

S C I E N C E S & H I S T O I R E

# Hippolyte Fizeau

Physicien  
de la lumière

James Lequeux



edp sciences

# Hippolyte Fizeau, physicien de la lumière

James Lequeux



17, avenue du Hoggar  
Parc d'Activité de Courtabœuf, BP 112  
91944 Les Ulis Cedex A, France

« *Sciences & Histoire* »

*La collection Sciences & Histoire s'adresse à un public curieux de sciences. Sous la forme d'un récit ou d'une biographie, chaque volume propose un bilan des progrès d'un champ scientifique, durant une période donnée. Les sciences sont mises en perspective, à travers l'histoire des avancées théoriques et techniques et l'histoire des personnages qui en sont les initiateurs.*

Imprimé en France

ISBN EDP Sciences : 978-2-7598-1196-0

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2014

# Table des matières

<b>Introduction</b>	iii
<b>Chapitre 1. Les débuts d'une vie scientifique</b>	1
1.1. Le daguerréotype	3
1.2. Une rencontre décisive	9
<b>Chapitre 2. Une collaboration fructueuse</b>	17
2.1. L'interférométrie et la nature de la lumière	18
2.2. La nature du rayonnement infrarouge	24
<b>Chapitre 3. L'effet Doppler-Fizeau</b>	29
3.1. Christian Doppler	30
3.2. Christophorus Buijs-Ballot	36
3.3. Hippolyte Fizeau	38
3.4. L'avenir de l'effet Doppler-Fizeau	42
<b>Chapitre 4. La vitesse de la lumière et de l'électricité</b>	49
4.1. Une période féconde	50
4.2. La première mesure directe de la vitesse de la lumière	53
4.3. Les mesures de la vitesse de la lumière après Fizeau	60
4.4. La vitesse de l'électricité	63
<b>Chapitre 5. L'« expérience cruciale » : la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau</b>	69
5.1. Le projet d'Arago	70
5.2. Fizeau et Foucault reprennent l'expérience d'Arago	72
5.3. La compétition	75
<b>Chapitre 6. L'entraînement de l'éther</b>	79
6.1. Acte 1 : Michell, Arago et Fresnel	80
6.2. Acte 2 : Fizeau et Michelson	85
6.3. Acte 3 : encore Fizeau et Michelson	94
6.4. Acte 4 : Lorentz, Einstein et von Laue	98
<b>Chapitre 7. Le diamètre des étoiles</b>	103
7.1. Une idée géniale	104
7.2. Les premiers essais	110

7.3. Encore Michelson !	114
7.4. Stagnation et renouveau de l'interférométrie astronomique	118
<b>Chapitre 8. Un savant considéré</b>	121
8.1. Une vie familiale écourtée	122
8.2. Des travaux secondaires mais novateurs	124
8.3. Un pilier de la physique française	126
8.4. Une fin de vie studieuse	130
<b>Appendice 1. Généalogie de Fizeau     et de son épouse</b>	133
<b>Appendice 2. Chronologie</b>	135
<b>Appendice 3. Correspondance Fizeau-Foucault</b>	137
<b>Bibliographie</b>	143
<b>Index</b>	147

# Introduction

La première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle a vu émerger, en France, des physiciens et des astronomes d'une extraordinaire qualité, qui ont véritablement fondé la physique classique et même l'astrophysique. Certes, le siècle précédent avait connu de grands précurseurs comme Lagrange, Laplace, Lavoisier ou Monge, tandis que des institutions prestigieuses promouvaient déjà la science et son enseignement ; mais la promotion sociale permise par la Révolution, la création de l'École polytechnique par la Convention et la campagne d'Égypte ont sorti de l'ombre de nouveaux talents de tout premier ordre. L'enthousiasme révolutionnaire, puis celui romantique, leur ont permis toutes les audaces. Les physiciens et astronomes français les plus marquants de cette génération sont incontestablement Ampère, Arago, Carnot, Fourier, Fresnel et Malus. Des biographies scientifiques ont été publiées sur chacun d'entre eux<sup>1</sup>. Une deuxième génération non moins brillante comprend Fizeau, Foucault et Le Verrier. Les deux derniers ont fait l'objet, eux aussi, de biographies scientifiques récentes<sup>2</sup>. Seul Fizeau reste peu étudié, c'est pourquoi nous lui consacrons le présent ouvrage. Ensuite, dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, la science française s'est en quelque sorte étiolée, et on serait en peine de citer des physiciens et des astronomes ayant autant de génie que les précédents jusqu'à Poincaré, Langevin et les Curie. Les raisons de cette dégradation, au moment même où la science fleurissait en Allemagne, en Grande-Bretagne et déjà aux États-Unis, restent à étudier en détail.

La vie de Fizeau est celle d'un bourgeois aisé, à l'abri des soucis matériels, qui a pu se consacrer entièrement et sans entraves à la science. Il est généralement qualifié de « propriétaire » ou de « rentier » dans les documents officiels. La partie privée de cette vie n'offre aucun intérêt particulier et n'est certainement pas le thème central de ce livre. Quant à sa carrière scientifique, elle se confond jusqu'en 1849 avec celle de Léon Foucault, avec lequel il a presque constamment collaboré jusque-là. Les deux hommes avaient d'ailleurs beaucoup de points communs : le même âge, des études de médecine,

---

<sup>1</sup> **Sur Ampère** : Blondel, C. (1982) *A.-M. Ampère et la création de l'électrodynamique (1820–1827)*, Éditions du CTHS, Paris ; Locqueneux, R. (2008) *Ampère, encyclopédiste et métaphysicien*, EDP Sciences, Les Ulis. **Sur Arago** : Lequeux, J. (2008) *François Arago, un savant généreux*, EDP Sciences et Observatoire de Paris, Les Ulis et Paris. **Sur Carnot** : Collectif (1998) *Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique*, CNRS Éditions, Paris ; Brodiansky, V. (2006) *Sadi Carnot 1796–1832. Réflexions sur sa vie et la portée de son œuvre*, Presses universitaires de Perpignan. **Sur Fourier** : Dhombres, J. & Robert, J.-B. (1998) *Fourier, créateur de la physique mathématique*, Belin, Paris. **Sur Fresnel** : Rosmorduc, J. & V., Dutour, F. (2004) *Les révolutions de l'optique et l'œuvre de Fresnel*, Vuibert, Paris ; Brezinski, C. (2008) *Ampère, Arago et Fresnel : trois hommes, trois savants, trois amis, 1775–1853*, Hermann, Paris. **Sur Malus** : Chappert, A. (1977) *E.L. Malus et la théorie corpusculaire de la lumière*, Vrin, Paris.

