

sont indépendantes de telle ou telle autre, et celles qui sont étroitement liées ensemble.

III. Transmission du son jusqu'au labyrinthe chez les animaux qui entendent dans l'eau.

Chez les animaux qui vivent dans l'air, les ondes sonores de l'air arrivent d'abord aux parties solides de l'animal et de l'organe auditif, et de là elles passent à la lymphe du labyrinthe. La force de l'ouïe d'un animal qui vit et qui entend dans l'air doit donc dépendre du degré auquel les parties solides de son organe auditif sont aptes à recevoir des ondes aériennes, de la diminution que les excursions de molécules vibrantes éprouvent au moment où les vibrations passent de l'air dans les parties extérieures de l'organe auditif, et du degré d'aptitude de la lymphe labyrinthique à recevoir des vibrations des parties externes de l'organe auditif. La portion extérieure tout entière de l'organe d'audition est calculée, comme nous le verrons, dans la vue de rendre plus facile la transmission des vibrations de l'air à des parties solides, transmission qui présente en elle-même des difficultés.

Chez les animaux qui vivent et qui entendent dans l'eau, le problème est tout autre. Le milieu qui transmet les vibrations sonores est l'eau; il les amène aux parties solides du corps de l'animal, d'où elles parviennent encore une fois dans l'eau, dans la lymphe du labyrinthe. Ici l'intensité de l'ouïe dépend du degré d'aptitude qu'ont les parties solides de l'organe auditif, que les ondes sonores doivent traverser en premier lieu, à recevoir des ondes de l'eau ambiante, pour les transmettre de nouveau à de l'eau, et de la diminution que les excursions des molécules vibrantes éprouvent pendant ce passage. Nous verrons encore ici que toute la partie extérieure de l'organe auditif est calculée dans le but de faciliter cette transmission.

Comme la transmission des ondes de l'air à des corps so-

lides, et celle de ces mêmes ondes de l'eau à des corps solides, sont fort inégales, et qu'elles sont fortifiées par des moyens fort différens, la nature a eu besoin de déployer pour cela des appareils tout autres dans la partie extérieure de l'organe auditif chez les animaux qui entendent dans l'air et chez ceux qui entendent dans l'eau, tandis que la partie interne de l'organe pouvait avoir et a effectivement beaucoup plus d'uniformité dans les deux cas. En général, le problème est plus simple chez les animaux qui vivent dans l'eau. Le cheminement des vibrations, depuis le milieu extérieur jusqu'au nerf, a lieu par trois conducteurs successifs, mais dont deux sont semblables, savoir d'abord l'eau extérieure, puis les parties solides de l'animal et de l'organe auditif, enfin l'eau du labyrinthe. Chez les animaux aériens, ce cheminement s'opère aussi à travers trois milieux différens tous les uns des autres: ce sont l'air, les parties solides de l'animal et de l'organe auditif, et l'eau du labyrinthe. C'est cette circonstance, sans qu'il soit nécessaire d'en chercher d'autre, qui fait que l'organe auditif des animaux aériens l'emporte généralement en complication sur celui des animaux aquatiques. Comme l'organe auditif de ces derniers, des Poissons par exemple, est d'ordinaire totalement entouré de parties solides, la première question qui se présente à résoudre est celle de savoir ce qui se passe pendant que des ondes sonores passent de l'eau dans des parties solides et sortent de celles-ci pour rentrer dans l'eau. Lorsque des ondes d'air sont transmises à des corps solides, une diminution considérable a lieu dans l'amplitude des excursions ou des chocs des molécules vibrantes, tandis que la communication des ondes de l'air résonnant à l'air, et celle des ondes d'un corps résonnant solide à d'autres corps solides, s'accomplissent sans la moindre diminution. Le plein son d'un corps solide, d'une corde par exemple (sans caisse résonnante), ne s'entend que quand des corps solides le conduisent du corps solide géné-

