

WATERBUWKUNDIG
BIBLIOTHEEK
1625
LABORATOIRE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES
BIBLIOTHEQUE



252605

THIBESSARD, G.

I625

Influence de dépôts boueux sur la
perte de charge en conduite.

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
BIBLIOTEK
1625
LABORATOIRE de RECHERCHES HYDRAULIQUES
BIBLIOTHEQUE

0307 001 5443


f-1884



Influence de dépôts boueux sur la perte de charge en conduite

par

Guy THIBESSARD,

Ingénieur A.I.Lg.

Assistant à l'Université de Liège.

Introduction

Le présent exposé est principalement basé sur des observations faites dans des conduites transportant des eaux de barrages, normalement considérées comme peu chargées. A première vue, il ne semble pas trouver sa place dans des Journées consacrées aux « Eaux Usées ».

Mais la nature s'embarrasse fort peu des limites techniques que nous imposons à notre vocabulaire, et nous verrons que des eaux considérées comme claires, peuvent parfaitement abandonner une partie des matières qu'elles transportent là où bon leur semble, et généralement là où nous ne le désirons pas. C'est pourquoi nous estimons que, si notre exposé est légèrement en marge des présentes journées, il n'en comporte pas moins certains enseignements directement transposables et qu'il serait peu sage de négliger entièrement.

Généralités

Pour éviter toute confusion, il nous paraît nécessaire de préciser les bases à partir desquelles nous interpréterons les résultats acquis.

Le transport en conduite d'un fluide entraîne inévitablement des pertes d'énergie. Ces pertes sont généralement classées en deux groupes par les hydrauliciens : d'une part les pertes « locales » que l'on pourra ordinairement négliger si la conduite est suffisamment longue (et si la perte locale n'est pas précisément due à un appareil réglant le débit de l'installation); d'autre part les pertes continues qui agissent en tout point de la conduite.

Nous ne nous occuperons que de ces dernières. Elles ont provoqué un grand nombre de recherches tant théoriques que pratiques mais les lois qui les régissent sont encore mal connues.

Il est d'usage de chiffrer ces pertes continues par le « coefficient de perte de charge » λ , sans dimension. Il est déduit de la relation

$$\frac{\Delta p}{\delta} = \frac{\lambda}{D} \frac{U^2}{2g} l$$

l longueur de la conduite (en m)

D diamètre réel de la conduite (en m)

Δp perte de pression sur la longueur l (en kg/m²)

δ poids spécifique du fluide circulant dans la conduite (en kg/m³)

U vitesse moyenne du fluide (en m/sec)

g accélération de la pesanteur (en m/sec²)

D'autre part, la pratique, confirmant en cela l'analyse dimensionnelle, a mis en évidence la dépendance de λ vis-à-vis du nombre de Reynolds Re , également sans dimension.

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

ν : viscosité cinématique du fluide

U : vitesse moyenne du fluide

D : dimension caractéristique de la conduite (diamètre dans le cas d'une conduite cylindrique).

C'est pourquoi les essais de pertes de charge se représentent le plus souvent sur un diagramme $\lambda = f(Re)$.

La figure 1 reproduit un tel diagramme. Nous y avons reporté une synthèse des essais de Nikuradsé, sur lesquels Prandtl et von Kármán ont appuyé leur théorie de l'écoulement turbulent.

Rappelons que Nikuradsé a étudié, en plus des conduites lisses, des conduites rendues artificiellement rugueuses en collant des grains de sable de même diamètre, soigneusement criblés, à l'intérieur du tuyau. C'est au moyen du diamètre de ces grains de sable, k_s ⁽¹⁾ qu'il caractérise la rugosité du tuyau. L'analyse dimensionnelle conduit à intro-

(1) Nous conservons la notation k_s ou « rugosité équivalente de Nikuradsé » pour désigner le diamètre du grain de sable qui donnerait, dans la zone de pleine turbulence, la même valeur de λ que la rugosité considérée. La hauteur réelle de cette rugosité sera désignée par k .

