Observations sur les dépôts de boue dans la galerie d'amenée de la centrale de Bévercé

Observations on deposits of mud in the head-race channel at Beverce power station

PAR G. THIBESSARD

INGÉNIEUR A.L.G., ASSISTANT A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE

L'observation des photographies et des moulages et l'analyse des échantillons pris à l'intérieur de cette galerie, à tronçons métalliques, bétonnés ou rocheux, après plusieurs années de service, montrent un dépôt à stratification quasi annuelle, à prédominance manganèse, de couleur brune, d'épaisseur moyenne relativement constante, formant des vagues perpendiculaires à l'écoulement et dont la longueur d'onde varie avec l'épaisseur. Traces de charriage et aspect plus lisse à l'intérieur des coudes et dans les divergents. Analogie avec les rides des plages de sable et les dunes du désert. Relation linéaire possible entre l'épaisseur du dépôt et la hauteur de la vague, de la crête au creux; influence éventuelle de la vitesse d'écoulement sur la longueur d'onde.

Examination of photographs and of castings and the analysis of samples, taken inside this tunnel, of metal, concrete, or rock sections after several years service, show a deposit made up of layers formed almost yearly; the substance is brown and is mainly of manganous material; the average thickness is comparatively constant and it forms waves, perpendicular to the flow whose length varies with the thickness. Traces of drifting and a smoother appearance on the inside of the bends and in the branches. Analogy with ridges on sandy beaches and with sand dunes in a desert. Possible linear relationship between thickness of the deposit and height of the wave from the crest to the trough. Possible influence of the speed of flow on the length of the wave.

INTRODUCTION

La galerie d'adduction de la centrale de Bévercé a déjà fait l'objet d'une communication de MM. SCHLAG et SIMONS à la tribune de la S.H.F. (1) (*). Cette communication avait trait aux variations de la perte de charge de la galerie en fonction du temps. Ces variations, attribuées au dépôt qui se forme dans la conduite, étaient cependant beaucoup trop importantes pour être dues à la seule diminution de section utile. De 0,0202 en 1932, la valeur de λ avait atteint 0,0263 en 1949 pour retomber à 0,0154 immédiatement après le nettoyage de 1949. D'après les souvenirs du personnel, le dépôt boueux présentait des ondulations en forme de vagues. Ces ondulations

avaient été rapprochées de celles étudiées par SCHLICHTING (2) et il semblait que la correspondance pouvait être considérée comme satisfaisante.

Des observations analogues avaient également été faites en Allemagne, sur la conduite de l'Ecker (3).

Désireux de se former une idée exacte de ce qu'était réellement le dépôt boueux, MM. SCHLAG et SIMONS avaient demandé à visiter la conduite lorsqu'elle serait à nouveau mise à sec.

L'entretien normal des tronçons métalliques de la galerie d'amenée ayant nécessité la vidange de la conduite à la fin de l'été, la société exploitante a très aimablement invité MM. SCHLAG et SIMONS, peu de temps après la mise à sec.

Nous avons ainsi eu l'occasion de visiter les

(*) Les chiffres entre parenthèses renvoient à la notice bibliographique.

conduites à une période très intéressante; les tronçons métalliques n'avaient plus été touchés depuis 1934-1937, les tronçons cimentés ou rocheux avaient par contre été nettoyés en 1949, ainsi que certaines parties métalliques. C'est à l'occasion de cette visite que M. SCHLAG nous a demandé de réunir le plus d'observations possibles.

Disons tout de suite que ces observations se rapportent uniquement à l'aspect de la galerie et qu'aucune mesure de perte de charge ou de débit n'a pu être faite.

Les visites

Le 10 septembre 1953, nous avons visité les tronçons métalliques qui n'avaient plus été touchés depuis 1934-1936, ainsi que la galerie en ciment qui avait été nettoyée en 1949. De cette visite nous avons rapporté trois photos. Nous avons également prélevé des échantillons de dépôt en différents endroits des galeries visitées, aux fins d'analyse chimique et biologique.