rateur aux parties solides de l'organe auditif, comme lorsqu'on interpose une verge entre le chevalet de la corde et l'oreille externe bouchée. Mais s'il y a de l'air entre le corps solide qui produit le son et l'oreille, le son est faible, parce que la transmission des ondes s'opère difficilement d'un corps solide à l'air, et qu'en pareil cas elle ne peut s'accomplir sans une diminution dans l'amplitude des excursions des particules vibrantes ou de l'ébranlement. Par contre, le son de l'air qui résonne, comme celui d'un instrument à vent, est parfaitement propagé par l'air, et porté par lui à l'organe auditif, mais il ne se communique à des corps solides que difficilement et avec une diminution de l'intensité des ébranlemens. Aussi n'entend-on jamais mieux le son d'un sifflet qu'en appliquant à l'oreille bouchée une verge qui s'étend jusqu'au voisinage de l'air résonnant. En est-il de même lors du passage des ondes de l'eau dans des corps solides? Y a-t-il également ici diminution de l'ébranlement? On n'a point encore fait de recherches à cet égard. L'imperfection dans laquelle a languì jusqu'à présent l'acoustique des organes auditifs, qui, pour parler plus exactement, existe même à peine, m'a déterminé à entreprendre une série d'expériences, dont je vais donner ici les résultats.

I. *Les corps solides reçoivent de l'eau, douées d'une plus grande force, les ondes sonores produites dans ce liquide lui-même.*

On emplit d'eau, jusqu'au bord, un vase de verre, de porcelaine, ou de bois. Une soucoupe nage sur l'eau, sans toucher le vase. On produit un son en faisant tomber un corps dans cette soucoupe. Si l'on se bouche bien les oreilles avec des boulettes de papier tordu, dont on a préalablement mâché le bout introduit dans le conduit auditif, et dont l'autre extrémité sèche sort de l'oreille, on n'entend le son que très-faiblement à travers l'air; mais, à travers une baguette de bois, ou mieux un tube de verre appuyé sur le corps solide qui

résonne et sur le bouchon de l'oreille, on l'entend extrêmement fort. Si ensuite on plonge dans l'eau du vase la baguette tenue contre l'oreille, pendant qu'on laisse tomber quelque chose dans la soucoupe, on entend de l'eau un bruit très-fort et pur, tel qu'il est propre à la soucoupe, et beaucoup plus fort que celui qui est transmis par l'air. Dans ce cas, les ondes sonores passent de la soucoupe, ou du corps solide, à l'eau, puis de l'eau à la baguette, et ensuite à l'organe auditif. On voit, d'après cela, non seulement que des corps solides qui résonnent transmettent leurs ondes sonores à l'eau avec une grande force, mais encore que l'eau les rend avec plus de force au corps solide, au bâton, par le moyen duquel on les entend. En tenant la baguette dans l'eau pendant l'expérience, ou touchant avec elle la paroi du vase extérieur, les conditions sont à peu près les mêmes. Le son passe de la soucoupe dans l'eau, et de celle-ci dans la baguette, soit immédiatement, soit par l'intermédiaire d'un second corps solide. Dans ce dernier cas, le son peut être un peu plus fort, parce qu'il faut alors faire entrer en ligne de compte la résonnance du vase extérieur.

II. *Les ondes sonores de corps solides se transmettent avec plus de force à d'autres corps solides mis en communication avec ceux-ci, qu'à l'eau; mais la transmission des ondes a bien plus d'intensité quand elle s'opère de corps solides à l'eau, que quand elle s'accomplit de corps solides à l'air.*

Ce théorème découle très-facilement de l'expérience précédente. Car le son n'est jamais plus fort que quand la baguette communiquant avec le bouchon de l'oreille appuie sur la soucoupe flottante pendant qu'on fait sonner celle-ci. Le son de l'eau qui environne la soucoupe, et dans laquelle on plonge la baguette, est déjà beaucoup plus faible. Mais l'air conduit le son bien plus faiblement encore, puisque celui qui arrive au bouchon de l'oreille par son seul intermède, est très-faible proportionnellement au son qui, de la soucoupe elle-

même ou de l'eau, vient à l'obturateur par le moyen de la baguette.

