

ESSAI

SUR LA

CIRCULATION DES EAUX SOUTERRAINES

DANS LES

MASSIFS CALCAIRES DU JURA

PAR

E. FOURNIER ET MAGNIN (1)

Ayant été amenés à étudier, à l'aide de la fluorescéine, les communications entre un grand nombre de pertes et leurs résurgences, nous avons été frappés de la lenteur extrême avec laquelle les colorations effectuaient leur parcours souterrain. Afin de rendre les résultats de nos expériences faciles à constater par tous, et afin aussi de nous rendre compte de l'existence des résurgences multiples, qui sont fréquentes dans notre région, nous avons toujours employé une quantité de matière colorante supérieure de beaucoup à celle que l'on pouvait présumer nécessaire (2) pour mettre en lumière la communication supposée. Dans la plupart de nos expériences, *nous avons donc pu observer à l'œil nu, sans fluorescope*, la réapparition de la matière colorante aux résurgences.

Cette manière d'opérer présente, à notre avis, le double avantage de ne laisser subsister aucun doute dans l'esprit de l'expérimentateur et

(1) Mémoire présenté à la séance du 13 décembre 1903.

(2) M. Trillat (*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, 16 juin 1903) considère la quantité de 1 kilogramme comme énorme. Nous en avons rarement employé moins, et quelquefois nous avons été jusqu'à 7 kilogrammes.

ensuite de frapper l'imagination des populations auxquelles il s'agit précisément de démontrer la réalité de la contamination de certaines eaux, qu'elles seraient le plus souvent toutes disposées à déclarer excellentes, parce que (c'est le cas de la plupart des sources vauclusiennes) elles sont limpides, fraîches et qu'elles sortent du rocher.

Cette démonstration de la contamination par une coloration bien visible est d'un bien plus grand poids dans l'esprit de ces populations que les résultats les plus concluants des analyses chimiques et bactériologiques.

D'autre part, cette lenteur de réapparition de la coloration aux résurgences aurait pu amener à penser que les eaux subissaient, dans un parcours si lent, une certaine filtration; *cette supposition pourrait amener des méprises désastreuses*; car, dans plusieurs centaines de cavités souterraines que nous avons explorées et dans un nombre encore plus considérable étudiées par M. Martel et par divers autres spéléologues, on a pu constater *de visu* que, dans le calcaire, les eaux circulaient toujours dans des fissures librement ouvertes, *sans filtration aucune*.

Il importait donc d'empêcher la diffusion de l'idée d'une purification possible des eaux vauclusiennes dans leur trajet souterrain, idée qui nous fut opposée à maintes reprises, notamment au sujet de notre mémoire sur la source d'Arcier (1), et nos études sur la source des Foules, à Saint-Claude.

Tel a été le principal objet de notre Note sommaire du 6 avril 1905 à l'Académie des Sciences; d'autre part, il nous semblait opportun d'appeler l'attention des hydrologues sur les curieuses variations de vitesse et les anomalies apparentes de la circulation souterraine, et nous ne saurions trop nous louer de l'heureux résultat que nous avons obtenu en provoquant l'intéressante discussion qui s'est déroulée devant la Société belge de Géologie, discussion qui a fait la lumière d'une façon complète sur bien des points jusque-là obscurs.

Dans la présente note, nous nous proposons non seulement de résumer les résultats mis en lumière au cours de cette discussion, mais encore d'y ajouter un certain nombre d'observations récentes venant, les unes confirmer ces résultats, d'autres soulever de nouvelles questions qu'il importe d'élucider complètement.

(1) Le maire d'une localité située dans le bassin d'alimentation de cette source déclarait notamment, dans une lettre adressée au Conseil d'hygiène, que l'eau mettant 9 heures pour se rendre des entonnoirs à la résurgence, ce temps était amplement suffisant, *de l'avis des médecins*, pour la dépouiller de toute souillure.

A. STRUCTURE DES RÉSEAUX VAUCLUSIENS.

Nous avons pu constater *de visu*, dans de nombreuses explorations de gouffres et de rivières souterraines, que, dans les calcaires du Jura, les eaux descendaient le plus souvent par quelques échelons très rapides à un niveau peu supérieur à celui de leur résurgence, quelquefois même à un niveau inférieur, dans le cas très fréquent des cours d'eau siphonnés (hypochètes de M. Martel). Il en résulte que, dans la partie à peu près horizontale du parcours, la *vitesse moyenne réelle* de l'eau demeure très faible en temps de sécheresse.

