

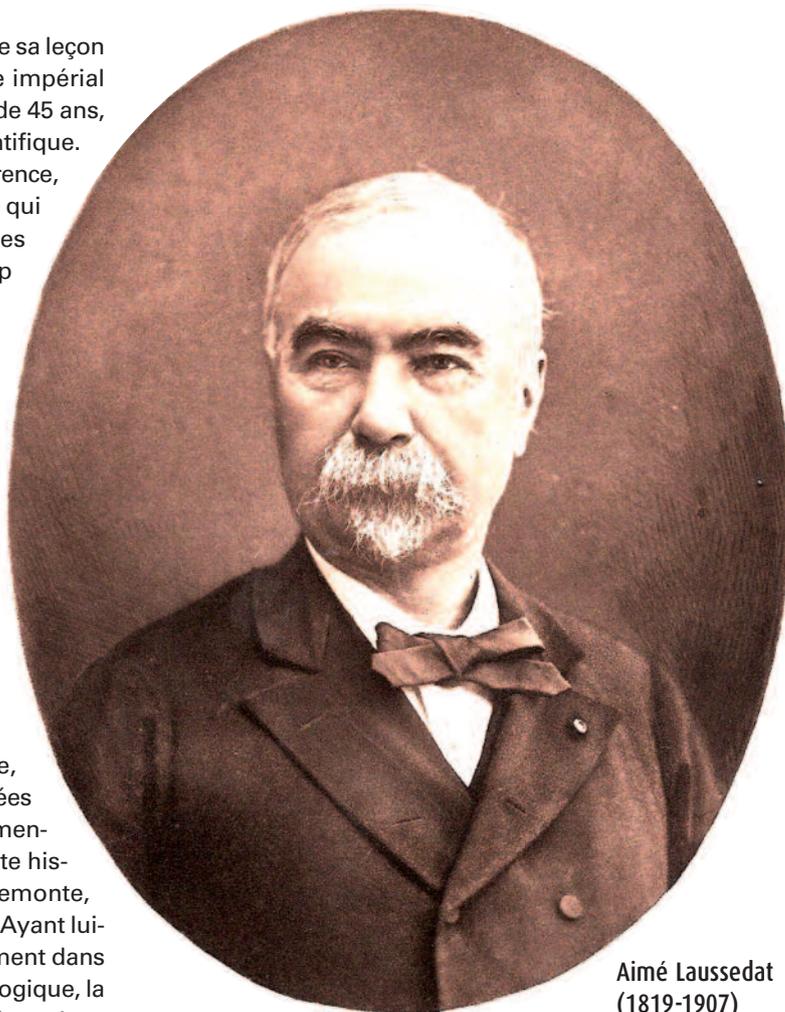
La leçon inaugurale d'Aimé Laussedat au Conservatoire impérial des arts et métiers

■ Laurent POLIDORI

Le 15 janvier 1865, lorsqu'Aimé Laussedat prononce sa leçon inaugurale devant les auditeurs du Conservatoire impérial des arts et métiers, cet officier du génie, alors âgé de 45 ans, peut déjà se prévaloir d'une brillante carrière scientifique. Ses travaux en topographie et en géodésie font référence, et il a déposé le premier brevet pour une technique qui s'appellera plus tard la photogrammétrie. Si ses convictions républicaines et son hostilité au coup d'État du 2 décembre 1851 ont sans doute ralenti sa carrière militaire, il est en revanche un enseignant très actif. Il est ainsi répétiteur (1851) puis professeur titulaire (1856) du cours d'astronomie et géodésie de l'École polytechnique. En 1864, il devient le suppléant du baron Charles Dupin, professeur titulaire de la chaire de géométrie appliquée aux arts au Conservatoire impérial des arts et métiers (nom du CNAM pendant le Second Empire), et comme le veut l'usage il prononce une leçon inaugurale devant ses auditeurs. C'est le texte complet de cette première leçon qui est retranscrit ici, annoté par Aimé Laussedat lui-même au moment de sa publication.

Dans ce cours d'introduction à la topographie, Laussedat présente à ses auditeurs l'état des avancées technologiques en matière de méthode et d'instrumentation, et ne néglige pas de situer dans son contexte historique le développement de la topographie qui remonte, nous dit-il, "*aux premiers temps de la civilisation*". Ayant lui-même exercé dans un contexte militaire et notamment dans les fortifications, Laussedat connaît mieux, et c'est logique, la topographie telle qu'elle est pratiquée dans l'armée et dans les grandes administrations, que dans les entreprises privées. Cela pourrait entacher sa légitimité, il en est conscient et s'en défend. Il prétend s'adresser à tous les utilisateurs de la topographie, même s'il fait référence, pour mieux convaincre son auditoire de l'intérêt d'utiliser les meilleurs instruments, aux projets les plus ambitieux de son époque. Il cite ainsi le percement du canal de Suez et celui du tunnel des Alpes, projets dont il expose les défis technologiques mais qui n'ont pas encore abouti à l'heure où il en parle.

Cette leçon inaugurale d'Aimé Laussedat est le point de départ d'une longue carrière au sein du Conservatoire. Après avoir enseigné pendant plusieurs années avec un statut de professeur suppléant, Aimé Laussedat, devenu entre temps colonel, devient en 1873 professeur titulaire de la chaire de



Aimé Laussedat
(1819-1907)

géométrie appliquée aux arts, fonction qu'il assurera jusqu'en 1896. En 1881, le gouvernement confie à Laussedat la direction du Conservatoire. Il succède à Mangon qui n'a dirigé l'établissement que pendant une année, après la longue direction du général Morin (1849-1880). Laussedat reste à la tête du Conservatoire jusqu'en 1900. En 1903, il publie un ouvrage très complet, *Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques*, où il présente un état de l'art actualisé des sciences topographiques à l'aube du nouveau siècle, et démontre notamment le potentiel de la "métrophotographie" pour moderniser le travail des topographes, peu d'années avant la naissance de la photographie aérienne et la fondation de la Société internationale de photogrammétrie. Il s'éteint en 1907 à l'âge de 87 ans.



N. D. L. R. Même avec ses presque 150 ans d'âge la leçon d'Aimé Laussedat, autant historique que scientifique, reste toujours d'actualité. Elle a toute sa place dans la documentation de l'AFT et, partant, XYZ a donné suite à la proposition de Laurent Polidori de la publier *in extenso*.

