

**PAUL LEMOINE**

PROFESSEUR DE GÉOLOGIE AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
DIRECTEUR HONORAIRE DU MUSÉUM

**RENÉ HUMERY**

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES  
RAPPORTEUR AU COMITÉ SUPÉRIEUR D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PARISIENNE

**ROBERT SOYER**

ASSISTANT AU LABORATOIRE DE GÉOLOGIE  
DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

---

LES

# FORAGES PROFONDS DU BASSIN DE PARIS

## La Nappe artésienne des Sables Verts

---

Extrait des *Mémoires du Muséum National d'Histoire naturelle.*  
Nouvelle série, Tome XI.

PARIS  
ÉDITIONS DU MUSÉUM  
36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire (Ve)

1939



## CHAPITRE IX

## LE Puits ARTÉSIEN DE GRENELLE

Le puits artésien de GRENELLE, doyen des grands forages de la région parisienne, aura bientôt un siècle d'existence. A l'aurore de l'industrie naissante des grands captages d'eau souterraine, il a eu, entre autres avantages, le mérite de poser tous les problèmes relatifs aux puits artésiens, et d'en résoudre plusieurs. A cette œuvre resteront attachés les noms des grands savants et ingénieurs de l'époque, Arago, Mulot, Darcy, Belgrand, Mary et Lefort.

Sous la vigoureuse impulsion du vicomte Héricart de Thury, inspecteur général des Mines, inspecteur du Service des Carrières du département de la Seine, l'art du sondage, cantonné jusqu'alors dans le Nord et l'Ouest de la France, apparut dans la région parisienne. Un ingénieur mécanicien, Mulot, s'établit à ÉPINAY, et fora avec succès plusieurs puits dans la région, notamment à ÉPINAY, dans le parc de la marquise de Grollier, où deux forages rencontrèrent les nappes sparnaciennes ; à VILLIERS-LA-GARENNE et à SURESNES en 1827, chez le baron de Rothschild. Ce forage de SURESNES fut arrêté à 200 mètres dans la craie sénonienne : Héricart de Thury (1829) croyait qu'il ne restait plus qu'une vingtaine de mètres à forer pour traverser complètement la craie et atteindre l'argile du Gault, recouvrant les sables aquifères.

**LE PROJET D'ARAGO.** — Arago, alors maire de PARIS, jouissait d'un grand prestige. Dans une étude géologique audacieuse, il avait prévu le passage des Sables verts albiens sous PARIS, évalué leur profondeur et par suite la hauteur du forage. Bien que la stratigraphie et la tectonique du bassin de Paris fussent embryonnaires à cette époque, il ne se trompa que de quelques mètres, résultat qui, malgré nos connaissances actuelles, nous remplit encore d'admiration et d'étonnement.

**ADJUDICATION DU FORAGE.** — Entre temps le succès des puits artésiens forés par Mulot à ELBEUF, dans les Sables verts où des eaux artésiennes abondaient, confirmait les théories d'Arago et d'Héricart de Thury, dont il avait l'entière adhésion.

Aussi en 1833, l'Administration de la Ville de Paris enfin convaincue

fit voter une somme de 18.000 francs pour le forage de deux puits devant atteindre l'argile plastique ; mais Emmery, directeur du Service municipal, craignit alors l'abaissement du niveau statique des nappes sparnaciennes sous Paris, en raison de la disparition du Sparnacien à l'ouest de la capitale, et exprima des doutes sur la possibilité du jaillissement. Un puits fut néanmoins foré au carrefour de REUILLY. Les doutes d'Emmery étaient fondés : l'eau ne jaillit pas, mais se tint à quelques mètres de l'orifice du sondage. Le Conseil municipal vota alors un crédit de 260.000 francs pour exécuter un sondage de 400 mètres, qui fut mis en adjudication. Un soumissionnaire courageux se présenta seul : Mulot, l'œuvre lui fut confiée.

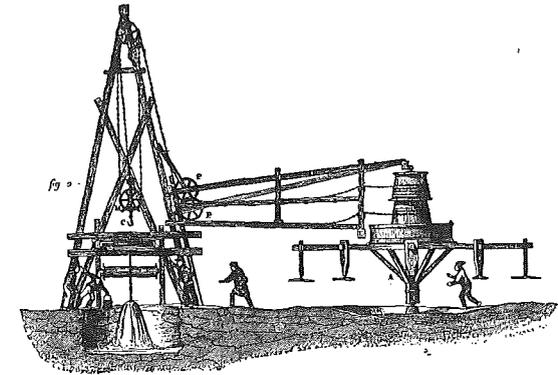


Fig. 41. — Machinerie du puits artésien de Grenelle.

On songeait au début à placer le sondage à la Madeleine, mais l'on craignit d'encombrer l'un des quartiers les plus animés de Paris, et l'on choisit la cour de l'abattoir de GRENELLE, emplacement retiré, dont l'altitude est voisine de celle de la Madeleine. Mulot se mit immédiatement à la tâche, et les travaux de forage commencèrent le 24 décembre 1833.

