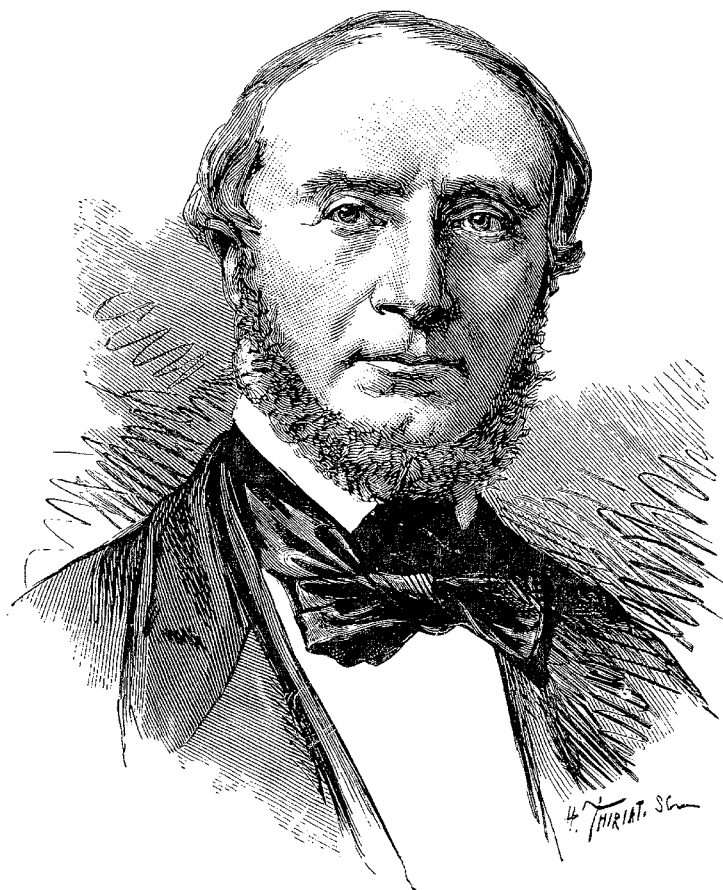


Jean-Daniel Colladon

savant et industriel genevois



Conception et rédaction : Stéphane Fischer, Musée d'histoire des sciences

Mise en page et relecture : Corinne Charvet, Muséum d'histoire naturelle

Photographies : Gilles Hernot, Musée d'histoire des sciences; Philippe Wagner, Muséum d'histoire naturelle

Impression : Centrale municipale d'achat et d'impression, Ville de Genève

©MHS 2010, réédition 2020.

ISSN 2673-6586

*Couverture : Portrait de Jean-Daniel Colladon
Souvenirs et mémoires, Genève, 1893
Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences*

Jean-Daniel Colladon

Jean-Daniel Colladon (1802-1893) est une figure marquante de la science et de l'industrie genevoise du 19^e siècle. A la fois savant et ingénieur, ses découvertes et inventions ont abouti à de nombreuses applications pratiques.

Ce carnet retrace brièvement l'itinéraire scientifique et industriel de l'ingénieur genevois sur la base des objets, manuscrits, dessins et autres documents conservés au Musée d'histoire des sciences.

«... Je suis né sous une heureuse étoile, et pendant ma vie j'ai pu voir bien des révolutions politiques et faire de nombreuses inventions ou découvertes. J'ai mesuré la vitesse du son dans l'eau et montré que l'eau a une prodigieuse élasticité; j'ai étudié les courants électriques produits par les machines à frottement, la bouteille de Leyde et l'électricité atmosphérique; j'ai montré le premier que la lumière peut cheminer en ligne courbe dans une veine liquide et que la vapeur d'eau peut dans quelques cas suspendre les incendies. J'ai décrit le premier que les palettes des roues d'un bateau vapeur doivent se mouvoir sur la roue pendant que celle-ci chemine; j'ai montré que l'on peut employer les roues pour mesurer le travail des machines à vapeur marines, jusqu'à quelque mille chevaux; j'ai montré surtout que l'air comprimé exerce une action de moitié plus forte qu'on ne le croyait et qu'il doit être surtout appliqué pour percer les montagnes. J'ai décrit le premier des taches circulaires produites par la foudre, et j'ai donné une explication de la grêle, etc., etc.

...

Ces différentes inventions ont eu la consécration de nombreuses récompenses, prix, médailles, nominations à l'Institut et autres corps savants, etc.,...»

Jean-Daniel Colladon, Souvenirs et mémoires, Genève, 1893

1825-1826

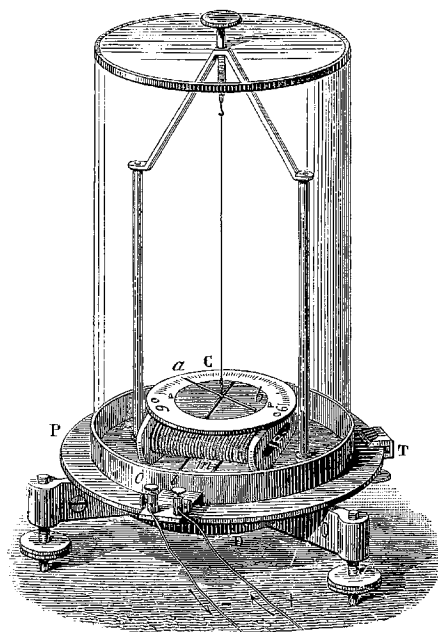
Les années électriques

Durant son séjour à Paris, Colladon réalise diverses expériences fondamentales d'électromagnétisme.

Après des études d'avocat à Genève, Colladon, accompagné de son ami le futur mathématicien Charles Sturm (1803-1855), se rend à Paris en 1825 pour suivre des cours de mathématiques et de physique, ainsi que pour poursuivre leur mémoire sur la compressibilité des principaux liquides. Les deux Genevois y font la connaissance de François Arago (1786-1853) et d'André-Marie Ampère (1775-1836), auteurs de nombreuses découvertes majeures dans les interactions entre électricité et magnétisme. Colladon effectue diverses expériences d'électromagnétisme avec Ampère dans les laboratoires du Collège de France.

Durant ses travaux à Paris, Colladon fabrique un nouveau galvanomètre très sensible destiné à détecter le courant électrique produit par des machines électrostatiques à frottement.

Colladon se sert de son nouvel instrument pour évaluer l'action réelle des paragrêles, sortes de longues perches munies de pointes métalliques dressées dans les champs pour protéger les cultures des effets de la foudre. Il observe que ces dispositifs sont de moins bons paratonnerres que ne le seraient des arbres feuillus de même hauteur. Pour étudier l'électricité atmosphérique, Colladon a l'idée de relier son galvanomètre à la ficelle conductrice de cerfs-volants envoyés à plusieurs centaines de mètres d'altitude. Il observe que toute forte pluie, même si elle n'est accompagnée d'aucun éclair, «verse cependant de l'atmosphère dans le sol des torrents d'électricité, en général, positive»...



Le galvanomètre

Inventé au 19^e siècle, le galvanomètre est un des premiers instruments destinés à mesurer l'intensité d'un courant. Le courant à observer arrive par deux fils aux bornes extérieures de l'instrument avant de circuler dans un fil de cuivre recouvert de soie qui s'enroule un grand nombre de fois autour d'une bobine placée sous une aiguille aimantée suspendue. La bobine, parcourue par le courant, produit un champ magnétique qui fait dévier l'aiguille. Le dispositif est enfermé dans une cloche en verre pour le protéger des courants d'air et de l'oxydation.

Ganot, traité de physique, Paris, 1884

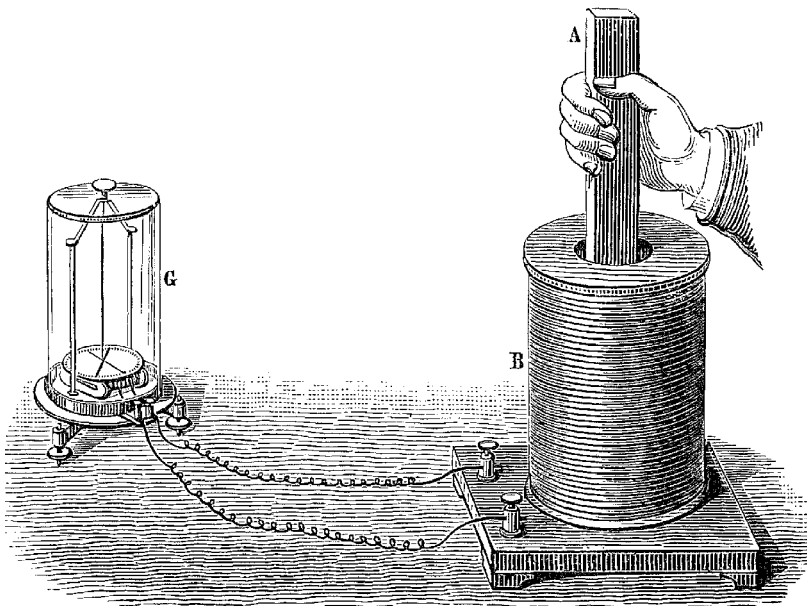
Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Colladon «rate» l'induction

Dans le domaine de l'électricité, Colladon avoue dans ses *Souvenirs et Mémoires* être passé en 1825 à côté d'une grande découverte, celle de l'induction qui sera mise en évidence par l'Anglais Michael Faraday (1791-1867) en 1831. Colladon cherchait alors à vérifier si un aimant présenté devant une bobine de fil conducteur peut y induire la formation d'un courant électrique. Pour éviter que l'aimant ne perturbe le galvanomètre, il avait placé ce dernier dans une autre pièce. Ayant rapproché l'aimant de la bobine, il s'est rendu dans l'autre pièce pour observer son galvanomètre

et constater que son aiguille n'avait pas bougé. Le jeune savant genevois ne se doutait alors pas que l'induction est un phénomène instantané qui se manifeste seulement au passage de l'aimant devant la bobine, comme il aurait pu le constater s'il avait laissé son galvanomètre à portée de vue...