Cette partie subhorizontale du réseau peut traverser quelques-unes de ces vastes excavations que l'on trouve si fréquemment intercalées sur le parcours des ruisseaux souterrains dans les calcaires jurassiques; les eaux rempliront ces cavités, dont le volume est parfois considérable. Si l'on procède alors à une expérience de coloration, en basses eaux, le débit du cours d'eau sera faible par rapport au volume total des cavités intercalées sur le parcours; il faudra donc un temps relativement très long pour que le mince filet d'eau colorée à la fluorescéine, qui représente alors le débit du ruisseau, puisse donner une teinte perceptible à toute la masse d'eau accumulée dans ces réservoirs naturels. Il en résulte que l'apparition de la coloration visible à l'œil nu à la résurgence, sera considérablement retardée.

La lenteur de propagation de la fluorescéine, visible à l'œil nu, dans les expériences faites par nous dans le Jura, *vient donc confirmer, dans les réseaux souterrains étudiés, la présence de portions stagnantes et de cavités réservoirs*; c'est là le résultat que nous avons voulu principalement mettre en lumière.

Dans les régions où le calcaire se délite en bancs peu épais et aussi dans les régions crayeuses, la pente est répartie, en général, d'une façon plus uniforme sur tout le trajet du cours d'eau souterrain; les cavités très volumineuses sont beaucoup moins fréquentes; il en résulte que, dans ces régions, la vitesse moyenne d'écoulement peut être beaucoup plus rapide et qu'on peut obtenir par des colorations, même simplement visibles à l'œil nu, *des résultats tout à fait différents*.

Un autre caractère très important des réseaux vauclusiens du Jura, c'est de présenter des variations brusques et considérables de régime avec les précipitations atmosphériques, car, si les parties stagnantes subhorizontales viennent à fonctionner comme conduite en pression, la

vitesse qui, dans ces parties, avait des tendances à s'annuler en basses eaux, prend, au contraire, une valeur de plus en plus grande au fur et à mesure que la pression augmente et, suivant la disposition du réseau, il peut suffire parfois d'une précipitation relativement peu importante pour produire ce résultat (1). A ce moment, les boues chargées de bactéries, qui s'étaient décantées dans les parties stagnantes, sont brusquement remises en circulation dans le cours d'eau souterrain.

De là ces crues bactériennes subites qui ont été si bien mises en lumière par les études de M. Maréchal sur les eaux d'Arcier et sur les sources du département du Doubs (2).

On voit donc combien l'usage des eaux vaclusiennes présente de dangers, dès que leur bassin d'alimentation n'est pas vierge de toute contamination, et combien la contamination peut être intense, surtout dans les calcaires très fissurés du Jura.

L'existence de grandes cavités intercalées sur le parcours des réseaux souterrains des calcaires du Jura a été confirmée, non seulement par l'exploration directe (voir *Speunca*, nos 21, 24, 27, 29 et 33), mais encore par de nombreuses observations de divers auteurs, notamment par celles de MM. Forel et Golliez :

Le 28 décembre 1893 (3), à midi, les vannes de l'entonnoir de Bon Port, au lac Brenet, jusqu'alors entièrement fermées, furent ouvertes; elles débitaient 0^m3,8 à la seconde; cette masse d'eau, arrivant par le cours d'eau souterrain jusqu'à la résurgence de l'Orbe, y détermina une crue qui fut enregistrée par un limnographe placé, par M. Forel, à 500 mètres en aval de la résurgence. La crue commença à 4^h,30, atteignit rapidement une valeur de 5 centimètres à 5^h,20 et continua ensuite lentement, pour atteindre une valeur de 6 centimètres à 7 heures du soir.

M. Forel conclut que la lenteur du développement de la crue ne peut s'expliquer que par la présence d'un lac souterrain (ou bien, évidemment, d'une série de cavités d'un grand volume), et il ajoute :

« L'eau, partie à midi des entonnoirs de Bon Port, aura circulé dans

(1) Nous reviendrons plus loin sur ce point.

