

SUR

# LA PROPAGATION DES EAUX SOUTERRAINES

---

## NOUVELLE MÉTHODE D'EMPLOI DE LA FLUORESCÉINE

PAR

**Félix MARBOUTIN** (1)  
Ingénieur des arts et manufactures.

---

PLANCHE V.

---

La détermination d'un certain nombre d'éléments contenus dans les eaux destinées à l'alimentation a paru suffire, pendant de longues années, pour se prononcer sur leur qualité; aujourd'hui il n'en est plus ainsi.

Une teneur plus ou moins élevée en sels minéraux, une quantité assez forte de substances organiques ou organisées peut, il est vrai, faire rejeter une eau destinée à l'alimentation; mais une eau ne peut être déclarée bonne et buvable parce que l'analyste y constate l'absence de certains micro-organismes et la présence en quantité assez faible de quelques matières minérales ou organiques.

La détermination des substances dissoutes ou en suspension permet d'établir une comparaison entre deux échantillons, renseigne sur la nature de l'eau et sur son degré de pureté microbienne; mais la connaissance des teneurs des substances organisées ou non ne peut en général nous permettre de nous prononcer sur la bonne qualité des eaux.

(1) Conférence donnée à la séance spéciale d'hydrologie de la *Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, le 25 juin 1901.

Il est, en effet, difficile de concevoir comment l'absence d'un petit nombre de micro-organismes connus et réputés nuisibles peut permettre à l'hygiéniste de se prononcer, lorsque des milliers de ces petits êtres, aujourd'hui inconnus ou d'une recherche des plus délicates, peuvent nous menacer.

La virulence des bacilles ne doit-elle pas elle-même entrer en jeu et peut-être serons-nous amenés un jour à constater que la présence de certains micro-organismes nous est aussi indispensable que l'eau elle-même.

L'hygiéniste doit avant tout se préoccuper *des origines de l'eau, des causes de pollution que cette eau peut rencontrer avant d'être consommée et de l'auto-épuration qu'elle a pu subir.*

Il doit rechercher les diverses phases par lesquelles l'eau a pu passer, et y suivre les variations des divers éléments contenus dans l'eau. Il doit en un mot reconstituer jour par jour, heure par heure, ce que l'on pourrait appeler *l'histoire des molécules d'eau* avant leur arrivée au point où elles sont livrées à la consommation.

J'ai indiqué (1) à la Société des ingénieurs civils de France quelles étaient les grandes lignes d'une étude des eaux de sources. Cette étude n'est pas inconnue à la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie; le programme établi, en 1880, par sa Section d'Hydrologie est des plus nets : il a marqué le chemin du progrès.

Les travaux publiés depuis, par les savants que la Société s'honore d'avoir à sa tête, en font foi : ils sont autant de jalons sur la voie que nous suivons.

En France, la Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire de Montsouris (2) a eu tout dernièrement l'occasion d'entrer

(1) FÉLIX MARBOUTIN, Nouvelle méthode d'étude des eaux de sources. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, février 1901.

(2) *Travaux de la Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire municipal pour 1899-1900*. Paris, 1901.

La Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire municipal de Montsouris est ainsi composée :

*Président* : M. de Selves, préfet de la Seine;

*Membres* : MM. Chautard, Labusquière, Landrin, Navarre, Ambroise Rendu, conseillers municipaux; Adolphe Carnot, membre de l'Institut; docteur Cornil, membre de l'Académie de médecine; Duclaux, membre de l'Institut; Riche, membre de l'Académie de médecine; docteur Roux, membre de l'Institut; Schloësing, membre de l'Institut.

En outre assistent aux séances de la Commission avec voix consultative :

MM. Autrand, secrétaire général de la préfecture; Defrance, directeur administratif des services de la voie publique, des eaux et égouts; Hyerard, directeur du cabinet

résolument dans la voie nouvelle; sous l'impulsion des savants que M. le Préfet de la Seine a su réunir dans cette commission, les méthodes anciennes ont été profondément modifiées et ses travaux, auxquels j'ai eu l'honneur de participer, permettent de résumer comme suit le programme à réaliser pour l'étude des sources.

### Programme d'étude d'une source destinée à l'alimentation.

1° Détermination des trajectoires des molécules d'eau arrivant aux émergences.

