

ser. Mais aucun de ces instrumens ne réunit tous les avantages, comme la voix de l'homme. Si l'organe vocal appartient à la classe des instrumens à anche, et si ces instrumens, lorsqu'on les a réunis en un système de sifflets compensés, sont (avec le violon) les plus parfaits de tous, cependant l'organe vocal a sur eux l'avantage de pouvoir donner tous les sons de l'échelle musicale et toutes leurs nuances avec un seul tuyau à bouche, tandis que les plus parfaits des instrumens à anche exigent un tuyau à part pour chaque son. On pourrait imiter jusqu'à un certain point cet organe en adaptant à un tuyau à bouche un appareil qui ne fût pas trop difficile à faire jouer, et qui permit de varier à volonté la tension des rubans élastiques; mais les sons d'un pareil instrument, pour lequel, si l'on voulait le rendre durable, il faudrait n'employer que des rubans élastiques secs, n'imiterait pas les sons roulans et éclatans du tissu animal élastique mou, et serait toujours très-difficile à manœuvrer.

E. *Compensation des forces physiques dans l'organe vocal de l'homme* (1).

Par compensation, on entend, en général, dans les instrumens de musique, toute disposition au moyen de laquelle une certaine étendue des qualités de l'instrument nécessaire pour la production d'un son donné, est rendue inutile par un changement apporté aux circonstances qui les commandaient. La longueur d'une corde nécessaire pour produire un son déterminé se compense par la détente de cette corde, qu'on rend en même temps moins longue. La longueur de colonne d'air nécessaire pour qu'un sifflet donne son son fondamental,

(1) Cet article ne fait point partie du *Traité de physiologie* : il a été publié par Muller postérieurement; mais on a cru nécessaire de le joindre aussi, comme complément de la doctrine, et bien qu'il résulte de là quelques répétitions.

peut être compensée par les parois membraneuses d'un sifflet plus court. Le son d'un sifflet membraneux peut, d'après Savart, être de plus d'une octave plus grave que celui d'un sifflet à parois rigides : la flexibilité des parois compense donc la longueur de la colonne d'air de l'instrument. J'ai reconnu un mode analogue de compensation dans les sifflets couverts, suivant la matière du couvercle. On sait que le son fondamental d'un sifflet bouché à l'extrémité est *ut<sub>2</sub>*; mais si, au lieu d'un bouchon, on se sert d'une membrane peu tendue, le son fondamental, celui qu'on obtient avec le plus faible soufflé possible, devient plus grave d'une tierce à une quinte : si la membrane est tendue davantage, le son s'élève, et quand la membrane est portée au plus haut degré de tension, elle agit comme un bouchon solide. Ici nous avons un exemple qui nous montre précisément l'inverse de la compensation dans les tuyaux à anche. Le son d'une languette est abaissé par la vibration simultanée d'une colonne d'air; dans ce cas, le son de la colonne d'air est abaissé par les vibrations simultanées d'une plaqué membraneuse, et l'abaissement est d'autant plus grand, que la membrane est plus lâche. D'après les observations de Biot et Hamel, on peut abaisser le son fondamental des sifflets en agrandissant l'embouchure. La grandeur de cette dernière compense donc la longueur du tuyau. On peut, en outre, comme je l'ai observé, abaisser le son fondamental d'un sifflet en couvrant l'embouchure, de sorte que la couverture de cette ouverture compense aussi la longueur de la colonne d'air. Les sons que l'on obtient de cette manière ne sont pas seulement les harmoniques, comme dans le cas d'agrandissement de l'embouchure; mais ce sont tous les intervalles imaginables jusqu'à une certaine limite, et le son devient d'autant plus grave qu'on abaisse davantage le toit vers l'ouverture. Dans les tuyaux d'anche à languette membraneuse, la longueur et la tension des rubans se compensent en sens inverses, et dans tous les instrumens à anche,

la longueur ou la tension de l'anche est compensée par l'addition d'une colonne d'air simultanément vibrante, qui rend le son plus grave qu'il ne le serait d'après la tension ou la longueur de l'anche. Le rétrécissement du commencement ou de la fin du tuyau ajouté abaisse ou élève le son des tuyaux à anches, dans certaines conditions ; ces circonstances établissent donc aussi une compensation.

