

Bibliothèque numérique

medic@

Marey, Etienne-Jules. - La méthode graphique et les sciences expérimentales

In : *Revue scientifique*, 1897,
XXXIV, 161-166



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)
Adresse permanente : <http://www.biium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?marey192>

REVUE SCIENTIFIQUE

(REVUE ROSE)

DIRECTEUR : M. CHARLES RICHET

NUMÉRO 6.

4^e SÉRIE. — TOME VIII

7 AOUT 1897.

504.

CONGRÈS SCIENTIFIQUES

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES.
CONGRÈS DE SAINT-ÉTIENNE (1897).

M. MAREY, de l'Institut.

La méthode graphique et les sciences expérimentales.

Mesdames et Messieurs,

En conviant notre Association à venir cette année tenir son Congrès dans votre ville, vous vous êtes souvenus des liens étroits qui unissent l'industrie à la science, que votre cordial accueil ne pourra que resserrer.

La science, comme l'industrie, ne progresse que par le perfectionnement des méthodes, des procédés et des instruments qu'elle emploie; son histoire est celle du développement de son outillage.

Et cela n'est pas vrai seulement pour les sciences concrètes, pour celles qui s'attachent à connaître les propriétés de la matière et les forces qui la régissent, les sciences abstraites ont aussi leurs instruments: en effet, l'esprit s'épuiserait en efforts excessifs s'il ne se créait à lui-même des moyens d'accroître sa puissance en simplifiant les opérations intellectuelles. Sans parler des machines à calculer qui rendent aujourd'hui de si grands services, on peut dire que l'algèbre et l'analyse sont de véritables instruments pour les mathématiciens.

Dans l'antiquité, la science consistait à contempler la nature et à raisonner sur l'essence des phénomènes; Aristote enseignait que la science par excellence est

celle des principes, que le syllogisme est la forme propre du travail de l'esprit et qu'il conduit, par l'induction ou par la déduction, à la connaissance de toute vérité. Cette doctrine a régné pendant plus de vingt siècles; on la retrouve encore aujourd'hui dans certains milieux philosophique et politiques; elle a donné la mesure de son peu de valeur par sa stérilité même.

Tout autrement procède l'École expérimentale qui, renonçant à la recherche incertaine de principes sur lesquels on a édifié tant de systèmes éphémères, ne s'inquiète que des faits et de leurs rapports réciproques, se déifie du témoignage des sens, soumet ses hypothèses à de sévères contrôles, et marche d'un pas assuré vers un progrès indéfini.

L'expérimentateur, disons-nous, doit se dénier du témoignage de ses sens. C'est qu'en effet, si nos sens sont l'unique voie par laquelle nous arrivent les vérités objectives, c'est par eux aussi que nous viennent toutes les illusions et toutes les erreurs; leur portée est restreinte et leur témoignage n'est valable que dans certaines limites qu'il faut bien déterminer.

Nos yeux ne nous apprennent rien sur la distance des astres, nos oreilles sur la nature vibratoire des sons, notre toucher sur le poids de l'atmosphère qui nous environne; il a fallu que notre esprit conçut d'ingénieux artifices pour contraindre nos sens à se corriger eux-mêmes et à distinguer les apparences des réalités.

Faut-il regretter que nos sens ne nous livrent pas les secrets de l'univers? S'il en était autrement, et si la vérité était du domaine commun, la vie, pour certains d'entre nous, serait sans attrait et sans but,

34^e ANNÉE. — 4^e SÉRIE, t. VIII.

6 S.

privée de son plus noble mobile : la recherche du vrai qui nous passionne et qui nous grandit.

Laissez-moi redescendre de ces généralités un peu vagues dans un domaine qui m'est plus familier. J'espère justifier ma thèse en vous parlant de la physiologie, en vous montrant les progrès récents de cette science et le rôle prépondérant de son outillage dans son développement rapide.

Quelques mots d'abord du physiologiste lui-même. On se le représente d'ordinaire comme un être barbare, couvert de sang, insensible aux douleurs d'animaux qu'il immole et, suivant une formule devenue classique, cherchant dans la mort les secrets de la vie. Si jamais pareil portrait a été fait d'après nature, il n'est plus guère ressemblant aujourd'hui. Entrez dans le laboratoire d'un physiologiste, vous y verrez manier les instruments délicats de la physique ou de la chimie, analyser des gaz, mesurer des pressions, des calories, du travail mécanique, enregistrer ou photographier des mouvements. Et si les nécessités de l'étude exigent qu'on fasse subir à un animal quelque opération sanglante, la douleur, du moins, lui est presque toujours épargnée.