Afin de conserver un témoin matériel du relief du dépôt, nous avons pensé à en effectuer le moulage. Munis du matériel nécessaire, nous nous sommes rendus à Bévercé le 17 septembre 1953. Nous avons procédé à deux moulages en place, l'un dans la galerie métallique, l'autre dans la galerie en ciment. Avant de procéder au moulage, nous avons photographié le dépôt. Le même jour, nous avons parcouru des tronçons rocheux de la galerie. Une photo prise dans cette section n'a malheureusement pas réussi, le photo-flash dont nous disposions n'étant pas assez puissant. De cette visite, nous avons encore rapporté aux fins d'analyse des échantillons de dépôt, tant de la partie rocheuse que de la partie métallique et de la partie cimentée.

Nous nous sommes rendus sur place une dernière fois le 2 octobre 1953. Nous avons visité un tronçon métallique qui n'avait plus été touché depuis 1935-1937. Nous y avons pris trois moulages dont nous avons préalablement photographié l'emplacement.

La position des photos, prélèvements et moulages a été repérée sur le schéma de la figure 1.

Les observations visuelles

Pour alléger notre exposé, nous utiliserons les notations suivantes (fig. 2) :

L , longueur d'onde : distance moyenne séparant deux crêtes successives;

h , hauteur des vagues ou des ondulations : distance moyenne entre les creux et les crêtes;

e , épaisseur du dépôt : distance moyenne entre la paroi et le sommet des crêtes, diminuée de $h/2$.

Le dépôt a une couleur brune très foncée, presque noire. Il est très glissant et luisant en surface quand il est humide; sec, il se résout en une poussière très fine. Il n'adhère pas à la paroi et ne se pétrifie pas. Son épaisseur est relativement constante, elle diminue cependant à proximité du sommet de la galerie. Nous n'avons pas pu savoir si elle augmentait dans le fond, le passage des ouvriers occupés au curetage ayant

FIG. 1

FIG. 2

complètement bouleversé le dépôt. Comme on pourra le voir sur les photos et les moulages, la surface extérieure du dépôt forme des vagues sensiblement perpendiculaires à la direction de l'écoulement. Les photos 1 et 2 ont été prises au même endroit de la conduite métallique, mais la photo 1 est éclairée de l'amont alors que la photo 2 est éclairée de l'aval. La comparaison

PHOTO 1

PHOTO 2

est en faveur de l'éclairage de l'amont. Aussi toutes les autres photos ont-elles été prises avec un éclairage amont.

Les photos 1 et 2 illustrent une particularité

PHOTO 3

PHOTO 4

rencontrée assez souvent dans les régions où le dépôt n'a plus été touché depuis de nombreuses années. L'épaisseur présente des variations brusques et localisées, comme si des écailles s'en étaient détachées. D'autre part, la longueur d'onde paraît varier avec l'épaisseur. Cette particularité est bien visible sur la photo 3 ainsi

PHOTO 5

que sur le moulage I fait au même endroit. La trace de la boîte à moulage est visible sur la photo.

Dans les conduites en béton nettoyées en 1949, le dépôt est très régulier et peu épais, la longueur d'onde est petite (photos 4 et 5). Le moulage II pris à l'endroit de la photo 5 comporte

PHOTO 6

une bande moulée jusqu'à la paroi, on aura ainsi une idée assez exacte de l'épaisseur du dépôt.

A certains coudes de la conduite, le dépôt présente des traces de charriages et un aspect beaucoup plus lisse, les vagues sont très peu marquées.

Sous le dépôt, la conduite métallique était en

excellent état; le dépôt semble constituer une réelle protection pour la conduite. Les régions les plus dégradées sont les régions supérieures, où le dépôt est moins épais. Dans une zone présentant une profusion de petits nodules de rouille, nous avons constaté que le dépôt était plus mince (photo 6).

Dans la partie rocheuse, nettoyée en 1949, le dépôt est assez abondant, quoique relativement régulier. On ne constate pas d'épaisseurs beaucoup plus fortes dans les fonds des anfractuosités. Il tend à se former une crête de boue sur les saillies. Sur les parties planes, la formation en vagues se retrouve.

Les tronçons rocheux ont une section assez tourmentée; les aspérités ont une hauteur de 20 à 40 cm à partir du contour extérieur de la section. Celle-ci n'est que très approximativement circulaire et son diamètre moyen est de l'ordre de 2,5 m.