**INSTALLATION DE FORAGE.** — Le matériel de sondage employé par Mulot se composait surtout d'une chèvre à quatre pieds, haute d'environ 18 mètres, entourée de parois en planches ; l'appareil moteur comprenait deux treuils munis de deux roues de carriers aux échelons desquelles s'appliquèrent 6 à 12 hommes, jusqu'à la profondeur de 510 mètres (fig. 41). On remplaça ensuite ce système primitif par un cabestan à manège mû par 7 chevaux (Lippmann, 1903). Le treuil et le cabestan étaient abrités sous un hangar attenant au pylone. Le procédé était le battage à la détente. On utilisait des tiges de fer pleines d'une longueur de 8 mètres, vissées ou goupillées, suivant le cas, auxquelles on adaptait, selon la nature du terrain à traverser, des trépan, des tarières ouvertes ou des soupapes à boulets. L'un des treuils servait aux manœuvres et l'autre au battage. On conçoit qu'avec un matériel aussi rudimentaire les outils se soient rompus souvent,

et on ne peut qu'admirer l'habileté et la persévérance de Mulot, qui réussit à atteindre ainsi une profondeur de 548 mètres, considérable pour l'époque.

EXÉCUTION DU FORAGE. — Les travaux furent entourés d'un certain mystère ; quelques comptes rendus laconiques d'Arago à ses collègues de l'Académie des Sciences, dont les titres seuls furent consignés aux procès-verbaux de l'Institut, et quelques communications d'inspiration officielle aux comptes rendus de l'Académie et de la Société Géologique de France (voir Bibliographie du Puits de Grenelle) sont à peu près les seuls documents connus sur les travaux du puits.

Cet état d'esprit nous est révélé dans une note de Walferdin (1841) : « M. Mulot..., après avoir surmonté des difficultés dont il n'eût peut-être pas été prudent de faire connaître l'importance pendant le cours des travaux, etc. »

On craignait, en effet, en donnant trop de détails sur les difficultés de cette entreprise, de décourager une opinion publique, qui se passionnait déjà, et de compromettre l'industrie du sondage, qui se développait dans toute la France après le grand succès des puits forés à Tournai par Mulot, et par son concurrent Degoussée.

En décembre 1835, le puits était arrivé à la profondeur de 250 mètres sans accident ni difficultés notables dans la traversée des terrains supérieurs (Nummulitique et Craie sénonienne) sauf la rencontre de six couches de craie dolomitique d'un mètre d'épaisseur chacune, entre 157 et 190 m., qui furent assez dures à percer. Le 15 mai 1836, on était à 300 mètres ; le 1<sup>er</sup> mai 1837, à 400 mètres, et, quelques jours après à 410 mètres ; profondeur où l'on resta jusqu'en juillet 1838, car les travaux furent arrêtés pendant de longs mois par la chute d'une cuillère et d'un bout de tige de 80 cm. au fond du trou de sonde, où elles s'étaient brisées et qu'il fallut remonter par morceaux au moyen d'un taraud. On dut ensuite nettoyer, puis aléser le trou de sonde.

Les travaux reprirent peu après, et en septembre 1839, on était arrivé à 492 m. 50 à la base du Cénomaniens (Mulot, 1839). L'entrepreneur avait alors toute confiance dans la réussite de son entreprise et dans la puissance de son installation, et il se disait en mesure de dépasser la profondeur de 600 mètres si cela était nécessaire. L'argile du Gault était atteinte à 502 m. en août 1839 (Cornuel, 1839). Le 18 novembre 1839, le fond se trouvait à 508 m. et l'on avait pénétré de 6 m. dans l'Argile du Gault. On arrêta alors les travaux de forage, car les argiles devenaient fluentes, et le trou de sonde, non tubé au-dessous de 400 mètres, risquait d'être comblé par les éboulements. On aléa puis on tuba jusqu'au Gault (Walferdin, 1839 a et b), mais le bris d'un alésoir à lames, qui séjourna plusieurs mois au fond du trou, préoccupa sérieusement Mulot, qui voyait la réussite de ses efforts compromise à quelques mètres du but. Il dut creuser une chambre autour de l'outil pour le dégager, put enfin l'extraire, et continuer l'approfondissement ; mais, au début de février, alors qu'il était sur le point d'atteindre les Sables

verts, une cuillère se détachait de son train de tiges. Mulot décida de continuer le forage en passant à côté d'elle, et il parvint à loger latéralement l'instrument gênant, dans les couches argileuses.

Le forage atteint bientôt les Sables verts à la cote — 506, puis la nappe artésienne ; le 26 février 1841, à 14 h. 30, l'eau jaillit impétueusement, inondant les hommes et le chantier.

Le succès de l'entreprise était complet. La nouvelle s'en répandit aussitôt parmi les Parisiens qui, en foule, vinrent admirer ce spectacle nouveau d'une véritable rivière jaillissant du sol à la température de 27°6. Mulot connut une grande popularité et reçut la récompense officielle de ses efforts patients et intelligents. Ses dépenses ayant dépassé le montant de l'adjudication, la ville lui remboursa le déficit, soit 40.000 francs, et lui accorda une rente annuelle de 3.000 francs. Son fils, qui l'avait secondé dans ses travaux, reçut une indemnité importante ; enfin le roi Louis-Philippe nomma Mulot membre de la Légion d'honneur.

