

CHAPITRE VI

PHONATION. — AUDITION

776. **Phonation.** — Les questions qui se rapportent à la phonation et à l'audition sont plutôt du domaine de la physiologie que de celui de la physique; aussi nous ne nous proposons pas de traiter ici le sujet complètement, mais seulement d'indiquer sommairement comment les données principales qui s'y rattachent sont liées aux lois physiques que nous avons signalées.

On désigne sous le nom de *phonation* l'ensemble des phénomènes qui, chez l'homme et les animaux, concourent à la formation de la voix et de la parole. Nous ne nous occuperons cependant pas des actions qui amènent la production, dans la trachée-artère, d'un courant d'air dont l'existence est nécessaire à la production de la voix. Ce courant d'air est produit par la contraction de la cage thoracique.

L'organe essentiel de la phonation est le larynx; les cavités buccale et nasale jouent également un rôle important dans la production des sons.

Le larynx est un conduit cartilagineux à pièces multiples et mobiles par lequel s'établit la communication aérienne entre l'atmosphère et la trachée-artère. Situé sur la ligne médiane, il est constitué par une charpente cartilagineuse dont les diverses pièces sont réunies par des ligaments et unies par des muscles.

En nous arrêtant seulement aux parties qui jouent un rôle dans la phonation, nous signalerons les parties suivantes dans le larynx :

Le cartilage cricoïde est en forme d'anneau, étroit en avant, beaucoup plus large en arrière : il a été comparé à une bague dont le chaton serait en arrière; il repose sur le premier anneau de la trachée-artère auquel il est relié par une membrane.

Le cartilage thyroïde occupe la partie antérieure et supérieure du larynx : il est comme formé par deux lames quadrilatères qui sont soudées en se réunissant à angle aigu par leur bord antérieur; il est relié en avant au cartilage cricoïde par une membrane qui forme la partie antérieure du canal traversé par l'air. Ce cartilage est articulé par deux facettes latérales avec le cricoïde.

Les cartilages aryténoïdes, situés en arrière, au nombre de deux, ont une forme rappelant un peu celle d'une petite pyramide triangulaire. Chacun d'eux est articulé avec le cricoïde.

Des ligaments, au nombre de deux de chaque côté, unissent le thyroïde aux aryténoïdes : les deux ligaments inférieurs sont ce qu'on appelle les *cordes vocales* ou *rubans vocaux*; ils laissent entre eux un

intervalle appelé *glotte*. Les ligaments supérieurs, moins importants, sont quelquefois désignés sous le nom de cordes vocales supérieures : ils ne jouent pas un rôle actif dans la phonation.

Des muscles qu'il est inutile d'énumérer existent entre les divers cartilages qu'ils peuvent mouvoir. C'est ainsi que le thyroïde peut prendre un mouvement de bascule qui modifie la tension des cordes vocales; les aryténoïdes peuvent également être portés un peu en arrière, ils peuvent être rapprochés l'un de l'autre; dans le premier cas, le déplacement a pour effet de tendre les cordes vocales et d'ouvrir la glotte à la partie postérieure; dans le second cas, le déplacement ferme la glotte.

La surface interne du larynx est tapissée par une membrane muqueuse qui se continue en bas avec celle de la trachée, en haut avec les muqueuses buccale et pharyngienne.

Les cordes vocales qui adhèrent par leur bord externe avec la paroi, mais qui sont libres par leur bord interne, sont tapissées par la membrane muqueuse.

777. — Comment se produit le son dans la voix, chez l'homme que nous étudierons exclusivement? Comment peuvent se produire les variations qui amènent les différences d'intensité, de hauteur et de timbre? Telles sont les questions qui se posent naturellement.

Dans la production de la voix, un mouvement vibratoire se manifeste dans le larynx; en employant la méthode directe d'enregistrement, M. Rosapelly a pu mettre en évidence les vibrations du larynx tout entier.

Mais, plus spécialement, ce sont les cordes vocales qui vibrent, comme il est possible de s'en assurer par l'examen laryngoscopique pratiqué sur un individu qui parle ou qui chante.

Les vibrations des cordes vocales peuvent se produire toutes les fois qu'un courant d'air traverse le larynx et quel qu'en soit le sens; mais dans les conditions normales, le son n'est produit que pendant l'expiration.

