

Commentaires et discussions

FUITES SOUS LES BARRAGES

A la suite de l'article « Ecoulement en milieu poreux - Fuites sous les barrages », M. DEWULF, chef du Laboratoire des Etablissements BOUCHAYER ET VIALLET est venu nous entretenir de certains points qui lui paraissaient obscurs. Nous reconnaissons que notre article présente certaines difficultés, et nous nous en excusons bien humblement auprès de nos lecteurs.

Ces difficultés ne sont apparues que parce que nous avons voulu développer des résultats nouveaux, sans reprendre d'une manière détaillée les différentes transformations conformes employées, afin de ne pas prolonger démesurément notre exposé.

Pour répondre d'ailleurs à cette objection, nous avons écrit au début de notre étude : « Evidemment, pour comprendre parfaitement les diverses transformations géométriques utilisées, le lecteur devra se reporter à différents ouvrages de base » et nous citons le cours de M. BARRILLON, ainsi que celui de l'Ecole des Ingénieurs hydrauliciens de Grenoble, intitulé « Cours d'Hydrodynamique graphique ». Malgré cet écueil, nous avons jugé intéressant de fournir les résultats auxquels nous étions parvenus, en les résumant dans un abaque ; ces résultats peuvent s'appliquer directement à des cas concrets et faciliter ainsi l'appréciation de certains projets de barrage du point de vue des fuites.

Cependant, comme la *Houille Blanche* a bien voulu accepter quelques remarques complémentaires, nous apporterons ici certaines précisions à notre pre-

mier texte et certaines rectifications matérielles qui sont, à notre avis, pour une grande part dans les difficultés rencontrées.

Au sujet du rappel des principales propriétés des écoulements en milieu poreux.

Nous voudrions préciser nettement les hypothèses suivantes :

1° — Nous considérons l'écoulement comme permanent. En réalité, l'écoulement en milieu poreux ne présente pas autant de simplicité ; le liquide arrivant sur les grains de sable passe tantôt à droite ou à gauche, tantôt au-dessus ou au-dessous de cet obstacle, et ainsi le chemin parcouru par le liquide subit certaines fluctuations dont le hasard est le seul maître. Cependant, si nous considérons un point M, tout le liquide passé en M se retrouve plus loin, dans un petit angle de sommet M et la distribution de ce liquide dans une section de l'angle affecte l'allure d'une courbe en cloche (fig. 1) ; on peut alors admettre que le sommet S de cette courbe en cloche décrit une ligne de courant ; autrement dit, l'écoulement moyen peut être considéré comme permanent.

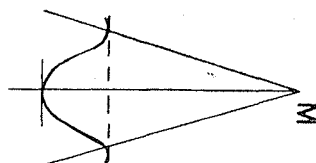


Fig. 1

2° — Nous nous plaçons dans le cas d'un écoulement plan, c'est-à-dire que le vecteur vitesse reste constamment parallèle à un plan.

3° — Nous admettons la loi de Darcy $V = K \frac{dH}{ds}$

A partir de ces hypothèses, nous pourrions montrer que le réseau constitué par les lignes de courant et les équipotentielles est isotherme. En vertu de la permanence de l'écoulement, le long des lignes de courant, la charge sera une fonction de la seule abscisse curviligne s . Par suite, la fonction $\Phi = KH$ ne dépendra également que de s . En prenant les composantes u et v de V nous aurons :

$$u = \frac{\delta \Phi}{\delta x} \quad v = \frac{\delta \Phi}{\delta y}$$

Si nous évaluons le rot. \bar{V} nous voyons que rot. $\bar{V} = 0$. L'écoulement est donc irrotationnel. De plus, l'équation de continuité s'écrit en régime permanent :

$$\text{div. } \bar{V} = \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} = 0.$$

Nous en déduisons

$$\frac{\delta^2 \Phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Phi}{\delta y^2} = 0.$$

La fonction $\Phi(x, y)$ est donc harmonique. Le même raisonnement se ferait pour la fonction de courant Ψ définie dans notre cours à l'Ecole des Ingénieurs Hydrauliciens et conduirait également à la nature harmonique de Ψ . La fonction $F(z)$ représentant le réseau peut alors s'écrire $F(z) = \Phi(x, y) + i\Psi(x, y)$ et la fonction $F(z)$ est analytique.

Nous n'avons pas l'intention d'entrer plus avant dans des considérations mathématiques ; nous voulions seulement donner ces rapides indications.

Notions sur quelques transformations particulières.

Au sujet de l'expression analytique de la transformation des

charnières, il est bien évident que l'on peut l'écrire également $Z = \arg \operatorname{ch} z$; il suffit de faire tourner toute la fig. 1 (page 127) de $\frac{\pi}{2}$. On ne change rien à la nature même de la transformation.

