



MISCELLANÉES

MISCELLANY

AVEC LA COLLABORATION DU PROFESSEUR CYPRIEN LEBORGNE

English synopsis, p. 8

OH! LE BRUIT DE LA PLUIE

(Problème n° 33)

Le Professeur Cyprien LEBORGNE nous communique les plus caractéristiques des réponses qu'il a reçues au sujet du problème proposé par Olav REGENSEN concernant la pluie sur la terrasse du palais de Nejri Udjan (Houille Blanche, n° 4/1950 : « Oh! le bruit de la pluie... »).

Et tout d'abord, à tout seigneur tout honneur, voici, si l'on en croit la signature, que la Pluie, la Pluie elle-même, s'intéresse à notre rubrique :

Monsieur et cher Professeur,

Lorsque le sultan de Nejri Udjan envoie son esclave, il lui dit : « Va, et que mon ordre soit exécuté à la cinquième heure. » Et l'esclave part et se hâte. Mais, sa mission terminée, poussé par la nostalgie de la liberté, le serviteur vagabonde et cueille, par-ci, une fleur, et par là, un sourire avant que de rentrer. Ainsi en est-il pour moi, humble esclave de Varonna, dont la régularité pèse si lourdement sur les habitants de Nejri Udjan. Pluie bienfaisante et fertilisante, je dois marteler chaque carré de terrain de sorte que toute graine reçoive mon contact fécondant, puis m'arrêter au signe de mon maître, pour permettre aux humains de reprendre leurs travaux et au prince Dari Ajer ses leçons.

Mais après...

Après, je suis libre de ruisseler

Comme il me plaît.

LA PLUIE.

P.-S. — Croyez, cher Professeur, que je suis très touchée de l'intérêt que vous m'avez témoigné en me donnant une place dans votre si inté-

ressante rubrique. Je vous joins quelques notes trouvées près du numéro de la Houille Blanche où j'ai aperçu votre article... par une fenêtre ouverte.

Essai d'interprétation de la courbe des débits de la gargouille

1) QUELLE MODIFICATION APORTE L'ARRÊT DE LA PRÉCIPITATION?

Les gouttes perturbent l'écoulement de l'eau sur la terrasse, provoquant ainsi un ralentissement des filets liquides. En effet, à cause de la faible inclinaison de la terrasse, la quantité de mouvement des gouttes n'est pas susceptible d'apporter un appoint sensible à celle de l'écou-

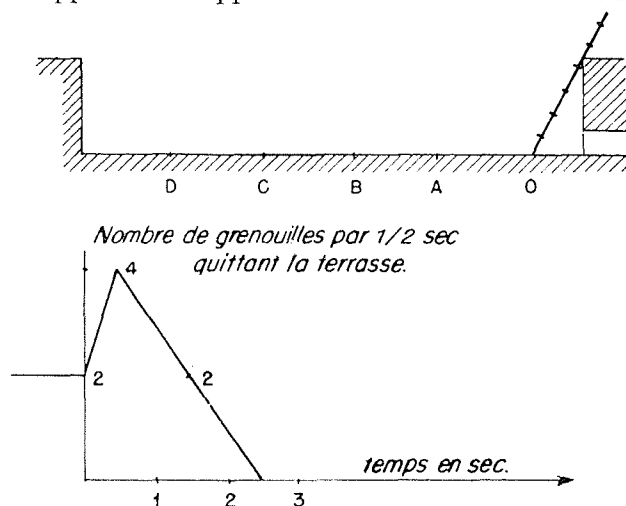


FIG. 1

lement. Par contre, la dislocation des filets liquides, l'entraînement d'air et, peut-être, la création de tourbillons superficiels, provoquent une turbulence artificielle, d'où perte d'énergie.

Devant la difficulté de l'analyse de ce phénomène, nous admettons seulement que son effet est une diminution de la vitesse moyenne.

$$\text{vitesse moyenne} = \frac{\text{Débit total en un point de la terrasse}}{\text{Section mouillée en ce point}}$$

qui augmente lorsque la pluie cesse.

Cette modification de la vitesse moyenne, donc du débit, est normale puisque l'« équilibre dynamique » existant pendant la pluie entre les forces d'inertie et de frottement d'une part, et la pesanteur, de l'autre, est rompu après arrêt de la précipitation par la suppression d'un facteur qui absorbait de l'énergie.

