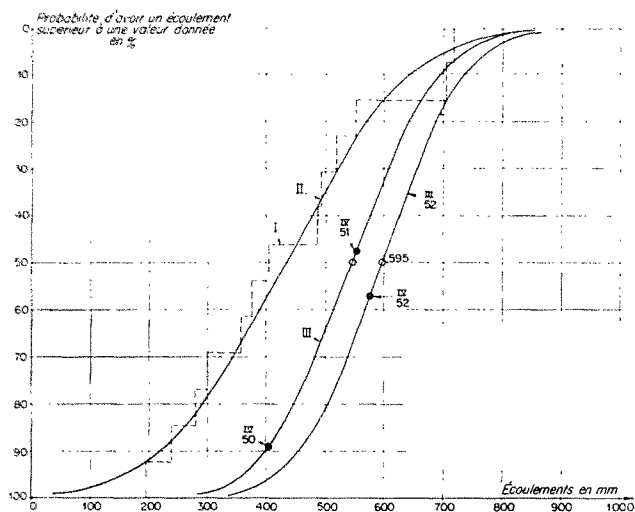
Enfin les résultats de la prévision et leur comparaison avec les apports effectifs sont consignés pour les années 1949 à 1952 dans deux tableaux, l'un pour les Alpes, l'autre pour les Pyrénées et représentés par cinq graphiques intéressant respectivement trois bassins alpestres : la Bissorte, la Romanche et le Drac au Sautet, pour les 4 années 1949 à 1952, et 2 bassins pyrénéens pour les 3 années 1950, 1951 et 1952 : Caillaouas et Puyvalador. Sur 43 prévisions, 8 seulement, dont 2 très douteuses *a priori*, s'écartent de la valeur centrale de plus de 1.6 fois l'écart-type lié, ayant servi au calcul.

Nous renvoyons pour le mémoire *in extenso*, et notamment pour l'examen détaillé de la plupart de ces tableaux et graphiques, à la remarquable étude présentée par l'auteur à l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (Rome, 15-23 septembre 1952) et publiée par l'Unipède, 12, place des Etats-Unis, à Paris (16<sup>e</sup>). Cette étude est, toutefois, limitée aux résultats des années 1949, 1950 et 1951, et donne, pour les Pyrénées, le graphique du bassin d'Artouste au lieu de Puyvalador. Nous reproduisons ci-après ce dernier à titre d'exemple, et pour montrer comment se placent les prévisions faites en 1952 vis-à-vis des précédentes.

### Discussion

M. le Président remercie M. FERRY et souligne l'intérêt des prévisions des apports, qui revalorisent l'équipement hydraulique, dont un des handicaps est l'incertitude des débits.

En réponse à deux questions de M. MOBLAT sur l'influence *a posteriori* des précipitations d'été et du degré de fusion, M. FERRY indique que les écarts constatés pour les bassins de haute montagne, notamment en 1950 et 1951, ne présentent qu'une corrélation assez faible avec les précipitations d'été. D'autre part, la fusion est généralement complète pour les bassins nivaux : quant aux bassins glaciaires, comme la Romanche, il s'y produit une certaine compensation entre les précipitations d'été et la fusion glaciaire. De telle sorte qu'en général, la



I. — Distribution des écoulements effectivement observés pendant les 13 années de référence.

II. — Distribution de Gauss ajustée à la distribution réelle.

III. — Distribution résultant de la corrélation entre E et II et d'après lesquelles ont été établies les prévisions pour les périodes 1<sup>er</sup> avril-31 août 1950, 1951 et 1952.

IV, 50. — Apports effectifs en 1950 : 405 mm.

IV, 51. — Apports effectifs en 1951 : 553 mm.

IV, 52. — Apports effectifs en 1952 : 578 mm.

NOTA. — Les prévisions faites le 1<sup>er</sup> avril 1950 et 1951 conduisent à des valeurs très voisines pour les apports les plus probables.

1950 : 543 mm

1951 : 546 mm

Les distributions III, 50 et III, 51 étant également très voisines, il n'a été représenté qu'une seule courbe.

prise en compte de ces facteurs secondaires, s'ils étaient connus au moment de la prévision, n'apporterait guère d'amélioration à la corrélation. Les écarts systématiques, affectant dans le même sens une série de bassins pour une année donnée, paraissent provenir plutôt de phénomènes physiques complexes postérieurs à la date de la

prévision, telle l'évaporation, ou d'imperfections dans la représentation du stock par l'une ou l'autre des formules employées.

M. LUGIEZ confirme la réponse de M. FERRY, en accordant toutefois une certaine influence aux précipitations d'été dans les bassins d'altitude moyenne plus faible, par exemple le Drac et Puyvalador.

M. FERRY précise que pour le Drac, le coefficient de corrélation passe de 0,7 à 0,9 si l'on tient compte des pluies d'été.

En réponse à M. le Président, qui lui demande ses impressions sur les perspectives d'amélioration de ces prévisions déjà fort intéressantes, M. FERRY indique que, pour les bassins à faible altitude, comme le Drac, il a peu d'espoir de réduire dans la dispersion la part prépondérante due aux précipitations d'été parce que celles-ci sont et seront sans doute longtemps encore inconnues au moment de la prévision. Les tentatives pour réduire les autres écarts dans l'étude de ce bassin, par une évaluation plus précise des réserves neigeuses et du stock liquide au début de l'hiver ont, par ailleurs, échoué jusqu'à présent. Par contre, pour les bassins de haute montagne, M. FERRY espère pouvoir améliorer les prévisions par une représentation plus exacte des précipitations et du stock de neige sur le bassin, grâce à l'installation de stations pluviométriques plus caractéristiques, à l'amélioration des mesures nivométriques, notamment par les mesures directes d'enneigement; l'effet de ces améliorations techniques est, naturellement, plus ou moins lointain.

#### COMMUNICATION DE M. CAPPUS

#### LE CALCUL DES CRUES PAR LES HYDROGRAMMES UNITAIRES (ALRANCE)

Le mémoire de M. CAPPUS et la discussion ayant suivi son exposé sont publiés pages 159 et suivantes du présent numéro.

Avant de lever la séance, M. le Président Massé a remercié en quelques mots les assistants d'être venus aussi nombreux et de l'intérêt qu'ils ont témoigné aux questions hydrologiques.

### SÉANCE DU MERCREDI MATIN 26 NOVEMBRE 1952

La séance est ouverte à 9 heures, sous la présidence de M. Paul BERGERON, Vice-Président de la Section « Machines ».

#### COMMUNICATION DE M. ROBERT DURAND

#### ÉCOULEMENTS DE MIXTURE EN CONDUITES VERTICALES - INFLUENCE DE LA DENSITÉ DES MATÉRIAUX SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE REFOULEMENT EN CONDUITE HORIZONTALE

##### Résumé

Nous présenterons ici divers résultats relatifs à l'écoulement des mixtures en conduite, obtenus pendant les derniers mois dans le cadre de l'étude actuellement en

cours au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique pour le compte du Service Maritime des Ponts et Chaussées de la Loire-Inférieure.

#### I. — ÉCOULEMENTS EN CONDUITE VERTICALE.

Nous avons étudié simultanément l'écoulement ascendant et descendant en conduite de 150 mm de diamètre sur l'installation expérimentale de refoulement correspondante dont la description générale a été donnée dans une précédente communication.

Nous avons inséré sur le circuit le dispositif schématisé par la figure 1. Sur chaque branche du « col de cygne » ainsi réalisé, nous avons procédé aux mesures des pertes de charge sur un tronçon de mesure de 2,5 m de longueur, situé à environ 4,5 m des coudes amont et à 3,1 m des coudes aval. La hauteur du « col de cygne » était, au total, d'une dizaine de mètres.

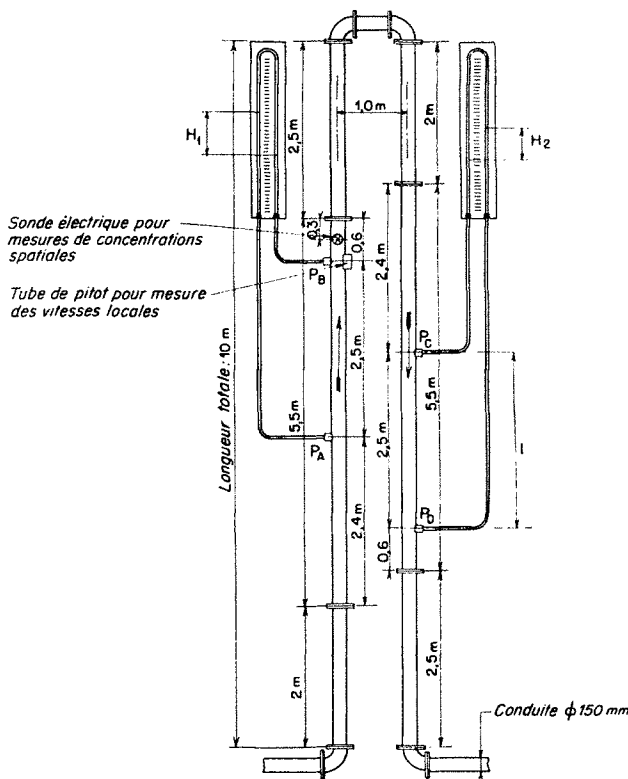


FIG. 1. — Etude des écoulements de mixture en conduites verticales.

Valeur des pertes de charge

Les pressions  $p_A$  et  $p_B$  données par les prises de pression sont transmises au manomètre différentiel par des tubes de liaison remplis d'eau claire. La dénivelée  $H$  lue au manomètre différentiel est donc égale à :

$$H = \frac{p_A - p_B}{\rho g} - l$$

( $\rho$  étant la masse spécifique de l'eau et  $l$  la distance entre prises de pression).

On peut considérer que la différence de pression lue au manomètre différentiel résulte de deux effets différents :

- L'influence directe de la densité de mixture  $\delta$  sur la distance  $l$  entre prises de pression;
- Les pertes de charge proprement dites  $\Delta h$ .

On a pour l'écoulement ascendant :

$$H_1 = \frac{p_A - p_B}{\rho g} - l = (\delta - 1) l + \Delta h_1$$

et pour l'écoulement descendant :

$$H_2 = \frac{p_B - p_C}{\rho g} - l = (\delta - 1) l - \Delta h_2$$

Nous avons constaté que pratiquement pour les écoulements en mixture aux vitesses étudiées :

$$H_1 + H_2 = 2 (\delta - 1) l$$

Il s'en suit que  $\Delta h_1 = \Delta h_2 = \Delta h$ .

On aura donc également  $H_1 - H_2 = 2 \Delta h$ .

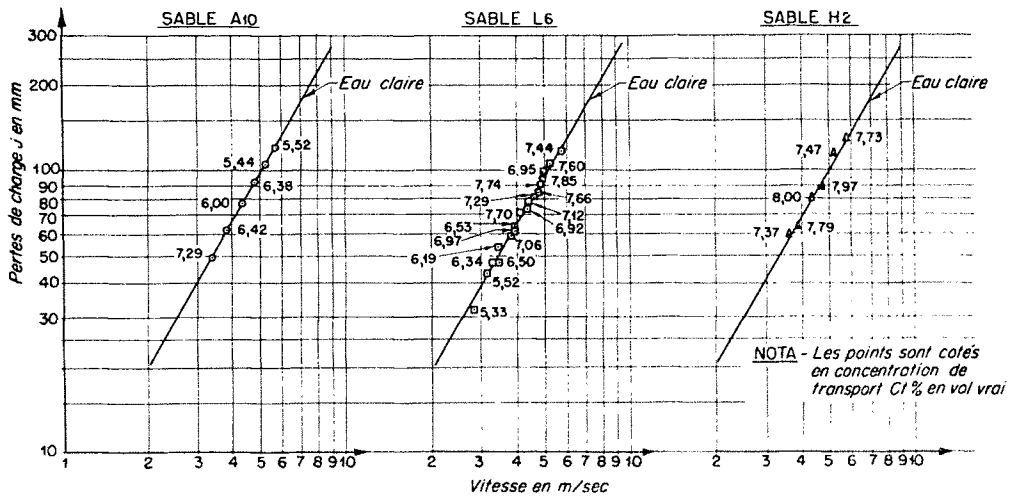


FIG. 2. — Perte de charge en mixtures avec différents sables pour des conduites  $\varnothing$  150 mm à écoulement ascendant et descendant.

Les pertes de charge en eau claire ont été mesurées pour les deux conduites montante et descendante et contrôlées après chaque série d'essais. Les valeurs sur les deux tronçons de mesure demeurent très voisines au cours des essais en mixture malgré une faible diminution de la valeur moyenne par décapage des parois par le sable.

Les essais en mixture ont été effectués avec trois catégories de sables tamisés, caractéristiques des trois classes de matériaux formant des mixtures hétérogènes. Les dia-

mètres moyens (moyenne des vides de maille des tamis) sont les suivants :

$$H_2 = 0,18 \text{ mm}; L_6 = 1,00 \text{ mm}; A_{10} = 4,36 \text{ mm}$$

Pour ces trois catégories de matériaux, nous avons trouvé que le gradient de pertes de charge  $J = \Delta h/l$  demeurait pratiquement le même qu'en eau claire (fig. 2), qu'il s'agisse de sables ou de graviers.

Nous avons antérieurement exécuté des essais ana-

logues sur une conduite de 40 mm de diamètre et nous avons obtenu les mêmes résultats. Nous avons cependant remarqué que pour les mixtures formées en mélangeant à l'eau des éléments très fins de diamètre inférieur à 50 microns (argiles, vases, limons fins), la densité de mixture intervenait également dans la valeur des pertes de charge proprement dites. On avait alors :

$$H = \frac{P_A - P_B}{\rho g} - l = (\delta - 1) l + \Delta h \times \delta$$

Il semble que la densité de mixture intervienne également directement dans la valeur des pertes de charge pour les mixtures argilo-sableuses à très forte concentration utilisées pour le remblayage des mines (1.200 à 1.400 gr/l).

Nous retrouvons ainsi la distinction que nous avons déjà signalée entre mixtures homogènes et mixtures hétérogènes.

On peut déduire du résultat que nous venons d'exposer un excellent procédé pour la mesure de la concentration de transport qui fera l'objet d'un article dans *la Houille Blanche*.

Nous noterons encore que le même résultat était connu pour le transport pneumatique depuis 1924 (CRAMP et PRIESTLEY).

Il faut bien remarquer que ces résultats ne sont va-

lables que dans la limite de nos conditions d'essais, c'est-à-dire pour des vitesses supérieures ou égales à la vitesse de formation du dépôt dans une conduite horizontale, et pour des matériaux de diamètre inférieur au 1/3 de celui de la conduite de refoulement (condition de non-coincement pour les forts débits solides).

Les calculs de M. WORSTER, du B.H.R.A., exposés récemment au Colloquium de Londres du N.C.B., montrent bien que lorsque la vitesse de l'écoulement est grande relativement à la vitesse de chute des matériaux, leur présence a peu d'influence sur les caractéristiques de refoulement.

#### Répartition des concentrations et des vitesses

Les mesures de concentration (effectuées avec une sonde électrique) suivant un diamètre de la conduite montrent que la répartition des concentrations est sensiblement uniforme dans toute la section de la conduite (fig. 3).

Les mesures locales de vitesse (effectuées avec une prise de pression de 2 mm de diamètre) montrent que la présence de matériaux dans une conduite verticale ne modifie pratiquement pas la répartition des vitesses pour les trois catégories de matériaux étudiés.