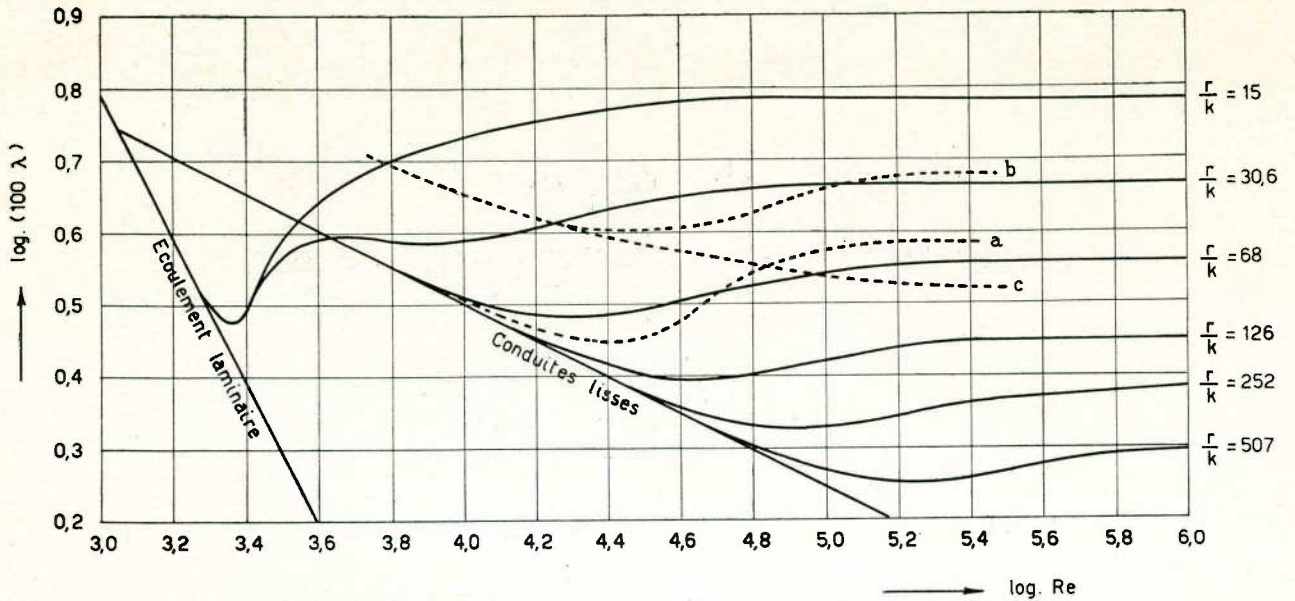


Fig. 1.

Essais de Colebrook et White.

- a : rugosité I, couche de sable uniforme de 0,35 mm de diamètre.
- b : rugosité III, même couche de sable avec grains de 3,5 mm de diamètre régulièrement disposés sur cette couche.
- c : rugosité V, mêmes grains de 3,5 mm disposés comme en b, sur la conduite lisse.

duire le rapport sans dimension $\frac{D}{k_s}$, ou son inverse, $\frac{k_s}{D}$, D étant le diamètre de la conduite étudiée. L'un et l'autre rapports sont appelés (abusivement d'ailleurs pour le premier) rugosité relative de la conduite.

Comme de telles rugosités parfaitement régulières ne se rencontrent pratiquement pas dans la nature, Colebrook et White ont étudié une rugosité artificielle obtenue en disposant régulièrement des grains de sable de grandes dimensions sur une couche uniforme de grains beaucoup plus petits, et même sur la conduite lisse.

L'allure des courbes $\lambda = f(Re)$ qu'ils ont obtenues est d'autant plus différente de celle des courbes de Nikuradsé que l'écart entre les dimensions des grains de sables utilisés est grand. Nous avons tracé, sur la figure 1, trois des courbes obtenues par Colebrook et White.

A la lumière de ces expériences et après avoir étudié les résultats d'essais effectués sur des conduites industrielles, Colebrook a proposé la formule suivante, malheureusement peu maniable :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k_s}{3,71D} \right]$$

Cependant différents abaques de cette formule ont été établis et son usage se répand de plus en plus. Nous avons reproduit (fig. 2) le diagramme établi par Moody. Il nous servira lors de l'exposé des résultats que nous rapportons.

Signalons encore les travaux de Schlichting, qui a étudié des aspérités particulières, régulièrement réparties. De ses travaux nous retiendrons particulièrement l'étude de la perte de charge provoquée par des lattes disposées perpendiculairement au sens du courant (fig. 3).

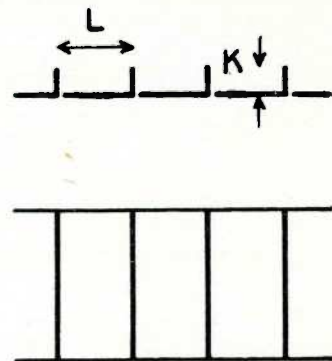


Fig. 3.

Aspérités de Schlichting.

Série XX	k = 3,2 mm	L = 60 mm
Série XXI	k = 3,1 mm	L = 40 mm
Série XXII	k = 3,0 mm	L = 20 mm

Les observations

a) Conduite de l'Ecker.

Cette conduite, longue de 80 km, conduit vers la Basse-Saxe les eaux du barrage de l'Ecker. Construite entre 1939 et 1943, elle est composée de tuyaux en acier de 500 et 700 mm de diamètre, protégés intérieurement par un enduit lisse à base de bitume.

