Bulletin de la Sabix

Société des amis de la Bibliothèque et de l'Histoire de
l'École polytechnique

67 | 2021

**La théorie et la pratique dans les travaux et la
correspondance d'Émile Clapeyron et de Gabriel Lamé
(1818-1835)**

Partie II

Le retour à Paris : le temps des entreprises entre science, industrie et
politique (1832)

Évelyne Barbin

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/sabix/2910>

DOI : 10.4000/sabix.2910

ISSN : 2114-2130

Éditeur

Société des amis de la bibliothèque et de l'histoire de l'École polytechnique (SABIX)

Édition imprimée

Date de publication : 1 août 2021

Pagination : 47-70

ISSN : 0989-30-59

Référence électronique

Évelyne Barbin, « Partie II », *Bulletin de la Sabix* [En ligne], 67 | 2021, mis en ligne le 01 août 2021,
consulté le 21 novembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/sabix/2910> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/sabix.2910>

Partie II

Le retour à Paris : le temps des entreprises entre science, industrie et politique (1832)

Évelyne Barbin

Le retour à Paris de Clapeyron en novembre 1831 et de Lamé en décembre, ne semble pas avoir été programmé à l'avance par le binôme¹⁶¹. En 1827, ils ont été récompensés par le Tsar en recevant la croix de Sainte-Anne, gratifiés par des primes et promus au rang de colonels¹⁶². Mais la situation entre la France et la Russie se détériore en 1830, avec des conséquences pour les ingénieurs français de l'Institut. Clapeyron en a fait les frais, ce qui peut expliquer le retour du binôme¹⁶³. En effet, en janvier 1831, il a été invité à se rendre à Witegra, à plus de 300 km de Saint-Petersbourg, pour surveiller en principe des travaux, mais il lui est interdit de quitter la ville et il est surveillé. Il décide dès lors de démissionner et Lamé se résout à le suivre. Ils écriront qu'ils ont démissionné pour des « motifs d'honneur »¹⁶⁴. Cette décision semble personnelle puisque l'on ne constate pas d'autres démissions de membres de l'Institut. Des historiens ont avancé que leur retour précipité était lié à leurs idées saint-simoniennes, mais il est dif-

ficile d'étayer cette hypothèse. Enfantin parle seulement « d'étincelles saint-simoniennes » (Partie I) et, à leur arrivée à Paris, rien n'indique, de leur part, une attache saint-simonienne plus importante que celle d'autres polytechniciens.

À leur départ, les deux amis espéraient recevoir des pensions de la part du Tsar, mais il n'en sera rien. La recherche de positions à leur retour en France est d'autant plus importante. La diffusion de leurs écrits dans la presse française et la présentation de mémoires à l'Académie des sciences à la fin de leur séjour russe (partie I) pouvaient cependant leur apporter des espoirs. Ils seront tous les deux promus ingénieur des Mines¹⁶⁵ de 1^{re} classe le 27 avril 1832. Lamé va bénéficier de la démission¹⁶⁶ en 1832 du physicien et chimiste César Despretz de la chaire de physique à l'École polytechnique où il a été nommé¹⁶⁷ en mars 1831. Il est élu par l'Académie des sciences¹⁶⁸ le 26

161. [Jeanson, 1998, 67].

162. [Jeanson, 1998, 46-47].

163. [Bertrand, 1878].

164. [Jeanson, 1998, 65-66].

165. [Annales des Mines, 1832, III, 1, 456].

166. [Académie des sciences, 1922, t. X, 35].

167. [Académie des sciences, 1921, t. IX, 586].

168. [Académie des sciences, 1922, t. X, 48].

mars 1832 par 43 suffrages sur 49 votants, face à deux autres candidats. Il reste dans le corps des ingénieurs des Mines et il continue à recevoir une demi-solde. Clapeyron est nommé en octobre professeur d'exploitation et de construction à l'École des Mineurs de Saint-Étienne¹⁶⁹, poste qu'il rejoint en janvier 1833. L'école des Mineurs de Saint-Étienne a été créée en 1816 pour former des maîtres mineurs, à l'initiative de Louis-Antoine Beaunier qui en sera le directeur, puis elle devient une école d'ingénieurs¹⁷⁰ en 1831. Beaunier est entré à l'École des Mines en 1795, il est nommé ingénieur en 1798 avant d'occuper de nombreuses responsabilités.

De retour à Paris, le binôme se trouve dans le milieu des scientifiques et des ingénieurs, Lamé au sein de l'École polytechnique et tous deux dans le cadre de l'Association polytechnique. Ce contexte est favorable aux travaux scientifiques, que les deux ingénieurs poursuivent séparément en entreprenant des travaux déterminants. Clapeyron présente le 31 décembre à l'Académie des sciences un mémoire sur la puissance motrice de la chaleur inspiré par sa lecture de l'ouvrage de Sadi Carnot de 1824. Il rencontre Jean-Victor Poncelet, comme nous l'apprend la correspondance (lettres du 9 juin 1833 et 3 mars 1834). Lamé prépare un mémoire sur les surfaces isothermes, qui sera présenté le 13 mai 1833 à l'Académie.

La fréquentation des saint-simoniens conduit le binôme à d'autres préoccupations. Ils écrivent deux ouvrages, le premier avec les demi-frères Flachet sur l'organisation des travaux publics, et le second sur celle des écoles, générale et spéciales. Leur intérêt pour l'organisation des institutions est sûrement lié à leur fréquentation de Raucourt à Saint-Petersbourg (Partie I) et sans doute à Paris, où il est devenu un proche d'Enfantin depuis

son retour en 1827. Cet « ancien élève de l'École polytechnique », ingénieur des ponts et chaussées écrit en exergue¹⁷¹ à son *Appel à la raison publique* de 1830 :

Apprenons à nous organiser: le bonheur et le malheur, le présent et l'avenir des citoyens et des nations, sont dans les institutions.

Clapeyron et Lamé se trouvent aussi embarqués dans une « affaire » d'importance, celle du chemin de fer entre Paris et Saint-Germain.

L'année 1832 est marquée par des événements tragiques dans la capitale. Le choléra, venu des Indes, fait son premier mort à Paris le 26 mars, alors que le mécontentement est grand dans la classe ouvrière naissante. Victor Hugo écrira en 1862 dans *Les Misérables*¹⁷² :

Au printemps de 1832, quoique depuis trois mois le choléra eût glacé les esprits et jeté sur leur agitation je ne sais quel morne apaisement, Paris était dès longtemps prêt pour une commotion. Ainsi que nous l'avons dit, la grande ville ressemble à une pièce de canon ; quand elle est chargée, il suffit d'une étincelle qui tombe, le coup part. En juin 1832, l'étincelle fut la mort du général Lamarque.

La révolte parisienne de juin 1832 est sévèrement réprimée, elle sera suivie d'autres révoltes à Lyon et à Saint-Étienne, dont Clapeyron sera témoin (lettre du 3 mars 1834). Les médecins sont étonnés par les « effets bizarres » du choléra et ils ne sont pas d'accord sur son caractère contagieux. Finalement l'Académie de médecine soutient qu'il ne l'est pas, aucune mesure n'est prise et la maladie se répand. En avril 1832 l'ingénieur civil Stéphane Flachet, avec lequel collabore le binôme, accuse « l'état hygiénique

169. [Annales des Mines, 1832, III, 1, 455].

170. [Garçon, 2004].

171. [Raucourt, 1830, np].

172. [Hugo, 1908, 292].

de Paris »¹⁷³. Les rumeurs se propagent et certains doutent de l'existence de la maladie, Louis Blanc raconte qu'un médecin de l'Hôtel-Dieu présenta un malade livide en proclamant : « Vous ne croyez pas au choléra ? Eh bien, voici un cholérique ! »¹⁷⁴. Dans un article de 1854, l'anatomiste italien Filippo Paccini décrira le bacille responsable de la maladie, alors que sévit la troisième vague de la pandémie.

Les premiers chemins de fer français, des entreprises d'ingénieurs

Depuis le début du siècle, les ingénieurs français, missionnés pour visiter l'Angleterre (Partie I), s'intéressent aux nouveaux chemins de fer et ils écrivent des comptes rendus¹⁷⁵ dans les *Annales des arts et manufactures* dès 1801 et dans le *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* à partir de 1808. Louis de Gallois, missionné par Louis Becquey, directeur des ponts et chaussées et des mines, écrit en 1818 dans les *Annales des Mines* « Des chemins de fer en Angleterre, notamment à Newcastle ». Il est ingénieur des Mines depuis 1799, il a été nommé à Saint-Étienne¹⁷⁶ en 1814 et il deviendra professeur à l'École des Mineurs en 1819. Son écrit va au-delà d'un simple compte rendu car, après avoir calculé les économies qu'un chemin de fer permettrait dans le transport de minerais de Saint-Étienne à la Loire, il propose un large usage des chemins de fer ¹⁷⁷ :

Les chemins de fer offrent un moyen de transport intermédiaire, entre les routes

et les canaux, trop imparfaitement connus jusqu'à présent, pour avoir reçu de grandes applications en France. Ils coûtent beaucoup moins que les canaux, et ils ont sur eux l'avantage de servir en toutes saisons, d'exiger moins d'entretien [...]. Les chemins de fer formeront un jour le complément de notre système de communications intérieures ; ils méritent d'être considérés comme un objet d'utilité publique du plus grand intérêt.

L'article fait l'objet de commentaires à l'Académie des sciences et dans plusieurs mémoires. Avant Gallois, Pierre-Michel Moisson-Descroches, ingénieur des Mines qui enseignera à Saint-Étienne, aurait adressé à Napoléon en 1814 un mémoire proposant la création de sept lignes de chemins de fer reliant Paris aux extrémités de l'Empire¹⁷⁸.