III. *Les ondes sonores de l'air se transmettent très-difficilement à l'eau, et avec bien plus de difficultés qu'elles ne marchent dans l'air; mais elles se communiquent très-facilement à ce liquide par l'intermédiaire d'une membrane tendue.*

Personne n'ignore qu'on entend dans l'eau les sons qui sont excités dans l'air. Mais un autre fait que j'ai observé me semble avoir un grand intérêt : c'est qu'une membrane tendue, en contact avec l'eau et l'air à la fois, facilite à un degré extraordinaire le passage des ondes aériennes dans l'eau. Si je fais souffler dans un sifflet en laiton ou en bois, long d'un pied, et sans trous latéraux, de telle manière que l'extrémité inférieure plonge dans l'eau, et que je me bouche les deux oreilles, je n'entends que très-faiblement le son au moyen de la baguette plongée dans l'eau, alors même que la surface du liquide est perpendiculaire à l'axe du sifflet, et que par conséquent les ondes aériennes choquent l'eau d'une manière verticale. Mais si le bout inférieur du sifflet est entouré d'une membrane mince (vessie de cochon), qui soit peu tendue, qu'on plonge cet instrument dans l'eau, et qu'on souffle dedans, j'entends le son très-fort avec la baguette plongée dans l'eau et appuyée sur l'obturateur de mon oreille, principalement lorsque la baguette se trouve dans la direction du mouvement ondulatoire, ou dans celle du sifflet. Les sons que je discerne ainsi sont très-éclatans. Ceux qui conviennent le mieux pour l'expérience sont le son fondamental que le sifflet rend lorsqu'on y souffle aussi faiblement que possible, ou aussi l'un des sons moyens. On emploie pour conducteur une baguette de bois, ou mieux au tube de verre, d'un diamètre de six à huit lignes, dont on tient les parois parallèles à la direction des ondes sonores de l'eau. Si, tout en tenant le tube appliqué à l'oreille bouchée, on le promène çà et là dans l'eau, le son ne manque jamais de se renfermer beaucoup chaque fois

qu'il passe devant la membrane du sifflet. Cet appareil est indispensable dans les expériences suivantes sur l'audition dans l'eau et sur la valeur acoustique de chacune des parties de l'organe auditif : il m'a rendu les plus grands services, et sans lui je ne serais arrivé à aucun résultat. Pour les sons aigus des sifflets le renforcement est peu ou point perceptible.

L'expérience qui vient d'être rapportée, prouve aussi que la propagation du son se comporte dans l'eau comme dans l'air, c'est-à-dire que les ondes d'impulsion sont plus fortes dans la direction de l'impulsion primordiale, quoique les ondes soient aussi, généralement, circulaires ou sphériques.

IV. *Des ondes sonores, qui se propagent dans l'eau et qui traversent des corps solides limités, ne se communiquent pas seulement avec force au corps solide, mais encore résonnent des surfaces de ce corps dans l'eau, de manière que le son dans l'eau, au voisinage du corps solide, est encore entendu fort là où il devrait être plus faible d'après la seule transmission dans l'eau.*

En exécutant l'expérience rapportée dans le paragraphe précédent, l'observateur dont les oreilles sont bouchées, et qui se sert d'un conducteur plongé dans l'eau suivant la direction d'un sifflet fermé à son extrémité par une membrane et plongé également dans le liquide, entend le son de cet instrument très-fort, lorsqu'il ne se trouve que de l'eau entre le bout du sifflet et le conducteur. Vient-on à interposer entre ces deux derniers corps une petite et mince planchette en bois, de manière que les ondes sonores aient à traverser de l'eau, puis la planchette, enfin de l'eau encore, pour parvenir jusqu'au conducteur, on entend le son, dans la direction du sifflet, avec autant ou presque autant de force que si la planchette ne se trouvait pas là; mais on l'entend aussi avec assez de force, au voisinage des surfaces de la planchette entière, lorsque, sans toucher à celle-ci, le conducteur n'est mis en rapport qu'avec l'eau qui en avoisine les surfaces. Là

le son est plus fort que dans le reste de l'eau. Ce renforcement a lieu dans le voisinage de toutes les parois de la planchette, et on le remarque encore à une assez grande distance de la direction principale de l'ébranlement. Si l'on éloigne la planchette résonnante, le son n'est fort qu'aux endroits placés vis-à-vis du point sur lequel porte le choc des ondes du sifflet. La résonance des parois du vase contenant l'eau est notable aussi dans leur voisinage, lorsqu'elles sont en bois.