La vivisection, du reste, après avoir été le seul mode d'investigation dont le physiologiste disposait, a fait place à des méthodes plus délicates et plus puissantes. De Galien à Claude Bernard l'emploi du scalpel a fait faire bien des découvertes, mais il n'a donné sur les fonctions de la vie que des notions en quelque sorte préliminaires, notions que l'emploi des instruments de précision devait compléter de nos jours.

Prenons, par exemple, la circulation du sang que Harvey, comme on sait, découvrit en mettant à nu le cœur d'animaux vivants. Combinant ses observations personnelles à celles de ses devanciers, Harvey comprit et démontra que le sang parcourt dans l'organisme un double circuit, dont les valvules du cœur et celles des veines commandent la direction. Cette grande découverte, qui révolutionna la physiologie et la médecine et qui immortalisa le nom de son auteur, la vivisection ne doit pas la revendiquer tout entière. Il a fallu tout le génie de Harvey pour interpréter la structure anatomique de l'appareil circulatoire, pour trouver la signification véritable d'observations faites sur l'homme et pour en induire la nécessité du mouvement circulaire du sang. L'esprit de Harvey était préparé par de longues méditations, et sa théorie déjà formée, lorsque la vivisection est venue lui apporter son indispensable contrôle.

Mais il ne faut pas croire que mettre à nu les organes cachés et les soumettre à la vue et au toucher ce soit révéler à l'observateur tous les mystères de la vie. Nos sens ne sont pas aptes à apprécier les variations rapides de température, de volume, de con-

sistance des organes, changements qui accompagnent leur fonction, mais qui, trop faibles ou trop complexes, nous échappent presque entièrement. C'est aux instrument de mesure qu'il faut recourir pour rendre sensibles ces diverses manifestations de la vie.

Rien ne sera plus propre à montrer l'importance des instruments en physiologie que d'exposer sommairement la part qui leur revient dans le développement de nos connaissances sur la circulation du sang.

Harvey a démontré ce qu'on pourrait appeler l'itinéraire du sang dans l'organisme. D'autres physiologistes, appliquant les méthodes et l'outillage du physicien, ont déterminé les caractères de cette circulation ; ils ont défini l'action des différentes cavités du cœur et la succession de leurs mouvements, la force avec laquelle le sang est lancé dans les artères, la pression sous laquelle il y circule, sa vitesse aux différents points de son parcours, sa température en divers lieux et le rôle du courant sanguin pour échauffer ou refroidir les diverses parties du corps. Les noms de Hales, de Poiseuille, de Magendie, de Cl. Bernard, de Ludwig, de Vierordt rappellent d'importantes découvertes qui ont rattaché les mouvements du sang aux lois ordinaires de l'hydrodynamique. C'est à l'emploi des appareils inscripteurs ou enregistreurs que sont dues nos connaissances les plus précises sur les phénomènes de la vie.

Tout le monde connaît le principe de ces instruments dont le baromètre inscripteur est un des types les plus simples. Sur la branche ouverte d'un baromètre, un flotteur pose sur le mercure, s'élève ou descend avec lui ; or ce flotteur porte un style qui, dans ses mouvements alternatifs, inscrit sur un papier qui se déroule, ce qu'on appelle la courbe des variations barométriques. Tout phénomène qui peut produire le mouvement d'un style est susceptible d'être inscrit sous forme de courbe. C'est ainsi que les physiologistes, au moyen d'instruments appropriés, tracent la courbe du pouls, de la pulsation du cœur, des changements de volume des organes, de la pression et de la vitesse du sang, des mouvements respiratoires, des contractions musculaires, etc.

Certains phénomènes qui ne sont pas des mouvements peuvent cependant, au moyen d'artifices, se prêter à une étude graphique. Ainsi, la chaleur, en dilatant les solides, les liquides ou les gaz, peut imprimer un mouvement au style traceur ; sur ce principe est fondée la construction des thermographes. Il en est de même pour l'électricité, que certains appareils électro-magnétiques inscrivent avec toutes leurs phases mesurées en volts et en ampères.