Les deux premiers chemins de fer autour de Saint-Étienne

En mai 1821, Beaunier demande l'autorisation de construire un chemin de fer destiné au transport de la houille et de marchandises, de la Loire au Rhône par le territoire houiller de Saint-Étienne¹⁷⁹. En février 1823, une concession à perpétuité, qui a été fort discutée¹⁸⁰, est accordée par ordonnance du Roi à la Compagnie des chemins de fer de Saint-Étienne à la Loire, fondée par Beaunier et des associés. Le concessionnaire a le droit d'expropriation, tandis que l'exécution et l'exploitation de la ligne sont subordonnées à une autorisation donnée par l'État. Ce chemin de Saint-Étienne à Andrézieux est construit sans concours financier de l'État, avec les seuls fonds des conces-

173. [Flachat, Stéphane, 1832, 43].

174. [Godin, 2020].

175. [Villedieu, 1903, 81-82].

176. [Gras, 1924, 9].

177. [Gallois, 1818, 144].

178. [Gras, 1923, 18-19].

179. [Vintousky, 1927, 393].

180. [Gras, 1922, II, 620-633].

sionnaires, obtenus au moyen d'actions, mais l'État doit approuver le tracé et réglementer les tarifs. Les mêmes clauses figureront pour les concessions des trois chemins de fer suivants, de Saint-Étienne à Lyon en 1826, d'Andrézieux à Roanne en 1828, et d'Épinac au canal de Bourgogne en 1830. Jusqu'en 1830, année où est créé le Ministère des travaux publics¹⁸¹, les projets de chemins de fer sont adressés à Louis Becquey, le directeur des ponts et chaussées et des mines, qui signe aussi les ordonnances du Roi.

Un second projet de chemin de fer est mis à l'étude en 1825, proposé par les frères Seguin et Édouard Biot et destiné en premier lieu au transport de minerai entre Saint-Étienne et Lyon. La concession est accordée en juin 1826. Ce chemin, comme le précédent, a une fonction principalement industrielle, quoique le premier ait pu être emprunté par un wagon de voyageurs et que le second transportait régulièrement des voyageurs. Édouard Biot, fils du physicien Jean-Baptiste Biot, a été reçu à l'École polytechnique en 1822 mais il a préféré accomplir seul ses études. Il écrira en 1834 un *Manuel du constructeur de chemin de fer*, traitant des rails jusqu'aux machines¹⁸². Marc, l'aîné des Seguin, est ingénieur civil. Dans son *Mémoire sur le chemin de fer de St-Étienne à Lyon* de 1826, il insiste sur les progrès des chemins de fer à attendre du côté des machines à vapeur¹⁸³. Il a lui-même inventé une chaudière tubulaire, dont l'application aux locomotives sera brevetée en 1830 et utilisée sur son chemin de fer (lettre du 20 juin 1833). En 1825, une douzaine brevets d'invention sont déposés en France, touchant aux chemins de fer et aux machines afférentes¹⁸⁴.

Un autre binôme d'ingénieurs polytechniciens : Mellet et Henry

En 1828, deux ingénieurs civils de la même génération que Clapeyron et Lamé, obtiennent la concession d'un troisième chemin de fer autour de Saint-Étienne. François-Noël Mellet et Charles-Joseph Henry sont entrés à l'École polytechnique¹⁸⁵ en 1819. Dès 1821, Mellet écrit dans les *Annales de l'industrie nationale et étrangère* un mémoire sur un pont en câbles de fer construit en Angleterre, rédigé à partir de mémoires anglais (Partie I). Puis il publie en 1828, avec l'ingénieur et mécanicien Ambroise-Théodore Tourasse, un *Essai sur les bateaux à vapeur appliqués à la navigation intérieure et maritime de l'Europe*, accompagné de « considérations sur les transports par terre et par eau et sur les chemins de fer »¹⁸⁶. Il ne semble pas que Henry ait produit des écrits personnels. À partir de 1828, les deux ingénieurs forment un binôme¹⁸⁷, leurs deux noms se succédant dans un ordre non alphabétique. Ils créeront une société d'études sise à Paris et ils mèneront plusieurs projets ferroviaires. Leurs deux noms apparaissent à plusieurs reprises dans les lettres de Clapeyron.

Dans leur *Mémoire sur le chemin de fer de la Loire, d'Andrézieux à Roanne* de 1828, Mellet et Henry défendent ainsi leur projet : « Le département de Loire est celui qui présente les exploitations de houille les plus nombreuses et les plus importantes. [...] On sent alors de quelle importance il peut être de faciliter le transport de cette masse de richesses »¹⁸⁸. Ils expliquent qu'il faut fournir de la houille jusqu'à Bordeaux et Le Havre et jusqu'à Marseille et Paris. Or, le chemin de fer de Saint-Étienne au Rhône des Seguin et Biot

181. [Villedieuil, 1903, 18].

182. [Biot, 1834].

183. [Seguin, 1826, 28].

184. [Villedieuil, 1903, 90-92].

185. [Marielle, 1855, 110]

186. [Tourasse et Mellet, 1828].

187. [Pickering, 2009, 519].

188. [Mellet et Henry, 1828, vi].

est destiné à faciliter l'exportation vers l'est et le midi de la France, et le chemin de fer de Saint-Étienne à Andrézieux de Beaunier atteint le même but vers l'ouest et le nord. Mais ce dernier chemin aboutissant à un point où la Loire n'est pas navigable, le chemin d'Andrézieux à Roanne remplirait cette lacune. Les deux ingénieurs montrent, à l'aide de statistiques, qu'il aurait aussi l'avantage de servir de complément de communication du Rhône avec la Loire. Il est prévu de transporter du minerai et des marchandises depuis Saint-Étienne (quincaillerie) ou du Midi (bou-

teilles de vin). Tous les travaux sont chiffrés, en particulier les plans inclinés avec machines stationnaires qui permettront aux locomotives de gravir les pentes (lettre du 19 février 1833). Le projet est donc autant commercial qu'industriel, ceci sur une grande zone géographique, qui va de Paris à la Méditerranée. Le mémoire de 1828 a une certaine audience car il est repris dans le premier numéro du *Journal de génie civil des sciences et des arts*, dans lequel Lamé et Clapeyron publient également deux articles (Partie I).

Le chemin de Mellet et Henry au centre d'un axe Montpellier-Paris (ouvrage cité en note 188)

Lamé a eu Mellet pour compagnon pendant sa mission en Angleterre en juin et juillet 1830 (Partie I). Il a donc visité des chemins de fer et des usines de locomotives avec un ingénieur averti, car il est concessionnaire d'un chemin de fer et il a traduit de l'anglais en 1828 le *Traité des machines à vapeur et de leurs applications aux mines, aux machines à vapeur, aux chemins de fer* de l'ingénieur anglais Thomas Tredgold¹⁸⁹. En juin 1830, Lamé et Mellet visitent plusieurs ateliers de constructions de locomotives à Londres,

puis, en juillet, un atelier de construction de machines à vapeur, un chemin de fer à Bolton et le réseau de chemins de fer dont l'un des embranchements part de Darlington. Ils arrivent à Liverpool un jour de fête car on y inaugure le chemin de fer de Manchester à Liverpool en présence de George Stephenson. L'ingénieur anglais a mis au point la première locomotive en 1817 et construit en 1829 « The rocket » (La fusée) pour ce nouveau chemin de fer. Lamé est enthousiaste¹⁹⁰.

189. [Tredgold, 1828].

190. [Jeanson, 1998, 59-61].

Ce compagnonnage jette une lueur nouvelle sur l'engagement de Lamé et Clapeyron dans les chemins de fer. En effet, quand ceux-ci commencent à fréquenter l'Association polytechnique et les saint-simoniens, Lamé a accompli, deux ans auparavant, une mission de deux mois avec un ingénieur déjà embarqué dans l'entreprise des chemins de fer. Une trentaine d'années plus tard, Clapeyron écrira¹⁹¹ :

De retour en France, après la révolution de 1830, mes occupations prirent un caractère plus pratique [...]. Frappé à cette époque de l'avenir des chemins de fer inauguré par le succès des voies nouvelles entre Manchester et Liverpool, je conçus l'idée, et rédigeai les projets du chemin de fer de Paris à Saint-Germain.

Il aura l'occasion de visiter le chemin de fer de Mellet et Henry, qui fut livré à la circulation en 1834 (lettre du 19 février 1833). Ce chemin utilisait des locomotives anglaises, plus onéreuses que les locomotives françaises employées sur le chemin de fer des Seguin et Biot. De plus le chiffrage des travaux était erroné¹⁹² et la compagnie fit faillite en 1836.

L'extension de l'entreprise ferroviaire, de Navier aux saint-simoniens

En mai 1826, dans un mémoire « De l'établissement d'un chemin de fer entre Paris et Le Havre », le polytechnicien et ingénieur des ponts et chaussées Claude-Henri Navier défend devant l'Académie des sciences un projet de chemin de fer de plus grande envergure, en montrant que ce chemin de fer « présentera au commerce un moyen de transport beaucoup plus prompt, plus sûr et

plus économique que tous ceux qui existent aujourd'hui », en particulier qu'un canal qui joindrait les deux villes¹⁹³. À cette époque, plusieurs écrits comparent chemin de fer et canal, comme le *Mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux de navigation* de l'ingénieur autrichien Franz Anton von Gerstner, paru en 1813 et traduit de l'allemand en 1827. Il est précédé d'une introduction historique de plus de 160 pages, sur les travaux anglais, américains et français sur les chemins de fer, écrite par l'ingénieur des ponts et chaussées Pierre-Simon Girard¹⁹⁴.

En 1831, une compagnie composée de Mellet, Henry, de Ruolz présentera à l'administration un projet de chemin de fer de Paris à Rouen à la mer, passant par Pontoise et Gisors¹⁹⁵. Le chemin de fer de Paris au Havre est un horizon pour plusieurs projets de chemins de fer élaborés dans les années suivantes. Il s'agit de chemins de fer plus courts, partant de la capitale, qui devraient pouvoir se prolonger vers la mer. Ce sera le cas du projet de chemin de fer de Paris à Saint-Germain, dans lequel s'engagent Clapeyron et Lamé en 1832, avec deux ingénieurs saint-simoniens.