(2) MARÉCHAL, *Étude bactériologique des sources d'Arcier*. (SOC. HIST. NAT. DU DOUBS, 1902.) — *IBID.*, *Régime bactériologique des sources vaclusiennes dans le Doubs*. (*IBID.*, 1903.) — *IBID.*, *Les eaux d'alimentation dans le département du Doubs*. Besançon, Jacquin, 1903.

(3) *Le lac de l'Orbe souterraine*. (BULL. SOCIÉTÉ VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES, décembre 1898.)

les canaux à l'état d'eau courante jusqu'à 4^h,50, moment où elle a atteint la tête du lac souterrain. Alors a commencé la crue du lac, qui s'est traduite par le plus grand débit de la source de l'Orbe; le débit exagéré n'a d'abord pas égalé l'apport supplémentaire des eaux venant de Bon Port, le niveau du lac souterrain s'est élevé jusqu'à ce que le débit de la source ait été augmenté d'une valeur de 0^m3,80 à la seconde et, alors seulement, la crue est restée stationnaire. »

Relatant ensuite l'exploration de la résurgence faite par un scaphandrier, l'auteur conclut que la résurgence de l'Orbe est sur la branche ascendante d'un siphon renversé, dont l'autre branche aboutit à un lac souterrain. Une autre preuve de l'existence de ce lac est l'apparition, sur le tracé de l'appareil enregistreur, d'oscillations rythmiques identiques aux « seiches » des lacs ouverts.

D'après M. Forel, le lac en question ne serait pas le seul bassin d'eau interposé sur le cours de l'Orbe souterraine, car la coloration effectuée par lui dans l'entonnoir de Rocheray n'a pas mis moins de douze jours à parvenir à l'Orbe (11 kilomètres). « Cette lenteur ne s'explique que si l'on admet, en amont de notre lac de la source de l'Orbe, une série d'autres bassins étagés sur le cours de l'Orbe souterraine, *qui s'y attarde et y laisse reposer ses eaux.* »

Voici donc confirmées, par des recherches absolument indépendantes des nôtres, deux des particularités les plus remarquables de la structure des réseaux vauclusiens du Jura : 1° Existence de cavités stagnantes sur le parcours des cours d'eau ; 2° Fréquence des hypochètes (siphons inversés) au voisinage des résurgences.

La liste suivante, comprenant quelques-unes des principales expériences effectuées dans la région jurassienne, montre combien, en basses eaux, la fluorescéine, visible à l'œil nu, se propage lentement. La lenteur extrême de cette propagation a certainement, dans la plupart des cas, pour cause principale l'existence de portions stagnantes. C'est peut-être aussi à l'existence de ces cavités, qui peuvent avoir parfois un volume assez considérable, qu'il faut attribuer l'insuccès de certaines expériences; celle de Champlive, par exemple, où 7 kilogrammes de fluorescéine n'ont donné aucune coloration, même au fluorescope, dans des résurgences dont la plus éloignée est à peine à 10 kilomètres (1) des entonnoirs colorés. Il ne faut pourtant pas se dissimuler que la non-apparition de la coloration peut être due à d'autres causes.

(1) Ces résurgences ont été observées au fluorescope pendant dix-sept jours consécutifs.

PARCOURS.	LONGUEUR du PARCOURS	TEMPS EMPLOYÉ.	AUTEURS et DATE DE L'EXPÉRIENCE.
De Bon-Port à la source de l'Orbe.	3 ^k ,000	12 h., 22 h., 50 h.	Piccard, Forel et Golliez, 1893-1894.
De Rocheray	14 ^k ,000	288 heures.	Forel, 1894.
De Nancray à Arcier.	3 ^k ,000	92 heures.	Thoinot, 1894. Jeannot, 1900.
De La Brévine à la source de la Reuse.	6 ^k ,500	312 heures.	Schardt, 1900.
De Charbenit à la source Mignot (Fraisans).	2 ^k ,000	75 h., 24 h.	M. l'agent-voyer de Fraisans, 1901.
Des Ponts à la Noiraigue. . .	4 ^k ,000	156 h., 204 h.	Dubois, 1901.
Du puits de Chin-Chin à la source du Grand-Vaire.	0 ^k ,700	5 h. 30 min.	Fournier, 1901.
De Clucy à la source de Gouaille.	2 ^k ,000	3 jours.	Fournier, Piroutet, Cornu, 1901.
Pertes et résurgences au-dessous de Gouaille.	0 ^k ,200	1 h. 30 min.	Fournier, 1901.
Galerie de Levier (canalisée).	6 ^k ,000	2 jours.	Fournier, 1901.
De Gadeau à Saizenay	2 ^k ,500	2 1/2 jours.	Fournier, 1901.
Gellin : Pertes au-dessus de la source.	0 ^k ,150	2 h. 30 min.	Fournier, 1901.
Bouverans : Entonnoirs de la tourbière au puits Métallin.	0 ^k ,220	7 heures.	Fournier, 1902.
Du puits Genty à la source de Chancey.	0 ^k ,600	3 heures.	Fournier, 1901.
Entonnoir de Pirey à la source d'Avanne.	6 ^k ,000	4 jours.	Maréchal, 1900.