Les cordes vocales tendues constituent des lamelles élastiques placées sur le trajet du courant d'air et laissant entre elles un intervalle qui peut être très réduit, la glotte; ce courant d'air tend à les déplacer en élevant les bords, ce qui augmente la section libre; mais, en vertu de leur élasticité, les cordes vocales écartées de leur position d'équilibre vont tendre à y revenir et dépassant cette position vont se mettre à vibrer; elles produiront donc des variations dans la section de l'ouverture par laquelle l'air s'écoule, c'est-à-dire que l'effet sera le même que celui que nous avons indiqué pour les anches, et que l'air entrera en vibrations. Les cordes vocales jouent donc le rôle d'anches membraneuses et se comportent d'une manière analogue aux lèvres dans la production du son dans les instruments à bocal.

Bien entendu, le son perçu n'est pas celui qui correspondrait aux vibrations des cordes vocales; mais ces vibrations provoquent, entraînent

la mise en mouvement vibratoire de l'air contenu dans la trachée, dans la bouche, dans les fosses nasales, et c'est l'ensemble de ces vibrations qui, arrivant à l'oreille de l'observateur, donne naissance à la sensation auditive.

Il n'est pas douteux que la production du son dans la voix ne soit dû aux vibrations des cordes vocales : il est possible de provoquer des sons, non pas identiques, mais analogues à ceux de la voix en faisant parler un larynx artificiel dans lequel les cordes vocales sont remplacées par deux lamelles de caoutchouc fixées à l'extrémité d'un tube de verre de manière à être maintenues sur le pourtour, mais à avoir le bord médian libre. En produisant le passage d'un courant d'air, on voit vibrer les bords libres, et on entend un son : ce son est un peu rauque, il est vrai ; mais on peut l'adoucir en enveloppant les lamelles de caoutchouc d'une feuille de même substance très mince, doublant les lamelles comme la muqueuse recouvre les ligaments.

D'autre part, on a pu faire vibrer par le passage d'un courant d'air, des larynx frais de porc, et en produisant une tension suffisante des cordes vocales, il y a eu production d'un son.

Enfin, et cette preuve serait suffisante, des observations laryngoscopiques maintes fois répétées ont montré que dans tous les cas où l'une des cordes vocales ou les deux présentaient une altération quelconque, susceptible de gêner ou d'empêcher le mouvement vibratoire, la voix était modifiée plus ou moins profondément, ou même qu'il y avait *aphonie*.

778. — Les variations d'intensité peuvent être assez notables, en général, depuis la parole à peine prononcée, la parole à voix basse (non la parole chuchotée) jusqu'au chant à gorge déployée, suivant l'expression consacrée, jusqu'au cri qui se fait entendre à grande distance.

Ces variations sont liées à l'amplitude plus ou moins grande des vibrations des cordes vocales, et cette amplitude dépend de la force du courant d'air expiré. Le fait est trop connu, trop usuel pour qu'il y ait lieu d'insister.

Il résulte, comme conséquence nécessaire, que pour un individu déterminé, la durée du son qu'il pourra produire par une même expiration sera d'autant moindre que l'intensité du son émis sera plus considérable.

779. — La hauteur des sons produits par l'homme est très variable ; pour un même individu, elle varie entre certaines limites plus ou moins distantes et, en outre, ces limites sont très variables d'un individu à un autre ; c'est ainsi que d'une manière générale on peut dire que pour les femmes et les enfants les limites sont plus aiguës que pour les hommes.

Par exemple, si nous considérons les voix ordinaires, celles sur lesquelles on peut compter dans les chœurs, on trouve que les femmes peuvent donner des sons compris à peu près entre mi_2 correspondant à

320 vibrations pour les contraltos et sol_1 correspondant à 1536 vibrations pour les sopranos. De même pour les voix d'hommes on peut trouver des sons entre les limites suivantes : fa_1 , de 172 vibrations pour les basses jusqu'à la_3 , de 853 vibrations pour les ténors.

L'étendue de la voix est variable d'un individu à l'autre ; en général elle est environ de deux octaves.

Mais ces diverses limites qui correspondent à des moyennes sont fréquemment dépassées ; Tamberlick et plusieurs autres ténors ont donné l'*ut dièze*, de 1088 vibrations, tandis que Fischer faisait entendre le fa_0 de 85 vibrations ; d'un autre côté Mozart raconte que la Bastardella a atteint l'*ut*, de 4096 vibrations.