Les saint-simoniens s'intéressent aux chemins de fer dès les années 1820. À la mort de Saint-Simon, en 1825, Prosper Enfantin « prend en main la succession du maître »¹⁹⁶. Il est entré en 1813 à l'École polytechnique, mais n'a pas poursuivi faute de bourse. Il voyage comme négociant et il rencontre les ingénieurs de l'Institut de Saint-Petersbourg lors d'un voyage en Russie. De retour en France, il travaille sur l'économie politique, il rencontre le banquier Jacques Laffitte ainsi que Claude-Henri de Saint-Simon, que lui présente le mathématicien Olinde Rodrigues. En 1825, Rodrigues, Enfantin et d'autres adeptes

191. [Clapeyron, 1858, 5].

192. [Villedieu, 1903, 99].

193. [Navier, 1826, 6].

194. [Gerstner, 1827].

195. [Mellet et Henry, 1836].

196. [Pinet, 1894, 77-78].

des idées de Saint-Simon créent¹⁹⁷ *Le producteur, journal de l'industrie, des sciences et des beaux-arts*, ou sont publiés en 1826, deux articles du juriste Jacques-Julien Dubochet sur « Les routes à ornières de fer, comparées avec les canaux et les routes ordinaires », d'après un écrit anglais paru à Édimbourg en 1825.

Enfantin organise des réunions chez lui à Paris, où il convie de jeunes polytechniciens qui s'engageront dans les chemins de fer, comme Mellet et les ingénieurs des Mines Henri Fournel et Michel Chevalier¹⁹⁸. Fournel écrit avec le polytechnicien Hippolyte Margerin en 1829 un mémoire sur « l'influence du chemin de fer de Gray à Saint-Dizier sur les usines et les forêts de la Champagne et de la Lorraine »¹⁹⁹. Chevalier est élève de l'École polytechnique en 1823 et de l'École des Mines en 1829. À partir de décembre 1830, il devient le directeur du journal *Le Globe*, devenu « l'organe de la doctrine de Saint-Simon » jusqu'à son arrêt en avril 1832. Une véritable campagne en faveur des chemins de fer s'engage dans *Le Globe*. Le premier « article de fond » sur les chemins de fer paraît en décembre 1831, dont Chevalier est supposé l'auteur²⁰⁰. Il y propose de construire une « ligne immense » qui relierait toutes les capitales de l'Europe, partant de Cadix et aboutissant à Saint-Petersbourg.

Chevalier, suivant les traces d'Enfantin, s'efforcera d'enrôler les ingénieurs des Mines dans l'entreprise industrielle, comme il l'écrira en 1833 à Frédéric Le Play²⁰¹ :

Le corps des Mines a fait jusqu'ici de la science [...]; il faut qu'il sente la fièvre

industrielle qui s'empare aujourd'hui de la société toute entière, et qu'il entreprenne d'être au premier rang de ce flux extraordinaire.

Le fait que les polytechniciens fassent « corps » intéresse les saint-simoniens, à la recherche d'un réseau d'ingénieurs prêts à s'engager dans des entreprises industrielles²⁰². De fait, pour les premiers projets de chemins de fer, il fallait mener des études que l'État ne finançait pas, puis devenir concessionnaire. Ce furent plutôt des ingénieurs des Mines qui se lancèrent, tandis que les ingénieurs des ponts et chaussées établirent des études de projets, surtout après que l'État eut voté un financement de 500 000 fr à cet effet en 1833 (lettre du 8 avril 1833).

De l'Association polytechnique à l'affaire de Saint-Germain

L'Association polytechnique a été créée en 1830, en particulier par Auguste Comte alors répétiteur à l'École²⁰³, pour contribuer à la formation des ouvriers mais aussi comme une « forme d'amicale des anciens de polytechnique »²⁰⁴. Revenus en France, Lamé et Clapeyron fréquentent cette Association, où ils retrouvent le « corps » dont ils sont issus. En 1832, l'Association contient environ 450 membres, elle se réorganise en s'appuyant sur un nouveau règlement. Le compte rendu trimestriel des travaux, publié en juillet 1832, indique²⁰⁵ :

197. [Ansart, 2004, 10-104].

198 [Pinet, 1894, 77-78]

199. [Villedieu, 1903, 101].

200. [Wallon, 1908, 35].

201. [Picon, 1999, 4].

202. [Barbin, 2021].

203. [Conseil de l'Association polytechnique, 1880, 17], [Vatin, 2007a].

204. [Vatin, 2007b], [Buisson, 1887, 132-133].

205. [Association polytechnique, 1832, 4].

Rapprocher les anciens élèves et leur fournir les moyens de s'entraider, répandre parmi les classes laborieuses les premiers éléments des sciences positives, surtout dans leur partie applicable, s'occuper enfin des sciences et des arts qui peuvent intéresser des hommes nourris d'une instruction commune : tel est son but spécial, bien défini par le nouveau règlement.

Il s'ouvre avec une « Notice sur l'avantage des chemins de fer comparés aux autres voies de communication artificielle », lue lors de la séance du 16 mai 1832 de l'Association par Auguste Perdonnet, un des secrétaires de l'Association. Ce proche des saint-simoniens est entré à l'École polytechnique en 1821, d'où il a été renvoyé l'année suivante à cause de ses activités politiques. Il a été admis cependant à poursuivre ses études à l'École des Mines. Il a écrit en 1829 avec l'ingénieur des Mines Pierre-Léon Coste un important mémoire dans les *Annales des Mines*, intitulé « Sur les chemins à ornières »²⁰⁶, c'est-à-dire sur les chemins de fer. Dans sa « Notice » de 1832, il considère qu'aucune question industrielle, « ne mérite davantage l'attention d'une société d'anciens élèves de l'École polytechnique »²⁰⁷ que celle des chemins de fer et il mentionne un « mémoire remarquable » de Clapeyron et Lamé²⁰⁸ :

Mais la question des chemins de fer, considérés sous le point de vue militaire, a été traitée par deux de nos camarades, MM. Lamé et Clapeyron, dans un mémoire fort remarquable, de la lecture duquel j'espère qu'ils voudront bien nous faire jouir. Je me garderais de leur emprunter des idées que je ne pourrais que défigurer.

Un extrait de ce mémoire, intitulé « Mémoire sur les chemins de fer considérés sous le point de vue de la défense du territoire », occupe une quinzaine de pages à la fin des « Notices ». Il a été lu par les deux polytechniciens à la séance du 20 juin 1832.

Pourquoi le binôme a-t-il choisi d'aborder la défense du territoire dans ce mémoire ? Pour tenter de répondre à cette question, nous rapprochons leur texte de quatre articles sur « Le Système de la Méditerranée », publiés par Chevalier du 20 janvier au 12 février 1832. Son propos vise la réconciliation de l'Orient et de l'Occident, suivant ainsi les idées de Saint-Simon, et, plus largement, l'unité de la race humaine, une « association » dans le respect de la culture des autres. Pour construire le « Système de la Méditerranée », il compte sur des inventions, telles que les chemins de fer, et sur les progrès industriels réalisés en Europe. Les chemins de fer acquièrent ainsi une haute valeur pacifiste et même religieuse²⁰⁹. Dans les articles suivants, il associe la politique industrielle et le « Système de la Méditerranée ». Dans celui du 8 mars 1832, consacré à « l'organisation industrielle de l'armée », il soutient que « lorsque l'industrie est le fait politique, il devient naturel de faire pour elle plus qu'on n'a jamais fait pour le service de l'armée »²¹⁰ et que le premier élément du « Système » est un réseau de chemins de fer. Le 30 mars 1832, il lance un appel²¹¹ :

En vertu de la mission que j'ai reçue avec Henri Fournel et Stéphane Flachet de notre Père Suprême Enfantin, je fais aujourd'hui, en mon nom et au leur, un appel aux ingénieurs, aux entrepreneurs d'industrie, aux commerçants et aux agriculteurs, afin qu'ils m'adressent tous les

206. [Perdonnet et Coste, 1829].

207. [Perdonnet, 1832, 10].

208. [Perdonnet, 1832, 30].

209. [Debrune, 2001].

210. [Chevalier, 1832, 10].

211. [Chevalier, 1832, 35].

documents qui nous sont nécessaires pour tracer le plan d'ensemble des travaux à exécuter et des établissements industriels à fonder en France, et pour mettre ce plan en harmonie avec le plan général de l'œuvre méditerranéenne.

Dans leur mémoire, Lamé et Clapeyron citent le chemin de fer de Liverpool à Manchester, visité par Lamé en 1830, et vantent la vitesse des « railways ». Pour la défense du territoire, ils promeuvent la construction de « deux séries de railways » en France : « les uns convergent de l'intérieur du pays vers les villes principales, ce sont les railways du centre ; les autres sont parallèles aux frontières, ce sont les railways de la circonférence »²¹². Ils répondent donc à l'appel industriel de Chevalier, mais les « railways parallèles aux frontières » ne semblent pas s'accorder avec ses idées pacifistes. Fournel, dans *Du chemin de fer du Havre à Marseille* de 1833, répond aux idées de son ami saint-simonien avec un projet industriel ambitieux, car « il faut avoir constamment devant les yeux les lignes qui devront être rattachées à celle-là, et en particulier la ligne si longtemps désirée entre Le Havre et Strasbourg »²¹³.

L'historiographie associe souvent le projet du chemin de fer de Paris à Saint-Germain à la « date mémorable »²¹⁴ du 17 juillet 1832 :

Ce jour-là, se retrouvèrent dans le jardin de Ménilmontant Stéphane Flachet et son frère Eugène Flachet, Émile Pereire, Lamé et Clapeyron. Eugène Flachet ayant connu Lamé et Clapeyron à Saint-Petersbourg, les présenta à son frère et à Émile Pereire. Des rapports de plus en plus intimes ne tardèrent pas à s'établir [...] Bientôt après ils préparaient, avec le

concours d'Émile Pereire, le projet d'un chemin de fer de Paris à Saint-Germain.