TUBAGE DU PUITS DE GRENELLE. — Le puits fut tubé au diamètre de 0,400 au fur et à mesure de l'avancement jusqu'aux Argiles du Gault. Après le jaillissement, on descendit une colonne de captage en cuivre de 0 m. 170 de diamètre en bas et de 0 m. 235 en haut, déterminant un espace annulaire que l'eau elle-même remplit peu à peu de sable.

TEMPÉRATURE A DEGRÉ GÉOTHERMIQUE. — La question de l'accroissement de la température à l'intérieur du globe intéressait fort les physiciens et les géologues de l'époque. Ces derniers étaient séparés en deux camps, les Plutoniens et les Neptuniens, et la lutte battait son plein. Arago et Walferdin profitèrent de l'occasion exceptionnelle qui s'offrait, pour mesurer avec précision dans le puits de Grenelle la température des couches à diverses profondeurs.

Walferdin avait fait des mesures analogues dans le puits foré par Selligue, à l'ÉCOLE MILITAIRE, et qui avait atteint, en 1836, 173 m. de profondeur. Il les répéta, soit seul, soit avec Arago, dans le nouveau puits de la Ville de PARIS, à GRENELLE.

A 250 m. de profondeur, on descendit un thermomètre à maxima ; il marquait 20°C (Arago, 1835). Compte tenu de la température constante du sol dans les caves de l'Observatoire, 10°6, l'accroissement de 9°4 correspondait à une valeur de 26 m. 60 pour le degré géothermique. A 300 m., la température était de 22°2, correspondant à un degré géothermique de 26 m. (Arago, 1836). Quand la profondeur de 400 m. fut atteinte, Arago et Walferdin firent séparément des mesures.

Arago	(1837)	Température : 23°5	Degré géothermique : 31 m. 50
Walferdin	(1837)	— 23°75	— 30 m. 87

Arago et Walferdin firent descendre six thermomètres à déversement à la profondeur de 481 mètres. Ils constatèrent une température maximum de 27°05 (Arago et Walferdin, 1839 ; Walferdin, 1841).

Le 18 août 1840, ces deux auteurs profitèrent d'un accident au forage pour faire séjourner pendant 7 h. 30', à 505 m. de profondeur, un groupe de six thermomètres à maxima. Ils indiquèrent tous 26°43, ce qui correspondait à une valeur de 31 m. 9 (si l'on déduit 10°6, température admise jusqu'alors) ou de 32 m. 30 (si l'on admet une température de 11°07 constatée à cette époque dans plusieurs souterrains de la ville) (Arago et Walferdin, 1840).

Ils furent surpris de constater que la température avait déchu et émirent plusieurs hypothèses : refroidissement par les eaux supérieures descendant le long des parois, influence de l'outil séjournant au fond, etc.

Enfin l'eau jaillit du puits à la température de 27°6 (Walferdin, 1841) — Huet (1888) indiquait 27°4 — légèrement inférieure à celle de 30° qu'avait prévue Arago (1835), et qui correspondait à un degré géothermique de 33 m. 20 (Paul Lemoine et R. Nassans, 1929).

COUPE GÉOLOGIQUE DU Puits DE GRENELLE. — La coupe géologique du puits, dressée au fur et à mesure de la remontée des échantillons, fut établie par Mulot lui-même, qui communiqua un premier relevé des couches jusqu'à 492 m. 50 de profondeur (Mulot, 1839). La coupe complète, faisant connaître la nature et la puissance des couches traversées, fut présentée en 1842 à l'Académie des Sciences. Une gravure en fut établie par Bizet (1842) sur les données de Mulot (fig. 42) puis reproduite par Daubrée (1888).

L'ACCIDENT DU Puits DE GRENELLE. — Le 6 juillet 1841, le jaillissement de l'eau cessa brusquement et son niveau s'abaissa dans le puits à 25 mètres de l'orifice ; mais le jaillissement revint quelques heures après. Arago (1841) rendit compte de cette anomalie à l'Académie des Sciences dans la séance qui suivit cet événement, mais le liquide étant revenu en aussi grande abondance, l'Académie se contenta d'enregistrer le fait et n'insista pas davantage.

Grâce à une reconnaissance de l'état du forage, on s'aperçut que le tube inférieur de 0 m. 235 était écrasé entre 100 et 200 mètres de profondeur. On ne put tenir longtemps secret cet accident, et l'Académie reçut de nombreuses lettres et des communications d'auteurs pour expliquer le mauvais état du tubage ou y remédier.

Blondeau de Carolles (1841) prétendait que l'observation lui avait fait constater que des nœuds et des ventres se produisent dans une colonne d'eau en mouvement. Aux ventres correspondent des dépressions sur l'action de la pression atmosphérique. Il suggérait de retuber avec une colonne plus forte.

A. de Caligny (1841 b) réfuta cette hypothèse : pour lui, des nœuds et des ventres ne pouvaient se produire dans une conduite contenant une eau douée d'un mouvement uniforme, ce qui était le cas du puits de Grenelle. Il attribuait l'accident aux coups de bélier et invoquait l'action des forces de succion intérieures, indépendante de tout phénomène d'ajutage :

il croyait qu'une succession de petits coups ne sont pas suffisants pour produire une déformation aussi considérable et il émit l'opinion que les oscillations de la colonne liquide produisent, à certains égards, les effets d'une pompe aspirante, ce qui pouvait aplatir les parois.

