

Les sources issues de terrains calcaires et leurs qualités comme eau d'alimentation

Autor(en): **Schardt, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **32 (1903-1904)**

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-88509>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Séance du 29 avril 1904

LES SOURCES ISSUES DE TERRAINS CALCAIRES

ET

LEURS QUALITÉS COMME EAU D'ALIMENTATION

PAR H. SCHARDT, PROFESSEUR

Le XIII^{me} Congrès international d'hygiène et de démographie tenu à Bruxelles du 2-8 septembre 1903 avait à examiner entre autres questions celle des eaux potables, notamment des eaux issues de terrains calcaires. La question y relative était conçue comme suit :

« *Etablir, au point de vue des exigences de l'hygiène, les conditions que doivent remplir les eaux issues de terrains calcaires.* »

Dans l'idée des organisateurs de la section III du Congrès, ayant trait à la *Technologie sanitaire*, tous les pays qui sont dans la situation d'utiliser des eaux de sources collectées par des terrains calcaires auraient dû envoyer des rapports sur cette question. Cependant, huit rapports seulement lui sont parvenus. Ils sont dus aux représentants des pays suivants :

Angleterre. — M. J. ALLEN HOWE, B. Sc., conservateur du musée de géologie pratique de Londres;

M. HORACE-B. WOODWARD. F. R. S., Geolog. Survey of England.

M. PERCY F. KENDALL, F. G. S., Yorkshire Coll. et Victoria University.

France. — M. LÉON JANET, ingénieur en chef au corps des mines.

M. E.-A. MARTEL, secrétaire général de la Société de spéléologie.

Italie. — M. le Chevalier NICOLIS, à Vérone.

Belgique. — M. E.-A. VAN DEN BROECK, secrétaire général de la Société belge de géologie.

Suisse. — M. H. SCHARDT, professeur de géologie à l'Académie de Neuchâtel.

Il ne peut être question de donner ici des résumés de tous ces rapports qui ne concernent d'ailleurs qu'un nombre restreint de pays où les eaux de sources issues du terrain calcaire sont utilisées pour l'alimentation publique et ont de ce chef été l'objet d'études approfondies. L'Allemagne et l'Autriche, entre autres, qui auraient pu fournir d'importants renseignements, ne sont pas représentées. Les rapports mentionnés ont d'ailleurs des tendances fort différentes. Tandis que M. Albert Howes examine les caractères hydrologiques du calcaire carbonifère de la Grande-Bretagne, M. Woodward se tient à ceux des étages jurassiques ; M. Nicolis entre dans des détails sur la situation géologique et les caractères chimiques et bactériologiques d'une série de sources utilisées pour l'alimentation de onze villes italiennes ; M. Janet établit les conditions que doivent remplir les sources issues du calcaire, si elles doivent servir à l'alimentation comme eau potable et indique les moyens de protection à appliquer dans le champ nourricier de celles-ci.

M. Martel, le savant spéléologue, impressionné par les résultats de ses explorations souterraines qui lui ont révélé la facilité extrême de pénétration des eaux de surface dans cours sourcier, est d'un pessimisme effrayant et place en tête de son rapport les mots sinistres : « *Les eaux issues de terrains calcaires sont pour la plupart du temps dangereuses, — toujours suspectes, — on ne doit les utiliser qu'après l'étude la plus approfondie et la plus sérieuse de leur origine, de leur circulation souterraine, de leur situation géologique et topographique (qui ne présente que très rarement des éléments de sécurité suffisante) et de leur émergence; en principe, il ne faut se résoudre à leur emploi que s'il est impossible d'en utiliser d'autres, moins exposées à des causes multiples, variables, permanentes ou temporaires de contamination.* »

M. Van den Broeck, hydrologue expérimenté et érudit, auteur d'un important mémoire intitulé *Le dossier hydrologique*, n'a donné de son rapport qu'une synthèse, où il définit les conditions de formation des sources dans les calcaires et les qualités hygiéniques de leur eau, en se montrant à certains points de vue passablement pessimiste aussi ; il conclut en dernier lieu qu'en dehors de l'étude géologique et hydrologique de telles sources avant leur utilisation, une surveillance *continue* s'impose aussi longtemps qu'elles sont utilisées pour l'alimentation comme eau potable.