Le lieu de la rencontre entre les quatre ingénieurs est donc le jardin de Prosper Enfantin, mais le projet n'est pas proprement saint-simonien²¹⁵. Nous avons vu que, en 1826, Navier, se prononce en faveur d'un chemin de fer de Paris à Rouen plutôt que d'un canal, et, au début des années 1830, sa proposition est suivie de plusieurs projets de chemins plus courts partant de Paris, qui en seraient des amorces, tandis que les saint-simoniens se lancent dans des projets plus vastes. La rencontre a lieu un mois après la présentation par le binôme de leur mémoire sur les chemins de fer à l'Association polytechnique.

Stéphane (Mony) Flachet est né à Paris en 1800, sa mère se remarie en 1801 à Christophe Flachet, avec lequel elle a deux fils, Adolphe, né en 1801 et Eugène, né en 1802. Stéphane travaille depuis 1825 sur le projet d'un canal maritime et rédige en 1829 *Du canal maritime de Rouen à Paris et des perfectionnements de la navigation intérieure* pour la Compagnie concessionnaire du canal maritime. Eugène, son cadet, a fait ses études au lycée Bonaparte à Paris et il a participé aux études de Stéphane pour le canal. Lors d'un voyage en Angleterre, il aurait rencontré l'ingénieur anglais George Stephenson, constructeur en 1829 de la locomotive qui reliera Liverpool à Manchester. Il aurait aussi voyagé en Russie et rencontré Lamé et Clapeyron. Au début des années 1830, Stéphane s'est rallié à Enfantin et, parmi les quatre ingénieurs, il est sans doute le plus proche des saint-simoniens.

Émile Pereire, né en 1800 et neveu du banquier Isaac Rodrigues-Henriques, devient courtier d'affaires à Paris en 1822. Il fait la

212. [Lamé et Clapeyron, 1832, 40].

213. [Fournel, 1833, 13].

214. [Wallon, 1908, 56-57].

215. [Barbin, 2021b].

connaissance des saint-simoniens en 1829, par l'entremise de son cousin, Olinde Rodrigues. Avec son frère Isaac, il s'engage en faveur des travaux des voies de communication, en particulier des chemins de fer, dans plusieurs articles publiés dans *Le Globe* et dans *Le National*, quotidien créé en 1830 à l'initiative d'Adolphe Thiers. Dans un article du 21 février 1832, « Sur l'état des travaux publics », Isaac Pereire critique le comte d'Argout, ministre du Commerce et des Travaux publics, pour sa mauvaise gestion des projets de chemins de fer qui lui ont été soumis, ceux de Toulouse à Montauban ou de Paris à Pontoise²¹⁶. Six mois plus tard, son frère écrit²¹⁷ dans « Chemins de fer, canaux et routes », paru dans *Le National* du 12 septembre 1832 :

Le Moniteur annonce aujourd'hui que la sollicitude de l'administration est éveillée sur l'utilité des chemins de fer, sur la nécessité de terminer les canaux entrepris par le gouvernement et sur l'importance des routes de terre que la législation actuelle sur le roulage laisse détériorer. « Déjà, dit-il une commission d'ingénieurs a reçu la mission de préparer un plan d'études, pour arriver en peu de temps à la rédaction du projet général d'un système de chemins de fer, qui partant de la capitale aboutiraient à Rouen et au Havre, [etc.]. »

Il est fort heureux que ces messieurs du ministère se soient avisés de trouver, bonnes, utiles, nécessaires, les choses que l'opposition leur a conseillées de faire depuis deux ans. [...] Dans la grande question des communications par canaux, par chemins de fer et par route, comme dans celle sur la législation sur les grains, notre langage sera toujours conforme à nos principes : améliorer l'état du pays, améliorer la condition de tous les hommes qui

concourent à la formation des richesses sociales, telle est sous le rapport industriel, notre politique et nous n'y serons point infidèles.

Une réforme a eu lieu pendant la période qui sépare les parutions des articles des deux frères, qu'Émile approuve visiblement, car elle va dans le sens de « nos principes », c'est-à-dire ceux des saint-simoniens. En effet, une ordonnance du Roi de juin 1832 centralise les décisions²¹⁸ :

Le conseil général des ponts et chaussées donnera son avis sur toutes affaires qui seront renvoyées à son examen, par le directeur général de l'administration.

Il sera consulté sur tous les projets généraux de routes, de navigations naturelles ou artificielles ; de chemins de fer, de grands ponts sur les fleuves et rivières, d'établissements nouveaux dans les ports maritimes ; d'endiguement de rivières, de dessèchement de marais, de canaux d'irrigation.

L'ingénieur des ponts et chaussées Alexis Legrand²¹⁹ est chargé le 9 juin 1832 de l'administration des ponts et chaussées et des mines et il nommé directeur général des ponts et chaussées et des mines le 10 juin 1834. Pendant une quinzaine d'années, il donnera son avis sur les projets de travaux publics, et en particulier de chemins de fer, mais aussi sur les nouvelles dispositions législatives concernant ces chemins de fer.

Le chemin de fer de Paris à Saint-Germain est l'un des premiers que Legrand devra traiter, avec ses nouveautés, car ce chemin de fer est urbain et destiné aux voyageurs, et ses difficultés techniques et administratives. Cet

216. [Pereire, 1920, 4-6].

217. [Pereire, 1920, 8].

218. [*Annales des ponts et chaussées, Mémoires et documents*, 1, 1832, 208].

219. [Ravinet, 1836, 245, 813].

homme décidé et rigoureux va travailler avec Émile Pereire, qui dépose les plans et les projets le 7 septembre 1832 à la direction des ponts et chaussées. Au début, les affaires ne traînent pas²²⁰ : mise aux enquêtes les 25 et 26 septembre par les préfets de la Seine et de Seine-et-Oise, approbation de ces préfets les 6 et 19 février puis approbation du conseil général des ponts et chaussées le 11 mars 1833. Mais le cahier des charges ne sera signé que le 20 mars 1835 et le projet de loi sera voté le 6 juin 1835. La lecture des lettres de Clapeyron, du 27 janvier 1833 au 9 juin 1835, permettent de suivre les arcanes politiques, législatives et financières pendant une période de deux ans, durant laquelle Legrand et Pereire affrontent ensemble les obstacles. Le résultat de leur collaboration est important car il débouche sur un « modèle » pour les autres projets autour de Paris du point de vue des dispositions financières et législatives²²¹.

Les ouvrages sur les travaux publics et sur les écoles

Deux ouvrages paraissent en 1832 et 1833, le premier sur les travaux publics, signé par Lamé, Clapeyron, Stéphane et Eugène Flachet (dans cet ordre), et le second sur les écoles, signé seulement par Lamé et Clapeyron. La part prise par Lamé au premier et surtout au second ouvrage semble importante selon une lettre de Clapeyron (lettre du 3 mars 1833). Ce qui est à prendre en compte dans l'hypothèse, présente dans l'historiographie, où ces ouvrages seraient d'obédience saint-simonienne. Nous les situerons dans le contexte des articles parus dans *Le Globe*, entre novembre 1830 et juin 1831, attribués à Enfantin.

Les vues politiques et pratiques sur les travaux publics

Dans l'avant-propos, les quatre ingénieurs se présentent comme une « association » : le mot « association » est très présent dans « l'économie politique » exposée par Enfantin dans *Le Globe* du 21 décembre 1830, la société devant être pour lui une « véritable association »²²². Leur association est formée pour étudier des questions commerciales, financières et politiques, dans le but de développer les travaux publics²²³ :

Forts surtout de notre bonne foi, et d'un ardent désir de gloire et de prospérité, pour le pays, nous nous associons pour étudier ensemble, et avec tous ceux aussi qui voudront coopérer à notre œuvre, toute question importante en matière de commerce, d'industrie, de finances et de travaux publics ; nous nous associons pour donner notre opinion sur ces questions ; ne nous dissimulant pas d'ailleurs toute la difficulté de la tâche que nous entreprenons, puisque ces questions deviennent aujourd'hui les véritables questions politiques. [...]

Notre association s'occupera plus spécialement d'ailleurs de travaux publics, soit parce que nous y sommes conduits par toutes nos études antécédentes, soit parce que nous pensons que c'est par un grand développement de travaux publics que l'on pourrait porter un premier et puissant remède à la misère de l'ouvrier, aux faillites du fabricant, et qu'il n'est pas aujourd'hui de fait politique digne d'une plus sérieuse méditation que la misère et la faillite en présence l'une de l'autre dans les ateliers.

220. [Compagnie du chemin de fer de Paris à Saint-Germain, 1835, 4-6].

221. [Pereire, 1920, 165].

222. [Enfantin, 1831, 39].

223. [Lamé *et al.*, 1832, 11-12].

Selon eux, les faits, le raisonnement et l'expérience de l'Angleterre montrent « l'inutilité, l'impuissance et l'immoralité de la concurrence absolue en matière de travaux publics »²²⁴. En particulier, la mise en adjudication paralyse leurs développements. L'un des buts principaux de l'association est donc « de servir d'auxiliaire à l'administration des ponts et chaussées », et de faire vis-à-vis du public et dans l'intérêt d'une bonne direction des travaux publics, ce que ses attributions ne lui permettent pas de faire. Il s'agirait de constituer un « jury industriel » qui traiterait toute question industrielle en donnant une « utile et sage direction ».

Pour juger une entreprise particulière de travaux publics, il faut établir beaucoup de comptes et disposer de nombreux documents. Dans ce cas, « l'association » se présente alors comme une sorte de ce que nous appelons aujourd'hui un « bureau d'études »²²⁵:

- 1° De donner notre opinion motivée sur l'utilité, comme entreprise et comme spéculation, de tout projet de travail public proposé.
- 2° De provoquer l'examen et l'étude des travaux qui nous paraîtraient utiles.
- 3° De faire nous-mêmes ces études pour les compagnies qui nous en feraient la demande, ou même à nos frais.
- 4° De donner notre opinion, ou de provoquer l'attention du public sur toute question grave en matière d'industrie, de commerce et de finances.

