

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

# TEMPÉRATURE DES SOURCES

par **F. DIENERT** (1)

Chef du Service local de surveillance des sources de la ville de Paris.

---

## PLANCHE II.

---

Parmi les nombreuses recherches que comporte l'étude d'une source figure l'examen journalier de la température. On observe souvent des variations très faibles de celle-ci ( $0^{\circ}1$  à  $0^{\circ}2$ ), quelquefois même nulles, d'autres fois les écarts sont de  $2^{\circ}$  à  $3^{\circ}$  et même plus.

Ces différences observées pour différentes sources semblent indiquer dans l'espèce, pour le bassin d'alimentation de celles-ci, des conditions distinctes.

En effet, la pluie qui tombe sur le périmètre d'alimentation d'une source est, en partie, absorbée par le sol ; une autre partie ruisselle et vient se réunir au fond des thalwegs, formant un ravin ou contribuant à grossir les eaux du ruisseau existant déjà. Enfin une dernière portion est évaporée.

La partie absorbée par le sol est reprise, pour une certaine part, par les plantes qui, en transpirant, la rendent à l'atmosphère. Ce qui reste s'enfouit dans le sol et vient grossir la nappe. Pendant tout ce parcours, l'eau subit un contact intime avec les terrains, et comme, d'une part, sa masse est très faible par rapport à celle de la terre imbibée, d'autre part, la vitesse des molécules liquides est assez faible, l'eau prendra le degré géothermique des couches qu'elle traverse. Aussi, une source

(1) Mémoire présenté à la séance du 15 mars 1904.

dont les eaux n'ont pas d'autre origine aura, pour ces motifs, une température à peu près constante.

Les eaux de ruissellement ne sont pas toujours perdues pour la nappe souterraine. On sait que les ruisseaux auxquels elles ont donné naissance se perdent quelquefois dans le sol, puis viennent réapparaître aux sources. Ces eaux, au moment de leur perte, étaient à une température assez voisine de la température journalière moyenne de l'air atmosphérique, laquelle est variable quotidiennement. En outre, les expériences nombreuses faites tant avec la fluorescéine qu'avec le sel marin, etc., ont montré que, dans la généralité des cas, ces eaux restent très peu de temps dans le sous-sol. Elles n'ont donc pas le temps de subir un contact suffisamment prolongé avec la terre et de se mettre en équilibre géothermique avec elle.

Il résulte, dès l'instant, de ces considérations que, suivant les saisons, ces eaux de ruissellement seront plus chaudes ou plus froides que celles ayant séjourné un temps assez long dans le sol (eaux que nous désignerons sous le nom d'*eau de la nappe souterraine*). Aux sources, elles se trouveront mélangées avec ces dernières, qui, grâce à leur long séjour, posséderont une température à peu près constante, et les eaux perdues des ruisseaux seront la cause même des variations de plusieurs degrés constatées à certaines émergences.

Ces diverses considérations permettent de diviser l'eau qui ressort aux sources en deux parties : la première qui se compose d'eau ayant séjourné un temps assez long dans le sol (eau que nous désignons sous le nom d'*eau de la nappe souterraine*), ayant une température fixe ; la seconde provient des pertes d'eaux de rivières, plus ou moins chaudes suivant les saisons, qui mettent généralement un temps assez court pour reparaître à l'émergence, mais subissent un contact plus ou moins intime avec le sol selon que la circulation souterraine se fait soit à travers de petites diaclases, soit à travers de grosses fissures. La propagation de la chaleur à travers l'eau est assez lente, mais là où le contact du liquide avec le sol est très intime (comme c'est le cas pour de petites diaclases), les échanges de température sont beaucoup plus rapides. Ce sont ces eaux perdues qui sont, comme nous l'avons dit plus haut, la cause des variations plus ou moins grandes de température aux sources.

Quand une rivière se perd, les eaux ne reparaissent pas qu'à une seule source. Généralement elles ressortent à plusieurs émergences et il est utile de connaître la façon dont elles se partagent dans le sol. Supposons que, cette étude faite, nous connaissions la proportion de ces

eaux superficielles reçue par une source donnée. Soit  $a$ . Désignons par  $t$  la température de ces eaux au moment où elles ressortent à la source. Soient  $A$  et  $T$  le débit et la température de la source,  $b$  et  $t'$  le débit et la température des *eaux de la nappe*. A la source, par définition :

$$A = a + b. \dots \dots \dots (1)$$

D'autre part, la température de la source est la moyenne proportionnelle des températures des eaux qui l'alimentent, c'est-à-dire que

$$AT = at + bt'. \dots \dots \dots (2)$$

Des équations (1) et (2) on tire

$$t = \frac{A}{a}(T - t') + t'. \dots \dots \dots (3)$$

On pourra suivre pendant une certaine période les températures journalières  $\theta$  de la rivière au moment où elle se perd et les comparer aux valeurs successives et journalières de  $t$  données par l'équation (3). S'il y a concordance sensible, on pourra être à peu près certain que la circulation souterraine se fait par de grosses diaclases qui n'assurent pas entre le sol et l'eau un contact suffisamment intime.

