

Communication.

Les eaux d'alimentation de Toulon et le barrage-réservoir de Dardenne,

par MM. le D^r E. MOSNY et E.-A. MARTEL.

I. — LES EAUX DU RAGAS.

La population toulonnaise reçoit ses eaux potables de diverses provenances; elle n'en reçoit qu'une quantité insuffisante de bonne qualité¹.

Parmi les eaux alimentant Toulon se trouvent celles de la source *Saint-Antoine*, depuis longtemps reconnues contaminées, et celles dites du *Ragas* considérées comme les meilleures.

Cette eau du Ragas est captée par un souterrain de 900 mètres de long, débouchant en aval dans la vallée de Dardennes² où il se prolonge par une conduite en béton, puis en fonte. Vers le milieu du trajet du souterrain, existe un couloir qui, débouchant à l'air libre, à la cote 101, dans la vallée qui doit être barragée, y donnait accès et en permettait la surveillance. Ce couloir doit être obturé avant l'achèvement du barrage et la retenue des eaux qui en submergeront l'entrée. En amont, ce tunnel pénètre dans des calcaires fissurés et caverneux contenant des réserves d'eau considérables. Le débit de ce souterrain, qui recueille des eaux d'origine dite vaclusienne, est extrêmement variable. En grandes eaux, il est supérieur à 10 mètres cubes par seconde; à l'étiage, il se maintient en général à 160 litres par seconde.

Ce débit est insuffisant pour les besoins des populations de Toulon et de la Seyne, puisqu'il ne donne que 14.000 mètres cubes par jour, soit un peu plus de 100 litres par habitant et par jour.

L'origine des eaux du Ragas est résumée dans deux très

1. Du moins jusqu'à l'été de 1912, époque à laquelle commença le fonctionnement du nouveau dispositif qui va être décrit.

2. On écrit indifféremment aussi *Dardenne*.

intéressants rapports géologiques de M. Vasseur, professeur à la Faculté des Sciences de Marseille.

Les eaux de pluie, nous apprend M. Vasseur, tombant sur tout le plateau qui domine la vallée de Dardennes, s'infiltrent dans les fissures du calcaire urgonien, y cheminent, et sont

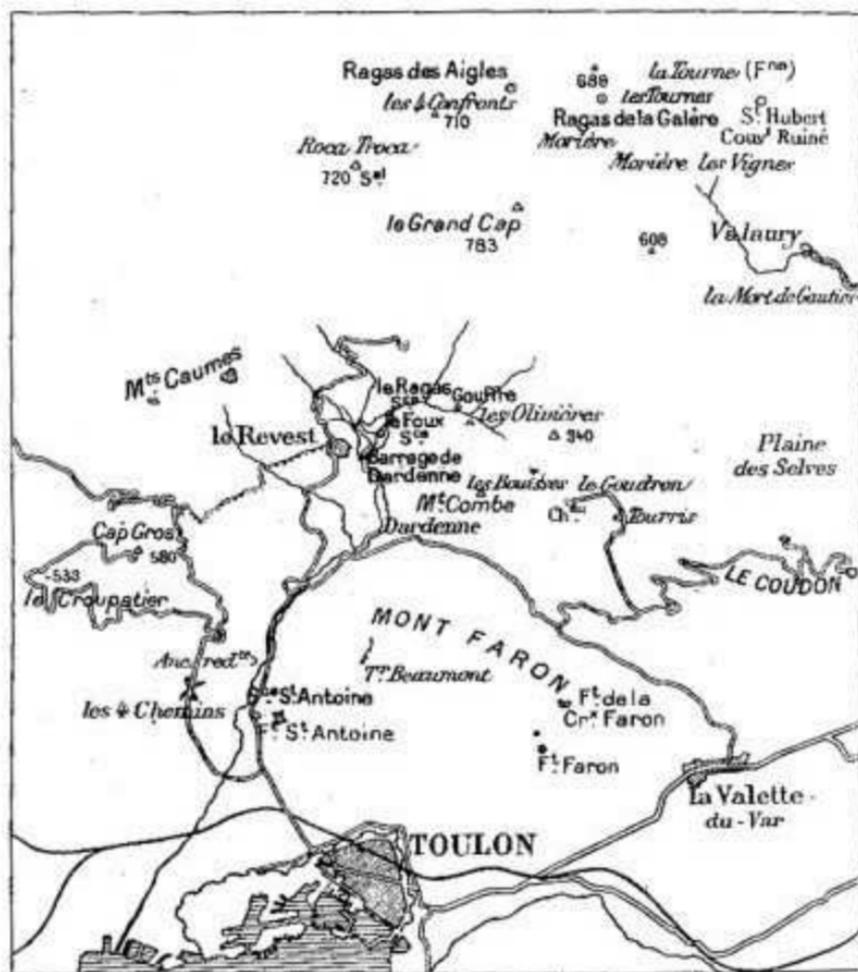


FIG. 1. — Situation des captages d'eau de Toulon.

arrêtées, en profondeur, par les calcaires marneux et néocomiens. Elles y sont emmagasinées et en ressortent par des exutoires échelonnés tout le long de la vallée de Dardennes. Les émissions se produisent, naturellement, au fur et à mesure

de l'élévation du niveau de la nappe souterraine, par des exutoires de plus en plus élevés; les eaux de tous ces exutoires ont donc bien toutes une même origine. C'est ainsi qu'on voit les émissions se produire successivement, à mesure que l'eau s'élève, par les exutoires de la Foux (cote 102,40), du Figuier (106,70), du Rabas (109,50), du Rerabas (110,30), du Vallat des Roux (121), du Pin (133,40). En temps de grosses pluies, le niveau piézométrique s'élève jusqu'au-dessus de l'orifice du grand Ragas (143,30) (fig. 1).

C'est précisément pour avoir de l'eau en toutes saisons, que le tunnel de 900 mètres de long, dont nous avons parlé tout à l'heure, va puiser l'eau du Ragas à sa base, à la cote 91,90.

Les eaux émises par ces exutoires, sauf naturellement celles que recueille le captage du Ragas, se rendent à la mer par la rivière de Dardennes; elles sont, par conséquent, perdues pour l'alimentation.

Pendant la saison sèche, le niveau de la réserve souterraine, que nous avons vu s'élever pendant la saison des pluies, s'abaisse, et les exutoires tarissent successivement dans l'ordre inverse où se fait l'émission des eaux: les plus élevés s'arrêtent les premiers, le plus bas de ceux que nous avons mentionnés, celui de la Foux, donne encore de l'eau jusqu'aux environs du mois de juillet.

II. — CAPTAGE, PAR SERREMENT, DE RÉSERVES D'EAUX SOUTERRAINES DE NATURE VAUCLUSIENNE.

LE BASSIN BARRAGÉ DE DARDENNES.

1^o *Premier projet.* — C'est pour parer aux graves inconvénients qui résultent, pour l'alimentation toulonnaise, des écarts considérables existant entre le débit de ces exutoires en hiver et leur débit estival, que M. Bernier, chef d'exploitation à Toulon de la Compagnie générale des eaux, projeta très ingénieusement d'emmagasiner, l'hiver, pour les distribuer l'été, à la population toulonnaise, les eaux surabondantes issues des exutoires de la Vallée de Dardennes.

Il imagina, à cet effet, de les retenir dans un réservoir d'un

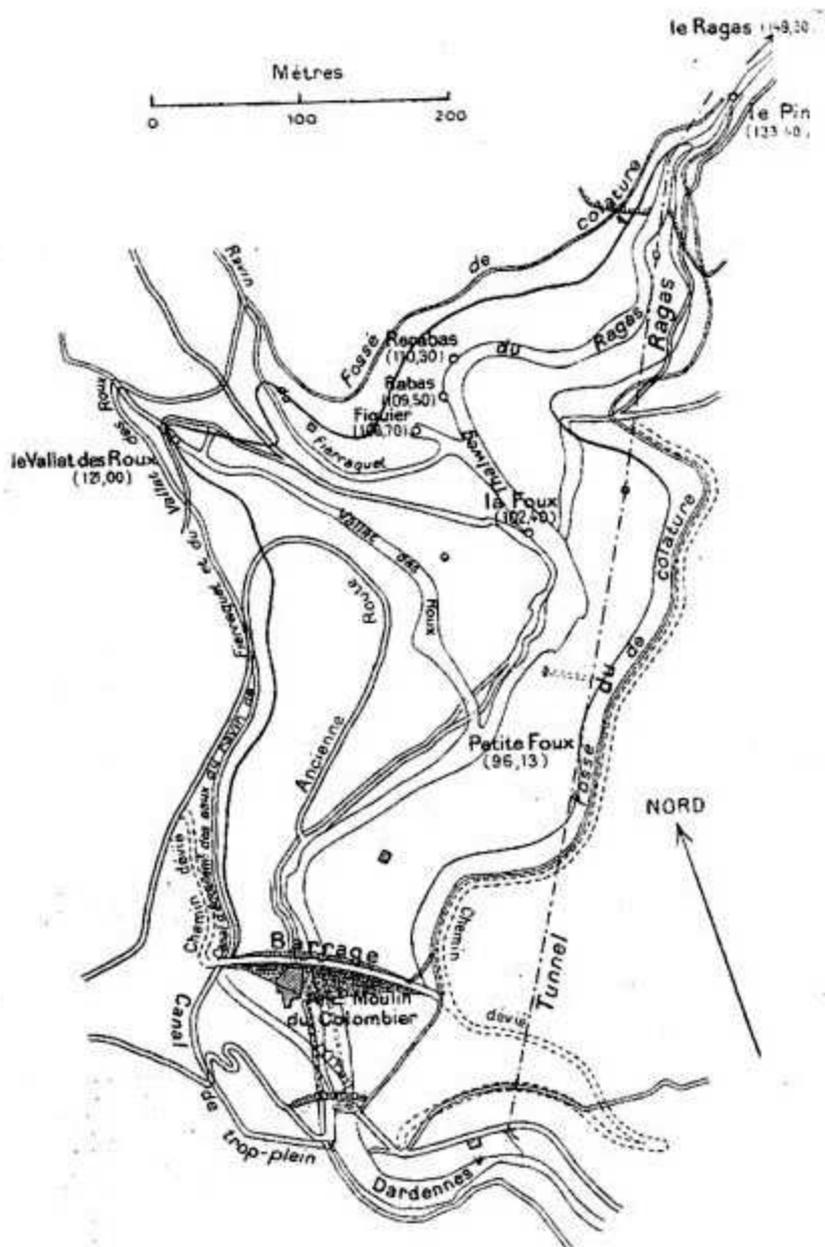


FIG. 2. — Plan du barrage-réservoir de la Foux et des exutoires en dessous du Ragas (d'après les relevés de la Compagnie générale des Eaux).

toires de la Foux (102,10) et même de la petite Foux (96,13.) Son sommet irait à la cote 126. Le plus haut niveau de l'eau