V. *Des ondes sonores qui se propagent dans l'eau subissent aussi une réflexion partielle de la part des parois du corps solide.*

Cette proposition, qui nous servira dans l'acoustique du labyrinthe, a besoin d'être déjà développée ici. L'appareil précédemment décrit est celui à l'aide duquel on parvient le mieux à se convaincre de la réflexion partielle des ondes sonores dans l'eau. On plonge dans l'eau d'un grand vase le sifflet fermé par une membrane. Ce vase contient un cylindre de verre, long de six pouces, fermé à l'un de ses bouts, et également plein d'eau, qu'une personne embrasse avec ses mains, et tient de manière à ce qu'il ne touche point les parois du vase. On enfonce l'extrémité du sifflet dans l'orifice du cylindre, et l'on souffle faiblement dedans, pour en tirer le son fondamental. En tenant alors le conducteur dirigé aussi vers l'orifice du cylindre, sans qu'il touche ni ce dernier ni le sifflet, on entend, avec son secours, le son des ondes d'eau avec tout autant de force que s'il était opposé à l'orifice du sifflet. Cette force du son est une suite non pas seulement de la résonance du cylindre, mais encore de la réflexion que ses parois déterminent : car elle reste la même quand on a rendu la résonance du cylindre aussi faible que possible en le couvrant intérieurement d'une couche de suif, et assourdissant ses parois extérieures en les embrassant avec les deux mains. Au contraire, le son dans l'eau est beaucoup plus faible dans le liquide qui entoure le cylindre à l'extérieur.

VI. *De minces membranes conduisent le son dans l'eau sans affaiblissement, qu'elles soient ou non tendues.*

Si l'on place, dans l'eau, une cloison membraneuse entre le bout du sifflet fermé par une membrane et le conducteur tenu dans la direction de ce dernier, on n'aperçoit pas la moindre différence dans la force du son, tandis qu'il est partout faible dans les directions latérales. J'employai d'abord pour cloison une membrane tendue, un morceau de vessie de cochon étendu sur un large anneau. Mais les membranes non tendues, et simplement suspendues dans l'eau, donnent le même résultat. J'appliquai l'une sur l'autre plusieurs couches de vessie de cochon séchée et ensuite ramollie, je les comprimai ensemble, pour exprimer l'air compris entre elles, et je suspendis le tout dans l'eau. Alors même que la cloison se composait de quatre à huit lamelles superposées, je remarquais encore un peu de renforcement dans la direction du sifflet. Un plus grand nombre de membranes le rendait nul. Un morceau de peau humaine et la paroi de l'utérus d'une femme enceinte, qui avait trois lignes de diamètre, empêchaient tout renforcement, lorsqu'on les employait comme cloison, et le son n'était pas perçu derrière ces corps avec plus d'intensité que dans tout autre point de l'eau situé en dehors de la direction principale des ondes.

VII. *Les propositions III, IV et VI expliquent le phénomène de la transmission du son chez la plupart des animaux qui vivent dans l'eau et ne respirent point l'air.*