La découverte de l'induction allait ouvrir la voie durant la seconde moitié du 19^e siècle à une multitude de découvertes et d'inventions pratiques sur lesquelles repose encore notre technologie moderne: génératrices, dynamos, centrales électriques, etc.



L'induction magnétique

Un barreau d'acier fortement aimanté (A) est introduit dans une bobine (B) sur laquelle est enroulé plusieurs centaines de fois un fil de cuivre dont les deux extrémités sont reliées à un galvanomètre (G). Dès qu'on introduit le barreau, l'aiguille du galvanomètre subit une déviation instantanée, indiquant la présence de courant.

Ganot, traité de physique, Paris, 1884

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

La vitesse du son dans l'eau

Pour arriver à des mesures précises, Colladon fait preuve d'une belle habileté expérimentale.

1435 mètres par seconde: telle est la vitesse du son mesurée dans l'eau sur le Léman par Colladon en 1826, au cours de l'une de ses plus célèbres expériences. Ce résultat figure dans le mémoire sur la compressibilité des principaux liquides que Colladon et son collègue Charles Sturm remettent à l'Académie des sciences de Paris en 1827, et qui leur vaudra le grand Prix. Quelques années auparavant, le physicien français Pierre-Simon Laplace (1749-1827) avait établi une formule qui permettait de calculer la vitesse du son dans un milieu liquide d'après la densité et la compressibilité de ce dernier. Pour l'eau, la vitesse théorique était de 1437 m/s, une valeur qui sera brillamment confirmée dans la pratique par Colladon.

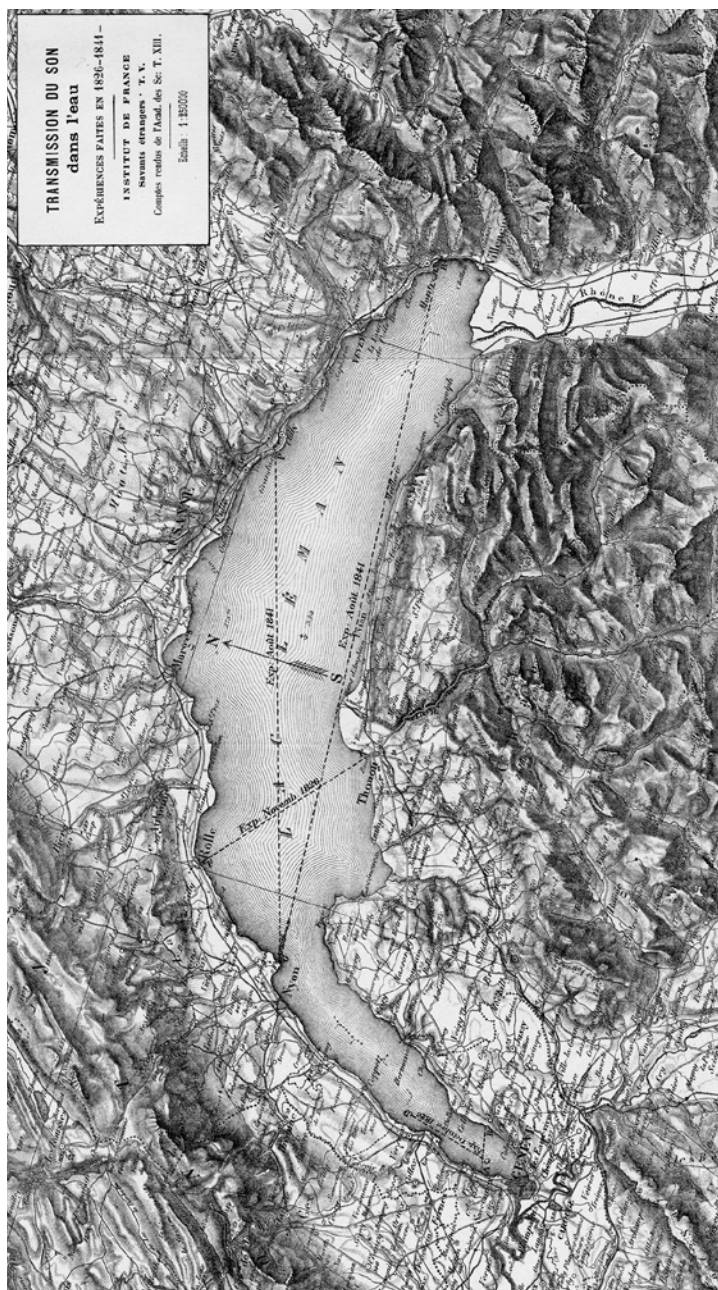
Dans ses *Souvenirs et Mémoires*, Colladon donne quelques indications très intéressantes sur la manière dont il a établi son protocole expérimental. Ses premiers essais de mesure du son dans l'eau du lac datent de 1825. Pour produire le son, il frappe un vigoureux coup de marteau sur une enclume partiellement immergée. Dans le même temps, il lance une fusée pour indiquer l'émission du son à l'attention du second expérimentateur, chargé de chronométrer la vitesse du son, situé sur l'autre rive du lac. Au cours de l'un de ses premiers essais de mesure, une fusée prend feu, blessant Colladon à sa main droite.

En 1826, Colladon apporte quelques améliorations à son dispositif expérimental. L'enclume est remplacée par une cloche immergée de 65 kilos, que l'on frappe depuis une barque à l'aide d'un long marteau coudé. Depuis un second bateau, Colladon plonge sa tête dans l'eau pour écouter le son de la cloche et indique par un signe du bras l'annonce du bruit à un second observateur en charge du chronomètre. Le jeune savant cherche un moyen plus pratique pour écouter le son dans l'eau. Il fait des essais en immergeant un arrosoir métallique. En rapprochant son oreille du bec de l'arrosoir, il constate que le son lui parvient parfaitement et qu'il paraît même amplifié. Il conçoit alors un cornet acoustique en fer-blanc qu'il maintient immergé verticalement dans l'eau en le lestant avec du

plomb, un instrument pour lequel il ne tarit pas d'éloges : « cet instrument augmente tellement la sensation du son que le bruit d'un coup de cloche entendu dans cet appareil à quatorze mille mètres me paraissait aussi intense que le même bruit entendu à deux cents mètres en s'immergeant simplement la tête », écrit-il à ce sujet.

Colladon procède à plusieurs séries de mesure entre Rolle et Thonon sur une distance de près de 14 kilomètres. Installé sur un bateau à proximité de la côte vaudoise, son père actionne le marteau qui frappe la cloche immergée. Un système de mise à feu de poudre couplé au coup de marteau signale par un éclair lumineux l'émission du bruit à Colladon junior assis sur la seconde barque. La tête appuyée contre l'orifice du cornet acoustique, il enclenche son chronomètre et l'arrête quand il perçoit le bruit de la cloche dans le cornet.

Quinze ans plus tard, Colladon effectue un nouvel essai de transmission de son dans l'eau sur le Léman, dans le but de s'assurer que le son se transmet bel et bien sur de grands trajets. Il emprunte la nouvelle cloche en bronze de 500 kilos destinée à l'église de Lancy et fabrique un cornet acoustique de plus grande taille. Il installe le tout sur deux barques, l'une située à Montreux et l'autre vers Nyon, à 50 kilomètres de distance (voir carte p. 31). L'expérience se révèle concluante : le son de la cloche est parfaitement perceptible dans le cornet. Colladon est persuadé que son grand cornet aurait pu percevoir un son émis à une distance double, « cent kilomètres et peut-être au-delà ». Il rêve alors d'un nouveau moyen télégraphique pour communiquer sous la Manche entre la France et l'Angleterre. Hélas, il apprend que les Anglais projettent déjà de construire un véritable télégraphe par câble sous la Manche.



Carte du lac Léman avec les emplacements des différentes expériences de Colladon pour déterminer la vitesse du son dans l'eau.
 Colladon et Sturm, *Mémoire sur la compression des liquides*, Genève, 1841
 Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

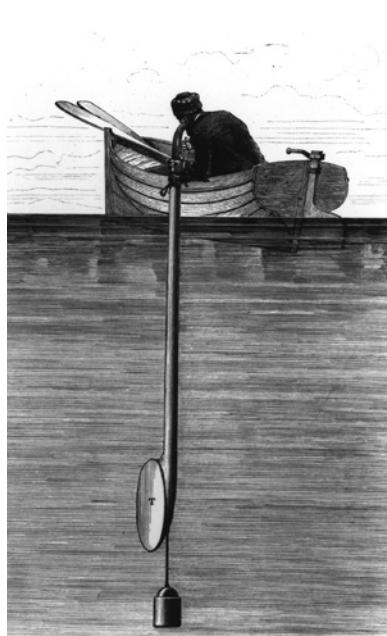
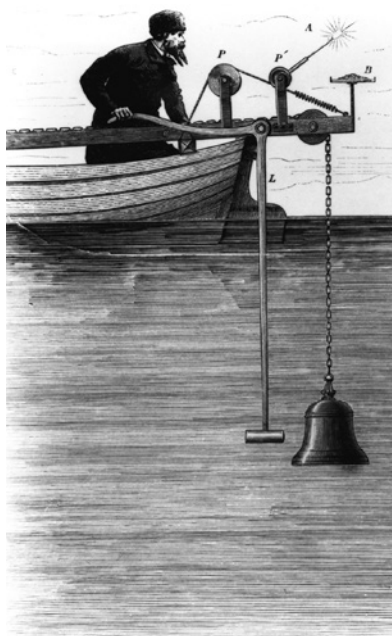
Le précurseur du sonar

Mis au point durant la Première Guerre mondiale, le sonar est un appareil destiné aux navires et sous-marins; il émet des sons et détecte leur écho pour localiser des objets sous l'eau ou pour mesurer la profondeur. Les signaux sonores sont émis et captés par des hydrophones qui transforment les vibrations sonores en signaux électriques. Colladon n'a pas inventé le sonar, mais il en est peut-être un des premiers concepteurs lorsqu'il écrit que, outre le télégraphe sous-marin, ses expériences pourraient déboucher sur une autre application: «...se servir dans les mers profondes de l'écho des sons répercutés par le fond de la mer pour vérifier la profondeur...». Dans cette optique, le cornet acoustique de Colladon peut être considéré comme l'ancêtre des hydrophones modernes.