En filigrane la leçon constitue les prémices de la photogrammétrie. Le n° 133 d'XYZ illustrera les développements de la spécialité naissante en rapportant, sous la plume de Robert Vincent, la biographie du plus célèbre des photogrammètres français : Georges Poivilliers.

(L'orthographe d'origine a été conservée.)

OUVERTURE DU COURS DE GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

Le Dimanche 15 janvier 1865,

Par **M. LAUSSEDAT**, Professeur suppléant

Messieurs,

Avant d'aborder les questions qui doivent faire cette année l'objet de nos études, permettez-moi d'exprimer ma vive reconnaissance au savant général qui dirige avec tant de sollicitude ce bel établissement, aux éminents professeurs et aux autres membres du conseil de perfectionnement du Conservatoire, pour le témoignage de confiance dont ils m'ont honoré.

J'occupe ici la place d'un homme dont le nom est justement célèbre, et qui, à toutes les dignités dont il est revêtu, préfère peut-être encore le titre, d'ailleurs si respecté, de professeur au Conservatoire des arts et métiers.

Ce titre rappelle en effet à M. le baron Charles Dupin, aujourd'hui sénateur et l'un des doyens de l'Académie des sciences, les brillants succès de sa jeunesse et les services rendus à la classe ouvrière et industrielle, dont il s'est toujours hautement déclaré l'ami et le conseiller.

Illustrée par M. Charles Dupin, cette chaire était tour à tour occupée par des suppléants remplis de mérite. Elle l'était naguère encore par le digne M. Tom Richard, qu'une mort prématurée a enlevé à des fonctions qu'il affectionnait.

Je n'ai pas eu l'honneur de connaître personnellement M. Tom Richard, mais le hasard ou ma bonne fortune m'ont mis à même, à deux reprises, d'apprécier ses rares qualités comme homme et comme chef d'usine. Je vous demande donc la permission de vous raconter ces deux faits qui, tout simples qu'ils soient, suffiront sans doute pour montrer ce que devait être M. Tom Richard dans la vie privée.

Le premier remonte à plus de vingt ans. Chaque année, les élèves de l'École d'application de Metz vont en mission dans les principales usines de l'Est de la France, pour étudier expérimentalement l'effet des machines dont la théorie leur a été expliquée auparavant. En 1844, un de mes camarades fut ainsi envoyé à Framont, dans les Vosges. Il revint charmé de cette excursion, et ce qui l'avait tant frappé, ce n'était pas l'ordre matériel que l'on rencontre habituellement dans les

grands établissements de cette industrieuse contrée, mais la remarquable tenue des ouvriers et l'attachement singulier qu'ils manifestaient pour leur directeur. Ce directeur si aimé de ses subordonnés était M. Tom Richard.

Quelques années plus tard, mon service d'officier du génie m'appela dans la vallée des Aldudes, sur l'extrême frontière des Pyrénées occidentales. Je rencontrai sur mon chemin, et je visitai avec beaucoup d'intérêt les forges de Banca, qui donnent un peu de vie à ce pays presque sauvage. Je fus surpris, à mon tour, du concert d'éloges qui s'élevait, tant dans l'usine que dans le hameau, autour du nom de l'ingénieur. C'était encore M. Tom Richard.

Les services que le professeur a rendus ici même sont trop récents pour qu'il soit nécessaire de les rappeler. Je n'ai eu d'ailleurs ni l'intention ni le temps d'écrire une biographie ; j'ai cru cependant qu'il était naturel d'invoquer mes souvenirs pour honorer la mémoire de l'homme de bien auquel je succédais.

Ce devoir rempli, j'arrive au sujet que je dois développer devant vous dans le trimestre dont nous disposons encore¹.

De toutes les applications de la géométrie, il n'en est peut-être pas qui soit d'une utilité aussi générale que cet art auquel on a donné, sans doute pour ce motif le nom de géométrie pratique, mais qui est aujourd'hui plus généralement et plus exactement désigné sous celui de topographie.

Le mot topographie signifie proprement, description des localités. La topographie a effectivement pour objet la représentation détaillée du terrain, de tous les accidents naturels que

(1) Le programme du cours de géométrie appliquée aux arts, arrêté par le conseil de perfectionnement, comprend les principes de la géométrie élémentaire, de la trigonométrie et de la géométrie des courbes, les quadratures et les cubatures, la topographie, et particulièrement l'étude du terrain au point de vue des travaux publics, des notions d'astronomie propres à guider les constructeurs d'instruments de précision, enfin la géométrie des machines ou cinématique. Il ne sera question dans ce discours que de la topographie, qui doit faire le sujet des leçons de l'hiver de 1865.



l'on rencontre à sa surface, ainsi que des travaux que les hommes y ont élevés.

Quand la description embrasse une grande étendue de territoire, un pays tout entier, on est amené à supprimer peu à peu les détails et à ne conserver finalement que les traits généraux du sol, comme l'emplacement des centres de population, les montagnes, les directions des cours d'eau, les côtes et les principaux linéaments des grands travaux publics.

Vous voyez tout de suite, Messieurs, combien sont étroites les relations qui existent entre la topographie et la géographie, tellement qu'il est bien difficile de tracer une ligne de démarcation entre elles.

Considérée ainsi dans toute sa généralité, la topographie remonte, comme la géographie, aux premiers temps de la civilisation. On en trouve les rudiments dans les plus anciens poètes, dans les plus anciens historiens, qui furent aussi les premiers géographes, dans la Bible comme dans les auteurs profanes².

Des deux moyens principaux de description, le discours ou le dessin, le premier, d'abord le seul en usage, restera toujours le plus expressif, je pourrais dire le plus attrayant, parce qu'il s'adresse à la plus active de nos facultés, l'imagination, et qu'il s'en empare sans recourir à l'intermédiaire de nos sens. Si les relations de voyages ont le privilège de captiver l'attention de la jeunesse comme celle de l'âge mûr, n'est-ce pas au charme des descriptions qu'elles le doivent autant qu'à l'intérêt des épisodes dramatiques ? J'en trouverais au besoin la preuve dans le succès des géographies modernes de Malte-Brun et de son école, dont la méthode descriptive a une supériorité si évidente sur celle que l'on suivait auparavant et qui réduisait l'une des branches les plus fécondes de nos connaissances à la sécheresse d'une nomenclature.