La discussion au cours des séances, où une vingtaine de spécialistes ont pris la parole, a apporté encore bien des lumières sur cet intéressant problème. Nous ne pouvons pas davantage en relever tous les détails. Ajoutons toutefois que la section du congrès, qui avait pour mission l'examen des eaux issues des terrains

calcaires, a généralement condamné le pessimisme de M. Martel et critiqué l'absolutisme qui réside dans le terme *résurgence* que M. Martel applique aux sources issues de terrains calcaires. Le mot *résurgence* signifie eau réapparaissant à la surface après avoir poursuivi un cours superficiel comme ruisseau¹. Appliqué extensivement à toutes les sources sortant des calcaires, ce terme signifierait donc « sources à eau peu ou pas du tout filtrée », en opposition aux sources issues des terrains filtrants, — graviers, sables, grès, etc.

J'ajoute ici la conclusion finale à laquelle s'est ralliée à l'unanimité la section du Congrès; elle donne la mesure de ce qui est à prendre en considération lorsqu'il s'agit d'utiliser une eau provenant de terrains calcaires; cette conclusion peut servir en quelque sorte de préambule au rapport qu'on va lire, car elle exprime sensiblement l'opinion que j'ai toujours professée au sujet de ces eaux :

Les alimentations au moyen d'eaux issues de terrains calcaires doivent être l'objet d'attentions particulières, en raison des imperfections possibles du filtrage dans les terrains fissurés.

Une enquête minutieuse, au double point de vue hydrogéologique et chimico-biologique, s'impose donc avant tout captage.

La distribution d'eau étant établie, des mesures de surveillance doivent être instituées et poursuivies, tant en ce qui concerne les eaux captées que leur bassin d'alimentation.

¹ Il y a réellement de telles sources, mais elles sont plutôt rares; par exemple, les fuites du lac des Brenets, lorsque le déversoir superficiel est à sec. Dans la plupart des cas, les pertes de cours d'eau superficiels se mêlent à ces cours sourciers préexistants, dont les exutoires ne sont donc que « partiellement » des résurgences.

J'ajoute que ces conclusions doivent s'appliquer tout aussi bien aux sources provenant de tous les terrains dont la perméabilité est le résultat de la simple *fissuration* (et non la porosité, seule condition filtrante), tels les poudingues, grès durs, quartzites, gneiss massifs, granits, etc., *pour autant que ces terrains sont à nu dans le champ collecteur*, c'est-à-dire non couverts de dépôts à propriété filtrante. Je reviendrai sur ce point dans ce qui suit.

Résumé du Rapport sur l'utilisation en Suisse des eaux de sources issues de terrains calcaires.

La question de l'utilisation des eaux de cette catégorie gagnera toujours en importance au fur et à mesure que s'agrandiront et se multiplieront les centres populeux qui ont besoin d'eau potable.

C'est des terrains calcaires, de ces vastes plateaux collecteurs, que s'échappent les sources les plus volumineuses, capables de desservir en eau des villes populeuses. Nul autre terrain, en effet, ne saurait remplir d'une manière aussi complète et étendue le rôle d'un drain absorbant, et concentrer au-dessus de son soubassement marneux ou schisteux imperméable, les eaux d'infiltration venant de la surface. Les massifs calcaires formant les plateaux et chaînes du Jura et des Alpes calcaires, qu'ils soient d'âge jurassique, crétacique ou tertiaire, sont invariablement bordés de sources plus ou moins volumineuses. Les zones calcaires et dolomitiques intercalées sous forme de bandes étroites au milieu des schistes cristallins et du gneiss des Alpes centrales, donnent également nais-

sance à de nombreuses sources, qui, cependant, au lieu de former de puissants émissaires, s'échelonnent plutôt en forme de chapelets le long des pentes, en suivant l'affleurement de la zone calcaire. La traversée d'une vallée sur la trace d'une telle bande calcaire est le point d'émergence prépondérant des eaux.

On peut presque dire que *les sources les plus nombreuses des régions montagneuses sont collectées dans des terrains calcaires.*

Dans les montagnes, où le calcaire joue un rôle secondaire, intercalé qu'il est seulement dans d'autres roches, il acquiert, grâce à sa facile corrosion, qui contribue à agrandir de plus en plus les voies souterraines, une importance prépondérante comme *conducteur des eaux collectées, non seulement par lui-même, mais aussi par les terrains qu'il supporte et avec lesquels il est replié.* Son rôle est dans ce cas absolument celui d'un *drain* et on voit alors des lits calcaires offrant à la surface un développement insignifiant, ou du moins relativement réduit, donner issue à des sources extrêmement volumineuses (Simplon).