2) QUELLE EST LA FORME DE LA COURBE DES DÉBITS AVEC CETTE MODIFICATION DE LA VITESSE?

Changeons provisoirement d'échelle et supposons, au lieu de la Mousson, une pluie de grenouilles, phénomène fréquent, si l'on en croit certaines chroniques, en des points privilégiés de notre globe :

Sur une terrasse de 1 m de large et 5 m de long, il tombe chaque seconde une grenouille en chaque point A, B, C, D, distants de 1 m. Dès leur contact avec le toit, les bestioles se hâtent vers O, orifice leur permettant de quitter la terrasse, situé à 1 m de A, à la vitesse de 1 m/s. La pluie cesse à un instant que nous prendrons comme origine. Au même instant, un génie malin remplace l'orifice O par une échelle. A la vue de cet attrayant objet, les grenouilles restant sur la terrasse redoublent d'efforts et portent leur vitesse à 2 m/s.

Un raisonnement très simple, basé sur le fait qu'à l'instant zéro il y a 4 grenouilles en A, 3 en B, 2 en C et une seule en D, donne la courbe de la figure 1.

Revenons à la Mousson et supposons une brusque variation de vitesse ΔV . Le débit



passé instantanément de Q à

$$Q \frac{V + \Delta V}{V}$$

mais va ensuite varier dans le temps à partir de cette valeur comme le rapport :

$$\eta = \frac{S_1}{S}$$

S = aire totale de la terrasse;

S_1 = aire de la portion de terrasse dont l'eau n'a pas encore atteint la gargouille à l'instant t;

η est aisé à déterminer dans chaque cas particulier, connaissant la forme de la terrasse, la position de la gargouille et $V + \Delta V$.

Ces raisonnements sont évidemment très schématiques : la variation de vitesse n'est pas brusque, l'assimilation à un écoulement uniforme est grossière, l'influence de la charge variable et du rétrécissement de l'écoulement est négligée. On obtient cependant l'évolution des phénomènes.

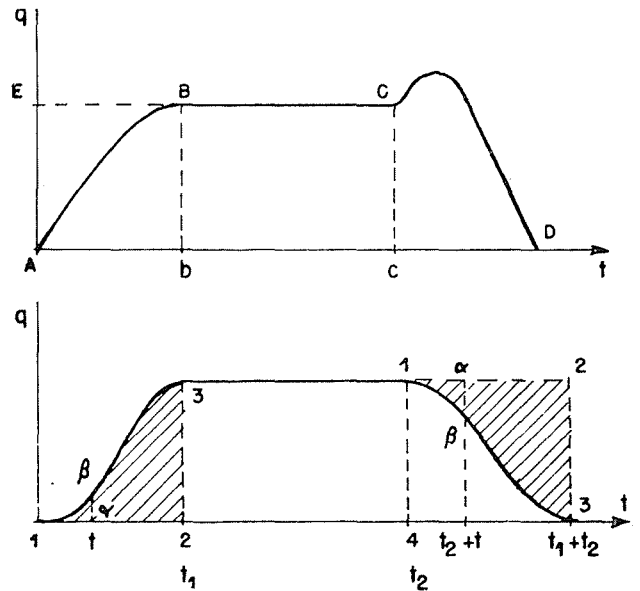


FIG. 2

3) LA PLUIE EST-ELLE VRAIMENT RÉGULIÈRE?

S'il en était ainsi, il semble que l'on aurait (fig. 2) :

$$\text{Aire ABb} = \text{Aire AEBb} - \text{Aire CDc}$$

En effet :

Aire CDe représente le volume de l'eau sur la terrasse lorsque la pluie cesse.

Si ce volume s'écoulait dans les mêmes conditions de vitesse qu'au début de la pluie, on aurait l'égalité des longueurs $\alpha\beta$ aux instants t et $t_2 + t$, donc l'égalité des aires 123.

On obtient donc le résultat énoncé, les aires 134 et CDe étant égales.

Or, ce résultat ne ressort pas du graphique établi par le Prince et vérifié par son précepteur. La pluie serait-elle donc vraiment fantaisiste?