Les principales questions traitées par l'association concernent la direction globale des travaux publics et celle de leurs financements. Les auteurs conçoivent trois systèmes pour l'exécution des travaux publics²²⁶ : 1) le

gouvernement se charge seul de l'exécution au moyen de fonds obtenus par impôts ou par emprunt ; 2) l'exécution est entièrement laissée à la spéculation des compagnies – elles déterminent les travaux desquels elles peuvent espérer des produits suffisants pour la dépense évaluée par leurs soins, recueillent les fonds, elles dirigent la construction, surveillent l'entretien, pourvoient aux améliorations – ; 3) l'exécution est confiée à des compagnies, avec subvention et surveillance du gouvernement – elles exécutent des cahiers de charges consentis par elles, se soumettent à certaines conditions pour l'entretien, les améliorations, les réductions de tarifs, etc. Les quatre ingénieurs estiment que les deux premiers systèmes ne sont pas praticables. D'ailleurs, les travaux publics, auxquels le pays doit la plus forte part de ses progrès industriels, agricoles, commerciaux, le vaste réseau des routes royales et les canaux n'auraient pas été établis si l'on eût dû attendre que des particuliers en fissent l'objet d'une spéculation privée. Ils concluent²²⁷ :

Nous croyons que, plus que jamais, il est bon de devancer le moment où des routes, des canaux ou des chemins de fer pourraient devenir l'objet d'une spéculation privée, et d'établir ces chemins de fer, ces canaux, ces routes, non parce que l'on s'y trouverait comme forcé par un mouvement exubérant de transports et d'échanges, mais pour développer, pour créer même ces transports et ces échanges ; pour répartir plus également par tout le territoire les bienfaits des communications, du commerce, de la civilisation, pour mettre en valeur le sol tout entier avec toutes ses ressources.

Laissez faire, nous dit-on, laissez faire le temps, ce grand maître, amènera toutes ces améliorations sans secousses, sans

224. [Lamé et al., 1832, 21-22].

225. [Lamé et al., 1832, 23].

226. [Lamé et al., 1832, 236-237].

227. [Lamé et al., 1832, 238-239].

froissements; en voulant marcher plus vite que lui, vous risquez de consumer vos capitaux en travaux improductifs, ou du moins en travaux moins productifs que ne l'eussent été ceux de tous les particuliers, guidés par leur intérêt, des mains de qui vous les ôtez, et qui en eussent certainement tiré le meilleur parti.

Les ingénieurs s'opposent au « laissez faire » et prônent avec les saint-simoniens un État qui « n'a plus rien à voir avec celui de l'Ancien Régime et ne correspond pas non plus au modèle libéral d'abstentionnisme économique »²²⁸. L'économie politique doit se transformer en une politique industrielle, car, comme l'écrit Enfantin,²²⁹ dans *Le Globe* du 11 avril 1831 :

Que peut faire l'homme de génie, qui part de cet axiome : LAISSER FAIRE, LAISSER PASSER ? Que peut-il ordonner, commander, diriger ? [...] L'économie politique se transforme donc pour nous en politique industrielle, c'est-à-dire que cette science a pour objet de déterminer quelles sont les CONDITIONS SOCIALES au moyen desquelles les *instruments du travail*, les *produits du travail*, et les *travailleurs* eux-mêmes, seraient le mieux *combinés* et *divisés*, en un seul mot ORGANISÉS.

Dans le système proposé par l'association, pour offrir à l'État toutes les garanties nécessaires, les compagnies subventionnées pour des travaux publics devront se former en sociétés anonymes émettant leurs actions au porteur. De plus, toutes les actions des entreprises de travaux publiés bénéficieront de la solidité des fonds publics pendant tout le temps de la garantie convenue avec l'État.

Ainsi, dans l'immédiat, le système ne consiste pas seulement « à créer pour deux milliards de travaux publics ; mais encore à jeter dans la circulation ce capital de deux milliards, représenté par les actions de toutes les sociétés anonymes subventionnées par l'État »²³⁰. En prévoyant une période de dix ans pour accomplir ces travaux, les quatre ingénieurs calculent les sommes employées chaque année, l'intérêt et le capital garantis par l'État, le taux de la rente, etc. Ils rejoignent les préoccupations d'Enfantin et des saint-simoniens vis-à-vis de l'organisation des finances publiques et particulièrement du taux d'intérêt, qui est « au cœur des conflits sociaux »²³¹. En juin 1833, l'État votera un financement de 500 000 francs pour mener à bien des études sur les projets de chemin de fer (lettre du 19 janvier 1834).

Dans *On the economy of machinery and manufactures* de 1832, le mathématicien Charles Babbage examine des questions diverses sur la production de machines et le fonctionnement des manufactures, y compris les coalitions des ouvriers. Édouard Biot traduit l'ouvrage en 1833. Il est peu question des chemins de fer sauf pour rassurer ceux qui craignent que l'expansion de ces chemins laisse sans travail un grand nombre de chevaux. Pour lui, le nombre de chevaux employés pour le transport des voyageurs et des marchandises sur les chemins de fer sera plus grand que pour les chemins ordinaires. Il vante le système libéral de son pays : « un avantage inestimable laissé à chacun par notre gouvernement d'employer son capital, son travail, ses talents de la manière la plus productive pour ses intérêts : des canaux se creusent, des chemins de fer se construisent par des associations [...]. Cette réunion de circonstances diverses lui donne une telle

228. [Leclercq, 1987, 80].

229. [Enfantin, 1831, 114].

230. [Lamé et al., 1832, 291].

231. [Benausse, 2003].

supériorité, qu'on ne peut craindre à l'avenir aucune sorte de rivalité [...] »²³².

L'ouvrage sur les écoles, générale et spéciales

L'ouvrage de 1833, *Plan d'écoles, générale et spéciales*, signé par les seuls Lamé et Clapeyron, intervient alors qu'une nouvelle ordonnance, préparée suite à l'insurrection de 1832, est promulguée en octobre 1832 pour affermir la tutelle du ministère de la Guerre sur l'École polytechnique²³³. Le plan du binôme s'oppose à un repli de l'École polytechnique, il englobe les écoles générales et les écoles d'applications en vue de proposer des formations civiles et professionnelles favorables aux « progrès de l'industrie ». Ceci était un but assigné à l'École centrale des arts et manufactures, créée en 1829 à l'initiative d'Alphonse Lavallée, un homme d'affaires proche des saint-simoniens, associé au chimiste Jean-Baptiste Dumas, au mathématicien et polytechnicien Théodore Olivier et au physicien Eugène Péclet. Les quatre hommes ont pour devise : « La théorie doit éclairer la pratique avec autant de soin que la pratique doit vérifier la théorie »²³⁴. Mais le plan du binôme va au-delà des branches professionnelles visées par l'École centrale.

L'avant-propos du livre indique qu'il fait suite à celui de 1832, mais les frères Flachet n'y participent pas. Dans sa lettre du 3 mars 1833, Clapeyron semble découvrir le livre, nous laissant supposer qu'il n'a pas participé à sa rédaction. Cependant, comme en témoigne une longue note qui court sur quatre pages, il repose sur les expériences de Clapeyron et Lamé lors de leur enseignement à Saint-Petersbourg²³⁵ :

Deux d'entre nous ont passé plusieurs années au service d'une puissance étrangère ; ils étaient principalement chargés de professer dans une école destinée à former des ingénieurs [...]. Là ils ont suivi et dirigé le développement de l'intelligence de plus de six cent élèves, depuis leur introduction dans l'école jusqu'à leur sortie dans le corps des ingénieurs, qui y recrutait ses membres. Ils ont même eu l'occasion de suivre encore plus longtemps leurs travaux et leurs progrès, étant membres d'une commission chargée d'examiner les projets de construction qui arrivaient à l'administration de tous les points de l'empire.

L'organisation des écoles proposée par les deux ingénieurs est destinée à lutter contre les échecs et la concurrence, « en opposition directe avec le principe tant prôné par les économistes dont la formule est *laissez faire, laissez passer* »²³⁶. Comme dans le livre précédent, est affirmée « l'impuissance des doctrines du laissez faire », ici au moment où se pose la question de « l'éducation professionnelle des personnes appelées, par leur position et leurs moyens, à diriger l'élan industriel de la France »²³⁷.

Selon le binôme, l'école générale doit reprendre les finalités de l'École centrale post-révolutionnaire, devenue l'École polytechnique, et il l'appelle « École centrale ». Tandis que les écoles spéciales qui viennent à sa suite doivent former à des carrières qui ne sont pas visées jusque-là par les Écoles d'application, à savoir celles de l'agriculture, l'industrie manufacturière, le commerce et l'administration.

232. [Babbage, 1833, 487].

233. [Belhoste, 2003, 147-148].

234. [Comberousse, 1879, 10-16].

235. [Lamé et Clapeyron, 1833, 16-17].

236. [Lamé et Clapeyron, 1833, 25].

237. [Lamé et Clapeyron, 1833, 3].

L'ouvrage détaille les concours d'admission et les programmes des différentes écoles. Le programme de l'école centrale couvre trois années et se divise en cours théoriques et pratiques, en s'efforçant de « prouver la réalité de la formule : *les sciences ont une utilité industrielle* ». D'une part, les industriels agiraient plus sûrement et feraient plus de bénéfices en étant plus savants. D'autre part, les savants accompliraient plus de progrès utiles aux sciences et ils enseigneraient de manière plus profitable s'ils étaient plus industriels²³⁸.

Les buts et les programmes des différents domaines théoriques sont fournis, en commençant par les mathématiques, la mécanique rationnelle, la physique et la chimie. L'enseignement des mathématiques doit lier théorie et pratique, les raisonnements rigoureux doivent trouver leur bénéfice dans les applications²³⁹ :

L'étude première des sciences abstraites, dont les principes sont évidents, dont les conclusions sont rigoureuses et dépourvues de restrictions, peut seule donner au raisonnement toute la rectitude désirable. Appliqué plus tard aux autres sciences, il y apporte l'habitude acquise de fuir les principes vagues et les fausses conclusions.