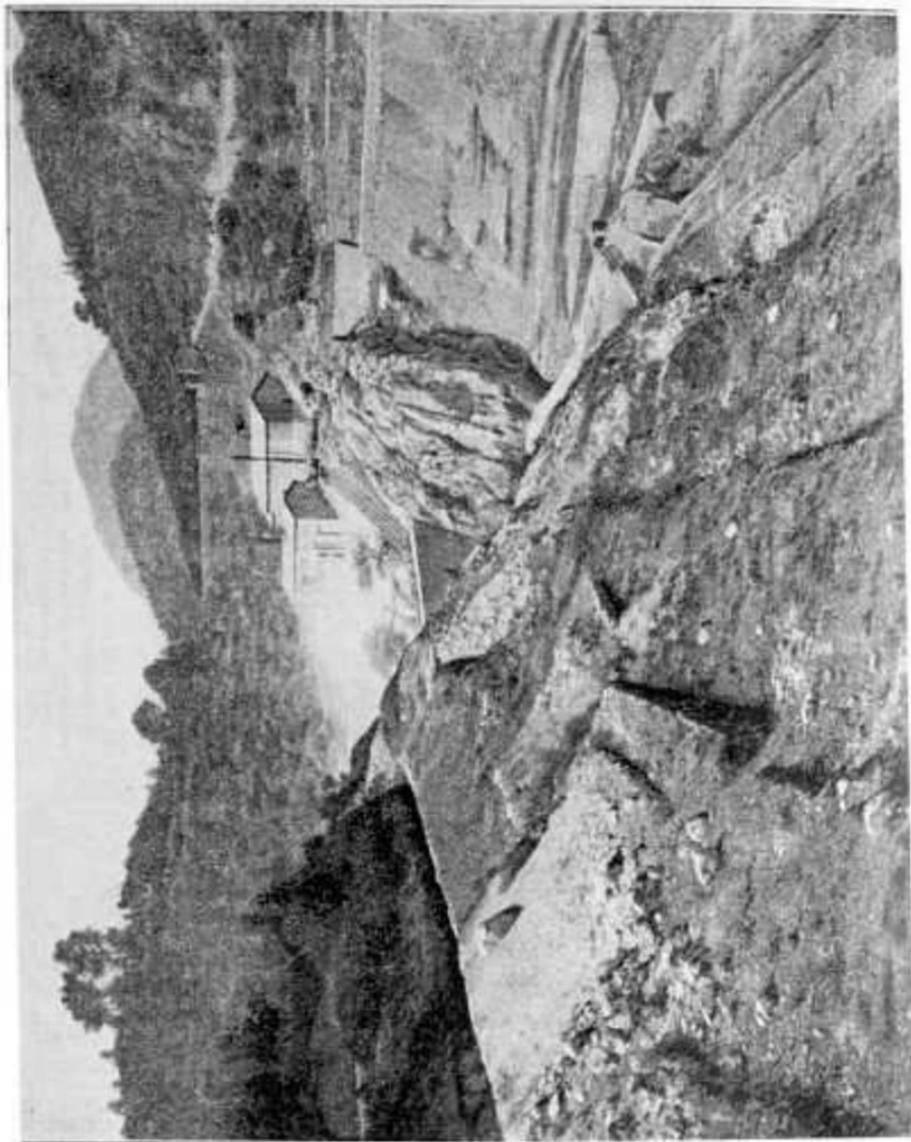


FIG. 1. — Barrage de Dardennes (29 juillet 1911) et fossé de colature.

arriverait, dans ce réservoir, à la cote 123, au-dessous des exutoires du Pin (133,40) et du Ragas (149,30).

En somme, le réservoir projeté serait alimenté exclusivement par les eaux souterraines, qui viennent sourdre aux différents exutoires ci-dessous mentionnés : l'arrivée des eaux

dans le réservoir superficiel se produirait donc par le fond, et c'est par la même voie que, dans la période de sécheresse l'eau reviendrait en partie à la réserve souterraine, et par conséquent, au Ragas et dans la canalisation actuelle.

M. Vasseur fait observer, dans son rapport géologique, que toutes les eaux ainsi recueillies provenant, sans exception, d'un massif urgonien inhabité, recouvert de garrigues et de bois, aucune contamination ne saurait se produire de ce côté.

Rappelons à cet égard, que les analyses chimiques et bactériologiques des eaux du tunnel du Ragas, faites en 1891 et 1892 par M. Coreil, avaient démontré que leur qualité était excellente.

Les eaux du Ragas et, très vraisemblablement, toutes celles qui viennent sourdre par les exutoires ci-dessus mentionnés étant pures à leur origine, il ne s'agit donc que de protéger le réservoir qui les reçoit.

Cette question de la protection des eaux du bassin barragé de Dardennes a retenu l'attention de tous ceux qui, à divers titres et à différents points de vue, ont étudié le projet actuel.

L'auteur du projet, pour préserver ces eaux contre toute contamination par les eaux pluviales ruisselant sur les coteaux entourant le réservoir, imagina d'établir, sur tout le périmètre du bassin, un canal ou fossé de colature qui recevrait ces eaux et les déverserait dans la vallée de Dardennes, à l'aval du barrage.

M. l'Ingénieur ordinaire du service des Ponts et Chaussées, qui étudia le projet et l'approuva (24 décembre 1907), fit toutefois observer que la solution proposée serait parfaite si le réservoir ne devait pas être utilisé jusqu'au fond; mais comme il entra dans les prévisions d'utiliser la totalité des eaux recueillies, il semble indispensable de prévoir les moyens de protection suivants :

1^o Le barrage sera muni d'une vanne de fond permettant d'évacuer les dernières eaux, si elles sont reconnues trop chargées de matières organiques;

2^o Indépendamment du droit permanent de contrôle de la ville de Toulon, la Compagnie devra faire analyser ces eaux par le laboratoire municipal dès qu'elles seront à 30 mètres (?) sous le niveau de la retenue, et la commission sanitaire sera tenue au courant du résultat de ces analyses; elle pourra prescrire, soit l'épuration chimique, soit le filtrage, soit le rejet de ces eaux.

III. — TROIS RAPPORTS SUCCESSIFS AU CONSEIL DÉPARTEMENTAL D'HYGIÈNE DU VAR.

M. le D^r Balp souleva contre le projet plusieurs objections.

Dans un *premier rapport* (13 février 1908), il réclama des renseignements précis sur les dimensions et sur la construction du fossé de colature, faisant remarquer que l'auteur du projet n'indiquait pas s'il serait construit en maçonnerie, avec renforcements indispensables partout où le moindre ravinement des terrains peut faire redouter les descentes subites de véritables petits torrents, lors des averses diluviennes qui parfois surviennent inopinément en Provence.

M. le D^r Balp reprocha également à l'auteur du projet d'avoir interrompu le fossé de colature à l'arrivée du ravin descendant du Ragas, permettant ainsi aux eaux pluviales ruisselant à la surface des versants de ce ravin d'accéder au grand réservoir.

Enfin, M. le D^r Balp montra qu'en dépit de toutes les mesures de protection, on ne pourrait jamais empêcher le transport, par le vent, sur la surface des eaux du bassin barragé, de la poussière des routes et des terres voisines où l'on chasse, où l'on travaille, où l'on mène paître les troupeaux.

Aussi M. le D^r Balp demanda-t-il, non seulement que l'on établît une vanne de fond permettant la vidange du fond du réservoir, et le contrôle constant de la qualité des eaux, mais encore que l'on épurât les eaux avant de les distribuer à Toulon.

Dans un *deuxième rapport* (27 mars 1908), élaboré après enquête, le D^r Balp confirma les craintes qu'il exprimait dans le précédent, et ajouta que la route du Revest, déjà trop rapprochée de la réserve d'eau projetée, et très dangereuse par ses poussières, le deviendrait bien davantage puisqu'on se proposait de la faire passer sur le barrage même. « Cette route, écrivait-il, et le village du Revest, se trouvent précisément dans la direction d'où le mistral, contournant le mont de Caoume, s'engouffre vers le fond de la vallée de Dardennes, ainsi que cela se produisit le jour même de notre visite, et par conséquent le vent emportera sur la surface de la retenue les poussières du chemin, et sûrement même les détritiques des abords du Revest

qui est bâti sur un piton élevé, à 800 mètres environ de distance. » Finalement, aux mesures réclamées par lui dans son premier rapport, le D^r Balp en ajouta une autre, consistant dans la construction d'une barrière élevée, à 10 mètres en dehors du fossé de colature, et dont les fondations seraient assez profondes pour éviter la filtration, sous le fossé de colature, et jusqu'au bassin de retenue, des eaux de surface provenant du Revest.

Dans un *troisième rapport* (22 mai 1908), le D^r Balp maintint les conditions qu'il avait précédemment exigées et, de plus, réclama l'oblitération par tamponnement des exutoires faisant communiquer le bassin projeté avec la réserve souterraine et par suite avec les eaux du Ragas.

IV. — La valeur des objections faites à l'exécution du projet, la difficulté d'exécution de la plupart des mesures de protection proposées amenèrent le Conseil supérieur d'hygiène publique à refuser son approbation à ce projet, sur le rapport de l'un de nous (20 juillet 1908), à moins qu'il n'eût pour corollaire l'épuration, par un procédé préalablement soumis à l'appréciation du Conseil, des eaux du tunnel du Ragas que devait alimenter le réservoir projeté.

2^o *Deuxième projet.* — Cinq mois après le rejet du premier projet par le Conseil supérieur d'Hygiène publique, la Compagnie générale des eaux en présenta un second.

Elle avait préalablement chargé M. le D^r Simond, alors sous-Directeur de l'École d'application du service de Santé des troupes coloniales à Marseille, de procéder à de nouvelles analyses chimiques et bactériologiques des eaux du Ragas; et M. le D^r Simond, dans un rapport très documenté, après avoir signalé la très grande pureté des eaux du tunnel du Ragas, déclara ne pas douter que celle de l'eau du bassin projeté ne demeurât égale à celle du réseau aquifère souterrain, pourvu que ce réservoir fût protégé comme il convient contre toutes les causes extérieures de contamination.

La Compagnie générale des eaux, conformément aux indications données par M. le D^r Simond et aux conclusions de son rapport, élaborâ un ensemble de mesures de protection du réservoir de Dardennes et présenta ce second projet à l'appréciation du Conseil supérieur d'Hygiène publique.

Voici quelles étaient les mesures de protection proposées :

1° La première consistait à obturer tous les exutoires par lesquels sort, dans la saison pluvieuse, l'eau destinée à remplir le réservoir projeté, et par où, également devait repasser l'eau du réservoir superficiel dans la réserve souterraine et, de là, dans la conduite de distribution. On évitera ainsi l'entraînement, dans cette dernière, des matières suspectes accumulées par la sédimentation sur le sol du réservoir projeté.