Ces tronçons se raccordent à la galerie cimentée, légèrement plus petite, par des troncs de cône. Lorsque ces cônes sont divergents relative-

PHOTO 9

ment au sens de l'écoulement de l'eau, nous avons constaté que la longueur d'onde du dépôt était de deux à trois fois plus grande que dans la galerie cimentée voisine, et cela sans que l'épaisseur varie de façon appréciable. Nous avons également noté une variation de longueur d'onde semblable entre les parois, extérieures et intérieures, de certains coudes de la partie métallique (photos 7 et 8). La variation était cependant moins importante, de 20 à 25 %. Ces variations

PHOTO 7

PHOTO 8

TABLEAU I. — CARACTÉRISTIQUES DES VAGUES DU DÉPÔT

Situation (*)	Paroi	Age	e	h	L
A	Métallique	19 ans	3,5	1,25	8
A	Métallique	19 ans	6,5	2	11
A	Métallique	19 ans	8,5	2,5	16
Photo 1	Métallique	17 ans	12	4	12
Photo 1	Métallique	17 ans	7	3	10
Moulage I	Métallique	17 ans	9	3	13
Moulage I	Métallique	17 ans	2,5	1	5
Moulage III	Métallique	16 à 18 ans	2	0,5	6
Moulage IV	Métallique	16 à 18 ans	9,5	3	8,5
Moulage V	Métallique	16 à 18 ans	8	2	18
Photo 4	En ciment	4 ans	1,5	0,5	4,5
Moulage II	En ciment	4 ans	1,5	0,4	5

(*) Voir fig. 1.

proviendraient peut-être d'une différence de vitesse à la paroi entre ces régions.

L'observation des différents moulages que nous avons effectués, ainsi que celle des photos, nous montre une forte ressemblance entre l'aspect de la surface du dépôt et celui que l'on peut parfois voir sur les plages de sable. Il rappelle également l'aspect des dunes du désert, analogie qui avait été signalée à cette même tribune par M. ESCANDE (4).

La photo 9 constitue une assez belle synthèse de nos différentes observations : plage écaillée de faible épaisseur avec nodules de rouille, variation de la longueur d'onde avec l'épaisseur, absence de nodules sous la couche épaisse.

Nous avons réuni dans le tableau I tous les éléments relatifs aux caractéristiques des vagues formées par le dépôt.

Remarquons tout de suite que ces caractéristiques ont été, soit mesurées au moyen d'un mètre pliant ordinaire, soit estimée d'après les photos. On doit donc s'attendre à des erreurs qui peuvent atteindre facilement $\pm 25\%$.

Nous avons traduit graphiquement ces observations.

D'après la figure 3, il semble bien exister une relation entre h et e , relation qui pourrait même être linéaire. En ce qui concerne e et L ainsi que h et L , il n'est pas possible de conclure dans un sens ou dans l'autre, d'autres observations devraient être faites. Quant au diagramme $h/L = f(e/L)$, il corrobore le diagramme $h = f(e)$ tout en présentant l'avantage d'être sans dimension.

Les données relatives à la conduite de l'Ecker en notre possession ne sont malheureusement pas assez complètes pour que nous ayons pu les faire figurer sur nos diagrammes.

Les analyses chimiques effectuées par différents laboratoires du Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux ne sont pas uniformes

dans leur présentation. La perte au feu et l'humidité de l'échantillon frais n'ont été dosées que sur un prélèvement. Plusieurs échantillons étaient insuffisants pour pouvoir être analysés.

Nous avons groupé dans le tableau II les résultats de ces analyses.

La particularité de ces chiffres est l'énorme

TABLEAU II. — ANALYSE CHIMIQUE

Echantillon n° :	28	30	37	38	nodules
Age (en années).	19	16 à 18	4	17	19
Paroi	Métal.	Métal.	Ciment	Métal.	Métal.
Situation (*)....	A	Photo 9	Photo 4	en face Photo 1	A
Mn ₃ O ₄	56,98	55,57	56,98	56,79	---
Fe ₂ O ₃	3,14	3,43	3,30	3,21	80,32
Si O ₂	---	6,01	---	---	---
Ca O	Traces	---	Traces	Traces	Traces
Perte au feu....	---	29,00	---	---	---
Humidité sur échantillon frais	---	87 %	---	---	---
pH	---	6	---	---	---

Analyse sur matière sèche à 110° C, en % du poids.
Reliquat indéterminé.
Analyses effectuées par le Centre Belge d'Etudes et de Documentations des Eaux.