Nous donnons également les courbes de vitesses définitives rapportées à la vitesse moyenne de l'écoulement.

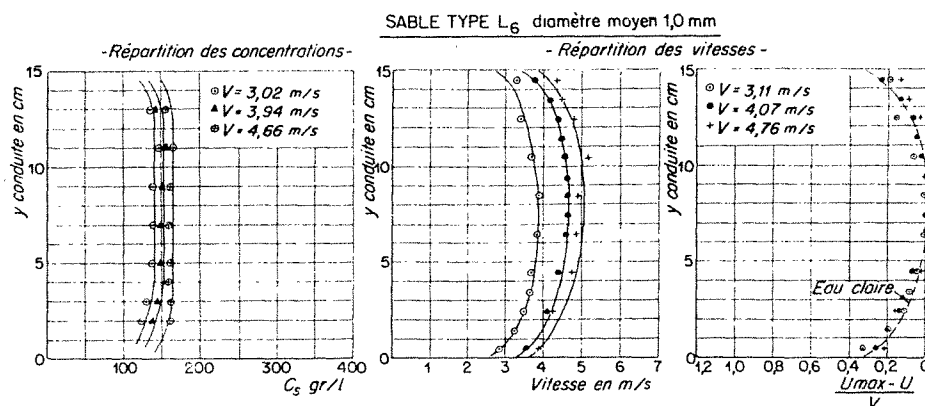


FIG. 3.

Il faut remarquer qu'en eau claire, la courbe de distribution de vitesses n'était pas exactement symétrique. Cette dissymétrie doit être attribuée, croyons-nous, à un effet résiduaire des courants secondaires dus au coude situé à l'amont de la section de mesure. La courbe obtenue en eau claire est indiquée sur la figure par une ligne en tirets.

#### Intérêt des résultats obtenus en conduite verticale

Les essais en conduite verticale montrent clairement les deux faits suivants, parallèlement à ce que nous avons obtenu en conduite horizontale.

- Il importe de distinguer les mixtures homogènes des mixtures hétérogènes;
- Pour les mixtures hétérogènes les pertes de charge ne sont majorées que dans la mesure où les courbes de distribution de vitesse sont modifiées.

#### Mixture homogènes et hétérogènes

En conduite verticale comme en conduite horizontale, les mixtures formées avec des grains très fins (de diamètre inférieur à 50 microns) donnent des pertes de charge égales à celles de l'eau claire, à condition de les exprimer en hauteur de mixture, c'est-à-dire, compte tenu de la densité de mixture. De même, pour une même valeur des nombres de Reynolds dans la même conduite,

les pertes de charge auront la même valeur exprimées en hauteur de fluide, qu'il s'agisse d'air, d'eau ou de mercure. Ainsi les mixtures que nous appelons homogènes constituent des liquides simples pour lesquels la densité moyenne a une valeur physique. En régime d'écoulement turbulent, une mixture homogène s'identifie à un liquide simple de densité différente. En régime d'écoulement laminaire, l'apparition de propriétés plastiques complique le problème. Il faut alors faire appel aux notions de résistance limite et de coefficient de plasticité dont les valeurs sont d'ailleurs aisément mesurables.

Au contraire, pour des grains suffisamment gros (limons grossiers, sables, graviers), le mélange demeure toujours hétérogène, à condition de ne pas avoir des concentrations exagérées (par exemple moins de 40 % en volume vrai). Quel que soit le degré d'agitation turbulente, les pertes de charge tendent vers leur valeur en eau claire aussi bien en conduite horizontale que verticale. La valeur moyenne de la densité du mélange ne présente plus le même intérêt. Elle n'intervient que dans le sens des déplacements verticaux pour le calcul de l'énergie de position ou dans les cas où le théorème des quantités de mouvement est applicable à l'ensemble du mélange. Ainsi, nous avons vu qu'en conduite verticale, la densité de mixture intervient pour le calcul de la différence de pression entre deux prises. Mais

l'énergie correspondante est une énergie de position que l'on peut récupérer, par exemple à la descente. C'est ce que nous avons vu lorsque nous avons signalé que :

$$H_1 - H_2 = 2 \Delta h$$

*Importance des gradients de vitesse locale*

Dans le domaine des mixtures hétérogènes et dans la mesure où le champ de forces extérieures que constitue la gravité n'a pas d'influence pratique sur l'écoulement, les pertes de charge et la distribution des vitesses ne sont pratiquement pas modifiées par la présence des matériaux. On peut dire encore :

- a) En conduite verticale, la répartition des concentrations est uniforme, et répartition des vitesses et pertes de charge demeurent alors les mêmes qu'en eau;
- b) En conduite horizontale, à grande vitesse, pour des sables, la répartition des vitesses tend également à devenir la même qu'en eau claire en même temps que les pertes de charge tendent vers celles de l'eau claire.

Nous tirerons de ces résultats, deux conclusions :

- La présence de grains solides même dans de fortes proportions et même s'il s'agit de graviers ne modifie pas de façon appréciable les effets de la turbulence et conserve inchangée la loi universelle de distribution de vitesses de Prandtl;
- La majoration de pertes de charge due à la présence des grains sous l'effet de la gravité se produit lorsque cette dernière crée une dissymétrie notable dans l'écoulement. C'est le cas en conduite horizontale aux vitesses relativement faibles. Cette dissymétrie s'accompagne nécessairement d'une augmentation des gradients de vitesse transversaux et par suite d'une augmentation de la valeur des pertes de charge.

II. — INFLUENCE DE LA RUGOSITÉ SUR LA VALEUR DES PERTES DE CHARGE EN MIXTURES HÉTÉROGÈNES EN CONDUITE HORIZONTALE POUR LES RÉGIMES D'ÉCOULEMENT SANS DÉPÔT

Nous avons noté antérieurement que, si  $J_c$  est la perte de charge en eau dans une conduite horizontale à la vitesse  $V$  et  $J$ , la perte de charge en mixture à la concentration  $C$  à la même vitesse, on trouvait empiriquement entre ces variables l'une ou l'autre des deux relations suivantes :

$$J - J_c = K C \text{ ou } \frac{J - J_c}{J_c} = \varphi \times C$$

Nos essais ne nous permettaient pas de conclure de façon certaine entre ces deux formes. Une circonstance fortuite nous a permis de lever dans une certaine mesure cette incertitude.

Nous avons pensé que le tronçon de conduite situé immédiatement à l'avant de la pompe de circulation de la mixture en conduite  $\varnothing$  150 mm devait être particulièrement lissé sous l'effet de l'écoulement torsadé créé par la volute de la pompe et le coude à 90° situé à sa sortie. Nous avons placé cet élément sur l'alignement droit destiné aux mesures et nous avons constaté des pertes de charge anormalement élevées. Après vérification et démontage, l'état de surface intérieur de la conduite s'est révélé parfaitement poli, mais les perturbations dues à la pompe et au coude avaient créé une série de rainures *a priori* peu importantes mais constituant dans l'ensemble une rugosité ondulée caractéristique. L'effet de telles rugosités est réputé comme déplorable quoique mal connu. La figure 4 montre l'importance pratique de cette ondulation.

Nous avons alors disposé cette conduite en série avec une conduite voisine du lisse pour vérifier la validité de la variable  $\varphi$ . L'emploi de cette variable s'est avéré satisfaisant pour les différents matériaux étudiés (fig. 4 et 5).

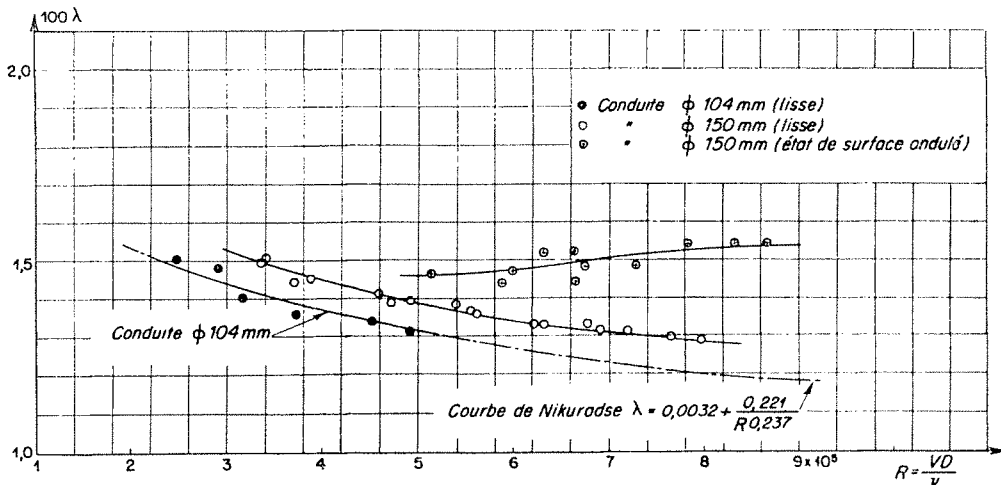


FIG. 4. — Comparaison des rugosités pour différentes conduites d'essais.

Il nous semble que ces résultats justifient d'une façon pratiquement satisfaisante, l'emploi de la relation :

$$\frac{J - J_c}{J_c} = \varphi \times C$$

III. — INFLUENCE DE LA DENSITÉ DES MATÉRIAUX

Pour étudier l'influence de la densité des matériaux sur la valeur des pertes de charge, nous avons étudié sur notre conduite de 40 mm les matériaux suivants (fig. 6) :

- Corindon -- densité 3,95; forme des grains assez régulière;
  - Matière plastique -- densité 1,50; il s'agit de déchets de matières plastiques dénommés « pollopas » et couramment utilisés dans notre laboratoire pour les essais de modèles à fond mobile. Les formes des grains sont fréquemment irrégulières.
- Ces matériaux ont été tamisés en plusieurs catégories avec les tamis utilisés pour la préparation des sables. Le coefficient  $\varphi$  est indépendant de la densité  $\delta$  du matériau pour un même valeur du rapport  $V/\sqrt{\delta - \delta - T}$ .

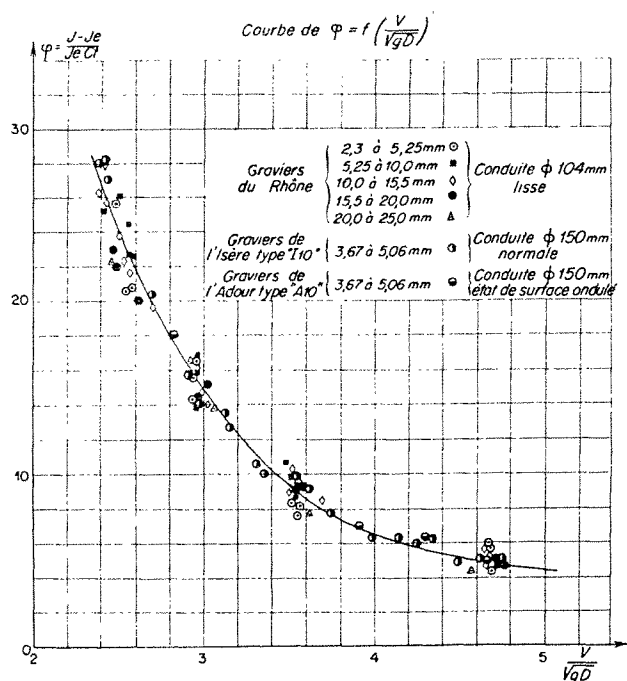


FIG. 5. — Influence de la rugosité des conduites sur les pertes de charge en mixtures pour des matériaux de la 3<sup>e</sup> classe.

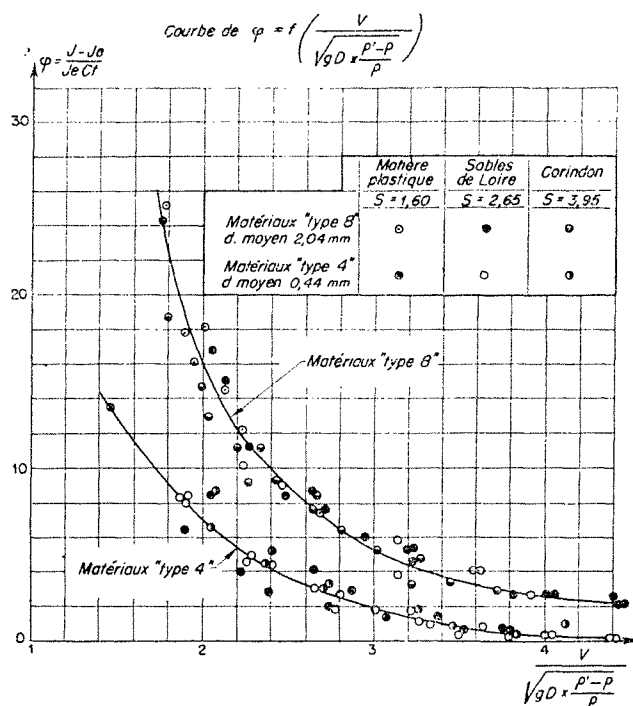


FIG. 6. — Influence de la densité sur les pertes de charge en mixtures pour plusieurs diamètres de matériaux.

Autrement dit, pour des matériaux de même dimension, mais de densité différente, les écoulements sont semblables à condition de considérer des vitesses qui soient dans le rapport inverse des racines des densités apparentes. Ce résultat a également été annoncé récemment par M. WORSTER.

En tenant compte de l'influence du diamètre D de la conduite antérieurement signalée et en appelant  $q'$  et  $q$  les masses spécifiques du matériau et du liquide, on peut dire qu'il existe, pour chaque dimension de matériau, une courbe unique :

$$\varphi = f\left[\frac{V}{\sqrt{gD \times \frac{q' - q}{q}}}\right]$$

Pour des matériaux de dimensions différentes, la fonction empirique générale, compte tenu de la densité, est alors de la forme :

$$\varphi = f\left[\frac{V^2}{gD \times \frac{q' - q}{q}}\right] \times \frac{\sqrt{gd \times \frac{q' - q}{q}}}{W}$$

avec  $d$  diamètre nominal des grains,  
 $W$  vitesse de chute.

IV. — INFLUENCE DES PROPRIÉTÉS ÉLASTIQUES DE LA CONDUITE ET DES MATÉRIAUX

Nous présenterons enfin des résultats d'essais de refoulement effectués dans une conduite en caoutchouc toilé de 40 mm de diamètre, pour différentes dimensions de sable (figure 7). Les valeurs du coefficient  $\varphi$  sont comparées à celles obtenues sur une conduite d'acier de

même diamètre et donnant très sensiblement les mêmes pertes de charge en eau claire.

Systématiquement, la majoration de pertes de charge due au sable est plus faible en conduite caoutchouc. A grande vitesse, même pour le sable L<sub>8</sub>, les pertes de charge semblent tendre vers celles de l'eau claire. Pour ce même sable à vitesse plus faible, le gain sur les pertes de charge avec une conduite caoutchouc est sensible. Par exemple, à une vitesse de 3,4 m/s pour une conduite  $\phi$  150 mm avec une concentration de 10 % en volume vrai (soit 265 gr/l), le gain serait de 12 % par rapport à une conduite acier.

Nous avons ensuite effectué des essais de refoulement avec des morceaux de caoutchouc (densité 1,55) ayant un diamètre moyen de 6 mm. Nous comparons ces résultats avec ceux obtenus avec des graviers en tenant compte de la correction relative à la densité des matériaux (fig. 8). L'emploi de grains en caoutchouc semble conduire à un gain plus appréciable sur les pertes de charge que l'emploi d'une conduite caoutchouc avec des grains de sable. En reprenant le même exemple numérique, le gain serait maintenant de l'ordre de 30 %, compte tenu de la correction relative à la densité des matériaux. On doit alors gagner à la fois sur le rendement des chocs des grains à la paroi et sur le rendement des grains entre eux.