En accord avec l'*Examen* de 1818 de Lamé (Partie I), l'enseignement des mathématiques doit présenter des « méthodes d'invention », indiquer l'utilité des théories et s'appuyer sur l'histoire des découvertes²⁴⁰ :

Un mode d'enseignement qui offrirait, à chaque nouveau pas que l'élève ferait dans la science, et l'histoire de la découverte du

point de la théorie qu'on lui expose, et son utilité médiate ou immédiate, n'aurait-il pas l'immense avantage d'être beaucoup plus efficace, de donner du charme à une étude difficile, et même d'en inspirer le goût ?

Les auteurs argumentent longuement en faveur de l'introduction dans les programmes de la physiologie, « science que notre siècle doit faire avancer », de l'économie politique, « seul chapitre de la physique sociale qui ait encore été étudié avec succès », de la législation et d'une « autre science toute nouvelle, presque inconnue, dont le besoin se fait sentir de plus en plus », qui est la statistique. En fait, cette science n'est pas nouvelle, mais elle l'est en tant qu'outil de décision et moyen de forger l'opinion publique²⁴¹. Elle ne sera enseignée qu'à partir des années 1850, alors que les probabilités sont enseignées²⁴² dès 1786 à l'École normale de l'an III. Lamé donnera un cours de probabilités à la Faculté des sciences de Paris à partir de 1850 (Épilogue) et il écrira alors que « les grandes découvertes les plus récentes des sciences exactes, les progrès réels qu'elles ont faits dans ce siècle se rapportent presque exclusivement à la physique mathématique, et au calcul des probabilités »²⁴³.

Le programme de « l'école centrale » comprend des cours et des exercices pratiques sur le dessin linéaire, des manipulations chimiques, des cours de pratique industrielle, des exercices militaires. L'école aura en son sein un jardin botanique, un bureau de statistique et un bureau d'administration, dans lesquels les élèves doivent travailler. Ceux-ci devront recueillir des statistiques, publier les résultats et les archiver. Ils tiendront la corres-

238. [Lamé et Clapeyron, 1833, 51-52].

239. [Lamé et Clapeyron, 1833, 53].

240. [Lamé et Clapeyron, 1833, 54-55].

241. [Barbin et Marec, 1987].

242. [Crépel, 1989], [Meusnier, 2004].

243. [Lamé, 1851, 6].

pondance et des livres dans les bureaux d'administration de leur école. Toutes ces dispositions permettront de lier les cours théoriques aux applications pratiques.

Lamé et Clapeyron louent « l'esprit de corps » entre les élèves de l'École polytechnique. Dans leur projet, il s'agirait, non pas de réprimer, mais de tolérer « l'esprit de corps et d'association » des élèves et « même de le régulariser ». Ces propos peuvent être rapprochés de ceux d'Enfantin dans *Le Globe* du 3 juin 1831 sur l'organisation des « collèges » : un « collège » est « la société toute entière en miniature, c'est l'association de la jeunesse sous la direction d'hommes aimants, savants et industrieux »²⁴⁴. Il écrivent²⁴⁵ :

Pourquoi les relations mutuelles des élèves, les conflits qui peuvent survenir au milieu d'eux, cette éducation de sociabilité et d'égalité quelquefois si nécessaire à leurs nouveaux camarades, la part d'action et d'influence, quelque faible qu'elle soit, qu'ils peuvent avoir sur les événements qui se passent en dehors de leur petite société, ne seraient-ils pas conduits, réglés et jugés, par des institutions dont la création leur appartiendrait, où le système d'élection aurait certainement la plus grande part, et qui leur donnerait l'idée, et en quelque sorte l'apprentissage du monde et du gouvernement extérieurs ? Nous sommes persuadés que la tolérance que les chefs de l'école centrale apporteraient dans ces occasions, donnerait plus de poids à leurs conseils et à leurs raisons, lorsqu'ils voudraient arrêter les abus de cet esprit de liberté.

Les élèves qui ne se destinent pas à une carrière militaire ou aux constructions navales, accéderont à quatre « écoles spéciales » :

l'école de l'agriculture, l'école de l'industrie placée dans le voisinage d'une ville manufacturière, l'école du commerce, située dans une maison de commerce et de banque établie à Paris mais avec des comptoirs portuaires, et l'école d'administration. Les élèves de cette dernière école auront une tribune dans chacune des chambres, des places réservées aux séances du Conseil d'État, des tribunaux et des conseils des ponts et chaussées et des mines²⁴⁶. L'idée de créer une école nationale d'administration ayant pour modèle l'École polytechnique afin de former la haute fonction publique est présente en 1800 dans les écrits du philosophe Antoine Destutt de Tracy²⁴⁷. Il est prévu que l'École des ponts et chaussées et l'École des Mines soient supprimées et que les ingénieurs soient recrutés à l'école de l'industrie.

Les travaux scientifiques et individuels de Clapeyron et Lamé

En 1832, Clapeyron et Lamé publient trois travaux individuels, dans le même esprit de généralisation que leurs recherches précédentes et dans la veine des méthodes utilisées par le binôme (Partie I). Nous analysons les principes utilisés dans le « Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur » de Clapeyron, présenté à l'Académie des sciences fin 1832, car ils sont souvent abordés dans les lettres de Clapeyron. Il y est question deux fois des travaux qui ont été commencés par Lamé en 1832 et qui aboutiront à son « Mémoire sur les lois de l'équilibre du fluide éthéré ». Le binôme scientifique a cessé en 1834, mais les deux grands « Mémoires » sont réunis dans le même numéro du *Journal de l'École polytechnique* de 1834.

244. [Enfantin, 1831, 159].

245. [Lamé et Clapeyron, 1833, 91-92].

246. [Lamé et Clapeyron, 1833, 133].

247. [Belhoste, 2003, 319].

La note de Clapeyron sur un théorème de mécanique

La « Note sur un théorème de mécanique » est publiée en 1833 dans les *Annales des Mines*. Clapeyron y explique qu'il est possible d'arriver d'une « manière fort simple » à des résultats de la théorie du mouvement des fluides, comme le théorème déduit du « principe de la conservation du centre de gravité » et appliqué aux « fluides abstraits » qui s'énonce²⁴⁸ :

Dans le mouvement permanent des fluides, la somme algébrique de toutes les forces qui agissent sur le système, parallèlement à une direction donnée, est égale à la quantité dont varie, dans une seconde, la somme des produits des masses par leurs vitesses estimées dans le même sens.

Adhémar Barré de Saint-Venant cite ce « théorème général » et il reprend la démonstration donnée par Clapeyron²⁴⁹ dans son mémoire « Résistance des fluides » qui sera publié en 1888. La « Note » contient plusieurs applications, dans l'étude du choc d'une veine fluide contre une surface plane perpendiculaire à sa direction ou encore dans le calcul de la réaction qu'exerce un fluide pesant qui s'échappe par un orifice vertical d'un vase qu'il remplit. Clapeyron calcule aussi la force vive dépensée en une seconde par un oiseau de poids p et dont la surface des ailes est s , il obtient :

$$\frac{mv^2}{2} = 61,45 \times p \sqrt{\frac{p}{s}}$$

avec m la masse d'air mise en mouvement dans une seconde et v la vitesse des ailes. Un homme de 100 kg muni d'ailes de 100 m² développerait par seconde l'équivalent d'une force de 2 à 3 chevaux vapeur.

Le mémoire sur la puissance motrice de la chaleur de Clapeyron

Clapeyron écrit un « Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur » pendant son séjour à Paris ; avec ses 40 pages il est alors le plus long qui soit signé de son seul nom. Il est présenté à l'Académie des sciences le 31 décembre 1832 et Arago, Poisson et Dulong sont chargés d'examiner un texte où, comme il est écrit dans le procès-verbal, Clapeyron « cherche à démontrer, par le raisonnement et le calcul, plusieurs lois relatives à la chaleur dégagée par les compressions et aux quantités relatives des chaleurs latentes des vapeurs »²⁵⁰. Le rapport des académiciens ne figure pas dans les procès-verbaux, mais Clapeyron et Lamé ont pu lire un court compte rendu de la séance du 31 décembre 1832, paru dans la rubrique « Physique mathématique » de la *Revue encyclopédique*²⁵¹ :

M. Clapeyron soumet au jugement de l'Académie un mémoire sur la puissance mécanique de la chaleur. Il énonce, dans les termes suivants, les résultats principaux auxquels il est arrivé.

1° Si l'on prend des volumes de différents corps solides, liquides ou gazeux à la même température, et calculés de façon que leur dilatation par la chaleur soit la même, la chaleur dégagée par des accroissements égaux de pression sera la même pour tous.

2° Le calorique latent contenu dans des volumes égaux de vapeur de différents liquides pris à la même température, et sous la pression correspondante, est proportionnel au coefficient différentiel de la pression par rapport à la température.

Ces résultats sont la conséquence de cette loi généralement admise, qu'il est impos-

248. [Clapeyron, 1833, 65].

249. [Saint-Venant, 1888, 24-28]

250. [Académie des sciences, 1922, t. X, 173].

251. [*Revue encyclopédique*, t. LVI, octobre-décembre 1832, 770].

sible de créer de la matière, de la chaleur ou du mouvement.

Clapeyron mentionne le mémoire 14 fois dans les lettres, depuis son arrivée à Saint-Étienne en janvier 1833 jusqu'à ce qu'il soit publié dans le *Journal de l'École polytechnique*, en août 1834. Il y exprime deux soucis, d'abord connaître la nature des objections adressées à son mémoire et, ensuite, trouver un journal pour sa parution. Il suppose que c'est son usage du principe des forces vives qui ne convient pas aux Académiciens. Le principe des forces vives est considéré par Lazare Carnot comme principe fondamental d'une théorie générale des machines en 1786 et employé par Petit pour calculer l'effet des machines en 1818. Clapeyron l'a utilisé dans ses mémoires de 1820 sur les bateaux à vapeur et les engrenages, et le binôme fondait ses enseignements sur ce principe de grande portée et sur celui des vitesses virtuelles à l'Institut de Saint-Petersbourg (Partie I).