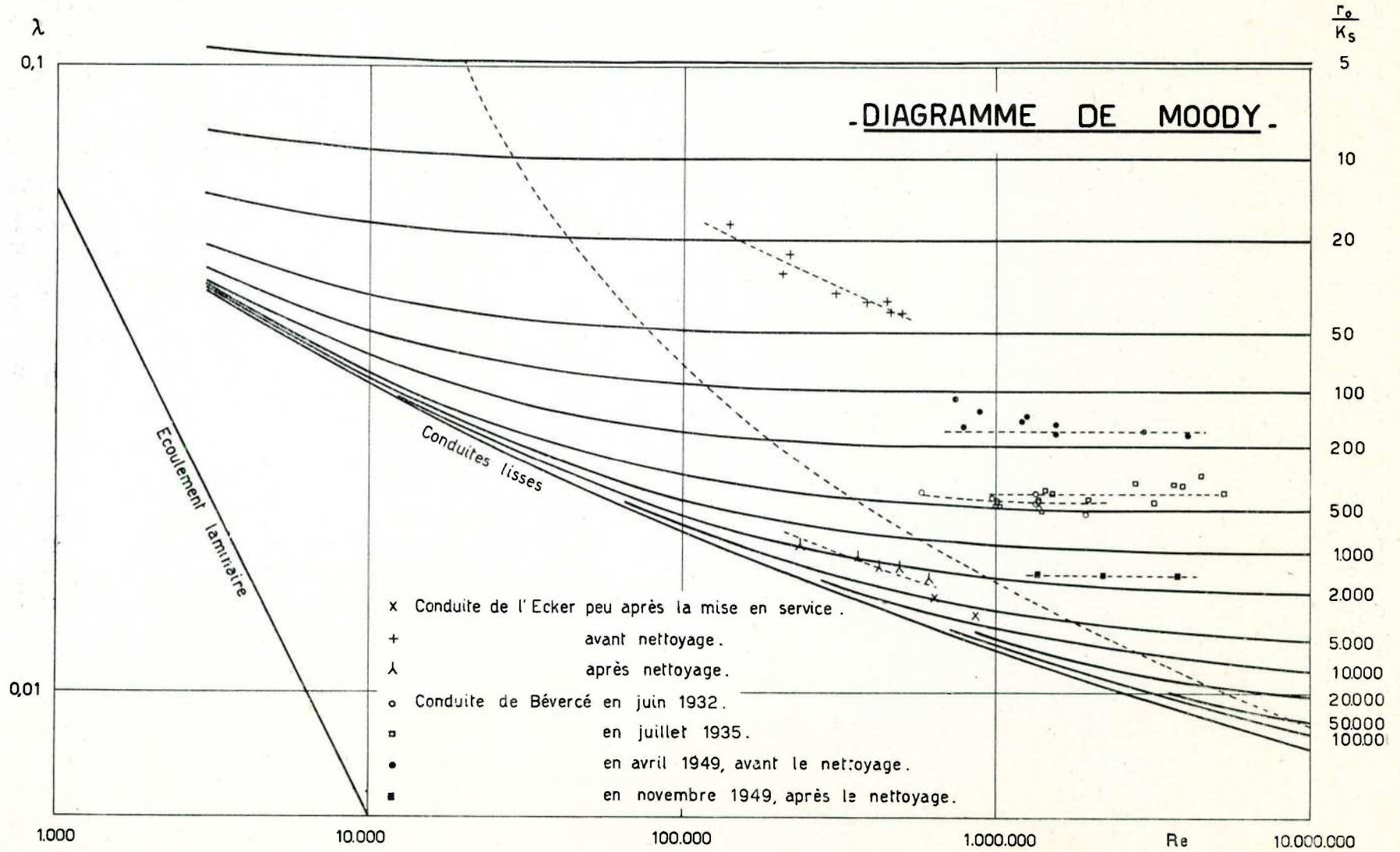


Fig. 2.

A la mise en service, les débits observés et les pertes de charge correspondantes étaient en excellent accord avec les prévisions. Au bout de peu d'années (1949) le débit maximum ne représentait plus que 57% de la valeur initiale. Une étude préliminaire ne permit d'attribuer cet état de chose qu'à une augmentation importante de la perte de charge continue, provoquée, pensait-on, par la corrosion des tuyaux, par des incrustations ou des nodules.

A l'inspection, cependant, la conduite se révéla en bon état sous une couche de boue plastique, peu adhérente, régulièrement répartie et principalement composée d' Al_2O_3 .