Comme étendue considérable de la voix, nous citerons Forster dont la voix était comprise entre la_0 de 107 vibrations et la_3 de 853 vibrations ; et la Sessi dont la voix s'étendait d'*ut*, à fa_3 , soit de 256 à 3214 vibrations.

780. — La hauteur des sons de la voix semble en relation avec les modifications qui peuvent se produire dans les cordes vocales, surtout avec la tension, peut-être avec la forme et les dimensions de la glotte. Ces conclusions sont d'accord avec ce que l'on sait des vibrations des membranes en général.

En opérant sur des larynx artificiels disposés de manière à permettre des variations de longueur et de tension des lamelles de caoutchouc on arrive à obtenir des changements notables dans la hauteur du son produit. Muller a obtenu des effets analogues en opérant avec un larynx de porc et produisant des variations dans les cordes vocales à l'aide de tensions produites par des poids.

Nous avons vu que la disposition des cartilages et les actions des muscles ont pour effet de tendre plus ou moins les ligaments cricothyroïdiens ou cordes vocales et de changer l'ouverture de la glotte. C'est à cette modification qu'il faut rattacher les variations de hauteur.

L'influence de la longueur absolument est mise en évidence par ce fait que chez les hommes les cordes vocales ont de 25 à 30 millimètres de longueur, tandis qu'elles n'ont que de 18 à 22 millimètres chez les femmes.

781. — Reste la question de timbre qui doit s'entendre comme nous l'avons dit, aussi bien des caractères désignés vulgairement sous ce nom que des différences qui existent entre les diverses voyelles.

Bien entendu, les considérations générales relatives au timbre sont applicables dans ce cas : les voyelles, par exemple, pour nous occuper des questions les plus importantes, sont caractérisées par des formes diverses de vibrations, comme le montre l'expérience faite directement avec la capsule manométrique et le miroir tournant (741).

De même aussi que pour les autres sons, on peut dire que le timbre d'une voyelle dépend des sons accessoires qui accompagnent le son fonda-

mental, sons accessoires dont l'emploi de résonnateurs permet de vérifier l'existence.

Deux questions se posent alors : quels sont le nombre et la nature des sons accessoires qui caractérisent une voyelle déterminée? Quelle est l'origine de ces sons accessoires?

La recherche des sons accessoires peut se faire à l'aide des résonnateurs ; on peut employer aussi une méthode due à Donders : on dispose la cavité buccale pour prononcer une voyelle déterminée, mais on n'émet pas le son, et on fait passer devant la bouche une série de diapasons vibrant, qu'on entend peu en général ; mais le son est renforcé et s'entend très bien quand il est à l'unisson de celui que peut produire l'air de la cavité buccale.

Nous ne donnerons pas la liste des sons caractéristiques des voyelles : outre que ces résultats appartiennent plutôt à la physiologie, les différents savants qui se sont occupés de la question ne sont pas d'accord sur la hauteur de ces sons.

782. — La cause de la variation de timbre, notamment pour la production des voyelles, est certainement les changements qui se produisent dans la forme et les dimensions de la cavité buccale, de son orifice. Toute la masse d'air qui est en relation avec l'air expiré sortant du larynx doit vibrer plus ou moins complètement, comme d'ailleurs sans doute l'air compris dans la trachée-artère. On sait d'ailleurs que pour produire une voyelle déterminée il faut donner à la langue, aux lèvres, une position absolument caractéristique ; on sait aussi que les fosses nasales interviennent ou non.

La question paraît nettement élucidée pour le timbre des voyelles : il n'en est pas ainsi pour les différences de timbre qui correspondent à ce qu'on appelle la *voix de tête* et la *voix de poitrine*. On a cherché la cause de cette différence dans un mode spécial de vibrations des cordes vocales ; mais il n'est pas prouvé que telle soit l'origine des caractères particuliers correspondant à ces timbres différents ; il ne serait pas impossible que cette origine dût être cherchée dans des différences dans le mode de vibration de la masse d'air contenue dans la cavité buccale.

783. **Audition.** — L'audition est la mise en action de l'organe de l'ouïe qui donne naissance aux sensations auditives : par elle nous entendons, par elle nous différencions les sons.