Cependant, ce qu'il y a de plus remarquable dans tous les instrumens de musique où l'air contribue à l'effet produit, c'est le changement que les sons éprouvent d'après la force des chocs que donne l'air, et la compensation d'une grandeur par l'intensité du choc. Dans les instrumens qu'on met en mouvement par le pincement avec le doigt ou par l'action d'un archet, ce changement n'existe presque pas. Quant au changement des sons des sifflets par la force du souffle, je ne parle point de leur élévation bien connue aux sons harmoniques, car elle peut s'expliquer par la division de la colonne d'air en parties aliquotes, mais d'une élévation successive par tous les intervalles imaginables, jusqu'à une certaine limite, élévation que j'ai observée dans de petits sifflets ayant deux pouces et un pouce de long. La vitesse du courant d'air, ou la force du choc, a donc une influence manifeste sur la rapidité des vibrations de l'air dans le sifflet. Mais les vibrations d'une languette sont surtout faciles à changer par le courant d'air. Ainsi, par exemple, quand une languette métallique est assez mince proportionnellement au courant d'air qui la meut, comme celle de la trompette des enfans, le son, en augmentant le souffle, s'élève sans intervalles jusqu'à une octave et demie. Avec des languettes en caoutchouc, le courant d'air des poumons peut élever le son de quelques tons, jusqu'à une quinte. Ici donc la tension est compensée par la force de l'impulsion, ou la vitesse de vibration opérée par la tension est compensée par celle que le choc de l'air communique aux rubans.

Mais on désigne encore sous le nom de compensation une disposition des instrumens de musique qui fait qu'au lieu de changer leur son d'après la force du choc, ils le maintiennent, au contraire, à la même hauteur, quelque varié que puisse être ce choc. W. Weber a traité en ce sens de la compensation des tuyaux d'anche, et il a construit un tuyau d'anche compensé dont le son conserve la même pureté, malgré la force différente du souffle pour le piano et le forte. C'est cette sorte de compensation que je vais examiner dans l'organe vocal de l'homme.

Lorsqu'on souffle faiblement un tuyau d'anche à languette métallique forte, le son est un peu moins élevé que quand on souffle fort. Il s'agissait donc, pour pouvoir renfler un son sur un tuyau à anche, de trouver un moyen qui compensât l'abaissement de ce son par la force du souffle. Weber l'a découvert dans la colonne d'air qui vibre simultanément avec l'anche. La colonne d'air du tuyau à anche élève effectivement son son lorsqu'on souffle fort, tandis que la forte languette métallique abaisse le sien. Les deux effets se compensent, de sorte qu'il devient possible, au moyen d'une certaine longueur de la colonne d'air covibrante, longueur que Weber a déterminée, de renfler et d'affaiblir un son sans altérer le moins du monde sa pureté et sa valeur dans l'échelle musicale.

Les faits découverts par Weber sont parfaitement exacts pour une force donnée des languettes et pour une force déterminée du courant d'air, c'est-à-dire qu'ils le sont dans certaines limites. Mais il y a une certaine force du courant d'air sous l'influence de laquelle, à ce qu'il paraît, toute anche doit élever son son, et cela en raison directe de l'accroissement de la force du courant ou de sa densité. Cet effet de la part du vent qui sort des organes respiratoires de l'homme, s'observe, comme je l'ai déjà dit, sur les languettes métalliques très-minces, telles que celles de la trompette des en-