L'épaisseur du dépôt était trop faible pour qu'on puisse lui attribuer toute l'augmentation de la perte de charge par réduction de la section de passage. Restait l'action possible de la surface, qui se présentait sous forme de rides disposées perpendiculairement au sens de l'écoulement. La hauteur de ces rides était peu importante, 0,7 mm en moyenne et leur écart dans le sens du courant L variait entre 3 et 8 mm. On rapprocha ce cas des études de Schlichting signalées plus haut et on en vint à considérer qu'il fallait attribuer à ce genre de rugosité la forte réduction de débit constatée. Le fait est confirmé par la restauration des conditions initiales d'écoulement une fois le dépôt enlevé.

Nous dirons tout de suite que certains auteurs ne partagent pas ce point de vue, mais, à notre connaissance, ils n'ont proposé aucune autre explication.

b) Conduite de Bévercé.

Nous avons eu la chance de pouvoir observer un dépôt analogue dans une conduite de notre pays. Il s'agit de la galerie d'adduction de la centrale de Bévercé, près de Malmédy. Cette conduite, en galerie cimentée de section circulaire pour les 4/5 et en tôles rivées pour le restant, a un diamètre moyen de 1,95 m. En service depuis 1929, la puissance maximum de la centrale était passée de 10.100 kW en 1930 à 8.600 kW en 1947. Différentes constatations et des essais d'orientation conduisirent à attribuer la diminution de la puissance maximum à une augmentation de la perte de charge. Cette importante baisse de production entraînant un manque à gagner considérable, le nettoyage de la conduite fut décidé en 1949. Des essais avant nettoyage révélèrent une augmentation de la perte de charge de 30% environ par rapport à 1932. La partie cimentée seule fut nettoyée en 1949, et des essais effectués après ce nettoyage ont donné des valeurs de λ inférieures à celles obtenues lors des mesures de 1932. C'est à l'occasion du nettoyage de la partie métallique de l'ouvrage, en 1953, que nous avons pu observer le dépôt.

Ce dépôt est semblable à celui décrit par les observateurs de la conduite de l'Ecker. C'est un

enduit boueux, plastique, peu adhérent et ridé en surface, perpendiculairement au sens du courant. Il est principalement composé de MnO_2 . Il recouvre uniformément la galerie, un arc de 60 à 90° au sommet de la conduite est moins abondamment recouvert, mais on y constate aussi de petites rides transversales. Les photos, figures 4, 5 et 6, donnent une idée de l'aspect du dépôt. (Les flèches indiquent le sens du courant). Nous avons même réussi quelques moulages au plâtre de la surface. La hauteur des rides est ici plus grande que dans la conduite de l'Ecker, il en va de même pour leur écartement.

Dans la partie de l'ouvrage curée en 1949, nous avons trouvé un dépôt beaucoup plus mince, mais les rides étaient déjà formées; elles sont plus petites et plus serrées, comme on peut le voir sur la fig. 7.

Les résultats

Nous avons reporté, figure 2, les valeurs de λ déduites des différents essais effectués tant sur la conduite de l'Ecker que sur celle de Bévercé. Chaque série d'essais peut être résumée par une courbe moyenne et la dispersion des points est faible.

On notera immédiatement que, pour la conduite de l'Ecker, les résultats obtenus après nettoyage peuvent être pratiquement confondus avec ceux relatifs à la mise en service. Par contre, si les essais faits à Bévercé en 1932 et 1935 ont donné des résultats très peu différents, les valeurs de λ sont cependant nettement plus élevées que celles relevées après le nettoyage de la conduite. Rappelons toutefois que la centrale était en service depuis 1929.

Les résultats relatifs aux deux installations présentent une autre différence très importante. A Bévercé, les valeurs de λ obtenues sont indépendantes de Re , ce qui caractérise parfaitement le régime rugueux turbulent. A l'Ecker, par contre, les courbes de λ sont pratiquement parallèles à la courbe de λ relative aux tuyaux hydrauliquement lisses en régime turbulent. D'après Hopf, cette forme de la courbe de λ s'observe en présence de « rugosités d'ondulation », elle se rencontre principalement dans les tuyaux en fer asphalté. Un tel résultat n'a donc rien de surprenant dans le cas de la conduite de l'Ecker, qui est protégée intérieurement par un enduit au bitume.

Les caractéristiques de l'eau du barrage de l'Esker ne nous sont pas connues; on trouvera au tableau I une analyse chimique de l'eau du barrage de Robertville (qui alimente la centrale de Bévercé) et une analyse chimique du dépôt.