PARCOURS.	LONGUEUR du PARCOURS.	TEMPS EMPLOYÉ.	AUTEURS et DATE DE L'EXPÉRIENCE.
Du Creux-sous-Roche à la vallée de la Loue.	15 ^k ,000	15 jours.	Fournier, 1898.
Du Leubot au puits de la Brême.	15 ^k ,000	15 jours.	Fournier, 1899.
Pertes du captage de Moutier.	0 ^k ,060	30 minutes.	Fournier, 1901.
Taillecourt : De l'entonnoir à la résurgence.	0 ^k ,200	1 heure.	Fournier, 1901.
Le Crouzet : Conduite en bois.	0 ^k ,400	1 h. 30 min.	Fournier, 1901.
Busy Entonnoirs d'absorption au-dessus du captage.	0 ^k ,025	15 minutes.	Fournier, 1902.
Viéthorey : Infiltrations entre les égouts du village et la source.	0 ^k ,400	2 h. 30 min.	Fournier, 1901.
Du lac de Lamoura au Flumen (Sainte-Claude).	10 ^k ,000	9 jours.	Cadenat, 1902.
Reugney : Infiltrations entre les deux chambres de captage.	0 ^k ,100	1 heure.	Fournier, 1902.
Bourogne : Du puits à la source.	0 ^k ,500	2 heures.	Fournier, 1902.
Villers - sous - Chalamont : Pertes du captage.	0 ^k ,025	15 minutes.	Fournier, 1902.
Arc-sous-Montenot : Source de la Doye.	0 ^k ,050	45 minutes.	Fournier, 1902.
Labergement-Sainte-Marie : Des égouts à la source.	0 ^k ,400	4 heures.	Fournier, 1902.
De la source du Charmil à Chevroz.	2 ^k ,000	2 jours.	Fournier, 1902.

PARCOURS.	LONGUEUR du PARCOURS.	TEMPS EMPLOYÉ.	AUTEUR et DATE DE L'EXPÉRIENCE.
Amphion (à travers le Glaciaire).	0 ^k ,000 ^m ,80	3 heures.	Fournier, 1901.
Pretin : Perte de la source de la Vache.	0 ^k ,050	1 heure.	Fournier, 1902.
Des entonnoirs de Chancey aux résurgences de Motte-Besuche.	3 ^k ,000	2 1/2 jours.	Fournier, 1901.
Lons-le-Saulnier : Dans les alluvions autour du sondage.	0 ^k ,050	2 jours.	Fournier, 1901.
Épenoy : Pertes et résurgences dans le vallon d'Enaloz.	0 ^k ,020	15 minutes environ.	Fournier, 1901.
Roulans : De l'entonnoir au bord du bois au réservoir	0 ^k ,400	3 heures.	Fournier, 1903.
Des Longeaux : Du haut du réservoir aux fontaines (parcours dans les conduites).	1 ^k ,000	4 heures.	Fournier, 1903.
Baume-les-Dames : Petit entonnoir du chemin des Banards à la source.	0 ^k ,500	7 heures.	E. Picard, juin 1903.
De Luxuoil à Fourbanne . .	6 ^k ,000 environ.	5 jours.	E. Picard, juin 1903.
D'Autechaux à Voillans . . .	1 ^k ,000	22 1/2 heures.	—
Granges de Vaire. Pertes de la source.	0 ^k ,005	5 minutes.	Fournier, 17 novembre 1903.
	0 ^k ,020	30 minutes.	Fournier 17 novembre 1903.
Orgelet : Bassin fermé aux sources de la Thorragne (8 ^k ,000 de fluorescéine).	2 ^k ,000	2 jours (visible au fluoroscope seulement).	M.-J. Claudet, 30 octobre 1903.
Etc., etc.			