La compressibilité des liquides

En 1825, l'Académie des sciences de Paris propose comme sujet de concours pour le Grand Prix la mesure de la compressibilité des principaux liquides. Colladon décide de concourir et rédige à la hâte un premier travail portant sur l'eau, l'alcool, le mercure et l'éther sulfurique. Accompagné de son ami Sturm, il se rend à Paris pour étudier les mathématiques. Les deux Genevois rencontrent le physicien français Arago, également membre du jury du Grand Prix, qui promet à Colladon de repousser d'une année la remise du Grand Prix à condition qu'il complète son mémoire en l'étendant à d'autres liquides et en y incluant la mesure de la vitesse du son dans l'eau. Colladon ne peut qu'accepter. Il retourne à Genève pour y mener ses expériences sur le lac pendant que Sturm, qui désormais le seconde dans son travail, poursuit les essais de compressibilité sur d'autres liquides.

Au final, le mémoire de Colladon et Sturm comprend trois parties: une description détaillée de leur dispositif expérimental, le résultat des mesures de chaleur dégagées par différents liquides sous l'effet de pressions fortes et rapides et enfin la mesure de la vitesse du son dans l'eau.



Dispositif expérimental pour la mesure de la vitesse du son dans l'eau

Figure 1 : le bateau émetteur

La cloche immergée est retenue par une chaîne. Le marteau qui frappe la cloche est fixé au bout d'un levier L pivotant autour d'un axe fixe et terminé par une poignée. A cette poignée est accrochée une petite corde passant sur une poulie de renvoi P et s'attachant à une autre poulie plus petite P'. Quand on abaisse la poignée pour frapper la cloche, on fait tourner la poulie P' par la traction de la corde. A l'extrémité de la poutre qui dépasse de la proue du bateau est fixée une plaque horizontale D sur laquelle on verse de la poudre. Lors de l'expérience, on fixe à la poulie P' une lance à feu allumée (A). En frappant la cloche, la lance s'abaisse sur la poudre disposée sur la plaque et l'enflamme, formant ainsi un signal lumineux à l'attention du bateau récepteur.

Figure 2 : le bateau récepteur

Le bruit de la cloche s'écoute sous l'eau grâce à un long tube cylindrique en fer-blanc recourbé à la partie supérieure et terminé par un petit orifice que l'on applique à l'oreille. Dans la partie inférieure, le tube se recourbe et s'évase. Son embouchure T est fermée par une tôle en fer-blanc. Le tube est maintenu dans sa position verticale grâce à un poids accroché à sa partie inférieure.

Colladon, Souvenirs et mémoires, Genève, 1893

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

1824-1841

Optique, lumière et jets d'eau

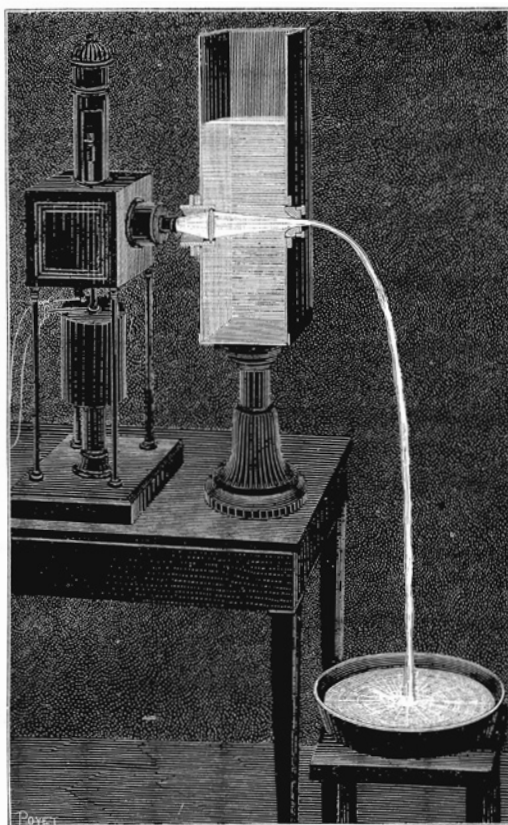
Au cours de sa carrière, Colladon développe deux appareils liés à l'optique : un photomètre et une fontaine lumineuse.

A peine âgé de 22 ans, Colladon débute sa carrière d'inventeur par la fabrication d'un photomètre dans le cadre d'un concours organisé par la Société des sciences et des arts de Lille récompensant le meilleur instrument de mesure de l'intensité de la lumière. Le jeune savant genevois remporte le premier prix. Son photomètre consiste en un tube oculaire relié à deux autres tubes coulissants et séparés du premier par des papiers transparents. L'un des tubes contient une bougie, servant d'unité de lumière de référence ; le second est pointé vers le corps dont on veut déterminer l'intensité lumineuse. Il ne reste aujourd'hui plus trace de cet appareil.

Toujours dans le domaine de l'optique, Colladon est l'auteur d'une autre invention célèbre : les fontaines lumineuses. Afin d'illustrer au mieux les différentes formes que prend un jet d'eau sortant par des orifices variés, il fait construire vers 1841 un grand vase de 7 mètres de hauteur dont une des faces est munie d'une ouverture sur laquelle se vissent différents diamètres d'embouchure pour varier la taille des jets. Sur la face opposée, il installe une lentille convexe destinée à concentrer un faisceau lumineux destiné à éclairer la base du jet. Les rayons lumineux traversent la lentille et le vase vers l'ouverture où s'échappe le liquide. Le résultat est étonnant : « la lumière circule dans ce jet transparent, comme dans un canal, et en suit toutes les inflexions », écrit Colladon. Grâce à son dispositif, le savant genevois démontre du même coup que la trajectoire de la lumière piégée n'est pas forcément droite comme on le croyait jusqu'ici, mais qu'elle peut aussi être courbe.

Les premières expériences se font grâce à la lumière du Soleil. Par la suite d'autres modèles de « fontaines de Colladon », dont notamment le modèle utilisé par le physicien genevois Auguste de la Rive (1801-1873) dans ses cours de physique à l'Académie, fonctionnent à la lampe électrique à arc. L'invention de Colladon séduit les milieux artistiques. Sur les conseils de Colladon, l'Opéra de Paris fait installer des fontaines lumineuses décoratives

sur la scène du ballet d'Elias et Mysis en 1853. Les fontaines de Colladon de taille géante éclairées à l'électricité sont les attractions des expositions internationales de Glasgow et Paris en 1888 et 1889.



Expérience de la fontaine Colladon.

La fontaine lumineuse

Une lampe à arc alimentée par une pile électrique produit une lumière blanche très intense. Le faisceau lumineux produit est dirigé dans le vase à travers une lentille convexe insérée dans la paroi. Après avoir traversé la lentille et le liquide, les rayons lumineux convergent vers l'ouverture du bac où s'échappe le liquide. La lumière est alors piégée par le jet dont elle suit le trajet sur toute sa longueur. Les rayons lumineux sont intégralement réfléchis par les parois internes du jet d'eau. Ce principe physique de réflexion totale est aussi à la base du fonctionnement de la fibre optique.

La Nature, 1884

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

1827-1836

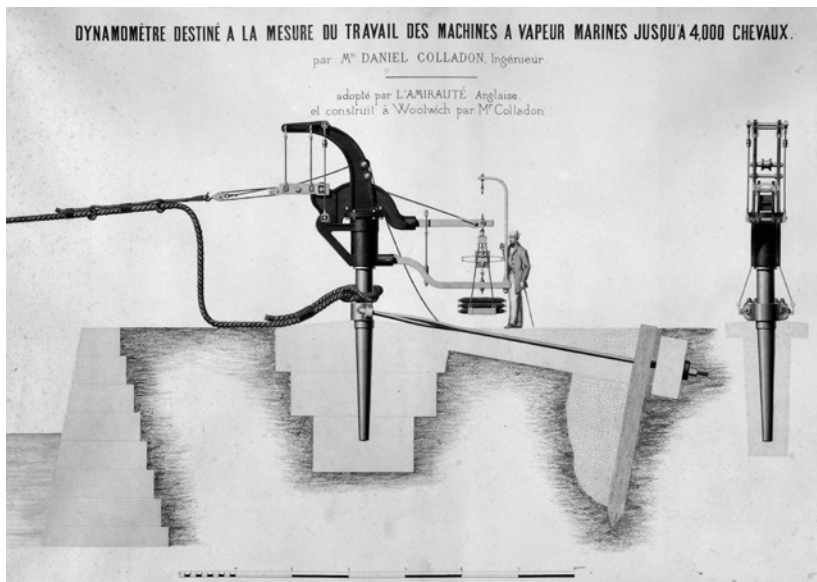
Les bateaux à vapeur

Durant ses années parisiennes, Colladon s'intéresse aux bateaux à vapeur. Il conçoit un nouvel appareil pour mesurer la puissance des machines à vapeur des navires à quai.