Ces essais montrent que la nature des chocs des grains joue un rôle non négligeable dans la valeur des pertes de charge en régime de saltation. On pourrait alors décomposer la majoration de pertes due aux matériaux en deux parts :

— Effet de la dissymétrie de l'écoulement, créée par le champ de gravité;

Pertes par choc correspondant à l'usure des matériaux et de la conduite.

Le second terme correspond à un phénomène parasite malheureusement non négligeable qui complique l'établissement des lois générales du transport solide.

Le fait que les pertes par choc soient plus faibles

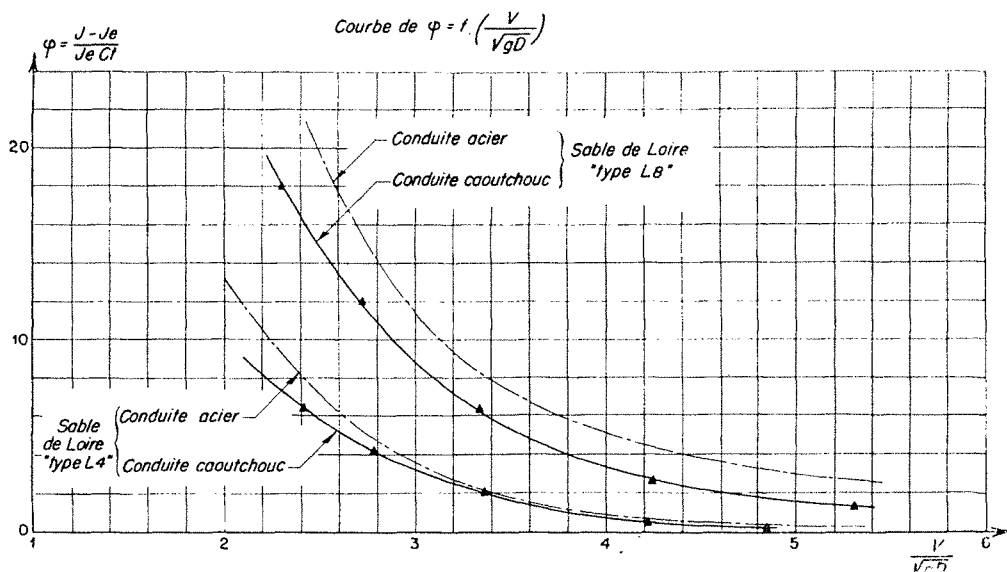


FIG. 7. — Influence de la nature des parois des conduites sur les pertes de charge en mixtures.

sur une paroi de caoutchouc que sur une paroi d'acier peut sembler à première vue paradoxal. Il est confirmé pratiquement par l'excellente tenue du caoutchouc à l'abrasion par les eaux chargées. On peut l'expliquer assez facilement.

Considérons un grain sphérique arrivant normalement au contact d'une paroi plane avec une vitesse  $V$ . Il déforme la paroi au voisinage du point d'impact. Si les efforts engendrés par cette déformation ne dépassent pas la limite élastique de la paroi, le grain rebondit à la même vitesse  $V$  et la surface plane reprend sa forme initiale. Si la limite élastique est dépassée, il apparaît une déformation permanente qui correspond, par exemple, à l'écrasement du métal. Avec du caoutchouc, la

valeur de la limite élastique ( $e$ ) est supérieure à celle du module d'élasticité ( $E$ ). Il peut ainsi exister au moment du choc, une surface de contact importante entre le grain et la paroi de caoutchouc, ce qui réduit la pression unitaire de contact et empêche que la limite élastique se trouve dépassée.

BIBLIOGRAPHIE

- F.P. BOWDEN ET D. TABOR. — The friction and lubrication of solids. — Oxford. At the Clarendon Press, 1950.
- W.J. CRAMP ET A. PRIESTLEY. — Pneumatic Grain Elevators. — *Engr.*, 1924, 137, 34, 64, 89, 112.
- R. DURAND ET E. CONDOLIOS. — Etude expérimentale du refoulement des matériaux en conduite, en particulier des produits de dragage et des schlamms. — *S.I.F.*, juin 1952.
- SOLEIL ET BALLADE. — Transport hydraulique des matériaux dans les travaux publics. — *S.I.F.*, juin 1952.
- R.G. WORSTER. — The hydraulic transport of solids, — *Colloquium on Hydraulic Transport*, London, novembre 1952.

Discussion

M. le Président remercie M. DURAND et lui fait remarquer que la densité spatiale de mixture  $\delta$  n'est pas la même dans l'écoulement ascendant et dans l'écoulement descendant, contrairement à ce qui est supposé dans son calcul; dans la branche montante du tube en U, par suite du glissement, la concentration de transport est inférieure à la concentration spatiale; au contraire, dans la branche descendante, pour la même raison, la concentration de transport doit être supérieure à la concentration spatiale.

Cet écart entre concentration spatiale et concentration de transport peut être relativement importante en particulier dans le cas considéré de manutention de galets pour lesquels la vitesse de chute de 0,50 m environ en eau calme est une proportion importante de la vitesse moyenne du fluide.

M. le Président rappelle en outre à M. DURAND que la mesure des différences des densités spatiales entre la

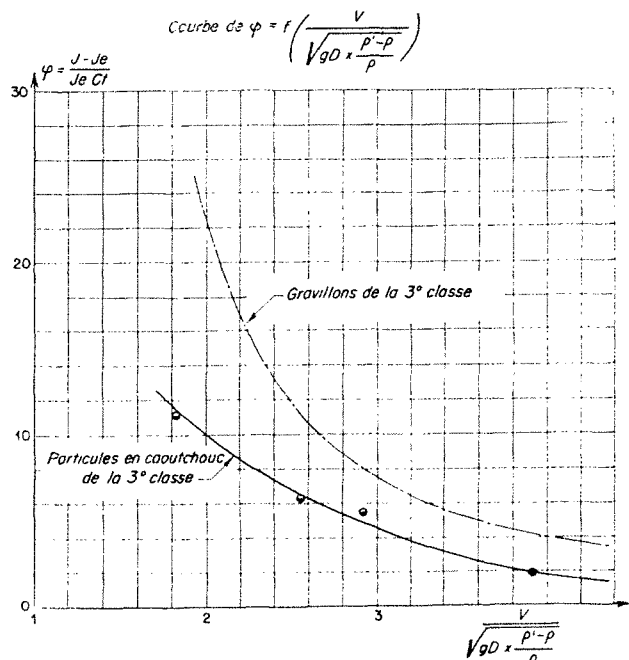


FIG. 8. — Influence de la nature du matériel sur les pertes de charge en mixtures.

branche montante et la branche descendante, permet, grâce à une formule relativement simple, de déterminer la vitesse moyenne de chute des grains.

La comparaison de cette vitesse de chute en eau vive et pour des mixtures plus ou moins concentrées avec la vitesse de chute des grains en eau calme serait particulièrement intéressante parce que l'influence de la turbulence et de la concentration sur la vitesse moyenne de chute est totalement ignorée à ce jour.

M. DURAND pense que, dans le domaine où il a expérimenté, c'est-à-dire à des vitesses supérieures à la vitesse limite de dépôt, l'écart entre les concentrations spatiales dans la colonne montante et dans la colonne descendante n'est guère sensible. Cependant, il reconnaît la valeur de la remarque de M. BERGERON dans l'absolu, et d'autre part son utilité pratique pour les problèmes de transport, dans les puits de mines où les conduites sont presque entièrement verticales.

M. REMENIERAS pense que la majoration des pertes de charge à la sortie de la pompe, majoration que M. DURAND attribue à une rugosité ondulatoire due au frottement des matériaux sur la paroi, pourrait aussi être attribuée à la turbulence de l'écoulement; les deux causes peuvent aussi co-exister sans que l'on sache laquelle est prépondérante.

M. le Président rappelle que M. DURAND a mis en évidence deux propriétés importantes des mixtures dans le domaine turbulent :

- Pour les mixtures homogènes, même perte de charge, exprimée en hauteur de fluide, que les pertes en eau claire;
- Pour les mixtures hétérogènes, à moins de 40 %, et quelle que soit la concentration du mélange, pertes de charge tendant vers la valeur des pertes en eau claire, lorsque la répartition des grains est bien régulière dans toutes les sections de la conduite.

En outre, les derniers essais montrent que, dans ce dernier cas et à la limite, la distribution des vitesses en mixture est la même qu'en eau claire, ce qui confirme définitivement la propriété ci-dessus.

Il ressort de ces résultats que la force de frottement à la paroi  $\tau_0 = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$  doit être la même avec ou sans matériaux solides et ne peut dépendre que des forces de viscosité du fluide porteur. Par suite, l'écoulement turbulent dans la masse, qui prend justement son origine à la paroi, doit être soumis aux mêmes forces et au même facteur. En particulier, le paramètre  $\tau = \rho u' v'$  qui caractérise les forces de glissement entre deux couches voisines en régime turbulent doit rester constant, et ceci qu'il y ait une molécule liquide de masse spécifique  $\rho$  ou un grain solide de masse spécifique  $\rho'$  au point considéré.

On doit donc conclure, que le produit  $u v$  qui caractérise la turbulence varie en raison inverse de la densité de la molécule en mouvement, autrement dit, l'amplitude de la turbulence varie en raison inverse de la racine carrée de la densité de la molécule. En particulier, l'amplitude d'un grain de sable dans l'air en turbulence serait 40 fois plus faible que celle de l'air qui l'entoure; d'où l'apparence d'un calme de la turbulence qui ne serait, en réalité, qu'une modification de l'aspect de ce phénomène, dont les forces déterminantes restent les mêmes.

D'autre part, la différence d'amplitude des fluctuations entre molécules solides et molécules liquides qui l'entourent doit se traduire par un glissement réciproque, et ceci même dans le cas idéal où il n'y aurait pas de traînée. Dans les études théoriques sur le maintien en suspension des grains solides dans un fluide en état turbulent, il y aurait donc lieu de tenir compte de ce glissement systématique indépendant de celui dû à la pesanteur.

M. le Président conclut que les travaux de M. DURAND font faire un très grand pas aux recherches françaises dans les transports de mixtures.

## DÉFINITION ET APPELLATION DE LA VITESSE DU LIQUIDE CORRESPONDANT AU DÉBUT DE DÉPÔT DANS LE DOMAINE DU DÉBIT SOLIDE

EXPOSÉ DE M. ROBERT DURAND

Aux Journées de Juin de la Société Hydrotechnique de France, M. le Président BARRILLON, sur une remarque de M. SCHLAG, avait demandé à MM. BALLADE, BERGERON, R. DURAND, GIBERT et SCHLAG, de se réunir pour choisir les termes les plus aptes à caractériser la vitesse de début de dépôt pour le transport hydraulique des matériaux solides en conduite.

Il a été convenu de proposer à la place des termes de « vitesse critique » que nous avons utilisés dans notre communication sur l'étude expérimentale du refoulement des matériaux en conduite, ceux de « vitesses limite de dépôt ».

Suivant la remarque de M. SCHLAG, le mot « critique » est employé trop fréquemment et il a fini par perdre toute valeur précise.

Cette « vitesse limite de dépôt » correspond au début de formation du dépôt au voisinage de la génératrice inférieure de la conduite de refoulement. Elle est aisément repérable en observant l'écoulement grâce à un regard vitré. Il est alors possible de la définir à quelques pour cent près.

Cette vitesse limite semble n'être fonction, pour un matériau donné refoulé dans une conduite donnée, que de la valeur de la concentration de transport. Pour les fortes concentrations, elle tend à devenir constante. Pour les très faibles valeurs de la concentration, elle diminue et tend à se confondre avec la notion de vitesse d'entraînement.

Lorsque le diamètre de la conduite varie, la vitesse critique varie proportionnellement à la racine carrée de la valeur du diamètre. Pour les régimes d'écoulement avec dépôt, il semble que la vitesse dans la section libre au-dessus du dépôt s'ajuste de façon à conserver constante la valeur du rapport :

$$\frac{V_L}{\sqrt{4gR_H}}$$

$V_L$  étant la vitesse limite de début de dépôt précédemment définie et  $R_H$  le rayon hydraulique de la section libre au-dessus du dépôt.

### Discussion

M. BARRILLON souhaiterait une définition plus précise, c'est-à-dire indiquant qu'il s'agit de la vitesse du liquide; précisant si c'est la vitesse locale ou la vitesse moyenne, si l'écoulement est laminaire ou turbulent, et limitant la définition aux conduites industrielles, car l'expression comportant  $\sqrt{R_H}$  au dénominateur n'est guère applicable en dehors de ce domaine.

M. BRAUDEAU ajoute qu'il faudrait préciser s'il s'agit d'un dépôt fixe ou d'un dépôt qui peut être charrié par l'écoulement.

M. BRAUDEAU pense qu'on pourrait rapporter la définition aux vitesses locales, puisqu'elles sont mesurées

au tube de Pitot dans les expériences faisant l'objet du mémoire précédent de M. DURAND.

M. le Président BERGERON estime qu'il est préférable de se rapporter à la vitesse moyenne, que tout intéressé peut mesurer, et de ne pas donner l'expression :

$$\frac{V_r}{4g\sqrt{R_{II}}}$$

A l'issue de la réunion, M. le Président BERGERON, et M. R. DURAND, Rapporteur, ont mis au point le nouveau texte ci-après, qui tient compte des remarques ci-dessus. Ce texte sera proposé à l'adoption du Comité Technique lors d'une prochaine séance.

« Dans l'étude systématique du transport hydraulique de matériaux solides en conduite ou en canal à paroi fixe, il est toujours très important de déterminer les conditions du régime pour lesquelles apparaît un dépôt dans le fond de la conduite ou du canal, régime caractérisé par le fait que des grains commencent à s'immobiliser.

« Pour chaque catégorie de conduite ou canal considérée, et dans chaque cas, lorsque l'écoulement est turbulent, l'état du fluide porteur qui provoque la mise en suspension des grains étant fonction en particulier de la vitesse, la vitesse du fluide est une des conditions à prendre en considération.

« Il est convenu d'adopter la vitesse moyenne =

$$\frac{\text{débit}}{\text{section mouillée}}$$

qui est la seule présentant une définition pratique et qui cependant, pour une section de conduite déterminée, conditionne la répartition des vitesses dans la section ainsi que l'état aux parois.

« La vitesse moyenne pour laquelle apparaît le dépôt sera appelée « vitesse limite de dépôt » en écartant le terme « vitesse critique » trop généralisé et trop imprécis.

« La vitesse limite de dépôt n'est évidemment qu'un des facteurs conditionnant le fonctionnement et le régime considérés. Elle intervient au même titre que : forme et nature des parois, section, concentration, grossueur des grains, densité, viscosité, etc. »

## EXPOSÉ SUR LE CONGRÈS DE L'UNION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DE LA NATURE (Caracas 2-10 septembre 1952)

par M. F. DE MAUBLANC

### Résumé

L'Union Internationale pour la Protection de la Nature est une Association groupant comme Membres des Gouvernements, des Administrations, des Institutions Internationales et Nationales s'occupant de la protection de la Nature.

*Quelle est sa raison d'être?* Lutter contre la mise au pillage des richesses naturelles par une humanité imprévoyante qui mange son capital, sans se soucier des besoins futurs de sa descendance.