<sup>2</sup> **Sur Foucault** : Tobin, W. (2002) *Léon Foucault, le miroir et le pendule*, EDP Sciences, Les Ulis. **Sur Le Verrier** : Lequeux, J. (2009) *Le Verrier, savant magnifique et détesté*, EDP Sciences et Observatoire de Paris, Les Ulis et Paris.

une habileté manuelle considérable et une inventivité hors pair. En 1849, Fizeau réalise seul sa célèbre mesure de la vitesse de la lumière, puis l'année suivante les deux hommes se brouillent définitivement, à la suite de leur compétition pour mesurer la différence de la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau. Ils suivront désormais des chemins divergents, souvent rudes et inattendus pour Foucault qui mourra jeune, en 1868, de ce qui était vraisemblablement la sclérose en plaques. De son côté, Fizeau deviendra un savant établi et considéré, bien intégré dans son siècle, ce qui ne l'empêchera pas d'avoir de temps à autre des idées brillantes et novatrices. Il décèdera en 1896, après une carrière bien remplie et une longévité particulièrement grande en tant que membre de l'Académie des sciences où il était entré le 2 janvier 1860.

Les archives de l'Académie des sciences conservent un important fonds Fizeau donné en 1935 par Georges Ramond-Gontaud, et des documents et objets ont été offerts en 1966 par son fils Bernard au Musée d'histoire urbaine et sociale de Suresnes, où se trouvait une maison appartenant aux parents de Fizeau, devenue mairie et maintenant disparue. Nous avons extrait beaucoup d'informations de ces collections uniques, qui permettent de retracer toute l'évolution des projets de Fizeau. Par ailleurs, la bibliothèque du Muséum national d'histoire naturelle de Paris possède un ensemble très complet de documents relatifs à la vie de Fizeau et de sa famille. La bibliothèque de l'université Yale aux États-Unis contient des manuscrits et imprimés provenant d'une vente de livres et de papiers de Fizeau réalisée en 1937, juste après la mort de Georges Ramond-Gontaud mentionné ci-dessus. Quant aux écrits imprimés de Fizeau et beaucoup d'autres qui le concernent, ils sont presque tous accessibles sur Internet sur le site gallica.bnf.fr de la Bibliothèque nationale de France et sur d'autres sites comme ceux de google books et de l'Astrophysical Data System (ADS) de la NASA<sup>3</sup>. Je suis très reconnaissant à tous ces pourvoyeurs d'information gratuite, qui rendent le travail de l'historien bien plus aisé qu'autrefois.

Les différents chapitres de ce livre peuvent être lus indépendamment. Des détails que le lecteur peut éventuellement sauter sont donnés dans des encadrés ou dans la légende de certaines figures.

Je tiens à remercier mon épouse Geneviève et mon ami William Tobin pour leur lecture attentive du texte et leurs nombreuses suggestions pour le corriger et l'améliorer. William Tobin m'a aussi communiqué ou indiqué des documents inédits. Je remercie Florence Greffe pour son accueil chaleureux aux Archives de l'Académie des sciences, et pour m'avoir permis de reproduire et de publier de nombreux documents autographes du fonds Fizeau. De même, la mairie de Suresnes et Marie-Pierre Deguillaume, directrice du Musée d'histoire urbaine et sociale de Suresnes, m'ont autorisé à publier d'autres documents autographes et des photographies d'instruments ayant appartenu à Fizeau : merci à eux et au personnel du musée. Marie-Christine Thooris m'a aimablement communiqué des photographies de la réplique de l'appareil de Fizeau qui se trouve au musée de l'École polytechnique. Je remercie enfin mes collègues de la bibliothèque de l'Observatoire de Paris, toujours prêts à se mettre à la disposition des utilisateurs et à fournir des images de leur photothèque.

---

<sup>3</sup> Les documents accessibles sur gallica sont indiqués par \*, ceux qui sont accessibles sur google books par °, et ceux qui sont accessibles par ADS par +.



# Chapitre 1

## Les débuts d'une vie scientifique



Le 19 août 1839, Arago décrit à l'Académie des sciences et à l'Académie des beaux-arts le procédé photographique de Daguerre. Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.



Armand Hippolyte Louis Fizeau, sixième d'une famille de neuf enfants dont plusieurs sont morts en bas âge, est né à Paris, 7 rue Thibautodé dans le quartier du Louvre, le 23 septembre 1819. Il est baptisé le 29 septembre à l'église Saint-Germain-l'Auxerrois. Il restera l'aîné des garçons. Sa sœur Marie Gabrielle, religieuse, décède en 1862. Deux autres sœurs et les deux frères cadets qui lui restent mourront respectivement en 1854, 1880, 1880 et 1885 (voir l'appendice 1). On sait peu de choses sur sa mère, Beatrix (ou Béatrice) Marie Petel, que son père, Louis-Aimé Fizeau (1776–1864), avait épousée le 20 juin 1809. Quelques années après la naissance d'Hippolyte, en 1823, son père est nommé professeur à la Faculté de médecine de Paris, lors de la réorganisation de cette faculté qui s'est traduite par l'expulsion de plusieurs de ses membres pour raisons politiques (certains des exclus sont célèbres : Pelletan, Pinel, Vauquelin). Il sera lui-même révoqué pour des raisons analogues en 1830, lors de la révolution de juillet<sup>4</sup>. Lié à Laënnec (1781–1826), il occupe la chaire de pathologie interne ; c'est l'un des premiers adeptes de l'auscultation des patients.