Durant son séjour à Paris, Colladon s'intéresse à un nouveau moyen de transport en plein essor : les bateaux à vapeur. Dès 1827, il se met à étudier différents modèles de roues à palettes mobiles pour la navigation. Il fabrique un bateau miniature de deux mètres de long muni de roues à aubes entraînées par un moteur à barillet et à ressort. Il multiplie les essais sur un canal près de Paris en modifiant le nombre de palettes sur les roues, leur forme et leur inclinaison. Il conçoit une roue motrice dotée de pales mobiles articulées autour d'un axe horizontal. Celles-ci entrent et sortent de l'eau par leur tranchant et ne s'orientent perpendiculairement dans le sens de la marche que lors de leur immersion. Le bateau prend ainsi « plus de vitesse et parcourt un chemin plus considérable » que s'il était équipé de pales fixes. Colladon est persuadé que son invention doit permettre « d'obtenir plus de douceur et d'uniformité dans la bonne marche d'un navire et une bonne économie pour l'emploi de la force motrice ».

Ayant emprunté de l'argent pour réaliser ses expériences, Colladon présente son invention au prix Montyon de l'Académie des sciences de Paris dans l'espoir de gagner le premier prix et de rembourser ses dettes. Il ne reçoit malheureusement qu'un maigre prix de consolation. Le Genevois aura toutefois la satisfaction de voir ses roues à palettes mobiles équiper plusieurs bateaux à vapeur sur la Seine et en pleine mer. Il devient progressivement un spécialiste des bateaux à vapeur. Il étend ses activités aux moteurs à vapeur. Entre 1830 et 1840, il est appelé sur de nombreux chantiers navals en France et en Suisse pour modifier des roues à aubes ou améliorer le rendement de machines à vapeur. Dès 1831, il donne un cours sur les machines à vapeur dans la nouvelle Ecole centrale dont il a participé à la création quelques années auparavant.

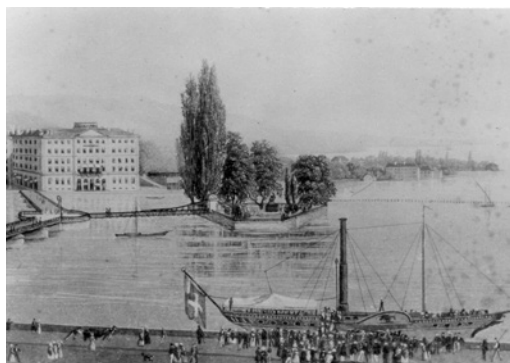
Pour mesurer le rendement et la consommation en charbon des bateaux à vapeur, il développe un nouveau système de mesure de puissance des machines qui s'utilise à quai sur des navires amarrés. Retenu à un point fixe



Dynamomètre destiné à la mesure des machines à vapeur de navigation

L'appareil est installé à quai. Un arbre vertical dont la base est coulée dans le béton est solidement fixé au sol. Un barillet cylindrique pivote sur la partie supérieure de cet arbre. Le barillet supporte une sorte de grande balance romaine en équerre. Le bras vertical est soumis à la traction du câble qui retient le bateau. Pour l'équilibre, on se sert d'un contrepoids et d'un dynamomètre qui mesure la tension du câble horizontal.

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences



L'Aigle

Entre 1840 et 1841, Colladon procède à des essais de dynamomètre sur deux bateaux à vapeur du Léman, le Léman et l'Aigle.

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

par un câble horizontal, le bateau fait tourner ses roues avec ses moteurs fonctionnant au régime de croisière tout en ne laissant qu'une petite surface des palettes immergée. La tension du câble engendrée par l'avancée du navire est mesurée avec un dynamomètre. En 1842, Colladon prend pour son dispositif un brevet à Paris et le propose alors au gouvernement français. Malgré un préavis favorable de l'Académie française, le ministre de la Marine tarde à répondre et tergiverse. Du coup, le Genevois se tourne vers l'amirauté anglaise qui lui finance en 1844 l'installation de l'un de ses appareils dans l'arsenal maritime de Woolwich.

Les débuts d'une nouvelle science, la thermodynamique

Pendant que Colladon effectue ses essais pratiques de mesure de puissance sur les machines à vapeur de bateaux, Sadi Carnot (1796-1832), un ingénieur français, publie en 1824 de manière presque anonyme ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, un livre qui deviendra un ouvrage phare de l'histoire des sciences et des techniques. Dans son livre, Carnot pose les bases théoriques d'une nouvelle discipline scientifique: la thermodynamique dont s'inspireront par la suite les constructeurs de moteurs à vapeur et thermiques. Il décrit le fonctionnement d'un moteur thermique idéal. Colladon a-t-il lu les *Réflexions* de Carnot? Rien n'est moins sûr. Le livre est publié de manière relativement discrète. Ce n'est qu'à partir de 1850 environ que la communauté scientifique prendra conscience de la portée de l'ouvrage.

Le gaz de ville arrive à Genève

Colladon est l'un des principaux artisans de l'implantation et du développement du gaz de ville à Genève.

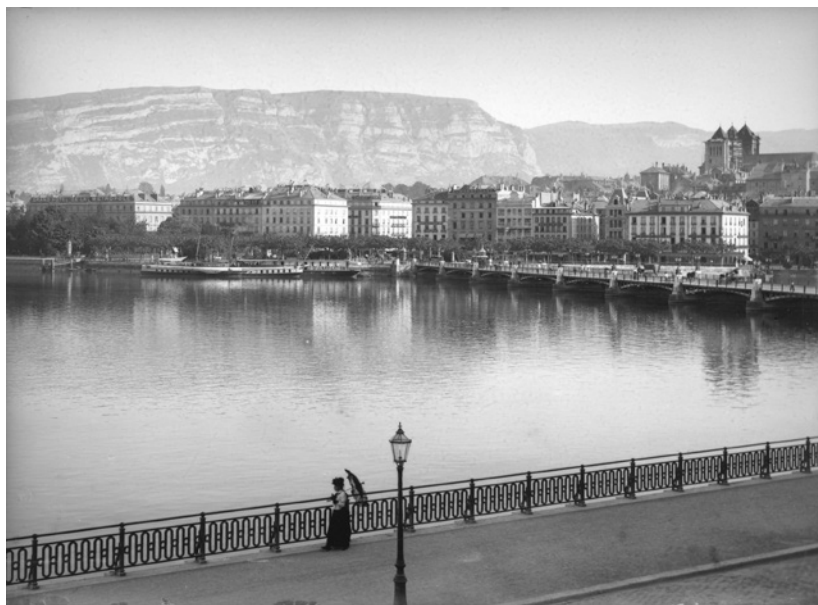
Au soir du 25 décembre 1844, les habitants de Genève reçoivent un lumineux cadeau de Noël. Deux cent nonante-sept becs à gaz s'allument simultanément et éclairent les principales rues de la Cité. A l'instar d'autres villes et capitales européennes, Genève se dote enfin d'un système d'éclairage public performant, à la pointe de la technologie de l'époque. Finis les allumeurs de lampe à huile, les lampadaires disposés en réseau à travers la ville procurent grâce au gaz un éclairage constant et uniforme. A cette époque, le gaz de ville s'obtient par distillation de la houille dans une sorte de four appelé cornue. Le gaz produit est stocké dans des gazomètres avant d'alimenter les becs des lampadaires de la ville.

Tout en étant professeur de mécanique à l'Académie, Colladon joue un rôle important dans l'essor du gaz de ville à Genève. C'est par son biais que l'un de ses anciens élèves de Paris, devenu entre-temps un spécialiste du gaz, est responsable de la construction de la nouvelle usine à la Coulouvrenière qui comprend 8 fours à 4 cornues chacun, 2 gazomètres de 1500 m³ chacun, un hangar à charbon et un épurateur à chaux. De 1844 à 1862, il devient l'ingénieur-conseil de la nouvelle *Société genevoise pour l'éclairage au gaz*, la compagnie privée en charge du gaz d'éclairage de la ville de Genève. Il restera président du conseil d'administration de la société jusqu'en 1893. Dès 1846, il participe à l'agrandissement de l'usine qui ne parvient déjà plus à répondre à la demande en gaz. Il construit 24 cornues neuves pour distiller le gaz de houille. Il améliore la production du gaz, notamment les systèmes d'épuration. Grâce à lui, la *Société genevoise pour l'éclairage au gaz* est la première sur le continent à adopter des cornues en terre réfractaire (au lieu de la fonte) pour éviter des déformations susceptibles d'endommager les fours de production. Il installe des régulateurs de bec dans quelques points élevés de la ville pour mieux régler la taille de la flamme dans les lanternes. Enfin, il participe à la construction d'un gazomètre supplémentaire d'une capacité de 2000 m³. Une foule d'activités que Colladon considère rétrospectivement avec beaucoup de satisfaction: «... Nos actions sont devenues toujours meilleures et nous

avons pu arriver à éclairer les rues de la ville de Genève au prix coûtant, ou même au-dessous, à vendre le gaz aux particuliers presque au même prix que les villes de Paris, Lyon, Marseille, etc., et à faire des bénéfices qui ont dépassé ceux de toutes les actions du gaz en France. Le gaz de Genève était renommé pour sa pureté et par son pouvoir éclairant. ... », comme il l'écrit dans ses *Souvenirs*. Il omet toutefois de mentionner que le gaz est vendu un tiers plus cher à Genève qu'en France.

Par le biais de sa société, entre-temps devenue la *Compagnie d'éclairage et de chauffage par le gaz*, Colladon dirige aussi la construction d'usines à gaz de plusieurs villes romandes (Bienna, Aigle, Morges, Nyon, Vevey) ainsi que celle de Naples en Italie.