*Son programme?* Encourager et faciliter la coopération internationale entre toutes personnes physiques ou morales intéressées à la protection de la Nature; conseiller et favoriser toute action nationale et internationale relative à la sauvegarde de la vie sauvage et de son milieu

naturel (création de parc nationaux); recueillir toutes informations, diffuser les connaissances et mettre en œuvre tout programme éducatif et toutes recherches scientifiques dans ce domaine.

L'Union Internationale pour la Protection de la Nature a son secrétariat permanent à Bruxelles et se réunit tous les deux ans en assemblée générale.

L'ordre du jour du Congrès de Caracas, appelant l'étude de la très vaste question : « l'hydro-électricité et la protection de la Nature », M. le Professeur Roger Heim, Chef de la Délégation française, s'était adjoint M. DE MAUBLANC, comme spécialiste des questions hydro-électriques.

Parmi les 52 rapports émanant de 20 nations différentes, certains développaient les effets favorables des entreprises hydro-électriques aux phénomènes naturels :

- Bienfaits apportés par l'électricité à l'économie humaine;
- Energie bon marché et abondante, régularisation des cours d'eau, irrigation, nombreuses conséquences favorables d'un relèvement du potentiel économique, fiscal, etc., des habitants d'une région;
- Atténuation des crues;
- Beauté d'un lac artificiel et d'une usine bien construite;
- Lacs artificiels créant des refuges pour les oiseaux aquatiques et des réserves de pêche.

D'autres, les plus nombreux, accusent l'hydro-électricité de compromettre en dehors de l'esthétique :

- *Les équilibres hydriques* : abaissement des nappes phréatiques, changement de régime, détournement des eaux d'un bassin vers un autre, modification dans le charriage des matériaux solides, modification du pH.
- *Les équilibres climatiques* : action sur les macroclimats; action sur les microclimats;
- *Les équilibres pédologiques* : terres inondées, terres exondées — un marais débarrassé de son eau n'est jamais à sec. Action des vagues sur les rives généralement abruptes des lacs réservoirs. Erosion.
- *Les équilibres floristiques* : habitats perdus par submersion. Arrachage systématique des plantes des rives. Disparition d'espèces, par destruction d'habitat. Formation de cônes de détritiques, peu favorables à une végétation. Effets d'un enfoncement de la nappe : dessèchement des cimes des arbres. Maladies des végétaux, invasions d'insectes nuisibles. Irrigation signifie mise en culture, donc défrichement. Effets variables selon installations au fil de l'eau et avec plus ou moins fortes accumulations.
- *Les équilibres faunistiques* : destruction par submersion d'aires d'habitats. Effets défavorables des variations du plan d'eau (sur les insectes notamment). Effets sur les poissons : congestion en aval du barrage et risque de maladies (si un passage n'est pas aménagé). Problème des passages. Echelles à poissons.
- *Les équilibres entropiques* : dangers de proliférations indésirables (moustiques). Dangers de rupture des barrages. Dangers de guerre bactériologique.

L'assemblée a fait un choix et créé une hiérarchie dans toutes ces calamités dont on accuse l'hydro-électricité : par exemple la destruction totale, à échéance rapprochée, de toute une végétation par assèchement de la nappe phréatique ou les dangers de rupture d'un barrage, ont une autre importance que l'influence défavo-

nable des variations d'un plan d'eau sur la reproduction des insectes...

M. DE MAUBLANC, pour sa part, s'est attaché à montrer au Congrès, qu'en France les grands problèmes de nappes, de débits solides, ceux concernant la protection des sites, des forêts et des poissons étaient traités avec sérieux, avec la collaboration des organismes gouvernementaux (Services des Grands Barrages, Inspection Générale des Sites, Services des Eaux et Forêts, Génie Rural, etc.), moyennant quoi, nous n'avons pas conscience, nous, Français, d'avoir attenté de façon visible aux équilibres naturels.

M. LESTEL, en tant qu'observateur du Gouvernement français au Congrès, a exposé en détail le déroulement de ces enquêtes, l'esprit de collaboration entre les Services de l'Équipement d'Électricité de France, et le Service de la Protection des Sites, et les excellents résultats obtenus.

En fait, l'exemple de la France a pu être cité et proposé aux autres pays, pour autant qu'ils le désirent et sous une forme adaptée à chacun d'eux.

Restent les conséquences lointaines que peuvent avoir les détournements ou assèchements de cours d'eau : destruction de l'équilibre dans la vallée transformation du microclimat influencé au premier chef par le régime des eaux. Bien que l'industrie électrique soit encore trop jeune pour que de telles répercussions aient pu être observées, elles n'en sont pas moins à craindre.

Les résolutions votées par le Congrès ont en définitive été les suivantes :

La résolution 1 attire l'attention des Gouvernements sur le danger qui menace les parcs nationaux et les réserves intégrales auxquels s'applique le statut défini par les conventions de Londres (1933) et de Washington (1940) garantissant la « sauvegarde et l'inviolabilité des territoires qu'ils ont pris l'initiative de délimiter et de protéger ».

La résolution 2 demande aux organismes gouvernementaux ou privés, chargés d'édifier de grands ouvrages d'art — notamment destinés à l'utilisation de l'énergie hydro-électrique — d'envisager, de poursuivre ou de susciter, avec leur concours financier, technique et moral, les recherches ou enquêtes destinées à préciser les répercussions sur les équilibres naturels, sur la flore et la faune, apportées par de tels travaux.

Elle demande à l'Union de fournir les directives nécessaires à la réussite de telles entreprises à la satisfaction de tous les intéressés.

La résolution 3 réclame « pour toute nouvelle construction hydro-électrique et avant que le plan en soit arrêté, des études approfondies de toutes les ressources naturelles ».

La résolution 4 souhaite la constitution et la consultation de « commissions d'experts », composées de spécialistes non intéressés à la réalisation de tels ouvrages et comprenant notamment des pédologues, des écologistes, des systématiciens, des phytosociologues et des hydrologistes.

M. DE MAUBLANC conclut : « En fait, rien de ce qui est demandé ici n'apporte rien de bien neuf pour notre pays.

« Les spécialistes dont il est fait mention ici comme devant être consultés sont déjà réunis et forment une section de la Commission Supérieure des Sites dont l'avis est sollicité au cours des enquêtes pour l'octroi de concession.

« Seules les recommandations de la résolution n° 2, qui sont, je le rappelle, de solliciter l'appui moral et financier des constructeurs pour aider à la recherche des répercussions sur les équilibres naturels constituent un fait nouveau. Je pense qu'il est de notre devoir et de notre intérêt d'y souscrire.

« En résumé, le Congrès de Caracas n'a fait que proposer à tous, l'exemple de la France. Nous ne pouvons que nous réjouir de cette conclusion. »

## Discussion

M. le Président remercie M. DE MAUBLANC.

M. ARIS signale qu'il existe en Algérie des parcs nationaux, mais que, jusqu'à présent, il n'y a pas d'équipement ni de projets qui les intéressent.

M. HAEGELEN signale que le projet d'équipement du Vénéon a été, en son temps, communiqué à la Commission des Sites qui a demandé de ne pas toucher au cours supérieur de la rivière, en amont du barrage de prise de la chute du Pont-Escoffier.

M. BARRILLON remarque que l'homme a, depuis toujours, modifié le régime des eaux, soit pour l'agriculture, soit pour l'énergie hydraulique. Il faudrait savoir si les grands barrages changent plus la nature que les petits barrages. D'autre part, le besoin impérieux de se chauffer obligerait, de toute façon, les hommes à déboiser s'ils ne disposaient pas de chauffage électrique!

M. DE MAUBLANC cite des causes qui ne sont point hydrauliques et qui sont, cependant, aussi dommageables, sinon plus : les usines chimiques qui déversent dans les torrents; certains animaux tels que les chèvres, les ânes, qui participent au défrichement. La plupart des Membres du Congrès se rendent, d'ailleurs, parfaitement compte de la nécessité du chauffage et de l'électricité.

Sur la demande de M. BARRILLON, M. DE MAUBLANC précise que, grâce à sa faible densité de population, le territoire de Venezuela est, comme tous les pays neufs, exempt des précautions immédiates à prendre dans le domaine de la protection de la nature, mais que les pays neufs ont précisément beaucoup à apprendre de l'expérience des vieux pays en cette matière, pour préserver l'avenir.

M. BOURRIER demande si des idées précises ont été émises sur les conséquences possibles de l'abaissement de la nappe phréatique, imputable aux travaux hydro-électriques, sur le rendement des cultures.

M. DE MAUBLANC répond que des constatations de l'abaissement de la nappe phréatique ont été faites, notamment dans un rapport allemand relatif à l'assèchement de la plaine d'Alsace depuis la rectification du Rhin. Cependant, M. DE MAUBLANC a pu faire remarquer au Congrès, que les fuites des canaux ont déjà fait remonter le niveau de la nappe.

Cette question est, toutefois, au premier plan des grands projets d'équipement d'E.D.F., tels que la Durance : la Compagnie Nationale du Rhône a aussi pris des mesures pour que la nappe phréatique soit réalimentée à Donzère. Il n'est pas exclu, en effet, que l'abaissement de la nappe phréatique provoque la ruine très progressive et très lente de la végétation. Cependant, la codification des précautions à prendre ne paraît pas encore envisageable.

M. BRAUDEAU signale que la forêt de la Hardt est en voie de disparition du fait de l'abaissement naturel du Rhin, sans mettre en cause l'équipement hydro-électrique.

M. ARIS pense que les protecteurs de la nature partent du postulat que la nature est bonne, et que tout ce qu'on fait pour la modifier est mauvais. Que pensent de cela les représentants des pays arides?

M. DE MAUBLANC dit que ces pays ont été dans beaucoup de cas rendus arides par la main de l'homme, par la chèvre ou l'âne; telle une partie de l'Afrique du Nord qui, il y a deux mille ans, était autrement riche que maintenant. De toute façon, le Congrès ne s'est pas beaucoup occupé des pays arides, tout au moins pour ce qui est des effets de l'hydro-électricité qui est encore assez rare. La préoccupation touchant ces pays se rapporte à la protection de la faune et de la flore.

La séance est levée à 11 heures.

**SÉANCE DU MERCREDI APRÈS-MIDI 26 NOVEMBRE 1952**

La séance est ouverte à 14 h 20, sous la présidence de M. DE ROUVILLE, Président de la Section d'Hydraulique Fluviale et Maritime.

*ANALYSE PAR M. GOUGENHEIM DE*

**A DETERMINATION OF THE FRICTIONAL FORCES IN A TIDAL CURRENT**

(Mémoire présenté à la Royal Society, à Londres, par MM. K.F. BOWDEN et L.A. FAIRBAIRN)

**Résumé**

**TRAVAUX ANTÉRIEURS.**

Les travaux effectués en vue de la détermination des forces de frottement dans un courant de marée, antérieurement au mémoire analysé (1952) comprennent :

— D'abord l'expression de TAYLOR (1918) :

$$F = 2.10^{-3} \rho V^2$$

de la force de frottement au fond par unité de surface ( $\rho$  = densité de l'eau;  $V$  = vitesse du courant au fond), basée sur des données expérimentales recueillies dans des cas analogues (écoulement de rivières, frottement du vent à la surface du sol); expression vérifiée par l'auteur dans la mer d'Irlande, et par JEFFREYS, en 1920, pour l'ensemble de la terre (accélération séculaire de la lune).

— Puis des mesures dans des domaines moins étendus, des pentes de la surface et des vitesses et accélérations de l'eau à toutes profondeurs, en vue d'établir une relation déduite des équations dynamiques (Proudman, 1924; Grâce, 1929; Mer du Nord, Manche et canal de Bristol, 1936-1937).

— Enfin des mesures simultanées dans des zones encore plus restreintes (sur des bases d'une dizaine de kilomètres), pour que les courants à diverses profondeurs et le gradient de surface puissent y être considérés comme uniformes. La mise en œuvre de cette méthode est assez lourde en raison du grand nombre de mesures à effectuer et de la précision qu'elles requièrent : une première application, tentée par PROUDMAN, DOONSON et CORKAN, de 1936 à 1939, au sud de l'île de Man, échoua; l'expérience fut reprise, en 1950, par BOWDEN et FAIRBAIRN, au voisinage d'Anglesey et après quelques déboires dus à l'appareillage, aboutit aux travaux de 1951 qui font l'objet du mémoire analysé.

**TRAVAUX DE 1951.**

a) *Observations* : 11 séries de 24 heures chacune, dont 5 complètes (défaillances de marégraphes) et comportant l'enregistrement de la hauteur d'eau aux deux extrémités de la base, des mesures de vitesses à l'une ou l'autre extrémité, toutes les heures de 4 m en 4 m, sous la surface, et à 1 m au-dessus du fond, et le relevé de la direction de l'écoulement. Après transposition, l'analyse harmonique des données permet de dégager l'amplitude et la situation de la composante semi-diurne des hauteurs d'eau et du courant. Des vérifications graphiques permirent de constater la cohérence des mesures.

1. Cf. : Valeurs comparées des coefficients de frottement déduits de l'amortissement des marées et de houles ainsi que des écoulements permanents (C.O.E.C., *Bulletin d'Information*, n° 1, janvier 1953).

b) *Calculs* : Pour obtenir la force de frottement au fond, il suffisait d'appliquer aux résultats des observations, les équations suivantes :

$$\left[ \frac{(F \cos \gamma)}{h} B \right] = g [R] (\delta_E - \delta_W) - \sigma [\bar{U} \sin \bar{\alpha}] + 2 \omega \sin \varphi [\bar{V} \cos \bar{\beta}]$$

$$\left[ \frac{(F \sin \gamma)}{h} \right] \frac{g}{L} = (R_E - R_W) + \sigma [\bar{U} \cos \bar{\alpha}] + 2 \omega \sin \varphi [\bar{V} \sin \bar{\beta}]$$

résultant d'une double intégration de la surface au fond de la mer et d'une station à l'autre, le frottement en surface étant supposé nul. Dans ces équations, les crochets désignent des valeurs moyennes, E et W les stations Est et Ouest, B le fond de la mer,  $g$  l'accélération de la pesanteur, L la longueur de la base,  $h$  la profondeur de l'eau,  $\varphi$  la latitude,  $\omega$  la rotation terrestre,  $\sigma$  la vitesse angulaire de la composante considérée, R et  $\delta$  l'amplitude et la situation de la hauteur de l'eau, F et  $\gamma$  l'amplitude et la situation par rapport au courant) de la force de frottement,  $\bar{U}$   $\bar{V}$   $\bar{\alpha}$   $\bar{\beta}$  les amplitudes et les phases fournies par l'analyse harmonique des composantes du courant suivant la base et dans le sens perpendiculaire.

Une difficulté se présenta pour ramener au point moyen les courants mesurés aux extrémités, parce qu'ils n'étaient pas alternatifs, mais giratoires. On peut, toutefois, négliger les valeurs  $\frac{\bar{U} \sin \bar{\alpha}}{[R]}$  et les termes analogues en V, très faibles et de signes contraires, devant  $\frac{\bar{U} \cos \bar{\alpha}}{[R]}$  qui, heureusement, était à peu près le même aux deux extrémités.