2° Détermination du périmètre d'alimentation.

3° Détermination des causes de pollution continues ou intermittentes qui existent dans ce périmètre.

4° Détermination de la nature de l'eau et de son degré de pureté.

Je ne m'occuperai ici que de la partie expérimentale ayant trait à la propagation souterraine des molécules liquides. On trouvera dans le mémoire publié par la Société des ingénieurs civils de France les principes de la nouvelle méthode d'étude des eaux de source (1).

#### I. — Trajectoires des molécules arrivant aux émergences.

L'étude de la propagation des eaux souterraines au moyen des matières colorantes remonte à près d'un demi-siècle. On employait la fuchsine, le bleu de méthyle, les sels de fer, la fluoescéine, etc., que l'on jetait dans les pertes de rivières dans le but de vérifier si ces

du préfet de la Seine; Le Roux, directeur des affaires départementales; Menant, directeur des affaires municipales; Bechmann, ingénieur en chef du service de l'assainissement; Babinet, ingénieur en chef des dérivations; Geslain, ingénieur des ponts et chaussées, inspecteur du service des aqueducs; Hetier, ingénieur en chef du département; Janet, ingénieur en chef au corps des mines; docteur A.-J. Martin, inspecteur général de l'assainissement et de la salubrité; docteur Henry Thierry, inspecteur-adjoint de l'assainissement et de la salubrité de l'habitation; Albert Levy, chef du service chimique de l'Observatoire municipal de Montsouris; docteur Miquel, chef du service micrographique de l'Observatoire municipal de Montsouris; Marboutin, sous-chef du service chimique de l'Observatoire municipal de Montsouris; Cambier, sous-chef du service micrographique de l'Observatoire municipal de Montsouris; Dienert, chef du service local de surveillance des sources de la ville de Paris pour la région de l'Avre et des sources avoisinantes; Le Couppey, ingénieur agronome.

(1) F. MARBOUTIN, *Loc. cit.*

Le pouvoir colorant de la fluorescéine est assez faible si l'on examine la solution par transparence; mais il en est tout autrement si l'examen se fait par réflexion.

La coloration verte est visible à l'œil nu à la dilution de la *dix-millionième* dans un vase en verre ordinaire; on peut encore la déceler à l'œil nu, au quarante-millionième, dans un ruisseau où l'eau coule sur 20 ou 30 centimètres d'épaisseur.

Si l'on examine une solution dans un tube de 1 mètre de long, fermé à une extrémité par un bouchon de caoutchouc noirci à la plombagine, on voit que certaines fluorescéines commerciales peuvent être décelées dans une solution au dix-milliardième (1).

En se basant sur l'écart existant entre la visibilité à l'œil nu et la visibilité au fluoroscope, on peut concevoir qu'il est possible de jeter dans la nappe souterraine une quantité de fluorescéine telle que la coloration soit seulement visible au fluoroscope et, par conséquent, inappréciable pour les habitants de la région où l'on opère.

L'emploi du fluoroscope a de plus l'avantage de permettre d'employer des quantités de fluorescéine infiniment moindres que lorsque l'on opère avec la vision directe, puisque la limite de visibilité est au moins deux à trois cents fois plus faible.

#### PRINCIPE DE LA MÉTHODE ET MODE OPÉRATOIRE.

La méthode comporte trois genres d'opérations :

1° On verse en un point de la nappe souterraine à étudier une certaine quantité de solution de fluorescéine, en même temps qu'un volume d'eau suffisant pour surélever le niveau piézométrique et créer un déplacement de la fluorescéine dans la nappe;

2° Des prélèvements systématiques d'échantillons d'eau sont faits, d'heure en heure, dans tous les puits ou sources du voisinage, à partir de l'origine du jet;

3° Les échantillons sont examinés au fluoroscope par série de même provenance.

A. *Jet de la fluorescéine.* — Le jet de la fluorescéine peut se faire en

(1) F. MARBOUTIN, Contribution à l'étude des eaux souterraines. Courbes isochronochromatiques. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 11 février 1901.)

tous les points où l'on rencontre une perte de ruisseau ou de rivière, soit dans un bétoire (1), soit dans un lit poreux.