Après cette première interprétation, en voici une seconde toute différente, envoyée par M. SALZARD, de Sainte-Tulle (Basses-Alpes) :

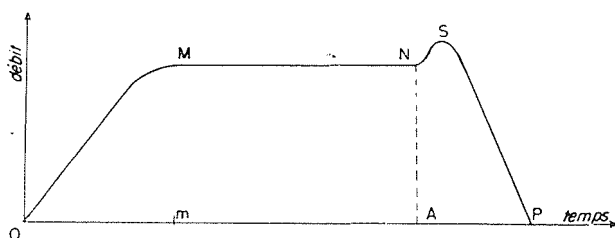


FIG. 3

Mon cher Professeur,

Veuillez trouver, ci-dessous, une tentative de réponse au problème n° 33, posé dans *la Houille Blanche* n° 4 de juillet-août 1950.

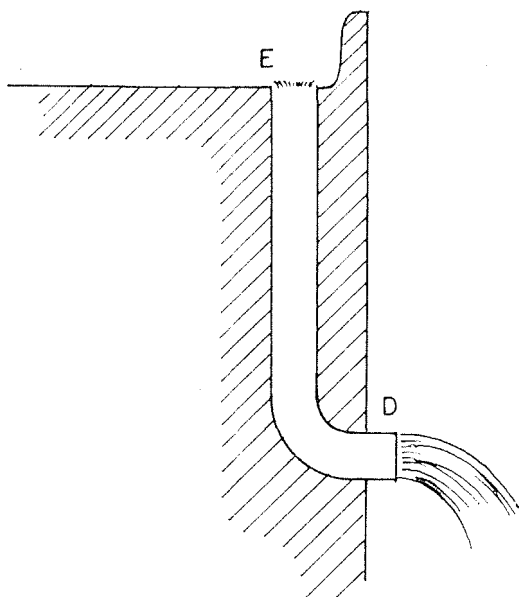


FIG. 4

La partie NS de cette courbe (fig. 3) apparaît anormale. Pendant la durée de la pluie (qui est abondante), il est probable que l'embouchure de la tubulure d'écoulement ED est recouverte par une lame d'eau qui a pour effet d'empêcher toute aspiration d'air, et de remplir complètement la tubulure, qui débite alors à « gueule bée » (fig. 4).

De ce fait, et dans cette hypothèse, l'écoulement de l'eau de E à D s'opère à vitesse pratiquement uniforme (s'il n'en était pas ainsi, le mouvement serait uniformément accéléré, le débit en D > que débit en E, d'où cavitation, solution de continuité, phénomènes qui ne se produisent pas habituellement dans une tuyauterie de faible diamètre).

Ceci étant admis, on peut imaginer que, dès que la pluie a cessé (temps A), l'embouchure cesse d'être recouverte, l'air s'introduit, il n'y a plus mouvement uniforme d'écoulement, mais mouvement uniformément accéléré, ce qui peut expliquer l'augmentation toute provisoire du débit en D.

Ensuite, l'égouttement des terrasses donne un débit qui diminue progressivement (SP).

Veuillez agréer, cher Maître, etc.

SALZARD.

Puis voici un spécialiste belge pour travaux hydrauliques, M. A.-H. GEIGER, qui nous envoie les remarques suivantes :

Cher Professeur,

C'est seulement aujourd'hui, qu'à tour de rôle, je reçois le numéro de juillet/août 1950 de *la Houille Blanche* et je voudrais vous proposer une explication au problème n° 33.

Supposons que la terrasse princière soit de dimensions notables et que la pluie cesse assez subitement, comme je l'ai d'ailleurs observé souvent en pays tropical.

Pendant que la pluie tombe, l'eau ruisselant sur la terrasse sera bombardée par les gouttes et subira de ce fait une perte par frottement très haute; la pluie une fois cessée, le frottement diminue, ce qui augmente pour quelques instants le débit de la gargouille.

J'espère que cette explication redonnera la paix au pauvre précepteur de Nejri Udjan!

Votre dévoué,

A.-H. GEIGER.

De Lyon, M. J. GOUNAUD nous écrit :

Monsieur le Professeur,

Votre collaborateur, Olav REGENSEN, a certainement offensé Varonna, le dieu des Eaux, car depuis que votre article est paru dans le n° 4 de *la Houille Blanche*, les éléments sont déchainés.

Je ne crois pas qu'il existe un grand mystère dans la courbe du débit observé à la Gueule du Dragon. En effet, tout régime permanent exige un état d'équilibre stable entre divers éléments, en l'occurrence la quantité d'eau amenée par la

pluie et la quantité d'eau qui s'échappe du toit incliné. Or, si le palier MN représente bien le débit de la pluie, il représente aussi un état d'équilibre *lorsque la pluie tombe*. Dès que la pluie a cessé, il faut rechercher un *nouvel état d'équilibre* nécessairement différent.