Fuites sous les barrages.

Sur ce point deux sortes de remarques s'imposent :

1° — *Remarques matérielles.*

Le grand nombre de figures a amené l'imprimeur à décaler les dessins par rapport au texte; nous tentons ici d'éclaircir la correspondance entre schémas et texte.

La fig. 5 correspond au premier paragraphe de la rubrique « Fuites sous les barrages » page 128.

La fig. 6 correspond au cas du radier horizontal seul avec fond imperméable.

La fig. 7 représente le réseau des ellipses et hyperboles homofocales; des deux foyers B et C indiqués dans le texte, seul le foyer B est marqué sur cette figure.

Pour la fig. 8, lire page 128 : « Complétons-le par son symétrique par rapport à la ligne A D (fig. 8). ».

La fig. 10 représente le réciproque de $sn z$, page 129.

Dans la formule indiquée page 129, il faut lire :

$$V ds = K \frac{dH}{ds} = K dH$$

où H représente la charge (fig. 2 ci-contre).

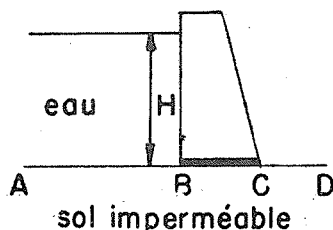


Fig. 2

La fig. 11, page 130, se rapporte au début du paragraphe

intitulé : « Cas de l'écran d'étanchéité seul » page 129.

La fig. 13 représente le champ V vortex dans un rectangle; le réciproque de ce vortex V dans un rectangle se retrouve sur les deux fig. 12 et 14 qui sont absolument identiques, mais orientées différemment.

Le mot « Généralisation » page 132, n'aurait pas dû être mis en gros caractères; il s'intègre dans le paragraphe II comme l'indique d'ailleurs le contexte.

La fig. 19 correspond au réseau des hyperboles périodiques et la fig. 20 au réseau plaque (page 132). Il convient de lire page 132: « Considérons les deux champs figurés sur les fig. 19 et 20 ».

Il y a d'ailleurs eu un décalage dans la numérotation des figures, dont nous nous excusons.

La fig. 21 et l'abaque 22 se rapportent à la généralisation du paragraphe II : « Cas de l'écran d'étanchéité seul ». Le réseau R dont il est question est le réseau schématisé par le croquis suivant (fig. 3).

2° — *Remarques sur la méthode employée.*

Les résultats présentés ont été acquis en utilisant principalement les transformations mentionnées au début de notre article. Cependant, la généralisation page 132, n'a été obtenue qu'en faisant appel à une transformation peu connue, que M. Danel a appelée transformation par moyenne pondérée. Nous n'avons pas détaillé cette transformation, mais puisque l'occasion aujourd'hui se présente, nous en donnerons la définition.

Considérons deux réseaux isothermes plans R et R' et supposons que leurs plans soient confondus. A un point quelconque A de R, correspond un point A' de R'. Si nous prenons sur la droite AA' un point A''

tel que $\frac{AA''}{A''A'} = C$ où C est une constante algébrique, le

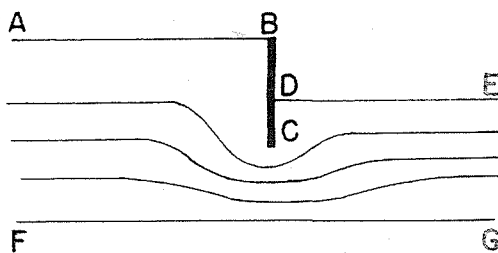


Fig. 3

point A'' décrit un réseau isotherme R'' appelé réseau moyenne pondérée.

Dans l'étude de cette généralisation, le réseau R indiqué dans ces compléments a été obtenu en prenant la moyenne pondérée entre le réseau des hyperboles périodiques (fig. 19) et le réseau plaque (fig. 20).

Cette transformation par moyenne pondérée n'est pas sans relation avec la transformation par superposition; nous entendons par cette dernière, la transformation suivante: soient deux réseaux isothermes r et r' dont l'expression analytique est f(z) et f'(z); l'addition f(z) + f'(z) donne une fonction f''(z) qui représente encore un réseau isotherme r''; ce réseau r'' résulte donc de la superposition de r et r'. C'est par l'intermédiaire de la transformation réciproque que l'on peut lier la moyenne pondérée à la superposition. La démonstration de cette propriété dépasse le cadre de ces compléments et nous renvoyons le lecteur au cours de l'Ecole des Ingénieurs Hydrauliciens de Grenoble.

Puisse ces quelques indications aider les lecteurs dans la compréhension de notre article.