La puissance de ces appareils semble illimitée et il serait téméraire d'annoncer qu'un phénomène

échappera toujours à nos moyens d'investigation. Le célèbre physiogiste Jean Müller commis jadis cette imprudence, en disant que jamais on ne pourra connaître la vitesse de l'agent nerveux, c'est-à-dire de cet agent inconnu qui circule dans les nerfs, soit pour transmettre à notre cerveau les impressions venues du dehors, soit pour envoyer à nos muscles les ordres de la volonté. Dix ans à peine s'étaient écoulés depuis cette affirmation décourageante quand Helmholtz, recourant aux procédés chronographiques usités chez les artilleurs pour mesurer la vitesse des projectiles, montra que l'agent nerveux moteur se transporte dans les nerfs avec une vitesse moyenne de 10 mètres par seconde. Depuis lors, ces mensurations sont devenues expériences courantes; on a même mesuré la vitesse de l'agent nerveux dans la moelle et dans les diverses couches de l'écorce cérébrale; on a déterminé les changements que la chaleur ou le froid font subir à cette vitesse, et les effets que produisent sur elle certaines substances introduites dans l'organisme.

Pendant longtemps, pour inscrire un phénomène, il fut besoin d'établir un intime contact entre l'organe exploré et l'instrument inscripteur; on devait même emprunter au mouvement observé une partie de sa force motrice pour actionner le style traceur. Cette nécessité entraînait parfois de grandes difficultés dans l'établissement des expériences : il fallait des dispositifs compliqués pour relier, par exemple, chacun des pieds d'un cheval à l'appareil qui en devait inscrire les appuis et levés successifs. La difficulté était plus grande encore quand il s'agissait de transmettre à l'appareil inscripteur les mouvements de l'aile d'un oiseau avec ses phases d'élévation et d'abaissement et les diverses inclinaisons de sa surface pendant le vol.

L'emploi de la photographie a levé toutes ces difficultés, à ce point qu'on peut aisément déterminer tous les mouvements qu'un animal exécute, soit qu'il coure, qu'il nage ou qu'il vole. J'ai imaginé, à cet effet, plusieurs méthodes différentes; je ne rappellerai que la plus générale dans ses applications, la chronophotographie, sur pellicule mobile qui permet de projeter sur un écran des images en mouvement.

Tout le monde connaît deux applications de cette méthode qui ont eu un grand succès de curiosité, le kinétoscope d'Edison et le cinématographe de MM. Lumière. Avec l'un ou l'autre de ces instruments, l'œil voit se succéder une série d'images photographiques, à des intervalles de temps si courts qu'il conserve encore l'impression de chaque image quand apparaît la suivante, de sorte que la discontinuité des impressions visuelles n'existe pas. Mais ces images ont été prises à des intervalles de temps égaux

sur une longue bande pelliculaire, pendant que le sujet exécutait des mouvements : en repassant devant de l'œil, ces images montrent le sujet dans les attitudes toujours changeantes qui sont celles du mouvement lui-même.

Sous cette forme synthétique, la chronophotographie ne nous apprend rien sur la nature du mouvement dont elle reproduit cependant l'apparence pour nos yeux. Si elle nous montre un oiseau qui vole, nous avons la même incertitude sur la trajectoire de ses ailes que si nous regardions voler un oiseau véritable; et pourtant les images contiennent, bien fidèlement enregistrées, toutes les positions que chaque point du corps ou des ailes a occupées dans l'espace à des instants successifs, c'est-à-dire tout ce qui est nécessaire pour analyser ce mouvement au point de vue cinématique, pour en tracer l'épure géométrique. C'est en cela que consisterait la véritable application scientifique de la chronophotographie. Or cette analyse est possible par un procédé fort simple qui n'exige qu'un peu de patience.

On projette sur une feuille de papier l'image agrandie d'une première attitude de l'oiseau et l'on pointe sur cette feuille la position d'un ou de plusieurs points de l'aile dont on veut connaître le mouvement. On passe ensuite à une seconde image qu'on projette sur la même feuille, en se guidant, pour la superposer à la première, sur des points de repère analogues à ceux qui, dans l'impression en couleur, servent à superposer exactement les diverses planches coloriées. Sur cette seconde image, les points de l'aile que l'on considère n'occupent pas la même position que sur la première ; on trace ces nouvelles positions, puis on procède de même pour la série des images successives. On obtient de la sorte les trajectoires par points des parties de l'aile dont on voulait connaître les déplacements successifs. Ces déplacements, dans leur ensemble, forment une ligne interrompue dont tous les points, inégalement espacés sur le papier, correspondent à des intervalles de temps égaux. On connaît, d'après cela, non seulement la trajectoire, mais les vitesses de l'aile en ses différents points, c'est-à-dire tout ce qui est nécessaire pour apprécier exactement le mouvement qu'on voulait connaître.