fans, dont, par la force du souffle, on peut élever le son d'une octave et demie successivement et sans intervalles. Dans les languettes métalliques qui ont un peu plus de force, celles, par exemple, de l'harmonica à bouche, la force du souffle des poumons réussit moins à élever le son; mais elle le fait cependant assez encore pour qu'on demeure convaincu de la généralité du phénomène. On peut donc conclure que, même pour les languettes métalliques plus fortes, il y a également une certaine force du courant d'air, quelle qu'elle soit, sous l'influence de laquelle elles doivent élever un son, comme le font les languettes les plus faibles, et l'élever d'autant plus que le choc acquiert plus d'intensité. Ici il faudrait une compensation d'un autre genre que celle dont Weber s'est servi. Comme les fortes languettes métalliques de ce musicien donnent des sons un peu plus élevés quand le souffle est faible que quand il est fort, on serait tenté de croire, au premier aperçu, qu'il y a là une contradiction inexplicable avec les faits que j'ai rapportés en dernier lieu; mais la contradiction disparaît en admettant, ce qui est vraisemblable, que l'extrémité fixée de la languette ne vibre point lorsqu'on souffle faiblement, tandis qu'elle entre aussi en vibration quand le souffle est fort.

Quoi qu'il en soit, ce qu'il y a de certain, c'est que toutes les languettes membraneuses élèvent, quand le souffle devient plus fort, le son qui leur est assigné par leur tension et leur longueur. Le fait est constant pour les rubans de caoutchouc et pour les cordes vocales du larynx humain. L'élévation du son qu'on peut obtenir sur des larynx artificiels à rubans de caoutchouc par la force du souffle des poumons, va jusqu'à une tierce, et plus, sans intervalles, et dans un larynx à tension déterminée, produite par des poids, elle va jusqu'à une quinte, même jusqu'à une octave. Ainsi pour qu'un son du larynx humain conserve sa valeur musicale, et demeure le même au piano comme au fortissimo, c'est-à-dire sous l'in-

fluence du plus faible et du plus fort souffle, il faut, puisque la force du souffle est une condition d'élévation, qu'il y ait, en compensation, des conditions d'abaissement, faisant équilibre aux autres. Mais cet effet ne peut guère être produit que par la détente des cordes vocales. Que, par exemple, celles-ci donnent à la tension 4 le son *sol*, et à la tension 2 le son *ut*, sous l'influence du souffle le plus faible, à la tension 2, si le souffle devient plus fort, elles redonneront ou conserveront le son *sol*. En un mot, pour maintenir un son dans le crescendo, il faut que la tension diminue à proportion que la force du souffle augmente: l'inverse a lieu pour le decrescendo. J'ai déjà précédemment exposé et discuté ce mode de compensation; mais on manquait d'expériences qui déterminassent d'une manière sûre et numériquement la proportion entre la tension décroissante et la force croissante du souffle. C'est pourquoi j'en ai entrepris une série ayant pour but d'établir cette proportion.

Je me proposais d'abord d'employer un soufflet, au lieu de la bouche, pour rendre les sons soutenus et mesurer la force du vent. Il eût été facile ainsi de déterminer la force du souffle ou de la pression, par les poids du soufflet, et plus sûrement encore la densité de l'air qui faisait mouvoir les cordes vocales, par le manomètre ordinaire des soufflets, tube à deux branches, dont la partie inférieure est remplie de mercure ou d'eau, et où la pression de l'air fourni par le soufflet agit sur le liquide de l'une des branches, en sorte que la différence de niveau de ce liquide dans les deux branches, indique la tension de l'air dans le soufflet. Mais en essayant d'appliquer cet appareil aux expériences sur la voix humaine, je rencontrai de grandes difficultés, et je ne tardai pas à reconnaître qu'il était indispensable d'en revenir, comme auparavant, à ma propre respiration. En effet, lorsqu'on place sur le tuyau du soufflet un larynx préparé suivant le procédé que j'ai fait connaître, on obtient d'abord de bons sons, qui peuvent être bien