(*) Voir fig. 1.

Fig. 3

quantité de manganèse renfermé dans le dépôt, 56 %, contre 3 % de fer; et cela, quel que soit le lieu de prélèvement. Par contre, l'analyse d'un nodule de rouille détaché de la conduite métallique, révèle une prépondérance encore plus nette du fer; le manganèse est quasiment absent.

Signalons que M. VAN BENEDEN, Directeur du laboratoire des Etablissements des Bains de Spa, s'est déjà beaucoup occupé des dépôts mangani-fères que l'on rencontre dans les canalisations de l'est de la Belgique, alimentées en eaux de fagnes (5). L'origine exogène du manganèse ne peut en aucun cas être mise en doute; toutefois, son point de départ, sa mise en suspension, son transport et son dépôt sont autant de questions à résoudre.

En ce qui concerne l'étude biologique, notre incompetence nous a conduits à recourir aux lumières des services du professeur BOUILLENNE, de l'Université de Liège, et à ceux de M. VAN BENEDEN. De leurs avis, il résulte que le fait le plus marquant à signaler est l'absence quasi totale de cellules organisées; il n'y a pratiquement pas de cellulose dans le dépôt. Cependant, des spores de champignons inférieurs ont été observés en grandes quantités; malheureusement, nous ne savons rien d'eux, ni de leur action.

La stratification

Lors du moulage du dépôt, une grande partie de celui-ci avait adhéré au plâtre. Une observation attentive nous révéla que ce dépôt n'est pas constitué d'une manière homogène. Il se présente sous forme de couches successives; la stratification est très nette, comme on peut le voir sur la photo 10.

Le décompte des couches, comparé à l'âge du dépôt, nous a donné les résultats suivants (tableau III). Il paraît donc y avoir formation d'une couche annuelle.

Photo 10

TABLEAU III. — STRATIFICATION

Situation (*)	Paroi	Age	Nombre de couches	Groupement
Moulage I	Métallique	17 ans	16 à 18	3 + 8 + 6
Moulage III	Métallique	16 à 18 ans	8 à 9	Plage avec nodules. 3 + 8 + 6
Moulage IV	Métallique	16 à 18 ans	17	
Moulage V	Métallique	16 à 18 ans	17	3 à 4) + (7 à 8) + 6
Moulage II	En ciment	4 ans	4	4

Poussant plus avant nos investigations, nous avons observé les couches sous un assez fort grossissement de vingt à vingt-cinq fois. Les couches nous sont apparues hétérogènes jusque dans leur épaisseur. De texture assez lâche du

Photo 11

côté de la paroi, le dépôt, qui a un aspect feutré, va en se resserrant du côté de l'eau, jusqu'à ce que l'on rencontre une nouvelle couche (photo 11). De plus, la couleur varie d'une couche à l'autre, allant d'un brun ocre assez chaud au brun presque noir.

Nous avions pensé que cette formation annuelle pourrait être due à une manifestation quelconque de la vie, soient algues ou mousses, soient micro-organismes. Les spécialistes de la question que nous avons interrogés ont écarté d'office les algues et mousses, la photosynthèse nécessaire à la vie de ces organismes n'étant pas possible dans l'obscurité totale de la con-

(*) Voir fig. 1.

PHOTO 12

duite. Ils nous ont, par contre, signalé la présence de champignons inférieurs, mais il n'est pas possible actuellement de relier leur existence à la stratification. Cette stratification pose le problème de l'influence du climat sur les phénomènes relatifs aux mouvements du manganèse.

Comme on peut le voir sur la photo 12, le décompte des couches peut se faire assez aisément. Cependant, un fait, à rapprocher de l'écaillage possible du dépôt, est à signaler. Alors que certaines couches adhèrent bien entre elles, formant ainsi des groupes de couches, d'autres se détachent nettement l'une de l'autre (photo 13). Cette particularité rend le dénombrement total des couches assez difficile car il faut suivre la

PHOTO 13

face d'une couche de séparation parfois assez loin. Aux abords des zones où les couches sont cependant restées accrochées, les coupes ne sont pas toujours bien nettes (photo 14). Le tableau III donne également le groupement des couches à partir de la paroi.