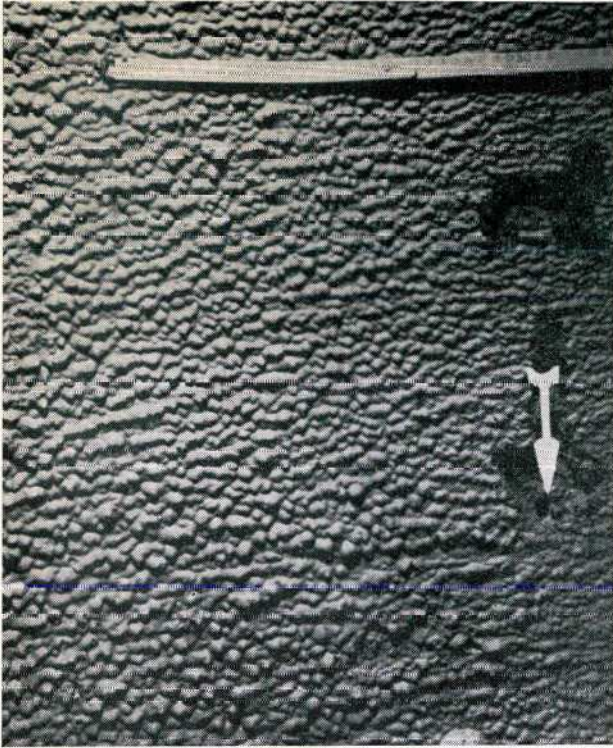


Fig. 5.

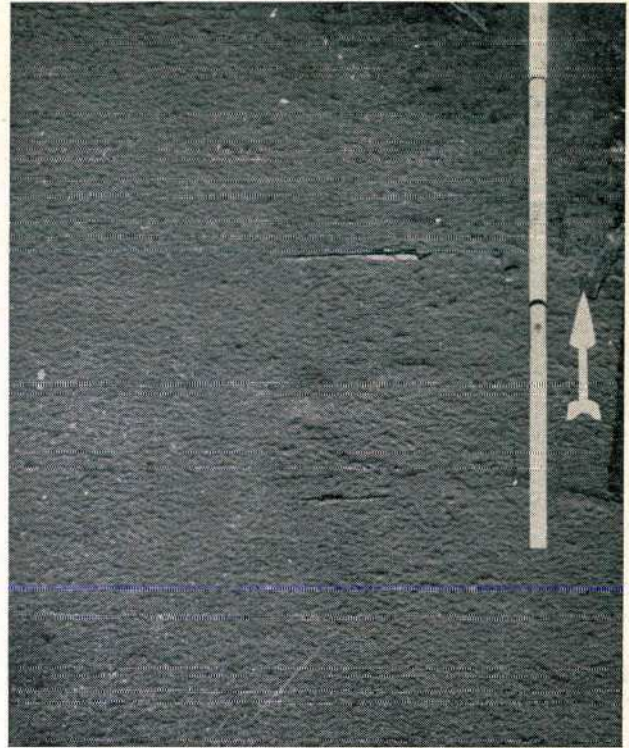


Fig. 7.



Fig. 4.

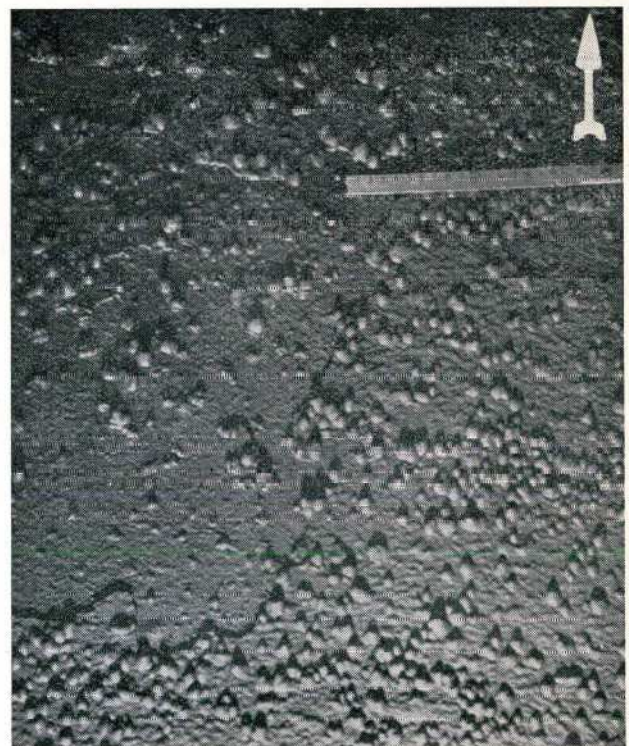


Fig. 6.

TABLEAU I.
Analyse chimique de l'eau et des dépôts
de Bévercé.

	Eau	Dépôt prélevé en 1949	Dépôt prélevé en 1953
Humidité		84,2 %	87 %
Matières sèches . .		15,8 %	—
Produits solubles dans l'eau		1,3 %	—
Perte au feu		16,4 %	29 %
MnO ₂	de l'ordre de 0,01 mg/l	57,6 %	56 %
Silice		16,4 %	6,4 %
Oxyde de fer	0,07 à 0,21 mg de fer par litre	7,6 %	3,4 %
Alumine		5,3 %	—
Chaux		5,6 %	Traces
Zinc, Baryum, etc.		Traces	Traces
pH	6,5 à 6,8		6
Chlorures (en NaCl)	26 à 32 mg/l		
Dureté	3,2 à 3,9° franç.		