pleins, à cause de la résonnance du soufflet; mais ces sons ne tardent pas à diminuer, et à s'éteindre tout-à-fait, ou bien ils passent à l'aigu, quoique la pression du soufflet demeure la même. La voix ne recommence plus à parler qu'après qu'on a bien humecté les cordes vocales en dedans et en dehors. Car l'air du soufflet dessèche promptement l'isthme inférieur de la glotte et le bord des cordes vocales, ce qui explique et la cessation du son et son élévation progressive. En soufflant avec les poumons, au contraire, on fait arriver un air humide et presque à la température du corps humain, de sorte que les cordes vocales ne se dessèchent point, et qu'on évite tous les inconvénients dont je viens de parler. D'ailleurs, l'air qu'on emploie ainsi, est celui-là même qui sert à la voix de l'organe vivant; il ne s'agit que de soumettre la pression de cet air au contrôle, comme le degré de tension ou de détente des cordes vocales l'est dans les autres expériences dont j'ai parlé précédemment.

On y parvient sans peine à l'aide du manomètre ordinaire du soufflet mis en communication avec le porte-vent. Cagniard La Tour a déjà mesuré de cette manière la tension de l'air qui est nécessaire pour souffler la clarinette, et, chez un homme vivant qui portait une ouverture à la trachée-artère, la tension que l'air doit avoir dans ce conduit pour que la voix parle. Il s'est servi aussi d'un tube dont l'un des bouts communiquait avec un porte-vent inséré à l'embouchure d'une clarinette, et dont l'autre bout plongeait dans un vase plein d'eau: il concluait la pression de la profondeur à laquelle il fallait enfoncer le tube pour empêcher l'air de s'échapper. Cette pression, pour la clarinette, était égale à une colonne d'eau de trente centimètres. Chez l'homme dont la trachée-artère présentait une ouverture, la tension de l'air dans ce conduit, quand l'individu parlait, était égale à une colonne d'eau de seize centimètres.

J'ai employé le manomètre ordinaire du soufflet, dont l'une

des branches était coudée à son sommet, afin qu'on pût l'unir solidement avec la partie latérale d'un porte-vent adapté à l'extrémité trachéale du larynx. C'est aussi l'instrument dont Poiseuille s'est servi pour mesurer la pression du sang dans les artères et les veines, et auquel il a donné le nom d'hémodynamomètre. La différence de hauteur du liquide dans les branches, ou la somme de sa chute et de son ascension dans les branches opposées, donne l'expression statique de la pression. Au premier abord, les colonnes de mercure ou d'eau éprouvent ordinairement une oscillation considérable; mais bientôt la pression se fixe, et on peut l'évaluer avec une certitude suffisante jusqu'à un quart ou même un huitième de centimètre; vouloir y mettre plus de précision, et compter les millimètres, exposerait à des erreurs, à cause des oscillations. On facilite singulièrement la lecture en se servant, au lieu de mercure, d'eau, qui donne des résultats, 13,6 fois plus grands; mais les oscillations sont bien plus étendues aussi. Lorsqu'on est arrivé par le souffle à une pression aussi uniforme que possible, on peut fixer le liquide en posant le doigt sur le tube ouvert, et alors on charge une autre personne de lire sur l'échelle.

Tout étant disposé, il faut se rappeler quelle est la proportion de la tension suivant laquelle les sons de l'organe vocal augmentent de hauteur lorsqu'on souffle le plus faiblement possible. Je prendrai pour point de départ les deux expériences que j'ai rapportées précédemment, et dans lesquelles la tension était opérée par des poids suspendus perpendiculairement à la partie antérieure et supérieure du cartilage thyroïde, le larynx lui-même étant fixé dans une situation verticale.