Le projet ne laisserait ouverte que la cheminée du Ragas à la cote 149,30, de façon que, quand la réserve souterraine sera pleine, le Ragas fonctionnera et remplira la retenue extérieure; mais, en raison de sa cote supérieure de 26 mètres au niveau de la retenue projetée, il ne pourra jamais se produire de rentrée d'eau par cette cheminée.

En d'autres termes, le trop-plein de la cheminée du Ragas, dont la réserve souterraine est actuellement distribuée à la population toulonaise, approvisionnera à lui seul le réservoir constitué par le barrage de la vallée de Dardennes.

2° Le retour des eaux du réservoir superficiel dans la réserve souterraine par les cheminées ou diaclases, étant désormais rendu impossible par l'obturation de ces dernières, chaque réservoir aura sa conduite particulière de distribution.

La réserve souterraine alimentera, comme par le passé, la conduite actuellement existante.

Le réservoir extérieur sera pourvu d'une prise d'eau particulière qui, pour éviter de prendre le résidu de la sédimentation, sera établie aux deux tiers de la hauteur du barrage, soit environ à 20 mètres au-dessous du couronnement et à une dizaine de mètres au-dessus du fond. En outre, cette prise sera prolongée de 150 mètres environ en amont du mur-barrage et supportée par des piles en maçonnerie, de manière qu'elle se trouve sensiblement au centre géométrique du bassin de retenue et à 100 mètres au moins des bords les plus rapprochés.

3° Le fossé de colature prévu sur tout le pourtour de ce bassin de retenue et destiné à recueillir les eaux de ruissellement des coteaux avoisinants sera entièrement cimenté, et les fondations du radier seront descendues, sous forme de mur de garde, à une profondeur suffisante pour empêcher les eaux

d'infiltration de se rendre souterrainement jusqu'à la retenue.

L'ensemble de ces eaux de ruissellement et d'infiltration sera collecté dans ce fossé étanche et conduit dans le ravin de Dardennes, bien en aval du barrage.

4° Le chemin du Revest, dont on avait prévu le rétablissement sur le couronnement du barrage, sera dévié à l'aval de ce barrage, soit au pied de l'ouvrage, soit contre le parement, de façon qu'on ne puisse avoir, de ce chemin, aucune vue sur la nappe d'eau ; il sera donc établi à 10 mètres au moins au-dessous du couronnement du barrage.

Au cas où ces mesures de protection seraient jugées insuffisantes par le Conseil supérieur d'Hygiène chargé de les apprécier, le projet présenté par la Compagnie générale des eaux prévoyait la possibilité d'aménager des filtres destinés à épurer soit seulement les eaux qui seront puisées directement dans le réservoir à air libre, soit même, s'il le fallait, la totalité des eaux en cas de mélange éventuel. Ces bassins filtrants, du type à sable submergé, auraient une superficie totale de 1.000 mètres carrés et débiteraient 6 à 8 mètres cubes par mètre carré et par vingt-quatre heures.

A ces mesures de protection proposées par la Compagnie générale des eaux dans son nouveau projet, l'un de nous, rapporteur au Conseil supérieur d'Hygiène publique, en ajouta deux autres : l'interdiction d'épandre de l'engrais humain sur les coteaux qui entourent le réservoir, conformément à l'article 10 de la loi du 13 février 1902 ; et l'établissement d'une clôture rendant impossible l'accès du réservoir à l'homme et aux troupeaux.

En outre, le rapporteur du projet au Conseil supérieur d'Hygiène, demanda que des analyses chimiques et bactériologiques comparatives des eaux de la conduite souterraine du Ragas et de la prise du bassin barragé fussent faites à époques fixes, périodiques, fréquentes, tous les quinze jours, par exemple ; et que, si ces analyses démontraient l'inefficacité des mesures de protection proposées et l'impureté des eaux du bassin barragé, on recourût à leur épuration par un procédé qui devrait être soumis à l'appréciation du Conseil supérieur d'Hygiène, le procédé proposé par la Compagnie générale des eaux lui semblant insuffisant et défectueux.

Le Conseil supérieur d'Hygiène publique adopta ces conclusions du rapporteur (14 décembre 1908).

Trois ans après l'adoption du projet par le Conseil supérieur d'Hygiène publique, un rapport de M. l'Inspecteur général Brunot faisait connaître à l'administration compétente que le barrage de Dardennes était en voie d'exécution, qu'il était même suffisamment élevé pour que l'on eût commencé à y retenir l'eau destinée à l'alimentation de Toulon, et que pourtant, contrairement aux conditions imposées par le Conseil supérieur d'Hygiène, les exutoires de la vallée de Dardennes n'étaient pas bien obturés, le fossé de colature était à peine commencé, la conduite destinée à puiser l'eau au centre du bassin barragé n'était pas aménagée.

Nous fûmes alors chargés de procéder sur place à une enquête (juillet 1911) dont voici les résultats.

NOTRE ENQUÊTE

Comme toutes les questions de captage d'eau, le difficile problème de l'alimentation de Toulon en eau potable doit être examiné successivement aux deux points de vue de la quantité et de la qualité.

I. — QUANTITÉ.

Pour la quantité, il est certain que le travail entrepris par le barrage de la vallée de Dardennes au moulin du Colombier était le meilleur et le seul moyen à employer. Il réalisera une sorte de *serrement* partiel des eaux souterraines et une régularisation assurée du débit de ces eaux jusqu'ici fâcheusement capricieuses. C'est un travail extrêmement intéressant et qui applique pour la première fois, croyons-nous, aux terrains calcaires le procédé du serrement déjà employé dans le sable (notamment à Bruxelles). S'il réussit dans son fonctionnement à Toulon, il pourra être profitablement utilisé dans beaucoup d'autres cas.

Voici les observations rectificatives ou complémentaires que comportent les pièces et études nombreuses du dossier.

Inutilité du tamponnement des exutoires. — Il y a lieu de renoncer tout à fait au tamponnement des sept exutoires inter-

mittents (ou plutôt *rémittents*, y compris la Petite Foux) connus entre le Ragas et le Barrage. S'il est vrai que les voûtes cimentées au-dessus de ces exutoires par la Compagnie des eaux



en 1908 (avec une dépense de plus de 30.000 francs) ont, pour la plupart, résisté à la pression souterraine des hautes eaux, il a été constaté et nous avons vérifié que ces eaux ont *fait explosion* tout à côté des voûtes-lampons, par des cheminées latérales, qui ne s'étaient pas jusqu'alors complètement ouvertes à la surface; l'obturation de l'évent a provoqué l'achèvement

et la perforation de ces exutoires latents (v. fig. 4). En descendant dans le trou du Rerabas (110^m30) il a été facile de voir la base de deux nouvelles perforations. Cela, d'ailleurs, était à prévoir, d'après ce que l'on sait aujourd'hui du mode de circulation des eaux souterraines dans les terrains calcaires, judicieusement reconnu par les rapports de MM. Vasseur, Simond, Kilian; elles s'y accumulent non pas en largeur, en étendue, en véritables nappes, mais en innombrables tuyaux de descente d'ordre plutôt vertical; ces tuyaux, dans certains desquels on a pu constater *de visu* des élévations de niveau d'eau de 100 et même 120 mètres (dans le Karst autrichien), et par conséquent des mises en charge de 10 à 12 atmosphères, convergent tous soit vers une artère principale subhorizontale, qui est une rivière souterraine revoyant le jour par une résurgence, soit vers un réseau de conduites accidentées, anastomosées et forcées après les pluies; les conditions géologiques, variées selon chaque cas particulier, diversifient beaucoup les détails. Pour la rivière de Dardennes, MM. Vasseur et Kilian ont parfaitement expliqué comment un repli synclinal dit pli du Revest a créé, en profondeur, un complexe barrage naturel de calcaires marneux, aptiens et néocomiens imperméables, qui forcent les eaux souterraines à jaillir entre la Petite Foux et le Ragas, Quand celui-ci crache, cela correspond à une surpression souterraine de près de 6 atmosphères au moins, puisque la prise est à 90^m55 et la bouche du gouffre à 149^m30; en tenant compte des résistances et obstacles internes, ainsi que de la violence extrême souvent manifestée par l'afflux d'eau, il se crée certainement une charge d'eau bien plus considérable (voisine de \pm 10 atmosphères comme dans les abîmes à niveaux d'eau oscillants du Karst) après les grandes pluies qui font déverser l'eau hors du gouffre.

Il n'y aurait rien de surprenant à ce que, dans la zone fissurée qui entoure le grand Cap, les crevasses du sol s'emplissent alors d'eau plus haut même que la cote 200. Elles se vident toujours rapidement et violemment, parce que la nature du sol leur a fourni de bas exutoires entre 149 et 96 mètres (Petite-Foux). Mais quand le réservoir aura relevé le bief de déversement au plan d'eau de la cote 123, c'est-à-dire de 33^m45 par rapport à la bonde actuelle, le bassin ainsi créé provo-

quera une contre-pression externe de plus de 3 atmosphères; comme le montre la coupe (fig. 1), toutes les conduites et fissures plus ou moins anastomosées dans le sol, entre les cotes 90^m55 et 123 mètres, demeureront remplies d'eau (en proportion, du moins, du niveau du bassin); par conséquent, toute pluie qui tombera dans la montagne n'aura plus besoin de s'infiltrer jusqu'à ces basses conduites que nous révèlent les exutoires, et où l'eau deviendra *statique* dans une certaine mesure. Les pluies infiltrées demeureront emmagasinées, économisées dans les fissures supérieures à la cote 123. Il est certain qu'alors il se réalisera les trois phénomènes suivants (successifs ou concomitants):

Régularisation générale du débit. — 1° La vidange des fissures supérieures sera ralentie, par conséquent régularisée, et on verra diminuer les grands écarts de débit qui font tomber parfois le captage actuel du Ragas à 110 litres seconde et monter les éruptions du gouffre lui-même jusqu'à 60 mètres cubes seconde, *dit-on* (chiffres extrêmes; les écarts habituels oscillent plutôt entre 160 litres et 10 mètres cubes seconde);

2° Le Ragas, très probablement, crachera beaucoup plus souvent, ainsi que le Pin (133^m40) qui est au-dessus de la cote 123; l'ascension de l'eau dans leurs tubes se trouvera libérée d'une valeur égale à la contre-pression du nouveau bassin;

3° Peut-être de nouveaux exutoires s'ouvriront-ils au-dessus de la cote 123. Mais il n'est pas possible de prévoir sur quelle échelle ces manifestations se produiront. On ne aurait estimer, comme le fait M. Kilian, que la retenue d'eau invisible sera au moins égale, sinon très supérieure, à la retenue visible produite par le barrage; tout dépend de la capacité des fissures situées au-dessus du niveau 123. En tout cas, contrairement à l'avis de M. Kilian (et c'est là l'unique point de détail sur lequel son remarquable rapport puisse être contredit), il y aurait eu tout avantage à accroître la hauteur du barrage et à augmenter par conséquent l'étendue et la surface du bassin; plus la surcharge du réservoir eût été forte, plus l'emmagasinement dans les fissures eût été relevé et augmenté. Mais le terrain ne se fût sans doute pas prêté à la confection d'un ouvrage plus élevé et la dépense en eût été considérablement majorée.

