

de la fréquence) si l'œil se rapprochait de la source lumineuse, et vers le rouge (diminution de la fréquence) s'il s'en éloignait.

L'intérêt que Doppler portait à l'astronomie l'avait familiarisé avec les étoiles binaires, où le mouvement relatif de la source lumineuse pourrait être suffisamment important pour induire des changements de couleur. En fait, les catalogues d'étoiles comprenaient des exemples de binaires ayant des couleurs rouge et bleue complémentaires. C'est pourquoi son article, publié dans les comptes rendus de la Société royale des sciences de Bohême quelques mois après sa lecture à la société, était intitulé « Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels » (« Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres étoiles du ciel »). Bien que Doppler se soit trompé en supposant que le mouvement stellaire provoquerait un changement de la couleur globale d'une étoile, sa dérivation des décalages de fréquence était correcte.

L'EFFET DOPPLER ACOUSTIQUE TESTÉ AVEC DES MUSICIENS SUR UN TRAIN

Beaucoup de ceux qui avaient entendu parler de la théorie de Doppler n'y croyaient pas. Cependant, par une froide matinée de février 1845, le scientifique néerlandais Christoph Buys Ballot, qui venait de recevoir son doctorat de l'université d'Utrecht, demanda à des musiciens d'embarquer sur un wagon de train ouvert et de souffler dans leurs instruments à vent le long de la voie ferrée entre Utrecht et Maarssen. Buys Ballot ne pensait pas que les étoiles changeraient de couleur en raison de leur mouvement, mais, n'ayant aucun moyen de tester l'effet sur la lumière, il avait décidé de le tester sur le son.

Malheureusement, les musiciens furent importunés par la grêle et la neige, ce qui les empêcha de souffler correctement dans leurs instruments. L'expérience fut donc reconduite au mois de juin, plus clément. Cette fois, les trompettistes du wagon réussirent à jouer une note stable, et les musiciens stationnés à côté des rails purent entendre une note plus haute d'un demi-ton quand le wagon s'approchait et plus basse d'un demi-ton quand il s'éloignait. L'expérience valida la théorie de Doppler pour le son. Buys Ballot publia un article décrivant l'expérience, mais il refusa tout de même d'admettre que la lumière pouvait changer de couleur, malgré l'étroite analogie entre le son et la lumière.

La prolifique production scientifique de Doppler, associée à des partisans influents qui appréciaient l'importance de son travail, attira

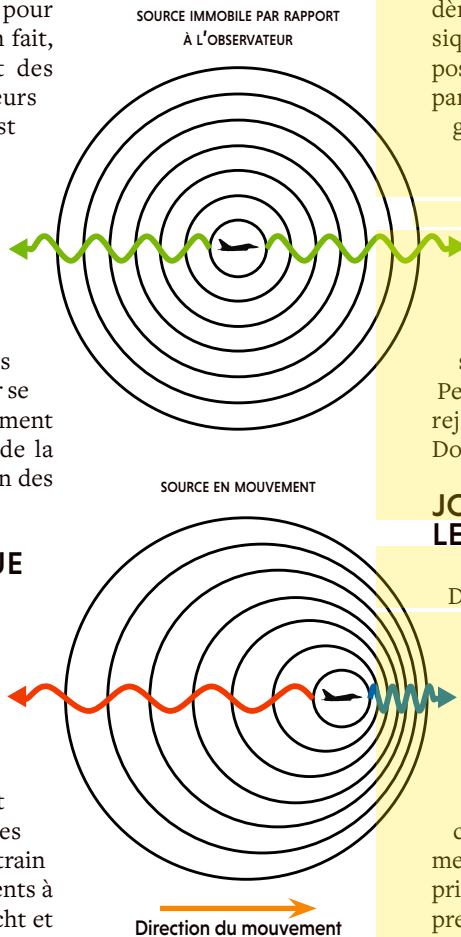
l'attention de l'empereur d'Autriche, François-Joseph, nouvellement couronné après que son oncle eut été contraint d'abdiquer pendant les révolutions de 1848. Réformer les enseignements était une haute priorité pour certains des conseillers de l'empereur, qui le persuadèrent de fonder le premier institut de physique d'Autriche et de nommer Doppler au poste de son premier directeur. Enthousiasmé par les perspectives qui s'offraient et regorgeant d'idées, Doppler se lança dans sa nouvelle fonction.

