



Bulletin de la Sabix

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

44 | 2009

Gabriel Lamé (1795-1870) : Les pérégrinations d'un ingénieur au XIX^e siècle

Le cours de physique de Lamé à l'École polytechnique

Robert Locqueneux



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/sabix/634>

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 octobre 2009

Pagination : 79 – 86

ISBN : ISSN N° 2114-2130

ISSN : 0989-30-59

Référence électronique

Robert Locqueneux, « Le cours de physique de Lamé à l'École polytechnique », *Bulletin de la Sabix* [En ligne], 44 | 2009, mis en ligne le 21 mai 2011, consulté le 03 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/sabix/634>

Ce document a été généré automatiquement le 3 mai 2019.

© SABIX

Le cours de physique de Lamé à l'École polytechnique

Robert Locqueneux

Introduction

- 1 En 1832, Lamé succède à Despretz à l'École polytechnique, ce dernier n'y est resté qu'une seule année, Lamé conservera cette place jusqu'en 1844. Lamé publie la première édition de son *Cours de physique de l'École polytechnique* en 1836 ; cette année là, Despretz publie la quatrième édition de son *Traité élémentaire de physique* destiné aux établissements de l'Université. Ces deux ouvrages présentent l'état de la physique contemporaine, il apparaît qu'ici ou là, leurs positions sur quelques théories peuvent être différentes. Le cours de Lamé et celui de Despretz pour les collèges royaux donnent l'un et l'autre un tableau complet de l'enseignement de la physique expérimentale en France.

Un cours qui s'inscrit dans une tradition

- 2 Au siècle des Lumières, la physique est la science de la nature. Dans son « Discours sur la physique expérimentale¹ », publié en 1753, l'abbé Nollet confond lui aussi la physique et les sciences de la nature et ne distingue la physique de l'histoire naturelle non par leurs objets respectifs mais par le point de vue que l'on porte sur eux : la physique entreprend de nous dévoiler le mécanisme de la nature, l'histoire naturelle nous offre l'inventaire de ses richesses.
- 3 Dans son *Traité élémentaire de physique*, publié en 1803, l'abbé Haüy considère que l'ensemble de nos connaissances sur les corps naturels et les phénomènes qu'ils présentent compose une seule et même science que nous avons divisée en trois parties auxquelles on a donné les noms de physique, de chimie et d'histoire naturelle. Il définit ensuite les domaines de chacune d'elles et met en évidence de quelle manière elles empiètent les unes sur les autres.

Si nous considérons dans les corps des propriétés générales et permanentes, ou si les changements que subissent ces corps sont passagers, en sorte que la cause qui les a produits n'ait besoin que de disparaître, pour que les corps retournent à leur premier état ; si, de plus, les lois qui déterminent les actions réciproques des mêmes corps se propagent à des distances plus ou moins considérables, les résultats de nos observations restent dans le domaine de la physique. Mais lorsque les phénomènes dépendent d'une action intime que les molécules des corps exercent les unes sur les autres, à des distances presque infiniment petites, et en vertu de laquelle ces molécules se séparent, pour se réunir ensuite dans un ordre différent, et amener de nouvelles combinaisons ou de nouvelles propriétés, l'étude des phénomènes appartient à la chimie [...]².

- 4 Le *Cours de physique* de Lamé appartient à cette longue tradition ; il commence de la même manière. Dans ce Cours, Lamé donne, d'entrée, une définition générale de la physique : « la physique, considérée sous un point de vue général, embrasse l'étude de la nature entière³ », il en limite ensuite l'objet en en excluant l'étude des corps organisés « qui restera presque réduite aux travaux de description et de classification tant que les lois de la physique inorganique ne seront pas complètement connues ». Aussi Lamé réduit-il la physique générale « à l'étude des phénomènes indépendants du principe de la vie ». Lamé motive ce partage par « la lenteur inévitable des progrès de la physique organique ». Autre soustraction à la physique générale : l'astronomie pour le motif inverse, sa marche rapide. Dans l'un et l'autre cas les distinctions entre les différentes branches de la science sont faites sur des critères de l'avancement des connaissances. Lamé subdivise ensuite « la physique générale [...] réduite à l'étude des phénomènes inorganiques et terrestres » en trois parties : la géologie, qui inclut la minéralogie, la chimie et la physique proprement dite qui « considère spécialement les propriétés générales des corps, et les phénomènes qui, n'entraînant pas de changements permanents dans leur composition intime, paraissent dépendre de plusieurs agents universels, dont il faut rechercher les lois et la définition ». Ainsi, chez Lamé, est-ce l'inégalité des progrès dans la connaissance des lois qui régissent les phénomènes de la nature qui est le critère du partage de la science de la nature en différentes branches.
- 5 Mais ce partage a ses limites. Haüy considère qu'il « arrive souvent que plusieurs sciences se rencontrent auprès d'une même vérité, en sorte qu'il n'y en ait aucune qui ne tiennent aux autres par des points de contact plus ou moins nombreux⁴ ». Haüy prend l'exemple suivant : « les découvertes modernes sur les propriétés des gaz et du calorique ne permettent plus à la physique de s'isoler de la chimie, lorsqu'il s'agit des phénomènes dont l'explication appartient à la théorie de l'air ou de la chaleur ; et ici le vrai physicien est celui qui parle le langage du chimiste ». Nous retrouvons la même attitude sur les points de contact des différentes branches des sciences de la nature chez Lamé et jusqu'au choix d'un même exemple :

Les progrès que toutes ces sciences [la physique proprement dite, la géologie et la chimie] font séparément, vers le but partiel et défini que chacune d'elles se propose, conduiront tôt ou tard à la nécessité de les réunir de nouveau, pour réformer en quelque sorte la science générale de la Nature. Déjà plusieurs d'entre elles travaillent pour ainsi dire sur le même terrain ; leurs points de contact et de fusion se multiplient tous les jours, et il devient de plus en plus difficile d'établir entre elles des lignes de démarcation bien déterminées qu'elles ne puissent franchir.

