



**HAL**  
open science

# Une expérience scientifique au XIXe siècle dans le puits Verpilleux

Jean-Numa Foulc, Frédéric Aitken

► **To cite this version:**

Jean-Numa Foulc, Frédéric Aitken. Une expérience scientifique au XIXe siècle dans le puits Verpilleux. Revue des Amis du Musée de la Mine de Saint-Étienne, 2020. hal-03038309

**HAL Id: hal-03038309**

**<https://hal.science/hal-03038309>**

Submitted on 3 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Une expérience scientifique au XIX<sup>e</sup> siècle dans le puits Verpilleux

Jean-Numa Foulc et Frédéric Aitken  
UGA, CNRS, G2Elab, F-38000 Grenoble

Le puits Verpilleux N°1 situé dans le bassin houiller de Saint-Étienne, dont le fonçage se termina en avril 1877 à environ 386 m de profondeur, donna lieu avant son entrée en exploitation à une expérience scientifique marquante réalisée par le physicien français Émile-Hilaire Amagat. É.-H. Amagat eut ainsi l'opportunité d'œuvrer dans un site particulièrement intéressant (une cavité profonde, verticale et accessible) pour mener à bien une partie de ses recherches sur la compressibilité des gaz à hautes pressions. C'est M. Villiers, directeur de la Société des houillères de Saint-Étienne, qui mit à la disposition d'Amagat le puits Verpilleux et M. Buisson, ingénieur en charge de la direction des travaux du puits, apporta sa contribution dans le déroulement de l'expérience menée en 1878.



Fig.1. Chevalement du puits Verpilleux N°1.

Mais en quoi consistait cette expérience scientifique ?

La compressibilité est une propriété générale de la matière qui conduit tout corps (solide, liquide ou gazeux) à réduire son volume sous l'effet de la pression. L'étude expérimentale de la compressibilité consiste donc à imposer à un corps une pression connue et à mesurer sa contraction. La température du corps joue aussi un rôle dans la variation de son volume.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, pour mesurer la compressibilité des gaz on utilisait comme générateur de pression un tube relié par sa base à un récipient de mercure, appelé manomètre à air libre. À température ambiante, une hauteur de 76 cm de mercure crée une pression d'une atmosphère (atm). On comprend dès lors que pour obtenir des hautes pressions (plusieurs centaines d'atmosphères) il soit nécessaire de disposer d'une colonne de mercure de très grande hauteur !

Pour son expérience, Émile Amagat installa dans le puits Verpilleux un tube d'acier vertical de 328 m de hauteur (en 15 tronçons d'environ 22 m), de 5 mm de diamètre extérieur et de 2 mm de diamètre intérieur pouvant engendrer une pression de 430 atm. Ce tube était fixé à la gaine d'aération scellée à la paroi du puits sur toute sa hauteur (Fig.3).

Au niveau de la station inférieure, située dans une galerie accolée au puits (cette galerie sans issue où régnait une température constante, fut reliée par la suite au puits Mars), une pompe permettait d'élever le niveau du mercure dans le tube et de mettre sous pression le gaz étudié. Un tube en cristal finement gradué contenant le gaz, appelé *tube de mesure*, un dispositif de lecture (viseur et lampe) et un thermomètre plaqué contre le tube de mesure, pour déterminer le volume et la température du gaz, complétaient l'appareil (Fig.4). Le volume du gaz comprimé était déduit de la lecture de sa hauteur dans le tube de mesure. Pour contrôler le niveau du mercure, un opérateur se positionnait à l'aide d'une benne à une hauteur choisie et remplaçait temporairement le raccord métallique opaque reliant deux tronçons du tube par un raccord en verre. Lorsque le niveau du mercure atteignait ce dernier, l'opérateur demandait à l'agent de la station inférieure de stopper la montée du mercure. Une mesure du volume et de la température du gaz était alors effectuée. Cette même opération était ensuite répétée à des hauteurs croissantes jusqu'au sommet du tube. Il est à noter que la détermination du niveau de mercure à chaque station était extrêmement pénible et Émile Amagat remercia M. Buisson d'avoir bien voulu faire lui-même cette opération.

