

LES EAUX D'ALIMENTATION

DE

LISBONNE

PAR

Paul Choffat.

SOMMAIRE.

AVANT-PROPOS.

I. — *Eaux des alluvions, Eaux du Tertiaire et Eaux thermales de Lisbonne.*

A. Dépôts superficiels.

B. Tertiaire fluvio-marin (Pliocène. — Miocène. — Eaux profondes du Tertiaire. — Conglomérats lacustres. — Composition).

C. Formation basaltique.

D. Eaux thermales.

II. — *Eaux des terrains crétaciques.*

A. Crétacique dans l'enceinte de la ville.

B. Eaux des Aguas-livres. — (Diverses provenances. — Modifications pendant le parcours. — Comparaison à différentes époques. — Température).

III. — *Eaux du Jurassique.*

IV. — *L'eau livrée au consommateur.*

Variations suivant les saisons. — Influence pluviométrique sur la composition. — Température. — Qualités hygiéniques. — Quantité d'eau par habitant.

Considérations finales et tableaux comparatifs.

AVANT-PROPOS

Pendant ces dernières années, les eaux de Lisbonne ont attiré l'attention de divers observateurs. Ce furent d'abord, en 1893, quelques remarques sur la température du sol et des sources ordinaires et thermales de Lisbonne, publiées par l'auteur de ces lignes (1), puis, à peu près simultanément, des considérations historiques et techniques par M. A. Pinto de Miranda Montenegro, ingénieur de l'État auprès de la Compagnie des eaux, et par M. J. F. N. Delgado (2); des études bactériologiques, encore inachevées, par le Dr. Camara Pestana (3) et une étude chimique par le Dr. H. Mastbaum (4).

C'est cette dernière publication que nous aurons surtout en vue dans le travail qui suit.

Elle comprend les parties suivantes :

Avant-propos, par R. Larcher Marçal, directeur de la station chimico-agricole de Lisbonne.

Résumé des conditions hydro-géologiques de la ville de Lisbonne, par Paul Choffat.

Mémoire sur l'alimentation d'eau de la ville de Lisbonne, par le Dr. H. Mastbaum.

Ce dernier mémoire est divisé en trois chapitres : 1^o Histoire de l'alimentation de Lisbonne, 2^o État actuel de l'alimentation et 3^o Étude analytique des eaux.

Nous ne résumerons que ce qui intéresse spécialement le géologue, tout en entrant parfois dans plus de détails que n'en contient l'ouvrage précité.

Lisbonne est alimenté par des eaux de trois provenances : celles qui

(1) *Contributions à la connaissance géologique des sources minéro-thermales des aires mésozoïques du Portugal*. — Lisbonne, Ministère des travaux publics, etc. 1893, 8^o, 136 p., 1 pl.

(2) *Revista de Obras publicas e minas*, Lisboa, 1893, p. 455; 1894, p. 72 et 174 et 1895, p. 334 et 472.

(3) *Revista de medicina e cirurgia*, 1894.

(4) *Boletim da Direcção geral de agricultura*: 6^o anno, n^o 1, gr. 8^o, 175 p., 4 pl. — Lisboa, Imprensa national, 1895.

naissent dans l'enceinte de la ville, celles qui y sont amenées depuis le N.-O. (eaux des Aguas-livres) et celles qui viennent du N.-E., ou eaux d'Alviella.

Les premières proviennent des alluvions, des terrains tertiaires et en faible quantité du Crétacique. Les deuxièmes sont fournies en partie par des sources naissant dans les conglomérats lacustres et la nappe basaltique, et, en proportion beaucoup plus forte, par des sources naissant dans le Crétacique. Enfin, les troisièmes proviennent d'une source ayant une longue circulation à travers les terrains jurassiques.

M. Mastbaum ayant en vue l'hygiène, examiné les eaux d'après leur provenance, tout en suivant autant que possible l'ordre chronologique. Notre point de vue étant différent, nous diviserons les sources d'après l'âge des terrains qui leur donnent naissance, tout en maintenant le groupement par provenances.

M. Mastbaum donne pour presque toutes ses analyses la *composition élémentaire* (résultats directement obtenus), et la *composition systématique*, ou combinaison des éléments en sels, obtenus par le calcul. Afin de ne pas donner trop d'étendue à ce travail, je n'ai porté que cette dernière donnée aux tableaux comparatifs qui terminent cette notice. Assurément, ces calculs sont en partie hypothétiques, mais ce désavantage disparaît du moment que c'est la même personne qui a calculé la recomposition en sels pour toutes les analyses que l'on compare. J'ai du reste fait de nombreuses références aux nombres indiquant les corps simples.

Les *poids* sont indiqués en milligrammes; j'ai en général supprimé la décimale, indiquée par l'auteur. Lorsque je parle de *résidu* il s'agit toujours du résidu d'un litre, desséché à 150°.

I

EAUX DES ALLUVIONS, EAUX DU TERTIAIRE, ET EAUX THERMALES DE LISBONNE.

Sous le rapport de la provenance, ces eaux appartiennent à deux catégories, celles qui naissent dans l'enceinte de la ville, et les eaux de la nappe basaltique et des conglomérats lacustres, amenées en ville par l'aqueduc des Aguas-livres, mélangées aux eaux de la contrée de Bellas. Nous leur donnerons la désignation de: eaux de la contrée de Porcalhota.

M. Mastbaum a en outre pris en considération quelques sources tertiaires de la rive gauche du Tage.

Nous distingüerons les groupes stratigraphiques suivants :

Dépôts superficiels et alluvions. — Lisbonne.

Pliocène. — Rive gauche du Tage.

Miocène. — Lisbonne et rive gauche.

Conglomérats lacustres (Oligocène). — Lisbonne et Porcalhota.

Nappe basaltique. — Lisbonne et Porcalhota.

OROGRAPHIE DE LISBONNE

Jetons d'abord un coup d'œil sur l'orographie de Lisbonne.

La ville de Lisbonne est construite sur une voûte parallèle au Tage (1), formée par un noyau de terrains crétaciques, recouverts en majeure partie par les strates tertiaires, qui offrent trois divisions principales : la formation basaltique, les conglomérats lacustres et le Tertiaire marin.

De nombreux ravins transversaux coupent partiellement cette voûte pour apporter leur tribut au Tage, mais un seul, la vallée d'Alcantara, la traverse complètement en l'entaillant profondément, et par conséquent en mettant à découvert les strates les plus profondes.

Le terrain situé à l'Ouest de cette vallée est en majeure partie recouvert par la formation basaltique, dont les déchirures laissent par places apparaître le Crétacique, mais on n'y voit pas de strates supérieures au basalte.

Dans la partie située à l'Est du val d'Alcantara, le Crétacique et le Basalte ne forment que deux affleurements de faibles dimensions (Rato et Valle-de-Pereiro), tandis que la presque totalité est couverte par le Tertiaire marin.

Nous ferons notre examen en procédant des terrains les plus récents aux plus anciens.

A. — Dépôts superficiels.

Ces dépôts sont de deux catégories, essentiellement différentes. Les uns sont les *dépôts meubles sur les pentes*, formés par le ruissellement de l'eau pluviale, tandis que les autres sont des dépôts fluvio-marins, déposés par le Tage. Tous deux sont généralement recouverts par des remblais de toutes sortes, dus à l'action de l'homme.

La nature et l'épaisseur des dépôts des eaux sauvages dépendent

(1) Pour plus de détails, voyez : CHOFFAT, *Étude géologique du Tunnel du Rocio, contribution à la connaissance du sous-sol de Lisbonne*, 1889, p. 63.

naturellement de la nature du terrain auquel ils sont empruntés. Dans la rue da Bica de Duarte-Bello, qui est un thalweg, on a pu observer en 1891, lors du creusement des canaux, 0^m.50 à 1 mètre de remblais reposant sur un sable argileux, découvert par places jusqu'à la profondeur de 2 mètres à 2^m.50, et montrant jusqu'à la base de rares coquilles terrestres actuelles et quelques fragments de tuiles, sans quoi on aurait facilement pu le confondre avec certains bancs du Miocène, qui présentent le même aspect.

Il est évident que ces dépôts poreux, de même que les remblais, jouent le rôle d'éponges, régularisant l'écoulement de l'eau, laquelle a le temps de se charger des impuretés qu'ils contiennent.

Les *anciennes alluvions du Tage* jouent un rôle hydrographique encore plus important, aussi bien sur ses rives que surtout dans les estuaires que ce fleuve formait jadis à l'emplacement actuel du Rocio et dans le val d'Alcantara.

Des sondages effectués dans cette dernière vallée ont montré que ces dépôts remontent à l'époque quaternaire; il en est probablement de même au Rocio, où ils ont continué à s'accumuler jusque dans les temps historiques. Enfin, le tremblement de terre de 1755 vint fournir suffisamment de matériaux pour un nivellement définitif de cette vallée.

Les puits s'alimentant aux alluvions du Tage peuvent être groupés en trois catégories :

a) De nombreux puits sont foncés dans les limons déposés par le Tage sur ses rives, et dans l'ancien estuaire s'étendant de la place du Commerce au théâtre de D. Maria. Leur profondeur varie de 3 à 10 mètres, sans que ces différences soient en rapport avec les différences de température de l'eau, ni avec le rapprochement ou l'éloignement des bords de l'estuaire. Quoique l'étude de ces eaux soit à peine ébauchée, il paraît certain qu'il y a plusieurs nappes d'eau dans ces alluvions, et que quelques puits les traversent complètement pour atteindre les strates tertiaires.

b) Les puits qui sont le plus rapprochés de la rive actuelle, entre la place du Commerce et la rue de S. Bento, sont caractérisés par une forte teneur en acide sulfhydrique (1). Ils paraissent correspondre à la zone de plus grande épaisseur des limons du Tage, mais ici encore, il faut avouer que les renseignements sur les terrains rencontrés lors du fonçage des puits sont absolument insuffisants et qu'il est difficile

(1) P. CHOFFAT, *Contributions à la connaissance géologique des sources minéro-thermales*, p. 46 à 52.

d'expliquer la présence de sources sulfhydriques à quelques pas de sources d'eau potable.

On peut évoquer la présence de courants souterrains descendant des collines tertiaires, mais il est évident que des observations rigoureuses seraient préférables à des hypothèses. Ces observations ne pourront être faites qu'occasionnellement.

c) La partie inférieure de la vallée d'Alcantara présente des alluvions marines, d'âge quaternaire, recouvertes par les dépôts des eaux sauvages.