Il résulte de ces deux expériences que, dans les sons graves, un poids d'un demi-loth suffit pour élever le ton d'un semi-ton, que, la tension croissant, il finit par falloir trois loth pour produire un changement d'un semi-ton, et qu'un poids d'une

deux octaves. Mais j'ai expérimenté aussi sur des larynx dans lesquels ces deux octaves n'exigeaient qu'un poids d'une demi-livre. Quand les cordes vocales sont tendues par une corde dirigée dans le même sens qu'elles et passant sur une poulie, il faut un poids plus fort pour déterminer un même effet. Le même larynx exigeait, pour donner les deux octaves, depuis un quart de loth jusqu'à 15 loth, avec la traction perpendiculaire exercée sur le cartilage thyroïde, et jusqu'à 25 loth avec la tension horizontale des cordes vocales. Je cherchai ensuite à savoir quelle est la pression de l'air à laquelle les cordes vocales commencent à faire entendre leur son fondamental, et s'il en faut une plus forte quand les cordes sont plus tendues, c'est-à-dire pour produire les sons aigus. Des expériences faites à ce sujet, il résulta qu'à l'égard des sons aigus, une pression de l'air équivalente à une colonne de mercure d'un quart de centimètre, ou à une colonne d'eau de 34 millimètres, parfois même d'un centimètre et demi, suffit pour produire un son léger; ce qui s'applique tant aux sons de poitrine qu'à ceux de fausset. En soufflant aussi fort qu'il m'était possible, de manière néanmoins à ce qu'il sortit encore un son, la pression n'était la plupart du temps égale qu'à une colonne de mercure d'un, deux ou trois centimètres et demi. Cette quantité est fort inférieure à celle que Cagniard La Tour a obtenue sur le vivant, où la pression dans la trachée-artère, pendant la phonation, équivalait à une colonne d'eau de seize centimètres. La différence me semble tenir en grande partie à ce que l'homme sur lequel Cagniard a fait ses observations avait été atteint d'une maladie des organes vocaux, pour laquelle il avait fallu recourir à la bronchotomie. On sait qu'il suffit de la moindre pression d'air pour que nous donnions des sons de voix, et cette remarque s'accorde très-bien avec les expériences que j'ai faites sur des larynx, à l'aide du manomètre. Mais si le fortissimo possible

ne sortit, dans plusieurs expériences, qu'à huit, douze ou quatorze centimètres, je l'attribue à ce que, chez l'homme vivant, l'ouverture du porte-vent dans la glotte peut être considérablement rétrécie par la compression latérale qu'exercent les muscles thyro-aryténoïdiens; on peut, dans les larynx morts, suppléer l'action de ces muscles à l'aide d'une compression exercée latéralement par les cordes vocales, ce qui rend possible une tension bien plus forte de l'air.

Je voulus aussi savoir si la tension de l'air reste la même lorsqu'on donne le piano des sons graves et le piano des sons aigus avec une tension plus forte des cordes vocales, c'est-à-dire si le son le plus faible de ces cordes, soumises à une plus grande tension, est possible quand la tension de l'air demeure la même, ou exige qu'elle croisse. L'expérience suivante nous éclaire à cet égard. Le larynx humain dont je me suis servi donnait, sans poids dans le plateau de balance, qui lui-même pesait 0, 24 loth, donnait, dis-je, *fa*, à une pression de l'air égalant une colonne d'eau de quatre centimètres.

POIDS POUR LA TENSION DES CORDES.	SONS PRODUITS EN SOUFFLANT LE PLUS DOUCEMENT POSSIBLE.	CENTIMÈTRES DE LA COLONNE D'EAU.
Poids de la balance 1/4 loth	<i>fa</i> <sub>2</sub> fausset	4
3/4	<i>sol</i> <sub>2</sub> »	6
1 1/4	<i>la</i> <sub>2</sub> »	8
1 3/4	<i>si</i> <sub>2</sub> »	9
2 1/4	<i>ut</i> <sub>3</sub> »	-10
3 1/4	<i>re</i> <sub>3</sub> »	+10
4 3/4	<i>mi</i> <sub>3</sub> »	13
6 3/4	<i>fa</i> <sub>3</sub> »	13
7 3/4	<i>sol</i> <sub>3</sub> »	13
» 1/4	<i>la</i> <sub>3</sub> »	16

D'après cela, dans le larynx mort, le souffle le plus léger possible exige, quand la tension des cordes est plus considérable, et par conséquent pour les sons aigus, une tension plus forte de l'air que pour les sons graves; et quand les cordes vocales sont moins tendues, la tension était deux à trois fois aussi forte lorsque les sons s'élevaient de toute une octave.