La physique et la chimie présentent surtout cette difficulté. Longtemps la première de ces sciences a semblé ne devoir s'occuper que d'actions exercées à des distances sensibles, et la seconde, de celles qui ne se manifestent qu'au contact, ou à des distances inappréciables. Mais cette distinction ne peut plus être adoptée, aujourd'hui que l'étude des phénomènes capillaires est placée dans le domaine de la physique, et qu'il est reconnu que le frottement, le contact et les combinaisons chimiques, donnent lieu à des développements d'électricité, de chaleur et de lumière, dont on ne peut se dispenser d'étudier les lois pour connaître complètement le rôle de ces agents dans les phénomènes naturels⁵.

- 6 Au temps où il enseigne la physique à l'École polytechnique, Lamé estime que la physique a fait sa provision de phénomènes et que ceux-ci sont maintenant rangés dans différentes classes : « Il ne s'agit plus seulement [...] de découvrir, d'étudier ou de classer des faits particuliers, de rechercher les lois empiriques qui permettent de les distribuer en groupes moins nombreux. Il faut maintenant découvrir les lois réelles qui régissent les phénomènes, et ensuite la cause unique ou la loi générale qui peut les embrasser toutes ». Pour Lamé, la physique, limitée à l'étude des corps inorganisés, embrasse les phénomènes dont la cause est la pesanteur universelle, ou l'action à distance de la matière sur la matière, ainsi que les phénomènes de la lumière, de la chaleur, de l'électricité et des combinaisons chimiques qui ont, affirme-t-il, une cause unique ; il estime que l'astronomie a complètement défini les lois de la première de ces causes (l'action à distance), que le but réel de la physique est de définir les lois de la seconde de ces causes et que dans la recherche critique de ces lois, « où le raisonnement a nécessairement une grande part, [la physique] doit s'aider de l'analyse mathématique, qui seule peut rendre le raisonnement infaillible ».
- 7 Déjà Nollet, extrapolant l'avancement de la physique de son temps, supposait qu'à son terme, les phénomènes que l'on attribuait alors à la chaleur, à l'électricité et à la lumière seraient attribués à un même fluide diversement modifié ; Lamé pense que ce terme est presque atteint puisque des théories partielles qui rendent compte de différentes classes de phénomènes sont sur le point d'être réunies en une théorie plus générale ; ce qui met en évidence un progrès constant de la physique. Lamé prévoit qu'une fois que ce terme sera atteint pour la physique proprement dite et la chimie, on pourra envisager le regroupement des différentes sciences de la nature - la physique générale - sous un même principe.
- 8 Lorsqu'il s'en tient au « domaine spécial » de la physique, Lamé considère que les théories partielles qui la composent, naguère au nombre de cinq : celle des corps pondérables et les théories de la chaleur, de l'électricité, du magnétisme et de la lumière, ne sont plus que quatre depuis que « les phénomènes magnétiques paraissent devoir être attribués au mouvement de l'électricité ». Ainsi opte-t-il pour l'électrodynamique d'Ampère contre Biot pour interpréter l'action des courants électriques sur les aimants.
- 9 Lamé constate encore qu'il est aussi devenu impossible de maintenir séparées trois des quatre théories qui restent : le mouvement de la chaleur occasionne celui de l'électricité ; l'électricité développe de la chaleur et de la lumière ; la chaleur et la lumière émanent des mêmes sources, ont une marche commune et des propriétés identiques. Ce serait nier l'évidence, que de ne pas reconnaître dans ces faits une tendance continuelle de ces trois théories partielles vers un lieu commun, une source unique,

une théorie générale, dont elles ne seront que des corollaires ou des chapitres particuliers.