Je m'explique : l'écoulement de l'eau le long du toit, exprimé sous forme de débit, est le quotient d'un potentiel par une résistance. Lorsque la pluie tombe, chaque goutte possède une énergie cinétique qui, au contact du toit et de l'eau courante, s'annihile et se transforme en énergie résistante. Il s'ensuit une augmentation de la résistance normale d'écoulement des eaux sur



le toit, ce qui fait que le palier MN ne représente pas fidèlement la loi de l'écoulement sur ledit toit (fig. 3).

Lorsque la pluie cesse, le phénomène de freinage cesse également, la résistance diminue et comme le potentiel énergétique de l'eau stockée n'a pas encore diminué, le débit va augmenter. La pointe S est donc normale. Quant aux autres tronçons de la courbe, ils s'expliquent d'eux-mêmes.

Le même phénomène explique que l'on ait $Om > AP$. Comme, d'autre part, il n'y a pas de pertes par évaporation ou autre, il faut obligatoirement que les deux surfaces OmP et $ANSP$

soient égales. D'où une deuxième nécessité de la pointe S.

En allant même plus loin, je crois que l'ordonnée de la pointe S doit dépendre de l'angle relatif entre la direction de la pluie et le toit, suivant une loi que je laisse le soin aux mathématiciens de trouver.

Puissent ces quelques remarques ramener le calme dans l'esprit de votre collaborateur et celui de son Prince.

Je vous prie de croire, monsieur le Professeur, etc...

J. GOUNAUD.

Nous nous excusons de ne pas publier ici toutes les réponses reçues, car beaucoup de correspondants ont proposé des explications sensiblement identiques; aussi, pour éviter de simples répétitions, n'avons-nous donné que les premières réponses qui nous sont parvenues. (Bien entendu, si nous recevons encore d'autres remar-

ques nouvelles ou originales, nous pourrions éventuellement rouvrir le débat.)

Parmi celles-ci, il nous reste à citer l'une des plus pertinentes qui nous est envoyée par M. Carl F. IZZARD, Chef des Recherches hydrauliques au service des Routes, aux Etats-Unis :

Mon cher Professeur LEBORGNE,

My dear Professor LEBORGNE,

Répondant à l'appel angoissé de M. REGENSEN pour l'explication des phénomènes décrits dans les Miscellanées de *la Houille Blanche*, n° 4/1950, je me permets de me rapporter à des expériences exécutées avec de la pluie artificielle en 1942-1943.

In response to the plaintive plea of M. REGENSEN for explanation of the phenomenon reported in the Miscellany column of *la Houille Blanche*, for July-August 1950, let me refer to experiments with simulated rainfall conducted in 1942-1943.

Nous aussi, nous avons observé un brusque accroissement de l'intensité du ruissellement sur un plan incliné, dès que cessait la pluie. Ceci semble résulter, en partie du moins, du fait, établi, que, toutes choses égales d'ailleurs, la résistance à l'écoulement est beaucoup plus importante pendant la pluie que lorsque la pluie a cessé. Aussi, dans l'état d'équilibre qui accompagne la pluie, la hauteur d'eau est-elle beaucoup plus grande que celle qui est nécessaire pour provoquer, à l'extrémité aval de la terrasse, un ruissellement d'intensité équivalente, une fois que la pluie a cessé. L'augmentation du ruissellement est donc dû à l'évacuation très rapide de cette quantité d'eau retenue en excès.

We also observed an abrupt increase in the rate of runoff immediately following the cessation of rainfall on an inclined plane. It apparently results in part, at least, from the established fact that the resistance to flow during rainfall is much greater than the resistance to flow at the same rate of runoff after rainfall has ceased. Consequently, the amount of surface detention in the equilibrium stage during rainfall is much greater than the amount of detention necessary to attain the same rate of runoff at the end of the plot after the rain has ceased. The increase in runoff is thus due to the very rapid discharge of this excessive amount of water in detention.

Par ailleurs, le profil de la surface libre, tandis que la pluie tombe uniformément sur la terrasse, n'a pas la même forme que celui qui existe lorsqu'il y a seulement écoulement de l'eau...

There is also a difference in the shape of the surface profile while rain is falling uniformly over the plot, as compared to the surface profile when the water is merely draining off.