Nous pouvons maintenant aborder les questions spéciales servant de programme au rapport demandé, en nous tenant naturellement aux conditions que présentent les diverses régions de la Suisse relativement à ces questions.

I. Quel est le mécanisme de formation des sources sortant des roches calcaires?

Suivant la situation géologique et géographique des terrains calcaires et leurs relations avec des couches superposées, on peut distinguer diverses catégories de sources émergeant de ces terrains.

PREMIER CAS. — *La masse de terrain tout entière, depuis la surface absorbante jusqu'à la source, est exclusivement calcaire, ou entrecoupée seulement de couches marno-calcaires peu importantes.* C'est le cas du massif Portlandien-Séquanien dans le Jura suisse, de même que du Jurassique, du Nummulitique-Urgonien et des dolomites triasiques dans les Alpes calcaires.

Les lithoclastes, fissures invisibles, qui entrecoupent les calcaires de tout âge, sont rapidement élargies par la corrosion causée par les eaux d'infiltration, qui, au début, ne font que pénétrer dans ces joints, pour revenir à la surface à proximité. Mais peu à peu, ces eaux, qui entraînent en moyenne 0,25 gramme de carbonate de chaux par litre, s'enfoncent plus profondément. A la première phase d'érosion, simplement superficielle, succède une *corrosion profonde* et, dans le cours des siècles, l'eau se crée des passages variés se bifurquant, s'anastomosant, descendant ou montant, et dont l'un ou l'autre rencontre des voies de retour à la surface. Je ne connais aucune partie de notre Jura ou d'une région des Alpes calcaires qui ne soit pas, de haut en bas, *entièrement minée par l'action des eaux*, si bien que toutes les eaux météoriques, celle qui s'évapore exceptée, parviennent souterrainement à des sources qui se trouvent ordinairement au bas des coteaux, au contact d'une assise marneuse ou sur l'emplacement d'une faille, soit d'une diaclase maîtresse.

Cette situation paraît évidemment des plus dangereuses si l'eau de telles sources devait être utilisée comme eau potable.

Tant que cette superficie que nous supposons dénudée, c'est-à-dire privée de végétation, est inhabitée,

les sources ne présenteront que l'inconvénient *d'une extrême variabilité* de volume, due à la rapidité du parcours des eaux à travers les fissures du calcaire élargies par la corrosion.

Mais si une telle surface absorbante est peuplée, si le produit des égouts, les eaux usées ou salies par des amas d'immondices s'y répandent, les sources qu'elle alimente *seront nécessairement contaminées* et ne pourront en aucun cas servir pour l'alimentation.

Les eaux superficielles, les ruisseaux, voire même des rivières de fort volume provenant des régions voisines, lorsqu'elles atteignent une telle surface à grande perméabilité, s'y perdent en totalité ou partiellement, ajoutant leur débit aux eaux météoriques propres des sources. C'est pour ce motif qu'on a proposé récemment dans la nomenclature technique le terme de *résurgence* pour ces sources de grand volume à débit très variable, désignées jusqu'ici sous le nom de *sources vaclusiennes* (sources jurassiennes, Jaccard). Mais ce néologisme n'est qu'en partie justifié, car l'eau ayant cheminé superficiellement, avant de s'engouffrer dans les cours souterrains du bassin sourcier, *n'est qu'une partie, souvent fort petite, du débit total de celui-ci.*

DEUXIÈME CAS. — *La surface collectrice du rocher calcaire est couverte d'une nappe ininterrompue ou du moins presque continue de végétation, soit herbacée, soit forestière, supportant une couche de terre végétale d'une certaine épaisseur, capable d'emmagasiner une grande partie de l'eau météorique et de la débiter graduellement ensuite. Le reste du parcours souterrain se fait comme précédemment. Le débit des sources formés dans ces circonstances sera bien plus régulier, les crues*

sont moins rapides, la température sera plus constante.

La situation peut naturellement être influencée comme précédemment par la présence d'agglomérations habitées, par des emposieux dans lesquels s'engouffrent des eaux superficielles; *mais on doit envisager l'existence de la terre arable comme une circonstance favorable à la régularisation du débit et même comme capable de produire un effet filtrant*, sauf les cas où agissent les influences que je viens de citer.

