

EXTRAIT
DU
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE
DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

Tome XVII. — Année 1903. — Procès-Verbaux, séance du 16 juin 1903. pp. 293-300.

Notes concernant la vitesse de propagation de la fluorescéine dans les eaux souterraines, à propos de la note de MM. Fournier et Magnin et de la notice de M. Le Couppey de la Forest, par le Prof^r H. SCHARDT.

RETARD DE LA FLUORESCÉINE. — J'ai également constaté que la fluorescéine chemine dans l'eau courante *moins vite* que l'eau, c'est-à-dire que les corps flottants dans celle-ci. On est surpris de la lenteur apparente avec laquelle la coloration avance dans une rivière au cours en apparence assez rapide. Pour aller de la source de l'Orbe jusqu'au pont de Vallorbe, distant de 3 kilomètres, il a fallu cinq heures! Il serait vraiment intéressant de faire des essais, afin de déterminer quelle est la différence de vitesse entre l'eau et la fluorescéine ou d'autres réactifs, en opérant sur des canaux à *calibre connu* et avec des *vitesse exactement connues* également. Après cela seulement, on pourra tirer des conclusions des observations faites sur les cours d'eau souterrains, et encore faudrait-il auparavant expérimenter aussi sur des canaux artificiels avec calibre inégal, ou dont certaines parties représentent les conditions de l'écoulement libre et d'autres celles des siphons renversés.

J'ai toujours attribué la grande lenteur de la propagation souterraine de la fluorescéine à la présence de grandes cavités sur le parcours des eaux souterraines, cavités placées soit sur la partie à écoulement libre, soit sur les canaux en siphon.

L'influence de ces évasements est absolument manifeste, lorsqu'on expérimente sur des ruisseaux traversant une succession de bassins ou marmites de géant. C'est ainsi que le ruisseau de l'Eau-Froide, près de Roche, vallée du Rhône, sur lequel j'ai fait toute une série d'essais de coloration, m'a donné, suivant le débit, des différences absolument énormes. Pour parcourir 1 kilomètre de longueur, avec une différence de hauteur de 400 mètres, donc une très forte chute, il a fallu aux basses eaux (débit 35 L. s.) douze heures au complet; une seule marmite de 2 mètres de diamètre a causé parfois trente à quarante minutes d'arrêt avant que l'eau en sortit fluorescente! Aux hautes eaux (300 à 400 L. s.), la coloration descend en trente à quarante minutes. La vague de crue, lors des orages, met à peine vingt minutes pour

parcourir la même longueur. Voilà qui explique sullisamment les différences de vitesse observées et surtout la *grande lenteur aux basses eaux* dans la propagation de l'eau fluorescente.

Toutefois, est-il bien prouvé que la fluorescéine coule si notablement moins vite que l'eau ? *Théoriquement, elle ne doit pas se propager moins vite que le trouble que nous produisons en agitant la vase au fond de l'eau, ou en y introduisant une dissolution de gomme laque dans de l'alcool.* Si cette différence de propagation était réelle, il faudrait admettre que, par une influence encore inconnue, la couleur se *détruit* à la tête de la colonne colorée, ce que je ne puis croire; car la persistance de la coloration faible à la fin du maximum, souvent pendant des semaines, prouve justement *la longue conservation de la fluorescéine dans l'eau.*

Je crois, au contraire, que la différence de vitesse de propagation entre l'eau et la fluorescéine n'est qu'une *apparence*, revenant au même ordre de faits que la différence de la perception des odeurs dans l'air lors des incendies par exemple. C'est en partie aussi le fait de l'*imperfection de nos sens*. Le fait qu'une petite dose de fluorescéine, jetée en une seule fois, soit en une infime fraction de seconde, colore bientôt *plusieurs centaines de mètres de la veine liquide*, prouve que la vitesse de l'eau n'est pas la même dans toute la section, ce qui est d'ailleurs bien connu. Mais il s'ensuit de cette observation que cet éparpillement de la coloration est dû au retard que subit l'eau sur ses bords. La tête de la colonne colorée marche vite, les flancs traînent. Souvent, quand tout paraît passé, nous trouvons encore de la fluorescence intense, pendant des heures, dans les anses tranquilles des ruisseaux. Malgré sa vitesse plus grande, la tête *colorée* de la colonne paraît en retard sur la vitesse propre de l'eau. C'est ce que je crois être une apparence, et voici pourquoi : La zone de forte coloration de l'expérience citée suit au début nécessairement et manifestement *le milieu du courant et la tête de la colonne*; la queue est de plus en plus diluée. Mais la tête de la colonne, qui pénètre dans de l'eau non colorée occupant les bords et le fond du courant, se diffuse avec celle-ci et *la fluorescence devient rapidement invisible à l'œil, sur une zone qui doit rapidement croître en longueur*. Ce n'est que la tête *fortement* colorée qui est en retard sur la vitesse de l'eau; en avant de cette tête fortement colorée existe une zone de diffusion, où le fluorescope permettrait facilement de constater la fluorescéine. Dans divers essais de coloration de ruisseaux et de sources, j'ai constaté la fluorescéine avec le fluorescope *longtemps avant* l'arrivée de la forte coloration correspondant à *la tête apparente de la colonne colorée* ! Des essais faits sur des canaux avec vitesse d'écoulement connue