Votre correspondant peut donc se rassurer : l'augmentation d'écoulement observée était bien réelle, et n'était probablement pas due à un accroissement de l'intensité de la pluie à la fin de l'orage. Il doit être félicité, en tout cas, pour la précision de ses observations. A ma connaissance, en effet, personne n'avait encore réussi à mesurer cette augmentation d'intensité du ruissellement avec une pluie naturelle; probablement parce que, chez nous, les pluies présentent rarement une intensité suffisamment uniforme.

Your correspondent should be reassured that the increase in runoff which he observed was actually real and was probably not due to an increase in the rate of rainfall at the end of the storm. He should be complimented on the accuracy of his observations. To my knowledge, no one else has measured this increase in runoff under natural rainfall, possibly because rains in this country are seldom of sufficiently uniform intensity.

Sincèrement vôtre,

Very truly yours,

Carl F. IZZARD,
Chief, Hydraulics Branch,
Bureau of Public Roads.

Carl F. IZZARD,
Chief, Hydraulics Branch,
Bureau of Public Roads.

Récemment de passage à Grenoble, M. Olav REGENSEN, auteur du problème, a rendu visite au Professeur Cyprien LEBORGNE et s'est inquiété auprès de lui des réponses déjà reçues pour son problème.

La réponse de M. IZZARD l'ayant mis en joie, le Professeur Cyprien LEBORGNE n'eut pas de peine

à lui faire avouer que l'expérience du Prince Dari-Ajer avec le Podcham, directement inspirée d'un mémoire original de M. IZZARD (1), avait été imaginée pour présenter le problème aux lecteurs de la Houille Blanche et, il faut bien le dire, pour

(1) Hydraulics of runoff from developed surfaces. (Proceedings of the Highway Research Board, 1946.)

coller le vieux Professeur Cyprien LEBORGNE. Un aveu en vaut un autre : le Professeur lui avoua qu'il était personnellement responsable de l'envoi à M. IZZARD du n° 4/50 de la Houille Blanche!!

Les lecteurs que la question intéresse trouveront donc de nombreuses considérations théo-

riques et des résultats expérimentaux dans le mémoire original de M. IZZARD (les expériences ayant été faites avec de la pluie artificielle). Que M. IZZARD pardonne à M. Olav REGENSEN; mais les expériences de Dari Ajer n'étant que pure fiction, il lui faudra attendre une autre confirmation, avec de la pluie naturelle, de ses expériences de laboratoire avec de la pluie artificielle.

LE RÉSERVOIR DE SAINT-CYPRIEN

(Problème n° 37)

Nos lecteurs assidus se souviennent peut-être du problème des réservoirs de Saint-Cyprien-sur-Gartempe (n° 22), problème qui nous valut deux communications remarquables de MM. SCHIJF et BOULANGER de Hollande et de M. FAUBERT en Algérie (1).

Grâce à l'intervention de Cyprien LEBORGNE, appuyée par l'incontestable autorité de ses correspondants, tout paraissait être rentré dans l'ordre à Saint-Cyprien-sur-Gartempe.

Mais une nouvelle querelle s'est élevée au sein du Conseil municipal et les représentants de Saint-Cyprien-le-Bas ont failli à nouveau en venir aux mains avec ceux de Saint-Cyprien-le-Haut. Par suite des irrégularités inévitables du débit absorbé par chacun des deux quartiers, il se trouvait toujours qu'un des deux réservoirs était plein avant l'autre et que l'eau se déversait à l'égout par le trop-plein; d'où gaspillage que l'on pouvait alternativement imputer à l'une ou l'autre des collectivités.

Le maire de Saint-Cyprien a sagement décidé d'équiper ses réservoirs avec des robinets-flotteurs arrêtant l'alimentation lorsque le niveau de l'eau atteint le trop-plein. Pour la fourniture de ces appareils, il s'est adressé à un constructeur bien connu, mais celui-ci se trouve en grave désaccord avec les services techniques de la mairie de Saint-Cyprien-sur-Gartempe quant aux dispositifs à adopter.