Dans cette catégorie rentrent de nombreuses sources utilisées depuis fort longtemps comme eau potable. On pourrait citer d'innombrables exemples qui n'ont jamais donné lieu à aucun inconvénient.

TROISIÈME CAS. — *La surface du massif calcaire conducteur de l'eau est couvert d'un véritable sédiment filtrant.* Ce peut être un dépôt argilo-sableux et graveleux morainique ou fluvio-glaciaire, des éboulis bien tassés et entremêlés de matières argilo-sableuses, un placage de grès tertiaire, etc. Alors le calcaire ne fonctionne plus, en somme, comme terrain collecteur; *il n'est plus que le conducteur de l'eau d'infiltration, au sein duquel s'opère la concentration des eaux et leur amenée à l'émissaire.* De telles sources présenteront un débit très régulier, une température presque invariable et une pureté parfaite.

Mais les dangers cités précédemment existent ou peuvent exister dans ce cas. Si la couverture filtrante purifie l'eau d'infiltration normale, le calcaire, s'il n'est pas entièrement couvert par le dépôt filtrant, peut entrer en contact avec un cours d'eau superficiel, ce qui peut amener une modification complète de la situation. Dans la plupart des cas, l'extension horizon-

tale du calcaire est plus grande que celle de sa couverture filtrante, et le danger signalé peut donc se rencontrer souvent.

QUATRIÈME CAS. — *Le calcaire, tout en affleurant superficiellement, s'enfonce sous forme d'une simple lame peu épaisse à l'intérieur d'un massif montagneux formé de terrains médiocrement perméables, donc filtrants. Il y forme comme un plan de drainage, dans lequel les eaux trouvent une voie d'écoulement plus facile. Tout en contribuant, pour la partie de la surface formant affleurement, à l'absorption des eaux météoriques, il reçoit bien plus d'eaux venant des terrains voisins par la concentration qui a lieu dans ses fissures. Les sources provenant de telles couches calcaires sont généralement fort pures, sauf le cas où le calcaire conducteur reçoit dans la traversée d'une vallée, par exemple, ou sur un point quelconque de son affleurement, une forte infiltration d'eau superficielle provenant soit d'un ruisseau, soit d'un torrent permanent ou temporaire. Cela reproduirait l'influence que subissent les eaux collectées selon le mode décrit dans le premier cas et dans tous les autres par l'intervention d'une résurgence, s'ajoutant à l'eau de source normale.*

CINQUIÈME CAS. — *Dans le Jura comme dans les Alpes calcaires, nombre de sources issues du calcaire subissent, après leur émergence du calcaire, une filtration subséquente, en passant à travers des terrains quaternaires déposés sur leur orifice primaire. Ce sont des sources régénérées, qui apparaissent ordinairement sur le flanc des vallées, au pied des dépôts d'éboulis ou morainiques recouvrant ceux-ci, ou bien encore qui s'échappent des remplissages morainiques ou fluvio-glaciaires*

des tronçons préglaciaires des vallées, lorsque, pendant le creusement nouveau de celles-ci dans le remplissage morainique, *le torrent n'a pas retrouvé le sillon primitif* et a creusé un nouveau lit à côté de l'ancien. Dans les grandes vallées comblées d'alluvion, nombre de sources sortant du calcaire se mêlent d'une façon analogue à l'eau phréatique circulant dans le remplissage quaternaire; d'autres jaillissent en poussant de bas en haut au milieu des alluvions situées à proximité ou à plus ou moins grande distance de la paroi rocheuse (*bugnons* ou *tannes* dans le canton de Neuchâtel).

Il est évident que, quel que soit le mode de formation de ces sources dans leur collecteur et conducteur primitif, suivant l'un des quatre cas précités, *le fait de leur traversée par un gisement de terrain filtrant peut, dans certains cas, en modifier complètement la qualité au point de vue hygiénique*, en assurant à ces eaux une pureté qu'elles n'avaient peut-être pas auparavant.