devront donner pour la coloration et l'eau des vitesses sensiblement égales; les différences deviendront d'autant plus faibles *que nous utiliserons des fluorescopes plus sensibles.*

J'arrive maintenant AUX DIFFÉRENCES DE VITESSE DE PROPAGATION ENTRE LES CRUES ET LA FLUORESCÉINE.

En soutenant que la différence apparente de ces vitesses correspond à la différence de vitesse observée entre l'eau et la tête de la colonne colorée, on est évidemment dans l'erreur. Une partie du cours souterrain des eaux est, dans presque tous les cas, je dirai même dans tous, formée soit de vastes cavités où l'eau est presque stagnante, soit de canaux en siphon renversé, que l'onde de crue traverse presque *instantanément*, conformément aux lois de l'hydraulique. La crue observée aux résurgences n'est pas la réapparition de la plus forte quantité d'eau elle-même, mais elle est due à la *hausse du niveau* de l'eau souterraine ou à la *transmission instantanée de la hausse de pression* dans les canaux en charge ou en siphon renversé! La propagation de la fluorescéine, ou de toute autre substance, devra cheminer avec la vitesse de l'eau et ne subir que le *retard apparent* dont j'ai parlé plus haut, retard dû à la dilution de la tête de la colonne *colorée*! Ce fait a été nettement constaté au lac de Joux, où la vague de crue se montre à la source de l'Orbe, deux heures après l'ouverture des vannes de Bonport, et atteint le maximum seulement sept heures plus tard, tandis que la fluorescéine, introduite en même temps, n'a apparu que *vingt-deux heures* après. Le même essai fait précédemment *sans ouvrir les vannes*, en ne colorant que le débordement normal de l'eau, avait donné *cinquante heures* pour le même trajet. La différence entre cinquante heures et vingt-deux heures est due au fait que l'ouverture des vannes constitue une *crue*, d'où augmentation de la *vitesse d'écoulement* de l'eau, comme cela se produit dans chaque ruisseau. Mais il y a à côté de cela encore le phénomène de la crue *hydrostatique* (conduite sous pression), qui est bien plus rapide que la vitesse propre de l'eau; elle est presque instantanée! Quant aux VITESSES D'ÉCOULEMENT de l'eau, suivant la SECTION DES CANAUX SOUTERRAINS, dont parlent MM. Fournier et Magnin, je ne puis partager leur raisonnement quant à l'application des formules hydrodynamiques sur lesquelles ils se basent pour soutenir que l'existence de grandes cavités sur une conduite sous pression, plutôt que de ralentir la vitesse de l'eau, comme c'est le cas lors de l'écoulement libre, doit augmenter, au contraire, cette vitesse. Ces formules ne s'appliquent qu'à des *conduites à calibre uniforme et non au cas de canaux aussi variables de forme que les réseaux des eaux souterraines.* La

présence de canaux à grande section ou de vastes cavités exercera, lors de la mise sous pression, la *même influence retardatrice* que lors de l'écoulement libre; ici rien ne sera changé, mais c'est dans les canaux à *petite section* que la vitesse augmentera en raison de la *pression*, qui sera plus forte! Dans les parties à grande section, la vitesse n'augmente pas dans une aussi forte proportion; le renouvellement de l'eau qui doit se faire là, avant que la coloration n'arrive à l'ouverture de sortie, constitue un *ralentissement* de la vitesse, qu'il y ait pression ou non; cela saute aux yeux!

Il est étrange que les DIVERS RÉACTIFS employés aient donné jusqu'ici des résultats si différents. Je ne crois pas qu'il y ait là une différence dans la vitesse de translation réelle de la couleur ou du réactif, qui doit cheminer avec une vitesse sensiblement égale à celle de l'eau, mais cela doit tenir à la *différence de sensibilité des réactifs*, c'est-à-dire à la manière de constater la présence du réactif. Pour la fluorescéine, on se contente le plus souvent d'attendre le résultat visible à *l'œil nu*; il est certain que l'observation d'épreuves prélevées à courts intervalles donnerait des traces de fluorescence, au moyen du fluorescope, *longtemps avant l'apparition du maximum visible à l'œil nu*. Les méthodes chimiques, sel de cuisine, amidon, levure de bière, amidon et iode, etc., qui exigent le prélèvement d'échantillons et leur étude au laboratoire, donnent de ce chef des trajets plus rapides. Sous ce rapport, les trois essais faits par M. Knop sur la *source de l'Aach*, alimentée pour une moitié de son débit par une perte du Danube, sont absolument démonstratifs. En effet :

a. *L'huile de goudron* a été constatée par son goût et chimiquement au bout de soixante-deux heures après son introduction et pendant six heures.