Arago fit remarquer que l'auteur n'avait peut-être pas tenu un compte

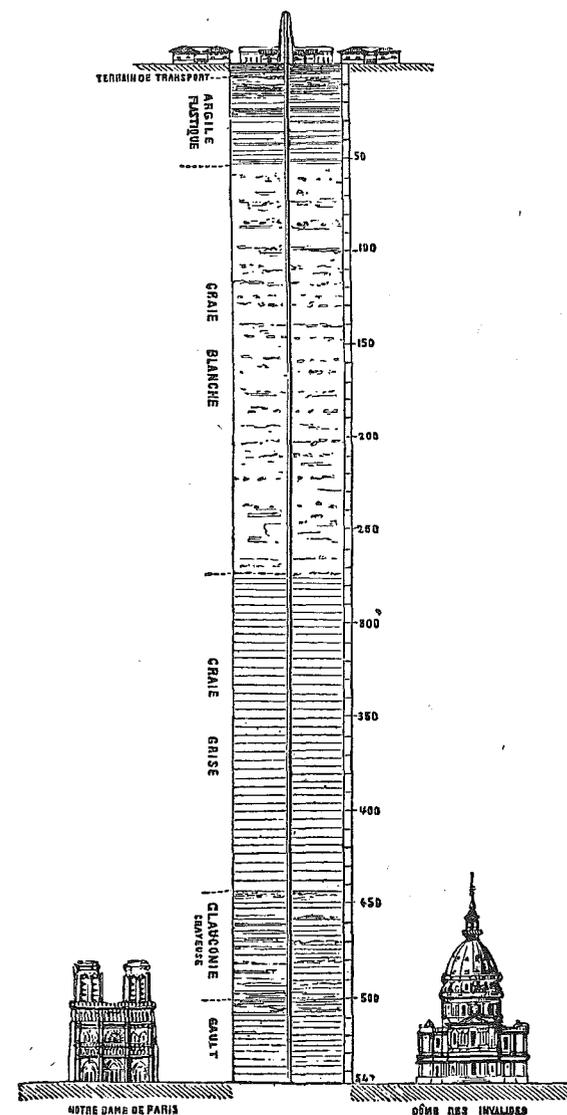


Fig. 42. — Coupe géologique du puits de Grenelle (d'après Daubrée, 1888).

suffisant de la violence des chocs produits par des variations brusques dans le régime des eaux par suite des travaux de tubage.

Combes (1842) écrivit qu'il avait vu les tubes de cuivre extraits par Mulot entre 100 et 200 mètres de profondeur ; il fit observer que le forage a rencontré dans la partie supérieure de la craie des eaux ascendantes, dont le niveau se tient à 10 mètres au-dessous du sol. L'eau des Sables verts avait cessé de jaillir et s'était abaissée jusqu'à 25 mètres au-dessous de la surface. Les sables avaient obstrué en partie l'espace annulaire entre le tube et le terrain, mais les eaux de la craie pénétraient aussi dans cet espace, et produisaient en se retirant une dépression qui, grâce à la surpression extérieure, provoquait l'écrasement du tubage. Quant à la cause du retrait des eaux, il la voyait dans un éboulement survenu dans les couches albiennes d'amont ; les eaux, au lieu de jaillir, se seraient retirées dans la partie aval de la nappe.

A. de Caligny (1842) se ralliait aux explications de Combes.

Mais à ce moment, la presse s'était emparée de la question ; les détracteurs du puits de Grenelle se mirent à effrayer les Parisiens et dénonçaient les dangers du puits. Pour certains, la craie pesant de tout son poids sur les sables albiens, on risquait en les vidant de leur eau de les voir se déprimer, entraînant le sol de Paris aux abîmes ; d'autres craignaient de voir la Seine s'infiltrer dans quelque fissure et disparaître dans ce gouffre. Enfin, si la prudence commandait de fermer le puits de Grenelle, comment s'y prendre pour interrompre un torrent aussi impétueux ?

Excédés, Arago et les membres de l'Académie ne publiaient plus aucune communication sur cette question, et se contentèrent de les mentionner dans les procès-verbaux.

Les lettres de Hallary (1842) et Korisliki (1842) eurent ce sort, qui s'aggrava, pour celle d'Audrand (1842), d'une appréciation sévère d'Arago, qui déclara que les circonstances relatées par cet auteur sont inexactes, et ses informations mauvaises. Arago jugea du reste qu'une mise au point était nécessaire, et le 7 février 1842, dans une communication remarquable, il annonça à l'Académie qu'une commission avait été nommée par le préfet de la Seine pour examiner les précautions à prendre dans le tubage définitif du puits de Grenelle. Il fit justice des craintes absurdes que l'on faisait partager au public ; enfin, reprenant à son compte l'explication de Combes il admit que la surpression extérieure avait déterminé l'écrasement du tube de cuivre incapable de résister à une pression supérieure à dix atmosphères, comme l'établissaient des essais à la presse hydraulique. Il annonça qu'on se proposait de substituer à ce tubage trop faible des tuyaux en tôle de fer capables de résister à des pressions de 70 atmosphères.

RÉPARATION DU TUBAGE. — La Commission, nommée par le préfet de la Seine, était composée de MM. Élie de Beaumont, Brongniart, Poncelet, membres de l'Institut ; MM. Gales, Lanquetin, Sanson-Davilliers, Arago, membres du Conseil municipal ; MM. Mary et Lefort, ingénieurs de la ville, et M. Tremisot, chef de bureau.