Enfin chacun de nous ne sait-il pas, par sa propre expérience, que jusque dans les œuvres de pure imagination, les auteurs les plus goûtés sont ceux qui par la vérité, je devrais dire la vraisemblance de leurs tableaux, autant que par la magie de leur langage, savent nous transporter sur le lieu de la scène où se déroule l'action qui fait le sujet de leur récit.

Ne soyez pas surpris, Messieurs, si je m'arrête quelques instants à ce point de vue si éloigné en apparence de l'objet qui doit nous occuper spécialement ; mais les historiens et les poètes ne sont pas les seuls à employer le discours pour décrire la contrée ou le site qu'ils veulent faire connaître à leurs lecteurs. Depuis l'ingénieur qui conçoit un vaste projet jusqu'au modeste arpenteur qui délimite deux propriétés, tous ceux qui ont à étudier le terrain sentent la nécessité de joindre à la meilleure carte, au meilleur dessin, un mémoire explicatif plus ou moins étendu. Et ce n'est pas toujours la tâche la plus facile à remplir que de donner à ces explications toute la clarté désirable ; mais l'art de bien observer et le talent d'exposer aux autres, par le seul langage, ce que l'on a vu soi-

même, ne s'enseignent guère et ne s'acquièrent que par une assez longue expérience.

Je me hâte d'ailleurs d'abandonner cet ordre de considérations que je n'ai cependant pas cru inutile de vous laisser entrevoir, et j'arrive au second moyen de description, au dessin qui, lui aussi, est une langue, et même, comme on l'a souvent et justement remarqué, la seule langue véritablement universelle.

Le dessin peut être imitatif ou conventionnel. Dans le premier cas, on peut dire qu'il s'explique de lui-même, mais il est généralement insuffisant, et nous verrons pourquoi. Dans le second, il est utile, il est presque toujours indispensable d'avoir la clef des conventions adoptées. Le dessin imitatif a été naturellement le premier dont on se soit servi. C'est ainsi que nous retrouvons des vues en perspective, le plus souvent irrégulière, de villes entières ou de monuments considérables sur les médailles, sur les vases et les bas-reliefs antiques, et plus tard sur les manuscrits du moyen âge, sur les premières planches gravées.

La plupart de ces dessins et des cartes, d'abord fort imparfaites, sur lesquelles on vint à les rapporter, peuvent être rattachés au système de perspective dite *cavalière*, système qui s'est perpétué jusque dans le siècle dernier.

Le seul progrès sensible que l'on découvre, à partir de la renaissance, consiste dans l'observation de plus en plus exacte des règles de la perspective linéaire, et pour ne citer qu'un exemple, les admirables dessins des sièges de Bréda, de La Rochelle et de l'île de Ré exécutés par Callot, dans la première moitié du dix-septième siècle, appartiennent à la topographie pittoresque et peuvent être considérés comme des chefs d'œuvre du genre. Mais il convient de remarquer tout de suite que ce perfectionnement, conséquence immédiate de celui des arts d'imitation en général, n'était applicable qu'à la description d'une étendue de terrain très limitée, comme celle d'une ville, d'une forteresse ou d'un port. Réunies aux plans proprement dits que l'on savait lever géométriquement depuis assez longtemps déjà, les vues qui seules ne permettaient de prendre directement aucune mesure exacte, offraient un grand intérêt ; mais dès qu'il s'agissait d'un territoire de quelque étendue et à plus forte raison de topographie générale, il devenait impossible de recourir à ce moyen. Aussi la construction de cartes de provinces ou d'États resta-t-elle défectueuse jusqu'à ce que l'on eût compris qu'elle devait être basée à peu près uniquement sur des opérations géométriques dont la difficulté augmentait, à la vérité, avec l'étendue qu'elle devait embrasser.

Je ne pourrais, Messieurs, sans y consacrer beaucoup plus de temps que celui dont je dispose, vous faire l'histoire de la topographie moderne et des méthodes de plus en plus parfaites qu'elle a mises en usage. J'essaierai donc seulement de vous en indiquer les points principaux.

Les premières tentatives faites pour dresser des cartes détaillées embrassant un pays tout entier, ont été inspirées par le plus noble de tous les sentiments, l'amour de l'indépendance. La Suède, à peine affranchie du joug des Danois,

(2) On ne trouve pas seulement, dans les livres auxquels je fais allusion, des descriptions topographiques, des itinéraires ; il y est aussi très souvent question de partage des terres qui suppose des opérations d'arpentage.



► la Pologne déjà menacée, la Hollande engagée dans la lutte héroïque qui devait la délivrer de la domination étrangère, furent les premières nations qui, dès le commencement du dix-septième siècle, comprirent la nécessité d'étudier, pas à pas, les ressources que la configuration du sol peut procurer à sa défense³.

Elles furent bientôt imitées par l'Allemagne, la Suisse, l'Angleterre, quelques-uns des États de l'Italie et particulièrement le Piémont et la Savoie qui, grâce au concours de princes éclairés et d'habiles artistes, eurent bientôt les plus belles cartes de l'époque.

En France, quelques provinces qui possédaient un cadastre et des plans terriers firent aussi exécuter des cartes topographiques ; mais il faut arriver jusqu'au milieu du dix-huitième siècle, jusqu'aux Cassini, pour trouver un grand travail d'ensemble qui, en revanche, devait à son tour servir de modèle à toutes les entreprises du même genre.

Sous le règne de Louis XIV, on avait bien levé régulièrement des plans de villes, et surtout ceux des places fortes. Vauban et les ingénieurs sous ses ordres, faisaient même apporter les plus grands soins à ces travaux. D'un autre côté, des ingénieurs-géographes étaient dès lors chargés de lever la carte des pays parcourus par nos armées, et il devait sortir plus tard de cette institution des hommes d'une rare habileté, des observateurs distingués, de savants géomètres. Toutefois, il faut bien le dire, les travaux des ingénieurs du temps de Louis XIV ne paraissent pas avoir contribué au progrès de l'art. Il était réservé aux règnes de Louis XV et de Louis XVI de porter la topographie française au premier rang, dans tous les genres.