Sans pouvoir être formels, les biologistes interrogés sur la particularité que pourraient présenter les années 1939 et 1947 (qui correspondent aux couches de séparation) au plateau des fagnes, nous ont signalé que ces périodes ont été particulièrement sèches. Il n'est pas exclu que l'intensité, instantanée ou moyenne, des précipitations ne soit une des données du problème.

PHOTO 14

En guise de conclusion

Ces observations isolées n'ont pas la prétention d'avoir vidé le sujet, notre objectif est uniquement de provoquer la diffusion d'observations analogues qui ont certainement déjà été faites, et qui, confrontées, pourraient jeter une lumière plus vive sur cet aspect particulier du vieillissement des conduites.

De nos observations, trois éléments sont à dégager :

Il y aurait une relation, à définir entre h/L et c/L ,

L pourrait être fonction de la vitesse à la paroi (déjà signalé par M. ESCANDE),

Le dépôt ne se forme pas de façon régulière et continue.

ANNEXE

Mode opératoire

Les photos ont été prises avec un appareil Ikoflex. L'éclairage était fourni par un photo-flash GEVAERT équipé d'ampoules type PF 25. L'obturateur était maintenu ouvert et le temps de pose était le temps de combustion de la lampe. L'objectif était ouvert à $f/16$. L'appareil était dans l'axe de la conduite, soit à environ 1 m de la paroi. Le flash était tenu à environ 2 m à 2,5 m en amont ou en aval de l'appareil photographique, à 30 cm de l'axe de la conduite du côté où l'on prenait la photo, dirigé vers la zone photographiée.

Les moulages ont été réalisés en appliquant une boîte rectangulaire en tôle contre la paroi de la conduite. Les bords verticaux en avaient

été tracés plus ou moins suivant le rayon de courbure de la conduite. Le plâtre était coulé par le dessus. L'étanchéité était assurée par le dépôt lui-même dans lequel la boîte était enfoncée au maximum (pratiquement jusqu'à la paroi). Le plâtre utilisé était du plâtre de dentiste, délayé dans de l'eau légèrement salée jusqu'à la consistance d'une huile fluide. Il était alors battu jusqu'au moment où la consistance commençait à varier. Cet instant doit être saisi avec précision, car, à une minute près, le plâtre n'est plus utilisable. Il était enfin coulé dans la boîte. Nous avons utilisé avec succès, comme récipient pour gâcher le plâtre, une balle en caoutchouc de 30 cm de diamètre environ, coupée suivant un méridien. Ce récipient est d'un emploi très commode pour autant, toutefois, que les parois en soient suffisamment épaisses (3 à 4 mm).

Bibliographie

- (1) Alb. SCHLAG et R. SIMONS. — Variations de la perte de charge du canal d'amenée de la centrale de Bévercé. *Mémoires et Travaux de la S.H.F.*, 1951, n° 2, p. 149.
- (2) SCHLICHTING. — Experimentelle Untersuchungen zum Rauigkeitsproblem. *Ingenieur-Archiv*, vol. VII, n° 1, 1936, p. 1-34.
- (3) R. SEIFERTH et W. KRUGER. — Ueberraschend hohe Reibungsziffer einer Fernwasserleitung. *Z.V.D.I.*, vol. 92, n° 8, 11 mars 1950, p. 189.
- (4) L. ESCANDE. — Similitude des ondulations de sable des modèles réduits et des dunes du désert. *Mémoires et Travaux de la S.H.F.*, 1950, n° 1, p. 87-92.
- (5) G. VAN BENEDEN. — Communication sur les dépôts et incrustations des réseaux de l'est de la Belgique. (A paraître dans *Bulletin du Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux*, en fin 1954).