Résultats pour profondeur moyenne de 18,2 à 19,4 mètres au milieu de la base :

U cm/sec	F <sub>B</sub> (cm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	$\gamma_B$ (°)	10 <sup>3</sup> k = 10 <sup>3</sup> F <sub>B</sub> /U <sup>2</sup>
58,7	6,91	5,5	2,01
72,3	10,64	13,5	2,04
39,4	1,11	— 56	0,72
48,4	1,34	— 26	0,57
61,3	5,35	16,2	1,42

Sur les cinq valeurs du coefficient de frottement, trois sont assez cohérentes avec une moyenne de 1,8 qui ne s'écarte pas beaucoup des valeurs déterminées précédemment, et a une valeur propre qui manque à celles-ci.

c) *Divers autres résultats* concernant le mouvement des eaux furent obtenus accessoirement par BOWDEN et FAIRBAIRN :

1. — Variation du courant U' avec la profondeur :

$$U' = 1,15 U' (1 - 0,37 z^2/h^2)$$

On en déduit notamment que :  $U' = \bar{U}'$  pour  $z = 0,594 h$ .

2. — Variation du frottement interne avec la profondeur obtenue à partir des équations suivantes, qui sont intervenues dans le calcul du frottement au fond :

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial z}(F \cos \gamma) &= gR \frac{\partial \delta}{\partial x} - \sigma U \sin \alpha + 2 \omega \sin \varphi V \cos \beta, \\ -\frac{\partial}{\partial z}(F \sin \gamma) &= -g \frac{\partial R}{\partial x} + \sigma U \cos \alpha + 2 \omega \sin \varphi V \sin \beta, \end{aligned} \right\}$$

en donnant à  $R \frac{\partial \delta}{\partial x}$  et  $\frac{\partial R}{\partial x}$  non des valeurs d'obser-

ventions, mais des valeurs provenant d'une intégration de  $o$  à  $h$  (gradient observé non uniforme). On a trouvé ainsi que  $F \cos \gamma$  varie à peu près linéairement de la surface où cette composante en phase avec le courant est nulle, jusqu'au fond de la mer. Au contraire  $F \sin \gamma$  est faible et passe par un maximum vers les  $3/4$  de la profondeur.

3. — Valeur de la viscosité tourbillonnante virtuelle :  $N_z = F' \partial u / \partial z$ .

Ce coefficient dépend de la vitesse du courant et de la profondeur. En outre, dans un courant de marée, il s'introduit une phase  $\Sigma$ ; la quantité  $\gamma - \Sigma$  mesure le déphasage entre le gradient de vitesse du courant et la force de frottement.

A l'aide des valeurs instantanées des trois meilleures séries, les auteurs ont calculé des valeurs de  $N$ ; elles vont de 129 à 508  $\text{cm}^2/\text{s}$ ; les différences de phase vont de  $-46^\circ$  à  $+14^\circ$ . La dispersion est imputable à un fort vent de direction comprise entre le S.W. et le N.E. qui a soufflé pendant les observations.

Les valeurs trouvées pour le coefficient de viscosité tourbillonnaire s'accordent dans l'ensemble avec les valeurs rencontrées antérieurement pour les courants de marée et qui sont de l'ordre de quelques centaines de  $\text{cm}^2/\text{s}$  (PROUDMAN, 10 à 1.000 en 1923 en mer du Nord. — GRACE, 1929).

### Discussion

M. ALLARD pense que les coefficients de frottement obtenus à partir des mesures faites dans la nature traduisent des pertes d'énergie se produisant de façon très complexe. Il faut les considérer comme des coefficients intégrés correspondant à des phénomènes de turbulence divers et à des écoulements hydrauliques susceptibles de varier en fonction des hauteurs de la marée. Les deux mesures aberrantes de BOWDEN et de FAIRBAIRN représentent, sur cinq séries de mesures, un pourcentage qui est loin d'être négligeable, et il conviendrait peut-être d'expliquer ces anomalies par une analyse plus complète des phénomènes élémentaires; en effet, un coefficient unique de frottement moyen est impuissant vraisemblablement pour rendre compte d'une réalité complexe et des aspects changeant des écoulements naturels provoqués par les marées.

M. SCHIFF signale que, dans les études faites aux Pays-Bas, aussi bien dans la région des Wadden que dans les estuaires du Rhin et de la Meuse, l'application de la loi de Chézy aux frottements donne, avec une approximation tout à fait correcte, des coefficients de 50 à 70. Entre Rotterdam et la mer, par fond assez lisse, il y a un coefficient uniforme assez élevé, entre 65 et 70. Le régime est considéré comme permanent et l'influence des oscillations sur le frottement est négligeable. Dans ces conditions, M. SCHIFF considère les résultats des expérimentateurs anglais, comme acceptables, bien que peu représentatifs, en égard au nombre total d'observations. Tout en regrettant que l'absence d'informations sur le fond ne permette pas d'interpréter les chiffres dans le cadre des connaissances, sur le frottement de fond, M. SCHIFF sou-

haite d'avoir un plus grand nombre de données dans le genre de celles de BOWDEN et FAIRBAIRN.

M. GOUGENHEIM croit qu'il s'agit d'un fond sableux assez stable et assez régulier : il confirme l'intérêt de poursuivre ces expériences bien qu'elles représentent d'assez grandes difficultés.

Sur la demande de M. le Président, M. SCHIFF indique que le coefficient de frottement dépend de la profondeur absolue et de la nature du fond : dans les recherches hollandaises, la rugosité du fond est à peu près proportionnelle aux profondeurs, de sorte qu'il n'y a pas beaucoup de variations dans le coefficient de Chézy, sauf en quelques chenaux où la nature du fond est différente, par exemple entre Rotterdam et la mer.

M. GOUGENHEIM ajoute à cette réponse que M. MICHE a déduit de tous les coefficients de frottement  $k$  cités, la valeur des coefficients de frottement  $k'$  de la formule de STRICKLER, définis par :

$$k'^2 = g/(k H^{1/3})$$

(H profondeur locale)

La dispersion des valeurs de  $k'^2$  est légèrement plus faible que celle des valeurs de  $1/k$ , ce qui semble montrer que l'influence de la profondeur est au moins partiellement éliminée dans le coefficient de STRICKLER.

M. ALLARD pense qu'il serait intéressant de confronter les résultats obtenus en mer avec des expériences sur modèle réduit.

M. SCHIFF ne croit pas qu'il y ait un grand intérêt à cela si ce n'est une confirmation des équations dynamiques, mais celles-ci sont suffisamment évidentes sans cela : ce qui lui paraît plus nécessaire, ce sont des valeurs de frottements dans certains endroits qui peuvent présenter une importance théorique ou pratique.

M. DHAILLE pense que le modèle réduit permettrait de déterminer peut-être la dissipation d'énergie due à des formes d'écoulement particulières pour un problème posé mais ne permettra, en aucun cas, de déterminer le coefficient de rugosité du fond, puisque celui-ci est *a priori*, un des éléments du réglage du modèle.

M. le Président pense aux rides de la Loire, dont on ne sait encore si elles sont un effet ou une cause, mais qui, toutefois, ne modifient guère les ordres de grandeur du coefficient de frottement.

M. GOUGENHEIM souligne que les mesures faites dans une zone délimitée permettent d'obtenir des valeurs du coefficient de frottement valables dans cette zone, tandis que les résultats généraux fournissent une valeur moyenne qui ne tient pas compte des détails du fond.

M. le Président estime qu'il serait intéressant de voir dans quelle mesure les détails du fond influent sur les résultats et conclut en exhortant les pays étrangers à étudier la question du frottement en des endroits peut-être plus favorables que ceux que les côtes françaises ou anglaises peuvent offrir, c'est-à-dire des zones à fond assez élevés et où le courant soit bien alternatif.

M. le Président remercie M. GOUGENHEIM.

### COMMUNICATION DE M. BOUDAN

#### APPAREIL POUR LA MESURE DES NIVEAUX RAPIDEMENT VARIABLES EN MODÈLE RÉDUIT

par M. BOUDAN, Ingénieur au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique

#### Résumé

L'étude et la mesure dynamique des phénomènes prennent une importance de plus en plus grande. Parmi les grandeurs rapidement variables rencontrées en hydraulique, les niveaux fluctuants présentent une grande importance technique.

En première analyse nous pouvons classer en trois groupes les niveaux rapidement variables.

*Les phénomènes périodiques* : houles, ondes stationnaires, etc.;

*Les phénomènes permanents en moyenne et cependant fluctuants* : ressauts, etc.

*Les phénomènes transitoires* : ondes, mascaret, etc.

Cette classification présente un intérêt pour le technicien de la mesure car les mêmes méthodes de mesure ne s'appliquent pas à chacun de ces groupes.

### Méthodes de mesure

a) MÉTHODES SYNTHÉTIQUES. — Mesure de l'ensemble du phénomène aux différents points de l'espace, à un instant donné.

Nous citerons parmi les appareillages permettant de réaliser ces mesures :

— la stéréophotographie;

— le ciel étoilé dû à M. l'Ingénieur général du Génie Maritime BARRILLON;

— l'ondoscope Neyrpic.

b) MÉTHODES ANALYTIQUES. — Mesure de la variation du niveau en fonction du temps, en un point de l'espace.

Elles s'appliquent au cas particulier très important de l'étude des agitations dans les modèles de port.

### Appareillages de mesure analytique

1. *Procédé manuel*. — Ce procédé permet le relevé de l'amplitude maximum de la variation du plan d'eau au point de mesure. On opère avec une pointe palpeuse soit directe, soit inversée. Le palpeur est souvent muni d'un indicateur optique à œil cathodique.

2. *Procédé mécanique*. — Ce procédé est historiquement le premier procédé d'enregistrement de la houle sur modèle réduit. Un flotteur léger actionne un bras de faible inertie monté sur pivot et un style enregistre en coordonnées polaires les mouvements du flotteur sur un plaque fumée. Ce procédé a l'avantage de la rusticité et du bon marché mais sa mise en place est, en général, assez délicate.

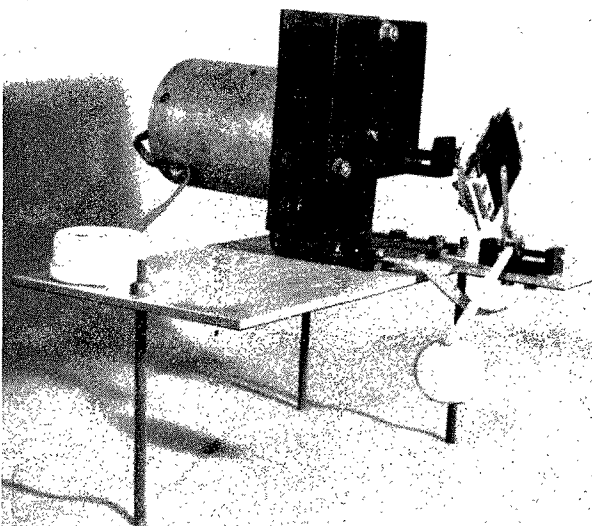


FIG. 1. — Enregistreur d'onde à flotteur.

3. *Procédé optique*. — On a essayé d'enregistrer les variations du niveau en projetant sur une plaque sensible l'image d'une source lumineuse réfléchie sur la surface de l'eau.

Il est assez difficile de relier les déplacements du point lumineux aux amplitudes et l'état des surfaces rend bien souvent la précision illusoire.

4. *Procédé électro-mécanique*. — Pour ne plus demander à un organe mécanique l'énergie nécessaire à l'enregistrement, on asservit à l'aide d'un moteur de commande la position de la plume enregistreuse à la position d'une pointe électrique détectant le plan d'eau. On peut citer parmi les enregistreurs de ce type la réalisation de M. VALEMOIS, du Laboratoire National de Châtou, le limnigraphe à tête vibrante, qui peut enregistrer des houles de longue période. La tête vibrante employée seule permet par contre la mesure de phénomènes très rapides pour des amplitudes inférieures à 5 mm.

5. *Procédé électrique*. — Nous allons discuter particulièrement ce procédé.

### Procédés électriques de mesure de niveau

Ils nécessitent un appareillage assez complexe et on peut leur reprocher l'influence de la tension superficielle et des paramètres physiques de l'eau : température, salinité, turbidité, etc. Cependant leur absence d'inertie et leur souplesse d'utilisation les font en général préférer aux autres modes de mesure.

Les capteurs transformant la variation de niveau en une grandeur électrique sont du type discontinu ou du type continu.

Les capteurs discontinus sont constitués par une série de plots également répartis sur une verticale. Entre ces plots sont connectées en série les résistances. L'eau shunte les résistances correspondant aux plots immergés et la résistance totale varie en fonction de l'enfoncement du capteur.

Les capteurs continus semblent préférables. Nous citerons deux types de capteurs continus ayant fait l'objet d'applications pratiques importantes : les capteurs à résistance et les capteurs à capacité.

1. *Capteurs à résistance*. — Ce type de capteur a été employé plusieurs années au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique. Les premiers capteurs étaient constitués par deux tiges métalliques d'environ 1 mm de diamètre et espacées de quelques millimètres. On mesurait la variation de résistance électrolytique du milieu liquide entre les deux électrodes avec l'enfoncement du capteur. Les capteurs ont été constitués ensuite par une tige unique servant d'électrode de mesure, le circuit électrique se refermant par des masses disposées dans le modèle. Ces capteurs sont très robustes, ils peuvent être alimentés en courant industriel 50 périodes; l'appareillage de mesure comprenait donc un transformateur d'isolement abaissant la tension du secteur à une tension compatible avec le fonctionnement des capteurs, le secondaire de ce transformateur alimentait un pont de Wheaton dans une des branches duquel était inséré le capteur de mesure. Dans la diagonale de mesure du pont on plaçait l'entrée d'un oscillographe cathodique. La longueur du spot variait avec l'enfoncement du capteur. On enregistrait après tarage ses variations sur un film de papier sensible déroulé continuellement devant l'écran de l'oscillographe par une caméra.

2. *Capteurs à capacité*. — Le principe de ce capteur n'est pas très récent, on le cite dans le cours de mesure de l'École des Ingénieurs Hydrauliciens, par M. VAPOR. Cependant l'emploi de ces capteurs ne s'est pas développé jusqu'à présent pour des raisons technologiques : difficultés de réalisation d'un fil isolant assez mince et assez homogène. L'actuelle fabrication des fils émaillés à

haute résistance pour le bobinage permet de résoudre ce problème d'une manière en tous points satisfaisante. Les capteurs à capacité employés par le Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique sont donc constitués par du fil émaillé à haute résistance mécanique tendu sur une lyre métallique servant de support.

Après de longues recherches nous avons abandonné les capteurs à résistance et nous avons réalisé quelques appareillages de type semi-industriel basés sur l'emploi du capteur à capacité.

#### Appareillages construits par le Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique basés sur l'emploi des capteurs à capacité

Le capteur apparaît électriquement comme une capacité variant linéairement avec l'enfoncement.

Nous avons préféré l'enregistrement à plume encreuse aux autres modes d'enregistrement car il facilite grandement l'exploitation des essais. D'autre part l'industrie française sort actuellement des enregistreurs à encre à réponse rapide, étudiés pour les besoins de la radiodiffusion.

Sur ce principe nous avons réalisé trois types d'appareil répondant aux différents besoins des utilisateurs.

— Le premier de ces appareils, l'enregistreur d'onde, est adapté spécialement à l'étude des ondes et des houles en canal.

— Le second, l'enregistreur graphique de la houle (EGH) peut remplir les fonctions du premier mais il est d'un emploi beaucoup plus souple et se prête à l'exploitation quasi industrielle des modèles à houle.

— Le troisième, l'indicateur d'amplitude, très facilement maniable, mais de précision inférieure à celle des deux précédents, est destiné aux études préliminaires sur les modèles à houle.