Hippolyte étudie en tant qu'externe au collègue Stanislas et se destine à la médecine pour succéder à son père. Mais sa santé, affectée par de violents maux de tête, l'oblige à interrompre ses études médicales. Bientôt, il est suffisamment rétabli pour pouvoir suivre ses goûts scientifiques. Un feuillet autographe<sup>5</sup>, malheureusement peu lisible, indique le déroulement de ses études et le nom de ses professeurs (les encadrés sont dans l'original) :

1835 : rhétorique

1836 : également philosophie

1837 : chimie (Dumas, Boussingault, Orfila), physique (Dulong)

1838 : voyage ; [illisible]

1839 : [illisible] maladie ; cours de géologie, études physiques, dissections, hôpitaux, chimie, M. Magendie ; Bon travail ; idées sur un mémoire sur la forme des gouttes

<sup>4</sup> Corlieu, A. (1896) *Centenaire de la Faculté de Médecine de Paris*, Paris, Imprimerie nationale.

<sup>5</sup> Académie des sciences/Institut de France, fonds 64 J, Hippolyte Fizeau, dossier 9.28.

1840 : voyage au Havre ; sels d'or ; cours de M. Élie de Beaumont ; [illisible] ; cours du Dr Blainville. Daguerréotype

1841 : voyage en Anjou ; brome ; galvanoplastie ; cours de MM. de Blainville, Regnault, Élie de Beaumont

1842 : voyage ; note sur le brome ; cours de Regnault ; mathématiques.

Les professeurs<sup>6</sup>, dont presque tous sont encore célèbres, sont les meilleurs de l'époque. Alfred Cornu (1841–1902), un disciple de Fizeau dont nous aurons l'occasion de reparler, affirme<sup>7</sup> que Fizeau a également assisté aux cours d'*Astronomie populaire* de François Arago (1786–1853). Bien que nous n'en ayons pas trouvé trace ailleurs, cela n'est pas surprenant car toute l'intelligentsia de l'époque se presse à ces cours dont le succès est énorme. Ils sont donnés au Collège de France, puis à partir de février 1841 dans l'amphithéâtre de 800 places qu'Arago a fait construire à l'Observatoire. Toujours généreux avec les jeunes, Arago va remarquer Fizeau dont il suivra attentivement les premiers travaux, qu'il mentionnera souvent de façon élogieuse devant l'Académie des sciences. Cependant, le cours qui a dû le plus marquer Fizeau est celui de Regnault, qui enseigne l'optique au Collège de France. C'est sans doute alors que s'est décidée sa carrière de chercheur.

## 1.1. Le daguerréotype

Nous venons de voir que dès 1839, alors qu'il poursuit ses études, notre jeune homme commence à penser à la recherche. Un premier mémoire sur la forme des gouttes d'eau n'a pas abouti, mais il va maintenant se lancer dans un domaine complètement nouveau : la photographie.

---

<sup>6</sup> Jean-Baptiste Dumas (1800–1884) et Jean-Baptiste Boussingault (1802–1887), chimistes célèbres ; Mathieu Joseph Bonaventure Orfila (1787–1853), chimiste, toxicologiste et médecin légiste ; Pierre Louis Dulong (1785–1838), physicien ; François Magendie (1783–1855), physiologiste ; Léonce Élie de Beaumont (1798–1874), chimiste et géologue ; Henri-Marie Ducrotay de Blainville (1777–1850), zoologiste et anatomiste ; Victor Regnault (1810–1878), chimiste et physicien.

<sup>7</sup> Cornu (1897), p. C2. Voir la référence dans la bibliographie p. 143.

Le 7 janvier 1839, Arago, qui est secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, présente à l'Académie l'invention de Louis-Mandé Daguerre (1787–1851), qui sera bientôt appelée le daguerréotype<sup>8</sup>. Collaborant avec Nicéphore Niepce (1765–1833) jusqu'à la mort de ce dernier, Daguerre soumet une plaque de cuivre recouverte d'une mince couche d'argent polie à des vapeurs d'iode, formant ainsi de l'iodure d'argent à la surface de la plaque. Lors de l'exposition à la lumière, dans la chambre noire, l'iodure d'argent est plus ou moins réduit en argent métallique aux endroits exposés. La plaque est développée dans la vapeur de mercure à 60–80 °C. L'iodure d'argent en excès est dissous dans une solution de thiosulfate de sodium, puis la plaque est lavée et séchée. L'image positive est formée de grains d'amalgame argent-mercure qui diffusent la lumière dans les régions les plus exposées, donnant les blancs et gris, tandis que la réflexion spéculaire sur l'argent nu poli donne les noirs.

Lors de sa présentation, Arago, qui vient d'énumérer les immenses possibilités de la photographie, propose qu'elle tombe dans le domaine public. Sa demande est entendue : le 9 juillet 1839, la Chambre des députés vote une pension annuelle de 8 000 francs à Daguerre et de 4 000 francs aux héritiers de Niepce, et le 19 août les détails du procédé sont divulgués par Arago lors d'une séance conjointe de l'Académie des sciences et de l'Académie des beaux-arts. Aussitôt, les savants, les ingénieurs et les amateurs vont s'activer à faire des daguerréotypes dans le monde entier. Daguerre en profite pour commercialiser le matériel nécessaire, tandis que l'opticien Charles Chevalier (1808–1895) fabrique des objectifs pour les chambres noires.