De toutes manières, le bassin-réservoir ne peut lui-même

que bénéficié du changement de régime hydraulique souterrain que sa contre-pression apportera à l'émission de la rivière de Dardennes.

Au point de vue de l'augmentation de la quantité d'eau pour Toulon, aucune solution ne pouvait donc être plus rationnelle, élégante, curieuse et efficace que la conception du barrage en voie d'achèvement, due à M. Bernier, chef de l'exploitation.

Conservation du captage actuel à 90^m55. — Il est évident que les phénomènes de reflux, de retenue, d'emmagasinement dans les cassures supérieures du bassin d'alimentation de la rivière de Dardennes seraient beaucoup plus intenses, si on supprimait l'usage du tunnel actuel du Ragas. Privées de cette saignée de bas niveau à 90^m55, les eaux souterraines séjourneraient bien plus longtemps dans leurs réceptacles, jailliraient bien plus souvent par leurs exutoires superposés et rempliraient bien plus fréquemment le bassin. Mais il se pourrait aussi que celui-ci finit par se vider dans la saison sèche, les 1.500.000 mètres cubes ne constituant en somme qu'une réserve de quarante jours (pour 115.000 habitants à 250 litres par jour), car on ne saurait distribuer l'eau du fond du réservoir; or, même après établissement du barrage, rien n'assure qu'en été les éruptions du Ragas et du Pin ne resteront pas plus de six semaines sans survenir. L'emploi du captage actuel doit donc être continué. Il n'aurait pu être supprimé sans inconvénient que si la réserve constituée avait été plus considérable. D'ailleurs son appel constant formera soupape de sûreté contre les excès de charge, les sur-pressions internes, que le barrage provoquera après les grandes pluies: à ce point de vue encore il mérite d'être conservé.

Disposition probable du drainage souterrain. — Comme dans toutes les formations calcaires, on se trouve, aux sources de Dardennes, en présence d'une rivière enfouie: M. Kilian a reconnu un ancien thalweg rempli de cailloutis, sur la rive gauche, au point où on a dû faire un masque, en prolongement du barrage; ce thalweg était plus large que celui actuel de la Dardennes; enfin ce dernier n'est plus occupé que temporairement (lors des jaillissements de la Foux et de la Petite Foux) par les eaux infiltrées, qui ont de plus en plus perdu de leur

puissance en même temps qu'elles s'enfonçaient dans les cassures agrandies du sous-sol.

Il est probable que deux artères, gouttières ou rigoles souterraines, colligent de proche en proche toutes les infiltrations du bassin; elles doivent confluer en amont de la Foux (102^m40); la principale est grossièrement jalonnée par les exutoires échelonnés du Figuier 106^m70, — du Rabas, 109^m50, — du Rerabas, 110^m30, — de Pin, 133^m40, et du Ragas, 149^m30; — la seconde est celle que révèle l'évent ou exutoire du Vallat des Roux, 121 mètres. Il est possible que, vers leur jonction, ces deux collecteurs soient anastomosés par la fissuration du calcaire. Il est plus probable qu'ils sont indépendants. Peut-être même la Petite Foux est-elle l'issue principale de la seconde. Pour savoir à quoi s'en tenir, il suffira d'observer si l'exutoire du Vallat des Roux jaillit seul, lorsqu'un orage est tombé au N.-O. vers Toulon et Roca-Troca sans s'abattre sur le grand Cap; on recherchera aussi si la grande et la Petite Foux sont solidaires ou non dans leurs éruptions.

II. — QUALITÉ.

Causes géologiques et topographiques de contamination. — Quant à la qualité des eaux du réservoir de Dardennes, les risques de contamination seront de trois sortes :

- 1° Infiltrations éloignées dans le bassin d'alimentation ;
- 2° Ruissellements-rapprochés sur les pentes du réservoir et poussières atmosphériques ;
- 3° Pollution des eaux du réservoir par le brassage de ses résidus de décantation.

1. *Infiltrations éloignées dans le bassin d'alimentation.* — Plusieurs rapports du dossier (notamment ceux de M. Vasseur du 10 décembre 1907 et de M. Simond du 9 novembre 1908) ont déclaré que le bassin alimentaire de la rivière de Dardennes était inculte et inhabité, donc affranchi de toute cause de contamination humaine, par infiltrations dans les fissures du sol. — Ainsi que l'a reconnu le rapport de M. l'inspecteur général Brunot, cela n'est pas absolument exact.

Il est à peu près impossible de définir avec précision le bassin d'alimentation souterraine d'une émergence de terrains

calcaires fissurés : à cause du pendage, souvent changeant, des couches de terrain, où les cassures du sol sollicitent les

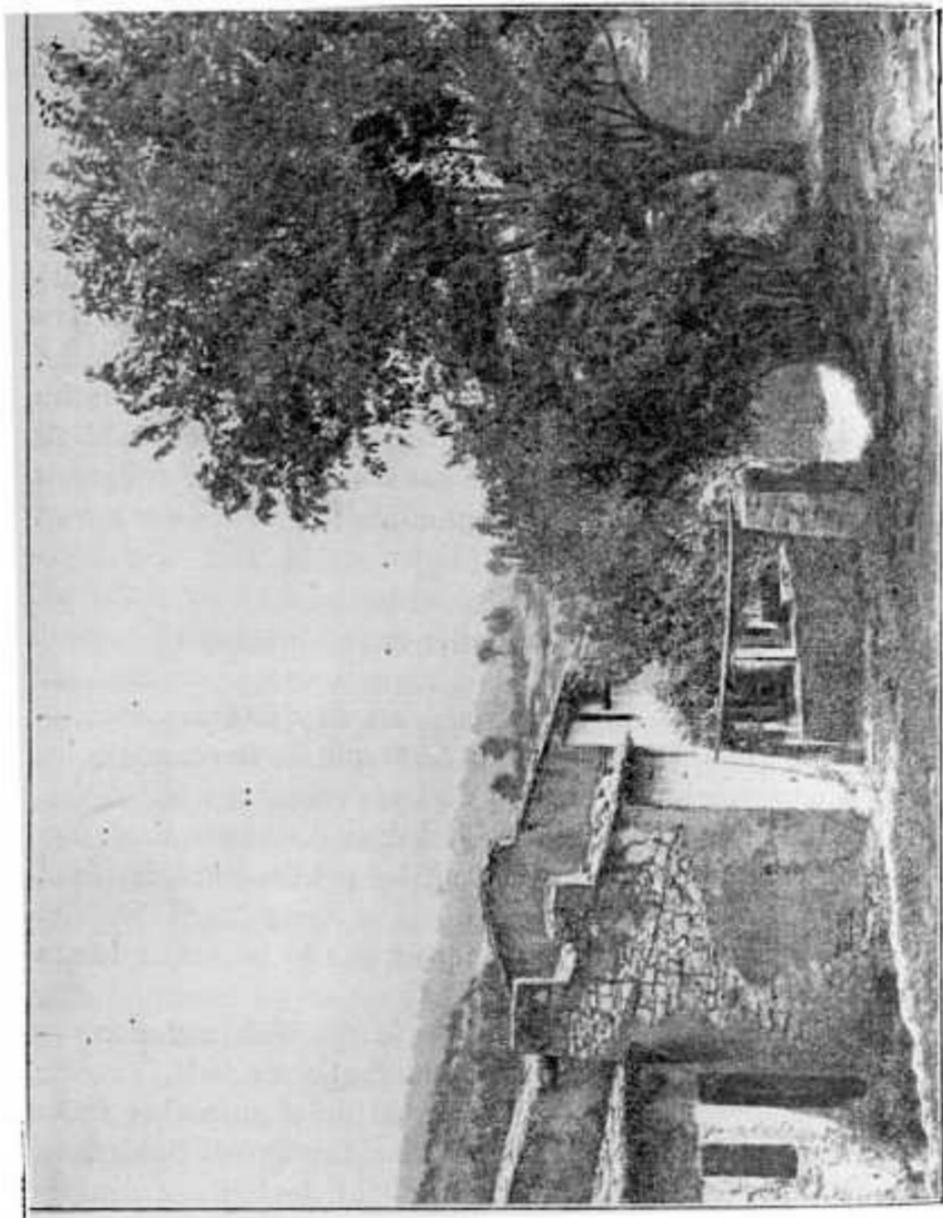


FIG. 6. — Hamlet des Oliviers.

infiltrations de surface ; à cause surtout des accidents qui ont disloqué ces couches et interrompu leur continuité (particulièrement dans la région de Toulon). Un tel bassin souterrain ne coïncide pas du tout avec le bassin topographique extérieur

apparent, toujours limité par des crêtes ou lignes de faite dont les eaux souterraines ne tiennent aucun compte.

Pour la rivière de Dardennes spécialement, la délimitation de la zone des infiltrations qu'elle draine est fort difficile, en raison des complications tectoniques qui rendent si embrouillée la géologie de la région située au nord de Toulon. On peut cependant énoncer que cette zone s'étend à toute la formation des calcaires blancs très craquelés, à *facies* urgonien, qui comprend les deux versants nord et sud du Grand Cap (783 mètres) et de Roca Troca (720 mètres). Les marnes néocomiennes affleurant à l'est et au nord-est de ces deux sommets limitent ce côté. Les marnes aptiennes étendues en zigzag des Bouisses au sommet 660 mètres (Turben), en passant par le Revest, forment les limites sud, sud-ouest et ouest; à l'est, un autre affleurement de néocomien allongé des Bouisses au vallon de Morière doit laisser en dehors de la zone d'alimentation de Dardennes les hautes dépressions (310 et 360 mètres) qui s'étendent au nord du Coudon; on y trouve les Bouisses et le château de Tourris (sur les marnes aptiennes), quelques mas ou bergeries (Gavelet, Cordière, etc.) et la plaine cultivée (nombreux mas) des Selves dans les dolomies jurassiques; leurs infiltrations doivent être rejetées par le barrage néocomien dans des directions opposées à celles de la Dardennes.

Ainsi délimité, le bassin souterrain de la Dardennes peut mesurer 7 kilomètres de long du sud-est au nord-ouest sur 3 à 5 de largeur; ce sont bien à peu près les 3.000 hectares auxquels M. Vasseur et le Dr Simond ont évalué sa surface. Il renferme deux points *a priori* suspects au seul vu de la carte: les Olivières à 1 kilomètre à l'est du Ragas; — le vallon de Morière derrière le Grand Cap à 4 kilomètres et demi au nord-est du Ragas. Voici ce que nous a fait connaître leur vérification sur place.