Pour souligner le lien étroit existant entre Colladon et l'industrie du gaz, notons encore qu'il est l'époux de Stéphanie-Andrienne Ador, dont la famille possède de nombreuses actions dans diverses compagnies gazières d'Europe.



Candélabre pour l'éclairage au gaz de la rade de Genève, vers 1860
Centre d'iconographie genevoise, Bibliothèque de Genève

La production du gaz de ville

La production du gaz de ville destiné à l'éclairage et au chauffage n'est pas une opération anodine et implique plusieurs procédés techniques. La houille est d'abord distillée (chauffée) dans des cornues en terre réfractaire ou en fonte. Après une première purification sommaire, le gaz qui s'en échappe parvient dans un condenseur composé d'une série de tubes verticaux où il est refroidi et nettoyé de ses goudrons et de ses sels ammoniacaux. Le gaz traverse ensuite un grand cylindre rempli de coke où il est filtré et séparé de ses particules solides. Enfin, il subit une dernière épuration chimique à la chaux (remplacée par la suite par de l'oxyde de fer ou du chlorure de calcium) pour le priver de certains composés toxiques indésirables comme l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré ou encore le sulfhydrate d'ammoniaque. Finalement, le gaz purifié est stocké avant sa distribution dans le réseau dans un gazomètre, sorte de gros bassin rempli d'eau surmonté d'une cloche suspendue.

Dès la fin du 19^e siècle, le gaz de ville a progressivement été remplacé par le gaz naturel (composé essentiellement de méthane) au pouvoir calorifique bien supérieur et moins dangereux pour la santé. Ce gaz contient en effet du monoxyde de carbone, à l'origine de nombreux décès par asphyxie.



Lampadaires à gaz au quai du Mont-Blanc, vers 1860
Centre d'iconographie genevoise, Bibliothèque de Genève

Quelques dates clés pour le gaz à Genève

- 1843: Berne, première ville suisse éclairée au gaz de ville
- 1844: Inauguration de l'usine à gaz de la Coulouvrenière le 25 décembre 1844.
- 1845: 302 becs à gaz publics, 408 becs à gaz privés
- 1858: Le réseau du gaz s'étend à Carouge, aux Eaux-Vives et à Plainpalais
- 1859: Mise en service de la ligne de chemin de fer Lyon-Genève. Approvisionnement en houille provenant du bassin minier de St-Etienne
- 1870: Grève des mineurs en France. Approvisionnement en charbon de la Sarre.
- 1878: Début de l'éclairage électrique à l'exposition universelle de Paris
- 1896: Municipalisation du réseau de gaz
- 1909: La plupart des grandes communes périphériques sont desservies par le gaz
- 1909: Explosion de l'usine de la Coulouvrenière: 13 morts, 12 blessés
- 1914: Mise en service de la nouvelle usine à gaz de Châtelaine
- 1915: Arrêt de l'ancienne usine de la Coulouvrenière
- 1964: Mise en service d'une unité de production de gaz de craquage (de l'essence légère) pour répondre à la demande croissante en gaz
- 1965: Le gaz produit à Genève est issu à 65 % de la distillation de la houille et de 35 % du craquage de l'essence légère
- 1966: La production du gaz de houille est abandonnée au profit du gaz de craquage
- 1973: Crise mondiale du pétrole
- 1974: Le gaz naturel arrive à Genève
- 1975: Début des travaux de conversion au gaz naturel
- 1977: Fin des travaux de conversion

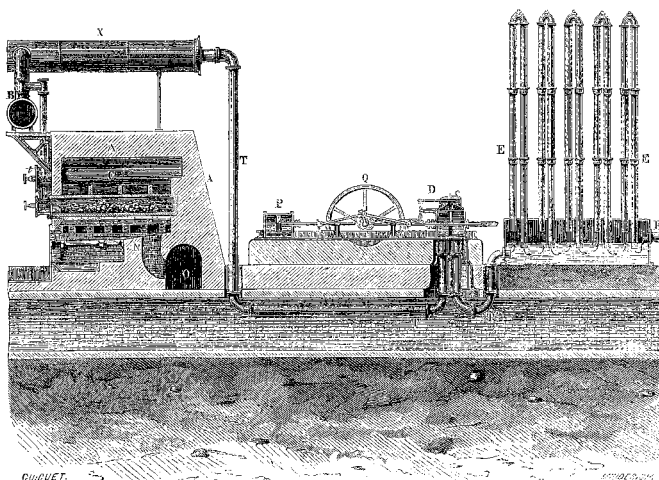


Fig. 78. — Vue générale des appareils pour la préparation du gaz.

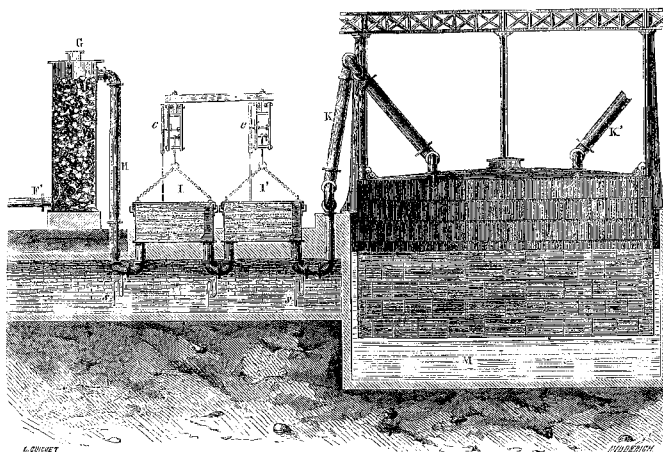


Fig. 79. — Vue générale des appareils pour la préparation du gaz (suite).

Schémas de fonctionnement d'une usine à gaz de ville

A et C: fourneau et cornues pour la distillation de la houille.

PQD: machine à vapeur alimentant la pompe qui envoie le gaz de la distillation dans le condenseur.

E: condenseur; G: colonne à coke; I: épurateurs; L: gazomètre

Figuier, les merveilles de la science, Paris 1870

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

1844-1882

L'air comprimé pour percer les tunnels

Colladon conçoit un nouveau mode de transmission de l'énergie par air comprimé qui sera appliqué lors du percement du tunnel du Gothard.

Lorsqu'il est nommé ingénieur à la nouvelle *Société pour l'éclairage au gaz de Genève*, Colladon en profite pour mener plusieurs expériences sur le transport du gaz à distance. Il constate que les pertes en pression sont moins importantes que prévu. Remplaçant le gaz par l'air, il explore alors une nouvelle forme de transmission de la force par air comprimé. Hasard du destin, Colladon apprend que le gouvernement sarde prévoit de construire un tunnel ferroviaire au Mont-Cenis pour relier le Piémont à la Savoie (le tunnel du Fréjus) et que le procédé technique (la télémechanique) retenu jusqu'ici pour le percement n'est pas au point. L'ingénieur genevois imagine alors que l'air comprimé pourrait servir à la fois à actionner les perforatrices et à aérer le tunnel.

Après une année de pause consacrée à ses activités de commissaire fédéral à l'exposition universelle de Londres en 1851, Colladon reprend ses expériences sur l'air comprimé. Au moyen d'une pompe de compression, il réussit à faire fonctionner une locomobile située 500 mètres plus loin et reliée au réservoir d'air comprimé par des tuyaux métalliques. Colladon dépose un mémoire et une demande de brevet auprès du gouvernement sarde pour «un nouveau procédé destiné à faciliter le percement des tunnels basé sur l'air comprimé». Le brevet est accompagné d'un mémoire comprenant plusieurs indications techniques. L'air comprimé, fourni par des pompes refroidies par injection d'eau et entraînées par des turbines, servirait à alimenter des perforatrices «analogues à des marteaux-pilons dont le marteau serait remplacé par un ciseau et recevrait un mouvement de rotation».

Malgré un rapport favorable de l'Académie des sciences de Turin, le gouvernement sarde tarde à homologuer le brevet de Colladon. Pire encore, trois ingénieurs savoyards, dont Germain Sommeiller (1815-1871), qui deviendra plus tard un des principaux acteurs du creusement du tunnel du Mont-Cenis, prennent un brevet pour un autre système de