**COMMENTAIRES
SUR LES PERTES DE CHARGE
DANS LES CONDUITES
INDUSTRIELLES**

A propos de notre article, MM. Th. SCHOEDLER et O. GRAF nous ont fait parvenir un intéressant

travail (1) indiquant les mesures de perte de charge faites, au début de 1945 sur une conduite de gaz de 1740 mètres de longueur, installée en 1942 dans le quartier de SCHAFFHOUSE (Suisse).

Cette conduite cylindrique de 300 m/m. de diamètre intérieur est en fonte sur la majeure partie de sa longueur, les extrémités étant en tôle d'acier. Elle a été posée en tranchée, avec un certain nombre de points bas et son tracé en plan comporte quelques courbes.

En 1945, soit trois ans après la pose, on a procédé à une série de 12 mesures de perte de charge sur une section horizontale de la conduite. Le débit était mesuré avec un diaphragme, et toutes les corrections étaient faites pour tenir compte de la température et de la compressibilité du gaz.

Les résultats sont clairement traduits sur un graphique qui donne les variations du coefficient de perte de charge λ en fonction du nombre de REYNOLDS qui a varié entre $2,1 \cdot 10^4$ et $3,2 \cdot 10^4$ au cours des essais.

La courbe obtenue montre que le régime de l'écoulement est celui du « Turbulent lisse » au voisinage de la zone de transition avec le « Turbulent rugueux ».

Elle se situe légèrement au-dessus de la courbe théorique de Von Karmann par suite, très probablement, de la présence des singularités du tracé, dont il est bien difficile d'éliminer totalement l'influence.

Toujours sur la même question, les résultats résumés dans le tableau ci-contre nous ont été aimablement communiqués par M. BOURGUIGNON.

Ils devraient être rapprochés

des différents abaques donnés dans notre article sur les « pertes de charge dans les conduites industrielles ».

Evidemment, nos essais n'ont porté que sur des conduites lisses ; aussi la comparaison reste

restreinte. Afin de faciliter cet examen, nous donnons ici un tableau indiquant le coefficient de Chézy C correspondant à chaque essai :

	COEFFICIENT DE CHEZY MOYEN
PORTILLON	76.9
CHAMP SUR DRAC	70.5
VENTAVON	66
	68
	68
	65.1
SAILLANS	57.5 à 63
TEILLET-ARGENTY	74
	76.2
	59.5
	53.5
PORTILLON - LAC BLEU	79.5
BANCAIRON	59
SAINT-GEORGES	59.5
SARRANS	63.6
LAMATIVIE	82.4
	61.6
	59.5
	54.6
LAVAL DE CERE	66.8
	71.9
	66.8
	65.1
ESTERRE	71.9
LUZ-ST-SAUVEUR	64.5
	67.1
VENDETS	96.7

(1) « Ferngasleitung und Rohrhydraulik » par Mr. Th. Schoedler et O. Graf paru dans le « Monatsbulletin des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern » - N° 7 - 1946.

Coefficients des formules u

(déduites des mesures effectuées)

Conduites

NOM DE L'USINE	NUMÉRO REPÈRE DE LA CONDUITE	CARACTERISTIQUES DES CONDUITES								
		DATE DE MISE EN SERVICE	DIMENSIONS DES TRONÇONS DE CONDUITE		MODE DE FABRICATION DES VIROLES r : rivées s : soudées	NOMBRE DE LIGNES TRANSVER- SALES DE RIVETS	NOMBRE DE LIGNES LONGITUDI- NALES DE RIVETS	EPAISSEUR	DISTANCE ENTRE JOINTS TRANSVERSAUX	TYPE DE JOINTS- TRANS- VERSAUX
			DIAMÈTRE	LONGUEUR						
			m	m			mm	m.		
PORTILLON		1941	0,85 0,90 0,95 1,00 1,10 1,20	472 612 526 339 406 283	s			10 à 28 autofrettée 9 à 21	1,610 1,030	soudés
CHAMP S/ DRAC	1	1941	2,80	2,475	r	1	2	7 à 10	2,00	rivés
VENTAVON	1 2 3 4 5	1909	2,30 2,30 2,30 2,30 2,30	398 395 391 380 376	r	1	2	9	2,00	rivés
SAILLANT	1 - 2	1902	1,50	75	r			7 à 10	1,50	rivés
TEILLET - ARGENTY	1 2 3 4	1909	2,00 3,00 2,50 2,50	404 428 414 403						soudés
PORTILLON LAC BLEU		1941	0,85 0,90 0,95 1,00	472 612 525 370	s					
BANCAIRON	1 - 2 - 3	1929	1,75 1,60 1,40	290 321 241	r	1			2,00	rivés
St-GEORGES		1901	1	210						
SARRANS		1934	3	80						
LAMATIVIE	1 2 3 4	1927	1,55	350	100 m. r 250 m. s			6 à 17	1,80 sur 100 8 sur 250 m	rivés
LAVAL DE CERE	1 2 3 4	1931	1,75 1,75 1,75 1,75	233 243 254 265	s			7 à 16	7,50	rivés
ESTERRE		1931	1,3 1,15 1,10 1,00	248 233 170 110	s			25 max.	7,50	rivés
LUZ-St-SAU- VEUR	1 2	1927	1,60 1,50 1,40	235 216 259	s			32 max.	6,50	rivés
VENDETS		1942	1,40	335	s					soudés