Les Olivières sont un petit groupe de maisonnettes, entre 275 et 290 mètres d'altitude, à la tête et sur le flanc gauche de la ravine sèche, qui descend de l'est à l'ouest vers le Ragas; ancienne ferme abandonnée, les Olivières sont aujourd'hui subdivisées en petits mas qu'on loue, paraît-il, pour les parties du dimanche, surtout en temps de chasse. Comme elles sont en plein urgonien fissuré, en amont des marnes aptiennes, les infiltrations de leurs alentours glissent certainement le long

de ces marnes pour fournir leur apport latéral au courant souterrain de Dardennes. Il faut donc les comprendre dans la zone de protection du nouveau réservoir, c'est-à-dire les acheter

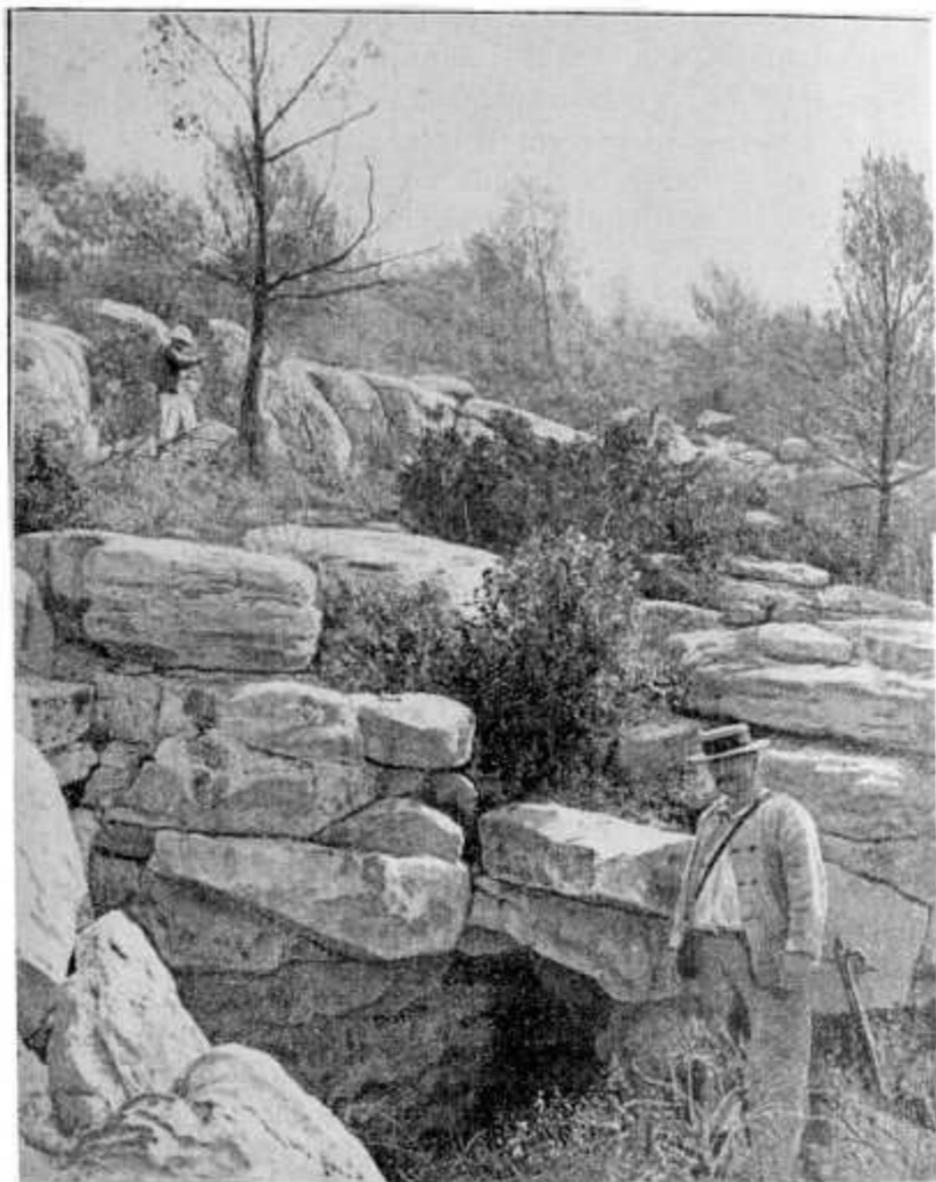


FIG. 7. — Petit Ragas des Olivières.

et les supprimer purement et simplement; toute défécation typhoïgène aux Olivières, suivie d'une forte pluie, risquerait de rejoindre les poches souterraines de Dardennes.

Presque en face, un peu à l'aval et plus bas (252 mètres), s'ouvre un petit gouffre, qui n'avait pas été signalé. Il se présente comme une petite caverne d'un mètre carré d'orifice environ ; à l'intérieur, c'est une fissure étroite où les pierres descendent assez bas ; pour empêcher qu'aucun berger y jette des bêtes mortes, il faut murer cette entrée, qui se trouve justement au bord d'un petit sentier ; c'est un travail fort peu coûteux.

Il est certain que beaucoup d'autres ouvertures de ce genre existent sur les pentes du Grand-Cap ; mais le terrain, véritable lapiaz alpestre (ce qu'on nomme en Provence des *rascles*), est rendu si dangereux par ses crevasse^s de pierre dissimulées parmi les broussailles, que les troupeaux ne s'y aventurent guère et que les chasseurs même s'en méfient. On peut donc considérer comme à peu près nuls les risques de pollution de ce chef.

Il n'en est pas de même dans le vallon de Morière, où deux domaines sont habités, au moins à certaines époques de l'année : Morière-les-Vignes (520 mètres) et Morière-Cap un peu plus haut. A côté de Morière-les-Vignes, une dépression du sol est un large entonnoir (obstrué) d'absorption des eaux ; à 1 kilomètre au nord-ouest de Morière-Cap, un véritable abîme s'ouvre près d'un sentier, à 660 mètres d'altitude¹ ; les gens de Morière le nomment *Ragas-des-Aigles* ; il n'a que quelques mètres de diamètre et la sonde s'y arrête à une vingtaine de mètres de profondeur : MM. A. Janet et Zürcher (qui l'avaient signalé à M. Martel) le croyaient considérablement plus creux. Peut-être s'est-il récemment obstrué, ou bien la sonde s'est-elle arrêtée sur une corniche intérieure. Il faut ajouter encore un autre abîme à moins d'un kilomètre au nord de Morière-les-Vignes, le *Ragas-de-la-Galère* à 665 mètres d'altitude, juste au sud et en dessous du sommet 689. Plus étroit que celui des Aigles, il donne au sondage 32 mètres. Bien d'autres encore doivent exister dans ces parages, si rébarbatifs à visiter (on monte à Morière depuis Solliès-Pont par des chemins détestables) qu'il n'est pas surprenant que les cartes les ignorent ; mais la rencontre des trois gouffres et des entonnoirs, ainsi ajoutés au cours de notre enquête rapide, suffit à prouver combien la zone alimentaire de la Dardennes avait été insuffisamment étudiée.

1. Altitudes prises au baromètre et sujette à fortes corrections.

Morière et ses Ragas sont-ils dans cette zone? *A priori*, on



FIG. 8. — Sondage du Ragas-des-Aigles. (Clichés E.-A. Martel.)

serait tenté de répondre non; car on ne se trouve plus ici dans l'urgonien mais dans les-dolomies jurassiques inférieures au

néocomien. Seulement des failles ont tellement bouleversé ces parages, à l'est du Grand-Cap, en relevant les dolomies au niveau du néocomien et en interrompant celui-ci, qu'il est impossible d'affirmer que les infiltrations de Morière n'aillent pas vers Dardennes. C'est au contraire plus que probable pour le Ragas-des-Aigles, ouvert précisément sur une faille, qui doit aiguiller les eaux d'orages tombées dans ce gouffre sous la masse du Grand-Cap. Quant au Ragas-de-la-Galère, il serait plutôt en relation avec une petite source signalée à l'est, à Morière-les-Tournes.

L'exploration intérieure des deux gouffres n'apprendrait vraisemblablement rien : ils sont trop haut situés (à plus de 500 et de 550 mètres au-dessus du Ragas et de la Foux de Dardennes) pour qu'on ait chance d'accéder par là au réseau hydraulique souterrain; ou bien ils se trouveraient bouchés (pour l'homme) à une faible profondeur; ou bien ils présenteraient des obstacles de pénétration impossibles à surmonter. Eu égard à leur difficulté d'accès, le coût des recherches, ne fût-ce que pour le transport du matériel (à dos d'homme), serait hors de proportion avec le résultat à obtenir. Il est bien plus simple de consacrer quelques centaines de francs à voûter les orifices des Ragas-des-Aigles et de la Galère : ainsi les gens de Morière et les bergers des environs seraient mis hors d'état d'y jeter des bêtes mortes. Dans l'incertitude où l'on reste sur l'aboutissement de ces abîmes, cette peu coûteuse précaution est indispensable¹.

2. — *Contamination du barrage-réservoir par les ruissellements de ses pentes et les poussières atmosphériques.* — Les conditions dans lesquelles a été établi le fossé de colature, actuellement terminé, offrent toutes garanties contre les ruissellements contaminés des deux rives du bassin. Sa section est calculée pour un débit de 2 à 400 litres par seconde sur la rive gauche, et de 200 à 1.500 par litres par seconde sur la rive droite. D'ailleurs le village du Revest verse ses eaux résiduaires à l'ouest du côté du mont Cavume : il n'y a à redouter que les risques acci-

1. Le journal *le Phare du Littoral*, du 4 janvier 1898, a énoncé qu'on avait trouvé, à l'issue du Ragas, un crâne humain. Il nous a été impossible de savoir si cette assertion était exacte.

dentels provenant des cultures d'oliviers étagées en terrasses de part et d'autre du bassin. Si l'on peut assurer l'interdiction de l'épandage d'engrais humain sur les coteaux, cela sera une garantie de plus. Le Revest ne procurera point d'infiltrations *souterraines* malsaines, car il est sur les marnes et calcaires marneux aptiens imperméables ou colmatables, où il n'y a que du ruissellement sans infiltration. Pour les poussières et pollutions atmosphériques, on peut escompter le bon effet de l'épuration solaire et de la décantation.

Contre les pollutions malveillantes des promeneurs (jets d'ordures, bains, lavages, etc.), la clôture en grillage paraît très suffisante, à condition qu'elle soit assidûment surveillée et rigoureusement maintenue en bon état. Des gardes spécialement vigilants devront être affectés à ce service.

Il importe même que cette clôture soit étendue jusqu'au Pin et au Ragas, les deux exutoires de Dardennes qui se trouvent au-dessus de la cote 123 mètres, ou du moins que leurs accès et toute la portion du ravin qui monte jusqu'au Ragas soient interdits aux promeneurs.

On ne saurait permettre, en effet, que des groupes de curieux ou d'excursionnistes s'en aillent semer, à l'issue du Ragas, des papiers sales et des résidus d'agapes comme ceux que nous y avons vus; à chaque *éruption* du gouffre d'eau, ces détritiques seraient entraînés jusqu'au réservoir qu'ils pourraient accidentellement polluer. Bref, le Pin, le Ravin et le Ragas doivent être nécessairement constitués en *périmètre de protection* du nouvel ouvrage interdit au public; et cela quelles que puissent être les protestations du Touring-Club et du Syndicat d'initiative du Tourisme local.