Louis XV, on doit lui rendre cette justice, avait un goût prononcé pour la géographie de même que pour les observations astronomiques ; mais, on le sait, il n'avait pas moins de goût pour le plaisir, et cet ensemble d'inclinations si opposées a donné naissance à une œuvre, ou pour mieux dire à un chef d'œuvre qui les reflète à la fois. Je veux parler de cette magnifique *carte des chasses*, aujourd'hui encore l'un des plus beaux spécimens de la topographie, qui comprend Versailles et ses environs dans un rayon de 14 lieues.

Je ne dirai ici qu'un mot de la carte de Cassini, dont l'entreprise remonte à 1730. Nous aurons l'occasion d'y revenir dans une des leçons qui doivent suivre, et je me borne à rappeler que cette grande opération a été l'une des premières, la première peut-être, si l'on excepte un essai fait en Hollande, à utiliser, pour la topographie, les observations astronomiques et les grandes triangulations qui avaient été réservées jusqu'alors à l'étude de la figure de la terre.

J'ajoute que l'état déplorable des finances ne permettant pas à Louis XV de faire exécuter ce grand travail aux frais du trésor, ce prince dut se contenter de le prendre sous son patronage. C'est donc à l'illustre famille des Cassini⁴ que revient la

(3) *Mémorial du dépôt de la guerre*, tome I. Notice du capitaine Soulavie, des ingénieurs-géographes, sur l'état de la topographie en Europe, publiée en 1802.

(4) Cassini de Thury ou Cassini III et Cassini IV ; car la science étant héréditaire dans cette famille, on en était venu à désigner ses membres comme des princes, par un numéro d'ordre chronologique.

gloire tout entière de l'avoir entrepris et de l'avoir achevé. Grand et noble exemple, trop peu connu peut-être et qui prouve si bien ce que peuvent l'initiative individuelle et la persévérance mises au service d'une idée juste !

Louis XVI avait hérité de la passion de son aïeul pour la géographie, et personne n'ignore les louables efforts qu'il fit pour le perfectionnement des arts qui se rattachent à la marine. Des voyages de découverte, des travaux d'hydrographie considérables furent entrepris par ses ordres et firent passer à la France la supériorité que l'Espagne avait gardée jusqu'alors dans l'art de reconnaître les côtes.

Il est bien remarquable, par exemple, que les cartes de la Baltique, dressées à la fin du siècle dernier par notre compatriote de Fleurieu, fussent encore au nombre des meilleurs documents que l'on possédât pour naviguer dans cette mer, quand éclata, en 1854, la guerre avec la Russie.

C'est au règne de Louis XVI, aux premières années de la révolution, que remontaient aussi les services de l'illustre Beautemps-Beaupré, qui a dirigé la reconnaissance de nos côtes et formé tant d'habiles ingénieurs-hydrographes qui perpétuent ses excellentes traditions.

Pendant que l'hydrographie et la topographie générale accomplissaient les remarquables progrès dont j'ai pu à peine vous donner une idée, la topographie particulière ne restait pas en retard. L'école de Mézières qui a eu l'honneur de compter Monge au nombre de ses professeurs et qui a donné à la France d'éminents ingénieurs militaires, avait été la première à apercevoir les immenses avantages d'une méthode proposée d'abord par le géographe Buache pour représenter les inégalités du fond de la mer, puis appliquée par Ducarla, de Genève, à l'expression du relief du terrain, et l'avait fait entrer dans son enseignement.

Permettez-moi, Messieurs, de m'arrêter quelques instants sur un sujet dont j'aurai beaucoup à vous entretenir dans le cours de ces leçons et sur lequel je ne saurais trop tôt appeler votre attention.

Les cartes et les plans topographiques construits géométriquement donnent à première vue ou, quand on veut plus de précision, à l'aide d'une échelle, les distances horizontales des divers points du terrain. Mais comment les différences de niveau de ces points y sont-elles indiquées, comment peut-on savoir si on est dans un pays de plaines, de collines ou de montagnes, si de deux points considérés l'un est plus ou moins élevé que l'autre et de combien ? Toutes ces questions valent, à coup sûr, la peine d'être examinées.

Sur les anciennes cartes où les villages, les hameaux, la végétation même étaient figurés en perspective cavalière, on avait été conduit, en étendant le principe, à une sorte de représentation pittoresque des accidents du sol qui, sur les cartes à petite échelle, ou comme on dit à *petits points*, dégénérait en une série d'accents circonflexes emboîtés les uns dans les autres. Ce symbole qui, selon l'expression de Lacroix, équivaut à ces mots : "*là il y a des montagnes*," vous le connaissez



tous, car on voit encore tous les jours de semblables cartes aux étalages des quais de la Seine.

Évidemment, un pareil mode de dessin ne pouvait être que très imparfait, même sur les cartes à grands points, et jusque sur les plans détaillés ; aussi, bien que ses défauts eussent été considérablement atténués par l'emploi systématique de hachures dirigées à peu près dans le sens des plus grandes pentes du terrain⁵, il y avait là une immense lacune, un obstacle des plus graves au progrès de la topographie.

C'est cette lacune que la méthode de Buache, généralisée par Ducarla, a permis de combler de la manière la plus heureuse. Il est juste de dire que l'ingénieuse idée de Buache (1737) apparaît au moins en germe dans les cartes hydrographiques du Hollandais Cruquius (1729).

On avait bien songé déjà à inscrire sur les plans, à côté de chaque point remarquable, un chiffre exprimant la distance de ce point à un plan de repère horizontal supérieur ou inférieur au terrain. Mais ces chiffres ne pouvaient être multipliés sans confusion et ce n'était qu'à grand' peine que l'on parvenait, en les lisant, à acquérir une idée toujours incomplète du relief.

La notation de Buache fait cesser cette confusion. Imaginez, en effet, les points d'une carte marqués d'une même cote de hauteur réunis par une courbe continue ; vous n'aurez plus besoin que d'un chiffre ou tout au plus de quelques chiffres inscrits de loin en loin auprès de cette courbe, pour connaître, non plus des points isolés du terrain, mais toute la série des points situés au même niveau.

Ces courbes pourront être elles-mêmes plus ou moins nombreuses, mais elles ne produiront aucune confusion, parce qu'elles sont distinctes les unes des autres et qu'elles ne s'entrecroisent jamais. Elles présentent d'ailleurs cette inappréciable avantage de faire saisir d'un seul coup d'œil, par leurs formes, les inflexions du terrain, et par leur rapprochement ou leur espacement, les pentes plus ou moins roides, plus ou moins adoucies.