Si nous comparons ces vitesses avec celles obtenues par M. Le Couppey de la Forest (1) dans les calcaires jurassiques de l'Yonne et de la Cure, nous voyons que les vitesses obtenues sont, en général, plus grandes que celles observées par nous dans le Jura; d'après ce que nous venons de voir précédemment, il faudrait simplement en conclure que, dans la région étudiée par cet auteur, les cavités stagnantes sont moins vastes et moins nombreuses que dans les calcaires du Jura, qui sont toujours stratifiés en bancs plus épais et parcourus par d'importantes diaclases. M. Le Couppey de la Forest a d'ailleurs parfaitement reconnu, dans ses expériences, l'influence retardatrice des excavations interposées.

La vitesse moyenne de propagation doit donc varier d'une façon considérable avec la nature des terrains traversés, avec la forme, la disposition et le nombre des cavités interposées, et il faut s'associer entièrement à la conclusion de M. Van den Broeck qu' « aucune thèse appliquée à l'hydrologie des calcaires ne pourrait prétendre à devenir une vérité scientifique, base d'applications pratiques judicieuses, si elle tendait à l'unification des phénomènes et des conclusions, ou à un principe immuable d'admissibilité ou d'inadmissibilité des eaux à l'utilisation alimentaire (2). »

Dans notre note à l'Académie (6 avril 1903), pour expliquer la différence qui existait entre le régime de basses eaux et le régime des crues, pendant lequel les réseaux souterrains fonctionnent en pression, nous avons cru devoir comparer les formules de Prony et Darcy à la formule d'écoulement en conduite libre. Cette comparaison ayant donné lieu à une foule d'interprétations erronées (3), il est absolument nécessaire de revenir sur cette question.

Soit (fig. 1) un cours d'eau souterrain A B C D, sur le parcours duquel se trouve intercalé un réservoir naturel dans lequel, en temps de sécheresse, les eaux restent à peu près stagnantes; il est évident que dans la portion B C la vitesse deviendra très faible et tendra même vers zéro; par conséquent, l'eau mettra un temps très long à parcourir l'espace B C et reprendra sa course de C en D avec une vitesse initiale sensiblement nulle.

(1) *Soc. belge de Géol., de Paléontol., et d'Hydrol., Pr.-Verb.*, séance du 16 juin 1903.

(2) Congrès international d'Hygiène et de Démographie du 2 au 8 septembre 1903.

(3) Ces interprétations sont dues à ce fait que la forme condensée sous laquelle nous avons été obligés de présenter ce compte rendu ne nous avait pas permis de donner à la question le développement qu'elle comportait.

Considérons au contraire le même réseau fonctionnant, en grandes eaux, comme une conduite sous pression A' B' C' D' (fig. 2); il est bien évident que, dans le trajet B' C', l'eau continue à couler sous l'influence de la pression produite par la colonne A' B' et que, au sortir de B' C', elle aura une vitesse initiale qui est fonction de la pression h C' et qui sera par conséquent d'autant plus considérable que le point h est plus élevé. De plus, la dilatation du diamètre de la conduite dans la portion B' C', au lieu d'introduire une perte de charge plus grande, en introduit au contraire une plus faible que ne le ferait une portion de conduite de même longueur et de diamètre plus faible; c'est ce que mettent immédiatement en évidence les formules de Prony et de Darcy.