b. *Le sel de cuisine* a été constaté au bout de vingt heures déjà; mais le maximum n'a été atteint que soixante et une heures après l'introduction et a duré environ six heures. Durée totale : 90 heures.

c. *La fluorescéine* est devenue nettement visible au bout de soixante heures et la coloration dura trente-six heures.

Il est certain qu'un contrôle au moyen du fluorescope sur des échantillons prélevés aurait donné un temps beaucoup plus court pour la translation et plus long pour la durée de la coloration.

Il en découle néanmoins que l'apparition *visible à l'œil nu* de la fluorescéine *ne donne en aucun cas la vitesse réelle de l'eau*, mais que, par l'emploi du fluorescope de plus en plus sensible, on peut s'en rapprocher sensiblement.

M. Knop remarque déjà dans sa notice que les essais *a* et *c* ne sont devenus perceptibles aux sens qu'*au moment du maximum de leur effet*.

Je constate à ce propos que les indications de MM. Fournier et Magnin concernant le trajet de l'amidon de l'entonnoir des Ponts à la source de la *Noiraigue* ne sont pas démontrées. Cette constatation n'a jamais été faite *positivement*. Desor avoue qu'il lui *a paru* que l'éprouvette de huit heures avait une légère teinte bleuâtre. C'est la main inexpérimentée du surveillant chargé de prélever les échantillons qui avait introduit la teinture d'iode. *L'essai en question ne mérite aucune confiance* (1). Quant à celui de l'Areuse, il n'a jamais été fait avec de l'amidon! Le chiffre de douze heures se rapporte à la *crue* de la source, après l'ouverture des vannes du lac des Taillières.

Pour pouvoir affirmer que tel ou tel réactif chemine plus vite qu'un autre, il faudrait au moins que les expériences sur lesquelles on base les affirmations, eussent été faites dans les mêmes conditions de débit, ce qui n'est apparemment pas le cas. Les trois essais de M. Knop sur la source de l'Aach montrent clairement que dans les mêmes conditions de débit, ce qui fut le cas du 22 septembre au 12 octobre 1877, l'apparition du *maximum* de l'effet des réactifs (goudron, sel de cuisine, fluorescéine) a lieu sensiblement au bout du même *laps de temps*, environ trois fois plus tard que les premières traces percevables du sel de cuisine.

La variabilité de la vitesse de l'eau, donc de la durée du trajet souterrain, ressort des divers essais que j'ai faits au sujet des sources du *Mont de Chamblon* où, en eaux moyennes, le trajet a duré quarante et quarante-deux heures et, en eaux basses, cent cinquante heures. De même, le trajet de la fluorescéine entre les entonnoirs du plateau de la Brévine et la source de l'Areuse a exigé en basses eaux (septembre) treize jours et dix heures, soit près de trois cents heures, en eaux moyennes (mai) cent trente-deux heures et, un peu plus tard, le même mois, cent quatre-vingt douze heures. Lors du troisième de ces essais, lorsque, après quarante-huit heures de coloration, la rivière de l'Areuse avait repris son aspect normal, un violent orage éclata sur la montagne; le lendemain, on revit apparaître la fluorescéine à la source et se maintenir avec la même intensité que précédemment pendant plusieurs heures. Ceci confirme l'idée de M. L. Couppey sur le rôle des cavités, soit que la couleur s'y dépose en raison de sa

(1) Les essais avec la fluorescéine ont donné aux hautes eaux deux cent quatre et cent cinquante-six heures (mai et juillet 1901).

densité (ce qui me paraît moins probable), soit par suite d'un mouvement en tourbillon, comme dans les anses tranquilles des cours d'eau. Il faut une affluence d'eau subite pour expurger cette réserve de couleur.

J'ai toujours remarqué que les essais de coloration réussissent plus sûrement au moment des hautes eaux ou des eaux moyennes, en raison de la vitesse plus grande qui produit un renouvellement plus prompt de l'eau dans les cavités souterraines, sans que l'eau accumulée dans celles-ci soit bien plus considérable. La colonne colorée s'allonge moins et conserve, malgré le plus fort débit, une coloration très intense; puis il y a l'avantage d'un trajet plus court, qui n'oblige pas à une attente trop longue et parfois impatientante, comme celle du premier essai entre le lac des Taillières et l'Areuse, qui a duré treize jours pour 6 kilomètres.