On donne une idée saisissante de cette méthode simple et géométrique à la fois de figurer le relief du sol, en considérant les courbes de niveau comme les projections, sur la carte, des lignes successives d'une mer qui aurait submergé tout le pays et se serait ensuite retirée peu à peu en baissant périodiquement de quantités égales.

Depuis que l'école de Mézières a eu le mérite de l'introduire dans le service du génie, la notation des courbes de niveau est passée dans la plupart des autres services publics. Les étrangers l'ont adoptée à leur tour et l'on peut dire que, dès à présent, son emploi est général⁶.

Dans les cartes gravées ou manuscrites, sur lesquelles on veut accuser le relief d'une manière plus apparente, sur les cartes à petite échelle qui resteraient sans effet, si l'on n'employait que des courbes, les hachures ou les teintes dont on fait usage pour produire cet effet ont elles-mêmes ces lignes pour directrices. C'est ainsi qu'ont été gravées les belles feuilles de la carte de France dont les courbes avaient été des-

sinées sur le terrain par des officiers du corps d'état-major. C'est de la même manière que les officiers de l'armée et les élèves de nos écoles spéciales procèdent au dessin des cartes dites à l'effet.

J'espère, Messieurs, pouvoir vous donner dans la suite des détails plus complets sur les services que l'emploi des lignes de niveau a déjà rendus et sur ceux qu'il est appelé à rendre, dans l'étude comme dans l'exécution des projets de toute nature ayant pour but définitif une modification quelconque de la surface du sol⁷.

Avant de terminer cet historique, j'ajouterai quelques mots sur les instruments.

Les anciens mesuraient les champs, traçaient des routes, construisaient des aqueducs. Les Romains avaient, par exemple, des arpenteurs (*agrimensores*), dont les fonctions devaient avoir une grande importance chez ce peuple essentiellement agriculteur. Ils avaient d'habiles ingénieurs, on n'en saurait douter, et il fallait aux uns comme aux autres des instruments appropriés à leur art. Mais la vérité est que nous savons fort peu de chose à ce sujet, et je m'abstiendrai d'en parler pour ne pas m'exposer à faire de fausses conjectures.

Les auteurs italiens du seizième siècle qui paraissent avoir été des premiers à écrire sur la géométrie pratique, parlent d'instruments analogues à ceux dont on s'est servi depuis. Il est même assez remarquable de trouver la boussole employée dès 1538, au lever des plans⁸.

La construction des instruments de topographie s'est naturellement ressentie des progrès des arts mécaniques, et a suivi les mêmes phases que celle des instruments de l'astronomie pratique. Les organes des uns et des autres sont en

- (5) Il ne faudrait pas croire que l'idée de lignes des plus grandes pentes ait été postérieure à celle des courbes de niveau, dont elle nous paraît aujourd'hui une conséquence naturelle. On peut s'assurer du contraire en consultant le livre II des *Éléments de topographie militaire*, de Hayne, ingénieur au service de Prusse, ouvrage in-8°, traduit de l'allemand, Paris, 1806, où l'emploi des hachures suivant les lignes de plus grandes pentes est enseigné sans aucune allusion aux courbes de niveau que l'auteur ne paraît pas avoir connues.
- (6) Les travaux de drainage ont beaucoup contribué, croyons-nous, à faire ressortir les avantages que présentent les propriétés des courbes de niveau. En Angleterre, les conseils de salubrité de plusieurs grandes villes ont fait rapporter ces courbes sur les plans pour y étudier plus facilement les moyens d'écoulement des eaux, le tracé des égouts, etc. J'en ai vu moi-même un exemple à Portsmouth, en 1851. M. Delesse, ingénieur en chef des mines, a réalisé de son côté une très utile application, en employant des courbes diversement teintées pour représenter les surfaces de séparation des différentes couches géologiques du sol sur lequel est bâtie la ville de Paris.
- (7) Je signalerai ici à mes lecteurs, comme à mes auditeurs, les beaux plans-reliefs de M. L.-J. Bardin, ancien chef des travaux graphiques à l'École Polytechnique, et l'ouvrage qu'il publie sous ce titre : *La Topographie enseignée par des plans-reliefs et des dessins, avec texte explicatif*.
- (8) *Quesiti e inventioni diverse de Nicolo Tartaglia, di nuovo restampati*, libro quinto. Depuis que ce discours est écrit, le Conservatoire des Arts et métiers a fait l'acquisition d'un instrument servant, tant à la mesure des angles verticaux qu'à celle des angles horizontaux, et qui portait une petite aiguille aimantée évidemment destinée à donner l'orientation des directions indiquées par l'une des alidades. L'instrument est daté de 1559, et signé de Aegidius quiniet, Antverpianus (d'Anvers). La déclinaison, qui était orientale à cette époque, est marquée sur le limbe que parcourait l'aiguille.



▶ effet identiques pour la plupart, quant à leurs principes : cercles divisés, verniers, lunettes, niveaux ; l'usage même de ces deux sortes d'appareils ne diffère en réalité que par le degré de précision que l'on veut atteindre, et c'est sur ce degré de précision que se règle le constructeur.

Cette dernière remarque me conduit à prévenir quelques objections et à y répondre. Ne me laisserais-je pas entraîner par mes préoccupations habituelles, les méthodes que je songe à introduire dans ce cours ne sont-elles pas un peu spéciales, en dehors des habitudes ordinaires et des besoins les plus fréquents, ne conviennent-elles pas surtout aux services militaires, ou tout au plus à quelques-uns des services publics ?

Je n'hésite pas à repousser toutes ces appréhensions et j'affirme au contraire qu'il y va de l'intérêt général de tendre par les mêmes moyens vers ce but commun, la description de plus en plus exacte de toutes les parties du territoire de la France.

Ici encore je m'attends à être arrêté.

Mais n'avons-nous pas le cadastre et la carte de l'état-major ? Qu'avons-nous besoin d'autre chose, si ce n'est d'études inévitables pour l'établissement d'un projet ou pour l'examen d'une question spéciale qui exige un plan détaillé, des cotes nombreuses de nivellement.

Je vais essayer de bien expliquer ma pensée sur chacun des sujets délicats que je viens de soulever.