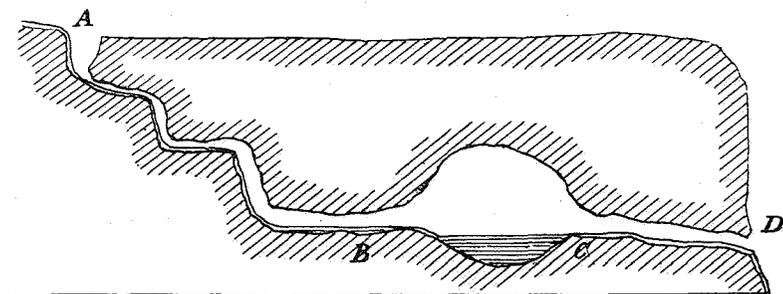


Fig. 1

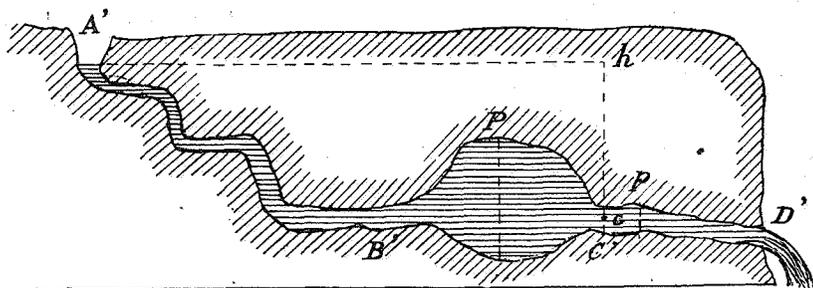


Fig. 2

Au lieu de cela, certains de nos contradicteurs ont compris que nous voulions dire que le débit qui passait en un temps t dans une section de grand diamètre P , était plus considérable que celui passant dans le même temps dans une section de plus petit diamètre p , ce qui serait évidemment absurde.

En résumé, il résulte de cette discussion qu'en ne tirant de la comparaison des formules que les déductions qu'elles comportent réellement, l'augmentation brusque et considérable de vitesse que l'on observe entre le régime d'étiage et celui des crues est dû, le plus

souvent, à la substitution du régime en conduite forcée au régime en conduite libre, et nous n'avons jamais voulu dire autre chose.

Parmi les autres particularités du régime vaclusien des calcaires jurassiques, il faut encore signaler la *multiplicité des résurgences*, la *convergence des diverses portions de bassins alimentaires vers une même résurgence*, l'*anastomose* de certaines portions des réseaux, enfin la *variabilité* possible du lieu de résurgence avec la plus ou moins grande abondance des précipitations atmosphériques.

Nous nous sommes efforcés de mettre ces points en lumière par divers exemples exposés dans des notes spéciales (1). Nous sommes heureux de constater que des recherches faites par divers hydrologues, d'une façon absolument indépendante et par des méthodes variées, sont venues confirmer nos constatations :

En étudiant les sources du Mont Chamblon à l'aide de la fluorescéine, M. Schardt a démontré que tous les *groupes de sources* de cette région étaient colorés lorsqu'on versait de la fluorescéine dans les pertes du Marais de Baulmes ; dans ces expériences de coloration, on a aussi constaté que, sur le trajet de la Feurtille au Mont Chamblon, « l'eau traverse de *vastes cavités remplies d'eau qui retardent la propagation de la coloration par le ralentissement du courant* qui s'y produit nécessairement, et surtout par la *dilution qu'elles occasionnent* (2). »

Il résulte de ces expériences que les diverses sources ne sont pas les déversoirs d'une même nappe souterraine (ce sont donc bien des résurgences multiples d'un réseau vaclusien) et que les eaux passent en siphon (*hypochète*) sous les collines de Champvent et le marais de Method. En outre, il est intéressant de noter que ces résurgences, bien qu'ayant une origine commune, ne sont pas à la même température.

Les expériences de M. Le Couppey de la Forest (3) ont confirmé aussi la multiplicité des résurgences ; elles ont montré en outre que la fluorescéine pouvait suivre deux chemins différents pour arriver à une même résurgence, ce qui est une preuve directe de l'anastomose ; enfin que les colorations réapparaissaient fréquemment après une pluie, fait déjà signalé par nous et montrant qu'il existe des cavités stagnantes interposées.

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, 1^{er} janvier 1902 ; *Spelunca*, n° 33, etc.

(2) E. VAN DEN BROECK, *Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, 1903, p. 407.

(3) LE COUPEY DE LA FOREST, *Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, 16 juin 1903.

Il faut donc conclure avec M. Van den Broeck « à l'extrême complexité et l'extrême variabilité du plexus si changeant du régime hydrologique des calcaires, qui reste constituer le principal obstacle à l'obtention de garanties suffisantes de sécurité pour l'avenir, surtout en ce qui concerne la connaissance réelle et complète du régime régional ou local, et par suite l'opportunité d'utilisations alimentaires ».

Chaque résurgence doit donc être étudiée d'une façon suivie et spéciale, et si l'on veut avoir quelques garanties sérieuses, la résurgence et son bassin d'alimentation doivent rester l'objet d'une constante surveillance topographique, médicale, chimique et bactériologique.