Le tableau II groupe d'autres caractéristiques des dépôts. (Bévercé II se rapporte à la partie du tunnel nettoyée en 1949 et que nous avons visitée en 1953).

Au passage, nous attirons l'attention sur l'égalité d'ordre de grandeur des k et L de l'Ecker et de Bévercé II; et cela, après une durée d'exploitation assez semblable.

Discussion des résultats

a) Conduite de l'Ecker.

L'aspect particulier des courbes de λ obtenues à l'Ecker nous empêche de les comparer directement aux essais de Nikuradse, ceux-ci supposant en effet que λ est indépendant de Re .

Au diagramme $\log \lambda = f(\log Re)$, une courbe de λ parallèle à la courbe de λ relative aux conduites hydrauliquement lisses se traduit algébriquement par :

$$\log \lambda = \log \lambda_0 + \log C^{te}$$

en appelant λ_0 le coefficient de perte de charge des conduites hydrauliquement lisses, correspondant à la même valeur de Re que celle du λ considéré. Nous pouvons écrire plus simplement :

$$\lambda = \xi \lambda_0 \quad (1)$$

Grâce à cette relation, nous pourrions comparer les valeurs de λ relatives à la conduite propre et à la conduite sale en les ramenant à un Re commun ; il sera ainsi possible d'apprécier l'augmentation de perte de charge due au vieillissement de la conduite. Nous adopterons dans le cas de l'Ecker, une valeur du Re de comparaison de 500.000. Nous avons groupé au tableau III les valeurs obtenues.

La série XXI des essais de Schlichting donne elle aussi une courbe de λ de la forme $\lambda = \xi \lambda_0$. Malheureusement, la transposition des essais de Schlichting au cas des conduites circulaires nécessite différentes hypothèses :

- 1) les résultats obtenus à la paroi d'une conduite rectangulaire fort aplatie peuvent être extrapolés au cas des conduites circulaires,
- 2) les résultats obtenus avec de petites valeurs de D/k peuvent être extrapolés aux grandes valeurs de D/k .

Moyennant ces hypothèses, nous avons transposé les résultats de Schlichting au cas des conduites circulaires ; nous avons obtenu les valeurs du tableau III.

Il ne faut cependant pas donner un sens absolu à ces chiffres, ils dépendent évidemment du Re choisi pour conduire les calculs. Mais comme le Re de comparaison adopté (500.000) a une valeur courante dans la pratique, il est possible de comparer les chiffres de l'Ecker à ceux correspondant

TABLEAU II.
Caractéristiques physiques de dépôts.

	Bévercé 1949	Bévercé I 1953	Bévercé II 1953	Ecker
Age	12 à 15 ans	16 à 19 ans	4 ans	5 à 6 ans
Épaisseur	12 à 17 mm (1)	8,7 mm (2)	1,5 mm (2)	?
Hauteur des rides k	3,5 mm (1)	2,9 mm (2)	0,45 mm (2)	0,7 mm
Distance entre rides L	110 mm (1)	12,6 mm (2)	4,5 à 5 mm (2)	3 à 8 mm
r_0/k	278	336	2160	358
k/L	0,032	0,231	0,1 env.	0,087 à 0,233 (moy. : 0,127)

(1) Valeurs déduites des souvenirs des ouvriers qui ont procédé au nettoyage de la conduite.

(2) Valeurs moyennes des mesures effectuées sur place en 1953.

TABLEAU III.

	ξ	λ	$\frac{D}{k_s}$	k_s	k	$\frac{k_s}{k}$	$\frac{k}{L}$	$\frac{\lambda}{\lambda \text{ propre}}$
Ecker propre	1,18	0,0155	2830	0,175	—	—	—	1
Ecker sale	3,15	0,0412	79	6,30	0,7	9	0,127	2,67
Schlichting XXI	17,9	0,234	2,90	38,6	3,1	12,5	0,078	
Bévercé 1932		0,0202	904	2,15	—	—	—	1,31 (3)
Bévercé 1935		0,0208	796	2,45	—	—	—	1,35 (3)
Bévercé 1949 avant nettoyage		0,0263	333	5,9	3,5 (1)	1,7	0,032	1,71 (3)
Bévercé 1949 après nettoyage		0,0154	2890	0,675	—	—	—	1
Bévercé 1953		— (2)	—	—	2,9	—	0,231	
Schlichting XX		0,150	5,26	18,1	3,2	5,61	0,053	
Schlichting XXII		0,259	2,58	35,6	3,0	11,75	0,150	—

(1) Valeur probable après confrontation des souvenirs des ouvriers qui ont procédé au nettoyage du tunnel.