Et d'abord je suis si éloigné de méconnaître l'importance capitale des documents existants, que vous m'entendez dire et répéter qu'on en devrait faire un plus fréquent usage.

Mon dessein est même de vous indiquer avec soin toutes les ressources qu'ils offrent aux opérateurs.

Ainsi, la carte de France a pour fondement la magnifique triangulation commencée par Delambre et Méchain, achevée avec une rare perfection par les ingénieurs-géographes du dépôt de la guerre. C'est au sommet de cette triangulation que je recommanderai de rattacher toutes les opérations de quelque importance, qu'elles relèvent d'un intérêt public ou d'un intérêt privé.

Je rapprocherai immédiatement de ces précieuses données celles qui résultent du nivellement du réseau des lignes de chemins de fer et des grands cours d'eau, ordonné par M. le ministre des travaux publics et exécuté avec une admirable précision par M. Bourdaloué⁹. Rien de plus facile, avec les indications fournies par l'ouvrage de M. Bourdaloué¹⁰, que de retrouver, dans chacune des localités parcourues par ses collaborateurs, les repères en fonte de fer portant d'une manière apparente leur cote d'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer.

C'est aussi à ces repères que je conseillerai de recourir toutes les fois qu'on le pourra, et de rapporter les nivellements, quel qu'en soit l'objet.

Il serait vivement à désirer que l'on s'astreignît, dans les ser-

vices publics, dans les grandes administrations et jusque dans les exploitations particulières, à recueillir, à coordonner tous les résultats d'opérations faites avec soin, pour les faire concourir à ce but que j'ai déjà signalé, une description de plus en plus détaillée du territoire. Combien de fois le même terrain n'a-t-il pas été exploré, mesuré par les ingénieurs et par les géomètres, parce qu'on n'avait pas gardé la trace des résultats des premières opérations, ou parce que ceux-ci avaient été enfouis dans des cartons¹¹.

Nous revenons à la carte de France et aux plans du cadastre. La carte de France est composée de 258¹² feuilles gravées à l'effet, à l'échelle du 80000^e, avec des cotes d'altitude répandues de distance en distance. Elle répond parfaitement à l'objet que l'on s'était proposé, et il n'y a pas lieu de s'en étonner quand on songe au travail qu'elle a exigé de la part de deux générations de savants officiers¹³. Au point de vue militaire, cette carte ne laisse rien à désirer, mais il ne serait pas raisonnable de lui demander ce que son échelle restreinte ne lui permet pas de donner ; aussi n'a-t-il jamais été question d'en faire une carte propre à l'étude des grands projets de travaux publics.

Cependant, les minutes que le dépôt de la guerre a mises avec empressement à la disposition des ingénieurs, ont rendu de très grands services, particulièrement dans les avant-projets des tracés de chemins de fer. Ces minutes sont dessinées à l'échelle du 40000^e et couvertes de courbes de niveau. Ce sont ces courbes qui ont été si utiles¹⁴, et il est bien évident qu'avec une plus grande échelle, on eût pu pousser encore plus loin les études préliminaires. Mais au point de vue de la dépense, l'adoption d'une échelle supérieure au 40000^e pour les minutes, et au 80000^e pour la gravure, pouvait rencontrer des obstacles insurmontables, à l'époque où fut décrétée cette grande entreprise, et l'on ne peut, sous tous les rapports, que se féliciter de la solution qui a été obtenue. Je n'en suis pas moins disposé à croire que les cartes à très grande échelle ne tarderont pas à devenir indispensables, et nos voisins d'outre-Manche en paraissent bien convaincus pour leur part, car après avoir exécuté la carte d'Angleterre à l'échelle du 63400^e

(9) Cette précision est telle, d'après M. Bourdaloué, que par kilomètre il n'existe pas un écart dépassant 1 millimètre, et que d'une extrémité de la France à l'autre l'écart atteint à peine 3 centimètres. M. l'ingénieur en chef Breton (de Champ), chargé du service du contrôle de cette belle opération, déclare de son côté que cette appréciation n'a rien d'exagéré.

(10) Nivellement général de la France (lignes de base et notes diverses), par Paul-Adrien Bourdaloué, 2 vol, in-8°, Bourges, 1864.

(11) Circulaire de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 16 août 1858, sur l'opportunité d'un nivellement général de la France.

(12) Non compris la Savoie et le comté de Nice.

(13) On se saurait mieux faire, pour avoir une idée exacte des difficultés et de la perfection de ce travail, que de consulter la Notice publiée par le colonel d'état-major (aujourd'hui général) Blondel, directeur du dépôt de la guerre. Paris, 1853.

(14) M. Bourdaloué a publié à ses frais la carte du département du Cher à l'échelle du 40000^e. Il avait proposé de publier de même le nivellement général de la France en le rapportant sur les minutes de la carte de l'état-major. L'administration était favorable à ce projet, et M. le ministre des travaux publics avait consulté les conseillers généraux, dont il réclamait naturellement le concours. Il ne paraît pas que ces conseillers se soient bien rendu compte, pour la plupart du moins, de l'utilité de la dépense qu'on leur demandait de voter. Peut-être les trouverait-on mieux disposés, plus tard, à prendre part à une œuvre encore plus considérable, la publication des cartes d'assemblage du cadastre à l'échelle du 10000^e avec courbes de niveau.



(1 pouce pour 1 mille), ils n'ont pas hésité à entreprendre et à achever la carte d'Irlande à l'échelle du 10600^e (6 pouces pour 1 mille)¹⁵. Cette dernière comprend à elle seule 1907 feuilles couvertes de nombreuses courbes de niveau, dont plusieurs sur chaque feuille ont été levées avec une scrupuleuse exactitude, et ont servi à tracer les courbes intercalaires.

N'est-ce pas là une preuve, on peut dire palpable, de ce besoin incessant de progrès qui sollicite les nations comme les individus. Et, en effet, à mesure que les sciences et les arts se développent, le sol, nous le savons tous, acquiert de jour en jour une plus grande valeur. Ne devient-il pas nécessaire dès lors d'en étudier de plus en plus attentivement toutes les ressources, dont les principaux éléments nous sont fournis par la topographie ?