Quelques précisions concernant l'appareil. La pompe a été usinée dans un cylindre de bronze de 28 cm

de diamètre et de 50 cm de hauteur. Le réservoir de mercure est constitué d'un tube en fonte de 7 cm de diamètre intérieur et de capacité 1,5 litre.



Fig.2. Installations du puits Verpillieux N°1.

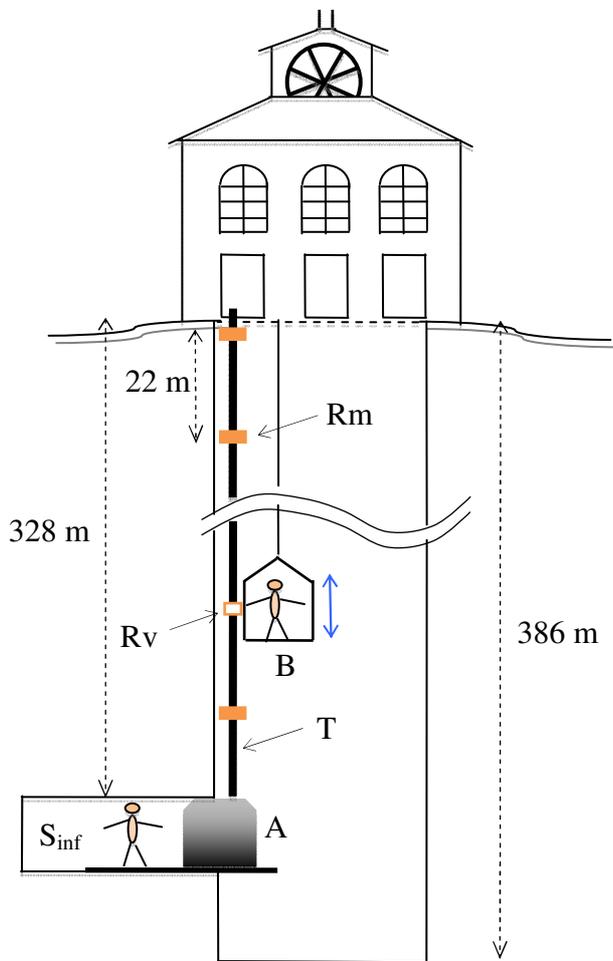


Fig.3. Schéma du dispositif expérimental d'Amagat au puits Verpillieux.

A, appareil ; T, tube d'acier ; B, benne ; Rm, raccord métallique ; Rv, raccord en verre ; S<sub>inf</sub>, station inférieure.

L'aspiration et le refoulement du mercure s'effectuent par l'intermédiaire d'un cylindre plongeur en acier de 1,2 cm de diamètre, d'une couche tampon

de glycérine, prélevée dans le vase G, et d'un système à bras de levier de longueur adaptable. Trois robinets à pointeau P, P' et P'' permettent de mettre en communication ou d'isoler les différentes parties de l'appareil. P établit la communication entre le réservoir de mercure et le reste de l'appareil, P' met en liaison le tube d'acier (contenant une hauteur de mercure connue) et le tube de mesure renfermant le gaz. P'' permet de vider l'appareil via un trou de vidange. Lors d'une mesure de compressibilité, le tube de mesure est fermé, il contient le gaz à étudier dans sa partie haute et il est mis en contact avec la colonne de mercure dans sa partie basse (mise sous pression du gaz). L'ensemble tube de mesure-thermomètre est inséré à l'intérieur d'un manchon en verre épais dans lequel circule de l'eau afin de stabiliser la température du gaz.

Ne disposant que d'un temps réduit (la mise à disposition du puits par M. Villiers se limitait à deux jours par semaine, les samedis et dimanches) pour effectuer ses expériences dans le puits Verpillieux, Amagat se borna à l'étude de la compressibilité du gaz azote en fonction de la pression jusqu'à 430 atm et pour une température de 22 °C.