Cependant, les résultats sont un peu décevants : si les images sont magnifiques, elles sont très fragiles et les temps de pose sont si longs qu'il n'est guère question de photographier des personnages vivants. C'est alors qu'intervient notre jeune Fizeau, qui a tout juste vingt ans. Il va apporter des perfectionnements décisifs au daguerréotype. Pour fixer l'image et la rendre plus brillante, il prépare une solution d'hyposulfite mixte de sodium et d'or, qu'il prépare en mélangeant une

---

<sup>8</sup> \*Arago, F. (1839) Fixation des images qui se forment au foyer d'une chambre obscure, *CRAS* 8, p. 4–7. Voir détails dans Lequeux (2008), p. 419–426.

solution de chlorure d'or et une solution d'hyposulfite de sodium. Il en enduit la plaque et la chauffe : l'or remplace l'argent dans les grains d'amalgame et l'argent nu qui forme le fond de la plaque est recouvert d'une mince couche d'or qui le brunit et rend les noirs plus profonds. La plupart des daguerréotypes qui subsistent aujourd'hui ont été traités par ce procédé, que Fizeau publie en 1840 dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*<sup>9</sup>.

Un peu plus tard, il imagine exposer pendant quelques instants, avant exposition, la plaque iodée aux vapeurs provenant d'une solution de brome très diluée<sup>10</sup>. L'iodure d'argent est remplacé par du bromure d'argent, bien plus sensible à la lumière : le temps d'exposition est alors réduit à une vingtaine de secondes en pleine lumière, ce qui permet de réaliser des portraits de personnes vivantes. Il remarque aussi que l'on peut réduire davantage encore le temps de pose en augmentant le rapport d'ouverture des chambres photographiques, qui n'est que de F/15 dans les chambres commercialisées par Daguerre ; les objectifs à plusieurs lentilles construits par divers opticiens atteindront effectivement bientôt un rapport d'ouverture plus grand.

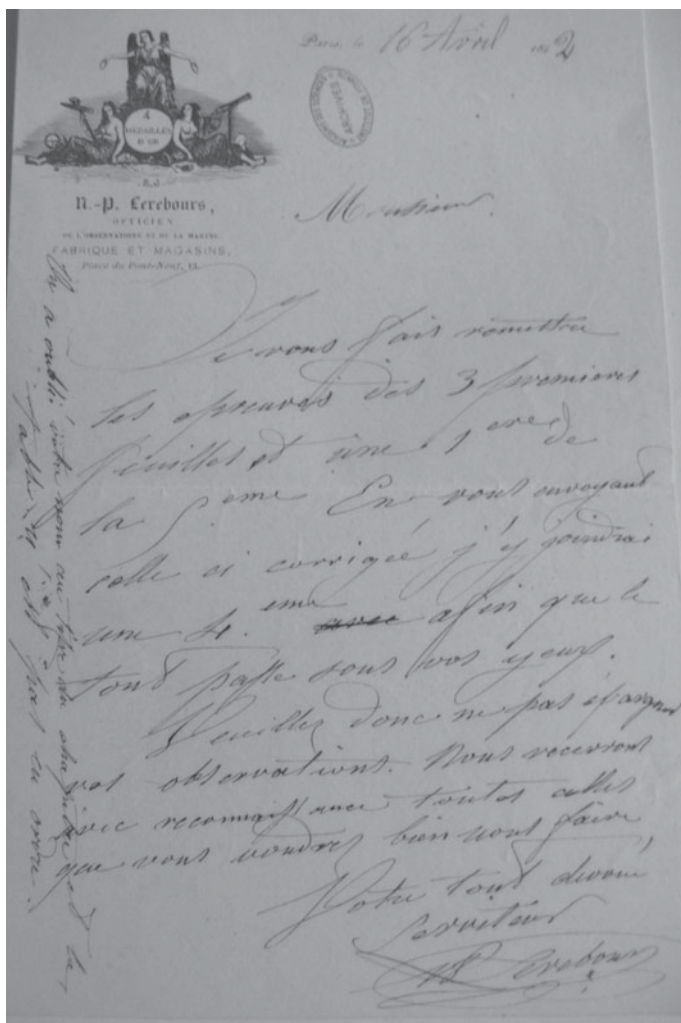
Fizeau collabore avec Noël Paymal Lerebours (1807–1873), l'opticien de l'Observatoire de Paris, qui est aussi un grand photographe : on lui doit de très nombreux daguerréotypes et il est l'auteur d'un *Traité de photographie* qui a connu au moins cinq éditions. La cinquième édition<sup>11</sup> a pour coauteur son collaborateur Marc Secrétan (1804–1867), qui deviendra lui aussi un opticien célèbre et lui succèdera. Ils y insèrent des notes de Fizeau (figure 1.1). Grâce au procédé de bromuration de Fizeau et à des objectifs très ouverts, Lerebours affirme avoir réussi à faire des poses de moins d'une seconde.

---

<sup>9</sup> \*Fizeau, H. (1840) Note sur un moyen de fixer les images photographiques, *CRAS* 11, p. 237–238. Peu après, Arago présente à l'Académie des sciences un daguerréotype ainsi obtenu « qui se distingue de tout ce qui avait été tenté en ce genre, par son étonnante perfection et, aussi, par la circonstance, non moins remarquable, que dans l'opération l'épreuve daguerrienne n'a éprouvé aucune altération ».

<sup>10</sup> \*Fizeau, H. (1841) Note sur l'emploi du brome dans la photographie sur plaque, *CRAS* 12, p. 1189–1190.

<sup>11</sup> Lerebours & Secrétan (1846).



**Figure 1.1.** Lettre de Lerebours à Fizeau concernant l'insertion de l'article de ce dernier sur l'emploi du brome pour sensibiliser les daguerréotypes dans son *Traité de photographie*. Académie des sciences/ Institut de France, fonds 64 J, Hippolyte Fizeau, dossier 8.02.