Si, au contraire, les écarts sont sensibles entre  $t$  et  $\theta$ , il y aura lieu de présumer que les eaux souterraines parcourent de nombreuses petites fissures. Or nous espérons démontrer bientôt que, dans ces dernières conditions, l'épuration des eaux contaminées est plus facile. Il y a donc intérêt hygiénique à connaître ces diverses particularités.

Le présent mémoire a pour principal objet de fournir une méthode capable de donner la valeur de  $a$  de façon à calculer  $t$  au moyen de la formule (3), car, en effet,  $A$  est un élément facile à obtenir : c'est le débit de la source ;  $t'$  est la température moyenne de la nappe. On peut l'obtenir en prenant, à six mois d'intervalle, la température de tous les puits de la région alimentant la source situés dans le gisement géologique de celle-ci, et en prenant la moyenne des résultats obtenus.

$T$  et  $t'$  sont des facteurs très faciles à obtenir au moyen du thermomètre ; l'élément le moins commode est  $a$ .

#### RECHERCHE DE LA VALEUR DE $a$ AU MOYEN DU CHLORURE DE CALCIUM. —

Soit  $B$  le débit de l'eau perdue d'un ruisseau. Supposons qu'à l'endroit où il s'engouffre, on verse une quantité connue d'une substance soluble. On pourra rechercher celle-ci à la source et en connaître la proportion qui sort. Soit  $Q$  la quantité versée et  $q$  celle retrouvée à l'émergence.

Pour faciliter notre raisonnement, nous pourrions supposer que les molécules de la substance introduite font partie intégrante de l'eau absorbée par le bétail. Par conséquent, le rapport  $\frac{q}{Q}$  représentera la proportion des eaux qui viennent directement du bétail à la source.

Comme le débit de la perte est B, il arrivera par seconde à l'émergence une quantité

$$a = B \frac{q}{Q}.$$

Tel est le moyen que nous avons employé pour obtenir  $a$ .

La substance à introduire dans le sol ne doit pas, par suite de réaction avec les substances contenues dans les terrains, être rendue insoluble.

La fluorescéine, dont l'emploi est si répandu, doit être éliminée dans ces études, car lorsqu'on opère dans les terrains calcaires, comme c'est ici notre cas, cette substance perd une partie de son pouvoir colorant.

Nous nous sommes adressé à une substance très commune, très soluble dans l'eau, le chlorure de calcium, incapable d'entrer en combinaison avec les éléments de l'eau ou du sol de façon à rendre insoluble le chlore qui est l'élément dosé. D'autre part, le dosage du chlore se fait très simplement au moyen du nitrate d'argent. Cependant, avant de commencer de telles expériences, nous nous sommes assuré que, en faisant circuler une solution de chlorure à travers la marne, on retrouvait à peu près à la sortie tout le chlore introduit.

Voici, comme exemple, le résultat d'une expérience préliminaire faite dans ce but : on remplit de marne concassée en petits morceaux un tube de 1 mètre de longueur et de 2 centimètres de diamètre, fermé à sa partie inférieure par un bouchon de caoutchouc, traversé par un tube de verre qui peut être fermé. On fait passer à travers cette marne, en dix-neuf heures, environ 500 centimètres cubes d'une solution de chlorure de calcium contenant 0<sup>gr</sup>133 de chlore par litre.

Les liquides obtenus au bout de trois et de dix-neuf heures sont analysés et donnent 0<sup>gr</sup>133 par litre, comme la solution primitive.

La même expérience faite avec une solution de sel marin contenant également 0<sup>gr</sup>133 de chlore, a donné les résultats suivants :

Solution primitive : 0<sup>gr</sup>133 par litre.

Liquide ayant passé à travers la marne au bout de 7 $\frac{1}{2}$ h.	0 <sup>gr</sup> 126
— — — — 9 $\frac{1}{2}$ h.	0 <sup>gr</sup> 133
— — — — 14 $\frac{1}{2}$ h.	0 <sup>gr</sup> 136

La vitesse d'écoulement était la même pour le chlorure de calcium que pour le sel marin.

Ces deux expériences suffisent pour montrer que le carbonate de chaux ne retient pour ainsi dire pas de chlore.