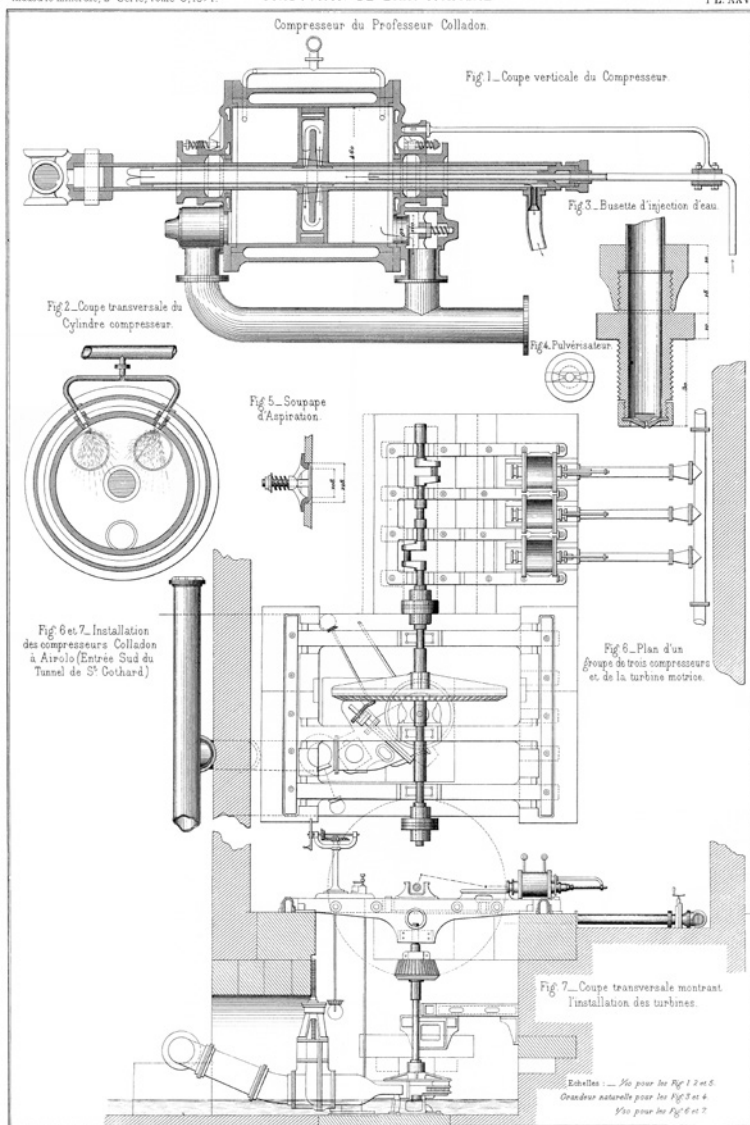


Schéma du système de production d'air comprimé au tunnel du Saint-Gothard

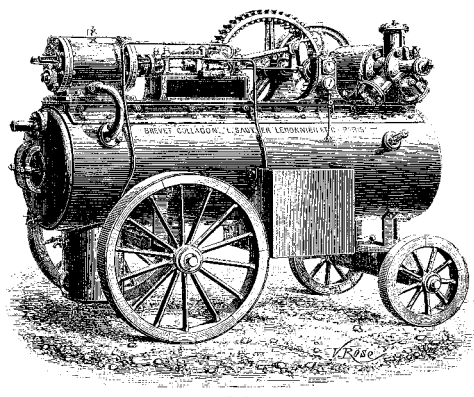
Industrie minière 1874, Archives Colladon

Bibliothèque de Genève

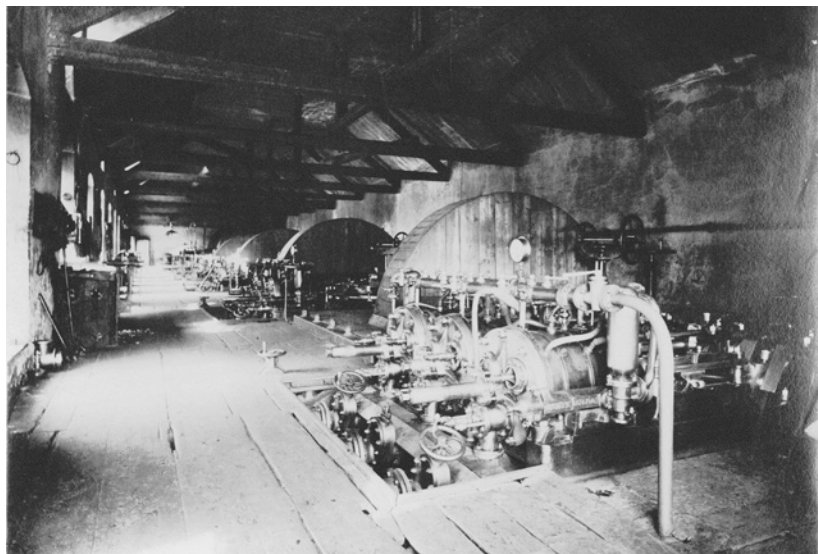
percement à air comprimé basé sur l'utilisation de béliers compresseurs. En 1857, Sommeiller et son équipe qui dirigent le chantier de percement vont remplacer les béliers par des pompes hydrauliques de même type que celles figurant dans le mémoire de Colladon.

Définitivement mis sur la touche au Mont-Cenis, Colladon se rattrape quelques années plus tard lors du percement du tunnel du Gothard dont il sera l'un des acteurs majeurs. Il est l'ingénieur-conseil de l'entreprise de Louis Favre (1826-1879), en charge du percement. Le système de compression à air comprimé qu'il a breveté équipe le chantier et fonctionne durant tout le percement entre 1872 et 1881. De chaque côté de l'entrée du tunnel, quatre turbines entraînent des groupes de pompes fournissant l'air comprimé qui est stocké dans des cylindres en tôle servant de réservoirs. De là, l'air est envoyé dans des tubes jusqu'aux galeries de percement où il sert aussi bien à alimenter les perforatrices qu'à revivifier l'atmosphère ambiante. Pour éviter la surchauffe des pompes de compression, les pistons et leur tige sont refroidis à l'intérieur du cylindre par des jets d'eau.

En 1885 Colladon est récompensé pour son système de production d'air comprimé par le prix Fourneyron de l'Académie des sciences de Paris, qui lui rend aussi justice dans l'affaire du Mont-Cenis: « M. Colladon est le premier qui ait proposé en 1852 l'emploi de l'air comprimé substitué aux câbles pour transmettre la force dans les tunnels, et c'est d'après ses idées que l'on a établi les compresseurs de Modane et Bardonnèche... »



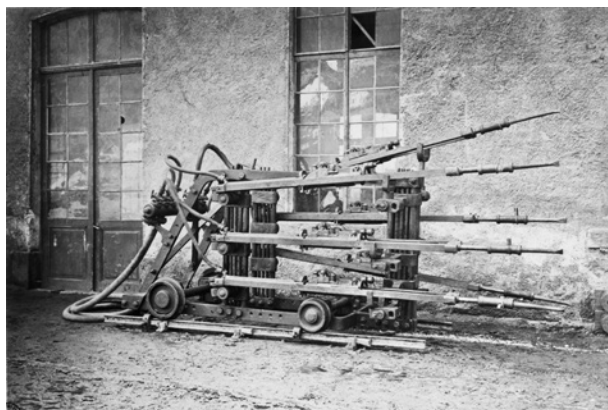
*Colladon fait breveter son système de compression d'air en France en 1871. L'entreprise parisienne Sautter, Lemonnier & Cie fabrique sous licence des compresseurs Colladon mobiles, alimentés par la vapeur. Catalogue Sautter et Lemonnier, Archives Colladon, Paris 1875
Bibliothèque de Genève*



Salle de compression d'air lors du percement du Gothard, vers 1880

Groupe de trois compresseurs placés en parallèle et actionnés par un arbre moteur unique à trois manivelles. L'arbre moteur est entraîné par une turbine. L'air comprimé produit sert à alimenter les perforatrices et à aérer les galeries en construction.

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences



Perforatrices à air comprimé

Perforatrices utilisées lors du percement du Gothard, alimentées par les compresseurs de Colladon

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Colladon participe à un autre projet de percement de tunnel de l'époque : l'établissement d'un tunnel ferroviaire sous-marin entre la France et l'Angleterre. Dès 1874, l'ingénieur genevois siège au comité d'une association française (regroupant notamment les Chemins de fer du Nord et la famille Rothschild) en charge de travaux préliminaires. Ses compresseurs équipent les chantiers préparatoires. Deux galeries de près de deux kilomètres chacune sont creusées sur les côtes anglaise et française quand le gouvernement britannique décide brutalement de cesser les travaux en 1882.

L'hygiène des tunnels

Le percement du premier tunnel ferroviaire du Gothard entre 1872 et 1882 a entraîné la mort de plus de 200 personnes et de nombreux blessés parmi les ouvriers, essentiellement italiens. La première cause de décès sur le chantier découle du mauvais usage de la dynamite (nitroglycérine) provoquant de nombreux éboulements et chutes d'infrastructures. Un autre facteur indirect de mortalité est provoqué par les maladies liées à l'hygiène déplorable régnant sur le chantier. Les miasmes et les poussières présentes dans l'air vicié engendrent la silicose, une maladie pulmonaire, alors que la chaleur et l'humidité extrêmes régnant dans les galeries de percement provoquent de nombreux cas d'anémie mortelle liée à l'infestation par un parasite d'origine tropicale.

Pour Colladon, l'hygiène lors du forage aurait pu être améliorée grâce à un usage plus conséquent de l'air comprimé. Dans une communication parue à la fin du chantier, il suggère de pulvériser de l'eau froide sous pression pour refroidir l'air, nettoyer les poussières et rafraîchir les parois du tunnel. Pourquoi ne pas l'avoir appliqué au Gothard ? Colladon l'explique par le manque de force hydraulique disponible durant l'hiver pour faire tourner les turbines (et donc les compresseurs) sur le côté sud du tunnel. Tirant les leçons de l'expérience, Colladon en conclut « que l'argent est le nerf de la guerre, mais pour la guerre souterraine, entre le génie de l'homme et les obstacles matériels produits par la dureté de la pierre, la chaleur terrestre ou les infiltrations excessives, ce n'est pas l'argent, mais la force motrice qui est le nerf du percement rapide et économique, ainsi que des conditions hygiéniques des très longs tunnels à ciel fermé ».

Machines hydrauliques et roues flottantes

Colladon invente une nouvelle roue à eau flottante destinée à entraîner des pompes à eau.

Au 19^e siècle, les roues à aubes des navires ressemblent sur bien des aspects aux roues de moulins ou d'usines installées à l'époque au bord des fleuves et rivières. Déjà expert en matière de bateaux à vapeur, Colladon exerce donc tout naturellement aussi son métier d'ingénieur dans le domaine des « moteurs hydrauliques », le terme désignant à l'époque les roues fournissant de l'énergie rotative grâce à la force de l'eau. Il réalise des expertises pour déterminer la puissance réelle de certaines roues de moulins ou de stations de pompage d'eau. En 1835, il conçoit une nouvelle machine hydraulique (une roue à eau couplée à des pompes) pour alimenter en eau potable la ville de Châlons-sur-Saône en France. A Genève, il soutient le projet d'une nouvelle machine hydraulique en aval de l'Ile vers la place Bel-Air, pour remplacer la vétuste machine Abeille qui assurait jusqu'ici l'approvisionnement en eau potable de la ville. Le projet, qui prévoit de confier la construction de la machine ainsi que la distribution d'eau potable à une société privée, n'aboutira pas. La ville choisit de construire une machine plus puissante en amont de l'Ile, à l'emplacement de l'actuel Pont de la Machine.