Les lois de la physique

- 10 Cette vision d'une physique en progrès continu et sans remise en cause s'accorde avec les idées que Lamé développe sur l'acquisition des connaissances en sciences : celles-ci commencent avec la recherche des « lois que suivent les phénomènes, c'est-à-dire les relations constantes qui existent entre leurs causes et leurs effets, ou plus généralement entre deux éléments de nature différente », un phénomène étant un changement quelconque survenu dans l'état d'un corps, un mouvement ou l'effet d'un mouvement dont il faut trouver la cause.
- 11 Lorsque, considérant une certaine classe de phénomènes, des lois trouvées empiriquement peuvent être formulées mathématiquement et lorsque la concordance est établie entre les conséquences déduites de l'analyse de chacune de ces lois et celles fournies par l'observation et l'expérience, Lamé considère que l'énoncé de telles lois et le développement rationnel de toutes leurs conséquences constituent l'explication des phénomènes qui en dépendent et donne à cette explication le nom de théorie physique. Lamé conçoit :
- que les lois qui composent une théorie physique puissent n'être que les corollaires d'une loi unique ; or la découverte de cette loi ne peut être que l'œuvre du raisonnement, et c'est ici que l'analyse mathématique devient indispensable. En partant d'une des hypothèses particulières sur la cause générale, auxquelles la connaissance de tous les phénomènes semble conduire, le géomètre traduit cette hypothèse en langage algébrique. Les formules analytiques résultant de cette traduction doivent d'abord comprendre exactement toutes les lois empiriques indiquées par l'expérience, [...] mais encore en indiquer d'autres que le physicien n'aurait pas aperçus et si ces faits nouveaux indiqués par la théorie mathématique sont nombreux, s'ils sont complètement vérifiés par l'expérience, il en résultera des preuves irrécusables de la réalité de l'hypothèse qui aura servi de point de départ.
- 12 Lamé ajoute : « Cette seconde épreuve est seule décisive ».
- 13 Ainsi Lamé montre-t-il comment, selon sa propre opinion, on quitte le domaine de la physique expérimentale pour entrer dans celui de la physique mathématique. Appartient au géomètre l'art de l'analyse mathématique appliquée à la physique, et au physicien, l'art de l'observation et de l'expérience lequel présente quelques embûches : « Il n'est pas toujours aisé de distinguer les lois des phénomènes, car ils sont le résultat d'une complication plus ou moins grande des effets simultanés de plusieurs forces naturelles. Il faut savoir discerner dans l'effet général la part qui est due à la cause ou à la force particulière que l'on veut étudier » ; l'art de l'expérience consiste à isoler autant que possible chaque couple de cause et d'effet. Avec Lamé, nous reviendrons sur ce sujet sur l'exemple de la statique.
- 14 Dans l'état présent de la physique, il convient cependant de séparer la physique proprement dite, celle qui est l'objet de son cours à l'École polytechnique, en de multiples branches qui ont chacune pour objets différentes classes de phénomènes ; Lamé constate que la physique mathématique possède déjà d'importantes théories : « la théorie analytique de la chaleur, celle des corps élastiques et des phénomènes capillaires, la

théorie de l'électricité statique à la surface des corps conducteurs, celle de l'électrodynamique », et que celles-ci « n'embrassent, il est vrai, qu'une faible partie des phénomènes d'une même classe » ; mais Lamé est convaincu qu'elles s'encadreront dans des théories mathématiques complètes, comme autant de chapitres terminés d'avance ; « il est probable qu'elles n'exigeront alors que des changements de définition des quantités variables qu'elles emploient, ou que leurs calculs devront seulement être poussés plus loin, afin de rendre compte de l'influence de certaines causes perturbatrices ». Ainsi pour Lamé, viendra le temps où sera bâtie une théorie mathématique complète, une physique mathématique, alors que, pour l'heure, la physique reste encore divisée en quatre parties principales, « savoir : l'exposé des propriétés générales de la matière, et l'étude des phénomènes qui dépendent de la chaleur, de l'électricité et de la lumière ».

- 15 Ici encore la distinction entre la physique expérimentale et la physique mathématique, la seconde étant l'avenir de la première, s'ancre dans une très longue tradition, laquelle est déjà affirmée à la fin du siècle des Lumières et qui sera encore suffisamment présente en France aux environs de 1900, pour que Duhem et Bouasse la combattent⁶.

L'étude de propriétés générales de la matière

- 16 Lorsqu'il aborde l'étude des propriétés générales de la matière, Lamé distingue « deux classes de propriétés générales des corps : celles qui appartiennent nécessairement à toute espèce de matière, et celles qui ne paraissent pas essentielles à son existence. Les propriétés essentielles se bornent à deux : l'étendue et l'impénétrabilité⁷ ». Les corps ont d'autres propriétés mais qui ne leur sont pas essentielles et dont ils peuvent être dépourvus : la porosité, la divisibilité. Selon Lamé, la chimie a mis en évidence l'existence d'atomes matériels indivisibles, lesquels permettent de rendre compte de la porosité et de la divisibilité des corps matériels⁸. Lamé ajoute aux propriétés générales des corps deux propriétés, corrélatives l'une de l'autre : la mobilité et l'inertie ; « on entend par la première, qu'un corps peut être en mouvement ou en repos ; par la seconde, que lorsqu'il passe de l'un à l'autre de ces états, ce changement est l'effet d'une cause étrangère, et ne peut jamais être produit par la matière elle-même⁹ ». Lamé nomme force, toute cause qui peut faire passer un corps de l'état de repos à celui de mouvement, ou produire l'effet inverse. À partir de là, Lamé peut définir deux branches de la science :

la statique qui a pour objet de rechercher les relations nécessaires à l'équilibre et la mécanique, ou science du mouvement, laquelle s'occupe de deux genres de question : celles où l'on se donne des forces pour chercher les lois des mouvements qu'elles doivent produire ; et celles où, connaissant les mouvements produits, il s'agit de découvrir les forces auxquelles on peut les attribuer.