Ainsi, la notion scientifique réellement importante sur la nature du mouvement se trouvait contenue dans les images chronophotographiques, mais elle y était cachée et on ne l'en pouvait dégager ni par la comparaison trop difficile des images dissociées, ni par la reconstitution de ces images dans une synthèse rapide qui reproduisait les impressions confuses de la vision directe. La méthode des projections successives lève toute difficulté ; elle permet d'affirmer qu'il n'est pas de mouvement, si rapide

ou si compliqué soit-il, qu'on ne puisse analyser exactement s'il peut être fixé par la chronophotographie.

Un fait exactement de même ordre, se produit dans l'analyse des sons au moyen du phonographe. On connaît le principe de ce merveilleux instrument d'Edison. Une membrane que fait vibrer le son de la voix ou celui d'un instrument porte une petite pointe de métal au contact de laquelle tourne un cylindre de cire. Chaque vibration de la voix produit à la surface du cylindre une petite entaille; tant que le son se prolonge, ces entailles se multiplient en gravant autour du cylindre une longue spirale à fond dentelé. Qu'on fasse maintenant repasser sur cette spirale un appareil analogue muni, lui aussi, d'une membrane et d'une pointe; ce sera cette fois le cylindre qui commandera les vibrations de la membrane et lui fera rendre un son pareil à celui qui se produisait tout à l'heure. La parole, le chant, le son des instruments sont ainsi gravés sur le cylindre, puis restitués par lui avec une fidélité saisissante.

La restitution exacte des sons montre bien que le cylindre en avait conservé tous les éléments sous forme d'entailles dont chacune correspondait à une vibration sonore. Mais l'audition ne nous apprend rien sur le caractère de ces vibrations; elle nous restitue l'impression auditive avec toute sa complexité.

Un physiologiste allemand, L. Hermann, de Koenigsberg, entreprit de relever sur les entailles mêmes du cylindre le caractère des vibrations sonores. Par un ingénieux artifice, il transforma d'abord les entailles gravées sur la cire en une courbe tracée sur du papier. Cette courbe reproduisait fidèlement le profil de toutes ces dentelles en les amplifiant beaucoup. Alors, au moyen d'une méthode simplifiée de calcul dont il est l'inventeur, Hermann réussit à extraire, une à une, de la courbe compliquée du phonographe, les courbes sinusoïdales de chacun des harmoniques dont elle était formée.

Ainsi le phénomène le plus subtil qu'on puisse imaginer, ces milliers de vibrations de l'air que produit à chaque seconde la voix humaine, le nombre et la période des harmoniques auxquels est dû son timbre, tous ces actes, si rapides et si compliqués, l'instrument les saisit pour ainsi dire au vol, les fixe et permet de les soumettre à l'analyse mathématique. Cet exemple m'a paru bien propre à montrer l'admirable puissance de la méthode graphique.

Mon enthousiasme pour cette méthode date, du reste, de loin. C'était au temps de ma jeunesse; en 1859, les premières inscriptions de phénomène physiologiques venaient d'être réalisées en Allemagne; il me sembla que ce mode d'inscription devait être généralisé; qu'il était l'expression naturelle des phénomènes, et qu'il traduisait clairement ce que le

langage ne peut rendre. Ainsi, le pouls d'une artère que notre doigt ne perçoit que comme un simple choc, donne, quand on l'inscrit, une courbe riche en détails qui renseignent sur les variations du mouvement du sang dans les vaisseaux.

La courbe de la pulsation du cœur n'est pas moins instructive relativement à la fonction de cet organe.

Aussi, depuis bien longtemps, ai-je consacré tous mes efforts à développer la méthode graphique, à la perfectionner et à créer des instruments nouveaux qui forment déjà une longue série, depuis le sphygmographe, qui inscrit le pouls d'une artère, jusqu'au chronophotographe, qui analyse, ainsi qu'on l'a vu, les mouvements les plus rapides et les plus compliqués.