Sur le plan technique, Colladon est lui-même le concepteur d'une étonnante machine hydraulique : une roue flottante. Sorte de cylindre en tôle creux muni de pales, cette roue qui flotte sur l'eau s'amarre au ponton. Elle est dotée de plusieurs roues d'engrenage pour transmettre sa force motrice (par le biais d'arbres moteurs) à une machine ou des pompes installées sur la rive. En flottant, la roue suit naturellement les variations de niveau du cours d'eau et peut donc toujours fonctionner de manière constante. Son installation est aussi moins coûteuse que les roues pendantes, typiques des grands fleuves, qui nécessitent de solides échafaudages et des systèmes complexes de vérins pour les abaisser ou les relever. Enfin, dernier avantage, la roue flottante peut être placée perpendiculairement ou parallèlement au courant, selon la largeur et la profondeur du cours d'eau.

En 1865, une roue flottante de type Colladon est mise en service dans le Rhône à Onex, légèrement en amont du moulin des Evaux. Construite par un promoteur privé, elle est chargée de fournir l'énergie mécanique à la nouvelle machine hydraulique qui alimente en eau potable les villages d'Onex, Lancy, Bernex et Confignon. La roue mesure 7 mètres de long et 3 mètres de large. Elle est dotée d'étroites aubes disposées en chevrons. La roue est fixée au bout de deux bras oscillants arrimés au milieu d'une structure métallique en poutrelles. Un treuil placé sur la structure métallique permet de relever la roue. Trois paires d'engrenages cylindriques et des manivelles transfèrent l'énergie rotative de la roue à un groupe de pompes disposées dans un bâtiment en maçonnerie. Les pompes ne refoulent pas l'eau du Rhône, mais celle d'une source voisine qui était d'abord filtrée avant d'être acheminée 70 mètres plus haut dans un réservoir près du plateau des Bossons. Mise en service en 1866, la roue de Colladon ne connaît qu'une brève existence. Elle est démontée en 1887, suite à la mise en service du Bâtiment des Forces Motrices à la Coulouvrenière qui assure désormais l'approvisionnement en eau potable de presque tout le canton.

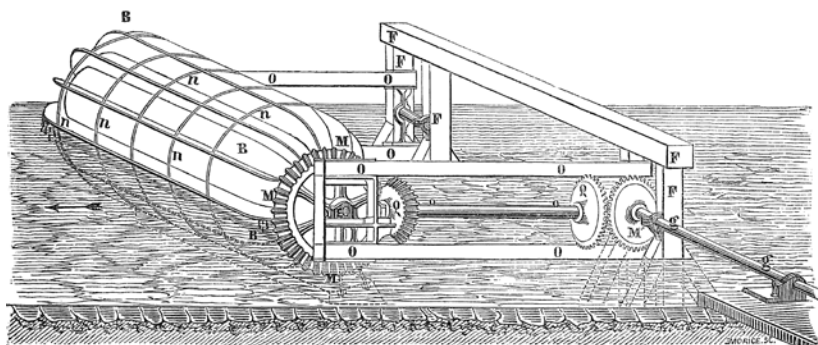


Schéma de roue à aubes flottante

B est la roue flottante d'un cylindre creux en bois ou en tôle sur lequel sont fixées des aubes planes.

F: charpente sur pilotis.

O: bielles d'attaches servant à retenir la roue flottante sans gêner son mouvement ascendant ou descendant lors de variations du niveau des eaux.

M, Q, M', Q': roues dentées coniques servant à transmettre la puissance motrice de la roue aux mécanismes d'une usine.

Colladon, Nouveaux moteurs à eau, Paris, 1857

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Grêle, foudre et trombes d'eau

A côté de ses activités d'ingénieur, Colladon se passionne pour certains phénomènes météorologiques.

Après avoir longuement étudié et observé les orages de grêle, Colladon propose une nouvelle théorie sur leur formation: «... Les pluies d'orage et les colonnes de grêle produisent par l'effet même de leur chute un vent vertical qui chemine du nuage jusqu'au sol et laisse nécessairement derrière lui une forte dépression qui doit se manifester dans le nuage même aux points où s'engendre la pluie ou la grêle, et produire en ces endroits une aspiration ou un appel d'air permanent pendant toute la durée de l'orage...». Cette aspiration attire un flux constant d'air sec et froid fortement électrisé provenant de plus hautes altitudes et pouvant contenir des aiguilles de glace ou des gouttes liquides à l'état de surfusion. L'appel d'air venu de régions voisines du nuage permet d'entretenir la tension électrique du nuage, ce qui expliquerait pourquoi les orages de grêle ou de pluie sont des phénomènes assez longs qui durent parfois plusieurs heures.

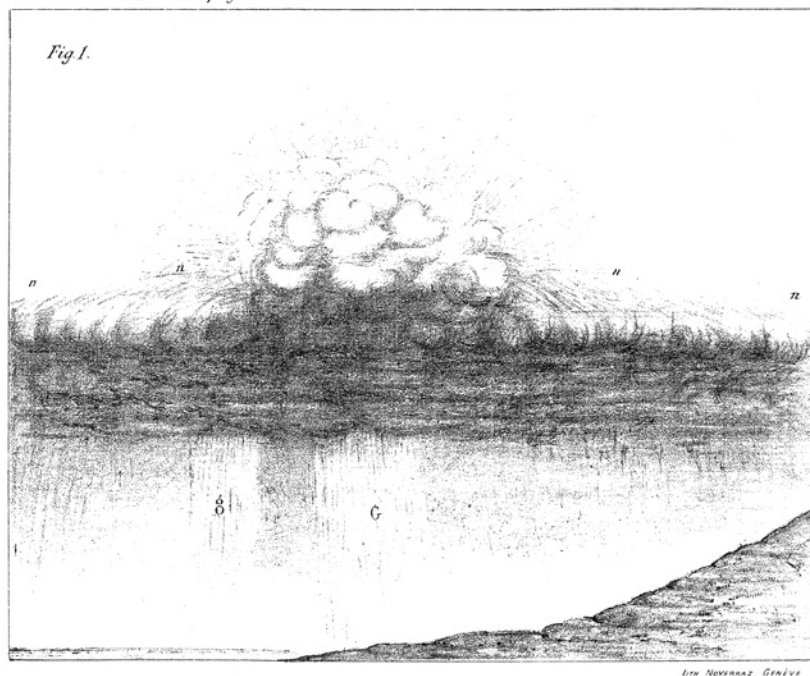
La formation de la grêle, un phénomène complexe

Hélas pour Colladon, sa théorie sur la formation de la grêle s'est révélée fausse. Les grêlons se forment bel et bien au sein de nuages d'orage très humides (les cumulonimbus) dans lesquels circulent de forts courants ascendants. A une certaine altitude, les gouttes d'eau entraînées par les courants commencent à geler, donnant ainsi naissance à des grêlons. Ceux-ci se mettent à croître en attirant des gouttes d'eau qui gèlent à leur surface. Le grêlon continue à s'élever dans le nuage (à plusieurs kilomètres d'altitude) jusqu'à ce que son poids l'en empêche. Il se met alors à chuter tout en continuant à croître en attirant les gouttes de pluie rencontrées sur son passage.

GRÊLE DU 5 JUIN 1877.

Archives des Sciences phys et nat. 1879 t. II

Pl. I.



Apparence des nuages à Grêle et des nimbus supérieurs, vus de Genève

*pendant que l'orage traversait le lac
entre Yvoire et Morges.*

Un orage de grêle à Genève

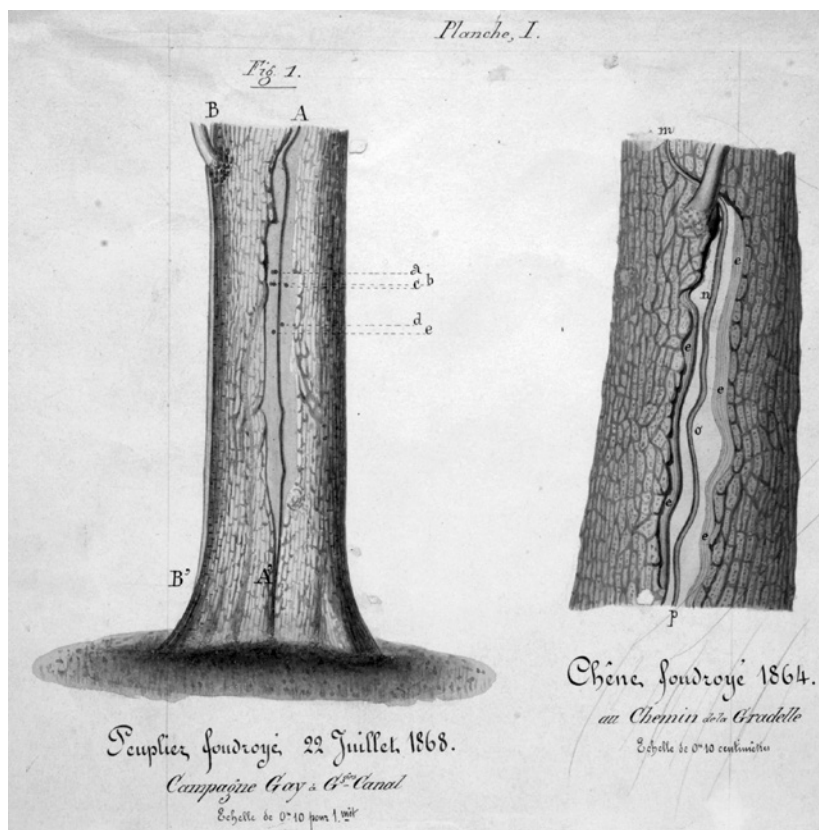
Observation d'un nuage de grêle sur le lac le 5 juin 1877

Deux colonnes de grêle G et g se trouvent sous la partie du nimbus surmontée par les cumulus. Sur la crête du nimbus, on distingue de forts courants d'air presque horizontaux qui se dirigent et convergent vers le cumulus d'où s'échappent les colonnes de grêle. Des chevelures de lambeaux nuageux fortement inclinés n, n, indiquent la présence de ces forts courants d'air.