DISCUSSION

Président : M. BARRILLON

M. le Président souligne l'intérêt de telles communications sur les observations de conduites sales et la valeur de l'exposé de M. THIBESSARD, notamment en ce qui concerne l'évolution des dépôts : la différence d'aspect des dépôts à l'intérieur et à l'extérieur d'un coude est une observation nouvelle; et la différence éventuelle des dépôts dans les parties convergentes et dans les parties divergentes serait également intéressante à rechercher par ceux qui ont l'occasion d'observer des dépôts dans des conditions variées.

M. FERRY rend hommage à la minutie et à la précision de ces observations. Il indique que les dépôts gélatineux que son service a observés dans des conduites en exploitation dans le Massif Central depuis deux ou trois ans causent des pertes de charge analogues à celle de M. THIBESSARD, mais ces dépôts sont à base de fer (bactérie du fer) et non de manganèse : l'épaisseur des dépôts ne dépasse pas quelques millimètres et l'attention du

service n'avait pas été attirée jusqu'à présent sur le phénomène de stratification signalé par M. THIBESSARD. La loi de croissance du dépôt avec la saison va être étudiée sur modèle réduit en utilisant des buses trempées dans l'eau du canal de fuite et soumises périodiquement à des essais de pertes de charge ainsi qu'à divers traitements. Il est probable que la croissance est moins rapide sur une buse neuve que sur une buse déjà ensemencée puis nettoyée, le nettoyage ne détruisant pas la totalité des micro-organismes.

En réponse à une question de M. le Président, M. THIBESSARD indique que la ville de Malmédyl est alimentée en eau par la conduite de Bévercé, à travers une station de traitement, mais qu'il ignore si des constatations particulières ont été faites sur les dépôts de manganèse dans le réseau de distribution.

Il signale, toutefois, que de tels dépôts ont été constatés dans différents ouvrages hydrauliques reliant le

réservoir de la Gileppe à la ville de Verviers, installations situées dans la même région. Le dépôt ne paraît pas influencé par la nature de la paroi sur laquelle il se forme : on a, en effet, trouvé sur des planches, non des nodules, mais des lentilles de manganèse fortement développées. Il semble également que les dépôts soient plus importants en tête qu'en fin de réseau. Cet aspect du problème sera évoqué par M. VAN BENEDEN dans un article qu'il publiera dans le Bulletin du Centre belge d'Etude et de Documentation des Eaux.

M. le Président suggère une comparaison entre ces dépôts et ceux observés par M. THIBESSARD au point de vue de la viscosité et de l'influence de la pression.

Sur la demande de M. GIBERT, M. THIBESSARD indique qu'il a constaté la variation de la schistosité des dépôts, que celle-ci semble varier d'années en années et, peut-être aussi au cours des saisons mêmes, mais sans pouvoir tirer une conclusion sur l'allure et la cause de cette variation.

M. LANGLOIS souligne l'intérêt de la constatation relative à la formation annuelle et non continue des dépôts, et appuie les remarques et les projets d'études analogues de M. FERRY.

M. ESCANDE demande si la périodicité de ces phéno-

mènes n'est pas due à ce que les eaux sont chargées dans certaines saisons et pures dans d'autres.

M. THIBESSARD répond qu'une telle hypothèse est raisonnable, mais n'a pu être vérifiée, la campagne d'observations ayant été faite en septembre et octobre 1953, et n'ayant porté que sur la conduite vide, mais que M. VAN BENEDEN a pu, au sujet de la matière déposée, vérifier assez grossièrement la constance de l'épaisseur du dépôt en comparant le poids d'échantillons de 20 cm sur 20 cm prélevés en quelques endroits de la conduite, au poids total de matières enlevées lors du nettoyage.

M. TURC souligne que ces dépôts sont remarquables par leur haute teneur en manganèse, très supérieure à leur teneur en fer; il est possible que l'explication de ce fait soit donnée par une étude pédologique de la région. Au Laboratoire des Sols, M. BETREMIEUX a montré expérimentalement l'importance des processus biologiques dans les phénomènes de mobilisation, migration, et accumulation, du fer et du manganèse dans les sols; il a précisé que lorsque les conditions sont favorables à la formation de dépôts (arrivée des eaux chargées en fer et en manganèse dans un milieu plus aéré) le fer précipite plus rapidement que le manganèse.

M. le Président dit à M. THIBESSARD, en le remerciant, qu'il a intéressé tout le Comité Technique.