J'ai eu la satisfaction de voir entrer dans cette voie non seulement mes élèves, mais les physiologistes de tous pays. Notre outillage scientifique s'est rapidement développé, et les découvertes se sont succédé en grand nombre. Chaque jour, nous voyons se restreindre le nombre des phénomènes inaccessibles à nos investigations. Tout récemment, MM. Roux et Balthazard, associant d'une manière fort ingénieuse l'emploi des rayons Röntgen à la chronophotographie ont, dit-on, réussi à rendre saisissables, à l'intérieur du corps, les mouvements de l'estomac, à en inscrire les phases et à en démontrer le mécanisme.

Il me semble qu'après l'exposé que je viens de faire, il n'y ait plus qu'à se réjouir de l'heureux développement de la méthode graphique et à applaudir d'avance à ses succès futurs. Et pourtant une menace se montre à l'horizon. L'inscription des phénomènes sous la forme d'une courbe est en ce moment livrée à l'arbitraire. Certains physiologistes ont imaginé des dispositions nouvelles sans se préoccuper assez des conditions très strictes en dehors desquelles un instrument cesse de donner des indications fidèles; bien plus, des ouvriers, sans la moindre notion scientifique, se sont fait inventeurs d'instruments de physiologie. La concurrence commerciale a suscité à chaque instrument des contrefaçons sans nombre. Il en est résulté que, pour l'inscription du pouls, par exemple, il y a plus de vingt sphygmographes différents, dont deux ou trois à peine donnent des tracés semblables quand on les applique sur l'artère d'un même individu.

Imaginez ce que serait la chimie si chacun faisait ses pesées avec un système de poids arbitraire ou avec des balances inexactes; ce que serait la physique s'il plaisait à des constructeurs de graduer les thermomètres en degrés inégaux et sans que la comparaison fût possible entre deux instruments. C'est ce qui tend à se produire en ce moment pour la physiologie. Un même phénomène, inscrit avec deux instruments différents, donne parfois des courbes tellement dissemblables que le lecteur est désorienté,

et si l'on continuait dans cette voie, la méthode elle-même serait bientôt entièrement discréditée.

Signaler ce danger, c'est en indiquer le remède : il consiste à établir une entente entre les physiologistes pour le contrôle des instruments et pour l'unification des mesures employées. Cette nécessité, les autres sciences l'ont éprouvée ; les plus précises d'entre elles ne doivent cette supériorité qu'au soin jaloux qu'elles apportent à l'unification de leurs mesures et au contrôle de leurs instruments.

Il existe près de Paris, au pavillon de Breteuil, un établissement destiné à la conservation des étalons de mesure et à la création d'étalons identiques pour tous les pays du monde. Là résident des physiciens éminents, qui perfectionnent sans cesse les moyens de mesure et de comparaison des unités de longueur de poids et de température ; là se rassemblent chaque année des commissaires nommés par les principaux États qui viennent contrôler les travaux effectués et tracer le programme de ceux qui restent à faire.

Il y a deux ans, j'eus l'honneur de représenter, comme président, l'Académie des sciences dans cette commission ; je fus frappé de l'intérêt et de la haute portée de cette institution internationale.

C'est avec un respect presque religieux que l'étaalon métrique, fait d'un métal inaltérable, est conservé dans une triple enveloppe, à l'abri des vibrations du sol et des changements de la température. Les divisions qu'il porte ont été tracées par les procédés les plus parfaits que la science possède, et cette même précision s'applique à la création des étalons nouveaux et à celle des unités de poids ou de capacité qui dérivent du mètre. Il semblerait au profane que tant de soins minutieux, tant de formalités presque hiératiques soient excessifs. Il n'en est rien ; un seul fait en a donné la preuve incontestable. Divers pays de l'Europe avaient entrepris, à grands frais, une vaste triangulation dont les éléments devaient se raccorder entre eux. Chaque nation avait opéré avec un soin minutieux, mais en se servant de ses unités de mesure ; l'une employant le mètre, l'autre la toise, celle-ci le yard. Or quand on voulut rassembler ces mesures géodésiques, on vit qu'elles ne concordaient point entre elles. Cela tenait à ce que la comparaison des unités de longueur des diverses nations n'avait pas été faite avec une précision suffisante. Cette comparaison fut reprise par la commission du mètre, et, grâce à la perfection de ces nouvelles mesures, le raccordement des divers réseaux européens se fit d'une manière parfaite.