Il s'agissait encore de savoir suivant quelle proportion de la pression de l'air les sons croissent, la tension des cordes vocales restant la même. Les expériences suivantes ont été faites à ce sujet sur des larynx d'hommes.

	TENSION.	TENSION DE L'AIR. COLONNE DE MERCURE.	SONS.
1 <sup>re</sup> expér.	3/4 loth.	1/4 centim.	<i>ré</i> <sub>2</sub> fausset.
	3/4	1/3	<i>mi</i> <sub>2</sub> »
	3/4	1/2	<i>fa</i> <sub>2</sub> »
	3/4	3/4	<i>sol</i> <sub>2</sub> »
2 <sup>e</sup> expér.	3/4	1/4	<i>si</i> <sub>2</sub> »
	3/4	-1/2	<i>ut</i> <sub>3</sub> »
	3/4	1/2	<i>ré</i> <sub>3</sub> »
	3/4	3/4	<i>mi</i> <sub>3</sub> »
	3/4	-1	<i>fa</i> <sub>3</sub> »
	3/4	1	<i>sol</i> <sub>3</sub> »
	3/4	5/4	<i>la</i> <sub>3</sub> »
	3/4	2	<i>si</i> <sub>3</sub> »
3 <sup>e</sup> expér.	1/4	1/4	<i>si</i> <sub>2</sub> »
	1/4	1/3	<i>ut</i> <sub>3</sub> »
	1/4	1/2	<i>ré</i> <sub>3</sub> »
	1/4	3/4	<i>mi</i> <sub>3</sub> »
	1/4	1	<i>sol</i> <sub>3</sub> »
	1/4	1 1/2	<i>la</i> <sub>3</sub> »
	1/4	2	<i>si</i> <sub>3</sub> »
4 <sup>e</sup> expér.	1/4	1/3	<i>ut</i> <sub>3</sub> »
	1/4	1	<i>sol</i> <sub>3</sub> »
	1/4	2	<i>ut</i> <sub>4</sub> »
	1/4	3	<i>mi</i> <sub>4</sub> »
	1/4	3 1/2	<i>fa</i> <sub>4</sub> »
5 <sup>e</sup> expér.	2 1/4	1/2	<i>sol</i> <sub>3</sub> »
	2 1/4	3/4	<i>la</i> <sub>3</sub> »
	2 1/4	1	<i>si</i> <sub>3</sub> »
	2 1/4	1 1/2	<i>ré</i> <sub>4</sub> »

	TENSION DE L'AIR.		SONS.
	TENSION.	COLONNE DE MERCURE.	
	2 1/4 loth.	2 centim.	mi, fausset.
	2 1/4	2 1/2	fa, »
	2 1/4	3 1/2	sol, »
6 <sup>e</sup> expér.	3 1/4	1/2	fa, »
	3 1/4	1	sol, »
	3 1/4	1 1/4	si, »
	3 1/4	-2	ut, »
	3 1/4	2	ré, »
	3 1/4	2 1/2	mi, »
	3 1/4	2 3/4	fa, »
7 <sup>e</sup> expér.	10 1/4	2 1/2	la, »
	10 1/4	+4	si, »
	10 1/4	+6	ut, »
	10 1/4	8	ré, »
8 <sup>e</sup> expér.	1/4	1/4	la, »
	1/4	1/3	si, »
	1/4	1/2	ut, »
	1/4	1/2	ré, »
	1/4	3/4	ut, »
9 <sup>e</sup> expér.	1/4	1/4	ré#, »
	1/4	1/3	mi, »
	1/4	1/2	fa, »
	1/4	+1/2	sol, »
	1/4	3/4	la, »
	1/4	1	si, »

Dans les expériences suivantes j'employai un manomètre divisé en pouces et lignes, et pour équivalent de la pression de l'air une colonne d'eau,