- 17 La statique et la mécanique que Lamé considère ici supposent, nous l'avons vu que les forces exercées sur les corps sont étrangères à ces corps et qu'elles ne sont nullement produites par quelques propriétés de ces corps ; en outre, dans la statique, on suppose que les forces appliquées en différentes parties d'un corps n'en modifie pas la forme ; c'est l'occasion pour Lamé de rappeler au lecteur ce qui différencie les points de vue des physiciens et des mathématiciens sur un même objet :

Les questions que cette science se propose ne sont alors que des problèmes de pure géométrie, et leurs solutions ont toute la rigueur des démonstrations mathématiques. Mais il ne faut pas perdre de

vue qu'elles reposent sur le principe abstrait de l'invariabilité de forme des corps solides, sous l'action des forces ; or il n'en est pas ainsi dans la nature, et il peut exister telles circonstances où les changements de forme des corps sollicités produiraient des états d'équilibre que la statique géométrique ne saurait prévoir, ou qu'elle n'étudierait que très imparfaitement.

- 18 Nous trouvons des propos semblables dans le cours de statique de Jean-Baptiste Biot, destiné aux étudiants préparant dans ces années-là le concours d'entrée à l'École polytechnique. Biot pense qu'il n'y a pas de science qui convienne mieux que la statique pour montrer le passage des mathématiques abstraites aux applications ; il regrette que laissée aux mathématiciens on puisse, entre autres choses, étudier les appareils de transmission des forces, c'est-à-dire les machines : leviers, poulies, cordes, etc. « sans rappeler en même temps les phénomènes de flexibilité, de résistance, d'extensibilité, de frottement, qui dans les applications, modifient et limitent les conséquences purement mathématiques de la combinaison des forces¹⁰ ».
- 19 Lamé considère encore d'autres propriétés générales des corps, celles-ci moins évidentes, ne pouvant être parfaitement conçues « qu'après avoir passé en revue tous les phénomènes qu'elles occasionnent, soit pour constater leur existence, soit pour rendre compte des anomalies qu'elles présentent, ou des modifications qu'elles subissent, lorsqu'on les étudie successivement dans différents corps¹¹ ». Telles sont la pesanteur et l'attraction, la compressibilité et l'élasticité.
- 20 Lamé ne se prononce pas sur les causes de ces dernières propriétés ; sont-elles pour lui des propriétés premières ou secondes ? Il est prouvé par l'expérience, écrit-il, que « la pesanteur est réellement une force accélératrice constante » et cette pesanteur « n'est qu'un cas particulier de l'attraction universelle, en vertu de laquelle toutes les parties matérielles des corps célestes tendent les unes vers les autres proportionnellement à leurs masses et en raison inverse du carré des distances qui les séparent ». Quant à l'attraction universelle, elle résulte elle aussi de l'observation : « L'existence de cette force et la loi qui la régit, ont été conclues par le calcul d'un très grand nombre d'observations astronomiques ; ces conclusions ont été ensuite éprouvées par tant de vérifications, qu'elles servent aujourd'hui de base à la théorie physique la plus complète et la mieux établie parmi les connaissances humaines ». Ainsi Lamé s'inscrit-il dans une tradition empiriste qui renaît au début du XVIII^e siècle et qui renonce à chercher la cause d'un tel phénomène¹². Pour rendre compte des propriétés générales des corps, Lamé fait l'hypothèse selon laquelle les corps sont composés de parties matérielles non contiguës ; aussi faut-il considérer que chacune de ses particules est soumise à l'action de diverses forces qui se font équilibre lorsque le corps conserve sa forme. On sait qu'il existe des forces attractives qui émanent des particules elles-mêmes, qui varient d'intensité avec la distance et deviennent insensibles lorsque cette distance est appréciable à nos sens. Une telle hypothèse ne peut rendre compte des différents états de la matière : solide, liquide ou gazeux qui supposent que les particules matérielles ne collent pas les unes aux autres. Aussi Lamé doit-il admettre l'existence de forces répulsives dont l'intensité dépend à la fois de la distance et de l'intensité de la chaleur. Avant de passer à l'étude des phénomènes de la chaleur, Lamé aborde les propriétés des liquides et des gaz. Il met en réserve l'étude de ondes sonores qu'il place juste avant l'étude des phénomènes de la lumière. Puisque, si l'on admet que la propagation de la lumière a sa cause dans les ondulations d'un fluide éthéré, il faut admettre que « la nature

et la transmission de la lumière [sont] analogues à la nature du son et à sa transmission à travers les fluides et les corps pondérables¹³ ».