B. EMPLOI DE LA FLUORESCÉINE ET DE SUBSTANCES DIVERSES ; LEUR MARCHÉ DANS LES COURS D'EAU.

Après les intéressantes notes de MM. Van den Broeck, Rahir, Trillat, Martel, Dienert, Le Couppey de la Forest, etc., sur l'emploi de la fluorescéine (1) et son mode de propagation, il ne nous restera guère qu'à résumer rapidement les résultats obtenus et nous n'aurons que peu de chose à ajouter aux conclusions de ces auteurs.

M. Trillat a observé que, dans l'eau distillée, la fluorescéine donne une coloration plus intense que toutes les autres matières colorantes usitées. Dans les eaux chargées de carbonates et marquant 40° hydrotimétriques, la fluorescéine perd un peu de sa fluorescence; cette fluorescence s'atténue encore bien davantage si l'eau est trouble, même très légèrement; il faut donc filtrer pour observer la coloration (2).

Les sols calcaires décolorent toutes les solutions, sauf la fluorescéine; les sols argileux les affaiblissent toutes; les sols tourbeux les décolorent toutes, même la fluorescéine.

La présence de sels ammoniacaux (fumier) affaiblit considérablement la coloration. On peut utiliser la fuchsine acide conjointement à la fluorescéine; les autres colorants doivent, d'après M. Trillat, être rejetés.

M. Le Couppey de la Forest a insisté à juste titre sur les précautions

(1) Voir aussi CUONY, *L'emploi de la fluorescéine dans l'hydrographie*. (BULL. DE LA SOC. FRIBOURGEOISE DES SCIENCES NATURELLES; Compte rendu de 1901-1902, vol. X, pp. 34 et 36.)

(2) M. Martel a montré que la solution de fluorescéine traverse tous les filtres, même le filtre Pasteur.

à prendre pour les observations à la fluorescéine; il constate, ainsi que M. Dienert, que les eaux calcaires ont fréquemment une teinte verte que l'on pourrait confondre avec celle de la fluorescéine; cette remarque a une grande importance pour la région du Jura, où les eaux des résurgences sont le plus souvent d'un vert intense; c'est une des raisons qui nous ont poussés à augmenter la dose de fluorescéine jusqu'à pouvoir l'observer nettement à l'œil nu aux résurgences. Il signale aussi l'influence du calcaire sur les solutions colorées.

La densité de la fluorescéine dissoute dans l'eau ne peut influencer en aucune façon sur la vitesse. M. Rahir a démontré, en effet, expérimentalement, que l'eau colorée par la fluorescéine n'a pas une densité supérieure à celle de l'eau non colorée. Cette conclusion paraissait d'ailleurs facile à prévoir *a priori*, la solution de fluorescéine étant visible au 40 000 000^e. Dans une autre expérience, M. Rahir a obtenu une vitesse de propagation plus grande pour la fluorescéine que pour l'amidon et, dans une troisième expérience, il a vu la fluorescéine entraînée avec les parties les plus rapides du courant.

Une autre expérience de M. Rahir est encore plus concluante, car elle a montré que la fluorescéine, en arrivant dans un bassin où la vitesse diminue, avait une tendance à se répandre dans une zone située entre la surface et le fond, et que l'avant-garde ou tête de la fluorescéine était de plus en plus diluée vers l'aval.

Ceci nous montre immédiatement *pourquoi la fluorescéine visible à l'œil nu est toujours fortement en retard sur les molécules les plus rapides de l'eau*, alors qu'en réalité ces molécules les plus rapides ont déjà incorporé de la fluorescéine à l'état de solution, mais tellement diluée qu'elle peut même échapper à l'examen fluorescopique. Il serait donc très désirable, comme l'ont dit MM. Van den Broeck et Rahir, de trouver des dispositifs permettant de prélever les échantillons de façon à ne pas laisser échapper les filets de rapidité maximum de l'eau.