SIXIÈME CAS. — *Gisements calcaires filtrants.* En dehors des cas qui précèdent, où la roche conductrice est supposée être du calcaire sensiblement pur, présentant la perméabilité en grand, donc parcouru de fissures béantes, souvent même accessibles (cavernes), il y a des formations calcaires auxquelles on peut attribuer des *qualités filtrantes*. Ce sont les roches en bancs minces, marno-calcaires, soit aussi les alternances de calcaires argileux ou de calcaire siliceux avec des schistes calcaires (Néocomien alpin, Dogger et Lias alpins, grès plaquetés du Flysch, etc.). Les fines craquelures qui préexistent dans ces roches aussi bien que dans les calcaires massifs, ont moins de tendance à s'ouvrir sous l'action de la corrosion que

dans les calcaires purs. De plus, les substances insolubles, argile, silice, etc., contenues dans ces terrains, forment bientôt dans les lithoclastes élargies un remplissage poreux pouvant fonctionner comme filtre. Ces terrains ne sont cependant pas susceptibles d'alimenter des sources très volumineuses, en raison même de la difficulté de la circulation et de la concentration des eaux, par suite de la perméabilité médiocre du milieu collecteur. De plus, ces formations étant, en général, subordonnées aux grands massifs calcaires, ou intercalées dans leur milieu, leur rôle n'est que rarement bien indépendant.

II. Ce mécanisme est-il d'une nature telle qu'il puisse assurer en tout temps une épuration parfaite ou peut-il être mis en échec?

Il ressort de ce qui précède que, dans tous les cas, la pureté des eaux d'infiltration collectées par des calcaires est exclusivement dépendante de la *nature de la surface collectrice, le calcaire lui-même étant absolument incapable de produire un effet filtrant*; il fonctionne comme conducteur et collecteur, mais non comme épurateur. *Telle l'eau pénètre à sa surface, telle elle ressort à sa source!*

Si la surface collectrice est dénudée et inhabitée, l'eau ne subira guère d'influence nuisible, sauf qu'elle sera très variable en volume et en température. Une couche végétale continue, surtout forestière, fonctionne comme filtre et régulateur suffisant, *même si elle est parsemée d'habitations, pourvu que celles-ci ne soient pas trop serrées* (deuxième cas). Dans tous les cas, du premier au quatrième, *l'intervention d'eaux superficielles*

par pénétration en grand, modifie entièrement la situation en ramenant les sources des massifs calcaires partiellement à l'état de résurgences. Dans le cinquième cas, la filtration de l'eau s'opère après la sortie du calcaire. Le sixième cas seul donne l'exemple exceptionnel et rare de la filtration par le calcaire même. *Donc, dans un grand nombre, pour ne pas dire dans la plupart des cas, la contamination des eaux issues des calcaires est possible.* Il s'agit par conséquent de reconnaître la nature du champ absorbant des eaux météoriques. Si celles-ci ne subissent aucune influence pouvant les contaminer, le cours sourcier se trouvera dans les conditions d'une citerne bien établie et placée à l'abri des influences de l'égout voisin.

III. Certaines dispositions des massifs calcaires, ou bien certains types de calcaires, sont-ils plus aptes que d'autres à fournir de bonnes eaux ? Ou bien, tous les calcaires, quelle que soit leur disposition géologique et à quelque type qu'ils appartiennent, sont-ils par essence dangereux, considérés comme lieu de provenance d'eau destinée à l'alimentation ?

La disposition des bancs n'a aucune influence sur le parcours des eaux au point de vue de leur épuration. Tous les calcaires, en tant qu'il s'agit de calcaires purs, sont également de mauvais filtrants. La qualité des eaux ne sera pas modifiée par le trajet à travers des kilomètres de calcaire. Une surface collectrice salubre et saine fournira de l'eau bonne ; au cas contraire, elle sera mauvaise, sauf dans le cinquième et dans le sixième cas, qui sont plutôt exceptionnels.

IV. Y a-t-il lieu de faire, en matière d'utilisation hydrologique, certaines distinctions entre les calcaires anciens rocheux et les calcaires tendres crayeux, et lesquelles?

Non. Les phénomènes de corrosion et la circulation souterraine de l'eau qui s'ensuit se fait dans les calcaires jurassiques et crétaciques absolument de la même manière que dans les calcaires crayeux tertiaires, tels qu'on en trouve par exemple dans les terrains du Miocène supérieur du Jura (œningien du vallon du Locle). Les fissures élargies par corrosion, les entonnoirs à la surface, se présentent, dans les deux cas, de la même manière. L'infection d'une eau de source peut donc, dans les deux cas, se faire tout aussi facilement.

V. Est-il parfois des sources sortant des calcaires que l'on puisse conseiller ou tout au moins autoriser, sans trop de restriction, pour l'alimentation?