Elle décida de placer un tubage en fer forgé de 5 mm. d'épaisseur et de 0 m. 140 de diamètre. MM. Mary, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et Lefort, ingénieur du même Service, tous deux membres de la Commission, furent chargés de surveiller le travail.

L'EAU DU PUIITS DE GRENELLE. — Arago avait mesuré avec grand soin la température du puits de Grenelle pendant son exécution, soit seul, soit avec Walferdin ; or, il avait estimé que l'eau jaillirait à la température de 30°, nombre un peu trop fort, mais qui avait mis en évidence l'une des qualités principales de l'eau artésienne. Avec sa perspicacité coutumière, Arago avait prévu un emploi très spécial de l'eau attendue : le chauffage des serres, des piscines, des hôpitaux ; première application du chauffage central à courant d'eau chaude — et même du chauffage urbain — (Arago, 1835). Mais le débit trop faible et la température de l'eau (26°5) ne permit pas de réaliser ce projet.

Le même projet fut repris par Ricord (1841), qui, dans une communication à l'Académie des Sciences, indiqua comment aménager les canaux chargés de conduire au loin les eaux du puits, pour perdre le minimum de chaleur. Mais cette proposition n'eut pas de suite, et l'eau de Grenelle ne fut jamais utilisée comme source de chaleur.

Les matières en suspension dans l'eau préoccupaient aussi plusieurs personnes : l'on suggéra aux entrepreneurs de surélever l'orifice du forage, afin de diminuer la vitesse d'écoulement et l'entraînement des matières étrangères (Galy et Cazalat, 1842).

Arago fit remarquer que le fait est bien connu, mais qu'il convenait de préférer une méthode qui conduit au même résultat, sans affecter le débit : on suréleva donc l'orifice au moyen d'un tube de 33 m. 10 de hauteur, dont la base comportait une tubulaire et une vanne de décharge. Cette installation, toutefois, n'arrêta pas complètement les matières solides qui, périodiquement, troublaient la limpidité du liquide.

M. Lefort, ingénieur chargé de la surveillance du forage, mit au point et fit exécuter un appareil curieux, imaginé par son chef de service, M. Mary, afin d'éliminer complètement les sables dans le réseau de distribution. L'eau, à la sortie du tube ascensionnel, était reçue dans une cuvette concentrique à ce tube et équilibrée par des contrepoids ; l'eau était projetée ensuite dans un bassin portant une soupape de distribution, une bonde de fond et une bonde de superficie. Quand les sables arrivaient, l'excès de poids faisait descendre la cuvette et décrocher la soupape. L'eau s'élevait dans le bassin et se rendait à la décharge par la bonde de superficie. Quand l'eau était normale, elle se rendait par la bonde de fond dans les canalisations jusqu'au bassin de l'Estrapade, près du Panthéon, d'où on la distribuait aux usagers.

Afin d'obtenir une mise en charge suffisante et pour consolider la colonne ascensionnelle qui, nous l'avons vu, s'élevait à 33 m. 10 au-dessus du sol, on décida de l'enfermer dans une construction solide. Celle-ci fut édifiée

sur la place de Breteuil, à quelque distance du forage, dont l'eau lui parvenait par une canalisation. La colonne en fonte, de forme hexagonale, était placée sur un socle en pierre de taille, haut de 42 m. 85, elle avait 3 m. 55 de diamètre à la base et 2 m. 70 au sommet. Un escalier d'une largeur de 75 cm. et comptant 150 marches, permettait l'accès de la plate-forme supérieure, supportant une lanterne en coupole. Cet escalier était soutenu extérieurement par six montants. Quatre vasques étaient étagées à l'intérieur de la colonne, dont le poids atteignait 100 tonnes. L'eau, ainsi mise en charge à l'altitude + 77, se rendait par siphon au réservoir du Panthéon.

Ce monument, d'un art très discuté, disparut en octobre 1903 ; on le remplaça par le monument de Pasteur.

En 1906 enfin on édifia un petit monument sur l'orifice du puits, qui était resté découvert jusqu'alors, pour indiquer le point exact du forage, à l'angle des rues Valentin-Haüy et Bouchut. Il porte sur ses faces des médaillons aux effigies de Georges Mulot, Rosa Bonheur, Valentin Haüy et le Dr Bouchut.

**DÉBRÏ.** — Dans les 24 heures qui suivirent le jaillissement et malgré la grande masse de sable entraînée, le puits de Grenelle débita 4 millions de litres (Arago, 1841 a), soit 4.000 m<sup>3</sup> par 24 heures, régime qu'il conserva pendant quelque temps. Mais, après l'accident survenu au tubage, le débit commença à décroître. Le puits entraînait toujours des matières en suspension qu'on ne réussit à éliminer que bien plus tard.

Quand la turbidité de l'eau augmentait, le débit diminuait. C'est ainsi que le 19 août 1843, l'eau qui était limpide devint subitement sale, lorsqu'on la laissa s'écouler sur le sol au lieu de passer par le tube coiffant l'orifice ; à 10 heures, le débit avait presque cessé, le lendemain il croissait légèrement jusqu'à près de 10 pouces fontainiers par 24 heures, soit 200 m<sup>3</sup> (le pouce fontainier équivalait à 20 m<sup>3</sup>). Le 21, l'eau sortait limpide.