Comme il y a beaucoup d'argent à gagner avec les daguerréotypes, la compétition est acharnée, en particulier entre Lerebours et son concurrent Chevalier, qui publie lui aussi un traité de photographie en 1841<sup>12</sup>. Ils ne manquent pas de s'invectiver par écrits interposés, notamment à propos d'un nouveau développement qui semble prometteur : la reproduction des images photographiques. En effet, le daguerréotype est une épreuve unique et il serait très intéressant de pouvoir le reproduire. Fizeau met au point un procédé par galvanoplastie, qui

<sup>12</sup> Chevalier (1841).



consiste à déposer par électrolyse une couche de cuivre sur le daguerréotype<sup>13</sup>. Les contemporains disent qu'elle se décolle assez facilement. Puis Fizeau réalise par le même procédé, à partir de la plaque négative ainsi obtenue, une nouvelle épreuve, qui est la copie de l'original<sup>14</sup>.

Fizeau n'est pas le seul à avoir cette idée et à la réaliser : un certain Krasner revendique la priorité dès le 2 novembre 1840<sup>15</sup> et Chevalier affirme dans son traité (1841, p. 60–66) avoir obtenu en janvier 1841 des résultats concluants ; l'hebdomadaire *L'Artiste* du 7 février mentionne d'ailleurs son succès<sup>16</sup>. Quant à Fizeau, il fait ses présentations à l'Académie des sciences dès le mois de mars 1841.

En 1843–1844, Fizeau utilise un autre procédé pour reproduire les daguerréotypes, un travail entrepris à l'occasion d'un concours ouvert par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale pour un prix de 2 000 francs<sup>17</sup> : il attaque avec des acides la plaque daguerrienne, qui est ainsi sacrifiée puis suffisamment creusée. Un traitement assez complexe lui permet de « se prêter à un tirage considérable »<sup>18</sup>. Trois des planches d'un important ouvrage intitulé *Excursions daguerriennes*<sup>19</sup> ont été

---

<sup>13</sup> \*CRAS 12 (1841), p. 401–402.

<sup>14</sup> \*CRAS 12 (1841), p. 509.

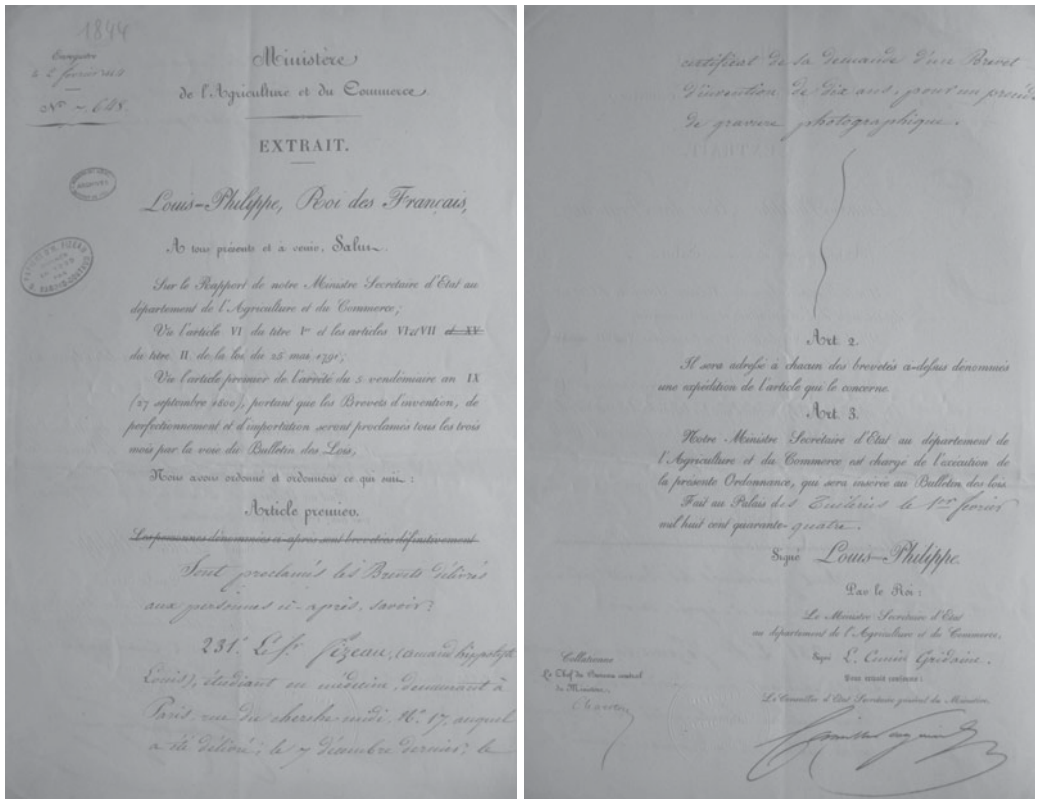
<sup>15</sup> \*CRAS 11 (1840), p. 712.

<sup>16</sup> \**L'Artiste* (1841), 2<sup>e</sup> série, t. 7, 6<sup>e</sup> livraison, p. 94. On y lit : « L'instrument galvano-plastique est confectionné avec beaucoup de soin par deux ingénieurs-opticiens, MM. Chevalier et Lerebours, qui luttent de talent et d'habileté [...]. M. Charles Chevalier a obtenu, dès ses premiers essais, un résultat [...] l'application du métal fut si exacte, qu'une planche de Daguerreotype fut reproduite avec ses traits légers et si peu creusés. »

<sup>17</sup> Fizeau n'a pas obtenu le prix, et 1 000 francs ont été attribués à MM. Choiselat et Ratel : *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, 52<sup>e</sup> année (1853) p. 297, accessible sur <http://cnum.cnam.fr/fSER/BSPI.html>

<sup>18</sup> \*CRAS 16 (1843), p. 408 ; \*Fizeau, H. (1844) Note sur un procédé de gravure photographique, CRAS 19, p. 119–121.