Voyons maintenant ce que sont les plans du cadastre, dont je me plais à reconnaître l'excellente exécution dans ceux de nos départements où j'ai eu l'occasion de les consulter. Ces plans sont dessinés aux plus grandes échelles, et renferment par conséquent tous les détails que l'on peut désirer en ce qui concerne la *planimétrie*, mais ils ne donnent aucune idée exacte du relief, ils ne portent aucune trace du nivellement¹⁶. On peut donc dire sans hésiter qu'ils sont incomplets si on se place au point de vue de l'exploitation agricole raisonnée qui réclame tous les secours de l'art ; mais il y a plus, ils sont insuffisants même à ne les considérer qu'avec leur caractère spécial. Si vous voulez vous en assurer, demandez-le, je ne dis pas aux géomètres, dont l'opinion pourrait vous être suspecte, mais aux propriétaires, aux receveurs des contributions, aux magistrats¹⁷, à tous ceux, en un mot, qui s'occupent à un titre quelconque de l'administration de la propriété foncière.

Quel était, en effet, le double but du cadastre ? Une répartition équitable (la péréquation) de l'impôt territorial, la création d'un titre de propriété offrant une garantie légale¹⁸.

De ces deux buts, le premier n'a été atteint que fort imparfaitement, le second ne l'a pas été du tout. Est-ce à dire que la chose soit impossible ? Assurément non. Seulement il faudrait, pour la réaliser, procéder à des opérations qu'on ne pouvait peut-être pas entreprendre du premier coup ; il faudrait créer tout un service de conservation qui entraînerait une dépense considérable, cela est vrai, mais qui éviterait par la suite bien des erreurs d'appréciation, bien des erreurs volon-

(15) En Belgique, M. P.-C. Popp, ancien contrôleur du cadastre public, avec l'autorisation du gouvernement, l'*Atlas cadastral parcellaire de toutes les communes*, à l'échelle du 2500^e ou du 5000^e. Le plan de chaque commune est accompagné d'un tableau indicatif détaillé, et de la matrice cadastrale avec toutes les mutations. Le prix moyen du plan d'une commune est de 20 fr. Rien ne serait plus utile que d'imiter cet exemple en France.

(16) On m'a assuré que, depuis quelque temps, l'usage des courbes de niveau avait été adopté par plusieurs géomètres-arpenteurs. Je manque à cet égard de renseignements positifs, mais je persiste à croire que les travaux multipliés de drainage ont dû produire et produiront nécessairement ce résultat. L'administration des forêts a de son côté prescrit officiellement l'emploi des courbes de niveau à ses agents qui exécutent de véritables plans cadastraux (*Instruction sur les levées topographiques et le dessin des plans*. Paris, 1860.)

(17) Voir à ce sujet l'excellent ouvrage intitulé : *Du cadastre et de la délimitation des héritages*, par F.H.V. Noizet, ancien magistrat. Paris, 1861, avec un appendice, Paris, 1863.

(18) Recueil méthodique des lois, décrets, règlements, etc., sur le cadastre de la France, approuvé par le Ministre des finances, Paris, 1811. Titre I, art. 14 ; titre IV, art. 167 ; titre VII, art. 703 ; et titre XV, art. 1134 à 1144.

taires ou involontaires sur les contenances déclarées par le vendeur à l'acquéreur, bien des procès ruineux¹⁹.

Il n'est donc pas douteux qu'un peu plus tôt, un peu plus tard, la révision du cadastre deviendra indispensable, et c'est alors que pourra se réaliser complètement le vœu que j'ai exprimé, et sur lequel ce n'est pas le moment d'insister.

Je résume en quelques mots les considérations que je viens de vous exposer. Le but principal que je me propose dans ces leçons est de vous mettre à même de recourir aux documents existants, en vous en indiquant l'origine, le degré d'exactitude, enfin l'usage qu'on en peut faire dans les opérations de détail et même pour la connaissance de plus en plus parfaite de la topographie de la France. Je m'efforcerai, en outre, de vous faire connaître les méthodes et les instruments qui offrent le plus de précision et qui tendent à se perfectionner de jour en jour, parce que les opérations auxquelles on les destine ne peuvent réussir elles-mêmes qu'à cette condition.

Vous faut-il des preuves de ce besoin de précision, je les trouverais sans peine dans les tracés des mille ramifications de nos voies ferrées ou de nos canaux, mais je choisirai deux exemples encore plus frappants, le canal de Suez et le tunnel des Alpes. Le percement de l'isthme de Suez est une entreprise qui a eu un tel retentissement, qu'il peut être banal d'en parler. Je n'en dirai donc qu'un mot, mais j'avoue que j'éprouve un vrai plaisir à citer une seconde fois le nom de M. Bourdalouë, de ce modeste et si habile opérateur, à qui l'on doit d'avoir su positivement, et contrairement au dire des savants ingénieurs de l'expédition d'Égypte, que la mer Rouge et la mer Méditerranée ont un même niveau.

C'est grâce à cette certitude seule qu'il est devenu possible de tenter cette grande opération dont l'issue probable a été l'objet de tant de controverses passionnées. Si elle réussit, et tout donne lieu de l'espérer, à qui le devra-t-on ? A M. Bourdalouë, sans doute, et à Linant-Bey (M. Linant de Bellefonds) qui a dirigé les premières études du canal²⁰, mais il serait injuste d'omettre ces deux particularités importantes, à savoir que ces ingénieurs opéraient dans des circonstances bien différentes de celles où s'étaient trouvés leurs prédécesseurs, et ils avaient des instruments beaucoup plus parfaits que ceux dont on disposait il y a soixante ans.

J'arrive actuellement au tunnel des Alpes, au sujet duquel je crois devoir donner un peu plus de détails.

Dans ce cas, en effet, il n'y avait pas seulement à s'enquérir d'une différence de niveau entre les deux extrémités du passage, il fallait encore tracer l'axe du souterrain de manière que les galeries ouvertes aux deux extrémités vinsent concorder au même point. Cette opération a exigé les instruments les plus délicats, employés dans les circonstances les plus difficiles²¹. J'extrais le passage suivant d'une notice inédite dont

(19) Recueil méthodique.

(20) Évidemment aussi à la persévérance de M. de Lesseps et au talent de nos ingénieurs, à la tête desquels se trouve mon ancien camarade et ami, Voisin.