L'oreille, organe de l'ouïe, sert à transmettre au nerf auditif les vibrations produites par les corps sonores. Dans les conditions ordinaires, les vibrations sont transmises du corps sonore à l'oreille par l'intermédiaire de l'air, mais cette condition n'est pas nécessaire et la transmission peut se produire par tout autre intermédiaire. C'est ainsi qu'on perçoit le son produit par un corps vibrant même lorsque les oreilles sont complètement bouchées, si les vibrations sont communiquées à la boîte crânienne par un corps solide interposé.

Cette remarque est intéressante, car elle permet d'établir une distinction dans les cas de surdité : cette infirmité peut provenir, en effet, soit d'un état anormal de l'oreille qui ne transmet pas au nerf auditif les vibrations aériennes, soit d'un état de dégénérescence du nerf auditif ou du système nerveux central, état par suite duquel les vibrations communiquées au nerf ne font plus naître la sensation. Pour faire le diagnostic entre ces deux cas, il suffit en général d'appliquer sur la boîte crânienne le pied d'un diapason que l'on fait vibrer : les vibrations sont alors transmises au nerf par les parties solides. Si l'oreille seule est atteinte et que le nerf soit intact, le son est perçu ; aucune sensation ne prend naissance, au contraire, si c'est le nerf qui est altéré.

784. — L'oreille comprend trois parties distinctes : l'oreille externe formée du pavillon et du canal auditif ; elle se termine à la membrane du tympan qui la sépare de l'oreille moyenne, cavité communiquant avec l'arrière-bouche et comprenant la chaîne des osselets qui met en relation la membrane du tympan avec l'oreille interne, cavité remplie de liquide dans laquelle viennent aboutir les derniers filets du nerf auditif.

Etudions séparément ces trois parties.

Le *pavillon de l'oreille* est constitué par un cartilage de forme générale ovulaire, libre sur une partie de son étendue et fixé en avant et en dedans d'une manière solide au pourtour du canal auditif ; quelques petits muscles et des ligaments réunissent les diverses pièces qui constituent ce cartilage qui est recouvert d'une peau fine et adhérente. Ce pavillon présente des saillies et des enfoncements d'une certaine régularité.

Le *canal auditif* est un canal osseux légèrement coudé, tapissé de tissu fibreux et de tissu cartilagineux qui se continue avec le cartilage du pavillon.

Le rôle du canal auditif est d'amener à la membrane du tympan qui le termine postérieurement les vibrations aériennes qui parviennent à son orifice externe. Le rôle du pavillon est moins nettement défini ; il paraît impossible d'admettre que, comme on l'a dit quelquefois, les saillies qu'il présente aient pour effet de faire réfléchir vers l'orifice du canal auditif les vibrations aériennes qui arrivent dans une direction quelconque ; mais il se peut que, sous l'influence de ces vibrations, le pavillon vibre transversalement et communique au cartilage qui tapisse le conduit auditif des vibrations qui deviennent longitudinales et sont transmises de nouveau sous forme de vibrations transversales à la membrane du tympan, ajoutant leur effet à celui des vibrations transmises par l'air du canal.

L'oreille moyenne ou *caisse du tympan* est une cavité intermédiaire dont les parois présentent quatre ouvertures : la première, qui forme la paroi externe, est fermée par le *tympan*, membrane fibreuse à peu près circulaire insérée par tout son bord dans l'os temporal ; en son centre

s'insère l'un des osselets de l'ouïe, le marteau qui, par ses liaisons d'autre part, tend la membrane du tympan vers l'intérieur de la caisse.

Une seconde ouverture est l'orifice postérieur de la *trompe d'Eustache* qui aboutit par son autre extrémité à la partie supérieure et latérale du pharynx. A cause de l'existence de ce canal, l'air contenu dans la caisse du tympan est toujours, dans les conditions normales, à la même pression que l'air extérieur, ce qui rend plus faciles les vibrations du tympan; ces vibrations seraient gênées si, au contraire, il existait une différence de pression entre les deux faces.

Enfin les deux dernières ouvertures, la *fenêtre ronde* et la *fenêtre ovale*, situées sur la paroi interne, sont fermées par des membranes qui séparent la caisse du tympan de l'oreille interne.

La caisse du tympan est traversée par une chaîne de petits os appelés *osselets de l'ouïe*, le marteau, l'enclume, l'os lenticulaire et l'étrier. Comme nous l'avons dit, le marteau est fixé au centre de la membrane du tympan; l'étrier est terminé par une base qui oblitère complètement la fenêtre ovale dans laquelle il est fixé.