	TENSION.	COLONNE D'EAU		SONS.
		DU MANOMÈTRE.		
		Pouces. Lignes.		
10 <sup>e</sup> expér.	1/4	1	6	sol, fausset.
	1/4	1	8	sol#, »
	1/4	2		la, »
	1/4	2	4	la#, »
	1/4	2	8	si, »
	1/4	2	10	ut, »
	1/4	3	2	ut#, »
	1/4	3	4	ré, »
	1/4	4		ré#, »
	1/4	4	6	mi, »
	1/4	5	4	fa, »
	1/4	6	6	fa#, »
	1/4	7	4	sol, »
	1/4	8		sol#, »
11 <sup>e</sup> expér.	1/2	2	6	ut#, »
	1/2	3		ré, »
	1/2	3	6	ré#, »
	1/2	4		mi, »
	1/2	4	6	fa, »
	1/2	5		fa#, »
	1/2	6		sol, »
	1/2	7		sol#, »
	1/2	8		la, »
	1/2	9		la#, »
	1/2	10		si, »
	1/2	11		ut, »
	1/2	12	6	ut#, »
12 <sup>e</sup> expér.	2 1/4	2	8	ré#, »
	2 1/4	3	2	mi, »
	2 1/4	4		fa, »
	2 1/4	4	10	fa#, »
	2 1/4	6		sol, »
	2 1/4	7	4	sol#, »

TENSION.	COLONNE D'EAU		SONS.
	DU MANOMÈTRE.		
	Pouces.	Lignes.	
2 1/4	8		la <sub>2</sub> »
2 1/4	8	10	la <sub>2</sub> # »
2 1/4	10		si <sub>2</sub> »
13 <sup>e</sup> expér.	2 1/4	3	fa <sub>2</sub> »
"	2 1/4	3	fa <sub>2</sub> # »
"	2 1/4	4	sol <sub>2</sub> »
"	2 1/4	4	sol <sub>2</sub> # »
"	2 1/4	6	la <sub>2</sub> »
"	2 1/4	7	la <sub>2</sub> # »
"	2 1/4	9	si <sub>2</sub> »
"	2 1/5	10	ut <sub>2</sub> »
"	2 1/4	12	ut <sub>2</sub> # »
14 <sup>e</sup> expér.	2	3	fa <sub>2</sub> »
"	2	3	sol <sub>2</sub> »
"	2	5	sol <sub>2</sub> # »
"	2	6	la <sub>2</sub> »
"	2	7	la <sub>2</sub> # »
"	2	9	si <sub>2</sub> »
"	2	10	ut <sub>2</sub> »
"	2	11	ut <sub>2</sub> # »
15 <sup>e</sup> expér.	1/4	1	la <sub>2</sub> »
"	1/4	+2	la <sub>2</sub> # »
"	1/4	2	si <sub>2</sub> »
"	1/4	+2	ut <sub>2</sub> »
"	1/4	3	ut <sub>2</sub> # »
"	1/4	3	ré <sub>2</sub> »
"	1/4	4	ré <sub>2</sub> # »
"	1/4	+4	mi <sub>2</sub> »
"	1/4	5	fa <sub>2</sub> »
"	1/4	6	fa <sub>2</sub> # »
"	1/4	6	sol <sub>2</sub> »
"	1/4	7	sol <sub>2</sub> # »
"	1/4	8	la <sub>2</sub> »

Voix de poitrine], les cordes vocales étant comprimées latéralement.

TENSION.	COLONNE D'EAU		SONS.
	DU MANOMÈTRE.		
	Pouces.	Lignes.	
16 <sup>e</sup> expér.	0	2	fa <sub>2</sub> # voix de poitr.
		4	sol <sub>2</sub> »
		5	sol <sub>2</sub> # »
		6	la <sub>2</sub> »
		7	si <sub>2</sub> »
		8	ut <sub>2</sub> »
		10	ut <sub>2</sub> # »
		11	ré <sub>2</sub> »
		12	ré <sub>2</sub> # »
17 <sup>e</sup> expér.	0	3	ut <sub>2</sub> »
		9	sol <sub>2</sub> »
		14	ut <sub>2</sub> »

Ainsi, pour élever d'un ton entier le son fondamental des cordes vocales peu tendues, il faut, suivant les circonstances, dans beaucoup de cas, que la pression de l'air subisse une élévation correspondante de un à deux centimètres de la colonne d'eau, plus ou moins. La proportion marche avec assez d'uniformité. Les sons les plus élevés, produits par un souffle renforcé, sont les seuls qui, pour monter d'un ton entier, exigent que la tension s'accroisse davantage.