Certainement, et il y en a beaucoup, à la condition que leur champ collecteur soit situé en dehors des régions à population dense et ne présente pas d'infiltration d'eaux superficielles provenant de marais ou de conduits d'égouts.

Dans un pays à population très dense, il ne doit pas y avoir beaucoup de sources sortant du calcaire qui puissent être utilisées; là, leur nombre est fort restreint, et d'ailleurs l'influence de la densité de la population, comme aussi du système des égouts, se fait sentir sur toutes les eaux souterraines, qu'il s'agisse d'eaux sortant des grès, des moraines, ou des eaux des nappes phréatiques. Je puis

cependant exprimer une opinion moins pessimiste en ce qui concerne la Suisse. Un bon tiers de ce pays (Alpes) est inhabitable ou du moins à population fort clairsemée, et, de ce tiers, une moitié encore est formée de terrains calcaires. *Ce sont là les vrais réservoirs d'eau d'alimentation*, dont on ne peut, certes, pas dire qu'ils sont toujours suspects. Leur champ collecteur inhabité, soit aride, soit couvert de végétation, n'offre, dans un grand nombre de cas, aucune chance de pollution, ni par des égouts, ni par des eaux torrentielles ou des marécages. Les eaux des sources qui s'en échappent sont limpides et ne se troublent qu'exceptionnellement, bien que leur débit soit souvent fort variable, comme celles des sources vaclusiennes. Il faut excepter, toutefois, les sources dont la connexion avec des eaux superficielles infectes est démontrée. *Il est néanmoins évident que l'infiltration directe d'eaux de fusion de glaciers ou de névés ne peut être qualifiée de nuisible.*

Sous ce rapport, la différence entre le Jura et les Alpes calcaires est frappante. Le plus grand nombre des grandes sources du Jura sont en partie des résurgences, manifestement en relation avec des eaux superficielles contaminables. Telles la Noiraigue, la Serrière, l'Areuse, la Loue, la source Bleue, le Lison, l'Orbe et les innombrables sources tant permanentes que temporaires jaillissant sur le flanc du Jura suisse. De plus, dans le Jura, les hauts plateaux et vallons sont assez fortement peuplés; les eaux d'égouts et les eaux ménagères et industrielles se déversent dans des emposieux et par là dans l'une ou l'autre des sources vaclusiennes. On a toutes raisons de suspecter des sources émergeant dans de telles conditions de ter-

rains calcaires. Toutes ne sont cependant pas dans ce cas. Les gorges de l'Areuse, vallée transversale coupant profondément la première chaîne du Jura, fournit d'importantes sources alimentant Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds en eau potable excellente, grâce à la circonstance que les sources qui y jaillissent correspondent aux cas 1, 2 et 3, sans possibilité d'intervention de cours d'eau superficiels. Il a toutefois été constaté que, pour quelques-unes, la quantité des bactéries varie avec l'abondance de l'eau. Je ne connais dans les Alpes que peu de sources qui pourraient être suspectées, même dans des régions moyennes et inférieures à population humaine et animale assez dense. Cela tient surtout à l'abondante couche végétale dans les régions inférieures; puis, pour le plus grand nombre, à l'absence de population dans les hautes régions, en partie même couvertes de glaciers et de neiges permanentes qui ne sont pas les moindres réserves d'eau pour autant que le produit de leur fusion s'infiltré directement dans le rocher. Certaines sources jaillissant dans ces conditions sont d'une extrême pureté, presque privée de bactéries. Fribourg, Berne, Zurich et Lausanne s'alimentent en eau sortant pour la plus grande partie des massifs calcaires alpins. D'innombrables autres localités suisses, tant dans les Alpes que dans le Jura, sont alimentées par des eaux issues du calcaire. On n'a eu connaissance jusqu'ici que de fort peu de plaintes à l'égard de ces eaux.

VI. Que doivent être les zones de protection des sources issues des calcaires? Comment peut-on les déterminer? En quoi ces zones se différencient-elles des zones de protection des sources sortant d'autres terrains meubles ou rocheux?