Des phénomènes de la chaleur, de la lumière et de l'électricité

- 21 Lamé commence l'étude des phénomènes de la chaleur par des considérations sur l'existence d'une cause générale et puissante, qui s'oppose au contact immédiat des dernières particules de la matière, et qui, constamment en lutte avec l'attraction moléculaire, produit, suivant son énergie variable¹⁴, les changements de densité et d'état qu'on observe dans les corps pondérables. Cette cause, encore inconnue quant à son essence, est appelée la chaleur ou le calorique. Elle doit sa première dénomination à l'effet physique qu'elle produit sur nos organes, et qui occasionne les sensations connues sous le nom de chaleur et de froid ; elle prend la seconde quand on la considère hypothétiquement comme un fluide matériel impondérable¹⁵.
- 22 Il considère que « ce n'est qu'en comparant ou mesurant les effets de la chaleur, qu'on peut avoir l'idée de sa grandeur ou de sa quantité. Ainsi, dans l'hypothèse admise pour concevoir la constitution intérieure des corps¹⁶, l'énergie des actions répulsives de la chaleur doit nécessairement augmenter ou diminuer, pour dilater ou condenser un corps d'une certaine fraction de son volume, pour le fondre ou le congeler, pour le vaporiser ou le liquéfier ; on pourra donc dire dans ces circonstances que le corps a gagné ou perdu une certaine quantité de chaleur¹⁷. Lamé considère encore que lorsque deux corps sont mis en contact ou mélangés, dans des circonstances où ils ne puissent agir chimiquement l'un sur l'autre, mais telles qu'ils changent de densité ou d'état par le fait même de ce mélange ou de ce contact, on remarque toujours que les effets produits indiquent dans l'un perte, dans l'autre gain de chaleur : et si l'on mesure ces effets contraires, on pourra dire que les quantités de chaleur gagnées et perdues, auxquelles on doit les attribuer, sont égales ou équivalentes entre elles.
- 23 Selon Lamé, « ce genre de recherche ne considère la chaleur qu'à l'état statique. Mais pour reconnaître les propriétés et les lois de cet agent naturel [la chaleur], il faut principalement étudier son état dynamique, c'est-à-dire chercher comment les corps changent de température, ou de quelle manière varie l'intensité de la chaleur¹⁸ ».
- 24 Lamé ouvre l'étude de la chaleur dans son état dynamique par celle de la chaleur rayonnante : diverses expériences montrent
- (1) que la chaleur se transmet dans le vide aussi bien qu'à travers les gaz,
 - (2) que les rayons de chaleur se réfléchissent à la surface des corps polis suivant la même loi que la lumière,
 - (3) que « la lumière solaire, et la plupart des lumières artificielles, sont constamment accompagnées par des rayons de chaleur, ce qui assignent une même origine aux phénomènes lumineux et calorifiques,
 - [(4) que] les rayons de chaleur et de lumière varient d'intensité suivant les mêmes lois, et se comportent d'une manière analogue en passant d'un milieu à l'autre » et
 - (5) que d'autres faits paraissent même prouver que la chaleur peut se transformer en lumière et réciproquement.

- 25 En ce temps là, les physiciens ont imaginé deux hypothèses différentes pour expliquer les phénomènes calorifiques. Dans l'une, on regarde la chaleur comme une matière impondérable et très subtile, le calorique, elle peut se combiner en masse plus ou moins grande avec les molécules pondérables ou s'élaner d'un corps à l'autre avec une vitesse comparable à celle de la lumière. L'autre hypothèse consiste à imaginer que les mouvements ondulatoires des molécules de la matière pondérable sont empruntés et transmis par un milieu impondérable qu'on nomme l'éther, lequel existe partout, dans le vide comme entre les particules matérielles des corps pondérables. Dans cette hypothèse, le fluide éthéré n'est pas transporté d'un corps chaud aux corps froids qu'il influence, mais sert à transmettre les mouvements vibratoires dont l'intensité variable constitue la quantité de chaleur. Lamé avance « un exemple de la transmission des mouvements vibratoires par l'intermédiaire des fluides élastiques dans la théorie du son », affirmant que dans cette hypothèse « les vibrations calorifiques sont [...] analogues aux vibrations sonores ».
- 26 Lamé renonce à trancher entre ces deux hypothèses ; il considère que pour étudier les phénomènes de la chaleur, « il n'est pas indispensable d'adopter une idée particulière sur la nature du calorique ; [que l']on peut exposer les phénomènes quelle que soit d'ailleurs la cause inconnue qui les produit ».
- 27 Lamé termine cette étude de la production de la chaleur par les combinaisons chimiques et par les phénomènes électriques ; des phénomènes dont on ne connaît encore aucune explication satisfaisante. Ainsi trouve-t-on en général : « un excès considérable dans la chaleur produite par une combinaison, dont il paraît impossible de trouver la cause, même en tenant compte des chaleurs latentes correspondant aux changements de densité ou d'état que paraissent éprouver les composants, et qui souvent sont inverses de ce qu'ils devraient être pour fournir de la chaleur sensible¹⁹ » ; pour ce dernier phénomène, Lamé suppose qu'au premier abord, il semble que l'hypothèse des ondulations peut rendre compte de ce dégagement de chaleur sans adopter de nouveaux principes : « on conçoit en effet que les forces mécaniques, et celles qui président aux combinaisons, doivent imprimer aux molécules des mouvements vibratoires dont la force vive, étant en rapport avec les efforts qui les produisent, peut être très considérable ».
- 28 Cette partie du cours s'achève sur une note pessimiste.

Mais les observations relatives à la chaleur dégagée, dans les circonstances dont il s'agit, ne sont pas encore assez multipliées pour qu'on puisse vérifier par le calcul les résultats déduits d'une hypothèse posée sur la nature de la chaleur. Il est même douteux que l'analyse mathématique, à moins qu'elle ne fit de nouveaux pas, pût lever les difficultés que présenterait la recherche ou l'interprétation des équations, nécessairement très complexes, qui devraient représenter les faits à expliquer. D'ailleurs les phénomènes électriques développent de la chaleur dans un grand nombre de circonstances, et il ne paraît pas que l'on puisse aborder l'essai d'une théorie positive de la chaleur, avant d'avoir démêlé les lois de cette nouvelle source, qui resteront sans doute ignorées pendant longtemps, si l'on en juge d'après l'état actuel de la théorie physique de l'électricité, sans contredire la moins avancée de toutes les parties de la physique, malgré les progrès certains qu'elle a fait dans ces derniers temps. Ainsi, quoique les lois du rayonnement de la chaleur, et celles de sa propagation dans les corps solides, puissent être traitées avec une rigueur suffisante par le calcul, presque tous les

faits dans lesquels la chaleur est produite ou disparaît, ne peuvent encore être compris dans aucune théorie de physique mathématique. Il convient donc de ne considérer les hypothèses et les principes que nous avons énoncés, soit sur l'origine même de la chaleur, soit dans le but de grouper un certain nombre de faits particuliers, que comme des moyens de coordonner ou de rapprocher des phénomènes dont la liaison paraissait évidente²⁰.