<sup>19</sup> \*Anonyme (1840–1843) *Excursions daguerriennes : vues et monuments les plus remarquables du globe*, t. 2, Paris, Rittner et Goupil.



**Figure 1.2.** Brevet délivré à Fizeau pour la reproduction des daguerréotypes par galvanoplastie (recto et verso). Académie des sciences/Institut de France, fonds 64 J, Hippolyte Fizeau, dossier 8.02.

réalisées par ce procédé à partir de daguerréotypes de Lerebours.

Face à la concurrence, Fizeau dépose un brevet qui sera enregistré le 2 février 1844 (figure 1.2). Il est donc probable qu'on lui a reconnu une certaine priorité, car il est le seul à avoir publié dans les *Comptes rendus* ; Arago, qui le tient en haute estime, n'est peut-être pas étranger à cela. Prendre un brevet se révélera une précaution inutile, car le procédé est complexe et risqué, d'autant plus que « le plus souvent, la pièce originale est en relief ; il faut donc faire une contre-épreuve en creux et la soumettre aux mêmes opérations [de galvanoplastie] pour produire une épreuve en relief » (Chevalier, 1841, p. 66). Il sera vite

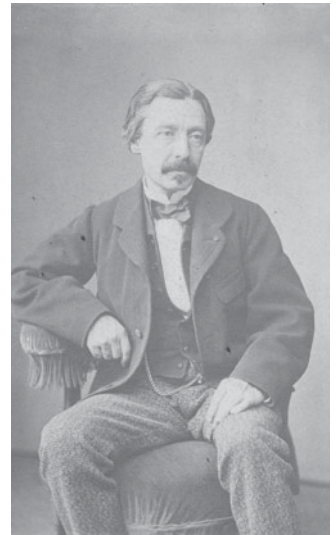
délaissé : d'après William Henry Fox Talbot (1800–1877), « son usage a été abandonné en raison des grandes incertitudes qu'il comportait, qui usaient la patience des expérimentateurs »<sup>20</sup>. L'avenir est au procédé négatif-positif par contact sur papier inventé par Fox Talbot qu'il brevètera en 1841 sous le nom de *calotype*. Fizeau lui-même félicite Fox Talbot pour ce progrès<sup>21</sup>. Le daguerréotype n'a plus que dix années à vivre<sup>22</sup>.

## 1.2. Une rencontre décisive

Le jeune Fizeau est maintenant célèbre et beaucoup d'amateurs de photographie viennent lui demander des conseils. C'est le cas d'un jeune homme de son âge, Léon Foucault (encadré 1.1 et figure 1.3), qui fait de son côté des expériences sur le daguerréotype. Les deux jeunes gens se sont probablement connus au collège Stanislas ou à l'École de médecine. Tout les rapproche : milieu social de bonne bourgeoisie, études de médecine parallèles et surtout amour des sciences.

### Encadré 1.1. Léon Foucault (1819–1868)

Léon Foucault est en quelque sorte le double de Fizeau : ils sont nés à cinq jours d'intervalle, se destinent initialement tous deux à la médecine puis dévient vers la physique, ont tous les deux beaucoup d'imagination et une grande habileté expérimentale. Cependant, Foucault a plus l'âme d'un mécanicien,



**Figure 1.3.** Léon Foucault vers 1862. Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

<sup>20</sup> Article de Fox Talbot dans l'*Athenaeum*, daté du 4 avril 1853 reproduit par <http://foxtalbot.dmu.ac.uk/letters/transcriptFree-text.php?keystring=Fizeau&keystring2=&keystring3=&year1=1800&year2=1877&pageNumber=13&pageTotal=15&referringPage=0>

<sup>21</sup> Lettre de Fizeau à Fox Talbot datée du 7 août 1844, reproduite par <http://foxtalbot.dmu.ac.uk/letters/transcriptFree-text.php?keystring=Fizeau&keystring2=&keystring3=&year1=1800&year2=1877&pageNumber=5&pageTotal=15&referringPage=0>

<sup>22</sup> Pour une histoire de la reproduction photographique, voir Daniel (1995).

tandis que Fizeau a plus de goût et de compétences pour les mathématiques. Tous deux commencent seuls et à leurs frais leurs premières expériences scientifiques, mais les moyens de Foucault sont plus limités si bien qu'il doit gagner sa vie en rédigeant, à partir de 1842, des « feuillets scientifiques » pour le *Journal des débats*, ce qu'il fait d'ailleurs avec beaucoup d'érudition et de sens critique. Rendu célèbre par les travaux qu'il réalise en commun avec Fizeau et surtout par la fameuse expérience du pendule, qui date de 1851, Foucault devient le protégé de Napoléon III qui impose à Le Verrier sa nomination comme « physicien de l'Observatoire » en 1855. Il s'est alors brouillé avec Fizeau et continue seul une œuvre scientifique de premier plan : conception et construction des premiers télescopes modernes à miroir de verre argenté à partir de 1857, puis en 1862 première mesure précise de la vitesse de la lumière avec son miroir tournant. Rapidement affaibli par une maladie, probablement la sclérose en plaques, il meurt en 1868.