Pour l'instant, la région du Jura exceptée, les conditions hydrologiques des sources sortant des terrains calcaires ne sont pas trop défavorables au point de vue hygiénique pour les motifs que je viens d'exposer. Mais il est bien possible, cela paraît même être une fatalité, qu'avec l'augmentation de la population, la construction de vastes hôtelleries dans les régions élevées, ces conditions se modifient par la suite. N'a-t-on pas vu, il y a peu d'années, la source d'un village être infectée par les infiltrations provenant d'un hôtel de montagne, qui déversait ses eaux d'égout sur le coteau calcaire réceptacle de l'eau de la source? Nous n'avons pas encore de loi spéciale prescrivant des zones de protection autour des sources utilisées pour l'alimentation publique. *Le moment viendra, sans doute, où la nécessité d'une pareille législation sera reconnue dans l'intérêt de l'avenir.* Ces zones de protection devraient comprendre toute l'étendue de la surface collectrice sujette à l'absorption en grand. Il ne peut s'agir évidemment d'y interdire l'édification de bâtiments industriels, ruraux, ou d'habitation. Mais on prescrira de construire avec des précautions spéciales, en rendant absolument impossible l'infiltration des produits des égouts et des eaux ménagères et industrielles, par l'adoption d'un système de canalisation étanche.

VII. A-t-on beaucoup d'exemples de villes alimentées en eau de sources issues de calcaires qui ont eu à s'en repentir ?

Pour les motifs exposés ci-dessus, les cas d'infection et d'épidémie résultant d'alimentation au moyen d'eau provenant de terrains calcaires sont heureusement assez rares en Suisse. Les épidémies de typhus ont été produites le plus souvent par l'introduction d'eaux d'égouts dans des conduites d'eau potable mal établies, ou bien encore par l'alimentation au moyen d'eau de lac ou de rivière mal ou pas du tout filtrée. Les infections de sources sont plutôt rares, soit parce que les conditions sont encore assez favorables sous ce rapport, soit parce qu'on a su exclure les sources mal réputées, connues comme étant partiellement des résurgences d'eaux superficielles.

VIII. Comment a-t-on remédié au mal ? Et la sécurité d'avenir peut-elle être considérée comme assurée ?

Dans les cas de sources contaminées, on a rejeté celles-ci définitivement. L'établissement d'égouts absolument étanches peut rendre, après un certain temps, la pureté primitive à des eaux de sources momentanément contaminées.

Plusieurs villes suisses sont alimentées avec de l'eau puisée dans des lacs. Ainsi, Genève se sert d'eau du lac Léman *non filtrée* ; mais c'est de l'eau superficielle puisée à proximité de l'émissaire de ce grand bassin limnal. La ville de Zurich utilise de l'eau du lac du même nom en la filtrant ; mais on dépense actuellement de grosses sommes d'argent pour l'ad-

duction d'eau de sources, sortant des montagnes en partie calcaires des Alpes. La ville de Saint-Gall a de même une distribution d'eau mixte; les eaux proviennent en partie de sources de montagnes calcaires, en partie du lac de Constance; ces dernières sont filtrées.

La filtration artificielle donne de bons résultats, lorsqu'il s'agit de quantités relativement faibles; mais dès qu'il faut traiter de grands volumes d'eau, cette opération devient très onéreuse, et lorsque les appareils sont un peu trop mis à contribution, leur efficacité devient douteuse. Si les sources sortant de montagnes calcaires peuvent, par suite de la surpopulation, subir des influences nuisibles, *il en est bien plus encore ainsi pour les lacs des régions basses, dont l'eau devient de plus en plus infectée, tant par les égouts et les immondices que par les eaux industrielles, si bien que, quoique filtrée, elle conserve un goût détestable, sans compter que l'effet de la filtration vaut juste ce que vaut l'état du filtre et que cette opération est donc toujours sujette à caution.*

IX. Dans quelles conditions peut-on, sans trop d'appréhensions, alimenter les villes en eau sortant des calcaires?

Il est évident que toutes les sources qui sont en partie des résurgences, et celles qui sont issues de terrains calcaires à surface collectrice fortement peuplée, occupée par des cimetières ou des industries produisant des eaux infectes, *doivent être déclarées suspectes et n'être utilisées qu'en les contrôlant en permanence au point de vue de leur teneur en ammoniaque, acide azoteux, et surtout au point de vue bactériologique.*

Mais il est juste de constater qu'il n'y a pas seulement les eaux de sources sortant des calcaires qui sont sujettes à s'infecter. Les nappes phréatiques, dont on dit tant de bien, à cause de l'effet filtrant attribué aux graviers et sables, sont tout à fait dans le même cas à proximité de centres populeux, ou à l'intérieur de ceux-ci.