Pour ces trois appareils le poste de mesure se trouve toujours placé sur le bord du modèle. Le capteur peut être déplacé d'un point du modèle à l'autre, par exemple sur les modèles à houle on monte ordinairement au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique, les capteurs sur

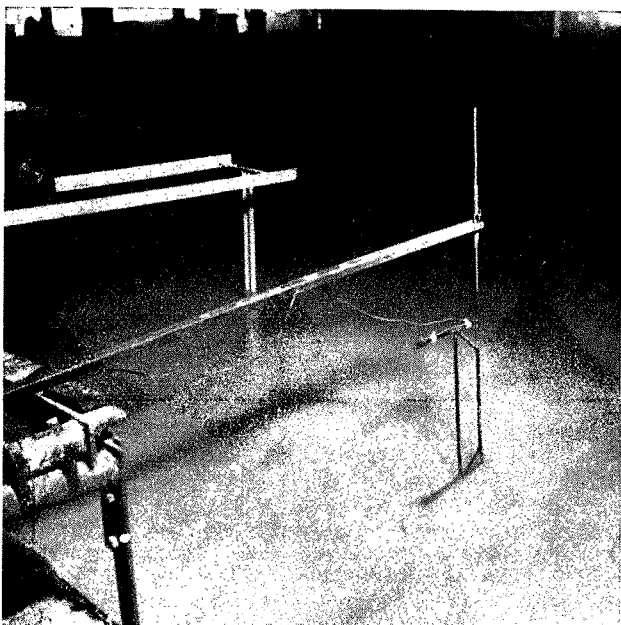


FIG. 2. — Capteur à capacité.

des petits chariots automoteurs se déplaçant sur des rails dans les zones caractéristiques.

Dans la réalisation pratique de l'appareillage nous avons mis au point un système nouveau de blocs interchangeables.

Ces blocs sont raccordés au châssis général par des connecteurs et leur pose se fait instantanément. Un technicien non spécialiste peut ainsi procéder au dépannage de l'appareil; un détail technologique de cet ordre est d'une grande importance pour la bonne réussite des essais et leur continuité.

Nous allons décrire sommairement les trois appareils cités ci-dessus et leurs caractéristiques.

1. *L'enregistreur d'onde.* — L'appareil comprend deux malettes, munies de poignée de transport et un jeu de sondes. Une des malettes contient l'appareillage électronique, la seconde l'enregistreur.

La gamme des amplitudes mesurables est comprise entre 50 cm et 0,5 mm. La précision atteint souvent 1 % pour des périodes supérieures à 0,4 s.

2° *L'enregistreur graphique de houle (EGH).* — Cet appareil se présente sous la forme d'un petit meuble monté sur table roulante. Il se tare comme l'enregistreur d'onde mais son emploi est beaucoup plus souple. L'opérateur peut centrer son enregistrement en cours d'essai sans retoucher au capteur en agissant sur un bouton de centrage. Il dispose de trois gains commutables de rapport, 1, 2, 5 permettant de changer sa sensibilité en cours d'essai quand il passe par exemple un capteur au large, un capteur placé au fond d'une darse où l'agitation est faible.

Un filtre commutable lui permet d'éliminer les variations de plan d'eau à la fréquence de la houle pour ne conserver que les lentes variations par exemple une seiche excitée par la houle et d'amplitude assez faible pour être masquée par celle-ci.

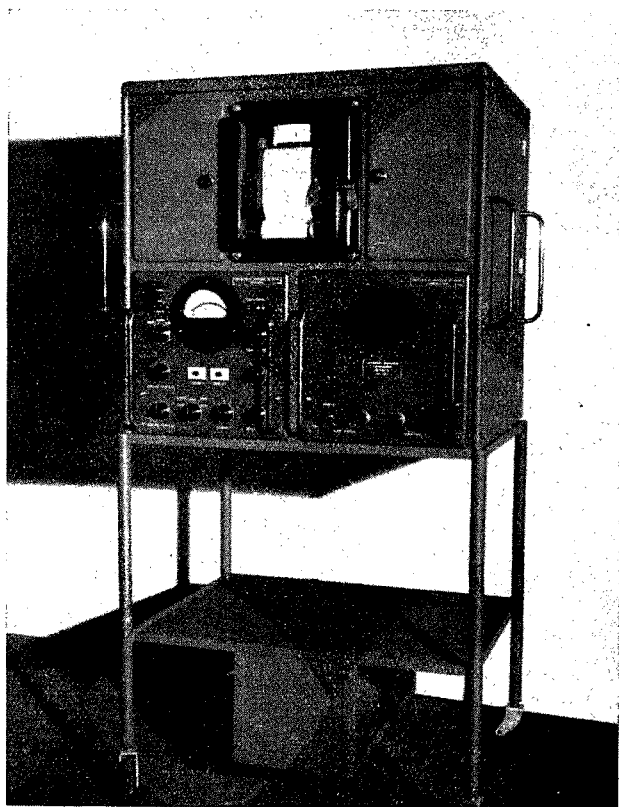


FIG. 3. — Enregistreur graphique de houle.

Enfin un filtre spécial permet d'éliminer, au contraire du filtre seiche, les périodes longues pour ne garder que les variations du niveau correspondant aux phénomènes de la houle. Ce filtre est d'une grande importance pratique dans le cas des mesures faites avec les chariots auto-moteurs car il élimine les décadres dus aux flèches des rails.

3. *L'indicateur d'amplitude.* — Cet appareil est composé d'une petite mallette très facilement transportable et d'un capteur monté sur trépied.

Il indique sur un milliampèremètre la valeur maximum de l'agitation aux points de mesure.

Pour faire une mesure l'opérateur, après avoir placé son capteur au point de mesure, ramène l'aiguille du milliampèremètre à zéro à l'aide d'un poussoir puis laisse l'aiguille se stabiliser à la valeur maximum de l'agitation qu'elle atteint au bout de 5 ou 6 périodes de houle.

Cette méthode de mesure a l'avantage de donner au technicien, au cours même de l'essai des données quantitatives sur les agitations et de modifier immédiatement la disposition des ouvrages en contrôlant l'influence de ces modifications sur les agitations. Il permet donc de dégrossir les problèmes et de rejeter des solutions particulièrement défavorables en laissant aux appareillages plus précis le soin de compléter avec précision les données quantitatives dans les cas les plus critiques.

E.G.H. et enregistreurs d'onde sont depuis dix-huit

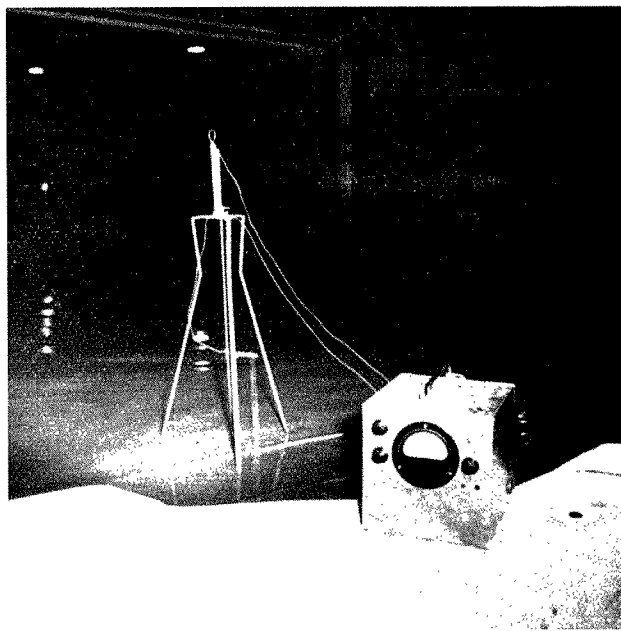


Fig. 4. — Indicateur d'amplitude et son capteur.

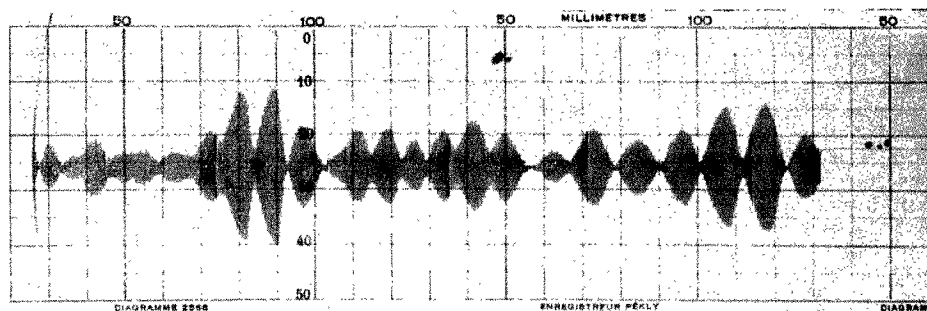


FIG. 5.

Enregistrement de clapotis  
le long d'un quai.  
Sensibilité 1/2 mm par carreau.

mois en service sur les modèles du Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique, en tous points où il est nécessaire de mesurer avec précision des niveaux rapidement variables. L'indicateur d'amplitude s'est introduit parmi eux depuis environ trois mois.

#### Conclusion

Les trois appareils décrits ci-dessus semblent permettre de résoudre dans la plupart des cas les problèmes posés par la mesure des niveaux rapidement variables en laboratoire d'hydraulique.

Ils présentent une précision suffisante pour l'étude physique des phénomènes dynamiques. D'autre part l'E.G.H. en particulier possède une souplesse d'utilisation qui facilite grandement l'exploitation des modèles à houle.

M. le Président remercie M. BOUDAN et donne la parole à M. SANTON, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, pour un exposé faisant suite à la communication de M. BOUDAN :

#### COMMUNICATION DE M. SANTON

#### ENREGISTREMENT GRAPHIQUE DU PROFIL D'UNE HOULE AU LABORATOIRE

##### Résumé

J'ai construit au Laboratoire d'Hydraulique de l'Institut Polytechnique de Grenoble, avec le concours de l'un de mes collaborateurs M. Marcou, un appareil simple qui trace le profil d'une houle périodique.

Le rôle symétrique joué par les variables temps et abscisse a déjà permis de remplacer l'exploration instantanée de la surface de la houle le long de sa direction par une exploration locale au cours d'une période. Nous y avons ajouté l'exploration aux différentes cotes en utilisant les périodes successives. Cette utilisation est possible grâce à la périodicité rigoureuse imposée par le batteur. Il en résulte une simplification considérable de l'appareillage.

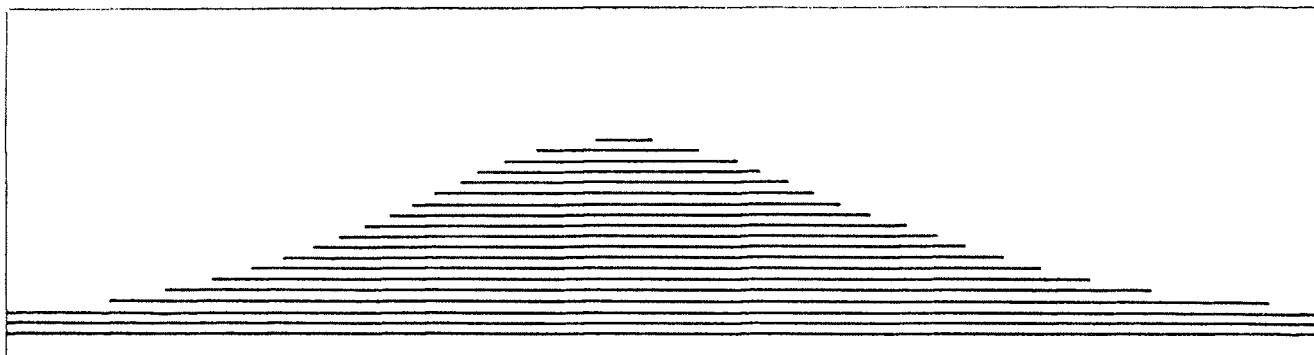
Une pointe conductrice descend d'un mouvement lent et régulier (1 mm/s) au-dessus de la houle cependant qu'un stylet inscripteur se déplace à une vitesse égale (ou à l'un de ses multiples simples) parallèlement aux génératrices d'un cylindre enregistreur recouvert de papier « Télédeltos » et solidaire du volant qui entraîne le batteur. La pointe, la masse du canal, le cylindre et le stylet font partie d'un circuit électrique alimenté par générateur à 5.000 Hz.

Pendant la durée de l'immersion de la pointe, le courant passe et le stylet trace un arc d'hélice dont la longueur est proportionnelle à cette durée et aussi à la largeur de la houle à la cote considérée. La vague suivante trouve la pointe un peu plus basse et l'arc tracé est un peu plus long.

En développant le papier enregistreur, on obtient une série de traits parallèles, très légèrement inclinés sur l'horizontale, et qui dessinent en hachures particulièrement régulières le profil de la houle. Le dessin ci-contre reproduit un enregistrement, mais pour la clarté du cliché, on n'a représenté qu'un trait sur cinq.

L'appareil possède l'avantage et l'inconvénient de représenter toujours la longueur d'onde, quelle que soit sa valeur, par la circonférence du cylindre. C'est un avantage pour comparer les profils de deux houles de longueurs différentes. Ce serait un inconvénient si nous ne pouvions pas, avec ce même appareil, déterminer très rapidement la longueur d'onde.

Pour cela, nous fixons la pointe à une cote invariable, nous enregistrons l'arc d'hélice correspondant; puis



#### Discussion

M. LARRAS fait remarquer que l'appareil de M. SANTON suppose la constance de la période et de la longueur d'onde; or, si l'on peut quelquefois obtenir en laboratoire la constance de la période, il paraît difficile d'avoir une longueur d'onde constante dans un modèle où il y a presque toujours réflexions partielles.

M. SANTON répond qu'il a utilisé un canal comportant une plage d'amortissement suffisante, et que, d'autre part, si la houle n'est pas régulière, l'appareil le montrera et renseignera sur les irrégularités.

M. BOUDAN dit que le gros avantage de l'appareil présenté par M. SANTON est de permettre une mesure directe du phénomène à l'erreur du ménisque près. Il devrait pouvoir constituer un appareil étalon donnant indiscutablement la forme d'un profil de houle produite dans

des conditions idéales; ses diagrammes pourraient être comparés aux résultats de l'enregistrement de la même houle idéale par des appareils plus rapides, afin de déterminer exactement les qualités de ces derniers dans leur application à des mesures plus complexes sur modèle.

M. SANTON indique qu'il croit pouvoir éliminer l'erreur du ménisque en employant une pointe inversée.

M. le Président dégage les conclusions de la communication de M. BOUDAN et de l'exposé de M. SANTON, comme suit: il faut une grande quantité d'appareils différents pour mesurer les niveaux, parce que les cas sont très variables; néanmoins, l'état de la question qui vient d'être fait, semble faire apparaître une notion de « familles » dans les appareils, auxquels on pourra se reporter pour créer encore de nouveaux types.

#### EXPOSÉ DE M. LACOMBE

##### ENREGISTREMENT DE HOULE A BORD D'UN BATIMENT

Sur la demande de M. GOUGENHEIM, M. le Président donne la parole à M. LACOMBE pour un exposé sur certains appareils de mesure de houle réalisés en Angleterre:

#### Résumé

Dans le numéro de *Nature* du 18 octobre 1952, M. TUCKER présente un enregistreur de houle utilisé à bord d'un bâtiment. Après avoir fait un exposé critique de toutes les méthodes actuellement utilisées, en particulier l'enregistrement à la perche à houle ou la lecture à la perche à houle, l'enregistrement par stéréophotogrammétrie, il en arrive à dire que ces appareils ont un inconvénient majeur, c'est qu'ils ne donnent pas une image continue de la houle.