Dans l'étude du tunnel du Rocio, j'ai fait connaître les résultats d'un sondage exécuté dans la fabrique de glace, à 350 mètres de la rive du Tage. Ce sondage avait été arrêté par un accident, mais un nouveau sondage, postérieur à cette publication, a confirmé les résultats du premier, et a montré que ces alluvions marines ont une épaisseur d'environ 19 mètres et atteignent la profondeur de 16^m.50 au-dessous des plus basses eaux du Tage.

Ces alluvions sont formées par des bancs de sable alternant avec des bancs de limon ; elles contiennent une quantité d'eau considérable, qui, à ce que l'on m'affirme, subit l'effet des marées. Je rappellerai que l'eau douce contenue dans du sable fin peut être en contact avec l'eau salée, et refoulée par cette dernière à chaque marée, sans qu'il y ait mélange des deux liquides : fait connu depuis fort longtemps, mais trop souvent oublié.

Plusieurs puits utilisent l'eau de cette nappe. C'était certainement le cas pour le puits, actuellement détruit, du Largo-dos-Tanques, à 250 mètres en aval du sondage de la Compagnie frigorifique. D'autres, situés plus haut, sont probablement aussi dans le même cas, par exemple celui de Ponte-Nova ; mais il faut faire exception pour celui de la « fabrica de chitas », car étant sur les bords de la vallée, et non pas dans la partie basse, il attaque directement le Crétacique.

Je ne connais pas les conditions géologiques des puits du Calvario et de Ponte-d'Algès, mais selon toutes probabilités, ils se trouvent aussi dans les alluvions marines.

M. Mastbaum a analysé les eaux de quinze puits de la partie basse de la ville, elles contiennent toutes une énorme quantité de matières dissoutes, principalement des chlorures, des nitrates et des sulfates.

Le poids du résidu desséché à 150° varie entre 1721 et 5358 milligrammes par litre.

Les eaux de ces puits avaient été en partie analysées en 1886 par le Dr Emmerich (1), qui, les comparant aux eaux des autres villes de

(1) *Archiv für Hygiene*, 1886, et *Jornal de pharmacia e chimica*, 1887, p. 28, 59 et 140.

L'Europe, ne trouvait que celles de Gibraltar montrant une pollution aussi forte. Elle était même plus forte à Gibraltar, car le résidu atteignait le poids de 11 grammes par litre.

Le Dr Emmerich attribuait la forte teneur en chlorure de sodium au voisinage de l'eau salée du Tage, tant par infiltration à marée haute que par l'eau salée entraînée par le vent. M. Mastbaum admet au contraire que cette teneur provient du lessivage des matières fécales contenues dans le sol. Comme preuve il fait remarquer que l'acide nitrique est de 50 à 100 fois plus abondant que dans l'eau de mer et que la relation entre le chlorure de sodium et l'acide nitrique se rapproche souvent de 1 : 0,6 et même de 1 : 0,8, relation observée généralement dans les eaux souillées par des matières fécales.

La composition des eaux de ces puits a subi de notables modifications pendant les six années qui séparent ces deux séries d'analyses. Le Dr Emmerich avait trouvé que les eaux des puits situés sur les arêtes ou sur les versants sont moins impures que celles des puits situés dans les thalwegs, M. Mastbaum démontre le contraire.

Il fait voir, en outre, que ces eaux de puits sont moins impures qu'en 1886. Les minima et maxima trouvés en 1886 sont de 3819 et 6898, ils sont actuellement de 1721 et 5358. Un seul puits fait exception, celui de la rue de Magdalena, n° 185, dont le résidu était de 3819 et qui est actuellement de 5038.

Comme causes de cette diminution générale d'impureté, l'auteur donne l'amélioration de la canalisation des égouts et les grandes quantités d'eau pure introduites dans la ville depuis l'achèvement de la canalisation d'Alviella.

On peut admettre que la forte proportion de chlorure de sodium ne provient pas uniquement des impuretés amenées quotidiennement dans le sol, mais qu'elle provient en partie de la salure primitive de ces alluvions. Dans ce cas on serait tenté d'admettre que la diminution de salure des eaux provient de ce que la salure du sol diminue de plus en plus, mais cette explication doit être mise de côté en considération du court espace de temps (six années) pendant lequel s'est produit un changement aussi considérable.

M. Mastbaum réunit comme sous-groupe s'alimentant dans le quaternaire, quatre puits dont l'eau est moins minéralisée. Ce sont les puits du Calvario et de Ponte-d'Algès, que j'ai mentionnés avec doute sous la rubrique C, et deux puits de la basse ville (rua da Prata, 8, et rua dos Capellistas, 53) dont la position ne me paraît pas différer des puits mentionnés en A.

Je croirais plutôt à une de ces bizarreries de distribution des eaux

dans les alluvions du Tage, analogue à celle qui amène des eaux fortement chargées d'acide sulfhydrique à se trouver à quelques pas de puits dont l'eau n'en présente pas.

Il est incontestable que certains puits reçoivent des infiltrations d'eau du Tage.

Le résidu de l'eau de ces quatre puits varie entre 678 et 1536 milligrammes (Calvario), cette dernière eau étant la plus chargée en nitrates et en ammoniaque de toutes les eaux de Lisbonne.

Je n'ai fait figurer au tableau comparatif que les eaux de cette dernière catégorie (rua da Prata, 8, et Pont-d'Algès), la minéralisation des autres ne pouvant pas être attribuée au terrain.

En 1855, l'ingénieur Pezerat évaluait le volume quotidien des eaux de puits à environ 4000 mètres cubes.

Ces eaux ont perdu leur importance depuis l'introduction des eaux de l'Alviella, et avec la diminution de leur emploi on observa une diminution de la mortalité due aux fièvres typhoïdes, qui depuis lors n'atteint plus la moitié de ce qu'elle était auparavant (1).

Cette mortalité augmenta de nouveau en 1892 et 1893, tout en restant dans les nouvelles limites, et cette proportion se maintenait en 1895, lorsque l'apparition d'une épidémie cholériforme fit décréter la fermeture de tous les puits. La mortalité diminua immédiatement, mais au bout de six mois, l'épidémie cholériforme ayant disparu, on cessa de veiller à l'exécution du décret, et il y eut immédiatement une nouvelle augmentation du nombre de décès dus aux fièvres typhoïdes.

Actuellement l'emploi de ces eaux est réglementé par la police sanitaire.

B. — Tertiaire fluvio-marin.

Le *Miocène* forme le principal niveau aquifère de Lisbonne. Comme nous l'avons vu, ses strates ne se sont conservées qu'à l'Est de la vallée d'Alcantara, et comme elles sont inclinées approximativement vers l'Est, elles sont d'autant plus récentes que l'on s'avance plus dans cette direction.

Les vingt mètres inférieurs sont principalement argileux, mais ils contiennent pourtant des lits perméables qui fournissent de l'eau : telle est la nappe de Campo d'Ourique, qui alimente Fonte-Santa.

Au-dessus de ce complexe inférieur se trouve une alternance de bancs marneux et d'assises de sable avec quelques couches calcaires ; disposition essentiellement favorable à la production des sources.

(1) A. da Silva Carvalho. *O encerramento dos poços e a febre typhoide em Lisboa.* (Boletim mensal da Delegação de saúde do districto de Lisboa, 1895, p. 92.)

Ce massif miocène est entamé du côté Sud par de nombreuses vallées transversales, dont les principales sont le val de Chellas, celle qui s'étend de Rua nova da Palma à Arroios, et celle qui passe par la rue de Santo-Antão et S. Sebastião da Pedreira.

Les sources sont certainement nombreuses dans tout ce complexe, mais elles sont en général de peu de force, par suite même des nombreux captages dont elles ont été l'objet et de la quantité de puits établis sur tous les points de la ville.

Quelques sources à eaux courantes sont captées à une certaine hauteur sur le flanc des collines ou dans les vallées (val de Chellas, Xabregas, jardin de l'École polytechnique, Bica-Grande, etc.), un grand nombre se fait jour à la plage, à basse marée ; d'autres sont captées un peu plus haut : telles sont celles qui viennent se mélanger aux eaux thermales du groupe des Alcaçarias.

Je ferai une mention spéciale, pour l'eau du Chafariz do largo do Andaluz, qui a souvent été mentionnée comme thérapeutique. Elle provient en majeure partie du trop plein d'un puits situé dans un jardin à l'Est de la rue de S. Sebastião da Pedreira, et en partie de deux petites sources naissant dans la galerie qui relie ce puits à la fontaine.

Sur la rive opposée du Tage, Fonte da Pipa et la source du Ginjal proviennent aussi du Miocène, tandis que les sources puissantes, dites Poço da Romaria, près de l'entrée de la Quinta d'Alfeite, proviennent d'une grande masse de graviers, en général argileux et ferrugineux, qui n'est pas représentée à Lisbonne, et qui appartient au *Pliocène*.

Eaux profondes du Tertiaire. — L'idée de la recherche d'eaux artésiennes dans le Tertiaire de Lisbonne est fort ancienne, et a été émise à plusieurs reprises ; nous la trouvons entre autres dans les écrits du baron d'Eschwege.

Elle a été mise en pratique sans beaucoup de succès à Praça da Figueira (Tunnel du Rocio, p. 28 et 65) ; par contre les résultats ont été plus favorables au Beato (rua direita do Grillo n° 29), à Xabregas, aux pontons de l'Arsenal de la marine et des bateaux à vapeur du chemin de fer du Sud, et dans tous les sondages d'étude du port de Lisbonne, effectués à l'Est de la Place du Commerce.

Dans les uns, l'eau jaillissait au-dessus du niveau du Tage ; dans d'autres elle n'arrivait que jusqu'à une certaine hauteur. Au pont des vapeurs du chemin de fer du Sud (profondeur du forage : 38 mètres au-dessous de la surface du fleuve) l'eau sort naturellement du goulot à marée haute, tandis que l'on est obligé de se servir d'une pompe à

marée basse, ce que l'on ne peut attribuer qu'à la différence de pression exercée par le poids de l'eau suivant les marées.

Cette eau est remarquable par la constance de sa température, qui d'octobre 1892 à janvier 1893 était de 17°, 4, tandis que les puits des alluvions variaient de 17 à 19°, 2.

Conglomérats lacustres. — Ces strates, composées de graviers et d'argiles, sont à peu près réduites à zéro dans la ville de Lisbonne, ou du moins dans les parties de la ville où il est possible d'observer la superposition du Tertiaire marin au Basalte. Elles prennent par contre un grand développement au N.-E. de la ville, entre Campo-pequeno et Bemfica, où elles alimentent plusieurs puits. Quelques sources de cette région sont introduites dans l'aqueduc des Aguas-livres.