De fait, le compte rendu oriente vers une autre objection, à savoir que les « résultats sont la conséquence de cette loi généralement admise sur l'impossibilité de créer de la matière, de la chaleur et du mouvement ». Ils seraient démontrés par l'impossible, à l'aide d'une prémisse d'une généralité telle qu'il ne semble pas envisageable d'en déduire les résultats indiqués.

Au début du mémoire, tel qu'il paraîtra en 1834, Clapeyron cite les travaux sur les gaz d'Edme Mariotte et de Joseph Louis Gay-Lussac, les expériences d'Arago et de Dulong et les recherches théoriques de Laplace et de Poisson, lesquelles « reposent sur des données hypothétiques qui paraissent contes-

tables »²⁵². Dans ses *Réflexions sur le phlogistique* de 1777, Antoine Lavoisier a expliqué que les molécules des corps ne se touchent point entre elles et que « plus les molécules sont écartées les unes des autres, [...] plus leur chaleur spécifique sera grande ». La chaleur spécifique d'un corps a été définie par Adair Crawford comme la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un corps d'un certain nombre de degrés²⁵³. En 1819, Dulong et Petit ont fait des expériences utilisant les lois du refroidissement pour fournir des chaleurs spécifiques de corps simples et énoncer une loi affirmant que tous leurs atomes ont la même capacité pour la chaleur²⁵⁴. Ces expériences fournissent les forces élastiques des vapeurs à différentes températures, mais selon le *Cours de physique* de Lamé édité en 1836, ce sont les expériences de Dulong et Arago sur les forces élastiques de la vapeur qui « méritent le plus de confiance »²⁵⁵.

Cependant, Clapeyron se réfère surtout à l'ouvrage de Sadi Carnot de 1824, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, et à ses démonstrations par l'absurde, dont il écrit²⁵⁶:

L'idée qui sert de base à ses recherches me paraît féconde et incontestable, ses démonstrations sont fondées sur l'absurdité qu'il y aurait à admettre la possibilité de créer de toutes pièces de la force motrice ou de la chaleur.

Sadi Carnot est né en 1796, trois avant Clapeyron, il est le fils de Lazare Carnot, auteur²⁵⁷ en 1786 d'un *Essai sur les machines en général* (Partie I). Il entre en 1812 à l'École

252. [Clapeyron, 1834, 154].

253. [Lavoisier, 1862, 640-644].

254. [Petit et Dulong, 1819, 403-405].

255. [Lamé, 1836, 434-437].

256. [Clapeyron, 1834, 154].

257. [Carnot, 1786].

polytechnique, où Petit et Dulong sont alors répétiteurs en physique et en chimie, il est admis à l'École d'application de l'artillerie et du génie de Metz en 1814, puis il devient lieutenant à l'État-major de Paris en 1819. Pendant que le binôme est en Russie, il fréquente le Conservatoire national des arts et métiers, où Nicolas Clément enseigne la chimie appliquée. Les travaux de Clément et de son beau-père le physicien Charles-Bernard Desormes sur les machines thermiques et le « perfectionnement des machines à feu agissant par l'air dilaté » ont eu un impact sur les travaux de Carnot²⁵⁸, qui les cite cinq fois dans son ouvrage de 1824. Bien qu'il se présente comme un « ancien élève de l'École polytechnique », il n'a pas le même parcours ni les mêmes réseaux que les ingénieurs des écoles d'application parisiennes. Mais, dès 1830, il est membre de l'Association polytechnique et son nom figure dans la liste des membres figurant au « Compte rendu trimestriel »²⁵⁹ de 1832. Il n'assiste pas à la réunion du 20 juin 1832, au cours de laquelle le binôme présente son écrit sur les chemins de fer, mais il est possible que Clapeyron ait lu les *Réflexions* grâce à l'Association.

L'ouvrage de Carnot a été présenté le 14 juin 1824 à l'Académie des sciences, et Pierre-Simon Girard en donne le 26 juillet 1824 un « compte verbal » qui n'est pas recueilli dans un procès-verbal²⁶⁰. Cependant, dans la *Revue encyclopédique* de 1824, Girard expose sur six colonnes les propos de Carnot sur les améliorations des machines à vapeur et sur les machines à double cylindre. Il donne aussi l'énoncé général sur le rétablissement de l'équilibre du calorique et la production de puissance motrice avant de citer quelques théorèmes car, comme il l'écrit, « nous ne suivrons point l'auteur dans les exemples et les explications qu'il donne de ces phénomènes »²⁶¹.

Il est possible que cet ingénieur civil n'était pas le mieux placé pour juger de l'approche théorique des machines par Carnot, alors que le 14 juin étaient présents Arago, Poisson et Dulong, qui seront chargés d'examiner dix ans plus tard le mémoire de Clapeyron. Carnot décède à Paris en août 1832 et son ouvrage semble peu connu en 1834.

Carnot appelle « puissance motrice » « l'effet utile qu'un moteur est capable de produire »²⁶². Ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu* ont pour but l'élaboration d'une théorie des « machines à feu » en général, les machines à vapeur aussi bien que les machines à air atmosphérique (lettre du 9 juin 1833), « indépendamment d'aucun mécanisme ». Il considère que la théorie des machines à feu est fort peu avancée et que « les essais d'amélioration tentés sur elles sont encore dirigées presque au hasard ». Son but est de pallier ces manques :

L'on a souvent agité la question de savoir si la puissance motrice de la chaleur est limitée, ou si elle est sans bornes ; si les perfectionnements possibles des machines à feu ont un terme assignable, terme que la nature des choses empêche de dépasser par quelque moyen que ce soit, ou si au contraire ces perfectionnements sont susceptibles d'une extension indéfinie. L'on a aussi cherché longtemps, et l'on cherche encore aujourd'hui, s'il n'existerait pas des agents préférables à la vapeur d'eau pour développer la vapeur motrice du feu ; si l'air atmosphérique, par exemple, ne présenterait pas, à cet égard, de grands avantages. Nous nous proposons de soumettre ici ces questions à un examen réfléchi. Le phénomène de la production du mouvement par la chaleur n'a pas été considéré sous un point de vue assez général.

258. [Fox, 1976, 159-164], [Redondi, 1980, 42-43].

259. [Association polytechnique, 1832].

260. [Académie des sciences, 1918, t. VIII, 101 et 118].

261. [*Revue encyclopédique*, juillet 1824, XXIII, 412].

262. [Carnot, 1824, 6-7].

Il explique que, dans toutes les machines à feu, « la puissance motrice est due à un rétablissement d'équilibre dans le calorique ». En effet, la chaleur ne peut causer un mouvement que grâce aux changements de volume ou de forme qu'elle fait subir aux corps et ces changements sont dus à des alternatives de chaleur et de froid. Mais pour chauffer une substance, il faut un corps plus chaud qu'elle, et pour la refroidir, un corps plus froid. « On prend nécessairement du calorique au premier de ces corps pour le transmettre au second par le moyen de la substance intermédiaire. C'est là rétablir, ou du moins travailler à rétablir, l'équilibre du calorique »²⁶³.

Carnot exhibe un moyen « de rompre l'équilibre du calorique autant de fois qu'on le voudra avec la même substance » en considérant deux corps *A* et *B* entretenus chacun à une température constante, celle de *A* étant plus élevée que celle de *B*. Pour donner naissance à de la puissance motrice par le transport d'une certaine quantité de chaleur du corps *A* au corps *B*, on procède à trois opérations : 1) on prend du calorique au corps *A* pour former de la vapeur qu'on suppose avoir la température *A* ; 2) on augmente le volume d'un cylindre dans lequel cette vapeur est reçue jusqu'à ce que sa température devienne *B* ; 3) on condense la vapeur en la mettant en contact avec le corps *B*. Ces trois opérations peuvent être « faites dans un sens et dans l'ordre inverse » : dans le premier ordre, « il y a à la fois production de puissance motrice et transport du calorique du corps *A* au corps *B* », mais dans l'ordre inverse, « il y a à la fois dépense de puissance motrice et retour du calorique du corps *B* au corps *A* »²⁶⁴.

Carnot soutient que ce moyen produit une quantité de puissance motrice maximum, car, « s'il était possible, par quelque méthode que ce fût, de faire produire au calorique

une quantité de puissance motrice plus grande que nous ne l'avons fait par notre première série d'opérations », cela reviendrait à admettre la possibilité d'un mouvement perpétuel ou encore « une création indéfinie de force motrice sans consommation ni de calorique ni de quelque autre agent que ce soit », ce qui est « inadmissible »²⁶⁵. Le recours à l'impossibilité d'une création d'une puissance motrice en quantité illimitée sert donc à affirmer le caractère général et extrême du dispositif de Carnot et à pouvoir échauffer à partir de là une théorie englobant toutes les machines à feu.

Une seconde « démonstration » est fournie avec « le cycle de Carnot ». Carnot considère un fluide élastique, par exemple de l'air atmosphérique, renfermé dans un cylindre *abcd*, muni d'un piston *cd*, et deux corps *A* et *B*, entretenus chacun à une température constante, celle de *A* étant plus élevée que celle de *B*. Puis il décrit six opérations, dont les quatre dernières se répètent, où comme précédemment le corps *A* puis le corps *B* sont mis en contact avec l'air renfermé. L'impossibilité de produire une quantité de puissance motrice plus grande que celle qui a été obtenue précédemment se démontre de la même façon, mais ici l'air est ramené, à la fin de chaque cycle d'opérations, à l'état où il se trouvait d'abord. Carnot précise que le raisonnement serait identique pour toute autre substance gazeuse, et même, pour tout autre corps susceptible de changer de température par des contractions et des dilatations successives. Il établit ainsi une « proposition générale »²⁶⁶ :

La puissance motrice de la chaleur est indépendante des agents mis en œuvre pour la réaliser ; sa quantité est fixée uniquement par les températures des corps

263. [Carnot, 1824, 14].

264. [Carnot, 1824, 19-20].

265. [Carnot, 1824, 21-22].

266. [Carnot, 1824, 38].

entre lesquels se fait en dernier résultat le transport du calorique.