Foucault prend probablement contact avec Fizeau pour avoir des détails sur sa méthode de bromuration des plaques. Il la perfectionne et décrit son procédé dans une brochure de dix pages, aussitôt publiée dans le guide pratique de Charles Chevalier<sup>23</sup>. Cette note se termine par un compliment envers Fizeau :

*« Mais, je dois le redire en terminant, c'est à M. Fizeau qu'appartient l'idée importante, l'idée capitale, celle de renouveler la dissolution [de brome dans l'eau] pour chaque épreuve. »*

Les deux hommes travaillent alors chacun de leur côté jusqu'à la seconde moitié de 1843, où ils décident de collaborer. Leur première collaboration concerne l'application du daguerréotype à la photométrie, c'est-à-dire à la mesure de l'intensité de la lumière. Ce projet avait déjà été imaginé par Arago en 1839, lorsqu'il présentait devant

<sup>23</sup> Chevalier (1841).

l'Académie des sciences ce que l'on pouvait attendre de la photographie<sup>24</sup> :

« Le physicien arrive assez bien à déterminer les intensités comparatives de deux lumières voisines l'une de l'autre et qu'il perçoit simultanément ; mais, on n'a que des moyens imparfaits d'effectuer cette comparaison, quand la condition de simultanéité n'existe pas. [...] N'hésitons pas à le dire, les réactifs [sic] découverts par M. Daguerre hâteront les progrès d'une des sciences qui honorent le plus l'esprit humain. Avec leur secours, le physicien pourra procéder désormais par voie d'intensités absolues ; il comparera les lumières par leurs effets. S'il y trouve de l'utilité, le même tableau lui donnera les empreintes des rayons éblouissants du soleil, des rayons trois cent mille fois plus faibles de la lune, des rayons des étoiles. Ces empreintes, il les égalisera, soit en affaiblissant les plus fortes lumières, à l'aide des moyens excellents, résultat des découvertes récentes<sup>25</sup>, soit en ne laissant agir les rayons les plus brillants que pendant une seconde, par exemple, et en continuant au besoin l'action des autres jusqu'à une demi-heure. »

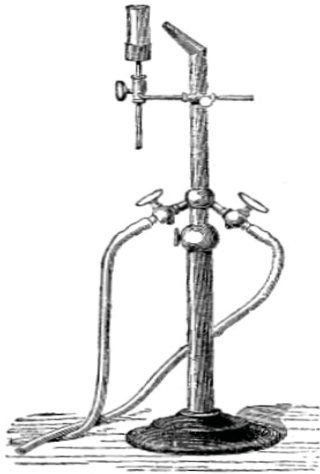
Fizeau et Foucault s'attachent à comparer l'intensité de la lumière solaire avec celle de deux autres sources de lumière. Le but est utilitaire : savoir quelle est la meilleure source de lumière exploitable pour les expériences de laboratoire. Est-ce le Soleil, l'arc électrique, inventé par Humphry Davy (1778–1829) en 1801, ou la lumière oxhydrique de Thomas Drummond (1797–1840)<sup>26</sup>, en réalité inventée par Goldsworthy Gurney (1793–1875), qui date de 1820 environ (figure 1.4) ? Pour ce faire, ils produisent successivement avec une lentille achromatique l'image des trois sources sur des plaques daguerréotypes. Afin que ces images soient juste au seuil de sensibilité de la plaque au développement à la vapeur de mercure, ils jouent sur différents paramètres : la distance de la source à la lentille, la distance focale de la lentille, des

<sup>24</sup> \*Arago, F. (1839) Le Daguerrotyp, *La France littéraire* 35, p. 404–420.

<sup>25</sup> Il s'agit visiblement pour Arago de l'affaiblissement obtenu en tournant l'un par rapport à l'autre deux polariseurs traversés successivement par la lumière.

<sup>26</sup> Pour la lumière de Drummond, voir Lauginie, P. (2013) *Drummond's Light, Limelight : a Device in its Time*, accessible sur <http://archive.ihpst.net/2013/Procs/Lauginie.pdf>





**Figure 1.4.** Le chalumeau de Drummond. La lumière est produite par un morceau de craie chauffé par un chalumeau où brûle un mélange d'hydrogène et d'oxygène. Cette source lumineuse était encore très utilisée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : l'image est extraite d'un catalogue d'instruments scientifiques datant de 1891. Conservatoire numérique des arts et métiers.

diaphragmes limitant le diamètre utile de cette lentille et même le temps de pose.

Le résultat<sup>27</sup> est que la luminance de la craie incandescente de Drummond est moindre que celle du charbon du pôle positif de l'arc électrique, qui est elle-même inférieure à celle du Soleil. Si celle du Soleil dans de bonnes conditions, prise comme référence, est de 1 000, celle de l'arc va de 136 à 385 selon la différence de potentiel appliquée aux électrodes et celle de la lumière de Drummond s'étend de 0,5 à 6,85 selon la pression des gaz dans le chalumeau. Il s'agit de luminances aux longueurs d'ondes bleues à ultraviolettes, auxquelles est sensible le daguerréotype : c'est ce que Fizeau et Foucault appellent *intensité chimique*, car ce sont ces longueurs d'onde qui produisent la réaction chimique de réduction des sels d'argent qui est à la base de la photographie. Ils réalisent que les rapports entre les luminances pourraient être différents pour la lumière à laquelle l'œil est sensible et décident de mesurer visuellement le rapport entre la luminance de la craie de Drummond et celle de l'arc, en égalisant les images formées sur un écran par des lentilles diaphragmées différemment. Ils trouvent que ce rapport est peu différent de celui obtenu avec le daguerréotype. Ils en déduisent, à tort, que « les mesures d'intensité chimique [...] qui se rapportent à la lumière solaire, à celle des charbons de la pile [c'est-à-dire des charbons de l'arc], et à celle du gaz oxygène et hydrogène projeté sur de la chaux, seraient également les mesures des intensités optiques de ces sources lumineuses. » C'est à peu près le cas pour l'arc électrique et la craie de Drummond, mais pas pour le Soleil dont la température est beaucoup plus élevée.

À la fin de la communication de Fizeau et Foucault, Arago rappelle « des expériences, déjà très-anciennes, à l'aide desquelles il compara, par des moyens photométriques directs, la lumière du soleil et celle des charbons de la pile<sup>28</sup> ».