29 Lamé considère encore que deux hypothèses coexistent sur la nature de la lumière : l'émission et les ondulations ; Bernard Maitte vous expose ici quelle est celle qui eut les préférences de Lamé et pourquoi.

30 Selon Lamé, l'électricité est la branche la moins avancée de la physique. Aussi considère-t-il que « pour l'étudier, il faut parcourir isolément les théories partielles qu'elle comprend²¹ ». Lamé présente ces différentes théories partielles, chacune d'elles se fondant sur un principe ou sur une hypothèse particulière et n'embrassant qu'une faible partie de ces phénomènes. Lamé juge qu'en son temps il serait prématuré de tenter d'établir un lien entre ces théories. Il est en effet impossible de rechercher la cause générale de tous les effets de l'électricité sans faire intervenir la chimie, la physiologie et les autres sciences naturelles ; cette recherche doit aussi tenir compte du rôle de l'électricité dans les autres domaines de la physique : « la chaleur et l'électricité se suivent et se transforment l'une dans l'autre, lors de leur passage à travers les substances pondérables ; enfin l'électricité est une source lumineuse, la seule qui puisse imiter à la surface de la terre l'éclat du soleil ». Lamé commence son exposé des phénomènes électriques par l'électricité statique ; cet exposé et les suivants se fondent sur des « hypothèses théoriques » selon lesquelles :

les phénomènes électriques sont [...] attribués à deux fluides impondérables, qui repoussent leurs propres molécules, et s'attirent mutuellement. On admet que tous les corps de la nature possèdent ces fluides, ou ces deux électricités, en quantités égales, et à l'état de combinaison. Cette combinaison des deux électricités est appelée électricité naturelle ou fluide neutre ; sa valeur est en quelque sorte zéro ou nulle, relativement aux phénomènes d'attraction ou de répulsion électriques. D'après ce principe hypothétique, le frottement de deux corps occasionne entre eux un partage inégal des deux fluides.

31 Après l'exposé de l'électricité statique, Lamé aborde le galvanisme, c'est-à-dire l'électricité voltaïque, le magnétisme, l'électromagnétisme qui comprend tous les faits relatifs à l'influence des courants électriques sur les aimants, l'électrodynamique, fondée sur la découverte de l'influence mutuelle des courants voltaïques complétée par celle de l'induction, une théorie partielle qui « s'offre alors comme l'essai d'une théorie générale, comprenant à la fois l'électricité et le magnétisme ».

32 Nous nous arrêtons sur la présentation que fait Lamé de l'électrodynamique d'Ampère. Lamé introduit ainsi son sujet, je cite : « Peu de temps après la découverte d'Oersted, Ampère découvrit une nouvelle classe de phénomènes sur l'action mutuelle des courants électriques. Ce fut pour mettre en évidence ce genre d'action qu'il imagine l'appareil que nous allons décrire²² ». Commence alors la description détaillée des différentes parties de cet appareil, des descriptions qui ne nous épargnent aucun détail. C'est ensuite qu'est présenté l'assemblage de ces pièces, sans que le schéma de principe de cet appareil n'ait été présenté²³. Enfin vient la mise en œuvre des expériences qui mettent en évidence : l'action de la terre et des aimants sur les conducteurs mobiles, l'action mutuelle de deux

courants rectilignes non parallèles, puis, parallèles ; à partir d'ici, l'exposé de Lamé devient d'une grande clarté. Ensuite, Lamé substitue à l'un des fils rectilignes parallèles, un fil sinueux et dégage alors les faits qui

prouvent que l'on peut substituer à une petite portion de courant, un polygone passant par ses extrémités, ou ses projections sur des droites passant par son milieu, et parallèles aux côtés de ce polygone. On peut partir de ce principe, pour calculer l'action qui s'exerce entre deux petites portions, de deux courants dirigés d'une manière quelconque dans l'espace. Cette action élémentaire étant connue, on en déduira, par des intégrations prouvent que l'on peut substituer à une petite portion de courant, un convenables, l'explication de tous les phénomènes résultant des actions mutuelles des conducteurs voltaïques finis, de différentes formes.