Lorsqu'après nous être bien bouché les oreilles, nous écoutons les ondes sonores de l'eau au moyen d'un conducteur en bois, nous nous plaçons précisément dans la situation du poisson, et nous entendons les sons de la même manière que lui. L'immersion de la tête dans l'eau est une chose inutile, et qui d'ailleurs ne permet pas de se livrer avec calme à l'observation. Le conducteur solide agrandit les parties solides de notre tête, et, comme chez le Poisson, les expose immédiatement

aux ondes sonores de l'eau. Le labyrinthe simple ou composé des animaux qui vivent dans l'eau, tantôt est entouré de tous côtés par les cartilages et les os du crâne, comme chez les Céphalopodes, les Cyclostomes et les Poissons osseux, tantôt communique avec la surface du corps de l'animal, et la communication a lieu au moyen d'une membrane, telle que la membrane tendue au devant de la capsule auditive des Crustacés, ou la peau amincie qui couvre la fenêtre des Plagiostomes, à la surface de la tête. Du reste, les os de la tête sont susceptibles aussi de résonance dans l'eau, c'est-à-dire que les vibrations qui leur sont communiquées éprouvent une réflexion partielle de la part de leurs surfaces, et forment en eux-mêmes des ondes rétrogrades qui profitent au labyrinthe. Cette conséquence découle des faits mentionnés dans le quatrième paragraphe. Chez les Squales et les Raies, à squelette cartilagineux et mou, cette résonance intérieure des parties solides de la tête est peut-être moindre que chez les Poissons osseux, et c'est peut-être là aussi ce qui a rendu nécessaire chez ces animaux la communication du labyrinthe avec la surface du corps par le moyen d'une membrane tendue sur une fenêtre. Dans les Cyclostomes, la capsule auditive fait partie des pièces solides du squelette; chez eux, elle est recouverte en outre par des muscles, qui doivent diminuer le pouvoir conducteur du son.

VIII. *Des masses d'air résonnent dans l'eau par des ondes sonores, lorsque l'air est renfermé dans des membranes ou des corps solides, et produisent par-là un renforcement considérable du son.*

Une personne était chargée d'exciter dans l'eau, au moyen du sifflet fermé par une membrane, des ondes sonores ayant une direction déterminée, tandis que, plongeant le conducteur dans le liquide, je le dirigeais vers mon oreille bouchée. Je suspendais alors dans l'eau, avec mes doigts, entre l'extrémité libre du sifflet et le conducteur, la vessie natatoire

d'un Gardon, de manière à ce qu'elle ne touchât ni l'un ni l'autre. Dans ce cas, le son perceptible avec le conducteur devient beaucoup plus fort que quand les ondes sonores ne parviennent à ce dernier, tenu d'ailleurs à la même distance, que par le seul intermédiaire de l'eau. Ceci prouve deux choses; d'abord, qu'au moyen de membranes interposées, le son passe très-facilement de l'eau à l'air et de l'air à l'eau, sans subir d'affaiblissement; ensuite, que, quand l'air est en même temps renfermé dans une membrane entourée d'eau de toutes parts, le son est singulièrement renforcé par la résonance de cet air limité, attendu que les ondes sonores sont en partie réfléchies par les limites de l'air, et que de là naissent des ondes sonores plus fortes.

IX. *Des membranes remplies d'air résonnent dans l'eau, alors même que les ondes sonores sont communiquées à la vessie par des corps solides.*

Si l'on fixe la vessie natatoire d'un Gardon dans la fente d'une baguette, qu'on tienne celle-ci appliquée aux parois d'un vase, de manière que la vessie soit libre dans l'eau, et qu'ensuite on pose un diapason résonnant sur le bord du vase, le conducteur mis en communication avec l'oreille bouchée, fera entendre les ondes sonores transmises à l'eau avec beaucoup plus de force au voisinage de la vessie, que dans tout autre point du liquide placé à une même distance du lieu d'où part le son, et le son est aussi fort que si l'on rapprochait le conducteur des parois du vase dans l'eau.

Avec un air plus condensé, cette résonance doit être plus forte. C'est ce qui suit déjà de la loi connue de la transmission du son dans l'air, savoir que l'intensité augmente avec la densité de l'air, et que le son d'une cloche s'affaiblit jusqu'à devenir imperceptible dans un espace où l'on raréfie l'air. Cependant les expériences directes avec une vessie natatoire n'indiquent qu'une très-petite différence lorsque l'air est comprimé et lorsque le sac est flasque. Pour faire l'expérience, j'attachais la vessie au tube d'une bonne seringue, à l'aide de

laquelle je pouvais la remplir d'air très-condensé. La vessie ne se distend presque pas, parce qu'elle est entourée à l'extérieur d'une membrane fibreuse.