Dans notre pays, le nombre des sources issues de terrains calcaires et qui servent à l'alimentation est extrêmement grand, d'autant plus que nous devons classer dans cette catégorie non seulement les eaux collectées par des *calcaires proprement dits*, mais aussi celles sortant des *bancs de grès de la mollasse miocène, des poudingues tant tertiaires que quaternaires*, qui forment la superficie d'une grande partie du plateau suisse et dont l'effet n'est pas plus filtrant; donc, la plupart de nos sources de la région montagneuse et du plateau rentrent dans cette catégorie.

La situation est, dans la plupart des cas, extrêmement favorable, pour le présent du moins. *La rareté des cas de contamination est due au fait que les surfaces absorbantes des eaux sont généralement fort peu peuplées, sinon inhabitées, et, au surplus, couvertes de végétation, surtout arborescente*; puis par la filtration à travers l'épais manteau d'humus composé d'aiguilles résineuses à décomposition fort lente.

Malgré la situation très favorable dans laquelle nous nous trouvons, il faut envisager l'avenir et prendre toutes les précautions possibles. Si aujourd'hui un certain nombre de sources du Jura, et si la plupart des sources des Alpes calcaires et du plateau tertiaire (sources issues des grès et poudingues) répondent au qualificatif d'*eau salubre*, c'est parce que leur surface collectrice

se trouve dans de bonnes conditions. Dans les régions inférieures, les dépôts morainiques et fluvio-glaciaires constituent même une excellente surface filtrante.

Mais il n'en sera peut-être pas toujours ainsi. Nous ne sommes pas maître du champ collecteur. Le possesseur ou l'usufruitier de la source n'a pas toujours le droit de disposer du champ collecteur, lors même qu'il est appelé souvent à payer fort cher l'eau dont il a besoin.

Il importe que le législateur prescrive cette servitude, en vertu même du fait que *la nature des eaux des sources dépend directement de l'état dans lequel se trouve le champ nourricier de celles-ci*. Cette zone doit être protégée, afin de mettre l'eau à l'abri des contaminations, soit volontaires, soit involontaires; *c'est là une exigence élémentaire et impérieuse de la salubrité et de l'hygiène publiques*.

C'est en vue de l'amélioration des eaux, qu'au cours de mes études pour le captage de sources destinées à l'alimentation de localités tant du Jura que des Alpes, je recommande toujours de planter en forêt la surface collectrice, pour autant qu'elle dépend du domaine public ou communal, et de s'entendre au besoin avec les propriétaires particuliers du sol pour faire cette opération. Sa réalisation est généralement d'autant plus facile que le gouvernement suisse, ému à bon droit des ravages du déboisement des forêts, subventionne tous les travaux tendant à augmenter le domaine forestier. C'est faire double bénéfice en protégeant la forêt et en augmentant sa surface, car, du même coup, on augmente la richesse nationale et on préserve les sources, dont la conservation est une des conditions du bien-être physique du peuple.

Mais là n'est pas la seule garantie à viser. L'augmentation de la population et surtout l'exploitation des sites alpestres et jurassiens par l'industrie hôtelière devient un vrai danger pour les sources. Pour ces grands caravansérails, on ne se donne généralement pas la peine de conduire les eaux d'égout en lieu sûr; c'est l'emposieu le plus rapproché qui en devient le réceptacle, si même on ne se contente pas d'un puits perdu artificiel. *Il y a donc urgence de voir de quelle manière on peut garantir la pureté des eaux des sources, qui est un des facteurs essentiels de la salubrité publique.* Le programme à réaliser à cet effet devra consister dans la protection des surfaces collectrices des sources, par le reboisement, par l'interdiction de déverser des eaux infectes dans les emposieux ou dans des puits perdus, par l'obligation de munir les constructions d'égouts absolument étanches jusqu'au plus prochain cours d'eau superficiel. Enfin, le détournement artificiel des pertes de ruisseaux superficiels, la fermeture des emposieux et leur aveuglement artificiel au moyen d'une bonne couche de terre et de sable, sont des moyens accessoires à mettre en pratique pour améliorer une situation déjà compromise. La base de ces travaux et de ces prescriptions devra être une étude hydrologique et géologique de chaque source ou groupe de sources utilisées pour l'alimentation, ou dont on tend de faire usage dans ce but. Le résultat sera un puissant appoint pour la réalisation du projet qui a pour but de fixer les conditions hygiéniques et sanitaires du bien-être physique des habitants d'une région, des agglomérations populaires surtout!