COMPOSITION DES EAUX TERTIAIRES. — La composition des eaux provenant des strates tertiaires ne présente pas un groupe homogène, comme c'est le cas pour les eaux alluviales; ce qui tient aux différences de composition des assises tertiaires, et aux différentes proportions de l'infiltration des eaux superficielles.

Comme on doit s'y attendre, les eaux des thalwegs couverts d'habitations, comme le sont les rues des Anjos et de Arroyos, sont toutes polluées, les puits l'étant moins que les eaux courantes. Parmi les plus mauvaises nous citerons la source dite *Bica dos olhos*, réputée pour guérir les maladies des yeux (3880 milligrammes) et la fontaine de la place d'Andaluz (1383). Cette dernière eau passait aussi pour thérapeutique, mais la comparaison de sa densité avec des observations faites en 1867 montre que cette eau a été contaminée à la suite de l'augmentation de la population; ce qui est aussi le cas pour plusieurs autres.

Le val de Chellas étant peu habité, ses eaux sont en général exemptes d'infiltrations, il en est de même de quelques sources de la rive méridionale du Tage, qui sont en grande partie employées pour l'alimentation des navires.

Les tableaux III et III^a de M. Mastbaum (1) nous donnent la composition élémentaire et la composition systématique de douze sources fortement polluées, provenant du Tertiaire, et les tableaux IV et IV^a

(1) Ici, comme plus loin, les références aux tableaux de M. Mastbaum sont destinées au lecteur qui voudrait se reporter à l'ouvrage de l'auteur, mais j'ai reproduit les points principaux dans les petits tableaux partiels et dans les tableaux comparatifs, qui se trouvent les premiers dans le corps et les seconds à la fin de cette notice.

la composition de dix sources, ne l'étant que faiblement ou point du tout.

Nous n'ajouterons rien à ce que nous avons dit sur les sources polluées, puisqu'elles constituent un mélange d'eaux tertiaires et d'eaux superficielles.

Sur les dix sources du tableau n° IV, il faut en éliminer deux qui proviennent de la nappe basaltique: ce sont les puits du cimetière de Belem et la source de la campagne de S^o Antonio, à Algès.

Nous reproduisons en abrégé l'analyse élémentaire de sept sources, comme exemple de différentes catégories, et nous faisons suivre ce tableau de quelques considérations tirées de l'ensemble des analyses de M. Mastbaum.

Nous donnons en outre au tableau comparatif A, les maxima et les minima de la composition systématique.

Sables pliocènes.

1. Sources dites : Poço da Romaria (Alfeite), au Sud du Tage.

Miocène.

2. Puits au val de Chellas (Quinta dos Peixes).
3. Source au Sud du Tage (Fonte-da-Pipa).
4. " " " (largo de Cacilhas).

Puits artésiens.

5. Ouvert dans le Miocène (Beato).
6. " dans le lit du Tage (Arsenal).
7. " " " " (bateaux à vapeur).

	1	2	3	4	5	6	7
Résidu à 150°	430	380	410	303	488	546	526
Chlore.	131	50	72	40	72	95	82
Acide sulfurique	13	22	25	13	28	36	32
» nitrique	24	37	traces	8	traces	0	26
Chaux.	69	104	76	77	152	54	57
Magnésie	22	14	22	20	13	27	19
Silice, fer, alumine	18	31	24	27	28	24	25
Oxydabilité.	4,9	1,2	5,9	1,4	1,8	1,7	1,8
Oxigène dissous C ³	4,06	6,16	5,99	6,93	2,45	1,30	1,61

La différence de minéralisation entre Fonte-da-Pipa et la fontaine de la place de Cacilhas, qui apparaît à peu de distance, étant due au chlorure de sodium, on est en droit de supposer qu'il s'agit de pollution par des matières organiques.

Cette explication n'est pas applicable à l'eau d'Alfeite, encore plus riche en chlorure de sodium (166), quoiqu'elle naisse au pied d'une colline à peu près inhabitée. Comme son point d'émergence est dans les alluvions au niveau du Tage, il faut admettre des infiltrations d'eau salée.

Les eaux artésiennes ont une minéralisation plus forte que celle des eaux courantes, et celles qui naissent sous le lit du Tage sont plus fortement chargées que celles du Beato (488 Beato, à 546 Arsenal).

Pour l'eau du Beato, l'excès provient surtout de sulfate(33) et de carbonate de chaux (248); sa teneur en chlorure de sodium est exactement la même que pour Fonte-da-Pipa (118), et on peut se demander si cette substance ne lui est pas communiquée par des matières organiques, tandis qu'on ne peut pas mettre en doute le mélange d'eau marine aux eaux des forages sous le Tage (chlorure de sodium 123 et 156).

Quoique les deux forages de l'Arsenal et du ponton des chemins de fer du Sud ne soient éloignés que d'une centaine de mètres et soient apparemment dans les mêmes conditions géologiques, leurs eaux présentent des différences singulières.

La première de celles-ci est plus minéralisée, elle contient plus de chlorure de sodium, plus de sulfate de soude et surtout plus de carbonate de magnésie, tandis qu'elle ne contient pas de nitrates, ce qui est le cas pour la deuxième.

Les eaux de ces deux forages contiennent une forte proportion de carbonate de soude (143 et 134), tandis que l'eau du Beato n'en contient presque pas.

Ce sel se présente par contre en assez fortes proportions dans les eaux tertiaires au Sud du Tage (42 à 66), et en faible quantité dans toutes les eaux de Lisbonne.

La *silice* varie entre 15 et 27, nous remarquons que c'est l'eau d'Alfeite qui en contient le moins, quoiqu'elle provienne de sable siliceux, par contre c'est cette eau qui contient le moins de *carbonate de chaux*.

C. Formation basaltique.

La nappe basaltique forme un complexe extrêmement variable d'un point à un autre, autant sous le rapport de la composition pétrographique que sous celui de l'épaisseur.

Elle est formée par une alternance irrégulière de tufs basaltiques, de basalte compacte et de marnes rougeâtres, et sa puissance qui, sur

quelques points, n'atteint pas un mètre, s'élève sur d'autres à plus de 250 mètres.

C'est un terrain fort propice à la recherche de l'eau, car le basalte compacte en contient une forte quantité par absorption (1), et il est en outre divisé par des fentes par lesquelles l'eau s'infiltré jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée soit par les lits de marne qui se trouvent à différentes hauteurs, soit encore, à sa base, par les marnes formant les strates supérieures du Crétacique.

Lorsque l'on a perforé la totalité des strates basaltiques sans trouver de l'eau, on peut considérer comme peine perdue d'entamer le Crétacique.

Dans l'intérieur de la ville, quelques puits traversent le Tertiaire fluvio-marin et atteignent la nappe basaltique. Tels sont les puits situés entre Estrella et la rue Saraiva de Carvalho, tels sont aussi les sondages de la Compagnie du gaz, à l'avenue de la Liberté, et celui de S^a Martha, foré par la municipalité.

Ce dernier a malheureusement été abandonné à la profondeur de 30 à 35 mètres, avant d'avoir atteint la base de la nappe basaltique.

Les sources provenant de cette formation sont fort nombreuses à l'Ouest de la vallée d'Alcantara. Celles de Belem se trouvent dans des terrains passablement habités, tandis que celles qui sourdent au Nord et à l'Ouest de ce quartier se trouvent en général dans des terrains de culture ne présentant relativement que peu d'habitations.

En outre de ces sources, qui ne sont conduites qu'à des distances relativement faibles et qui appartiennent à des particuliers, nous avons à mentionner de nombreuses sources introduites dans l'aqueduc des Aguas-livres. Elles naissent dans l'énorme affleurement basaltique formant un synclinal entre les voûtes crétaciques de Lisbonne et du Monsanto, au Sud, et de Bellas, au Nord.

Les tableaux V et V^a de M. Mastbaum contiennent la composition réelle et la composition systématique de huit sources ou puits situés à l'Ouest de la vallée d'Alcantara. Son tableau VIII nous renseigne sur les principaux éléments de six sources basaltiques de la contrée de Porcalhota.

(1) Le basalte compacte présente deux variétés par rapport à son absorption de l'eau, différence qui se fait sentir dans les pavés basaltiques de Lisbonne. Vus à une distance de quelques mètres, ils présentent à peu près la même couleur par un temps sec, mais par un temps humide les uns noircissent, tandis que les autres conservent le même aspect.

Or l'analogie de ces quatorze eaux est tellement grande que M. Mastbaum a cru y reconnaître un type unique pour les eaux basaltiques, et ce point de vue chimique lui a fait ranger dans le Miocène deux eaux de provenance basaltique : le puits du cimetière de Belem et la source de la Quinta de S^o Antonio à Algès-de-Cima (1), portées au tableau IV.

Nous avons donc l'analyse complète de dix eaux basaltiques et les principaux éléments de six autres, de la même catégorie.

Pour former le tableau suivant, qui résume ceux de M. Mastbaum, nous éliminons trois sources du tableau V, comme étant éminemment polluées (résidu 561 à 641, chlore 82 à 112, etc.) et portons les minima et les maxima des cinq autres au tableau de composition élémentaire et au tableau comparatif. Nous inscrivons aussi à ce dernier tableau la source de la Quinta de S^o Antonio, tandis que celle du cimetière de Belem et celles des environs de Porcalhota ne figurent qu'au tableau analytique : la première parce qu'elle est polluée, et les autres parce que l'on n'en connaît que les principaux éléments.

	ENVIRONS DE		S. Antonio et cimetière de Belem
	Belem (5 eaux)	Porcalhota (6 eaux)	
Résidu à 150°	354 à 502	274 à 393	361 — 542
Chlore	36 à 66	32 à 42	54 — 79
Acide sulfurique	6 à 46		18 — 21
» nitrique	16 à 48	traces	26 — 79
» nitreux	0	0	0 — 0
» silicique	34 à 46		21 — 45
Oxyde de fer et alumine	2 à 4		5 — 3
Chaux totale	76 à 100	36 à 60	95 — 125
Magnésie totale	45 à 99	36 à 49	30 — 40
Ammoniaque	0	0	0 — 0
Oxydabilité	1,3 à 1,7	1,2 à 1,8	1,8 — 2,4
Oxygène dissous, C ⁸	5,92 à 6,88		6,62 — 7,20

Examinons d'abord le type ordinaire, représenté par onze eaux non polluées.