3. — Quant à la *pollution par brassage des produits de la décantation* au fond du réservoir, brassage dû au jeu alternativement émissif et absorbant des exutoires, il est impossible de prévoir si elle se produira; on a vu plus haut que l'on ne peut prédire quelles modifications la surcharge du barrage amènera dans le régime hydraulique souterrain. Seules, des analyses périodiques longtemps continuées, tous les quinze jours, fixeront les idées sur ce point capital, d'où dépendra la nécessité ou l'inutilité d'une épuration ultérieure.

De toutes façons, un nouveau tuyau de prise d'eau devra

être, dans le bassin, placé non pas à 92 mètres, mais à environ 13 mètres au-dessus du fond extrême du bassin (creusé à 90 mètres, soit vers la cote 103, par conséquent); afin que l'écoulement ne trouble pas la couche de décantation du fond. En effet, il est vraisemblable que les chasses d'eau de fond provoquées par les éruptions périodiques des événements projettent les sédiments dans la partie basse du réservoir à l'aval de la Foux, soit en dessous de la cote 102,40; c'est pourquoi le tuyau de prise peut n'être mis qu'à la cote 103. Pour la même raison, le petit batardeau transversal au thalweg à la cote 97,50, conçu pour arrêter la majeure partie des sédiments, serait bon à supprimer; il vaut bien mieux laisser les produits de décantation tomber librement jusqu'au fond même du creux du bassin (cote 90) et mettre à ce niveau les tuyaux de vidange et nettoyage éventuel de ce creux. On perdra ainsi l'utilisation d'une partie de l'eau emmagasinée, mais une partie relativement petite, le bassin finissant en pointe étroite et en pente accentuée: cette extrémité de pyramide triangulaire ne représente qu'un faible cube d'eau.

Hypothèses sur les rentrées d'eau par les exutoires en période de sécheresse. — Le projet du travail aujourd'hui achevé supposait qu'en sécheresse l'eau du nouveau réservoir rentrerait dans le sous-sol.

Cela est probable, car la synthèse hydro-géologique des observations diverses, faites par les plus compétents spécialistes, permet de croire à la combinaison représentée sur la coupe (fig. 1). L'anastomose est au moins partielle sinon aussi générale que la figure cette coupe. Et le jeu des vases communicants a toutes chances de se renverser entre le réservoir et les fissures d'amont, si le niveau d'eau dans celles-ci s'abaisse au-dessous du niveau du plan d'eau du bassin.

Un simple coup d'œil sur la figure montre comment, dans tout le sous-sol en amont du barrage, il doit y avoir une réserve d'eau occupant toutes les fissures du synclinal ou pli du Revest; son existence est prouvée d'ailleurs par les veines d'eau qu'a recoupées le tunnel de 900 mètres et qui s'écoulent dans ce tunnel. Si on avait fait ce tunnel plus bas, vers la cote 80 par exemple (et surtout plus à l'ouest en le faisant passer sous la Foux, le Ragas, etc), sans doute aurait-on (et

spécialement à l'aide de galeries latérales de recherches) rencontré nombre de poches d'eau importantes. Mais, dans l'ignorance où l'on est de la vraie position et allure du plafond aptien marneux imperméable du synclinal, un tel travail n'aurait pu s'exécuter absolument qu'au hasard.

Il devient en tout cas bien évident qu'en créant une deuxième prise à la cote 103, dans le bassin, pour puiser l'eau du réservoir, on provoquera des agitations et rentrées d'eau bien moindres par les exutoires que si l'on faisait en permanence manœuvrer la seule prise d'eau actuelle de 90,55. Et d'ailleurs, il est possible que les produits de décantation, qui pourraient rentrer par les exutoires, se bornent à descendre et à se localiser dans le fond de bateau du pli du Revest que figure la coupe (fig. 1).

Mode de fonctionnement adopté pour les deux prises d'eau.
— On se trouve amené ainsi à proposer le fonctionnement alternatif suivant, qui présenterait toutes sortes d'avantages.

A. — Employer le nouveau déversoir de la cote 103 seul, tant que le réservoir gardera l'eau jusqu'à cette cote; fermer pendant ce temps le déversoir 90,55 en le munissant des dispositifs de solidité voulue, ce qui lui fera remplir l'office d'un véritable serrement; ainsi, non seulement des rentrées d'eau ne se produiront pas dans les exutoires faute d'appel inférieur; mais encore la réserve souterraine d'amont sera ménagée; elle fonctionnera d'ailleurs en rendant les exutoires éruptifs pendant tout le temps que le réservoir mettra à s'abaisser de 123 à 103 mètres et elle contribuera à retarder la durée de cette vidange. Cette période A constituera un plein bénéfice sur l'état actuel.

B. — Dès que la cote du réservoir sera tombée à 103, on mettra le déversoir 90,55 en service; on disposera alors de toute la portion inférieure de la réserve souterraine maintenue entre 103 et 90,55. Cette période B, qui met les choses au pire, sera encore préférable à l'état ancien qui ne prenait l'eau souterraine au bas du Ragas qu'à 91,90. On y gagnera 11 mètres de charge, c'est-à-dire et certainement un notable débit d'eau emmagasinée dans les fissures de 92 à 103.

On profitera de cette période pour vidanger et curer la

partie inférieure du bassin entre 103 et 90, ce qui évitera les rentrées d'eau par la Petite Foux (à 96,13).

Tout cela revient à dire que le nouveau réservoir assurera le service courant, et l'ancienne prise le service d'étiage. C'est le contraire sans doute de ce que l'on avait conçu. Mais le résultat ne peut être qu'excellent, à condition que la prise d'eau 90,55 soit mise en état de supporter les surcharges des hautes eaux.

Il est probable qu'ainsi les emmagasinsements persisteront plus longtemps et que peu fréquemment le réservoir s'abaissera au-dessous de la cote 103. Et surtout les rentrées de sédiments seront bien plus sûrement évitées.

Le seul inconvénient, c'est que l'eau du bassin s'échauffera quelque peu, surtout aux approches de la cote 103. Si la température devenait trop élevée, on en serait quitte pour mettre le captage du tunnel (90.55) en action un peu plus tôt.

Objections au mémoire de M. le D^r Vidal à l'Académie de médecine (séance du 4 juillet 1911). — En vérité, au lieu d'inquiéter la population de Toulon, les travaux effectués devraient la rassurer pleinement; il n'est pas possible de trouver un meilleur moyen de lui donner satisfaction, si ce n'est par l'adduction (lointaine, sinon problématique) des eaux de Fontaine-l'Evêque.

Il n'y a pas qu'un même bassin intérieur, mais toute une série de fissures aquifères plus ou moins anastomosées, et aboutissant très probablement à deux artères souterraines en amont de la Foux : une pour le Valat-des-Roux (et peut-être la Petite-Foux), la seconde (et la plus importante) pour le Ragas et les quatre autres exutoires.

Il n'est nullement prouvé que la température de l'eau du Ragas soit toujours à 14 degrés. En hiver, après les fontes de neige, il est probable qu'elle est plus basse. On ne paraît pas l'avoir observée en cette saison.

On ne saurait déterminer d'une manière exacte les points de naissance des 6 exutoires inférieurs au Ragas; la Compagnie des eaux les a fait explorer en détail et en a fait dresser des coupes instructives; toutes aboutissent à des bassins d'eau à voûtes et parois mouillantes.

La construction des canaux-cheminées sur chacun des 6 exutoires proposée par le D^r Vidal est illusoire : il est certain

(et l'expérience l'a prouvé) que d'autres exutoires se créeraient à côté. Il faut ignorer complètement les principes, aujourd'hui établis par des constatations directes, de la circulation des eaux souterraines en terrain calcaire fissuré, pour revenir encore sur cette inapplicable idée.

Il n'est pas *prouvé* que l'eau du seul Ragas soit toujours d'une incontestable pureté; on ne possède pas de séries d'analyses qui permettent cette affirmation. Comme toute eau du calcaire, elle peut recevoir des souillures par les infiltrations qui la fournissent. Mais on a vu plus haut combien ces risques sont restreints et amendables.

Pour cette même raison, il n'est nullement certain que les quelques coli-bacilles trouvés dans l'eau du Ragas par les analyses des 24 et 26 mai 1911 (D^r Blanchard et de Fressine) proviennent de rentrées d'eau du réservoir par les exutoires inférieurs; une bête crevée ou des crottes de chèvres, dans le petit gouffre des Olivières, suffiraient pour qu'une pluie infiltrée envoyât des matières organiques et des coli-bacilles aux eaux souterraines du Grand-Cap!

Prélever l'eau, dans le bassin du fond du Ragas, ne servira à rien, car les manœuvres nécessaires pour une descente aux échelles de cordes de près de 60 mètres y feraient tomber des poussières ou résidus, qui fausseraient les résultats. D'ailleurs les oiseaux, qui peuvent nicher (pigeons ou corneilles) sous la voûte du Ragas, suffiraient aussi à expliquer une légère mais vraiment inoffensive pollution de ce bassin.

Il est donc faux de dire qu'il est « prouvé » que les eaux du Ragas « sont contaminées par les eaux du réservoir ».

La séparation radicale des eaux du réservoir et de celles du Ragas ne pourra jamais être obtenue artificiellement, si elle n'existe pas naturellement.

La double canalisation, toujours dangereuse, est donc totalement inutile. Cette conception doit être considérée comme tout à fait fâcheuse.

Quant à la vidange du réservoir, en juillet 1911¹, on peut la regretter au point de vue de la perte des 400.000 mètres cubes

1. Le réservoir avait été vidangé, à cette époque, peu de temps par conséquent avant notre enquête (28 juillet 1911), par ordre du maire de Toulon.

jetés à la mer. Cependant, la présence de 150 ouvriers aux alentours du bassin, l'inachèvement (à cette date) du fossé de colature, l'insuffisance du périmètre de protection étaient de nature à justifier cette mesure.

Enfin le D^r Vidal ne tient aucun compte de l'épuration solaire du bassin; c'est cependant là un facteur d'assainissement qui, pour être mal connu, n'est pas niable, et dont l'efficacité a été reconnue pour les eaux du lac de Genève (d'après Massol et Forel) et pour les grands barrages-réservoirs de Glasgow (loch Katrine), Liverpool, etc. Ces deux villes se sont contentées d'instituer un périmètre de protection très efficace autour de ces bassins.

Source Saint-Antoine. — Reste à faire le procès de la source Saint-Antoine. Il est simple et bref à juger, car tout le monde est d'accord sur sa mauvaise qualité.