La National Institute of Oceanography Britannique a donc mis au point un appareil constitué de la façon suivante: en deux points symétriques, par rapport à l'axe du bâtiment, on disposera:

— D'une part, deux manomètres enregistreurs de pression: on fait la moyenne de leurs indications pour ramener les variations de pression à l'axe du bâtiment;

— D'autre part, en des points voisins symétriques par rapport à l'axe, deux accéléromètres dont on fait également la moyenne des indications.

Le graphique de la moyenne des deux accélérations, en fonction du temps, est intégré deux fois par rapport au temps, par un dispositif électronique, dont on ne donne pas le détail, mais, je suppose que les électroniciens doivent voir tout de suite ce dont il s'agit, et l'ensemble donne une courbe plus ou moins fluctuante. Et on rapproche l'intégration obtenue à partir de l'enregistrement des accéléromètres de l'enregistrement obtenu par les deux manomètres. Ces manomètres, d'ailleurs, donnent des enregistrements à périodes beaucoup plus courtes, ce qui est assez normal, puisque le bâtiment participe essentiellement aux mouvements dus aux longues ondulations.

Par conséquent, le déplacement du niveau de l'eau par rapport à un plan de référence arbitraire est la somme du mouvement déterminé par la double intégration, et du déplacement déduit des fluctuations de pression. On obtient ainsi un enregistrement continu, et on peut faire l'analyse des périodes de ces enregistrements.

- L'article présente un certain nombre d'enregistrements.
- Le premier, l'enregistrement des accéléromètres;
- En-dessous, l'enregistrement des pressions;
- Et en-dessous la somme de ces deux enregistrements.

L'article présente aussi l'analyse de fréquence de ces trois enregistrements.

En fait, on voit tout de suite que la fréquence des houles lue au manomètre est évidemment beaucoup plus grande, les périodes sont plus faibles, ce qui est tout à fait normal.

On pense que cet appareil permettra de résoudre le problème non résolu jusqu'à présent : l'enregistrement continu de la houle en mer à bord d'un bateau.

**Discussion**

M. le Président remercie M. Lacombe; il objecte que la mesure faite sur la coque du bateau comportera la déformation due à la présence même du bâtiment, et se demande si cette déformation n'est pas encore plus grande que l'estime qu'on peut faire en observant la houle à quelques mètres dudit bateau par d'autres procédés.

M. LACOMBE rappelle l'objection de discontinuité faite aux autres procédés et pense que certaines précautions doivent permettre de limiter la réflexion des houles sur les parois du bateau : on doit chercher, notamment, à mettre le bâtiment debout à la lame, mais en présence de plusieurs houles de directions différentes, on ne peut évidemment le faire.

M. VALEMBOS croit savoir que des houles de 10 mètres de creux ont pu être enregistrées par ce procédé.

M. LACOMBE répond que l'on parle, en effet, de houle de 30 pieds (9 m) dans l'article.

M. VANTROYS pense que, pour pouvoir répondre à toutes ces questions, il faudrait comparer les enregistrements d'une même houle par ces appareils et les autres méthodes classiques (stéréophoto, perche de Froude) qui, malgré leur discontinuité, permettraient d'étalonner un certain nombre de points de l'enregistreur continu.

M. BANAL se propose, pour la mesure de la houle au bateau-feu du Havre, de remplacer les accéléromètres par des sondeurs à ultra-sons, qui, par des fonds de l'ordre de 30 m et le bateau immobile, donneraient la hauteur du navire par rapport au fond avec plus de précision que les accéléromètres.

M. LACOMBE indique que selon l'article, des accéléromètres ont une sensibilité d'environ 30 volts par  $g$  et sont linéaires à 1 % près entre  $-0,4$  et  $+0,4 g$ .

M. LARRAS reproche à cet appareil de mesurer une houle déformée par le bateau, au point d'être quelquefois transformée en clapotis et de prendre en compte les chocs de la lame sur la coque, sauf si le navire est debout à la lame et si l'on a une houle extrêmement longue, tranquille, à surface lisse, comme la grande houle Atlantique résiduelle de tempête. En toute autre circonstance, on ne peut pas considérer que la pression idéale au milieu du navire soit la moyenne des pressions enregistrées sur les deux flancs.

En conséquence, M. LARRAS ne croit pas que cet appareil puisse rendre les services attendus pour les propres mesures de houle, mais il estime qu'il est intéressant pour déterminer les effets de la houle sur la coque et les périodes de houle auxquelles le bateau est soumis, alors qu'on ne mesurait jusqu'ici que des périodes apparentes.

M. SCHIFF estime que malgré les nombreuses objections qu'on lui oppose, cette méthode est intéressante parce que c'est la seule permettant la mesure continue de la houle au large.

M. LACOMBE précise que les Anglais ont besoin de connaître le spectre de fréquence de la houle, c'est

pourquoi ils font cet enregistrement continu qui leur assure cette connaissance.

M. MICHE croit, en effet, d'après l'article analysé, qu'il s'agit de recherches impliquant notamment l'analyse des fréquences de la houle, et que les houles étudiées étaient relativement longues et régulières. En conséquence, les mesures de pression ne doivent pas être trop mauvaises, il y a peu de chocs, et l'appareil convient à ce genre de recherches.

M. LACOMBE cite les réponses que fait l'auteur à certaines objections : les vagues réfléchies partiellement ne doivent pas introduire de grosses erreurs; les vagues courtes ne sont guère mesurées, étant donné l'emplacement des appareils à 10 pieds sous la ligne d'eau; l'augmentation apparente de gravité due aux courtes périodes du pendule accéléromètre, est corrigée par un choix correct et constant des circuits d'intégration et par un couplage à résistance-capacité; des vagues de hauteur 30 pieds (10 mètres) ont été mesurées pendant une tempête au moyen de cet appareil; ses résultats comparés à diverses autres méthodes d'enregistrement de la houle font apparaître une précision de  $\pm 10\%$ .

M. CHRISTIAN BEAU se demande si certains appareils de mesure de la gravité, appareils de faibles dimensions d'ailleurs qui permettent de déceler les différences d'altitude infimes de 3 cm, par exemple, ne pourraient pas être utilisés concurremment avec les manomètres pour situer le niveau du bâtiment.

M. GOUGENHEIM indique toutefois que ces appareils basés sur des pendules astatiques exigent une stabilité considérable qui n'a pu être obtenue jusqu'à présent, même dans leur emploi à bord de sous-marins posés sur le fond.

COMMUNICATION DE M. MICHE

**APPLICATION DE LA THÉORIE STATISTIQUE DES HOULES FLUCTUANTES A L'ÉTUDE DES DÉFERLEMENTS SPORADIQUES**

**Résumé**

1. — BASE D'UNE THÉORIE STATISTIQUE DES HOULES FLUCTUANTES

Les houles réelles, phénomènes fort complexes, surtout près de leur aire de génération par le vent (les analyses harmoniques décèlent jusqu'à 25 composantes), peuvent se caractériser par la répartition statistique des dénivellations de la surface de l'eau. La courbe de probabilité de cette dénivellation est d'autant plus proche de celle de LAPLACE-GAUSS que le nombre des ondes composant la houle est plus grand. La figure 1 indique, à titre

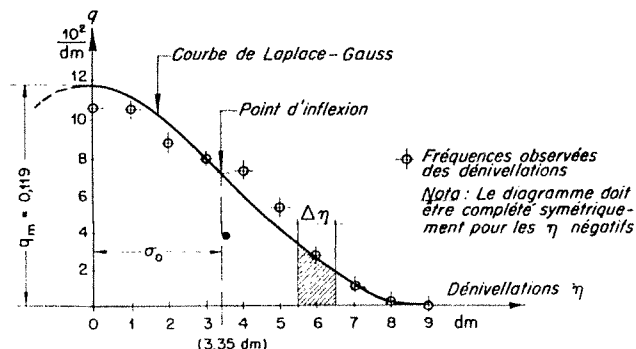


FIG. 1. — Répartition statistique de dénivellations.

Fréquences relatives des dénivellations en %											TOTAUX
Calcul. . .	5,9	11,5	9,9	7,9	5,8	4,0	2,5	1,3	0,7	0,5	50,0
Mesures. .	5,5	10,8	8,8	8,0	7,4	5,3	2,8	1,1	0,3	0	50,0

d'exemple, le résultat de l'observation, au point fixe, d'une centaine d'ondulations successives relevées près de la côte méditerranéenne pour une agitation courante de 40 cm d'amplitude moyenne. Les fréquences relatives obtenues expérimentalement et la courbe théorique de probabilité des dénivellements sont déjà assez voisines pour ce nombre restreint d'ondulations.

Ce résultat étant acquis, il est possible de déterminer, au moins de façon approchée, les courbes de probabilité des diverses caractéristiques du mouvement fluctuant. On se bornera, ci-après, à celles des demi-amplitudes  $h$ , donnée par l'équation :

$$q(h) = \frac{\pi h}{2h^2} e^{-\pi^2 (h/\bar{h})^2} \quad (1)$$

$(0 < h < \infty)$

$q(h) dh$  étant la probabilité élémentaire d'une demi-amplitude comprise entre  $h$  et  $h + dh$ .

$\bar{h}$  est la valeur moyenne des amplitudes, qu'on peut déterminer expérimentalement.

La figure 2 donne les répartitions expérimentale et théorique des amplitudes dans le cas de l'agitation représentée à titre statistique, sur la figure 1. Les concordances apparaissent relativement satisfaisantes.

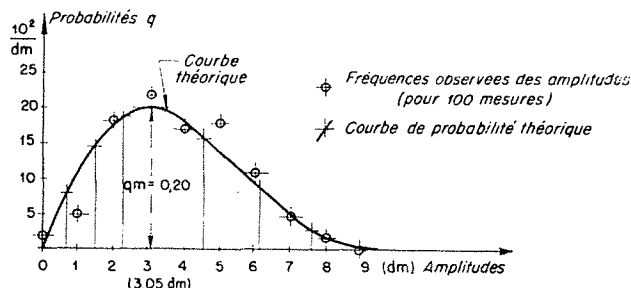


FIG. 2. — Répartition statistique d'amplitudes.

Fréquences relatives des amplitudes en %										TOTAUX	
Calcul...	1,4	9,9	17,2	19,8	18,1	14,2	9,1	5,4	2,9	2,0	100,0
Mesures...	2	5	18	22	17	18	11	5	2	0	100,0

La probabilité P pour qu'une onde d'amplitude  $2h$  soit dépassée vaut :

$$P = \int_h^\infty q(h) dh = e^{-\pi^2 (h/\bar{h})^2} \quad (2)$$

Il s'ensuit une probabilité d'environ 5 % (une crête sur vingt), pour que l'amplitude moyenne de la houle soit, au moins, doublée et une probabilité de 1 % environ pour que cette amplitude moyenne soit dépassée de 140 %, au moins.

2. — APPLICATION AUX DÉFERLEMENTS SPORADIQUES (brisures locales)

Observés plus ou moins fréquemment en mer, même en l'absence de vent, les déferlements sporadiques sont dus à la présence de lames anormalement hautes, assez éloignées de leur forme sinusoidale théorique; ils sont restreints à une courte longueur de crête.

La théorie exposée plus haut vaut pour les petits mouvements. Toutefois, elle reste suffisamment approchée jusqu'à la forme limite des lames, pour laquelle la

cambrure vaut approximativement 0,14 en eau profonde et

$$\gamma_d = \frac{h_d}{L} = 0,14 \text{ Th } \frac{\pi H}{L} \quad (3)$$

en eau de profondeur H.

$\gamma_d$  est la cambrure limite à l'amorce du déferlement,  $2 h_d$  l'amplitude limite,  $2 L$  la longueur d'onde.

Cette formule (3), de nature empirique, est valable en principe pour une houle régulière, mais paraît donner également, en valeur moyenne, une bonne approximation pour des houles fluctuantes.

En remplaçant  $h$  par  $h_d$  dans la relation (2) et en tenant compte de la formule connue déterminant la célérité des ondes V, on exprime la valeur moyenne de l'amplitude sous la forme :

$$2\bar{h} = \frac{0,08 V^2}{\sqrt{L(1/P)}} \text{ (unités m et s)} \quad (4)$$

Enfin, si l'on adopte la définition américaine de l'onde *significant* comme donnant l'appréciation visuelle de la hauteur apparente d'une houle irrégulière, il faut multiplier par 1,59 le coefficient numérique 0,08 de la formule précédente. La hauteur de l'onde *significant* est la valeur moyenne des hauteurs des lames les plus creuses constituant le tiers des trains d'ondes. On peut effectivement calculer, en utilisant la théorie précédente, que la hauteur de cette onde dépasse de 59 % l'amplitude réelle de la houle.

En résumé, la formule (4) permettra de déterminer la hauteur moyenne (ou *significant*) d'une houle fluctuante par la fréquence relative P des déferlements sporadiques, observés au point fixe, dès qu'on aura mesuré ou estimé en célérité moyenne V.

Inversement, lorsqu'on connaîtra la hauteur moyenne de la houle, la formule fournirait un nouveau contrôle de la théorie statistique.

Si la vérification expérimentale de la formule (4) se révèle possible par l'observation du nombre relatif des crêtes déferlantes, relevé à poste fixe, par exemple à quelques mètres à l'avant de l'étrave d'un bateau à l'arrêt, on disposera d'un moyen apparemment simple pour fixer approximativement la hauteur effective de l'agitation.

L'expérience n'a de chance sérieuse d'aboutir que près des côtes, mais avant la zone des déferlements permanents, c'est-à-dire justement dans la région où l'estimation de l'amplitude est la plus intéressante pour la tenue d'un port. Au large, par contre, la probabilité P sera, en général, infime, sauf après une tempête très violente.

A titre d'exemple, on trouve qu'une houle ayant atteint, près d'une côte, la profondeur relative courante de  $H/2L = 0,10$  déferlera, en moyenne, une fois sur vingt, si sa cambrure moyenne, au large, est de 2,10 %. valeur fréquente en mer.

Discussion

M. le Président remercie M. MICHE et souligne le triple intérêt de son travail :

1° L'intérêt, pour le projeteur d'un ouvrage relativement fragile soumis à la houle, de connaître la vague susceptible d'emporter cet objet.

2° L'intérêt pour le constructeur d'ouvrages massifs, de calculer l'intégrale des efforts successifs de la houle sur cet ouvrage.

3° L'évaluation du creux maximum que l'on ne saisit pas couramment dans la pratique, car la hauteur de l'onde *significant*, qui est observée couramment, serait, d'après les Américains, « la valeur moyenne des hauteurs des lames les plus creuses, constituant le tiers des trains d'ondes ».

M. le Président pense qu'il serait intéressant de voir si « les trois lames fortes sur neuf » de la théorie sim-

pliste connue ont une amplitude correspondant à 1,59 fois la moyenne des amplitudes du « tiers le plus creux ».

M. MICHE dit que cette vérification est possible, mais que de fortes fluctuations sont à prévoir pour un nombre d'ondes aussi faible.

M. SCHIFF estime que la loi de distribution statistique des houles sur laquelle est basée l'intéressante étude de M. MICHE, serait à vérifier.

M. MICHE signale que cette distribution des amplitudes, valable au surplus en première approximation, a déjà été vérifiée à quelques reprises; dans les limites de cette précision, elle doit l'être pour toutes les houles qui n'ont pas subi un amortissement excessif par suite d'un très long cheminement; ceci représente peut-être 80 à 90 % des cas.