La minéralisation n'atteint pas 400 milligrammes dans les environs de Porcalhota (cinq sources entre 274 et 313, et 393 dans la

(1) Cette source est captée dans les eaux supérieures du basalte, dont les fentes sont remplies par des incrustations calcaires; en outre les marno-calcaires du Miocène ne sont éloignés que d'une centaine de mètres. Celle de Belem est éloignée de tout affleurement calcaire.

sixième), tandis qu'une seule source de Lisbonne est au-dessous de ce chiffre (35,4), les autres variant entre 418 et 502. La différence provient surtout de la chaux et de la magnésie, et non pas du chlorure de sodium comme on devrait s'y attendre, la contrée de Belem étant exposée aux vents salés du Tage, ce qui n'est pas le cas pour celle de Porcalhota.

M. Mastbaum s'exprime comme suit au sujet des eaux des environs de Belem :

« Ces eaux peuvent être considérées comme hygiéniques, pauvres en matières organiques, presque saturées d'oxygène et de minéralisation médiocre. Leur composition est assez variée; dans les unes, les terres alcalines se trouvent principalement sous forme de bicarbonates et dans d'autres sous forme de sels ne se précipitant pas par la cuisson (sulfates, nitrates et chlorures), mais toutes montrent une forte proportion de magnésie par rapport à la chaux.

Dans les groupes précédents, cette relation reste en général au dessous de 1 : 3 et n'atteint que rarement 1 : 2, tandis que dans les eaux basaltiques, elle dépasse considérablement cette dernière proportion et atteint 1 : 1,16 (Tapada da Ajuda). »

La proportion de magnésie est encore plus forte dans les eaux de la contrée de Porcalhota; dans l'une des sources, les deux corps sont en proportion égale, et la magnésie prédomine même dans une autre.

La différence des eaux de la source de Quinta de Santo-Antonio et du cimetière de Belem avec les autres eaux basaltiques, consiste essentiellement en ce qu'elles contiennent davantage de carbonate de chaux (147 et 165 milligrammes). La proportion de la magnésie à la chaux est comme 1 : 3,1.

M. Mastbaum a analysé trois échantillons de roches de la formation basaltique pris à l'Ouest du Val d'Alcantara : 1° les marnes rouges, 2° les cristallisations remplissant les fentes du tuf basaltique, et 3° le basalte compacte. Dans la quatrième colonne, nous portons l'analyse d'un dépôt stalagmitique blanc, couvrant les parois de la galerie non revêtue de l'aqueduc « das Francesas », percé dans le basalte.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Insoluble dans l'acide chlorhydrique	15,05	15,72	67,34	0,06
Oxyde de fer et alumine	peu.	1,58	7,50	0,30
Carbonate de chaux	80,38	71,32	4,74	96,20
Carbonate de magnésie	1,36	7,26	14,86	3,06

Ces trois premières analyses nous montrent une différence notable dans la proportion de magnésie du basalte compacte et des marnes

basaltiques. Comme ce premier est plus abondant et s'imbibe facilement, tandis que les marnes sont imperméables, il est tout naturel qu'une forte proportion de magnésie soit la règle dans les eaux basaltiques, mais les exceptions peuvent s'expliquer par la prédominance locale des marnes.

D. — Eaux thermales.

Comme on ne connaît pas le point d'origine de ces eaux, il serait plus exact de les traiter dans un chapitre spécial, mais l'analogie chimique avec les eaux tertiaires et alluviennes me porte à les réunir dans le même chapitre.

Le château de Saint-Georges, à Lisbonne, est situé sur une colline miocène dont le pied méridional est séparé de la rive du Tage par des alluvions formant une bande étroite.

Des sources thermales naissent en partie au pied même de la roche, en partie dans les alluvions, quelques-unes de ces dernières étant couvertes à marée haute, tandis que les premières atteignent au maximum l'altitude de 4 mètres. Les marées ont de l'influence sur le débit des unes et des autres.

On trouvera des détails sur ces sources dans mes *Contributions à la connaissance des sources thermales* (1); je leur donne la désignation de groupe des Alcaçarias, ancien nom des principales sources.

On peut y reconnaître six sous-groupes, disposés sur une ligne courbe à convexité tournée vers la terre. Les deux extrémités de cette ligne : Chafariz d'El-Rei et Bica-do-Sapato sont distantes de 1010 mètres, tandis que la ligne de thermalité relativement accentuée, de Chafariz d'El-Rei au Largo da Fundição, n'a que 550 mètres.

Ce sont les sources les plus rapprochées de la paroi de rochers qui présentent la plus haute température. En 1892, le maximum observé a été de 30°,9 mais d'après des observations antérieures, il aurait atteint 34°, ce qui tient peut-être à des variations annuelles attribuables au mélange plus ou moins grand d'eaux non thermales.

La température de 31°, correspondant à une profondeur minima de 440 mètres, ces sources sont alimentées par des eaux provenant de strates inférieures au Tertiaire. Il paraît incontestable qu'elles sortent par une dislocation du sol cachée par les alluvions, mais le mélange

(1) *Contributions à la connaissance géologique des sources minéro-thermales des aires mésozoïques du Portugal.* — Lisbonne, Ministère des travaux publics, etc. 1893, 8°, 136 p., 1 pl.

avec des eaux alluviales et les eaux des collines tertiaires se fait dans des conditions ne permettant pas l'isolement absolu de l'eau thermale.

Quelques-unes de ces sources alimentent des établissements thérapeutiques, d'autres sont employées pour l'alimentation de la ville, les unes directement, les autres étant refoulées dans un réservoir, lorsque les eaux venant du dehors sont insuffisantes.

Le débit des quatre sources utilisées par la Compagnie des eaux est évalué à près de 2.500 mètres cubes par 24 heures.

Ces eaux dégagent de nombreuses bulles de gaz auquel M. Mastbaum a trouvé la composition suivante :

Azote : 97,6, oxygène : 0,8, acide carbonique : 1,6.

Il a en outre analysé huit des principales sources. Cinq d'entre elles ont un résidu entre 436 et 538 milligrammes et les trois autres entre 733 et 1330. Ces trois dernières sont fortement polluées et contiennent de 26 à 244 milligrammes d'acide nitrique, tandis que quatre autres en contiennent de 0 à 5, et que la huitième en contient 15.

La forte minéralisation de ces eaux provient du carbonate de chaux et du chlorure de sodium ; ce n'est que dans deux des huit sources qu'il y a prédominance de ce dernier sel, ce que l'on est loin d'attendre de sources traversant les alluvions du Tage.

Nous avons porté au tableau deux des eaux les moins chargées, celle des bains de Baptista, sourdant au milieu des alluvions, et celles du Chafariz d'El-Rei, sourdant au pied du rocher, à l'altitude de 4 mètres. Il est fort curieux de constater que deux eaux de provenances aussi semblables, ayant un résidu total presque identique, peuvent autant varier dans le détail.

Un autre fait assez remarquable est la comparaison de l'analyse de l'eau du Tanque das Lavadeiras, faite en 1852 par J. M. *de Oliveira Pimentel*, avec celle faite quarante années plus tard par M. *Mastbaum*.

La somme des matières fixes n'a presque pas augmenté, 497 pour 516, mais la constitution s'est modifiée. Cette eau contient actuellement plus de chaux, de chlore, d'acide sulfurique et de silice, et moins de soude, de potasse, d'acide nitrique et d'acide carbonique. La même observation a été faite pour d'autres sources, comme nous le verrons plus loin.

Quelques sources de ce groupe ont une minéralisation beaucoup plus grande que jadis ; ce qui provient de pollution par des eaux superficielles.

Mentionnons enfin que les différents griffons qui alimentent le Chafariz d'El-Rei subissent dans leur débit des variations annuelles indépendantes les unes des autres, et qu'ils amènent au jour une quantité considérable de sable quartzeux.

II

EAUX DES TERRAINS CRÉTACIQUES

Nous avons vu que les terrains crétaciques fournissent de l'eau à Lisbonne dans la ville même et dans la contrée de Bellas.

Dans cette dernière contrée ce système présente les groupes pétrographiques suivants, en procédant de bas en haut :

- a) 1^{er} complexe calcaréo-marneux, comprenant la base du Crétacique, d'une puissance de 100 mètres, et se prolongeant inférieurement dans le Jurassique.
- b) 1^{er} complexe de grès et de graviers ; puissance : 100 mètres.
- c) 2^e complexe calcaréo-marneux ; puissance : 225 mètres.
- d) 2^e complexe de grès et de graviers ; puissance : 200 mètres.
- e) 3^e complexe calcaréo-marneux se terminant par les calcaires compactes du Crétacique supérieur : 400 mètres.

A. — Crétacique dans l'enceinte de la ville.

Les affleurements crétaciques de Lisbonne et de ses environs immédiats appartiennent exclusivement au 3^e complexe calcaréo-marneux, et même en majeure partie aux calcaires compactes du sommet.

Les strates inférieures aux calcaires compactes, sont découvertes sur une épaisseur minima de 100 mètres et sont formées par des calcaires marneux, en partie magnésiens, contenant du gypse, et par places des géodes tapissées de cristaux de sulfate de strontiane.

Elles affleurent au Monsanto depuis Cruz-d'Oliveira jusqu'à Santa-Anna, et plus bas, dans la vallée d'Alcantara, depuis Alto-dos-sete-moinhos jusque vers la fabrique de glace (ancienne poudrerie de l'État).

Les calcaires du sommet, d'une trentaine de mètres d'épaisseur, comprennent des calcaires à peu près purs, surmontés de bancs marneux. Leur extension est beaucoup plus grande que celle du Crétacique moyen; ils commencent au Valle-de-Pereiro et s'étendent avec quelques interruptions jusqu'à Belem.

Les roches du Crétacique sont en général traversées par de nombreuses fentes, de grandes et de petites dimensions, permettant à l'eau de s'infiltrer avec rapidité, ce qui est surtout le cas pour les calcaires compactes.

Dans la voûte de Lisbonne, on ne trouve en général presque pas d'eau, comme l'a prouvé le percement du tunnel du Rocio, ce n'est que

vers le pied que quelques puits ont été foncés avec succès, lorsque des circonstances particulières arrêtent l'infiltration. Tel est le puits de la fabrique d'indiennes, au Nord de la Compagnie frigorifique du val d'Alcantara (profondeur 29 mètres) et le forage de ce dernier établissement (profondeur 46^m.50). Ces puits atteignent le complexe marno-calcaire.