- 33 Dès que Lamé aborde l'étude des courants sinueux, suivant Ampère, il se fonde sur les expériences qui réalisent les conditions d'équilibre des conducteurs pour démontrer la formule qui exprime l'action mutuelle de deux éléments de courant. Cet exposé de l'électrodynamique illustre l'un de nos propos antérieurs : Lamé a considéré une certaine classe de phénomènes et ses lois trouvées empiriquement ont été formulées mathématiquement. Il reste à établir la concordance entre les conséquences déduites de ces lois et celles qui sont données par l'observation et l'expérience. Alors, Lamé retrace les expériences d'Ampère, de MM. Savary et Demonferrand « qui ont prouvé que l'intégration de cette expression [de l'action mutuelle de deux éléments de courant] conduit à des résultats conformes à l'observation ». Parmi ces expériences, on trouve : les mouvements et actions des solénoïdes.
- 34 L'exposé de Lamé sur les phénomènes électriques se termine par l'étude des phénomènes thermoélectriques et électro-chimiques, les lois des courants électriques, les radiations calorifique et chimique. Ainsi le cours se termine-t-il par l'étude de phénomènes qu'il est nécessaire d'approfondir si l'on veut parvenir à saisir l'hypothèse unique qui doit embrasser tous les phénomènes de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et de la chimie.
- 35 Les phénomènes électriques révèlent une difficulté, il n'est guère aisé d'établir des liens entre un éther luminifère ou un fluide de chaleur répandu dans la nature d'une part et l'électricité naturelle qui semble s'accrocher aux corps d'autre part.

Le cours de Lamé et l'ordre historique des découvertes

- 36 Chacun des chapitres du *Cours de physique* de Lamé se terminent par une montée sur le front des recherches en cours. Aussi Lamé considère-t-il que l'ordre des phénomènes tel qu'il l'a adopté suit l'ordre chronologique des découvertes principales et l'on peut regarder cette coïncidence comme une justification de la méthode qu'il a adoptée.

En effet, lorsqu'on suit les progrès d'une science physique, on remarque presque toujours que les phénomènes importants, rangés par les dates de leurs découvertes, croissent aussi en généralité et en extension ; c'est-à-dire que ceux plus récemment connus, érigés en principe, expliquent un plus grand nombre des faits antécédents ; jusqu'à ce qu'enfin on soit parvenu à un phénomène dont la loi embrasse toute la science. Tant que cette limite n'est pas atteinte, il convient d'exposer les faits dans l'ordre croissant de leur généralité, et conséquemment d'adopter la marche historique. Mais lorsque la

science est parfaite, ou quand sa loi générale est trouvée, il est plus simple de suivre la marche synthétique, précisément inverse de la précédente²⁴.

- 37 Naturellement si la marche adoptée par Lamé suit en gros l'ordre historique, l'historien ne peut acquiescer dans le détail. Ainsi, par exemple, sur l'électricité statique, Lamé laisse à penser qu'une série d'expériences bien conçues a établi l'existence de deux fluides électriques et démontré la loi de Coulomb. Le lecteur ne peut soupçonner qu'avant cela, les physiciens des Lumières mirent en place une foule d'expériences toutes plus spectaculaires les unes que les autres et les trésors d'invention qu'ils mirent dans leur interprétation. Lamé laisse aussi à penser qu'il suffisait de mettre en présence un fil conducteur droit indéfini et un aimant (ce qui réalise bien les conditions expérimentales les plus simples), de varier les conditions de l'expérience et, à partir d'une mise en équation des phénomènes observés, de dérouler le sorite pour dégager la théorie mathématique de ce type d'interaction ; ainsi Lamé a-t-il, comme tous les physiciens français, voulu ignorer le contexte de la découverte d'Oersted : celle-ci fut conçue dans le cadre d'une conception dynamiste de la nature : Oersted considère que les combinaisons chimiques, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme ont une cause commune, deux forces répandues dans la nature, aussi chercha-t-il à mettre en évidence dans l'interaction de l'électricité et du magnétisme une manifestation des forces générales de la nature, les effets d'un conflit électrique. Nous aurions pu multiplier les exemples ; nous aurions vu que chez Lamé, les mises en œuvre expérimentales semblent venir en leur temps quand les techniques expérimentales le permettent, il s'en suit que l'histoire des découvertes en science paraît être un long fleuve tranquille.

Dernières remarques

- 38 En résumé, nous avons vu que Lamé aborde les propriétés de la matière en adoptant l'hypothèse de l'existence d'atomes étendus et impénétrables et de forces attractives qui émanent de ces atomes ; telle cette hypothèse et ses conséquences sont en tout point conformes aux travaux de Laplace et des autres membres de la Société d'Arcueil qu'elles confortent et mettent à jour. Pour le reste, le temps a passé et lorsque Lamé aborde les phénomènes de la chaleur, il balance entre deux hypothèses sur la nature de la chaleur : ondulatoire ou corpusculaire, ainsi la quantité de chaleur est soit l'intensité des vibrations de l'éther soit la quantité d'un fluide matériel impondérable ; mais dans les deux cas l'énergie des actions répulsives d'un fluide, quel qu'il soit, « doit nécessairement augmenter ou diminuer, pour dilater ou condenser un corps [...], pour le fondre ou le congeler, pour le vaporiser ou le liquéfier²⁵ » et, dans ces circonstances, le corps a gagné ou perdu une certaine quantité de chaleur. Lorsque Lamé présente les phénomènes de la lumière, de l'électricité et du magnétisme, il préfère, pour les premiers, l'hypothèse des ondulations de Fresnel à celle de l'émission, défendue par Biot, et pour la nature des masses magnétiques, il balance entre l'hypothèse d'Ampère qui attribue le magnétisme à des courants électriques qui se meuvent autour des particules matérielles et l'hypothèse qui l'attribue à la séparation de deux fluides magnétiques, hypothèse à laquelle Poisson et Biot restèrent attachés²⁶, quoiqu'il entrevoit le moment où les théories de l'électricité et du magnétisme se fondront en une seule.
- 39 Que la physique soit considérée comme une science de la nature a une incidence sur les cours. Après avoir exposé les propriétés des gaz et des vapeurs et la théorie physique de