M. MICHE indique, en outre, que des contrôles de la théorie statistique ont été faits d'après des diagrammes de houle qui lui ont été remis par M. VANTROYS, pour une houle de 3 m, tant en ce qui concerne les amplitudes, que les périodes, les fréquences, les fluctuations du niveau moyen, etc. Les distributions de ces divers paramètres ne sont pas toutes gaussiennes, mais elles sont, en général, en forme de cloche.

M. MICHE signale que l'ensemble de l'étude va paraître prochainement dans les Annales Hydrographiques.

M. DEVIMEUX expose que le Laboratoire Central d'Hydraulique de France a étudié la production de houles artificielles sous l'effet du vent. Il a été constaté que, bien que le vent produit ait été pratiquement régulier, la houle obtenue présentait des caractéristiques fluctuantes.

Les graphiques enregistrés au cours de ces essais ayant été communiqués à M. MICHE, M. DEVIMEUX demande à celui-ci de vouloir bien exposer le résultat de ses observations et d'indiquer dans quelles conditions la théorie qu'il vient de développer s'applique aux houles ainsi produites.

M. MICHE répond que la houle artificielle produite par le vent, dont il a examiné les caractéristiques, présente, tout au moins à une certaine distance de l'appareil générateur, les propriétés statistiques générales des houles naturelles; le procédé employé fournit un moyen de reproduire, à quelque chose près, les houles naturelles, dont la complication (jusqu'à 25 composantes à 3 constantes chacune, amplitude, fréquence et phase) exclut la reproduction par les méthodes habituelles. On peut

définir un paramètre  $\beta$  de « largeur relative de la bande de fréquence » qui caractérise l'irrégularité de la houle naturelle. Il peut se déduire du diagramme de répartition des ondes composantes en rapportant à la fréquence de l'onde moyenne, l'écart-type des fréquences composantes affectées de poids proportionnels aux amplitudes correspondantes. En réalité, on déterminera  $\beta$  par un procédé plus rapide et plus sûr ne nécessitant pas l'établissement préalable d'une analyse harmonique.

Le rapport  $\beta$  est nul pour l'onde progressive théorique qui est unique, égal à 1/8 environ pour une houle enregistrée à Pendeen et relativement assez régulière, à 1/5 pour la houle de laboratoire produite par le vent dont il a analysé les caractéristiques et à 1/3 pour la houle très jeune, c'est-à-dire très irrégulière, des îles Chausey, enregistrée par M. VANTROYS.

M. MICHE explique comment en laboratoire un vent régulier peut produire une houle composée : cela tient à ce que le vent régulier est, en réalité, irrégulier dans l'espace, du fait de son épanouissement, et que sa vitesse varie lorsqu'on s'éloigne de l'appareil générateur.

M. le Président suggère de produire la houle par un vent irrégulier correspondant à un certain rythme. Il indique, d'autre part, que les 25 composantes de la houle sont à rapprocher de la composition de la marée, bien que les deux phénomènes n'aient pas de rapport.

M. VALEMBOS fait remarquer que l'enregistrement des houles de Pendeen à 35 mètres, avec un manomètre, suivant M. MICHE, doit avoir pour effet de réduire le coefficient  $\beta$ .

M. MICHE signale que ce coefficient  $\beta$  pour les houles de Pendeen est assez imprécis pour une autre raison, car sa détermination, à partir de diagrammes d'analyses harmoniques, est sujet à caution.

De ce qui précède, M. DEVIMEUX tire la conclusion qu'une houle produite sous l'effet du vent est plus voisine des houles naturelles que celles engendrées par un générateur classique. Il ajoute que le Laboratoire de Maisons-Alfort a mis au point divers procédés permettant d'obtenir, à partir d'un générateur mécanique, des houles fluctuantes présentant toutes les caractéristiques désirées. Ce genre de houles est d'ailleurs très fréquemment employé dans les essais poursuivis à Maisons-Alfort.

La séance est levée à 17 h 30.

## SÉANCE DU JEUDI MATIN 27 NOVEMBRE 1952

La séance est ouverte à 9 h 15, sous la présidence de M. BARRILLON, Président du Comité Technique.

### Adoption du procès-verbal des séances des 18 et 19 mars 1952

Le procès-verbal, déposé sur le bureau depuis le début de la session, n'ayant donné lieu à aucune observation, est adopté.

### EXPOSÉ SUR LES RÉUNIONS ET LE VOYAGE D'ÉTUDES DU GROUPE DE TRAVAIL DE CORRECTION DES TORRENTS ET DE LUTTE CONTRE LES AVALANCHES, ORGANISÉ PAR LE GOUVERNEMENT FRANÇAIS, SOUS L'ÉGIDE DE L'O.N.U., DANS LES ALPES FRANÇAISES du 28 juin au 8 juillet 1952

Cet exposé dû à la collaboration de MM. RENEUVE et MARQUENET a été entièrement présenté par M. RENEUVE, en l'absence de M. MARQUENET, souffrant.

On en trouvera le texte *in extenso*, pages 168 et suivantes du présent numéro.

### EXPOSÉ SUR LA MISSION INTERNATIONALE N° 108 ORGANISÉE PAR L'O.E.C.E. A L'OCCASION DU CENTENAIRE DES INGÉNIEURS CIVILS AMÉRICAINS

(American Society of Civil Engineers)

par M. HUPNER.

#### Résumé

M. HUPNER, délégué de la France à cette mission, fait un compte rendu très circonstancié des réunions et voyages auxquels il a participé, notamment :

— Les réunions de la mission à Chicago où les dates, lieux et programmes des prochaines réunions internationales ont été communiqués :

Congrès International des Grands Barrages : Paris, juin 1955 (Président : M. HATHAWAY; Vice-Président : M. DROUJIN).

Association Internationale des Irrigations et Drainages : Alger, avril 1954 (Vice - Président : M. DROUJIN).

Association Internationale des Recherches Hydrauliques : Minneapolis, août 1953 (programme : courants de densité, entraînements d'air, houle, transport des sédiments).

Lors des réunions de Chicago, un hommage a été rendu à l'avance de la technique française en matière de béton précontraint, grâce aux travaux de M. FREYSSINET.

— La visite du Bureau of Reclamation, à Denver (Colorado) : Bureaux d'études et Laboratoires centralisant la construction des barrages dans l'Ouest des Etats-Unis, qui a réalisé le Boulder Dam, Gran Coulee Dam, et poursuit notamment la réalisation du Big Thompson Project.

— Les visites des barrages :

— Gran Coulee Dam, sur la rivière Columbia, construit par le Bureau of Reclamation et de son réservoir de compensation situé à l'aval : Chief Joseph Dam, construit par le Corps of Engineers.

— Hungry Horse Dam, sur un affluent de la rivière Columbia, barrage comparable à Tignes, mais moins hardi, puisque, pour une hauteur du même ordre, son épaisseur au pied est beaucoup plus importante.

— Garrisson Dam; barrage en terre en construction par le Corps of Engineers, sur le Missouri (longueur, remous, et cuvette immenses).

— La visite du « glacier National Park » dans lequel se trouve le point triple de trois versants (Pacifique, Atlantique et Arctique) et des glaciers qui, contrairement à la tendance des glaciers européens, semblent, après de longues années de régression, être entrés dans une période d'accroissement, révélant un changement de climat qui peut avoir des conséquences vitales pour la civilisation.

La place nous manquant pour donner un compte rendu fidèle de l'intéressant exposé de M. HUPNER, nous renvoyons, d'accord avec celui-ci, aux revues techniques pour les monographies des barrages américains et nous nous bornons à reproduire intégralement les conclusions pertinentes du conférencier :

« La Mission de P.O.E.C.E. aura la tâche de tirer des conclusions générales au point de vue productivité. Je crois que ce sera très ingrat, puisqu'il faudra marier les avis et les conclusions de groupes d'experts aussi différents que ceux des téléphones, des mines, des ports, des routes, ou des grands barrages. En ce qui nous concerne nous avons surtout à nous préoccuper du point de vue technique des barrages.

« La France, évidemment, a fait de larges emprunts aux techniques américaines, il faudrait essayer d'écrire l'histoire de la construction des barrages en France depuis vingt-cinq ans, pour voir ce qui est 100 % français et ce qui est un emprunt à des techniques américaines, et notamment aux travaux du Bureau of Reclamation, qui a joué un rôle éminent. Les emprunts ont été assez larges. Nous avons fait une comparaison entre

Tignes et Hungry Horse, parce que ce sont pratiquement le mêmes engins qui ont été employés. Nous avons vu qu'en France, on les employait tout aussi bien que chez nos amis d'outre-Atlantique et que la productivité était excellente.

« En somme, au point de vue des barrages en béton, il n'y a pas énormément à apprendre. Il y a cependant deux procédés que nous avons spécialement signalés chemin faisant : d'une part, l'emploi des « fly ashes », des cendres volantes incorporées dans le béton ce qui permet de réduire le dosage en ciment et de diminuer les risques de fissuration par retrait, et, d'autre part, l'emploi de la glace pour le gâchage du béton, ce qui permet également de limiter les risques de fissuration par retrait ou par refroidissement ultérieur; ce dernier procédé est, je crois, tout à fait nouveau, et paraît d'un grand avenir.

« Par contre, où nous avons alors beaucoup à apprendre, c'est en ce qui concerne les digues en terre pour lesquelles les applications étaient restées en sommeil en France, depuis fort longtemps, et justement pour Serre-Ponçon, qui doit être commencé prochainement, le concours de techniciens américains a été obtenu de façon permanente.

« Nous avons visité des ouvrages tout à fait remarquables, comme Gran Coulee, qui sont évidemment grandioses; nous n'avons pas en France d'ouvrages de la même importance. Mais il y a surtout, quelle que soit la qualité de nos projets et notre productivité en matière de construction de barrages qui est excellente, le fait que nous n'arriverons pas au même rendement économique, parce que la nature a été moins généreuse pour nous. Par exemple, si l'on cherche quel est le rapport entre le volume d'une retenue, c'est-à-dire le nombre de millions de mètres cubes d'eau accumulés, et le volume de béton qui doit être mis en œuvre, évidemment la comparaison ne joue pas en notre faveur.

« Voici, par exemple, quelques chiffres pour les ouvrages de la Dordogne :

« Au barrage de Bort : quotient de la retenue par le nombre de mètres cubes de béton : 712; au barrage de Chastang : 692, à Laigle : 666; sur la Truyère, nous trouvons, à Coudesque : 736.

« Le meilleur chiffre français paraît être détenu par Enchanet (1.384), mais c'est un ouvrage moins important.

« Pour les barrages américains, le rapport eau sur béton est, à Gran Coulee : 1.620, à Hungry Horse : 1.900.

« D'autre part, pour les barrages en terre, à Garrisson Dam, nous arrivons au coefficient 550 m<sup>3</sup> d'eau par mètre cube de remblai. A Serre-Ponçon, le quotient sera seulement de l'ordre de 80.

« Ce n'est pas la faute de notre technique. La géographie française nous offre souvent de très belles gorges, mais les cuvettes qui sont à l'arrière n'ont pas des capacités relatives comparables à celles d'outre-Atlantique; cela, nous n'y pouvons rien, c'est un des aspects de la géographie française.

« Quoi qu'il en soit, les visites qui ont été faites sont extrêmement intéressantes, très fructueuses, et sur beaucoup de points, elles confirment que nous sommes, je crois, tout à fait dans la bonne voie. »

La conférence de M. HUPNER a été entrecoupée de magnifiques projections en couleurs, dues au talent photographique du conférencier et de M. TEXIER, Ingénieur au Service Technique des Grands Barrages qui les a sélectionnées et présentées.

M. le Président remercie vivement M. HUPNER.

La séance est levée à 12 h 45.

## SÉANCE DU JEUDI APRÈS-MIDI 27 NOVEMBRE 1952

La séance est ouverte à 14 h 30, sous la présidence de M. BARRILLON, Président du Comité Technique.

### NOUVELLES MÉTHODES POUR LE CALCUL EXPÉRIMENTAL DES ÉCOULEMENTS DANS LES MASSIFS POREUX

par M. HUARD DE LA MARRE,  
*du Laboratoire de Calcul Expérimental d'Analogie  
de l'Institut Blaise-Pascal (C.N.R.S.)*

Le texte *in extenso* de ce mémoire et la discussion qui a suivi sa présentation en séance se trouvent aux pages 193 et suivantes du présent numéro.

### QUELQUES QUESTIONS QUI SE POSENT AUX SPÉCIALISTES DE L'ADDUCTION D'EAU DANS LE DOMAINE DE LA FILTRATION

par M. HARDY,  
*Architecte D.P.L.G.,  
Ingénieur-Conseil à la Sté Chabal et Cie*

Le mémoire de M. HARDY et la discussion qui a suivi son exposé en séance sont publiés pages 179 et suivantes du présent numéro.

### SUR LA THÉORIE DES ÉCOULEMENTS DE FILTRATION

par M. SCHNEEBELI,  
*Ingénieur  
au Service des Etudes et Recherches Hydrauliques  
d'E.D.F.*

Le mémoire de M. SCHNEEBELI et la discussion qui a suivi son exposé en séance sont publiés pages 186 et suivantes du présent numéro.

### COMMENTAIRES DE LA DISCUSSION SUR LA DÉCANTATION INSTANTANÉE DES PARTICULES SOLIDES EN SUSPENSION DANS L'EAU

(Journées de l'Hydraulique)

par M. ORELLI,  
*Ingénieur Civil des Mines,  
Cie d'Épuration et de Traitement des Eaux*

Les commentaires de M. ORELLI et leur discussion à la présente séance ont été incorporés au « Compte rendu des Deuxièmes Journées de l'Hydraulique » : *Transport hydraulique et décantation des matériaux solides.*

La séance est levée à 18 h 40.

## PROCLAMATION DES PRIX DE LA S.H.F. EN 1952

A la fin de la séance de clôture, la proclamation par M. le Président BARRILLON des prix ci-après, attribués par la S.H.F. en 1952, a été hachée d'applaudissements à chaque nomination des lauréats.

### Prix Henri Milon 1952

Le Prix Henri Milon a été décerné à :

M. DE MONTMARIN, Chef de l'Arrondissement des Barrages à la Direction des Travaux Publics de Tunisie, pour sa « Monographie hydrologique de l'oued El Lil et de l'oued Rhézala »,

d'une part,

et à MM. BRESSON, Ingénieur du Service d'Outre-Mer d'Electricité de France, et BOUGARDEAU, Chargé de mission à l'Office de la Recherche Scientifique de la France d'Outre-Mer, pour leur :

*Monographie Hydrologique de la Haute-Benoue*

d'autre part.

Les deux travaux se sont classés *ex-æquo*. D'autre

part, une lettre d'encouragement a été adressée à M. Raymond CURTET, pour son *Etude Hydrologique de la rivière d'Ain et de ses affluents.*

### Prix d'Hydrotechnique 1952

Le Prix d'Hydrotechnique 1952 a été décerné à :

M. MORLAT, Ingénieur au Service des Etudes et Recherches Hydrauliques d'Electricité de France, pour son importante contribution comme Rapporteur général aux Travaux de la Commission pour l'étude de la détermination du débit de crue et notamment pour son mémoire : *Note sur la détermination des débits de crue*, présenté au Comité Technique en juin 1951,

d'une part,

et M. BIESEL, Ingénieur au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique pour l'ensemble de ses études théoriques et expérimentales sur la houle dont certaines ont fait l'objet de communications au Comité Technique et à la Section d'Hydraulique Fluviale et Maritime pendant l'année 1952,

d'autre part.