On réparait alors le tube surélevant le forage qui débouchait dans une vasque. Le 16 septembre 1843, les travaux terminés, on fit monter l'eau jusqu'à la cuvette supérieure. On obtint un débit de 55 pouces (1.100 m<sup>3</sup>). Le 16 novembre, l'eau se troubla de nouveau, mais ne tarda pas à recouvrer sa limpidité, qu'elle perdit de nouveau dans la nuit du 23 au 24 décembre, où l'on constata qu'elle charriait des matières argileuses en grande abondance. Mais le 23 décembre au soir, l'eau était claire.

Peu de temps après nouvelle diminution sensible du débit. Le 23 janvier, on ne recueillit que 27 pouces d'eau dans la cuvette (540 m<sup>3</sup>) ; le 25 janvier, 480 m<sup>3</sup> (Lefort, 1844 b).

M. Lefort proposa, dans un rapport en date du 1<sup>er</sup> février 1844, à la Commission du puits artésien de Grenelle d'ouvrir le robinet placé au bas de la colonne ascensionnelle pour augmenter la pression, donc la vitesse dans le tube, et chasser ainsi les matières accumulées à la base du forage et qui l'obstruaient.

La proposition de Lefort fut acceptée le 11 février 1844 ; on commença

le lendemain à ouvrir progressivement le robinet inférieur qui, le 20, était ouvert en grand. Au cours de cette période le débit avait varié : 23 à 28 pouces fontainiers, soit 460 à 560 m<sup>3</sup> par 24 heures, d'une eau presque constamment limpide ; la couleur ne s'était altérée qu'un seul jour et seulement pendant une heure. On constata dans la colonne une suite d'oscillations d'une amplitude de 5 mètres, qu'on attribua aux engorgements temporaires de l'orifice inférieur d'écoulement.

Le 21 février, à 6 heures du matin, le robinet-vanne étant ouvert en plein, l'eau arriva très noire et abondante. On obtint ce même jour, à 16 heures, le maximum de débit : 90 à 92 pouces, soit 1.800 à 1.840 m<sup>3</sup>. L'eau se clarifia au cours de la nuit suivante, mais se troubla à nouveau le 24 à 14 h. 30.

On déduisit de cette alternance de trouble et de limpidité que la partie inférieure du tubage s'était considérablement obstruée : les matières évacuées du 21 au 22 février atteignaient un volume de 17 m<sup>3</sup> 008 ; dans lequel se trouvaient des nodules argileux sous forme de galets allongés. On pensa que l'obstruction avait pu se produire entre le tube initial de 0 m. 170 de diamètre, et le tube supérieur de la colonne ascensionnelle de 0 m. 140.

Le 25 février, l'eau étant parfaitement claire et le débit ayant atteint son maximum, la Commission estima que le fond du puits était désobstrué et que l'on pouvait sans crainte faire remonter progressivement l'eau artésienne jusqu'à la cuvette supérieure, située à 33 m. 10 au-dessus du sol. On ferma le robinet inférieur les 26, 27 et 28 février 1844. Le 28 à 17 heures, on constatait 53 pouces 35 d'eau déversée dans la cuvette (1.077 m<sup>3</sup>). Le débit varia entre 53 et 56 pouces (1.060 à 1.160 m<sup>3</sup>). Par la suite le débit était régularisé et l'eau parfaitement limpide, sauf quelques remontées accidentelles de sable de pyrite et d'argile.

Donc, après un nettoyage par élévation du déversement donc par réduction de vitesse, l'eau se clarifia grâce à un véritable filtre formé par un amas de nodules de pyrites à la base du tubage. Trop denses, elles n'étaient pas entraînées par les eaux ascendantes et opposaient un obstacle intermittent au sable fin et à l'argile enlevés par les filets d'eau attirés vers la base du forage (Arago, 1842 a ; Lefort, 1844 b). Toutefois, ce filtre naturel se déséquilibrait parfois, laissant échapper des particules fines jusqu'à ce qu'un nouvel écran de filtration se soit produit.

Il est curieux de constater que 80 ans avant l'emploi des filtres, des crépines et des massifs de graviers, on avait bénéficié à la base du tubage du puits de Grenelle d'un massif protecteur qui clarifiait de façon intermittente l'eau du forage.

Le débit du puits de Grenelle varia peu jusqu'en 1861, 990 à 1.000 m<sup>3</sup> par 24 heures. Le 24 septembre 1861, le puits de Passy fut mis en service. Le débit du puits de Grenelle fut influencé 24 heures après et il ne cessa de décroître ensuite (Daubrée, 1887, T. II, p. 146-147) :

le 25 septembre 1861	— à midi	— débit :	907 m <sup>3</sup> /j.
25 »	»	— à minuit —	» 806 —
26 »	»	»	» 778 —
27 »	»	»	» 720 —
1 <sup>er</sup> octobre	»	»	» 634 —
12 »	»	»	» 605 —

En 1862, le débit était remonté à 680 m<sup>3</sup> par 24 heures, mais ne cessa ensuite de décroître.