De façon à saler le plus grand volume d'eau, nous avons versé le sel pendant le plus de temps qu'il nous a été possible.

Le chlorure de calcium était dissous préalablement dans l'eau (en faisant des solutions presque saturées à 30 %), et c'est la dissolution qui était versée uniformément pendant environ deux heures.

La source qui nous occupe, la source de l'Abîme, située à 2<sup>km</sup>5 en amont de Dreux, émerge de la craie et constitue le type d'une source d'effondrement. Elle reçoit une partie des eaux de la rivière voisine, la Blaise, qui se perd en partie, à raison de 200 litres à la seconde, à 1 400 mètres en amont dans le bief du moulin de Volhard, à travers une série de petits bétoires très rapprochés, situés dans son lit, et sur une étendue de 30 mètres environ.

En dehors de cette perte, et sur l'étendue du périmètre d'alimentation de cette source, on ne connaît aucune autre contamination par un autre ruisseau. Nous sommes ici dans des conditions très rares; c'est pourquoi nos études ont été favorisées. La source de l'Abîme débite 92 litres environ à la seconde; et à côté se trouve une autre source, le Petit Abîme, dont le débit est d'environ 30 litres.

Plusieurs expériences ont été faites sur les bétoires qui sont la cause des pertes de la Blaise au moyen du chlorure de calcium. Le 27 octobre 1901, à 11 1/2 heures du matin, on a introduit 34<sup>kg</sup>200 de chlore à l'état de CaCl<sup>2</sup>, et le soir du même jour, à 4 heures, 72<sup>kg</sup>960 (\*).

Aux sources de l'Abîme et du Petit Abîme, on fit des prises toutes les dix minutes. On mélangeait ensuite trois prises successives, de façon à constituer un échantillon moyen de l'eau sortie pendant la demi-heure écoulée, et on déterminait le titre en chlore. Les prises commencèrent avant l'apparition d'une augmentation de chlore. Elles furent continuées jusqu'au moment où les eaux reprirent leur titre primitif en sel marin.

Connaissant le débit, on pouvait ensuite connaître la quantité de sel sortie pendant cette période écoulée.

Il est ressorti au Petit Abîme 8<sup>kg</sup>744 de chlore et au Grand Abîme

(\*) On n'a pu jeter le matin tout le CaCl<sup>2</sup> qu'on désirait verser; c'est pourquoi on termina l'opération le soir, en versant ce qui restait du matin. Pour ne pas compliquer cette note, nous dirons que les résultats obtenus avec ces deux jets furent comparables.

22<sup>h</sup>397, depuis le moment où l'excès de chlore est apparu jusqu'au moment où il a disparu complètement.

Le chlore apparut au Petit Abîme cinq heures après le commencement de l'expérience et seulement sept heures après au Grand Abîme. La dose maxima de chlore fut observée au bout de sept heures au Petit Abîme; après neuf heures, à l'Abîme. Au bout de vingt-quatre heures, l'excès de chlore avait disparu.

Comme

$$a = B \frac{q}{Q} \quad \text{et} \quad B = 200,$$

on a

$$\text{Petit Abîme } a = \frac{8.744}{107.160} \times 200 = 16 \text{ litres;}$$

$$\text{Abîme } a = \frac{22.397}{107.160} \times 200 = 42 \text{ litres.}$$

Pour cette dernière source  $A = 92$  litres, on a

$$\frac{a}{A} = 0.46.$$

Le 14 novembre de la même année, la même expérience, faite sur un béttoire voisin de celui employé au mois d'octobre, a donné comme valeur  $a$  pour l'Abîme  $0.60 A$  (\*).

Nous prendrons pour  $a$  la valeur moyenne de ces deux expériences, c'est-à-dire  $0.53 A$ .

On peut, en utilisant les examens journaliers de la température de la source de l'Abîme et de la rivière la Blaise, confirmer les résultats obtenus au moyen du chlorure de calcium.

Nous donnons ci-joint (pl. II) le graphique qui représente les résultats obtenus du 1<sup>er</sup> octobre 1902 au 25 septembre 1903, en prenant seulement la température tous les cinq jours. La première particularité qui saute aux yeux est la variation fréquente de la température et la relation entre celle-ci et la température de la rivière la Blaise.