On peut encore opérer le jet dans une rivière souterraine, dans un puisard, et d'une manière plus générale, en tout point où le niveau piézométrique de la nappe est inférieur au niveau du sol, au besoin dans un forage spécialement creusé pour cet usage.

La quantité de fluorescéine à jeter dépend de la nature et de l'importance de la nappe souterraine; il faut essayer d'avoir une coloration représentant une dilution au milliardième avec des eaux parfaitement limpides. Dans le cas où les eaux seraient troubles, il sera prudent de chercher à avoir une dilution se rapprochant du cent-millionième.

J'ai employé 400 grammes de fluorescéine pour l'expérience du bétoire de Veau-Renard (planche V, figure de gauche) en terrain crétacé; le jet a été pratiqué de manière à verser dans la nappe environ 300 grammes de fluorescéine à l'heure. La nappe alimentait un certain nombre de sources qui débitent environ 1 500 litres à la seconde, soit 5 400 mètres cubes à l'heure.

Dans d'autres circonstances, j'ai employé des quantités variables de 0<sup>gr</sup>,500 à 1 kilogramme pour des distances variables de 2 kilomètres à 17 kilomètres avec des nappes ayant un débit moyen de 1 000 litres à 2 000 litres à la seconde.

Je jette en général 1 kilogramme de fluorescéine à l'heure pour un débit présumé de la nappe d'environ 2 mètres cubes à la seconde.

La durée du jet dépend essentiellement du résultat à atteindre et de la puissance d'absorption du bétoire, du puisard ou du forage; mais je ferai remarquer que dans le cas d'un forage l'on est à peu près maître de la charge sous laquelle se fait l'absorption, et, par suite, on peut augmenter le pouvoir absorbant dans une certaine mesure.

Lorsque l'on a de grandes masses d'eau à colorer, il est quelquefois avantageux de prolonger la durée du jet.

Lorsque l'on opère dans une rivière qui n'est absorbée que partiellement, on devra toujours essayer d'isoler la partie absorbante pour éviter l'entraînement de la fluorescéine dans le courant, et l'on sera conduit à jeter le plus rapidement possible de fortes quantités de fluo-

(1) Les bétoires, connus sous des noms très divers (bimes, endouzairs, etc.), sont les points où un effondrement, une fissure, rencontre le lit d'un ruisseau ou d'une rivière, le niveau piézométrique de la nappe souterraine étant inférieur au niveau du sol en ce point.

Nous avons eu des produits dont le pouvoir colorant limité était des plus faibles; il y a toujours lieu de procéder à un essai.

Une bonne fluorescéine pour coloration des eaux doit être visible au fluoroscope à la dilution du *dix-milliardième*.

L'examen de coloration doit se faire en plein jour en se plaçant devant un mur blanc et en ayant soin d'éviter un fond de verdure.

#### COURBES ISOCHRONO-CHROMATIQUES. — CONCLUSIONS.

Lorsque l'on aura obtenu un certain nombre de points colorés, il sera facile de tracer des courbes *isochrono-chromatiques*; pour cela, on placera sur la carte de la région les points où l'on a obtenu une coloration, et l'on joindra ces points à celui où l'on a fait le jet. La ligne ainsi obtenue sera divisée en un nombre exact de parties égales, ce nombre étant égal au nombre d'heures que la fluorescéine a mises à arriver au point considéré, et ces points seront numérotés en partant de l'origine du jet.

En joignant les points correspondant à la dixième heure, on aura la courbe-lieu des points où la fluorescéine est arrivée au bout de ce temps. Les autres courbes s'obtiendront de la même manière en opérant par interpolation, s'il y a lieu.

La planche (1) annexée (planche V) représente une partie de la vallée de l'Avre, aux environs de Verneuil; j'ai donné plus haut la description géologique de cette vallée d'après les études de M. Léon Janet, ingénieur en chef des mines.

Cette planche comporte deux cartes figurant deux expériences de coloration des eaux souterraines, l'une faite au bétoire de Veau-Renard, l'autre au bétoire du Haut-Chevrier.

L'expérience du bétoire du Veau-Renard, sur le Buternay, a donné des courbes qui mettent en évidence la ligne de propagation passant par les Harangères, la ferme de l'Orme, la source Ganderolle et la rive droite de la Vigne.