C'est ce même complexe qui alimente la fontaine de Cruz-da-Oliveira, au sommet du Monsanto.

En somme, ces eaux sont sans importance pour l'alimentation de la ville.

Le sondage de la Compagnie frigorifique traverse les alluvions quaternaires, marines, avant d'atteindre le Crétacique. Son eau est fortement mélangée d'eau de mer ou d'eaux superficielles (teneur totale 1456 milligrammes, chlorure de sodium 612).

Le puits de la fabrique d'indiennes, foncé directement dans le Crétacique, est moins impur (total 851, chlorure de sodium 245).

Malgré ces impuretés, on est frappé de la forte proportion de magnésie que contiennent ces eaux. La relation est de 1 : 1,7 pour le premier et de 1 : 2,1 pour le second. La fontaine de Cruz-da-Oliveira, dont le résidu total n'est que de 344 milligrammes, a aussi la proportion de 1 : 1,7.

Cette forte teneur en magnésie, qui rapproche ces eaux de celles du basalte, provient des calcaires magnésiens du complexe marno-calcaire. L'analyse de cinq échantillons de ces calcaires a donné comme maximum 15 % de magnésie pour 33 % de chaux, tandis qu'un autre n'a que 0,6 % de magnésie.

Dans le tableau comparatif, nous n'avons fait figurer que la fontaine de Cruz-da-Oliveira.

B. — Eaux des Aguas-livres.

L'aqueduc dit des Aguas-livres (1) a été construit au milieu du siècle dernier, pour amener à Lisbonne l'eau d'une source portant le nom de Agua-livre ou de Mae-d'Agua-Velha, et d'autres sources situées dans le val de Carenque, à 13 kilomètres à vol d'oiseau au N.-O. du centre de Lisbonne, dans une contrée crétacique formant le prolongement de la Serra de Cintra et désignée généralement sous le nom de contrée de Bellas.

(1) Cet aqueduc traverse le val d'Alcantara par un pont en pierres de taille, de réputation européenne, dont l'arc principal atteint plus de 65 mètres de hauteur au-dessus du lit du ruisseau.

On y introduisit aussi l'eau de quelques sources de la contrée basaltique s'étendant entre cette voûte crétacique et les voûtes de même nature du Monsanto et de Lisbonne.

Plus tard, la quantité d'eau devenant insuffisante, on capta d'autres sources situées dans le même thalweg et ses affluents (aqueduc de Caneças), puis l'eau d'une source puissante, source de la Matta, située à 5 kilomètres à l'Ouest du val de Carenque et appartenant à un autre bassin hydrographique.

Les sécheresses de 1874 et de 1875 portèrent le gouvernement à mettre en pratique un projet de Carlos Ribeiro proposant de percer des galeries profondes au-dessous de certaines vallées, à une hauteur suffisante pour que les eaux ainsi recueillies puissent être amenées à l'aqueduc général. Ce drainage a été effectué sous les thalwegs dits Valle-de-Figueira et Valle-de-Brouco, situés à l'Ouest de la vallée de Carenque, auquel ils se réunissent, et sous celui de Valle-de-Lobos situé en amont de la source de la Matta.

L'ensemble des aqueducs collecteurs et latéraux formant le réseau des Aguas-livres a une longueur de 43 kilomètres.

Ces eaux ont cinq provenances différentes, que nous allons examiner en procédant de l'Est à l'Ouest. Les premières seules ne proviennent pas du Crétacique.

1° Les sources captées dans la nappe basaltique et dans les conglomérats lacustres des *environs de Porcalhota*, dont nous avons parlé plus haut.

2° Les sources captées dans le val de Carenque et dans ses affluents appartiennent à la totalité des groupes du Crétacique. Les conditions de captage varient d'une source à l'autre, les unes ne présentent pas de possibilités de pollution, ce qui est malheureusement le cas pour d'autres, plus rapprochées d'habitations.

3° Les eaux recueillies par galeries profondes dans les vallées de Brouco et de Figueira proviennent des quatre premiers complexes pétrographiques. Les galeries du val de Figueira ont une longueur de 2200 mètres, dont un quart dans les calcaires et le reste dans les grès; celles de la vallée de Brouco ont près de 1500 mètres, dont un tiers dans les calcaires. La profondeur moyenne au-dessous de la surface du sol est de 27 à 28 mètres. La surface du sol est inhabitée.

4° Les eaux de la source de la Matta sourdent avec force par de larges conduits de la base du complexe calcaire inférieur, c'est-à-dire au sommet du Jurassique. Ces eaux présenteraient donc toutes les chances de pollution des eaux circulant par crevasses, si leur bassin hydrographique n'était pas recouvert par les puissantes assises du com-

plexe gréseux inférieur, dont la surface est presque entièrement inculte et inhabitée. Il ne faut pourtant pas se faire illusion, le débit considérable de ces sources montre qu'elles ne sont pas uniquement alimentées par les terrains voisins, ce qui est corroboré par leur composition chimique ; il n'est donc pas impossible que la crevasse qui les amène soit en communication avec des points habités.

5° Les eaux recueillies par galeries profondes dans le *Valle-de-Lobos* sont pour la plupart captées dans les grès du complexe inférieur et le reste dans les calcaires sur lesquels ces grès reposent. Les galeries ont une longueur de 2000 mètres, dont 1700 dans les grès. La profondeur moyenne de la galerie principale au-dessous de la surface du sol est de 12 à 13 mètres.

C'est ici le cas de faire une remarque qui s'applique à toutes les sources naissant dans des grès analogues, c'est que les eaux n'y circulent pas uniquement par infiltration à travers la masse, mais aussi par des fentes à parois rapprochées. Ce ne sont pas les crevasses largement ouvertes des calcaires, mais ce sont pourtant des conduits permettant à l'eau de circuler librement, sans filtration, ou bien avec une filtration imparfaite. Ces différentes conditions de circulation sont accusées par les différences de température que présentent ces sources, et dont nous parlerons plus loin.

Les galeries s'arrêtent à environ 200 mètres en aval du hameau de *Valle-de-Lobos* ; cette eau n'est donc pas dans d'aussi bonnes conditions que celles des vals de *Brouco* et de *Figueira*.

L'étude de M. Mastbaum ayant en vue l'hygiène, il analyse l'eau d'après les rameaux qui l'amènent à l'aqueduc général.

Son tableau n° VIII nous indique les principaux éléments de treize sources alimentant l'aqueduc primitif, mais quatre seulement proviennent du Crétacique.

Le tableau n° IX donne la composition complète de quatre sources recueillies par le rameau de *Caneças* et le tableau IX^a, leur composition systématique. Les tableaux X et X^a fournissent la composition complète et systématique de la source de *Mae-d'Agua-Velha*, du même thalweg que les sources de *Caneças*, des eaux des trois galeries profondes et de l'eau de la source de la *Matta*. Nous avons donc la composition complète de neuf sources et les principaux éléments de quatre.

L'eau des galeries profondes a été recueillie à l'entrée de chaque galerie dans l'aqueduc collecteur ; l'analyse porte donc sur la totalité de l'eau recueillie dans chaque galerie.

Nous avons groupé ces différentes provenances dans le tableau comparatif B, et nous allons faire quelques remarques en prenant aussi en considération les sources dont on ne connaît que les principaux éléments.

La minéralisation des sources du Crétacique est comprise entre 227 et 399 milligrammes par litre; elle est donc moins forte que celle des eaux du Tertiaire fluvio-marin et du basalte, qui peuvent être considérées normales lorsqu'elles ne dépassent pas 500 milligrammes, et dont le minimum est 303.

Sources du complexe calcaréo-marneux supérieur. — La source Maria da Conceição Barbosa Araujo (1) et celle de S. Braz (2) portées au tableau VIII de M. Mastbaum ne proviennent, d'après C. Ribeiro, que du complexe supérieur, nous pouvons donc les mettre en parallèle avec la source de Cruz-da-Oliveira (3).

	(1)	(2)	(3)
Résidu total	307	302	344
Chaux	64	97	91
Magnésie.	39	28	52
Relation de la magnésie à la chaux.	1 : 1,6	1 : 3,4	1 : 1,7

Les nos 1 et 3 peuvent donc être considérés comme fortement magnésiens.

Sources des complexes calcaréo-gréseux. — Les autres sources ont malheureusement toutes les calcaires et les grès comme bassin d'alimentation; il eût été intéressant de choisir des sources provenant exclusivement des grès, et même d'un massif de grès déterminé, car ces deux massifs ne présentent pas une composition identique.

Les galeries de Valle-de-Lobos, qui sont presque exclusivement dans les grès, fournissent une eau n'ayant que 237 milligrammes de *résidu total*; l'eau de Valle-de-Brouco est encore moins minéralisée (227 milligrammes), quoiqu'un tiers des galeries soit dans les calcaires, tandis que celles de Valle-de-Figueira, dont un quart seulement est dans les calcaires, présentent un résidu de 333 milligrammes.

Ce sont ces trois eaux des galeries profondes qui contiennent le moins de *carbonate de chaux* (79 à 115).

Ce sont par contre les deux sources les plus volumineuses, Mae d'Água-Velha et Matta, qui contiennent la plus forte proportion de sel, 210 et 258. Les autres sources en contiennent de 123 à 210; donc beaucoup plus que les sources basaltiques.

La relation entre la *magnésie* et la chaux n'atteint 1 : 2 que dans la source de la Vicomtesse d'Oliveira, qui d'après C. Ribeiro viendrait en partie du complexe marno-calcaire supérieur. Dans les autres sources elle est à peu près de 1 : 4, mais tombe à 1 : 8,6 pour les galeries de Valle-de-Brouco et à 1 : 10,9 à la source de la Matta.

Il est curieux de voir cette source, située à côté des galeries de Valle-de-Lobos, présenter un rapport aussi faible, tandis que l'eau de ces galeries a le rapport 1 : 4; mais ce fait a sa cause dans la forte proportion en chaux et non pas dans une moindre quantité de magnésie (13,9 Matta, 14,7 Valle-de-Lobos).

Malgré cette analogie de la teneur en magnésie, les différences sont assez marquées pour que l'on puisse en déduire que la source de la Matta n'a pas la même origine que l'eau des galeries, et par conséquent que l'ouverture de celles-ci n'a pu porter préjudice à la première.

Dans toutes ces eaux crétaciques, la *silice* est faiblement représentée, entre 8 et 14 milligrammes; tandis qu'elle atteint de 15 à 46 dans les eaux tertiaires.