### Contexte et apport des travaux d'Amagat au puits Verpillieux

Les premières études sur le comportement élastique des gaz soumis à une pression  $P$  et à une température  $T$  datent du XVII<sup>e</sup> siècle. Dès cette époque, il fut établi qu'à température constante le volume  $V$  d'un gaz était inversement proportionnel à la pression appliquée (loi de Boyle-Mariotte). Par la suite, des avancées successives permirent de formaliser la loi dite des gaz parfaits qui stipule que, pour une quantité de gaz donnée, le produit  $PV$  du gaz est proportionnel à sa température.

Le XIX<sup>e</sup> siècle verra apparaître divers travaux sur la compressibilité des gaz réels (air, azote, oxygène, etc.) soumis à des pressions élevées. Ces études montrèrent notamment que pour un relevé isotherme ( $T$  constant), le produit  $PV$  dépendait de la pression, contrairement à ce qu'indiquait la loi des gaz parfaits. La loi de variation de l'isotherme  $PV$ , dont le tracé porte le nom de *diagramme d'Amagat*, traduit la valeur de la compressibilité d'un gaz. Pour la plupart des gaz, lorsque la pression augmente, la loi de variation de  $PV$  est d'abord décroissante puis ensuite croissante. Il en résulte que, sous conditions de température et de pression identiques, la compressibilité isotherme (définie par le

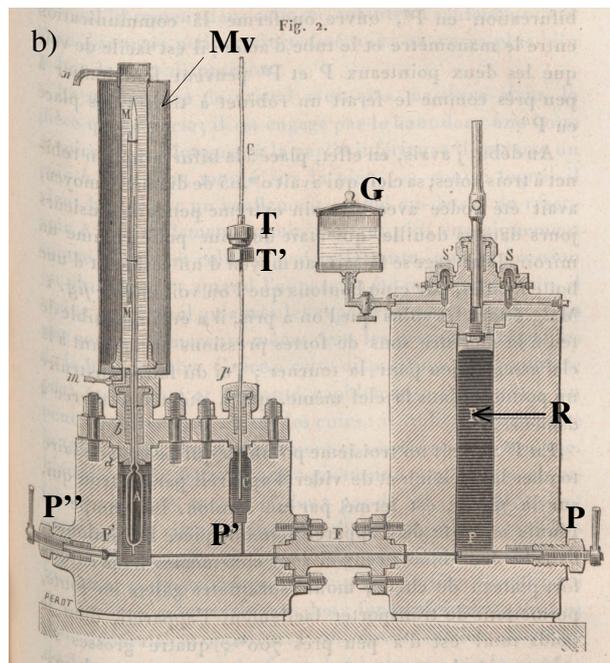
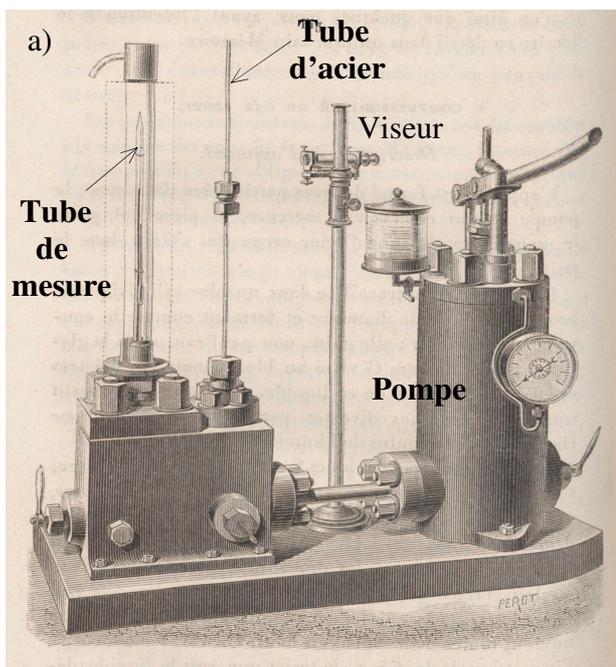


Fig.4. Appareil utilisé par Amagat dans le puits Verpilloux.