Puisque la fluorescéine se propage aussi rapidement que les plus rapides molécules d'eau, il s'ensuit que la perception de la coloration de la fluorescéine, même simplement visible à l'œil nu, devrait précéder, dans des circonstances identiques, la constatation de la présence de l'amidon et du sel marin; car, si la fluorescéine est très visible au 40 000 000^e, une solution de sel à ce titre serait impossible à déceler à l'aide du nitrate d'argent; il en serait de même de la réaction de l'iode sur l'amidon. Les différences observées paraissent donc devoir

provenir des conditions de l'expérience. Ainsi pour le sel de cuisine, par exemple, les quantités employées ont été toujours extrêmement considérables. En outre, tandis qu'on peut affirmer que la solution de fluorescéine ne change pas sensiblement la densité de l'eau, on n'en peut dire autant du sel marin.

Pour l'amidon, la substance restant au voisinage de la surface, il n'y a rien d'in vraisemblable à ce qu'il arrive plus vite que la fluorescéine visible à l'œil nu.

La question de densité paraît certainement devoir jouer un rôle important, puisque M. Dienert constate que le mélange de fluorescéine et de sel a retardé la coloration et amène la partie inférieure des cours d'eau à se colorer avec une intensité plus grande que les parties superficielles. Ce retard est-il réellement dû à la variation de la densité, ou bien faut-il admettre que l'introduction du sel ait diminué le pouvoir colorant de la fluorescéine? Il est impossible de se prononcer sur ce point, jusqu'à ce qu'on ait exécuté de nouvelles expériences. L'apparition des troubles et intumescences après les pluies devrait aussi, semble-t-il, d'après les données nouvelles, être en retard sur l'apparition de la fluorescéine. En pratique il n'en est rien, car le bassin d'alimentation d'une résurgence vauclusienne ne comprend pas seulement les entonnoirs d'absorption où l'on peut effectuer les expériences de coloration : il comporte encore des parties beaucoup plus voisines de la résurgence qui sont, elles aussi, fissurées et par lesquelles pénètrent les eaux également troublées qui vont ressortir à la résurgence, après un parcours beaucoup moins long. Ces eaux remuent sur leur passage les boues de décantation chargées de bactéries, accumulées dans les cavités stagnantes ; *c'est pourquoi les crues bactériennes commencent à se manifester à la résurgence bien avant que la fluorescéine versée dans les entonnoirs d'absorption n'y apparaisse, même visible au fluorescope.* Les crues microbiennes peuvent donc se manifester d'une manière presque foudroyante à la suite d'une pluie d'orage. Cette remarque est de nature à nous inspirer la plus grande méfiance contre les eaux vauclusiennes, dès que leur bassin est susceptible de la moindre contamination.

Enfin, dans le phénomène d'intumescence des sources après la levée des vannes, il peut se manifester, dans les vasques interposées, des mouvements ondulatoires dont la propagation rapide n'a aucun rapport avec le mouvement propre de translation de l'eau.

De toutes ces considérations diverses, il résulte :

1° *Que la fluorescéine est encore jusqu'ici la seule substance que l'on*

puisse utiliser pratiquement pour établir à grande distance l'origine des résurgences; que la fuchsine peut cependant rendre des services dans certains cas particuliers;

2° Que si l'on veut se faire une idée exacte de la propagation des parties les plus rapides, *il faut observer le début de l'apparition de la coloration à l'aide du fluorescope;*

3° Qu'il reste encore *bien des points à éclaircir* sur la répartition des réactifs employés dans les courants du sous-sol et sur l'influence que ces réactifs peuvent (ainsi que les substances contenues normalement en solution dans l'eau) exercer sur la fluorescence;

4° Que, comme l'ont fait voir MM. Martel, Schardt, Rahir, Van den Broeck, etc., nous n'avons encore qu'une *notion assez vague de ce que l'on peut appeler vitesse de l'eau* dans des cours d'eau aussi complexes que les cours d'eau souterrains dans lesquels les barrages, les cavités stagnantes, les siphons directs et inverses, les conduits tantôt en pression, tantôt libres, tout en un mot concourt à introduire des éléments perturbateurs.

Au point de vue de sa vitesse d'écoulement, chaque cours souterrain et même chaque portion de cours souterrain a son régime spécial, qui mérite d'être étudié en détail.

Malgré ces variations individuelles du régime vaclusien, il n'en est pas moins vrai qu'il ressort des études hydrologiques faites pendant ces dernières années un grand nombre de conclusions qui peuvent trouver leur application dans l'étude de tous les réseaux où les conditions sont les mêmes, mais qu'il ne faudrait pas vouloir étendre sans distinction à tous les réseaux vaclusiens.