suées de pertes de charge

par le Service d'Essais E. de F.)

métalliques

CONDITIONS DES ESSAIS					COEFFICIENTS CARACTERISANT LA RUGOSITE				OBSERVATIONS
DATE	TEMPÉ- RATURE DE L'EAU	DÉBIT MAXIMUM PAR CONDUITE	NOMBRE DE REYNOLDS (CORRESPONDANT AU DIAMÈTRE MINIMUM)		COEFFICIENT DE STRICKLER MOYEN	λ COEFFICIENT MOYEN DE LA FORMULE UNIVERSELLE $J = \frac{\lambda}{D} \frac{U^2}{2g}$	RUGOSITÉ RELATIVE $\frac{\epsilon}{D}$	RUGOSITÉ ABSOLUE ϵ	
			MINIMUM	MAXIMUM					
	degrés c	m ³ : s	x 10-6	x 10-6				mm	
IX - 41	4°	4,860	0,85	4,0	102,5	0,0133	0,02	0,2 pour v. ma:	— Conduite neuve très lissée — Tracé bien rectiligne — Eaux limpides
V - 42	11°	30	1,40	9,35	74	0,0158	0,04	1	— Conduite bien découpée - Eaux très sableuses - Tracé bien rec- tiligne
IX - 42	12°	13 à 14	1,40	5,65	71 73 72 74 76	0,0180 0,0170 0,0180 0,0170 0,0185	0,07 0,06 0,07 0,06 0,05	1,6 1,4 1,6 1,4 1,1	— Légères incrustations — Têtes de revêts usées par en- drois — Nombre coudes — Eaux troubles (5 conduites identiques)
IV - 43	10°	4	0,65	2,6	69 < M < 75	0,097 < λ < 0,0227	0,1 - 0,2	1,6 - 3,1	— Mesure des pertes de charge imprécise
V - 43	10°	11 20 8 11	0,45 1,65 0,35 1,1	5,4 7,85 3,10 4,30	77,8 78,2 65,3 59,8	0,0143 0,0135 0,0227 0,0275	0,03 0,02 0,2 0,3	0,5 0,6 4,5 7,5	— Conduites usagées — Pas de traces d'incrustations — Rugosité $\frac{\epsilon}{D}$ apparente plus faible dans les conduites numéros 3 et 4 — La faible valeur de M indique peut-être une obstruction des quilles d'entrée
VII - 43	2°	5,2	1,8	4,5	102	0,0124	0,01	0,1	— Conduites après deux ans d'ex- ploitation — Tracé rectiligne — Eaux très limpides
XII - 43	4°	9,50	2,25	5,60	69	0,0225	0,2	3,1	— Conduite incrustée — Tracé rectiligne — Eaux très claires
	8°	2,95	1,3	2,7	74	0,0221	0,2	1,6	
VII - 46	8°		5,25	15,8	67	0,0194	0,1	3,0	— Ce coefficient M paraît faible si l'on considère la faible rugosité apparente de la conduite
VII - 46	10°	6,3 8,0 6,3 5,5	1,0 0,9 0,9 0,85	2,10 2,05 2,10 1,90	96 72 69,5 63,5	0,0116 0,0206 0,0221 0,0263	0,02 0,1 0,2 0,4	0,3 1,9 2,8 4,9	— Conduite recouverte de bitume- émaïl.
VII - 46	10°	10,5	2,8	5,6	77 83 77 75	0,0176 0,0152 0,0176 0,0185	0,07 0,03 0,07 0,09	1,2 0,6 1,2 1,5	
XI - 46	3°	1,9	0,8	1,45	87	0,0152	0,03	0,4	
XI - 46	3°	3,12 3,99	1,0 1,0	1,7 2,2	76 79	0,0189 0,0174	0,09 0,06	1,4 1,0	
XII - 42	4°	7,1	1,7	4,05	114	0,0086	0,0015	0,02	— Conduite entièrement soudée très lisse, recouverte d'un vernis genre bitumémaïl.