(2) Aucune mesure de perte de charge n'a pu être faite en 1953.

(3) La valeur de λ , déduite des essais après nettoyage des 4/5 de la galerie en 1949, est prise comme valeur de λ propre.

à des rugosités répondant mieux à la loi quadratique (λ indépendant de Re); par exemple ceux de Bévercé.

Les essais relatifs à la conduite de l'Ecker et les essais de Schlichting admettant la relation (1) comme traduction mathématique, les valeurs de k_s/k qu'ils permettent de calculer peuvent être comparées l'une à l'autre de manière plus absolue. Si la concordance n'est pas parfaite, il y a cependant une identité d'ordre de grandeur qui vaut d'être soulignée.

Insistons sur le fait que les chiffres obtenus n'ont aucun sens absolu; en adoptant un autre Re de comparaison, on aurait obtenu d'autres valeurs de k_s/k , plus grandes ou plus petites suivant que le Re aurait été plus petit ou plus grand que 500.000.

Un résultat échappe cependant à ces considérations: le rapport du λ propre au λ sale reste invariable, quel que soit le Re de comparaison choisi. On remarquera la très importante augmentation de la perte de charge; elle a presque triplé en 5 ans environ.

b) Conduite de Bévercé.

Les résultats de Bévercé ne donnent lieu à aucune discussion aussi longtemps que l'on ne cherche pas à les comparer aux essais de Schlichting. Les valeurs de λ sont constantes et il n'y a aucune hypothèse à faire pour les comparer entre elles. Il ne faut cependant pas perdre de vue certains points délicats.

En 1949, les essais de perte de charge ont été faits soigneusement, mais les dimensions des rides transversales n'ont pas été mesurées directement; elles ont été estimées d'après les souvenirs, vieux de 6 mois, des ouvriers occupés au nettoyage de la galerie. Par contre, en 1953, les ondulations ont été soigneusement mesurées, mais il n'a pas été possible de faire des mesures de perte de charge.

Il est donc fort délicat de relier les valeurs de λ de 1949 aux k et L de 1953. D'autre part, si l'on se souvient que, en 1949, on a mesuré la perte de charge de toute la conduite alors que l'on n'en avait nettoyé que les 4/5, on voit que les résultats doivent être exploités avec prudence. Nous nous limiterons en conséquence à la comparaison des valeurs de λ en admettant comme référence la valeur obtenue en 1949, après nettoyage des 4/5 de la galerie.

Nous ne ferons aucune comparaison avec les essais de Schlichting, car la valeur de k/L , qui peut servir à caractériser les rides, est fort incertaine pour Bévercé (2 valeurs fort différentes) et les essais XX et XXII de Schlichting ont montré l'influence de ce rapport: λ augmente de 75 % lorsque k/L passe de 0,05 à 0,15; l'évolution ne paraît d'ailleurs pas régulière car c'est pour la valeur intermédiaire $k/L = 0,078$ que l'on a observé des valeurs de λ répondant à la relation (1).

Conclusions

Une eau contenant peu de matière en suspension recouvre cependant d'un enduit uniforme les conduites qu'elle parcourt. Ce dépôt boueux paraît être une bonne protection contre l'attaque de la conduite (signalé dans les deux cas, et tant pour le ciment que pour le métal). A la surface du dépôt se forment des rides perpendiculaires au sens du courant. Dans les cas signalés, la granulométrie du dépôt était extrêmement fine (le dépôt sec se résout en une poussière impalpable).

Dans les deux cas envisagés, la perte de charge à débit constant a augmenté dans de fortes proportions, beaucoup plus que ce qui est généralement admis pour des eaux analogues. L'augmentation est de 100 à 250 % pour une épaisseur de dépôt d'environ 0,5 % du diamètre. Ce phénomène est

encore aggravé, dans le cas de la conduite de l'Ecker, où l'écoulement se fait par gravité (impossible de rétablir le débit initial en augmentant la charge) par l'allure de la relation liant λ et Re (ou le débit) ainsi que nous l'avons exposé plus haut.

Il y a donc lieu, lorsque l'on établit un projet d'installation transportant des eaux susceptibles de déposer ou de précipiter des matières étrangères, de prévoir une large sécurité lors du choix de la valeur de λ . Il peut être avantageux de prévoir un nettoyage régulier des installations.