Conclusions. — Dans l'état actuel de mes connaissances sur la marche souterraine de la fluorescéine, je ne pense pas que la vitesse réelle de celle-ci soit sensiblement plus faible que celle du véhicule, l'eau. Le retard qui se produit est *purement apparent* et dû aux moyens d'observation mis en pratique. Pour avoir la vitesse approximative de l'eau, il faut procéder par prélèvement d'échantillons et examiner ceux-ci avec un fluorescope très sensible, à la lumière directe du soleil, ce qui permet de discerner jusqu'à un dix-milliardième de fluorescéine. Le retard apparent (coloration visible à l'œil nu) peut atteindre le double de la durée réelle du trajet.

Il est possible cependant que certaines substances ou terrains détruisent la fluorescéine; aussi des recherches sur ce point seraient à désirer. Les eaux tourbeuses, chargées d'acide ulmique, exercent certainement une action destructive sur la fluorescéine, qui est un sel basique; la faiblesse de la coloration de la source de la Noiraigue, dont l'eau a une teinte ambrée, peut être attribuée à cette influence.

Neuchâtel, le 14 juin 1903.

D^r SCHARDT.

La question du prétendu « retard » de la fluorescéine fait ensuite l'objet d'un débat complémentaire auquel prennent part MM. J. Dufief, Kemna, Putzeys, Rabozée, Van den Broeck et Willems.

Nous extrayons des notes de séance les passages suivants :

M. Kemna. — Le retard dans la première arrivée de fluorescéine visible pourrait résulter d'une rétention de la substance colorante par les parois. Plus tard, ces mêmes parois abandonnent de la fluorescéine à l'eau pure, et il en résulte une prolongation de la période de coloration.

tion, résultant, non d'un retard de l'eau ou de la matière colorante, mais du lavage des parois. Il faudrait déterminer la réalité et l'intensité de cette action d'absorption des parois.

M. Putzeys. — Rien ne dit que la vitesse n'est pas la même. Le retard peut être simplement une apparence, les premières traces de coloration pouvant échapper à l'observation.

M. Van den Broeck. — Dans un canal, les eaux proches de la surface libre coulent plus vite que celles du thalweg; si la fluorescéine allait au fond, le retard se comprendrait. Le fait du retard est affirmé par tous les expérimentateurs, mais il est certainement apparent. Pour une solution salée, — nettement plus dense, — le retard réel se comprendrait à la rigueur. Quant au fluoscope employé par M. Schardt, il est à noter qu'il est moins sensible que l'appareil Trillat-Marboutin, du moins en l'absence de l'éclairage par les rayons solaires. Il y a urgence à lucider, à l'aide des appareils les plus précis, suppléant à l'insuffisance de la vision directe, ce problème, qui est d'une importance capitale pour l'étude judicieuse des alimentations d'eau.

Cap. Willems. — Des expériences de laboratoire confirmeraient-elles ce qui a été dit, notamment par M. Le Couppey, au cours de la discussion : que la fluorescéine se dépose?

M. Kemna. — Il n'y a pas de dépôt, mais on a invoqué la densité plus grande de la solution comme devant amener les couches d'eau très colorées dans une situation inférieure.

M. Dufief. — Une solution très longtemps conservée dans une éprouvette de mon laboratoire n'a absolument rien déposé.

M. Van den Broeck. — La coloration plus marquée constatée au cours de mes expériences dans des fonds irréguliers de ruisseau, plus profonds par places, provient, M. Rahir et moi nous en sommes assurés, uniquement de la plus grande épaisseur du liquide. Une faible différence en plus dans certains endroits localisés, un peu plus profonds, peut amener, à la simple vue et si l'on néglige de vérifier avec soin, la notion inexacte d'un dépôt matériel de fluorescéine *semblant* localisé dans ces fonds. C'est une pure illusion.

La discussion porte ensuite sur le degré de rapidité d'arrivée des crues bactériennes aux points d'émergence.

M. Putzeys, au cours de cette discussion, fait remarquer que la première pluie amène aux bétouilles des eaux souillées. Le terrain calcaire n'est pas fissuré *seulement* dans la régions des bétouilles, mais également au-dessus du débouché des sources, où la moindre pluie peut

donc amener une poussée bactérienne, pouvant précéder l'arrivée des éléments : eaux, fluorescéine, bactéries et souillures, provenant de la région, plus lointaine, des bétaires expérimentés. Il importe donc de rechercher et de déterminer avec le plus grand soin les points rapprochés des plus minimes infiltrations possibles, tout autant que les limites les plus lointaines de l'aire d'influence des bétaires dont l'examen s'impose tout d'abord.