Carnot en déduit de nombreux théorèmes qu'il confronte ensuite à des expériences rapportées et à des lois énoncées depuis les années 1810. Il termine son ouvrage avec les améliorations que l'on pourrait apporter aux machines à feu.

Au début du mémoire de 1834, Clapeyron cite trois théorèmes de Carnot valables « pour tous les gaz ». Le troisième est que « lorsqu'un gaz varie de volume sans changer de température, les quantités de chaleur absorbées ou dégagées par ce gaz sont en progression arithmétique, si les accroissements ou réductions de volume sont en progression géométrique ». Cet énoncé est typique du style de Carnot qui utilise un symbolisme et des équations seulement à partir de la page 63 et ne reformule le théorème qu'alors, à l'aide de la fonction *log*. Tandis que, dans un souci de généralisation, Clapeyron pratique avec Lamé la méthode analytique depuis les années 1820 (Partie I). Cela justifie qu'il doive « reprendre » la théorie de Carnot :

Je crois qu'il est de quelque intérêt de reprendre cette théorie : M. S. Carnot, évitant l'emploi de l'analyse mathématique, arrive par une série de raisonnements délicats et difficiles à saisir, à des résultats qui se déduisent sans peine d'une loi générale, que je vais chercher à établir²⁶⁷.

Il représente graphiquement le dispositif de Carnot en introduisant un repère où l'abscisse *AB* et l'ordonnée *CB* représentent respectivement le volume *v* et la pression *p* d'un gaz mis en contact avec le corps *A* et à la température *T*. Les quatre opérations sont figurées par quatre arcs de courbes. D'après la loi de Mariotte, *CE* et *KF* sont des arcs d'hyperbole

tandis que les arcs *CK* et *EF* correspondent à « une loi inconnue ». Clapeyron montre ainsi que l'aire de « l'espèce de parallélogramme curviligne *CEFK* représentera la quantité d'action développée dans le cercle d'opérations que nous venons de décrire »²⁶⁸.

Cycle de Carnot (ouvrage cité en note 266)

Cycle de Clapeyron (mémoire cité en note 267)

267. [Clapeyron, 1834, 155].

268. [Clapeyron, 1834, 158].

Il suppose ensuite que la différence des températures des corps *A* et *B* est une quantité infiniment petite *dt* et, alors, le quadrilatère *CEFK* est un parallélogramme. Les théorèmes de la théorie sont obtenus par le calcul différentiel, calcul que Carnot ne faisait qu'ébaucher en note des pages 75 à 77. Des historiens expliquent que le mémoire de Clapeyron a fait connaître l'ouvrage de Carnot à Rudolf Clausius et à Lord Kelvin, mais il a aussi permis de l'éclairer par les calculs analytiques.

Nous avons dit que Clapeyron pense que les objections faites à son mémoire de 1832 par les académiciens concernent son usage du « principe des forces vives ». Il n'est pas certain que ce mémoire soit identique à celui qui est paru en 1834, en particulier nous savons que Lamé a vérifié les calculs (lettre du 5 mai 1833) et il a donc pu suggérer des modifications avant de discuter de sa publication avec Dulong (lettres du premier trimestre 1834). Le terme « force vive » figure cinq fois dans le mémoire de 1834. La première fois, Clapeyron écrit qu'il y a « perte de force vive, de force mécanique ou de quantité d'action [...] dans tout appareil destiné à réaliser la force motrice que développe la chaleur »²⁶⁹. Il l'utilise une seconde fois dans la démonstration par l'absurde du maximum, quand il explique que l'impossibilité de créer de manière indéfinie de la force ou de la chaleur peut être acceptée comme un « axiome fondamental de la mécanique ». Pour lui, la démonstration par les poulies que Lagrange donne du principe des vitesses virtuelles repose sur quelque chose d'analogue. La notion de force vive intervient ensuite dans l'énoncé des principes que Clapeyron admet comme « base de nos recherches »²⁷⁰:

Le calorique en passant d'un corps, à un autre entre tenu à une température moindre, peut donner lieu à la production d'une certaine quantité d'action méca-

nique ; il y a perte de force vive toutes les fois qu'il y a contact entre corps de température différente. L'effet produit *maximum* a lieu lorsque le passage du calorique du corps chaud au corps froid se fait par l'un des moyens que nous venons de décrire. Nous ajouterons qu'il se trouve être indépendant de la nature chimique du liquide ou du gaz employé, de sa quantité et de sa pression ; en sorte que la quantité d'action maximum que peut développer le passage d'une quantité déterminée de chaleur d'un corps chaud à un corps froid, est indépendante de la nature des agents qui servent à la réaliser.

La considération de la « perte de force vive » autorise donc à admettre l'indépendance vis-à-vis du gaz employé et, en même temps, l'atteinte d'un maximum.

Clapeyron écrira à son ami que Poisson et Dulong ne « comprennent pas assez le principe des forces vives » pour concevoir l'usage qu'il en fait, et qu'Arago ne le « comprend guère » (lettres du 1^{er} avril et du 8 avril 1833). Poisson introduit les forces vives dans le tome II sur la dynamique²⁷¹ du *Traité de mécanique* de 1811 :

Lorsqu'on veut évaluer l'effet d'une machine, ou comparer entre eux les effets que l'on peut attendre de différentes machines, on a besoin de considérer le produit de la masse, multipliée par les carrés de la vitesse. Ce produit est ce qu'on appelle une force vive. C'est une règle générale que toutes les fois que le mouvement d'un système de corps éprouve un changement brusque, il en résulte une diminution dans la somme des forces vives de tous ces corps.

269. [Clapeyron, 1834, 156].

270. [Clapeyron, 1834, 163].

271. [Poisson, 1811, t. II, 212-213].

Il énonce ensuite un « principe général de la conservation des forces vives » en considérant, à un instant donné, la somme des forces vives mv^2 d'un système de corps soumis à des attractions dirigées vers des centres fixes, les points du système étant assujettis à se mouvoir sur des courbes ou des surfaces fixes et données. Il écrit²⁷² :

L'accroissement ou la diminution de la somme des forces vives, en passant d'une position à une autre, ne dépendra nullement des courbes décrites par les mobiles ; cet accroissement sera nul, et la somme des forces vives reviendra la même, toutes les fois que le système reviendra à la même position ; enfin cette somme se conservera constamment la même, lorsque les mobiles ne seront sollicités par aucune force accélératrice.

Le principe autorise donc à admettre une indépendance du changement de la somme des forces vives vis-à-vis de la diversité des courbes décrites.

L'usage du principe chez Clapeyron est plus proche de celui qu'en fait Petit en 1818 dans son mémoire « Sur l'emploi des forces vives dans le calcul de l'effet des machines », quand il calcule la force vive dans un mouvement d'élévation d'une masse (Partie I). Cet usage reformule ce qui se présente comme une analogie chez Carnot. En effet, celui-ci n'utilise pas la notion de force vive, mais il compare la puissance motrice de la chaleur à celle d'une chute d'eau, pour expliquer qu'elles ont toutes les deux un maximum que l'on ne peut pas dépasser. Car, tout comme la puissance motrice d'une chute d'eau dépend de sa hauteur et de la quantité du liquide, la

puissance motrice de la chaleur dépend de la quantité de calorique employé, c'est-à-dire de la différence de température des corps entre lesquels se fait l'échange du calorique²⁷³.

Les recherches préparatoires de Lamé sur les surfaces isothermes

Lamé a entrepris en 1832 les recherches qui aboutiront à son important « Mémoire sur les lois de l'équilibre du fluide étheré », paru en 1834 dans le *Journal de l'École polytechnique*. Le terme d'éther est utilisé par Fresnel en 1822 dans « De la lumière »²⁷⁴, où il donne les propriétés du fluide nommé éther dans lequel se propagent les ondes lumineuses, et par Cauchy en 1830 dans le « Mémoire sur la théorie de la lumière »²⁷⁵, où il présente ses propres conceptions de l'éther.

Lamé présente le 13 mai 1833 à l'Académie des sciences un mémoire sur les « Surfaces isothermes dans les corps solides » et Poisson, Gaspard de Prony et Guillaume Libri sont chargés de l'examiner²⁷⁶. Poisson lit le rapport le 24 juin 1833, avec un historique du problème citant le *Pyromètre* de Lambert et les *Recherches du flux et du reflux des marées de la mer* de Laplace. Il énonce les lois obtenues par Lamé sur les températures à l'intérieur d'un ellipsoïde de révolution et d'un corps limité par deux surfaces elliptiques homofocales et isothermes, puis les généralisations à d'autres solides. Il conclut que « Nous pensons que le Mémoire de M. Lamé est très digne de l'approbation de l'Académie, et nous proposons d'arrêter qu'il sera imprimé dans le recueil des Savants étrangers actuellement sous presse »²⁷⁷.

Ce premier mémoire sera suivi, le 28 avril 1834, par un texte lu par Lamé à l'Académie

272. [Poisson, 1811, t. II, 293].

273. [Carnot, 1834, 28].

274. [Fresnel, 1822].

275. [Cauchy, 1830].

276. [Académie des sciences, 1922, t. X, 265].

277. [Académie des sciences, 1922, t. X, 306].

des sciences sur « les mouvements vibratoires du fluide étheré sans changement de densité »²⁷⁸. Poisson, Dulong et Arago, ceux-là même qui ont examiné le mémoire sur la chaleur de Clapeyron, sont chargés d'examiner ce travail. Puis, le 22 septembre 1834, Lamé présentera un mémoire sur les « Mouvements vibratoires lumineux des particules pondérables dans les milieux diaphanes »²⁷⁹, devant les mêmes examinateurs.

En 1832, Clapeyron et Lamé ont entamé chacun des recherches qui les rendront célèbres et, en janvier 1833, ils se trouvent éloignés l'un de l'autre. La correspondance montre comment, au long de la période de séparation, leurs préoccupations divergent et leurs rapports se tendent. Après 1835, le binôme formé en 1823 ne se reconstruira pas.

278. [Académie des sciences, 1922, t. X, 510].

279. [Académie des sciences, 1922, t. X, 579].