Nous sommes bien loin d'une telle précision dans nos mesures en physiologie ; cette rigueur, heureusement, n'y est pas nécessaire. Mais du moins il est indispensable d'échapper à une confusion qui va jusqu'à fausser les résultats des expériences, qui

fait qu'un travailleur, au bout d'une tâche laborieuse, a non seulement perdu son temps et sa peine, mais a introduit parfois dans la science des erreurs d'autant plus dangereuses que la méthode employée semblait en exclure la possibilité.

Une entente des physiologistes est indispensable, et cette entente doit être internationale. Les divers États du monde en comprendront-ils la nécessité ? Apporteront-ils à cette œuvre leur concours moral et matériel. Il serait peut-être présomptueux de s'y attendre. Mais nous avons le devoir de compter sur nous-mêmes et sur l'initiative privée. Déjà plusieurs de mes collègues sont entrés dans mes vues ; ils porteront cette question devant le prochain Congrès des physiologistes. Je n'ai pas voulu attendre cette époque ; en présence d'un danger pressant, on ne saurait trop tôt pousser le cri d'alarme.

Cette session de l'Association française m'autorise à parler devant un auditoire éclairé et sympathique, devant des hommes qui cultivent les différentes branches de la science et qui me prêteront, je l'espère, leur appui, si j'arrive à les convaincre. Bientôt des mesures seront prises pour rétablir l'unité et la précision dans l'emploi d'une méthode qui m'a paru si importante que je lui ai consacré ma vie.

Cette revue sommaire de ce que la physiologie doit au perfectionnement de son outillage ne vous rappelle-t-elle pas ce qui s'est passé pour l'industrie et ce qui lui a donné un si bel essor ? Ce riche bassin de la Loire où l'activité industrielle est si intense et si variée dans ses formes, qui produit aussi bien les plus délicats tissus de soie que les plus formidables pièces de métallurgie, n'est-ce pas à son outillage qu'il doit sa richesse et sa célébrité ?

En face de ses œuvres, l'homme semble petit, car ni la force de ses muscles ni l'adresse de ses mains ne seraient capables de produire les merveilles de puissance ou de délicatesse que réalisent les machines ; mais qu'il est grand par son intelligence ! car c'est lui qui a formé l'admirable outillage d'où sortent tant de chefs-d'œuvre.

Avec une production toujours croissante, l'industrie voit s'accroître la perfection de ses produits. Depuis l'invention du métier à la Jacquart et grâce aux perfectionnements dans la conduite de ces métiers, Saint-Étienne fabrique, paraît-il, trente fois plus de rubans qu'autrefois, et avec quelle élégance et quelle variété dans la composition des dessins !

Nos ingénieurs métallurgiques ont transformé le travail du fer et de l'acier. Ce dernier métal, autrefois difficile et coûteux à produire, est versé à torrents par le convertisseur Bessemer. Grâce à ce merveilleux instrument, les minéraux phosphoreux eux-mêmes, autrefois sans usages, sont devenus aptes à

la fabrication de l'acier. Il a suffi de changer la doublure du convertisseur en substituant la dolomie à l'argile pour séparer de l'acier les scories phosphoreuses qui deviennent pour l'agriculture un précieux engrais.

Le travail de la forge s'est mis au niveau des besoins d'une production toujours croissante. Le marteau hydraulique, dont on admirait déjà la puissance lorsqu'il permettait de forger un lingot d'une centaine de kilogrammes, a fait place au marteau-pilon et aux presses de forges, véritables outils de géants qui façonnent des pièces de 60 000 à 80 000 kilogrammes. Des ponts roulants font circuler ces énormes masses qui vont se soumettre à l'action des puissants outils destinés à leur donner leur forme et à en faire des pièces de haute précision.

Quant au travail du mineur, il n'est pas moins perfectionné. Au XIV^e siècle, on entreprit de creuser de main d'homme une galerie de 15 kilomètres ; on mit trois cents ans à l'achever ; or cette galerie donnait tout juste passage à un seul ouvrier. De nos jours une galerie aussi longue a été percée en huit ans, à travers le Saint-Gothard et sur une largeur telle que les trains de chemin de fer y circulent sur deux voies.