(21) Voir à ce sujet, et pour tous les détails techniques, *les Conférences sur le tunnel des Alpes, faites à l'École impériale des ponts et chaussées*, par M. Conte, ingénieur en chef de la Savoie, brochure in-folio, lithographiée 1864.

▶ je dois la communication à l'obligeance d'un ami qui a visité récemment ce grand travail²².

"L'entrée de *Fourneaux*²³ servant de point de départ, on jalonna une ligne dans la direction de celle de *Bardonnèche*, et après plusieurs essais, on parvint à l'atteindre ; mais ce n'était qu'une opération préliminaire qui ne comportait pas une précision suffisante. Un repère fixe en maçonnerie fut installé à 2 949 mètres d'altitude, au point où la ligne tracée coupait de faite de la montagne ; on y transporta un théodolite pourvu d'une excellente lunette astronomique, et de ce point culminant on redescendit, en posant de distance en distance des repères fixes, jusqu'au fond des vallées et même jusqu'aux flancs opposés où l'on établit des observatoires dans le prolongement exact du souterrain. Dans ces observatoires on a fixé, d'une manière invariable, des lunettes que l'on dirige alternativement vers les repères du faite et vers un signal de feu dans le souterrain. On vérifie ainsi, tous les deux ou trois mois, la marche du travail pour s'assurer qu'il n'y a aucune déviation latérale. Il est intéressant de rechercher le degré d'exactitude que comportent les observations et les instruments employés.

Le théodolite transporté au faite des Alpes permettait de mesurer les angles à cinq secondes près ; si cette erreur maximum a été commise, l'axe formerait une ligne brisée au milieu de sa longueur, donnant à l'une de ses extrémités une déviation de 29 centimètres. Telle est du moins l'évaluation des ingénieurs chargés de cette importante opération.

Une erreur de 20 centimètres a également pu être commise dans la fixation de chacun des observatoires. En somme, on peut admettre que les deux attaques des travaux se rencontreront au centre de la montagne avec une erreur de 40 à 50 centimètres tout au plus.

La longueur du tunnel déduite de deux séries distinctes de triangles dont les angles ont été mesurés avec le plus grand soin est de 12 220 mètres."

Enfin le nivellement, d'une exécution plus difficile encore, a fixé l'entrée sur le versant français à l'altitude de 1203 mètres au-dessus du niveau de la mer, et la sortie du côté piémontais à 1335 mètres, ce qui fait une différence de 132 mètres sur laquelle il peut également y avoir une légère erreur.

Ces deux exemples suffisent, à coup sûr, pour prouver la nécessité d'une recherche de précision toujours croissante. Fort heureusement, cette précision s'introduit peu à peu dans les habitudes, et loin d'entraîner des pertes de temps, elle contribue, comme j'aurai l'occasion de le montrer, à accélérer les opérations, dans la plupart des circonstances.

J'ai cherché, je cherche encore, Messieurs, à aller au-devant de toutes les objections. Ainsi, ne pourrait-on pas me dire qu'on ne perce pas tous les jours le Mont-Cenis²⁴ ou l'Isthme de Suez, et que ce sont là des travaux qu'on ne recommence plus ; que dès lors il était bien inutile d'aller choisir des cas aussi extraordinaires, enfin que j'ai peut-être une tendance à donner à mon enseignement un caractère différent de celui qu'il doit avoir.

Je m'empresse de rassurer ceux qui pourraient avoir une pareille crainte, en m'engageant à n'employer que des démonstrations très élémentaires dans la forme, mais sans

perdre de vue le but que tous, ingénieurs, artistes, opérateurs, nous devons nous efforcer d'atteindre, le perfectionnement des instruments et des méthodes.

Quant aux grands travaux accomplis ou en train de s'accomplir et que l'on pourrait être tenté de considérer comme le suprême effort de l'homme aux prises avec la nature, qu'on veuille bien me permettre de n'en rien croire et de me ranger à l'avis tout différent de l'une des plus belles intelligences de ce siècle.

"Dans chaque époque, dit M. de Humboldt²⁵, il y a des esprits faibles disposés à croire complaisamment que l'humanité est arrivée à l'apogée de son développement intellectuel. Ils oublient que par l'effet de la liaison intime qui unit tous les phénomènes de la nature, le champ s'élargit à mesure que l'on avance, et que la limite qui le borde à l'horizon recule incessamment devant l'observateur."

Tâchons, Messieurs, sans tomber dans aucune espèce d'exagération, de bien nous pénétrer du sens de ces grandes vérités dont chaque jour nous apporte l'éclatante confirmation.

Dans les premières leçons qui vont suivre, j'exposerai l'ensemble des opérations qui servent à assurer l'exactitude d'un lever topographique de quelque étendue. Je décrirai à cette occasion les organes des instruments de précision, les principes de la construction et l'usage de ces instruments.

Je m'occuperai ensuite des opérations de détail, en faisant connaître les principales méthodes suivies dans les différents services publics.

J'insisterai particulièrement sur les procédés de nivellement, sur les propriétés des courbes de niveau et sur les nombreuses et utiles applications que l'on en peut faire.

Je donnerai enfin une idée générale des méthodes expéditives de lever et de nivellement qui comportent moins de précision que les précédentes, mais qui peuvent cependant rendre de grands services dans une foule de circonstances, notamment dans les expéditions lointaines ou dans les excursions rapides à travers un pays dont la topographie est peu connue, dans les études d'avant-projets, etc.

Je ne demanderai à mes auditeurs, pour toute cette partie du cours, que des notions élémentaires de géométrie et de trigonométrie, notions que je rappellerai au besoin. Je remettrai aux dernières leçons, et s'il me reste le temps nécessaire, les détails relatifs aux calculs logarithmiques. ●

(22) Cette notice a été publiée depuis peu dans le *Correspondant*.

(23) Fourneaux et Bardonnèche sont les noms des deux villages les plus voisins de chacune des extrémités du tunnel, l'un en France, l'autre en Italie.

(24) Je me conforme ici à l'usage, mais il est bon de rappeler que le célèbre tunnel est à 25 kilomètres du mont Cenis, du côté du Nord, et qu'il passe en réalité sous le mont Fréjus. M. Conte, dans ses conférences, l'a désigné sous le nom de tunnel des Alpes, qui est celui que les Italiens lui ont donné (Traforo delle Alpe).

(25) *Cosmos*, tome II, page 358 de l'édition française. Traduction de M. Galusky.