Pour élever à l'octave suivante le son fondamental des cordes vocales, il a fallu, à tension faible égale de celles-ci, que la pression fût huit fois plus forte dans les expériences 2 et 3, six fois dans la 4<sup>e</sup>, sept fois dans la 5<sup>e</sup>, cinq fois et

demie dans la 6<sup>e</sup>, cinq fois dans la 10<sup>e</sup> et la 11<sup>e</sup>, cinq fois et un tiers dans la 15<sup>e</sup>. On peut donc admettre qu'il faut une pression de l'air cinq, six et huit fois plus forte, pour qu'à égalité de faible tension des cordes vocales, le son s'élève de toute une octave par un souffle plus fort. Cette pression avait besoin d'être doublée à triplée pour élever le son d'une quarte ou d'une quinte. Quand les cordes vocales sont plus tendues, comme dans l'expérience 7, où elles l'étaient par un poids de dix loth et un quart, non seulement il faut une pression plus forte pour faire parler le souffle le plus faible, mais encore l'élévation du son en exige une bien plus intense que dans le cas de tension moins considérable, puisque, dans l'expérience 7, par exemple, l'élévation d'un ton entier exigea que la pression fût accrue de deux centimètres de hauteur du mercure ou de  $2 \times 13$ , 6 de hauteur de l'eau du manomètre. Aussi une différence proportionnellement bien plus grande est-elle nécessaire pour avancer dans la série ascendante. La même chose arrive quand les cordes vocales sont très-fortement rapprochées l'une de l'autre, par les côtés, au moyen des branches d'une paire de pinces. Dans ce cas, par exemple, pour élever d'une quarte le son fondamental des cordes, la tension demeurant la même, il fallut que la pression de l'air, au lieu d'être doublée à triplée, fût quadruplée à quintuplée, comme on le verra dans l'expérience suivante.

J'ai remarqué en outre que la facilité d'élever le son par un faible accroissement de la pression de l'air atteint quelquefois sa limite à une certaine hauteur, et que pour élever ensuite le son d'un semi-ton seulement, il fallait augmenter la pression de l'air hors de toute proportion, comme dans l'exemple suivant :

SONS.	PRESSIION DE L'AIR, colonne d'eau du manomètre.
<i>sol</i> <sub>2</sub>	2 pouces.
<i>sol</i> <sub>♯2</sub>	3
<i>la</i> <sub>2</sub>	4
<i>la</i> <sub>♯2</sub>	7
<i>si</i> <sub>2</sub>	8 tension égale.
<i>ut</i> <sub>2</sub>	10
<i>ut</i> <sub>♯2</sub>	11 1/2
<i>ré</i> <sub>2</sub>	13 1/2

Mais si je voulais passer de *ré* à *ré*<sub>♯</sub>, il fallait souffler avec un peu de force pour que la colonne d'eau montât jusqu'à 22 à 24 pouces et plus. Les causes de cette disproportion me sont demeurées inconnues. La limite dont je viens de parler varie beaucoup suivant les larynx ; il y en a qui permettent de monter proportionnellement jusqu'à une octave, et d'autres qui ne le permettent pas. On doit remarquer, en outre, que quand, dans ce cas, on accroissait la tension, de manière que le son fondamental devînt plus aigu, la limite de la progression proportionnelle de l'élévation s'établissait d'autant plus tôt qu'on augmentait davantage la tension, comme il ressort des expériences suivantes, qui ont été faites sur le même larynx.