- a) l'appareil est constitué de trois parties principales : la pompe, le tube de mesure et le tube d'acier (colonne de mercure).  
 b) appareil en coupe : R, réservoir de mercure ; G, vase de glycérine ; Mv, manchon en verre ; TT', fixation démontable reliant deux tronçons du tube d'acier ; P, P', P'', robinets à pointeau.

coefficient  $K_T$ ) d'un gaz réel est supérieure à celle d'un gaz parfait, pour les pressions faibles, et inférieure, pour les pressions élevées.

Parmi les applications où intervient la compressibilité d'un gaz, on peut citer la machine à vapeur

dans laquelle l'énergie thermique  $k_B T^{(*)}$  obtenue par la combustion du charbon pour produire et chauffer la vapeur d'eau est transformée en énergie mécanique  $PV$  via un système à piston, dans un cycle thermodynamique.



Fig.5. Portrait d'Émile-Hilaire Amagat.

Émile-Hilaire Amagat est né le 2 janvier 1841 à Saint-Satur dans le Cher et décédé dans cette même ville le

15 février 1915. Ne sortant d'aucune grande école, il travailla seul et réussit son agrégation de physique, puis obtint à la faculté des sciences de Paris le grade de docteur ès-sciences. En 1877, il occupe une chaire de professeur de physique à l'université catholique de Lyon puis, en 1891, un poste d'examineur à l'École polytechnique de Paris. Émile Amagat consacra toute sa carrière à l'étude des propriétés physiques des corps dans leurs divers états. Ses travaux scientifiques unanimement reconnus en France et à l'étranger lui permirent de devenir membre de l'Académie des sciences de Paris et de la Société royale de Londres, et président de la Société française de physique. L'Académie des sciences lui décerna le prix La Caze en 1902 et, à titre posthume, le prix Jean Reynaud en 1916, pour l'ensemble de son œuvre.

Les relevés effectués par Amagat sur la colonne de la Compagnie des eaux de Lyon (plage 27-75 atm) et au puits Verpilloux (plage 75-430 atm), mettent bien en évidence l'évolution de la compressibilité isotherme du gaz azote en fonction de la pression (Fig.6). Les résultats qu'il a obtenus ont été remarquables tant par l'étendue des mesures (les valeurs de compressibilité de l'azote se limitaient jusqu'alors à une pression de 30 atm) que par leur

(\*)  $k_B$  : constante de Boltzmann,  $T$  : température absolue.