Cette source doit être purement et simplement et *d'urgence* distraite de la consommation alimentaire. Elle est prise au fond d'une grotte, galerie naturelle de 150 mètres de long, dirigée du sud-ouest au nord-est. Produite par les infiltrations des dolomies et des calcaires bathoniens (jurassiques) du Faron, elle collecte certainement toutes les contaminations des vergers, très florissants, qui s'étendent sur les pentes au pied nord-ouest du fort Saint-Antoine.

Au-dessus du point de sortie (alt. 18, au contact du lias) une maison privée a son tas de fumier à peine à quelques mètres du tuyau d'aspiration de la pompe. Il est impossible que les analyses de cette eau soient jamais satisfaisantes. C'est le type accompli de la mauvaise émergence du calcaire, constituant, grâce aux dimensions de sa galerie naturelle, un *égout* des plus confortables. Sa température est de 15°5 (28 juillet), son débit varie de 35 à 700 litres par seconde. La suppression de son emploi comme eau potable s'impose absolument, il serait criminel de continuer à la destiner à cet usage.

IV. — ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES DES EAUX DU RAGAS ET DU BASSIN DE DARDENNES.

De nombreuses analyses chimiques et bactériologiques des eaux du tunnel du Ragas ont été faites depuis 1891 jusqu'à

l'époque actuelle, surtout dans ces dernières années. On y a ajouté, en 1911, des analyses comparatives des eaux du bassin barragé de Dardennes, où l'on commençait à retenir l'eau.

On a eu le grand tort de comparer entre elles ces analyses qui n'étaient pas comparables et d'en tirer des déductions qu'elles ne comportaient pas.

Voici le détail de ces analyses; nous verrons, après les avoir relatées, ce qu'il en faut penser.

Analyses de M. Coreil. — M. Coreil a effectué des prélèvements d'échantillon des eaux du Ragas.

A. — A la tête aval du tunnel du Ragas, tunnel de 900 mètres de long, qui recueille l'eau du trou du Ragas à la cote 91,90 et se termine à la cote 90-55. L'extrémité inférieure de ce tunnel est partiellement barragée et il en part une canalisation qui aboutit à 3.700 mètres de là à un réservoir dit bassin supérieur.

B. — Au bassin supérieur situé dans la montagne du Faron : sa capacité est de 900 mètres cubes; il est à la cote 90.

C. — Au bassin inférieur placé à 420 mètres du précédent; sa contenance totale est de 5.880 mètres cubes; il est formé de quatre réservoirs juxtaposés; il est à la cote 50. En été, quand l'eau du Ragas devient insuffisante, des machines élévatoires y amènent l'eau de la source Saint-Antoine, située à 30 mètres au-dessous; le mélange est constitué par deux tiers d'eau du Ragas pour un tiers d'eau Saint-Antoine. En hiver, le bassin inférieur ne reçoit et n'émet que de l'eau du Ragas.

C'est du bassin inférieur que part toute la canalisation urbaine.

L'eau des sources du Ragas a seule été soumise à l'analyse chimique. Les résultats que voici ont permis à M. Coreil de conclure qu'au point de vue chimique, cette eau « doit être considérée comme une excellente eau potable ».

Il n'y a ni ammoniacque, ni phosphates, ni nitrites; il y a seulement des traces de nitrates; pas de magnésie.

Les résultats, exprimés en grammes et par litre, sont pour les substances dont l'analyse a révélé la présence :

Chlore en NaCl	0,0175
Acide sulfurique en SO ⁴	0,0227
Silice (SiO ²)	0,006
Chaux en CaO	0,062
Matière organique en O en solution alcaline . .	0,0016

L'analyse bactériologique quantitative des eaux du tunnel du Ragas (A) et des bassins supérieur (B) et inférieur (C) a donné, à

M. Coreil les résultats suivants, la numération des colonies étant faite deux à trois jours après l'ensemencement.

DATE du prélèvement.	OBSERVATIONS météorologiques.	NOMBRE DES COLONIES par cent. cubes.		
		A	B	C
26 déc. 1891.	Pluie, vent.	21	33	33
5 janv. 1892.	Temps couvert, froid.	25	57	59
15 janv. 1892.	Pluie.	256	"	120
23 fév. 1892.	Pluie.	369	442	313
5 mars 1892.	Beau temps, froid.	67	60	76
12 mars 1892.	Très beau temps.	35	32	35
17 mars 1892.	Vent d'est.	33	32	35
24 mars 1892.	Très beau temps.	31	30	35
20 avril 1892.	Beau temps. Mistral.	18	21	255

Sauf dans l'eau du réservoir supérieur, le 20 avril 1892 jamais l'analyse qualitative n'a révélé dans aucun échantillon, la présence de bacillus coli.

M. Coreil en conclut que les eaux du Ragas, comme celles de la Foux, qui ont la même origine et qui ont donné des résultats identiques, les 12, 17, 24 mars et 20 avril doivent être considérées comme bonnes.

Notons toutefois que la recherche du B. coli a été faite par M. Coreil, en suivant une technique imparfaite (1892) consistant dans l'isolement sur plaques des colonies du B. coli, qui étaient ensuite réensemencées et étudiées en bouillon phéniqué, lactosé et sur pomme de terre.

Analyses de M. le Dr L. Simond (septembre 1908). — M. le Dr Simond, sous-directeur de l'école d'application du service de santé des troupes coloniales de Marseille fit, en septembre 1908, des analyses bactériologiques et chimiques d'échantillons d'eau prélevés au milieu du tunnel du Ragas. La numération des colonies bactériennes aérobies, dix à quinze jours après l'ensemencement des plaques donna, en moyenne, par centimètre cube, 64 et 52 colonies le 3 septembre, 86 colonies le 15 septembre et 40 colonies le 30 septembre. Il avait plu entre les prélèvements des 3 et 15 septembre.

Aucun de ces échantillons ne contenait ni bacille d'Eberth ni bactérium coli (bouillon phéniqué et gélose de Conradi-Drigal-ki). L'inoculation intrapéritonéale de ces eaux au cobaye et au lapin demeura sans effet.

Au point de vue chimique, ces eaux ne contenaient pas de nitrites; elles ne renfermaient que 5 milligrammes de nitrates et 0 millig. 3 de matières organiques en oxygènes en milieu acide.

M. le Dr Simond conclut de son analyse que l'eau du Ragas doit être considérée comme très pure et excellente. Il fait observer que des pluies légères n'ont modifié ni sa composition chimique, ni sa

teneur microbienne. Il est possible, cependant, que cette teneur augmente en saison pluvieuse; mais il n'en faudrait pas, pour cela, suspecter cette eau: sa meilleure sauvegarde est sa provenance de coteaux incultes et inhabités, même si l'eau filtre trop vite pour être épurée. Il faut donc veiller à la protection des plateaux d'où proviennent les eaux du Ragas et du vallon du Ragas.

Analyses de M. le D^r Blanchard 8 mai 1911. — M. le D^r Blanchard, directeur du Bureau municipal d'Hygiène de Toulon a pratiqué le 8 mai 1911, par beau temps, des analyses comparatives d'échantillons d'eau prélevés à l'extrémité aval de la conduite du Ragas, en bordure de la route et en amont du barrage, au milieu du lac de retenue des eaux.

a) L'échantillon prélevé à 0 m. 20 de profondeur, à l'extrémité aval de la conduite du Ragas, en bordure de la route, renfermait, par centimètre cube, 150 colonies au huitième jour et 700 au douzième jour. Elle renfermait en outre, 10 bacterium coli par litre.

b) L'échantillon prélevé vers le milieu du lac de retenue des eaux, à 20 mètres du bord et à 0 m. 20 de profondeur renfermait, par centimètre cube, 900 colonies le huitième jour; douze jours après l'ensemencement, la liquéfaction de plaques de gélatine empêchait toute numération des colonies. Cette eau ne renfermait aucun bacterium coli dans 100 centimètres cubes d'eau, mais les cultures avaient une mauvaise odeur.

De ces analyses comparatives, M. le D^r Blanchard conclut que l'eau de la conduite du Ragas est peu souillée et peut être déclarée potable, mais non sans réserves: la présence du colibacille, indice d'une pollution par des eaux de ruissellement ayant pu passer sur des déjections animales ou humaines, doit faire déclarer suspecte l'eau analysée, et faire surveiller le bassin de répartition des eaux pluviales.

Quant à l'eau du lac de retenue, on peut la considérer comme potable, avec cette réserve que sa haute teneur microbienne doit la faire surveiller et protéger contre les eaux de pollution.

Analyses de M. le D^r Defressine (9 mai 1911). — Le lendemain du jour où M. le D^r Blanchard avait prélevé des échantillons d'eau destinés à l'analyse dont nous venons de mentionner les résultats, M. le D^r Defressine, médecin de la marine, chargé du laboratoire de bactériologie de la marine, préleva, à son tour, trois échantillons d'eau. Comme M. le D^r Blanchard, il en préleva un à la tête aval du tunnel du Ragas, et un autre au milieu du lac de retenue des eaux; il en préleva, en outre, un troisième à la décharge ouest du barrage de Dardennes. Voici les résultats de ces analyses:

a) L'échantillon prélevé à la tête aval du tunnel du Ragas, dans le regard, à 0 m. 30 de profondeur, donna, huit jours après l'ensemencement, 165 colonies par centimètre cube; ultérieurement, les

plaques se liquéfièrent : odeur fétide des cultures. Cet échantillon renfermait 10 coli-bacilles par litre.

b) *L'échantillon prélevé à la décharge ouest du barrage de Dardennes* donna, six jours après l'ensemencement, 1.624 colonies par centimètre cube; ultérieurement les plaques se liquéfièrent. Odeur fétide des cultures. Cet échantillon renfermait 10 colibacilles par litre.

c) *L'échantillon prélevé dans l'eau du barrage de retenue au milieu de la nappe, à 2^m30 de profondeur, la plus grande profondeur de l'eau atteignant alors 17 mètres, donna, au bout de six jours, 1021 colonies par centimètre cube. Liquéfaction ultérieure des plaques. Odeur fétide des cultures. Pas de colibacilles dans 137 centimètres cubes d'eau.*

De ces analyses M. le D^r Defressine conclut :

a) *L'eau de la tête aval du tunnel est faiblement souillée et ne contient qu'une faible proportion de colibacilles, donc « pas de conclusion absolument défavorable relativement à la consommation alimentaire; mais elle est l'indice d'une contamination d'origine fécale; cette contamination, sujette à des variations quantitatives et qualitatives, et susceptibles d'entraîner la pollution par des germes dangereux, de même origine, doit faire considérer l'eau en question comme suspecte. »*

b) *L'eau de la déchargé ouest du barrage est très souillée : la présence des bactéries de putréfaction et du colibacille comporte un jugement nettement défavorable relativement à sa qualité alimentaire. Toutefois, M. le D^r Defressine fait des réserves sur l'interprétation des résultats de l'analyse de cet échantillon, à cause des conditions particulières et insuffisamment strictes de son prélèvement.*

c) *L'eau du bassin barragé a une « teneur générale en germes assez élevés. Elle ne comporte toutefois, en l'absence de colibacilles, de réserve, relativement à sa valeur alimentaire, que du fait du degré de ce peuplement bactérien et de la souillure par des espèces provenant vraisemblablement de matières organiques en décomposition. »*

Analyse de M. Bonjean (21 juin 1911). — M. Bonjean, chef du laboratoire du Conseil supérieur d'hygiène publique de France, pratiqua six semaines après MM. les D^{rs} Blanchard et Defressine des analyses comparatives d'échantillons d'eau prélevés à la tête aval du tunnel du Ragas et dans le bassin barragé de Dardennes. Il avait plu quelques jours auparavant, les 13 et 14 juin. Voici les résultats de ces analyses :

a) *L'échantillon prélevé à la tête aval du tunnel du Ragas, à 0^m30 de profondeur, donna, quinze jours après l'ensemencement 25 colonies par centimètre cube et environ 10 colibacilles par litre.*

b) *L'échantillon prélevé au milieu du bassin barragé de Dardennes, à*

0^m30 de profondeur (la hauteur totale de l'eau dans ce bassin étant de 18 mètres), donna quinze jours après l'ensemencement 11 colonies par centimètre cube. Cet échantillon ne contenait pas de colibacilles dans 100 centimètres cubes d'eau.