Dans le cas d'installation en service dont le débit se révèle rapidement insuffisant, ou dont les frais d'exploitation grandissent exagérément, il faut craindre la formation d'un dépôt analogue à ceux que nous avons décrits. En général, un bon net-

toyage suffira à rétablir les conditions initiales de fonctionnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- HOPF. — 1923, Z. angew. Math. Mech., Vol. 3, n° 5, pp. 329-339.
 NIKURADSE. — 1933, Forschungsh. Ver. Dtsch. Ing. n° 361.
 SCHLICHTING. — 1936, Ing. Archiv, Vol. 7, n° 1, pp. 1-34.
 COLEBROOK et WHITE. — 1937, Proc. Roy. Soc. London, Vol. 161, Sér. A, n° 906, pp. 367-381.
 SEIFERT et KRUGER. — 1950, Zeit. VDI. Vol. 92, n° 8, pp. 189-191.
 SCHLAG et SIMONS. — 1951, Mém. et Trav. Soc. Hydrotech. de France, Houille Blanche, n° sp. B, pp. 603-608.
 KIRSCHMER. — 1952, Zeit. VDI., Vol. 94, n° 24, pp. 785-791.
 THIBESSARD. — 1954, Mém. et Trav. Soc. Hydrotech. de France, Houille Blanche, n° sp. A, pp. 266-274.

Discussion du mémoire de Monsieur Thibessard.

« Influence de dépôts boueux sur la perte de charge en conduite. »

Intervention de M. GUILLOT, Ing. Arts et Manufactures, Ingénieur conseil (Hydraulique).

M. Guillot demande au conférencier s'il peut préciser la vitesse périphérique ou tout au moins la vitesse moyenne de l'eau dans les canalisations de l'Ecker et de Bévercé.

M. Thibessard indique que pour l'Ecker, la vitesse moyenne lors des essais était comprise entre 0,25 et 1,75 m/sec ; et entre 0,25 et 2,5 m/sec à Bévercé. En service normal, la vitesse moyenne est de 2 à 3 m/sec à Bévercé.

M. Guillot demande si les dépôts se présentent sous forme amorphe ou cristallisée.

M. Thibessard indique que le microscope utilisé n'avait pas un grossissement suffisant pour s'en rendre compte.

M. Guillot demande si l'on connaît le processus, ou mieux, la cause de ces dépôts.

M. Thibessard indique que la question est très complexe et qu'il ne possède pas encore d'éléments suffisants pour émettre une opinion.

M. Guillot s'informe si l'étude des dépôts dans des conduites en chlorure de polyvinyle, qui sont « idéalement lisses » a été faite ou commencée en Belgique ; il signale qu'il a commencé de telles études en France et qu'il en sera rendu compte ultérieurement.

Intervention de M. L. MENDIA, Ing. Ass. à l'Université de Naples.

Sur une remarque de M. Mendia, concernant la méthode de mesure des dimensions des irrégularités de surface, M. Thibessard signale qu'un mètre ordinaire de mécanicien a été utilisé et qu'en conséquence, des erreurs de l'ordre de 20 à 25 % sont tout à fait possibles. Toutefois, il rappelle qu'il s'agissait de déterminer les dimensions moyennes des rugosités et non les dimensions exactes de chacune d'entre elles. Il attire à nouveau l'attention

sur la nécessité de ne considérer ces dimensions que par comparaison avec le diamètre de la conduite et non d'après leur valeur absolue ; car pour pouvoir comparer valablement différentes observations, il faut absolument faire appel à la similitude.

M. Mendia demande alors s'il ne serait pas possible d'étudier les phénomènes de précipitation du Mn en présence de fer à la lumière des théories du potentiel d'oxydo-réduction.

M. Thibessard répond qu'il croit la chose possible, bien qu'il ne soit pas certain que toute l'explication du phénomène puisse être fournie par cette voie. Il s'excuse d'être aussi réticent sur ce sujet mais il ne s'estime pas suffisamment qualifié pour discuter de l'aspect physico-chimique du problème.

Intervention de M. PROFIT, de la Chambre Syndicale de la Sidérurgie Française.

M. Profit demande si, des deux cas rapportés par le conférencier, on peut tirer une loi générale sur la formation et l'orientation des rides. M. Thibessard répond qu'une aussi vaste généralisation serait hasardeuse. D'après lui, cependant, on peut raisonnablement s'attendre à voir se former des rides perpendiculaires au sens de l'écoulement lorsque le dépôt est constitué d'une matière granuleuse, quelque fine qu'en soit la granulométrie. Il appuie cette opinion sur l'existence de telles rides dans les déserts de sable, où la dimension des grains est extrêmement petite devant celle du courant d'air et celle des dunes formées.

A une autre question de M. Profit, M. Thibessard répond qu'il n'a pas connaissance d'observations faites sur des conduites principales d'usines sidérurgiques. Il ajoute qu'il serait heureux si l'existence de tels documents pouvait lui être signalée.