Colladon, Contributions à l'étude de la grêle, Genève, 1879

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Colladon s'est aussi intéressé à la foudre, notamment ses effets sur les arbres de nos régions. Il en conclut que les peupliers attirent davantage la foudre que les acacias, ormes et autres chênes. Ce qui en fait d'excellents paratonnerres. Par contre, Colladon s'empresse d'ajouter que ces arbres sont d'excellents conducteurs dans leur partie supérieure, mais très mauvais dans leur partie inférieure. Il recommande donc aux propriétaires qui possèdent des peupliers près de leur maison de les munir d'une tige métallique qui aboutisse à une partie du sol constamment humide pour éviter que la foudre ne se jette sur le bâtiment.



Arbres foudroyés

Observation des effets de la foudre: fentes, plaies et taches circulaires.

Colladon, Mémoire sur les effets de la foudre, Genève, 1872

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Enfin, durant les dernières années de sa longue carrière, Colladon trouve encore le temps de rédiger un mémoire sur la formation des trombes d'eau. Il mentionne l'existence de mouvements tourbillonnaires ascendants contribuant à l'apparition du phénomène. Pour soutenir sa théorie, il fabrique un appareil – une sorte d'agitateur rotatif plongé dans un récipient d'eau mélangé à de la sciure – qui permet de reproduire expérimentalement la formation de trombes ascendantes dans l'eau. Le vieux savant considère que cet appareil est digne de figurer dans tout bon cabinet de mécanique ou de physique. L'instrument sera commercialisé pendant plusieurs années par la Société genevoise d'instruments de physique.

Appareil de petite dimension pour des démonstrations de cours.

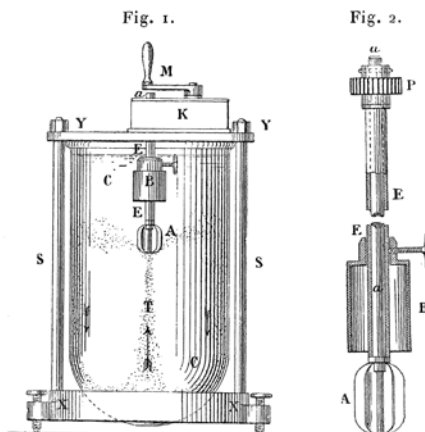


Fig. 1. — Vue générale de l'appareil.

A, agitateur à palettes et à mouvement rotatif.

aa, son axe de rotation.

B, capuchon glissant le long de aa et pouvant recouvrir partiellement l'agitateur A.

CG, cloche en verre pouvant avoir 0^m,25 à 0^m,30 de diamètre, sur 0^m,45 à 0^m,50 environ de hauteur.

X, Y, plateaux en bois servant de supports.

S, S, tiges en fer qui relient ces deux plateaux.

K, caisse en tôle contenant une roue dentée et un pignon P quatre fois plus petit en diamètre.

EE, tube servant à maintenir l'axe a du pignon P et de l'agitateur.

Fig. 2. — Les pièces de l'agitateur.

Appareil à trombes

Schéma de l'appareil à simuler la formation des trombes d'eau

Colladon, Sur les tourbillons ascendants dans l'air et dans les liquides, Paris, 1887

Bibliothèque du Musée d'histoire des sciences

Les principales étapes de la carrière de Colladon

- 1802: Naissance à Genève.
- 1822-1824: Colladon étudie le droit à l'Académie de Genève et devient avocat. Il suit aussi les cours de physique expérimentale de Pictet. Il gagne le premier prix de la Société des sciences et des arts de Lille pour un photomètre de son invention.
- 1826: Expériences au Collège de France à Paris avec un nouveau galvanomètre destiné à mesurer le courant produit par des machines électrostatiques à frottement.
Mesure de la vitesse du son dans l'eau.
- 1827: Grand Prix de l'Académie des sciences de Paris pour le mémoire portant sur la compression des liquides et de la mesure de la vitesse du son dans l'eau.
- 1828: Expériences sur les roues à aubes fixes ou mobiles.
- 1835: Construction d'un bateau à vapeur sur la Saône.
- 1841: Seconde série d'expériences sur la mesure de la vitesse du son dans l'eau sur le Léman.
- 1841: Travaux sur la réflexion de la lumière dans les veines liquides (fontaines lumineuses).
- 1844: Mise au point d'un dynamomètre pour mesurer le pouvoir effectif des machines à vapeur pour la navigation.
- 1850-1854: Colladon est nommé commissaire du stand de la Suisse à l'exposition universelle de Londres.
- 1852: Nouveau système de percement de tunnel par air comprimé.
- 1856: Description de roues hydrauliques flottantes.
- 1871: Mémoire sur les effets de la foudre sur les arbres.
- 1872-1876: Mise au point de compresseurs d'air pour le percement du tunnel du Gothard.
- 1885: Prix Fourneyron de l'Académie des sciences de Paris pour ses travaux sur l'air comprimé dans le percement des tunnels.
- 1886: Travaux sur les origines du flux électrique des nuages orageux et de la formation de la grêle.
- 1887: Notes sur les tourbillons et les trombes aspirantes.
- 1893: Mort de Colladon.

Bibliographie

Benguigi Isaac, Genève et ses savants, Genève, 2008.

Colladon Jean-Daniel, Nouveaux moteurs à eau, Paris, 1857.

—, Mémoire sur les effets de la foudre, Genève, 1872.

—, Sur quelques observations de verglas et sur le mode de transformation de la grêle, Paris, 1879.

—, Contributions à l'étude de la grêle et des trombes aspirantes, Genève, 1879.

—, Notice historique sur les procédés de percement utilisés au tunnel du Mont-Cenis, Paris, 1880.

—, Sur la question Simplon ou Mont-Blanc?, Genève, 1880.

—, Bateaux à vapeur, Paris, 1885.

—, Les origines du flux électrique des nuages et de la formation de la grêle, Genève 1886.

—, Sur les origines du flux électrique des nuages orageux, Paris, 1886.

—, Dégâts causés par un coup de foudre d'une intensité exceptionnelle, Paris 1887.

—, Mémoire sur la compression des liquides et de la vitesse du son dans l'eau, Genève, 1887.

—, Sur les tourbillons ascendants dans l'air et dans les liquides, Paris, 1887.

—, Etude historique sur l'emploi de l'air comprimé, Genève, 1890.

—, Souvenirs et mémoires, Genève, 1893.

Duc Gérard, Frei Anita, Perroux Olivier, Eau, gaz et électricité, Genève, 2008.

Speziali Pierre, Physica Genevensis, Genève, 1997.

Trembley Jaques, Les savants genevois dans l'Europe intellectuelle du XVII^e au milieu du XIX^e siècle, Genève, 1987.

Les petits carnets du Musée d'histoire des sciences

Les collections du Musée racontées par des petits carnets thématiques.

Les parutions à ce jour:

- 1 Sous le ciel du Mont-Blanc: Sur les traces de Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799), pionnier de la météorologie alpine. Juillet 2006, réédition 2020
- 2 Il était une fois l'électricité: Une histoire de l'électricité racontée par les instruments du Musée d'histoire des sciences. Octobre 2007, réédition 2020
- 3 L'heure au soleil: Description et usage des principaux types de cadrans solaires exposés au Musée d'histoire des sciences. Février 2008, réédition 2020
- 4 Voir l'infiniment petit: Des instruments du Musée d'histoire des sciences retracent les grandes étapes de la microscopie. Octobre 2008, réédition 2020
- 5 L'univers modélisé: Survol de quelques instruments du Musée d'histoire des sciences qui représentent le ciel et la terre. février 2009, réédition 2020
- 6 Scruter le ciel: Brève initiation à l'astronomie et présentation de quelques instruments du premier Observatoire de Genève. Février 2009, réédition 2020
- 7 Le cabinet Pictet: l'art d'enseigner la science par l'expérience. Août 2009, réédition 2020
- 8 Jean-Daniel Colladon, savant et industriel genevois. Février 2010.
- 9 Du pied au mètre, du marc au kilo: L'histoire des unités des poids et mesures évoquée par quelques objets emblématiques des collections du Musée d'histoire des sciences. Juin 2010, réédition 2020
- 10 Les débuts de la météorologie moderne. A paraître 2020.
- 11 Les tubes (et ampoules) du Musée d'histoire des sciences. A paraître 2020

Téléchargeables sur le site <http://institutions.ville-geneve.ch/fr/mhn/votre-visite/site-du-musee-dhistoire-des-sciences/parcours-permanent/>

**MUSÉE
D'HISTOIRE
DES SCIENCES
GENÈVE**

Villa Bartholoni
Parc de la Perle du Lac
Rue de Lausanne 128
1202 Genève
Tél: + 41 22 418 50 60
Ouvert tous les jours de 10h à 17h sauf le mardi
www.museum-geneve.ch
info@museum-geneve.ch

UN SITE DU
mséum
genève

ISSN 2673-6586