L'expérience du bétoire du Haut-Chevrier sur le ruisseau de Lamblore met en évidence la zone de stagnation des environs de Hérangeville et de Bois-Spert, ainsi que les lignes de grande propagation passant par

(1) *Extraits des travaux de la Commission scientifique de l'Observatoire municipal de Montsouris pour les années 1899-1900.* Paris 1901.

Morvilliers, Beauche, la Varenne, la source des Trois-Mulets, en laissant à gauche la vallée de la Vigne.

On peut, en outre, remarquer que les lignes de grande propagation sont toujours situées dans le voisinage de mardelles.

Il peut arriver que les eaux superficielles s'engagent dans de véritables rivières souterraines isolées de la nappe aquifère des puits, soit en tout temps, soit seulement en basses eaux. Dans ce cas, il sera impossible de tracer des isochrono-chromatiques, puisque l'on n'aura, en général, que deux points à sa disposition : l'arrivée et le point où s'est effectué le jet.

Mais, inversement, lorsque, malgré des recherches répétées, on n'arrive pas à avoir de puits colorés, il y a de fortes présomptions pour que l'on ait affaire à une rivière souterraine. Dans ce cas, l'examen attentif de la région mettra, en général, en évidence des effondrements plus ou moins nombreux sur le parcours de cette rivière, ce qui permettra de la jalonner.

Un nivellement de la nappe, fait au baromètre altimétrique, donnera les pentes moyennes et permettra, dans certains cas, de montrer que cette rivière est isolée de la nappe.

Enfin, la température des puits fera ressortir des différences souvent assez prononcées avec la température de la source qui, elle-même, suivra les variations de température des eaux superficielles dont elle est l'exutoire.

Dans une même région, avec une nappe aquifère circulant dans la même couche géologique : la craie, j'ai observé plusieurs phénomènes qui me paraissent susceptibles de l'interprétation suivante :

1° La fluorescéine se montre en des points très nombreux et dans un secteur dont l'angle au centre est voisin de  $180^\circ$  : cela indique l'existence d'une véritable nappe.

La carte de l'expérience du Haut-Chevrier en est un exemple. On pourra voir sur cette carte des lignes de grande propagation passant par Morvilliers, Beauche, la Varenne et la source des Trois-Mulets.

Dans cette expérience, il a été versé dans le bétroire du Haut-Chevrier, dans la vallée de Lamblore, 900 grammes de fluorescéine, à raison de 450 grammes à l'heure ; la fluorescéine a été décelée jusqu'à 11 kilomètres du point où se faisait le jet et sur une superficie de 80 kilomètres carrés environ ; la vitesse moyenne de propagation a été de 150 mètres à l'heure.

2° La fluorescéine ne se montre dans aucun puits ; elle apparaît à une des sources ou à un même groupe de sources : cela indique la pro-

Ces éléments obtenus, on a la cote de la surface de l'eau dans le puits, c'est-à-dire le niveau piézométrique du point considéré.

Il suffira alors de transporter ces cotes sur une carte de la région et de tracer des courbes de niveaux qui représenteront la surface piézométrique de la nappe considérée. Il ne sera pas, en général, nécessaire de faire un nivellement très exact. L'emploi du baromètre altimétrique est tout indiqué et donnera le plus souvent des résultats très suffisants.

#### Usage des courbes isochrono-chromatiques dans les projets de captage ou de drainage.

Nous avons vu que les courbes isochrono-chromatiques donnent les lignes de plus grande propagation des nappes d'eau souterraines, c'est-à-dire les lignes qui sont le plus recherchées dans les projets de drainage d'un coteau ou d'une plaine.

Il suffira, en effet, d'établir les drains principaux suivant ces lignes. Ces drains seront les collecteurs naturels de la nappe, dont le drainage sera complété par une série de galeries secondaires disposées perpendiculairement aux premières. L'importance et le nombre de ces galeries seront eux-mêmes déterminés par l'écartement des courbes isochrono-chromatiques, qui indiquent les régions où les molécules d'eau circulent avec de plus ou moins grandes facilités.

---

EXPÉRIENCE DU BÉTOIRE DE VEAU RENARD

EXPÉRIENCE DU BÉTOIRE DU HAUT CHEVRIER