Les osselets sont reliés entre eux par des ligaments et par de petits muscles qui paraissent pouvoir donner une rigidité plus ou moins complète à la chaîne entière.

Cette chaîne solide reçoit à une extrémité, par le marteau, les vibrations de la membrane du tympan et les transmet au liquide qui remplit l'oreille interne et qui est ainsi en contact avec la base de l'étrier.

L'oreille interne est une cavité existant dans l'os temporal; sa forme est assez complexe. Elle comprend d'abord une partie irrégulièrement ovoïde, le *vestibule*, dans laquelle se trouve la fenêtre ovale; on y rencontre également les orifices des *canaux semi-circulaires*, petits canaux assez réguliers en forme de demi-cercle et dont les plans sont perpendiculaires entre eux; enfin, on y trouve également le point de départ du *limaçon*, canal spiral qui décrit deux tours et demi de spire. Ce canal est divisé en deux étages, pour ainsi dire, par la *lame spirale*, mi-partie osseuse, mi-partie membraneuse, dans laquelle viennent aboutir les derniers filets du nerf auditif: cette lame divise le canal en deux rampes, la rampe supérieure qui se termine inférieurement dans le vestibule, la rampe inférieure qui, inférieurement, aboutit à la fenêtre ronde fermée par une membrane. Enfin ces deux rampes communiquent entre elles à leurs extrémités supérieures par une ouverture pratiquée dans la lame spirale et nommée *hélicotrème*.

On conçoit que lorsque la chaîne des osselets aboutissant à la fenêtre ronde vibre, elle transmet ses vibrations à tout le liquide contenu dans l'oreille interne et notamment au liquide contenu dans les deux rampes du limaçon. Mais à cause de l'incompressibilité du liquide et de l'invariabilité des parois, le mouvement vibratoire ne pourrait avoir lieu, si la

membrane qui ferme la fenêtre ronde n'entraîne elle-même en vibration. Cette disposition assure particulièrement la production du mouvement vibratoire du liquide qui remplit les deux rampes du limaçon.

785. — Ainsi lorsqu'un mouvement vibratoire se propageant dans l'air parvient à l'oreille, il pénètre dans le canal auditif, se transmet à la membrane du tympan, puis à la chaîne des osselets et par leur intermédiaire au liquide de l'oreille interne. Les filets nerveux qui existent tant dans les membranes qui tapissent le vestibule que dans celles de la lame spirale sont donc soumis à des vibrations, condition nécessaire pour la production de la sensation, condition suffisante si les vibrations ne sont ni trop lentes, ni trop rapides (727).

Ces indications permettent de comprendre que la sensation auditive puisse prendre naissance; elles permettent aisément aussi de concevoir que la sensation soit plus ou moins intense suivant que les ébranlements communiqués aux filets nerveux sont plus ou moins forts.

Mais cela ne suffit pas, car il conviendrait d'expliquer à quoi tiennent les différences de sensation correspondant aux variations de hauteur et de timbre. A proprement parler, il suffirait de donner l'explication des différences correspondant aux variations de hauteur; le timbre résultant de la perception simultanée de sons accessoires joints au son fondamental, sa production résulterait de l'audition simultanée de divers sons; la fusion inconsciente de ces sons distincts n'est pas, très vraisemblablement au moins, une action physique, elle est physiologique ou psychologique, et nous n'avons pas à nous y arrêter.

786. — Il n'existe pas de théorie absolument satisfaisante de la possibilité de distinguer des sons de diverse hauteur: l'explication que nous allons indiquer et qui est due à Helmholtz est acceptable au point de vue physique, mais elle soulève des difficultés d'un autre ordre sur lesquelles nous n'insisterons pas.

Chacun des filets nerveux terminaux qui aboutit dans la lame spirale est relié à une fibre tendue ou à un fil rigide élastique; ces fibres et ces fils qui sont en très grand nombre, 3000 ou 4000, sont susceptibles de vibrer; et l'on admet que chacun vibre pour un mouvement vibratoire de période déterminée.

D'autre part, chaque filet nerveux, mis en action, produit une sensation déterminée, distincte de celle due à la mise en action d'un autre filet nerveux, la différence répondant au caractère de la hauteur.