Analyse de M Camo (28 juin 1911). — Une semaine après, M. Camo, de Marseille, expert désigné par le Conseil de préfecture du Var, constata que le niveau des eaux dans le bassin barragé atteignait la cote 110,19 (l'eau y atteignait donc la hauteur maxima d'environ 20 mètres).

L'échantillon d'eau destiné à l'analyse chimique fut prélevé au milieu du bassin barragé : il ne renfermait ni nitrates, ni nitrites, et seulement moins de 0 milligr. 3 d'ammoniaque; la matière organique évaluée en oxygène emprunté au permanganate s'y trouvait dans la proportion de 1 milligr. 5 en milieu acide et de 1 milligr. 3 en milieu alcalin.

L'échantillon d'eau destiné à l'analyse bactériologique fut prélevé le lendemain 29 juin, au milieu du bassin barragé, et à la profondeur d'environ 0^m30. L'analyse quantitative révèle, seize jours après l'ensemencement, la présence de 214 colonies par centimètre cube. L'analyse qualitative n'y révèle la présence que de 7 colibacilles par litre.

De ses analyses M. Camo conclut que les eaux de retenue du bassin barragé de Dardennes doivent être considérées comme très potables; que, malgré la présence de quelques colibacilles, l'hypothèse d'une pollution par les matières fécales peut et doit raisonnablement être écartée; mais que, toutefois, la teneur assez élevée en matières organiques oblige à exercer une surveillance assez étroite.

Interprétation des résultats des analyses précédentes. — Nous avons dit tout à l'heure qu'on avait eu tort de comparer entre eux les résultats de ces analyses, parce qu'ils n'étaient pas comparables.

En effet, au point de vue de la richesse des eaux en colonies bactériennes, on ne peut comparer entre eux les chiffres donnés par des numérations faites au bout de huit jours ou de quinze jours et plus.

Certaines cultures ont été faites sur plaques de gélatine, à la température eugénésique de 18 à 20 ou 22 degrés. Ces colonies bactériennes s'y sont développées en très grand nombre, mais la liquéfaction rapide de la gélatine en a généralement rendu la numération impossible au delà du huitième jour (analyses de Blanchard et Defressine).

D'autres cultures ont été faites sur plaques de gélose (ana-

lyses de Simond, Bonjean, Camo) à la température plus élevée de 38 degrés environ, moins favorable au développement des bactéries de l'eau : les colonies y ont été moins nombreuses, et la numération a pu en être faite longtemps après l'ensemencement, au moins quinze jours après.

Comment comparer entre eux les résultats de ces analyses quantitatives?

La recherche qualitative du bactérium coli a été effectuée par divers procédés sur des quantités d'eau trop variables pour qu'on puisse comparer entre eux les résultats obtenus par les divers bactériologistes qui ont fait cette recherche, tant au point de vue de la présence même du colibacille que de l'évaluation de son abondance dans un litre d'eau.

On a donc tort d'attribuer à la présence de ce colibacille une importance excessive, alors surtout qu'il paraît se trouver en très petite quantité dans l'eau examinée, en négligeant presque le nombre des colonies bactériennes.

Aussi ne pouvons-nous souscrire à l'opinion de M. le D^r Vidal qui estime que les 8 et 9 mai, lors des analyses de MM. Blanchard et Defressine, les eaux du Ragas étaient moins pures que celles du réservoir.

Il est vrai que les analyses de MM. Blanchard, Defressine, Bonjean, Camo, révèlent la présence du colibacille dans l'eau du tunnel du Ragas, et de la décharge du bassin barragé, et son absence dans l'eau prélevée au milieu de ce bassin, et à quelques centimètres de la surface.

Mais cette constatation n'a que peu de valeur, étant donné la rareté des colonies colibacillaires rapportées au litre d'eau, et surtout les bons résultats de l'analyse chimique, principalement en ce qui concerne les nitrates, les nitrites et les matières organiques.

M. le D^r Vidal donne, de ces résultats, l'interprétation suivante : Les eaux du Ragas, dit-il, sont contaminées par celles du réservoir, puisqu'elles ne contenaient pas de colibacille avant la retenue des eaux dans le bassin barragé, et qu'elles en contiennent actuellement, alors que les eaux du réservoir prélevées en surface n'en contiennent pas, et que celles prélevées au fond, à la décharge (analyse Defressine) en contiennent.

Nous ne croyons pas pouvoir souscrire à cette interprétation.

de M. le D^r Vidal, parce que la contamination de la réserve souterraine où plonge le tunnel du Ragas, par les impuretés accumulées par sédimentation au fond du réservoir superficiel, et refoulées dans la réserve souterraine par la pression de la masse d'eau du bassin barragé, aurait été suivie non seulement du passage du colibacille, mais aussi des autres bactéries aquatiles dans le tunnel du Ragas. Or, les analyses de M. le D^r Defressine nous montrent précisément que, si les eaux du Ragas contiennent des colibacilles, elles contiennent beaucoup moins de bactéries d'autre espèce que celles du réservoir.

Il est d'ailleurs évident que, pour admettre l'interprétation de M. le D^r Vidal, il eût fallu qu'une analyse des eaux de l'exutoire du Ragas, à leur surface, y mit hors de doute l'absence du colibacille : cette recherche n'a précisément pas été faite.

M. le D^r Simond a d'ailleurs prévu cette hypothèse, l'a discutée, et a montré qu'elle n'était guère admissible. « On doit, dit-il, se demander si l'existence d'une collection d'eau à ciel ouvert, communiquant par un certain nombre de conduits naturels avec le réservoir souterrain, ne constituera pas une source de pollution pour ce réservoir ? » Il ne le pense pas, parce que, ajoutait-il, « jusqu'à présent cette source de pollution a existé, attendu que si ces diaclases permettent des émergences en hiver et au printemps, elles constituent des bouches d'absorption pour l'eau de ruissellement provenant des pluies d'été. Donc, la création, au-dessus de ces bouches d'un bassin parfaitement protégé contre la pénétration des eaux de ruissellement, supprimera la source de pollution actuelle. »

En somme, si les analyses dont nous avons résumé les données ne sont guère comparables entre elles, nous pouvons néanmoins tirer de chacune d'elles la conclusion que les eaux analysées ne paraissent pas profondément souillées, mais qu'il y a lieu néanmoins de les protéger et de les surveiller. Le colibacille lui-même s'y trouve en très faible quantité ; il peut parfaitement provenir non pas de l'homme, mais simplement de crottes de brebis ou de chèvres entraînées par quelque fissure. C'est, d'après une enquête du ministère de la Guerre, en mai 1911, ce qui paraît s'être produit pour la source du Riou alimentant Antibes.

La présence de ce bactérium coli en petit nombre justifierait-

elle les grandes dépenses complémentaires et les complications d'une installation épuratoire ?

Nous ne le pensons pas, et nous estimons que tout ce qui a été révélé jusqu'ici par les analyses chimiques et bactériologiques n'apparaît dangereux qu'en théorie, et demeure pratiquement négligeable, sous réserve des mesures de préservation et de surveillance que nous formulons sous forme de conclusions cette étude :

V. — CONCLUSIONS.

- 1° Renoncer au tamponnement des exutoires ;
- 2° Achever et cimenter le fossé de colature ;
- 3° Achever l'engrillagement et le prolonger jusqu'au Ragas pour transformer le ravin du Ragas en périmètre de protection interdit au public et bien surveillé ;
- 4° Acheter et fermer les Olivières ;
- 5° Murer l'entrée du petit Ragas des Olivières et les fissures environnantes ;
- 6° Voûter les Ragas-des-Aigles et de la Galère ;
- 7° Supprimer le petit batardeau établi à 97^m50 au fond du réservoir ;
- 8° Etablir une nouvelle prise vers 103 mètres d'altitude ;
- 9° Etablir la vidange du réservoir à la plus basse cote possible ;
- 10° Faire procéder régulièrement toutes les semaines à des analyses bactériologiques quantitatives et qualitatives (notamment en ce qui concerne la recherche du bacille coli et des bacilles typhiques et paratyphiques) dans des échantillons d'eau simultanément prélevés :
 - a) Dans le gouffre du Ragas quand il déverse, et, si possible, dans le gouffre de la Foux ;
 - b) Dans la conduite du Ragas immédiatement à l'aval du barrage ;
 - c) Dans le bassin barragé ;
 - c' En son centre, à 25 à 30 centimètres au-dessous de la surface d'eau ;
 - c'' Au voisinage le plus immédiat possible de la prise d'eau établie dans le réservoir à la cote 103.

Ces analyses bactériologiques devront porter indications de la température de l'air et de l'eau, et des conditions météorologiques du jour même du prélèvement et des jours précédents.

Elles seront effectuées conjointement par chacun des services intéressés : le laboratoire du Bureau municipal d'hygiène de Toulon, le laboratoire de bactériologie de la marine, le laboratoire de bactériologie de la guerre.

Les résultats de ces analyses bactériologiques hebdomadaires seront, au bout d'une année, communiqués au Conseil supérieur d'Hygiène publique ;

11^e Supprimer l'usage de la source Saint-Antoine que l'on doit considérer, comme dangereux pour la santé publique ;

12^e Interdire l'épandage d'engrais humain sur les coteaux formant les rives du réservoir ;

Enfin il faudra se résoudre à un procédé d'épuration, si les analyses fréquentes révèlent une proportion de *coli-bacilles* réellement inquiétante.

Cette dernière éventualité paraît bien peu réalisable, si les desiderata ci-dessus sont remplis scrupuleusement¹.

M. LE PRÉSIDENT. — Au nom de la Société, je remercie vivement MM. Mosny et Martel de leur très intéressante communication.