Le *chlorure de sodium* s'y trouve aussi en proportion moindre que dans les eaux alluviales et tertiaires. Il n'atteint que 32 à 63 milligrammes, au lieu de 60 à 450.

On objectera que les eaux tertiaires, que nous avons vues, proviennent en partie de bassins présentant de nombreuses habitations et que d'autres, comme Alfeite et les sondages du Tage, peuvent recevoir des infiltrations d'eau salée. Ces objections ne peuvent pas être faites pour certaines sources, situées sur des hauteurs inhabitées, comme la source basaltique de la Quinta de S^o Antonio, qui pourtant présente 73 milligrammes.

On sera aussi tenté de chercher l'explication de cette augmentation de chlorure de sodium dans le fait que les sources de la contrée de Bellas étant plus éloignées de la mer que celles de Lisbonne, elles ne sont pas exposées au vent chargé de chlorure de sodium.

Cette objection ne résiste pas aux faits suivants : 1^o La source crétacique de Cruz-da-Oliveira est aussi exposée à ces vents, et pourtant elle ne contient que 38 milligrammes de chlorure de sodium.

2^o Les sources basaltiques de la contrée de Porcalhota se trouvent, par rapport au vent, dans des conditions analogues à celles de Bellas. Comme nous n'en connaissons pas la composition systématique nous devons baser notre comparaison sur la quantité totale de *chlore*.

Sources basaltiques

1	source avec	32
3	»	35
2	»	39-42

Sources crétaciques

6	sources avec	19-32
3	»	34-35
4	»	37-41

Nous voyons donc que 1/6 seulement des sources basaltiques connues de cette contrée a une teneur en chlore ne dépassant pas 32 milligrammes par litre, tandis que cette proportion atteint près de la moitié pour les eaux crétaciques.

Sulfates. Les neuf sources dont on connaît la proportion d'acide sulfurique présentent : deux avec moins de 20 milligrammes, trois entre 21 et 24, trois entre 31 et 33, une avec 52. Cette dernière est l'eau de Valle-de-Figueira ; il est probable que cette forte teneur en sulfates provient de la décomposition des pyrites, fréquentes dans les grès.

La teneur en acide sulfurique est tellement variable dans les sources non polluées des autres catégories, que nous ne pouvons faire aucune comparaison.

Les eaux des galeries profondes et de la source de la Matta contiennent du chlorure de potassium, mais aucune des eaux provenant du Crétacique ne contient de carbonates alcalins.

Modifications pendant le parcours. — La circulation de l'eau dans l'intérieur de l'aqueduc n'a pas lieu dans des tuyaux fermés, mais dans des rigoles ouvertes, permettant la volatilisation d'une grande partie de l'acide carbonique, d'où résulte la précipitation de carbonates de chaux, de magnésie et de fer.

Le tableau suivant montre les différences de composition à différentes distances.

Les échantillons ont été pris : n° 1, (le 29 — 11 — 1892) à Carenque, n° 2, (le 19 — 1 — 1893) à Porcalhota, soit à 2500 mètres plus loin, et n° 3, (le 25 — 11 — 1893) au réservoir des Amoreiras, soit à près de huit kilomètres de Carenque.

	Carenque 1	Porcalhota 2	Amoreiras 3
Résidu	322,0	318,0	287,6
Chlore	27,7	26,0	32,7
Chaux	104,8	98,0	84,2
Magnésie	25,5	25,0	24,9
Ammoniaque	0	traces	0
Acide nitrique	traces	traces	traces
» nitreux	0	0	0
Oxydabilité	1,7	1,4	1,4

Il est à remarquer que cette différence ne provient pas uniquement de la modification par suite de la formation d'un dépôt, car des sources un peu moins calcaires que celles du Crétacique sont introduites sur tout le parcours.

L'analyse du dépôt formé dans la rigole près de la porte d'Almarjão, avant l'introduction des sources basaltiques, a donné les résultats suivants : Silice, 0,37. Oxydes de fer et d'alumine, 0,91. Chaux, 54,81. Magnésie, 0,29. Ce qui correspond à 97,88 de carbonate de chaux et 0,61 de carbonate de magnésie.

Comparaison de l'eau à différentes époques. — Il est intéressant de comparer une analyse de l'eau des Aguas-livres, faite en 1852 par J. M. de *Oliveira-Pimentel* avec une analyse faite en 1894 par M. *Mastbaum*.

	1852	1894
Carbonate de chaux	43,5	102,0
» magnésie.	28,1	33,0
Sulfate de chaux	traces	15,5
» magnésie	31,4	14,0
» soude.	3,3	—
Carbonate de soude	70,9	traces
Chlorure de sodium	50,5	57,9
» potassium	—	3,8
Azotate de potasse	2,2	—
» magnésie	—	4,9
Silice	13,2	14,0
Oxyde de fer et alumine	}	2,0
Résidu total	343,1	252,6

Quoique le résidu total soit à peu près le même, il y a de notables différences dans les détails, surtout pour la chaux qui, en 1852, n'était que de 24,4 milligrammes, tandis qu'elle comporte actuellement 63,5 milligrammes; quant à la soude, elle comportait 69,8 et elle n'est plus qu'à 30,7.

Il est à remarquer qu'en 1852 les eaux des galeries profondes et celle de la source de la Matta n'étaient pas encore amenées à Lisbonne. Quoique la source de Matta soit fortement chargée de carbonate de chaux, ce n'est pas son introduction qui a pu amener un changement aussi radical.

Nous avons vu qu'une modification analogue est aussi indiquée par

la comparaison des analyses du Tanque das Lavadeiras faisant partie du groupe des eaux thermales de Lisbonne.

La probabilité d'un changement dans la composition de l'eau est corroborée par la comparaison avec les observations du degré hydro-timétrique faites en 1864 par Carlos Ribeiro.

M. Mastbaum a trouvé le même degré pour l'ensemble des eaux réunies dans l'aqueduc, tandis qu'il est plus élevé pour quelques sources captées par l'aqueduc de Caneças.

Dans deux sources qui, en 1864, avaient 16,5, il a trouvé 30,4 et 27,3, et dans une troisième qui avait 19,5, il a trouvé 24,6. Par contre, la source de la vicomtesse dos Olivaes n'aurait pas subi de modifications.

Température. — M. Mastbaum a observé la température d'un grand nombre de sources en août et septembre 1894. La température de celles de l'ancien aqueduc est comprise entre 16°,5 et 18°,8 centigrades, et la température des sources de l'aqueduc de Caneças, situées plus haut, entre 16° et 20°. D'autres sources de ce même aqueduc, observées en janvier, ont donné des températures entre 14°,6 et 17°,6 et les eaux réunies dans l'aqueduc : 18°,2.

La source de la Matta a donné 17°,8 en janvier et 18°,1 le 21 mai, deux autres sources voisines, captées par le même aqueduc, ont donné 16°,6 et 18°,2 en janvier et un dixième de degré en moins le 21 mai.

Enfin, sept sources des galeries profondes de Valle-de-Lobos marquaient en janvier entre 15°,1 et 17°,2, la différence le 25 mai n'étant que de un dixième pour chaque source. A leur réunion à la fin de la galerie, les eaux marquaient 16° le 21 mai.

La température de 20° mentionnée en été pour deux sources de l'aqueduc de Caneças est probablement due à l'action de la température de l'air, tandis que la source de Mae-d'Agua-Velha accuse toujours 20°. (Observation de C. Ribeiro en février 1864, et de M. Mastbaum, à différentes époques de 1892, 1893 et 1894.) Cette température est évidemment supérieure à la température du lieu, et cette source doit être considérée comme thermale.

III

EAUX DU JURASSIQUE

Quelques eaux de la contrée de Bellas proviennent en faible partie des strates les plus supérieures du Jurassique; telles sont les eaux des galeries profondes de Valle-de-Brouco. La source de la Matta coule aussi

sur ces strates supérieures, mais si ses variations de température ne sont pas dues à des conditions spéciales à son point d'émergence, elle ne peut pas entamer profondément le Jurassique.

La constance de la température élevée de la source de Mae-d'Agua-Velha, fait prévoir un long parcours, il est possible qu'elle atteigne le Jurassique, ce qui serait corroboré par sa forte teneur en calcaire.

La source de l'Alviella provient par contre incontestablement du Jurassique, on pourrait dire exclusivement, si des graviers crétaciques ne recouvraient pas une faible partie de son parcours souterrain.

La serra de Santo-Antonio, qui fait partie du massif de Porto-de-Moz, est formée par les calcaires compactes du Jurassique moyen, et est limitée à son pied méridional par une région basse, d'une largeur moyenne de 2500 mètres, composée de graviers crétaciques.

Au Sud de ces graviers, on retrouve une bande de Jurassique moyen, limitée par du Crétacique supérieur; il y a donc un affaissement de la région qui sépare les deux affleurements de Jurassique moyen.

L'affleurement méridional est terminé à 2 kilomètres à l'Ouest de Amiaes-de-baixo, par une dislocation transversale, de laquelle jaillit la source de l'Alviella, avec un débit moyen de 30.000 mètres cubes en 24 heures.

Il est incontestable que le bassin d'alimentation de cette source est constitué par la serra de Santo-Antonio, vaste surface de calcaire qui n'a pas de déversoir superficiel, mais comme on ne connaît pas le rapport entre l'eau absorbée par cette surface et le débit de l'Alviella, on ne peut pas dire si cette source est uniquement alimentée par ce bassin hydrographique, ou bien si une partie de ses eaux lui est fournie par le bassin fermé de Minde, qui est contigu à celui de Santo Antonio.

Quoi qu'il en soit, cette source est exposée aux cas de pollution des eaux circulant par canaux souterrains dans les massifs calcaires, ce qui peut devenir particulièrement dangereux par suite de l'habitude des populations de ces régions de jeter les cadavres des animaux dans les crevasses du rocher, crevasses qui communiquent souvent avec les cours d'eaux souterrains. Ce cas est bien démontré pour le bassin de Minde, grande cuvette à fond plat, de 4 kilomètres de long sur 1 1/2 de large, situé à une centaine de mètres au-dessus de la plaine.

Ce bassin est couvert d'eau en hiver, mais au printemps elle s'écoule par des crevasses situées aux points les plus bas; on cultive le sol, puis en hiver des eaux jaillissantes sortent par ces mêmes crevasses et inondent la plaine en y amenant des poissons.

Le danger des eaux circulant dans les massifs calcaires est connu depuis longtemps, mais il vient d'être mis en évidence par les remar-

quables recherches de M. Martel. En 1885, je l'ai signalé pour la source de l'Alviella (Tunnel du Rocio, p. 12).