Lorsqu'un mouvement vibratoire est communiqué à l'oreille interne et au liquide que celle-ci contient, si c'est un mouvement simple, il y a une fibre et une seule qui est mise en vibration, et, seul, le filet nerveux correspondant entre en action, produisant la sensation de hauteur qu'il peut fournir. S'il survient un autre mouvement vibratoire simple, la fibre que nous venons de considérer reste en repos, c'est une autre fibre

qui vibre et le nerf correspondant donne une sensation auditive caractérisée par une hauteur différente. Ce serait là une action analogue au cas d'une série de résonnateurs dans laquelle un seul est mis en action par un son simple.

S'il arrive à l'oreille interne une vibration composée, soit qu'il s'agisse d'un accord formé de sons fournis par des instruments différents, soit qu'il s'agisse d'un son complexe émané d'un seul instrument d'un timbre déterminé, il y aura autant de fibres distinctes mises en vibrations qu'il y a de vibrations simples existant dans la vibration composée : il y aura mise en action des filets correspondants et de ceux-ci seulement, il y aura audition d'autant de sons de différente hauteur. Il pourra arriver, en prêtant attention, que ces divers sons soient perçus séparément, mais le plus souvent, il y aura fusion inconsciente, impossibilité de discerner les sons les uns des autres et la sensation sera celle d'un accord en général, et si ces sons ont entre eux certaines relations, ce sera celle d'un timbre déterminé.

Ainsi, nous le répétons, les fibres de Corti se comporteraient dans cette hypothèse comme des résonnateurs constituant une série très étendue; dans le cas d'un mouvement vibratoire composé, il y aurait autant de résonnateurs entrant en action, autant de flammes manométriques agitées, que le mouvement composé comprend de vibrations simples; si on regarde ces flammes dans un miroir tournant, à la manière ordinaire, on reconnaîtra ceux des résonnateurs qui vibrent : mais si, par une disposition quelconque, facile à imaginer, on superpose toutes les images, on aura une impression unique, résultant de la fusion des diverses vibrations simples. Le premier cas correspond à la possibilité de distinguer les sons simples constituant l'accord produit; le second cas correspond à la sensation du timbre.

Nous le répétons, cette hypothèse a suscité des objections sérieuses; mais nous n'en connaissons pas actuellement une autre qui soit physiquement acceptable; nous avons donc cru devoir l'exposer avec quelques détails.

LIVRE V

MAGNÉTISME. — ÉLECTRICITÉ

787. — Les phénomènes que nous avons étudiés dans les livres précédents présentent ce caractère commun de pouvoir être rattachés aux causes qui font naître en nous des sensations spéciales, sensations calorifiques, lumineuses, auditives; ils se différencient par là des phénomènes dont nous avons à nous occuper maintenant, *phénomènes magnétiques et électriques*, dont nous n'avons pas directement connaissance dans les conditions ordinaires. Sauf peut-être dans quelques cas pathologiques, un aimant ne nous impressionne pas autrement que ne ferait un morceau de fer ou d'acier; un fil parcouru par un courant, à moins que celui-ci ne soit très intense, ne peut être distingué par nous d'un fil inerte; un corps électrisé ne produit aucune action qui corresponde à une sensation spéciale. Les actions que nous éprouvons directement dans quelques cas ressemblent à des actions mécaniques, des secousses, des chocs; quelquefois les corps dont nous parlons nous font éprouver des sensations calorifiques ou lumineuses; mais celles-ci sont identiques à celles qui se produisent dans les conditions précédemment étudiées, et ne peuvent nous avertir de l'existence de phénomènes d'un autre ordre. Nous n'avons, en somme, ni sens magnétique, ni sens électrique; aussi, ne pourrions-nous étudier ces phénomènes que par l'observation de certains effet convenablement choisis.

Ces conditions établissent une différence essentielle avec les parties de la physique que nous avons précédemment étudiées. Elles expliquent pourquoi l'étude rationnelle des phénomènes magnétiques et électriques est récente.

Cette étude, d'ailleurs, a bénéficié de cette modernité : les relations de ces phénomènes entre eux et avec les autres phénomènes physiques et chimiques ont été plus rapidement et mieux établies et, sans craindre de rendre inutiles de nombreuses recherches antérieures, on a pu adopter, pour les mesures, un système de mesures réellement satisfaisant, comme nous le dirons.