<sup>27</sup> \*Fizeau, H. & Foucault, L. (1844) Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy, CRAS 18, p. 746–755 et p. 860–862.

<sup>28</sup> Nous n'avons pas trouvé dans les mémoires d'Arago sur la photométrie de référence à ces expériences, qui pourraient dater de 1815, date à laquelle Arago dit avoir fait diverses expériences photométriques.

Cette mesure ne nous paraît pas bien remarquable aujourd'hui, mais c'est une première et elle a nécessité d'importants moyens financiers pour produire l'oxygène du chalumeau et surtout l'électricité de l'arc : pas moins de 138 piles de Bunsen ont été acquises à cet effet.

Est-ce à cette occasion qu'Arago leur a parlé d'un problème qui le préoccupait : l'assombrissement du bord du disque solaire ? En effet, il écrit qu'il a obtenu un daguerréotype du Soleil sur lesquels il a constaté « que les rayons qui proviennent de la partie centrale du disque du Soleil ont une plus forte action photogénique que ceux qui partent des bords »<sup>29</sup>. Il s'agit peut-être de la toute première photographie astronomique réussie, celle de l'éclipse partielle de Soleil du 15 mars 1839, qui a longtemps subsisté à l'Observatoire de Paris mais est aujourd'hui perdue. La question est d'importance, car un tel assombrissement impliquerait nécessairement que la lumière du Soleil provient d'un gaz incandescent et non d'un liquide ou d'un solide : la luminance d'un solide ou liquide incandescent dépend très peu de l'angle d'incidence, principalement de la polarisation de la lumière émise ; tandis que celle d'un gaz dont la température varie avec l'épaisseur, comme c'est le cas pour l'atmosphère du Soleil, dépend de l'incidence alors qu'il n'y a pas de polarisation. Arago avait déjà conclu à l'existence d'un gaz incandescent en constatant, en 1811, l'absence de polarisation de la lumière des bords du disque solaire. Or l'existence même de l'assombrissement des bords est controversée, les observations donnant apparemment des résultats contradictoires. Quoi qu'il en soit, Fizeau et Foucault vont s'employer à obtenir des daguerréotypes du Soleil. Pour ce faire, la lumière solaire est renvoyée horizontalement par un héliostat vers une lentille au foyer de laquelle on place le daguerréotype. Mais le Soleil est si brillant que le temps de pose doit être compris entre 1/60 et 1/100 de seconde : il n'est pas possible de se servir comme à l'ordinaire d'un simple couvre-objectif enlevé et replacé manuellement. Fizeau et Foucault vont donc imaginer un obturateur « assez original » constitué d'une planche présentant une fente horizontale de largeur appropriée,

---

<sup>29</sup> \*Arago, F. (1854–1862) *Ceuvres complètes de François Arago*, éd. par J.A. Barral, Paris, Gide et Leipzig, T.O. Weigel, vol. 10, p. 231–250.

Vj k' r ci g' k p v g p v k q p c m { ' i g h v ' d i e p m

# Bibliographie

\* : désigne les articles ou ouvrages accessibles sur <http://gallica.bnf.fr>.

° : désigne les articles ou ouvrages accessibles sur <http://books.google.fr/>.

† : désigne les articles accessibles sur <http://cdsads.u-strasbg.fr>.

☆ : désigne les articles accessibles sur <http://www.jstor.org>.

## Ouvrages ou articles anciens

\*Arago, F. (1854–1857) *Astronomie populaire*, éd. par J.-A. Barral, 4 vol., Paris, Gide & J. Baudry.

\*Arago, F. (1854–1862) *Œuvres complètes de François Arago*, éd. par J.-A. Barral, 13 vol. Gide, Paris et T. O. Weigel, Leipzig.

°Chevalier, C. (1841) *Nouvelles instructions sur l'usage du daguer-réotype, description d'un nouveau photographe et d'un appareil très simple destiné à la reproduction au moyen de la galvanoplastie, suivie d'un mémoire sur l'application du brôme*, Paris, chez l'auteur, Palais-Royal et chez Baillièrè.

Cornu, A. (1897) Notice sur l'œuvre scientifique de H. Fizeau, *Annuaire du Bureau des longitudes pour 1898*, Paris, Gauthier-Villars, p. C.1–C.40. Reproduit dans *Cosmos, revue encyclopédique hebdomadaire des progrès des sciences et de leurs applications*, n° 712, p. 374–379 et n° 713, p. 400–405.

Cornu, A. (1890) Sur la méthode Doppler-Fizeau permettant la détermination par l'analyse spectrale de la vitesse des astres dans la direction du rayon visuel, *Annuaire du Bureau des longitudes pour 1891*, Paris, Gauthier-Villars, p. D.1–D.40.

Fizeau, H. (1859) *Notice sur les travaux de M. H. Fizeau*, Paris, Mallet-Bachelier, accessible sur [http://www.academie-sciences.fr/activite/archive/dossiers/Fizeau/Fizeau\\_pdf/Fizeau\\_notice.pdf](http://www.academie-sciences.fr/activite/archive/dossiers/Fizeau/Fizeau_pdf/Fizeau_notice.pdf).

Foucault, L. (1878) *Recueil des travaux scientifiques*, Paris, Gauthier-Villars, réed. (2001) Paris, Blanchard ; accessible sur <http://jubilotheque.upmc.fr>.

\*Jamin, J.-C. (1885) *Cours de Physique de l'École polytechnique*, t. 3, fasc. 3, Paris, Gauthier-Villars et fils.

°Lerebours & Secrétan (1846) *Traité de photographie, cinquième édition entièrement refondue*, Paris, chez les auteurs, place du Pont-Neuf et Victor Masson, etc.

\*Mascart, E. (1893) *Traité d'optique*, t. 3, Paris, Gauthier-Villars.