La canalisation depuis la source jusqu'à l'entrée à Lisbonne a 114 kilomètres de longueur, l'altitude de la source n'est que de 54^m.33, et son point d'entrée à Lisbonne dans le réservoir des Barbadinhos de 31^m.70.

M. Mastbaum a analysé deux fois l'eau de l'Alviella à son arrivée à Lisbonne (réservoir des Barbadinhos) et a en outre fait un grand nombre d'analyses de l'eau distribuée dans la ville. Malheureusement il n'a pas pu se procurer de l'eau prise à la source, de sorte que nous ne connaissons que la composition de l'eau modifiée par un parcours de 114 kilomètres. Comme ce parcours s'effectue en tuyaux fermés et sous une forte pression due aux siphons, la modification ne peut pas être dans les mêmes proportions que celle qui s'effectue dans l'aqueduc des Aguas-livres.

Nous avons pourtant porté cette eau au tableau comparatif. Le résidu total a été de 194 dans la première analyse et de 201,6 dans la deuxième. L'oxydabilité 1 à 1,1; l'oxygène dissous 7,13 et l'acide carbonique libre 10,5. Le seul sel en quantité notable est le carbonate de chaux, qui dépasse la proportion contenue dans les eaux des galeries profondes de la contrée de Bellas.

IV

L'EAU LIVRÉE AU CONSOMMATEUR

Variations suivant les saisons. — Comme nous l'avons vu, les eaux de l'aqueduc des Aguas-livres proviennent en majeure partie des eaux du Crétacique; l'eau du réservoir des Amoreiras, auquel elles aboutissent à Lisbonne, a par conséquent un caractère calcaire; ce caractère est toutefois moins accentué en été qu'en hiver, parce que la diminution des sources crétaciques en été est plus accentuée que celle des sources basaltiques.

L'eau du réservoir, analysée le 25 novembre 1893, a donné 24,9 milligrammes de magnésie pour 84,2 de chaux (relation 1 : 3,38), tandis que le 11 août 1894, elle contenait 22,1 milligrammes de magnésie pour 63,5 de chaux (1 : 2,87).

Influence pluviométrique sur la composition. — Après avoir étudié les eaux à leur origine et pendant leur trajet jusqu'à leur entrée à Lisbonne, l'auteur examine la qualité de l'eau fournie au consommateur; autrement dit, il examine les modifications survenant dans les canaux de distribution en ville.

Pendant les années 1891, 1892 et le 1^{er} trimestre de 1893, il analysa chaque mois l'eau fournie par la canalisation, et continua en 1893 et 1894 en se bornant à des analyses succinctes.

Ces analyses d'eaux prises à un même robinet, dans la partie basse de la ville, permettent de reconnaître à première vue quand cette eau a été fournie par la canalisation de l'Alviella et quand elle a été fournie par l'aqueduc des Aguas-livres, ce qui dépend en grande partie des saisons, car l'eau des Aguas-livres, arrivant en haut de la ville, tandis que celle de l'Alviella arrive dans le bas, on ne refoule celle-ci dans les réservoirs que lorsque la première ne suffit pas.

Quatre tableaux nous montrent les analyses de ces quatre années et un cinquième présente les moyennes, les minima et les maxima de chaque année.

La moyenne de la minéralisation est de 207 en 1891, 248 en 1892, 241 en 1893, 246 en 1894. Les maxima suivent à peu près la même marche, ce qui n'est pas le cas pour les minima : 167 en 1891, 192 en 1892, 201 en 1893, 194 en 1894.

On voit aussi que le chlore suit la même marche que les résidus, mais l'auteur ne trouve pas les analyses assez nombreuses pour pouvoir tirer des conclusions pour les autres éléments.

Comme ces différences peuvent provenir de la proportion différente du mélange des deux eaux, l'auteur calcule les moyennes pour chaque eau, en prenant un résidu de 250 milligrammes comme limite entre les deux.

Ce tableau fait voir que l'augmentation de résidu et de chlore en 1892 et 1893 n'est pas due à ce que les eaux ont été mélangées en proportions différentes, car cette augmentation existe pour chaque catégorie examinée séparément.

Eau de l'Alviella : 201 en 1891, 215 en 1892 et 1893, 221,5 en 1894.

Les eaux des Aguas-livres ont leur maximum de résidu en 1892 : 321,6 au lieu de 273,4 en 1891.

M. Mastbaum ne croit pas qu'il s'agisse d'une augmentation constante, mais que ces différences sont dues à la différence des conditions pluviométriques. La hauteur moyenne de la pluie à Lisbonne, calculée pour la période 1856 à 1880, est de 748,3 millimètres, elle est de 750,2 pendant les huit années suivantes, mais elle est tombée à 499 en 1889 et à 543,8 en 1890, ce qui est à peu près les 2/3 de la moyenne.

En 1891, la moyenne ne fut pas atteinte (726), mais elle fut dépassée en 1892 et en 1893. En 1892, elle atteint 892,5, soit près de 1/5 de plus que la moyenne.

L'auteur y voit l'explication de la minéralisation très faible de 1891 et de l'augmentation en 1892 et 1893, en admettant qu'une plus grande quantité d'eau, entraînant une filtration plus rapide, le terrain ne peut pas exercer son action purificatrice aussi bien que dans le cas de filtration lente.

J'avoue ne pas approuver complètement ce raisonnement, car l'eau n'est pas minéralisée à son entrée dans le sol, c'est, au contraire, son contact avec le sol qui la fait se charger de sels minéraux; or plus la filtration est lente, et plus l'eau a le temps d'en dissoudre.

L'auteur admet sans doute que l'eau se charge d'impuretés à la surface du sol, et qu'elle s'en purifie par le filtrage. Il faudrait donc admettre que la surface du sol présente beaucoup d'impuretés qui seraient entraînées par l'eau, puis arrêtées dans des couches plus profondes; mais dans ce cas elles finiraient par s'y accumuler et constitueraient une cause permanente de modification de l'eau.

Température. — La température moyenne de l'air à l'Observatoire de Lisbonne, soit à l'altitude de 95 mètres, est de 15°,85, et la température constante du sol, qui correspond à une profondeur de 20 mètres, est de 18°,2.

La canalisation de l'eau est environ à 1^m.10 sous la surface du sol, ce qui correspond à une température moyenne de 17°, mais les oscillations de la température de l'eau livrée au consommateur se trouvent entre 11°,6 et 25°.

Par l'emploi de cruches poreuses (*Alcarrazas* des Espagnols), on abaisse la température de 1° à 1°,5 pour les cruches fines et de 3° à 4° pour les cruches en terre ordinaire. Vu le climat de Lisbonne, une eau ayant 20 à 22° paraît fort agréable en été.

Qualités hygiéniques. — La composition de l'eau non polluée étant différente suivant la nature géologique du sol, on devra forcément modifier, suivant les contrées, les qualités requises à l'eau considérée comme potable, autant sous le rapport de la composition que sous celui de la température.

M. Mastbaum propose le tableau suivant comme limites maximales des différents corps entrant dans la composition des eaux qui naissent dans le territoire de Lisbonne.

Résidu total	400 à 500 milligr. par litre.
Chaux	100 à 120 » »
Magnésie	80 à 100 » »
Chlore	25 à 30 » »

Acide sulfurique	30 à 60 milligr. par litre.
» nitrique	20 à 30 » »
Oxydabilité	2,0 à 2,5 » »
Acide nitreux	0 » »
Ammoniaque	0 » »
Sulfure d'hydrogène	0 » »

La limite de 30 pour le chlore indique que toute eau la dépassant doit être considérée comme suspecte, mais il va de soi que l'introduction d'un peu d'eau salée augmente considérablement ce chiffre sans que l'eau devienne pour autant préjudiciable.

Quant aux *eaux introduites dans la ville*, leur résidu total variant entre 167,2 et 341,6 est fort loin d'atteindre le maximum admis par les hygiénistes.

La perte du résidu à la calcination varie entre 7 et 30,8.

L'oxydabilité est aussi inférieure aux chiffres tolérés; il en est de même de la silice, du fer, de l'alumine et du sulfate de chaux.

Le *chlore* a une moyenne de 25,5 milligrammes. Le minimum étant 12,9 et le maximum 36 — proportion plus élevée que celle observée dans les autres pays — ce fait toutefois ne serait pas spécial aux environs de Lisbonne; il y a lieu de supposer qu'il s'étend à tout le Portugal, ce que M. Mastbaum attribue à l'eau salée entraînée par les vents. Il va de soi qu'ici comme ailleurs, il faut tenir compte de la quantité normale à la contrée, et que toute augmentation doit faire suspecter une pollution par des matières organiques.

La presque totalité de la *chaux* étant à l'état de bicarbonate, le carbonate se précipite par la cuisson, ce qui a valu à l'eau de Lisbonne la réputation d'être très calcaire, tandis que d'autres eaux contenant la chaux à l'état de sulfate, de chlorures et de nitrates, n'auront pas cette réputation, quoique leur teneur en chaux soit plus grande. Le degré hydrotimétrique compris entre 14,1 et 25,6, correspond à une quantité de chaux tolérée par quelques hygiénistes et considérée comme nécessaire par d'autres.

La *magnésie* varie entre 5 et 26 milligrammes, la moyenne étant de 12,8, proportions qui, de même que celles de la chaux, ne peuvent être défavorables que pour l'emploi du savon.

L'ammoniaque, à l'état de traces, a été rencontré en 1891, 1892 et au printemps de 1894. Le fait que ces vestiges n'existaient pas dans l'eau à son arrivée à Lisbonne, prouvait qu'il y avait des défauts dans la canalisation, et l'analyse bactériologique parlait dans le même sens. Il ne fut pas difficile de découvrir les points défectueux et d'y porter remède.

La moyenne de cinq analyses a donné pour les *gaz* les résultats suivants : acide carbonique, 12,8 centimètres cubes par litre, oxygène, 7,1, azote, 13,6.

La recherche de *sels de plomb* pouvant provenir de l'oxydation des tuyaux n'a donné que des résultats négatifs.

En résumé, les eaux introduites à Lisbonne sont de bonne qualité, celles d'Alviella étant meilleures que celles des Aguas-livres; mais il est nécessaire de les surveiller, autant par rapport aux infiltrations qui peuvent se faire dans les canaux de distribution, que par rapport aux pollutions pouvant avoir lieu dans les bassins hydrographiques de certaines sources.