Il fut encore influencé par le percement du puits de la place Hébert, et en septembre 1887, deux mois après le percement de ce dernier, il était tombé à 250 m<sup>3</sup>. Il augmenta un peu cependant, et de 1898 à 1903, il fournit encore 410 m<sup>3</sup> par 24 heures. Le jaillissement cessa vers 1910 ; on renonça à installer une pompe et l'ancêtre des grands forages de la région parisienne se repose actuellement sous son mausolée de la rue Valentin-Haüy, après avoir joué un rôle de premier ordre dans l'hydrogéologie profonde du bassin de Paris.

ANALYSE DE L'EAU DU PUIIS. — L'eau prélevée immédiatement après le jaillissement fut analysée sommairement par Pelouze. Celui-ci démontra que l'eau du forage était beaucoup plus pure que l'eau de la Seine (Arago, 1841 a) ; mais, comme elle renfermait des matières en suspension : sable, argile, pyrite, on attendit quelques semaines pour confier une analyse plus complète au grand chimiste Payen, qui en communiqua les résultats à l'Académie des Sciences (Payen, 1841).

#### Analyse de l'eau du puits de Grenelle.

	Millig. par litre.
Carbonate de chaux.....	68
Carbonate de magnésie.....	14,2
Bicarbonate de potasse.....	29,6
Sulfate de potasse.....	12
Chlorure de potassium.....	10,9
Silice.....	5,7
Substance jaune.....	0,2
Matières organiques azotées.....	2,4
Total.....	143,0

L'analyse ne décéla pas de sulfate de chaux.

L'auteur avait recherché les gaz dissous ; il trouva 1 l. 80 de gaz par 100 litres d'eau, dont 0 l. 15 de CO<sup>2</sup> et 1 l. 65 d'air où « l'Oxygène et l'Azote sont comme 22 à 78 ». Ultérieurement, la teneur en gaz dissous s'abaissa légèrement.

La substance jaune observée s'est retrouvée dans quatre analyses successives : elle était soluble dans l'eau, l'alcool anhydre ou étendu, et l'éther.

Il s'agit probablement d'une dissolution de succinite, sorte d'ambre fossile, dont les fragments assez volumineux ont été trouvés depuis, dans les Sables verts albiens de divers forages.

On décida, vers la fin de 1856, d'analyser les eaux de Grenelle chaque semaine jusqu'à l'achèvement du puits de Passy (Belgrand, 1861) ; ce projet n'eut aucune suite, mais Belgrand fit chaque semaine un essai hydrotimétrique. De ces observations, poursuivies pendant dix années, il conclut que les eaux fluviales infiltrées aux affleurements des Sables verts Albiens arrivent sous Paris en deux mois. Nous savons maintenant que la méthode était trop imprécise pour donner des résultats (voir p. 212-213). D'ailleurs la vitesse réelle est bien inférieure.

L'eau du puits de Grenelle a été analysée continuellement depuis cette date. On trouvera une analyse récente dans les renseignements annexés à la coupe géologique du puits de Grenelle.

LE NIVEAU HYDROSTATIQUE DU PUIIS DE GRENELLE. — La cote du niveau hydrostatique du puits de Grenelle a une importance capitale dans l'étude de la nappe aquifère des Sables Albiens. En effet, elle mesure le niveau statique de la nappe elle-même, à un moment où seul débitait le puits de Grenelle (si on excepte les puits d'ELBEUF) et où par conséquent ce niveau n'était diminué par aucune perte de charge, *en admettant que la nappe était entièrement isolée dans ses épontes imperméables d'argile.*

Malheureusement, aucune mesure directe de la pression à l'état statique n'a été faite directement. Il eût fallu coiffer la tête du tubage d'une vanne arrêtant entièrement le débit et munie d'un manomètre, ce que n'osa faire la Commission de surveillance qui craignait — d'ailleurs à tort — les conséquences d'un arrêt, même momentané du puits.

On se borna donc — ce qui est déjà fort intéressant — à mesurer le débit par des ajutages disposés à des hauteurs croissantes. Or, la loi de Darcy, appliquée aux puits artésiens, indique que le débit doit décroître avec l'altitude de déversement selon une loi linéaire (Voir chapitre VII). On peut donc soit calculer, soit mesurer graphiquement l'altitude où ce débit serait nul dès que l'on possède deux mesures de débit et deux cotes bien déterminées.

Nous ne nous arrêterons pas sur les nombres donnés par Belgrand (1861) dans sa note sur le puits de Passy ; soient + 128 pour le puits de Grenelle et 109 pour le puits de Passy. Ces nombres ont été fort discutés, notamment par Meynard (1937).

Voici un tableau qui résume les observations de Mary et Lefort (in Michal 1863), dans ses 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> colonnes (altitudes et débits en pouces fontainiers de 20 mc<sup>3</sup> à l' minute). Nous y avons joint les pertes de charge, calculées par la formule de Flamant (5<sup>e</sup> colonne), ce qui permet, par addition avec les nombres de la 2<sup>e</sup> colonne, d'inscrire dans la 6<sup>e</sup> colonne les niveaux d'eau rectifiés.

Observations de Mary et de Lefort<sup>1</sup>.