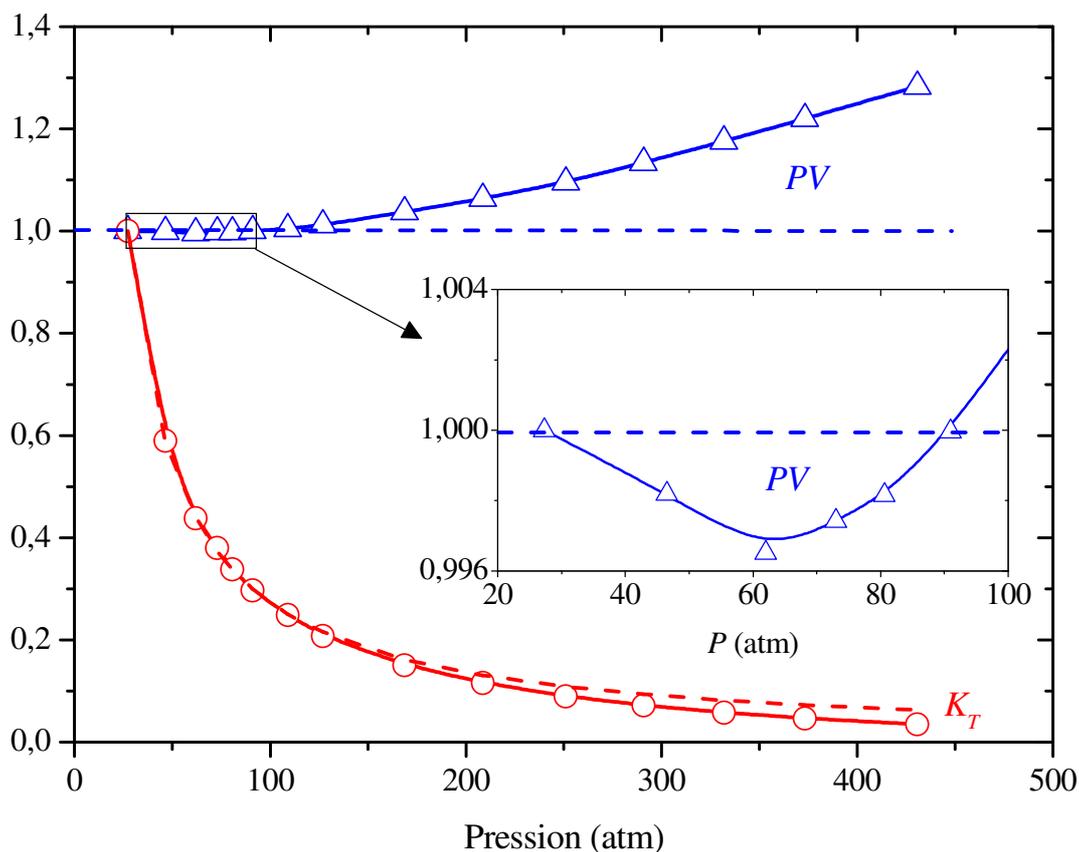


Fig.6. Mesures d'Amagat pour le gaz azote sur l'isotherme 22 °C.

Les grandeurs représentées sont adimensionnelles et réduites à l'unité pour  $P = 27 \text{ atm}$ .

Gaz réel : les triangles et les cercles correspondent aux mesures, les tracés en traits pleins sont des courbes de tendance ; produit PV (bleu), coefficient de compressibilité isotherme  $K_T$  (rouge). Gaz parfait : évolutions de PV (pointillés bleus) et de  $K_T$  (pointillés rouge).

exceptionnelle qualité (ses données furent immédiatement utilisées pour calibrer les manomètres à gaz).

Au-delà du travail réalisé au puits Verpilleux, Amagat continua d'étudier avec une extrême rigueur le comportement de nombreux gaz, liquides et solides dans des plages étendues de pression (jusqu'à 3000 atm) et de température (de 0 à 100 °C). L'apport scientifique d'Émile Amagat est encore de nos jours unanimement reconnu et le place parmi les plus grands physiciens français du XIX<sup>e</sup> siècle.

C'est donc pour le Musée de la Mine de Saint-Étienne et ses amis un honneur de mettre en lumière cette expérience scientifique mémorable ainsi que son auteur.

## Bibliographie

Amagat É.-H., Mémoire sur la compressibilité des gaz à des pressions élevées, *Annales de chimie et de physique*, t.19, pp. 345-385, mars 1880.

Perrier Ed., Hommage à Émile-Hilaire Amagat, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, Paris, t. 160, N° 8, pp. 267-271, 1915.

Delay M., Du charbon, de l'eau, du feu, la locomotive à vapeur, *Revue des Amis du Musée de la Mine de Saint-Étienne*, pp. 3-25, décembre 2019.

Aitken F., Foulc J.-N., *Des profondeurs océaniques au laboratoire*, ISTE Editions Ltd, Londres, 2018, volume 3 : des travaux de Tait sur la compressibilité de l'eau de mer aux équations d'état des liquides.

## Illustrations

Fig.1 et Fig.2 : Association des Amis du Musée de la Mine de Saint-Étienne.

Fig.3 : auteurs de l'article.

Fig.4 : publication d'Amagat citée en bibliographie.

Fig.5 : [Paris] A. Gerschel et fils, 1894, Portrait d'Amagat, répétiteur à l'École polytechnique. Collections Ecole polytechnique (Palaiseau).

Fig.6 : auteurs de l'article.