Encore une fois, Cyprien LEBORGNE a été pris comme ingénieur-conseil; mais, désireux de recueillir l'avis des lecteurs de la Houille Blanche, il nous a transmis, pour que nous le mettions sous leurs yeux, le rapport du constructeur. Voici ce texte :

« Nous avons proposé à notre client la fourniture d'un robinet à flotteur destiné à équiper

un réservoir. L'ensemble du dispositif que nous préconisons est représenté schématiquement sur la figure 5. Le flotteur est réglé pour ne fermer l'obturateur que quand le niveau dans le

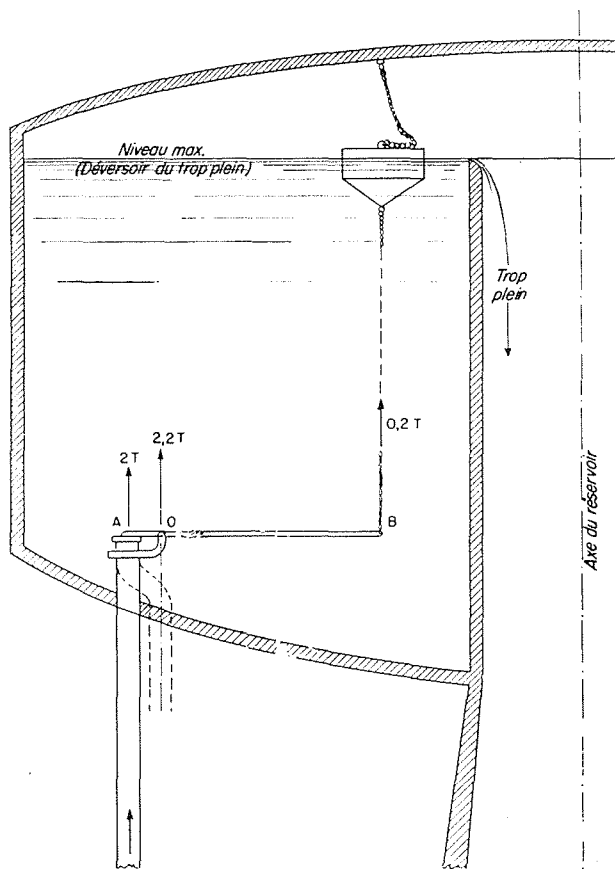


FIG. 5

réservoir atteint la cote du déversoir de trop-plein. C'est ce dernier cas que nous étudions à l'exclusion de tout autre. Le flotteur exerce alors une traction de 200 kg dirigée vers le

(1) Cf. la Houille Blanche, n° 4, 1948; n° 6, 1948 et n° 1, 1949.

haut. Cette traction suffit à équilibrer l'effort dû à la poussée de l'eau sur la plaque d'obturation, grâce au jeu du levier AOB. En effet, la poussée de l'eau est de deux tonnes et le rapport des bras de levier est de 1 à 10.

« Nous admettrons, d'autre part, que l'ensemble du mécanisme est en équilibre stable, le clapet restant constamment fermé, sans exercer de pression sur ses étanchéités. On néglige d'ailleurs, en première analyse, la différence entre le diamètre intérieur du tuyau et celui de l'étanchéité.

« Notre client admet ces hypothèses et nous objecte que l'effort de traction du flotteur n'étant pas dans l'axe de la conduite, celle-ci encaissera un certain moment de flexion qui tendra à faire tourner son extrémité. Or, le voile de béton est trop mince pour assurer un encastrement suffisant de la conduite; on peut donc craindre que celle-ci ne finisse par se déchausser.

« Effectivement, si l'on considère les efforts agissant sur l'extrémité de la conduite, on voit qu'ils se réduisent à une force de 2,2 tonnes appliquée en O, c'est-à-dire en dehors de son

axe. Il est d'ailleurs bien évident que, puisque la plaque obturatrice n'exerce aucun effort sur la conduite, cette dernière ne peut être sollicitée que par une force passant par le point O. En conséquence, nous avons conseillé à notre client de modifier légèrement le plan de l'installation de façon à ce que la conduite traverse le voile inférieur du réservoir à l'aplomb de l'articulation O. Ainsi la dite conduite, depuis le sol jusqu'au réservoir, travaillera en traction pure, ce qui évitera toute flexion nuisible à la bonne conservation de son scellement. Le nouveau tracé de la conduite est figuré en pointillé sur notre plan.

« Malgré la simplicité et la clarté du raisonnement qui précède, notre client n'a pas voulu accepter nos conclusions et maintient que la conduite doit traverser le voile du réservoir, non pas au-dessous du point O, mais au-dessous du flotteur qui est, dit-il, directement à l'origine de l'effort de flexion.

« Certains que votre sagacité bien connue vous permettra de trancher immédiatement ce différend, nous vous prions d'agréer, etc... »