Obs.	Altitudes	Débit en poüces fontainiers 20mc par minute	Débit en litres par seconde	Perte de charge en m.	Altitude rectifiée
1	37,90	0,02000	6,66	1,91	39,81
2	40,95	0,01867	6,21	1,64	42,59
3	43,00	0,01822	6,06	1,51	44,51
4	50,00	0,01700	5,66	1,31	51,31
5	52,40	0,01638	5,50	1,26	53,66
6	53,55	0,01588	5,30	1,10	54,65
7	56,30	0,01524	5,08	0,98	57,28
8	62,95	0,01426	4,75	0,95	63,90
9	66,40	0,01342	4,46	0,82	67,22
10	71,00	0,01244	4,15	0,76	71,76

Toutes les observations sont des mesures directes à la cuve, mais elles ne sont pas toutes d'égale valeur : seules les observations N° 1 et N° 10 ont été faites pendant les périodes de calme ; pour les huit autres, on a profité de temps relativement courts, pendant des réparations ou de nouvelles installations.

Telles qu'elles sont dans l'ensemble, les observations vérifient bien la loi de décroissance linéaire du débit avec l'altitude et permettent de déclarer valable le calcul du niveau hydrostatique à cette époque.

L'importance considérable que l'on doit accorder à ce calcul, nous a incité à le faire selon quatre modes différents ; d'une part en tenant compte des dix observations, selon la méthode des moindres carrés, et d'autre part, en ne tenant compte que des meilleures observations, N°s 1 et 10. Ce double calcul a été fait en négligeant ou en ne négligeant pas la perte de charge. On obtient ainsi les quatre résultats suivants :

	Par les deux observations N°s 1 et 10 seules	Par la méthode des moindres carrés sur les dix observations
En ne tenant pas compte de la perte de charge	125 m. 47	127 m. 95
En en tenant compte	124 m. 33	125 m. 98

Cette divergence dans les résultats de quatre calculs fondés sur les mêmes

1. MICHAL adopte la cote + 37,90 pour le sol de l'abattoir, alors que divers auteurs ont indiqué la cote + 36,50 (GÉRARDS, 1909). La 1<sup>re</sup> cote est sans doute non celle du sol, mais celle du robinet à la base de la colonne.

observations, est un exemple des difficultés entraînées par le défaut d'observation directe, et nous incite à nous défier des calculs même les plus simples (et surtout des extrapolations) quand ils s'appliquent à des objets naturels. Ainsi, en supposant même que la mesure N° 1 soit parfaite, un écart de 1 mètre dans la mesure N° 10 entacherait le calcul du niveau hydrostatique de 2 m. 50 : Or, l'observation N° 6 s'écarte de plus de 1 mètre de la droite interpolatrice N° 1-N° 10.

Nous sommes donc conduits à adopter finalement pour le niveau hydrostatique du puits artésien de Grenelle une cote arrondie qu'il est raisonnable de fixer à 126 mètres.

LES TREMBLEMENTS DE TERRE ET LES PERTURBATIONS DU Puits DE GRENELLE. — Le 5 juillet 1841 le jaillissement s'arrêtait et le sommet du tubage s'écrasait ; or, on signale, sans d'ailleurs lier les phénomènes, que la terre avait tremblé à Paris, dans la nuit du 4 au 5 juillet. La secousse avait été ressentie rue des Mathurins-Saint-Jacques, rue de Seine, place Royale et rue de Tournon ; le phénomène était dirigé S.E.-N.O. et une secousse verticale avait même été remarquée (Arago, 1841 b).

Cette coïncidence avait attiré l'attention de Lefort et lorsqu'en 1844 l'eau du forage se troubla, il signala à l'Académie que le 22 décembre, vers 16 heures, une secousse de tremblement de terre avait été ressentie assez fortement dans certains quartiers de GRENELLE, à SAINT-MALO et à PARAMÉ. L'auteur n'en tirait cependant aucune conclusion précise et se bornait à un simple rapprochement.

Rappelons aussi qu'une secousse sismique a été ressentie en Italie et en France, à MACON, au moment même où se produisit l'accident du tubage du puits de la CHAPELLE, en novembre 1887.

Peut-être y a-t-il là autre chose que de simples coïncidences.

DIAMÈTRE OPTIMUM DES FORAGES. — En 1852, sous la pression des argiles inférieures, une portion du tubage de 0 m. 140 s'était aplatie, on descendit un second tube de 0 m. 10 de diamètre seulement ; le débit du puits ne varia pas, aussi en conclut-on que le débit n'était pas proportionnel au diamètre (Daubrée, 1887), contrairement à l'opinion de certains. L'expérience a montré depuis qu'il existe un diamètre au delà duquel on n'obtient guère de débit supplémentaire.

LIMITATION DU NOMBRE DES Puits ARTÉSIENS. — Dès l'année 1861 Belgrand a comparé les niveaux de Grenelle et de Passy et étudié comment s'influençaient les débits. Il conclut qu'il ne fallait pas trop multiplier les puits, si l'on voulait leur conserver les avantages de l'artésianisme. Il était en complet accord avec des entrepreneurs de sondages qualifiés qui pensaient qu'on ne pourrait exécuter plus de six puits profonds dans Paris (Degoussée et Laurent, 1861). L'avenir devait justifier pleinement ces appréhensions ; sur sept puits foncés dans Paris, deux seulement jaillissent encore : ceux de la Raffinerie Say et de la rue Blomet, mais le débit de ce dernier est à peu près négligeable.