Pendant les mois de novembre et de décembre 1903, on a pris quo-

(\*) Nous avons dit plus haut que le lit de la Blaise était criblé de quelques petits béttoires sur 30 mètres environ. Désirant obtenir une valeur moyenne de  $a$  pour les divers béttoires, nous avons choisi les deux principaux pour faire ces expériences avec le chlorure de calcium. Nous aurions mieux aimé n'opérer que sur un gros béttoire unique; malheureusement, cette condition était impossible à réaliser ici.

tidiennement ces températures à 2 heures de l'après-midi. En principe, on aurait dû chercher pour chaque jour la température moyenne des eaux de la rivière et des eaux de la source. Cette recherche nous était impossible; aussi la température trouvée à 2 heures de l'après-midi ne donne pas pour  $\theta$  et  $T$  une valeur exacte. Nous avons pris, pour remédier à cette cause d'erreurs, la moyenne des températures trouvées pendant dix jours consécutifs. Les valeurs de  $T$  et  $\theta$  obtenues sont ainsi plus rapprochées de la réalité, et il est évident que, par ce moyen, nous nivelons les erreurs faites.

Voici les résultats obtenus :

	Abîme.	Blaise.
Du 5 novembre au 14 novembre. . . . .	$T = 10^{\circ}46$	$\theta = 8^{\circ}94$
15 — 24 — . . . . .	$T_1 = 9^{\circ}88$	$\theta_1 = 7^{\circ}84$
25 — 4 décembre. . . . .	$T_2 = 9^{\circ}04$	$\theta_2 = 6^{\circ}18$
5 décembre au 14 — . . . . .	$T_3 = 9^{\circ}44$	$\theta_3 = 6^{\circ}96$
15 — 24 — . . . . .	$T_4 = 8^{\circ}56$	$\theta_4 = 5^{\circ}36$

Reprenons la formule (3) :

$$t = \frac{A}{a}(T - t') + t' (*)$$

Pour une période suivante, on aura

$$t_1 = \frac{A}{a}(T_1 - t') + t'$$

On tire, en éliminant  $t'$  entre ces deux équations,

$$\frac{a}{A} = \frac{T - T_1}{t - t_1}; \dots \dots \dots (4)$$

de même

$$\frac{a}{A} = \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2}, \text{ etc.}$$

De cette équation (4) on ne connaît pas  $t - t_1$ . Si, pendant le parcours souterrain qui est très court, comme nous l'avons vu, les échanges de température entre l'eau et le sol sont faibles, on doit avoir

$$t - t_1 = \theta - \theta_1 \quad t_1 - t_2 = \theta_1 - \theta_2 \quad t_2 - t_3 = \theta_2 - \theta_3 \quad t_3 - t_4 = \theta_3 - \theta_4.$$

(\*)  $\frac{A}{a}$  est constant ici parce que pendant toute cette période la rivière ayant un débit constant, les pertes et le débit de la source ne variaient pas.

Si cette hypothèse est exacte, on aura

$$\frac{a}{A} = \frac{T - T_1}{t - t_1} = \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} = \frac{T_1 - T_2}{\theta_1 - \theta_2},$$

d'où

$$t - t_1 = (\theta_1 - \theta_2) \frac{T - T_1}{T_1 - T_2} = 1.146;$$

on tirerait de même

$$t - t_1 = (\theta_2 - \theta_3) \frac{T - T_2}{T_2 - T_3} = 1.131.$$

Or on trouve que, d'après le tableau de la page précédente,

$$\theta - \theta_1 = 1.10 = t - t_1.$$

Par conséquent, notre hypothèse se vérifie très bien dans la limite des erreurs possibles, et l'eau de la Blaise reparait à la source de l'Abîme avec la température qu'elle avait lors de sa perte au Moulin de Volhard. L'équation (4) devient alors

$$\frac{a}{A} = \frac{T - T_1}{\theta - \theta_1} = 0.54,$$

valeur identique à celle 0.53 trouvée au moyen du chlorure de calcium.

Nous venons de la sorte, au moyen de la température, de vérifier notre méthode pour la détermination de  $a$  au moyen des chlorures.

Le rapport  $\frac{a}{A}$  détermine presque la valeur d'une eau de source. Il y a beaucoup de chances pour que, dans le cas de  $a = 0$ , les eaux qui ressortent à la source aient subi une épuration quelconque qui est plus énergique qu'on le suppose, ainsi que nous le démontrerons prochainement.

Nous sommes donc actuellement en possession d'une méthode suffisamment précise pour étudier d'une façon rationnelle la température des sources.

Notre désir sera satisfait si, par cet exemple, nous avons réussi à montrer que l'étude de la température des sources soulève des problèmes intéressants, qu'il est facile d'aborder dans certains cas.

Pour terminer, nous remercions M. Besnard, conducteur des Ponts et Chaussées de Dreux, pour l'aide qu'il nous a fournie lors de ces recherches, en prenant à la source et sur la rivière les températures rapportées ci-dessus.

8 février 1904.

F. DIENERT.