Dans le forage des mines, les difficultés, autrefois insurmontables, n'arrêtent plus l'ingénieur. Rencontre-t-on une couche aquifère, la machine frigorifique transforme en glaçons les eaux qui menaçaient d'inonder les travaux, et la perforation poursuit son œuvre comme en pleine roche.

Mais nous voici dans les galeries en exploitation ; ici un terrible danger menace l'ouvrier : le grisou qui fait des victimes par centaines. Contre un pareil ennemi tout le monde s'est ligué, la lampe de Dawy, puis celle de Mueseler et celle de Marsault ont rendu exploitables les mines les plus grisouteuses. Les explosifs de sûreté de Mallard, les puissants appareils de ventilation de Rateau et Mortier ont réduit encore les dangers du travail. Et sans cesse l'esprit des inventeurs s'ingénie à trouver les moyens d'accroître la sécurité du mineur et d'améliorer son hygiène.

Que nous sommes loin des horribles conditions que j'ai pu voir il y a dix ans à peine dans les mines de soufre de Sicile ! Là-bas le mineur est un enfant de douze à seize ans, qui porte au-devant du front une petite lampe allumée. Il descend en courant, pieds nus, dans une galerie obscure, rapide, raboteuse jusqu'au fond de la mine. Là, sur ses maigres épaules, on attache un bloc de minerai de 30 à 40 kilogrammes, et l'enfant remonte par une autre galerie, en gémissant et en poussant parfois des cris de douleur. Est-ce la charge trop lourde qui lui arrache ces plaintes et ces cris ? C'est aussi la férocité d'un gardien qui, embusqué dans une sorte de niche

stimule à coups de lanières la marche alourdie du pauvre enfant. Ils sortent ainsi en longue file, hale-tants et couverts de sueur et vont jeter au fourneau les blocs de minerai qu'ils rapportent du fond. Pendant un instant du moins vont-ils marcher à l'air libre ? Erreur. Dans ces affreux fourneaux le soufre lui-même sert de combustible, et c'est dans une atmosphère irrespirable, si le vent souffle mal, que les pauvres petits achèvent le transport de leur charge avant de redescendre à la mine.

Aucun spectacle ne peut donner une idée plus affreuse de la souffrance humaine. L'industrie de notre pays n'est heureusement pas déshonorée par une férocité semblable.

Quels contrastes avec les tendances de notre grande industrie, où les conditions du travail s'améliorent chaque jour et s'amélioreront sans cesse !

On reprochait aux grands ateliers de tissage de relâcher les liens de la famille en tenant pendant tout le jour l'homme et la femme éloignés l'un de l'autre et de leurs enfants. Or voilà que la bienfaisante électricité vient remédier à ce mal. Les grands ateliers tendent à être remplacés par le tissage à domicile. Des milliers de métiers à rubans fonctionnent déjà dans les familles ouvrières, à Saint-Étienne, à Firminy, à Saint-Just, à Saint-Galmier, à la Fouillouse, etc. Plus de 100 kilomètres de fils aériens transmettent et répartissent dans toutes les directions une force motrice de 600 chevaux.

Mais pour maintenir sa supériorité, l'industrie doit veiller sans cesse et perfectionner encore ce qui déjà semble parfait. Un jeune ingénieur plein de zèle, M. Frémont, a entrepris de doter la France d'un laboratoire de mécanique où l'on puisse contrôler les différents outils, corriger leurs défauts et améliorer leur fonction. Il a déjà créé d'admirables machines qui mesurent, avec une précision jusqu'ici inconnue, la qualité des métaux d'après la courbe des efforts nécessaires pour les plier, les poinçonner ou les cisailier. Une courbe arrondie, sans ressauts ni inflexions brusques, annonce la parfaite homogénéité du métal ; mais la moindre impureté en altère les contours.

Voilà que je parle encore de la méthode graphique excusez-moi, mais je voulais signaler à votre sympathie un intéressant effort de l'initiative privée.

Je termine en vous exprimant toute mon admiration pour l'état si florissant de l'industrie de votre belle cité. L'honneur de tous ces progrès revient aux savants ingénieurs qui ont créé l'outillage moderne, aux chefs d'usines qui ont compris l'importance de ces innovations et les ont largement appliquées. Les uns comme les autres doivent trouver une bien douce récompense dans la prospérité dont ils ont doté leur pays.