X. *Des faits précédens, il suit que la vessie natatoire des Poissons est en même temps un appareil de résonnance pour les ondes sonores qui traversent le corps de l'animal.*

Cet espace plein d'air reçoit les ondes sonores de l'eau en partie par les organes mous du corps des Poissons, en partie par les os, spécialement par la colonne vertébrale, au devant de laquelle il est placé, et il devient le point de départ d'ondes de résonnance qui, elles-mêmes, se transmettent à leurs entourages, particulièrement aux os. On ne peut donc pas nier, en général, que la vessie natatoire ne contribue pour quelque chose à fortifier l'action du son sur l'organe auditif, même chez les Poissons dans le corps desquels elle n'a point de connexion avec cet organe. Mais partout où la connexion a lieu, soit par une chaîne d'osselets étendus jusqu'au labyrinthe, soit par l'adossement immédiat de la vessie natatoire au labyrinthe membraneux, cette vessie, comme caisse résonnante, comme condensateur et conducteur des ondes sonores qui rencontrent le corps entier, se lie de la manière la plus immédiate au labyrinthe, quant à sa manière d'agir. Cette fonction de sa part semble être devenue le but principal chez les Cobites, dont la très-petite vessie natatoire est logée dans une excavation vésiculeuse du corps de la seconde vertèbre, et entourée en grande partie de substance osseuse, tandis qu'en avant elle tient au labyrinthe par la chaîne des osselets de l'ouïe.

Comme l'aptitude à conduire et à résonner croît avec la densité de l'air dans la vessie natatoire, cet organe doit exercer une action plus forte sur l'ouïe dans les grandes profondeurs de l'eau, où il est considérablement comprimé par l'accroissement de la pression (1).

(1) MULLER, *Physiologie des Gesichtssinnes*, p. 441. — Comp. CARUS, dans *Bericht ueber die Versammlung der Naturf. in Iena*, Weimar, 1837.

Chez les Reptiles qui vivent dans l'eau, tels que les Protéides, les Amphiumes, les Ménopomes, les Tritons, les Bombinateurs, la transmission du son de l'eau à la lymphe du labyrinthe, indépendamment de celle qui a lieu par les os, n'est point favorisée par une fenêtre close d'une membrane, comme chez les Squales et les Raies, mais par une fenêtre garnie d'un petit couvercle mobile, la plaque de l'étrier. Cette plaque est fixée par une membrane au rebord de la fenêtre; la peau et les muscles passent par dessus, de même qu'ils recouvrent les os de la tête. On parvient aisément, au moyen d'un appareil analogue, à se convaincre du grand rôle que cette fenêtre joue lorsqu'il s'agit d'entendre dans l'eau. Les principaux avantages qu'offre cette disposition ne sont cependant pas calculés pour l'audition dans l'eau, mais bien pour celle dans l'air, comme on le verra plus loin. La fenêtre n'aurait pas été nécessaire pour entendre dans l'eau. Les Reptiles qui viennent d'être nommés sont des animaux à la fois aériens et aquatiques.

III. Transmission du son jusqu'au labyrinthe chez les animaux qui vivent dans l'air.

La transmission du son avec une certaine intensité, depuis la surface du corps jusqu'à l'eau du labyrinthe, exige un appareil bien plus compliqué chez un animal qui vit dans l'air que chez les animaux aquatiques. Car la propagation du son de l'air aux parties solides qui entourent l'organe auditif et l'eau du labyrinthe, s'accomplit avec beaucoup plus de difficulté que celle du son de l'eau aux parties dures. Aussi trouve-t-on, chez la plupart des animaux aériens, deux fenêtres fermées, l'une par une membrane, l'autre par un couvercle solide. Presque tous ont aussi une caisse du tympan, une trompe d'Eustache et deux conduits menant au labyrinthe, l'un dans lequel la transmission s'opère de la membrane du tympan à l'eau labyrinthique par des corps solides, les osselets