la chaleur, Lamé consacre trois chapitres aux phénomènes météorologiques ; l'exposé de l'optique géométrique s'accompagne d'une étude de la constitution intérieure de l'œil et des modifications éprouvées par les rayons lumineux qui le pénètrent, une étude de la vision qui s'arrête au système nerveux là « où le principe de la vie vient évidemment compliquer [les] effets [de ces rayons]²⁷ ». L'exposé des théories des électricités statique et latente est suivi d'une étude de l'électricité atmosphérique qui complète les exposés précédents sur les phénomènes météorologiques.

NOTES

1. Nollet, Jean Antoine, « Discours sur la physique expérimentale » (1753), in *Leçons de physique expérimentale*, 4^{ème} édition, 1754, tome 1.
2. Haüy, René-Just, *Traité élémentaire de physique*, 2^e édition, Paris, Bachelier, 1806 ; tome 1, pp. i, j.
3. Lamé, Gabriel, *Cours de physique*, 2^e édition, Paris, Bachelier, 1840 tome 1, p. 1, 2 ; pour cette citation et les suivantes.
4. Haüy, René Just, *Traité élémentaire de physique*, op. cit., tome 1, pp. ij, iij ; pour cette citation et la suivante.
5. Lamé, *Cours de physique*, tome 1, pp. 2-8 ; pour cette citation et les suivantes.
6. Locqueneux Robert, *Henri Bouasse, Réflexions sur les méthodes et l'histoire de la physique*, Paris, L'Harmattan, à paraître en 2009.
7. Lamé, *Cours de physique*, tome 1, p. 8.
8. Notons que l'atomisme n'est pas introduit d'une manière définitive en sciences comme tendrait à le laisser penser le ton de certitude adopté par Lamé. (Sur la querelle des atomistes et des énergétistes à la fin du XIX^e siècle, on peut lire : Robert Locqueneux, *Histoire de la thermodynamique classique, de Carnot à Gibbs*, Paris, Belin, 2009).
9. Lamé, *Cours de physique*, tome 1, p. 16-19 ; pour cette citation et les suivantes.
10. Nous sommes dans le registre des reproches que les physiciens font habituellement aux mathématiciens, au temps de Biot, comme en notre temps : « Le professeur [qui a ordinairement peu de connaissances en physique expérimentale] expliquant aux élèves la statique abstraite, sous la forme mathématique que les géomètres lui ont donnée dans des traités spéciaux de cette science, ce n'est, pour ainsi dire, qu'une continuation des cours de mathématiques pures, dans laquelle l'application des résultats abstraits aux réalités physiques échappe ou ne peut offrir aucune netteté » (Biot Jean-Baptiste *Notions élémentaires de statique*, Paris, Bachelier, 1829 ; pp. ij, iij ; pour ces citations).
11. Lamé, *Cours de physique*, tome 1, pp. 20-36 ; pour cette citation et les suivantes.
12. Voir par exemple : Robert Locqueneux, *Une histoire des idées en physique*, Paris, Vuibert, 2009.
13. Lamé, *Cours de physique*, tome 2, p. 103.
14. Chez Lamé, les expressions "énergie" et "intensité" sont synonymes.
15. Lamé, *Cours de physique*, tome 1, p. 191.
16. *ib.*, p. 43.
17. *ib.*, p. 191, 192 ; pour cette citation et la suivante.
18. *ib.*, p. 289-301 ; pour cette citation et les suivantes.
19. *ib.*, p. 499, 500 ; pour cette citation et les suivantes.

20. Notons en passant que Lamé aborde dans cette étude l'emploi de la vapeur comme force motrice ; on chercherait en vain dans ce cours un exposé du principe de fonctionnement de quelques machines à vapeur, Lamé semble ignorer les *Réflexions sur la puissance motrice du feu* que Carnot a publié en 1824, et le « Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur » que son ami Clapeyron a publié dans le *Journal de l'École polytechnique* en 1834. (La seconde édition du cours de Lamé est de 1840).

21. Lamé, *Cours de physique*, tome 3, p. 1-10 ; pour cette citation et les suivantes.

22. *ib.*, tome 3, pp 223, 237 ; pour cette citation et les suivantes.

23. Il est heureux que les étudiants auxquels Lamé s'adresse connaissent la table d'Ampère, celle-ci est alors présente dans tous les lycées et collèges, Ampère ayant été inspecteur général et ayant eu des amis très intimes à de très haut niveau des pouvoirs qui se sont succédés durant sa carrière universitaire (Robert Locqueneux, *Ampère, encyclopédiste et métaphysicien*, Les Ulis, EDP Sciences, 2008).

24. Lamé, *Cours de physique*, tome 3, p 5.

25. *ib.*, tome 1, p. 192.

26. *ib.*, tome 3, p. 246.

27. *ib.*, tome 2, p. 236.

AUTEUR

ROBERT LOCQUENEUX

Professeur émérite Université de Lille 1 CHSE/UMR Savoirs, textes et langage, CNRS-Lille 3-Lille 1