Cette surveillance existe, du reste, et les analyses bactériologiques du Dr *da Camara Pestana* ont déjà motivé le rejet de quelques affluents de l'aqueduc des Aguas-livres.

Les analyses bactériologiques de l'eau en distribution, sont publiées chaque mois au bulletin du Service d'hygiène.

Quantité d'eau par habitant. — La quantité d'eau fournie par l'aqueduc des Aguas-livres est très variable suivant les saisons. Tandis qu'en hiver elle a une moyenne de 6 à 10,000 mètres cubes par 24 heures, et qu'elle atteint même 14,000 mètres dans les hivers très pluvieux, elle est réduite à 2 à 3000 en été. Cette disproportion entre les saisons a disparu depuis l'introduction des eaux de l'Alviella.

D'après le recensement de 1890, la ville a une population de 257,203 habitants dans ses anciennes limites et de 311,471 avec les communes annexées en 1885. Ces dernières n'étant qu'en partie alimentées par la Compagnie des eaux, le calcul suivant donne des chiffres inférieurs à l'eau réellement consommée à Lisbonne.

La Compagnie peut actuellement disposer de 39,000 mètres cubes par jour, soit 122 litres par habitant; en admettant le maximum de l'étiage des quatre dernières années, cette quantité serait réduite à 111 litres. Il y aurait à ajouter à ces chiffres un certain nombre de fontaines publiques, aux soins directs de la municipalité, autant dans l'ancienne que dans la nouvelle circonscription, et l'eau de puits et de sources appartenant à des particuliers ou à des compagnies industrielles.

CONSIDÉRATIONS FINALES

La relation entre la composition de l'eau et celle des terrains dont elle provient, facilement reconnaissable lorsqu'il s'agit de terrains ayant une composition franchement différente, est plus difficile à recon-

naître pour des terrains de composition mixte, et peut être complètement masquée dans les eaux souillées par des matières organiques.

La plupart des eaux qui nous occupent sont dans ces deux derniers cas, et pourtant on peut reconnaître quelques traits généraux.

On peut dire que l'analyse chimique ne peut pas servir au géologue de guide de toute confiance dans la recherche de l'origine d'une source, car des eaux de provenance analogue présentent parfois des différences considérables (forages sous le Tage, types magnésien et non magnésien du basalte, etc.), mais qu'il est pourtant certains cas où l'analyse donne une certitude, là où l'on n'avait que des probabilités.

Telle est, par exemple, la relation entre les galeries profondes de Valle-de-Lobos et la source de la Matta. On a accusé les premières d'avoir fait diminuer la seconde, tandis que la profonde différence qui existe entre ces deux eaux nous montre une origine différente.

Il est assez curieux de remarquer que l'*oxydabilité*, c'est-à-dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les substances organiques, est assez faible dans toutes les eaux de Lisbonne, même pour celles qui sont incontestablement polluées. M. Mastbaum en conclut que l'importance de ce caractère a été exagérée. Il se demande en outre *s'il existe de bonnes eaux avec une oxydabilité élevée*, mais son étude des eaux de Lisbonne ne lui donne pas de réponse à ce sujet.

Résumons en quelques mots les principaux caractères des différents types que nous avons vus.

Alluvions. — Énormes quantités de matières dissoutes (minimum 678 milligrammes), prédominance des chlorures et des nitrates, forte quantité de silice (30 à 32). Quelques-unes sont fortement chargées d'hydrogène sulfuré.

Pliocène. — Une seule source, à minéralisation moyenne (430 milligrammes). La forte proportion de chlorure de sodium fait supposer des infiltrations d'eau du Tage. Silice 15.

Miocène. — Composition variable suivant les assises dont l'eau provient. Puits et sources de Lisbonne généralement chargés de matières organiques; celles que l'on peut considérer comme pures ont une minéralisation moyenne (303 à 410) provenant principalement de chlorure de sodium et de carbonates de chaux, de magnésie et de soude. Silice en proportion moyenne (16 à 27).

Forages sous le Tage. — Forte minéralisation provenant de chlorure de sodium, de sulfates et surtout de carbonates de chaux, de

magnésie et de soude. Beaucoup de silice. Bonne réputation sous le rapport de l'hygiène.

Basalte. — Minéralisation moyenne. Proportion de chlorure de sodium relativement faible, beaucoup de carbonates; magnésie et silice en proportion généralement plus forte que dans toutes les autres eaux. — Jouissent d'une très bonne réputation, quoique légèrement laxatives.

Eaux thermales. — Minéralisation très forte dans quelques sources recevant des infiltrations superficielles ou des eaux du Tage, moyenne dans les autres (490). Forte proportion de chlorure de sodium, de sulfates, de nitrate de soude, de carbonates et de silice.

Crétacique supérieur. — Peu abondantes, généralement polluées à l'intérieur de la ville. Les autres sont à minéralisation faible, provenant surtout de carbonates de chaux et de magnésie, la magnésie atteignant presque la même proportion que dans les eaux basaltiques. Peu de silice (9 milligr.).

Complexe de grès et de calcaires marneux. — Minéralisation faible ou moyenne, provenant surtout du bicarbonate de chaux, peu de silice.

Calcaires jurassiques. — Connues seulement à leur arrivée à Lisbonne. Minéralisation atteignant son minimum et provenant surtout du bicarbonate de chaux; silice réduite à 5 milligrammes.

Explication du tableau comparatif A de la page 196.

1. *Alluvions*. — Minima et maxima des trois sources les moins minéralisées : rua da Prata, n° 8, rua dos Capellistas, n° 53, et Ponte-d'Algès.
2. *Pliocène*. — Poço da Romaria (Alfeite).
3. *Miocène*. — Minima et maxima d'un puits à Lisbonne et de deux sources au Sud du Tage.
4. *Forages sous le Tage*. — Ponton de l'Arsenal (gauche) et ponton des bateaux à vapeur du chemin de fer du Sud (droite).
5. *Basalte (type magnésien)*. — Minima et maxima de cinq eaux de la partie occidentale de Lisbonne. Le chiffre 274 comme résidu total provient d'une source des environs de Porcalhota.
6. *Basalte (type non magnésien)*. — Source de S^o-Antonio à Algès-de-Cima.
7. *Eaux thermales*. — Bains de Baptista et Chafariz d'El-Rei.

Explication du tableau comparatif B de la page 197.

Colonne 1 *Troisième complexe marno-calcaire*. — Marno-calcaires magnésiens inférieurs aux calcaires compactes du sommet. — Source de Cruz-da-Oliveira (Monsanto).

Mélange de grès et de calcaires.

- Col. 2 Le même complexe et les grès. — Source de la Vicomtesse dos Oliveas.
 Col. 3 Grès et calcaires des complexes inférieurs. — Minima et maxima des sources dites : Poço das Bombas, Salgueiro grande et Quintã.

Galleries profondes.

- Col. 4 Valle-de-Brouco.
 Col. 5 Valle-de-Figueira.
 Col. 6 Valle-de-Lobos.

Sources abondantes avec grand trajet souterrain.

- Col. 7 Matta. — Sourdant au toit des calcaires jurassiques, à peu de distance des galeries de Valle-de-Lobos.
 Col. 8 Mae-d'Agua-Velha. — Faiblement thermale.
 Col. 9 *Jurassique*. — Eau d'Alviella à son arrivée à Lisbonne, c'est-à-dire modifiée par le parcours. — Le chiffre indiquant le résidu total est la moyenne des deux analyses.

A. Tableau comparatif des eaux provenant des alluvions et du Tertiaire.

SELS EN DISSOLUTION	1 Alluvions.	2 Pliocène	3 _a Miocène	4 Forages sous le Tage	5 Basalte	6 Basalte	7 Eaux thermales
Résidu à 150°	678 à 907	430	303 à 410	547 — 526	274 à 502	361	488 — 490
Chlorure de sodium	195 à 450	166	66 à 118	156 — 123	60 à 83	73	149 — 117
» calcium	—	33	—	0 — 16	—	13	—
» magnésium	—	13	—	—	0 à 37	—	—
» potassium	—	—	—	—	—	—	0 — 17
Sulfate de soude	38 à 117	—	0 à 26	62 — 37	—	—	42 — 17
» potasse	—	—	—	6 — 8	—	—	—
» chaux	14 à 73	21	12 à 20	—	9 à 58	30	25 — 19
» magnésie	10 à 68	—	6 à 15	3 — 6	0 à 18	—	64 — 16
Nitrate de soude	23 à 36	—	0 à 51	0 — 41	0 à 5	—	40 — 24
» chaux	203 à 263	37	0 à 21	—	0 à 8	—	—
» magnésie	33 à 69	—	0 à 11	—	13 à 66	36	—
Carbonate de soude	—	—	10 à 46	143 — 135	0 à 28	—	—
» chaux	—	58	127 à 192	93 — 96	122 à 137	147	156 — 178
» magnésie	—	35	12 à 43	54 — 35	56 à 129	32	22 — 47
» fer	6 à 7	3	5 à 7	4 — 3	3 à 6	7	4 — 5
Silice	30 à 32	15	16 à 27	21 — 23	34 à 46	21	31 — 33
Rapport de la magnésie à la chaux	1 : 3 à 1 : 4,5	1 : 3,1	1 : 3,4 à 1 : 7	1 : 2 — 1 : 3	1 : 1,6 à 1 : 1,7	1 : 3,1	1 : 3 — 1 : 3,9

B. Tableau comparatif des eaux provenant du Crétacique et du Jurassique.

SELS EN DISSOLUTION	1 Calcaires magnésiens	3 Complexes de grès et de calcaire		4 Galeries profondes		7 Sources volumineuses	8	9 Jurassique (Modifiée)
		2	5	6				
Résidu à 150°	344	288	353 à 399	227	333	237	374	382
Chlorure de sodium	38	32	57 à 63	42	47	55	42	51
» magnésium	7	0	0 à 9	—	—	—	—	6
» potassium	0	0	0	13	12	8	4	3
Sulfate de chaux	14	23	28 à 41	29	58	36	22	5
» magnésie	6	16	12 à 21	6	28	17	9	—
Nitrate de magnésie	22	2	1 à 3	3	1	3	0	3*
Carbonate de chaux	153	123	159 à 210	100	115	79	258	140
» magnésie	86	67	35 à 61	10	39	18	23	7
» fer	5	3	3 à 6	3	6	6	3	2
Silice	9	9	10 à 12	8	14	9	9	5
Rapport de la magnésie à la chaux .	1:1,7	1:2	1:3 à 1:4	1:8,6	1:3,8	1:4	1:10,9	1:14

* Nitrate de chaux.