En tant que membre de l'Académie autrichienne des sciences, il proposa un prix pour le développement de la photographie afin de faire progresser la recherche scientifique. Malheureusement, les objectifs photographiques étaient la spécialité d'un autre membre, Joseph Petzval. Ses partisans au sein de l'académie rejetèrent la proposition de prix faite par Doppler, peut-être à l'instigation de Petzval.

JOSEPH PETZVAL DÉNIGRE LES IDÉES DE DOPPLER

D'autres ennuis dus à Petzval attendaient Doppler et son effet. Le 22 janvier 1852, lors d'une réunion de l'académie, Petzval lut un texte critiquant la théorie de Doppler. Lors d'une réunion ultérieure, le 21 mai 1852, une soixantaine de membres et d'invités étaient présents afin d'entendre les arguments des deux camps. La large assistance à ce simili-procès de l'effet Doppler contraste ironiquement avec les cinq membres de la Société de Bohême qui avaient pris connaissance des idées de Doppler pour la première fois dix ans plus tôt. Dans son intervention, qui fut publiée plus tard, Petzval attaqua la théorie de Doppler tant à propos du son que de la lumière.

Petzval était d'avis qu'aucune grande science ne pouvait émerger de quelques simples lignes d'algèbre : selon lui, tous les phénomènes naturels étaient les manifestations d'équations différentielles sous-jacentes. Partant de ce principe, il proposa un principe de conservation de la période d'oscillation dans les phénomènes ondulatoires. Bien qu'ayant quelque talent en tant que mathématicien, Petzval était un piètre philosophe de la nature. Il confondit une source et un récepteur en mouvement relatif avec une source et un récepteur immobiles dans un milieu en mouvement. Selon lui, les notes jouées par un orchestre bien accordé seraient tout aussi harmonieuses pour le public lors d'une journée agitée que lors d'une journée sans vent : les notes entendues ne seraient pas modifiées. Le philosophe et physicien autrichien Ernst Mach déclara plus tard que Doppler serait d'accord avec lui sur ce point, mais il ajouta que si >



On considère une source qui émet une onde sinusoïdale (acoustique, lumineuse ou autre) se propageant à la même vitesse dans toutes les directions. Lorsque la source est immobile, les fronts d'onde sont (en deux dimensions) des cercles centrés sur la source et régulièrement espacés, l'espacement étant inversement proportionnel à la fréquence de l'onde. Quand la source est en mouvement, les cercles des fronts d'onde se décalent dans la direction du mouvement (car chacun est centré sur le point d'émission correspondant, lequel se déplace). On voit ainsi qu'un observateur percevra une fréquence supérieure (un décalage vers le bleu pour une onde lumineuse) s'il est situé à l'avant, c'est-à-dire si lui et la source se rapprochent, et une fréquence inférieure (un décalage vers le rouge) s'il est situé à l'arrière, c'est-à-dire si lui et la source s'éloignent. Tel est le principe de l'effet Doppler.

> l'orchestre tombait d'une grande hauteur, le public entendrait la pièce en *fa* majeur plutôt qu'en *mi* majeur.

L'attaque de Petzval déconcerta Doppler. Le principe de l'effet Doppler avait déjà été vérifié pour les ondes acoustiques par Buys Ballot et par John Scott Russell, un ingénieur des chemins de fer et de la marine britannique, qui sera le découvreur des solitons, ou ondes solitaires, se propageant dans un canal. En outre, en France, Hippolyte Fizeau avait proposé la même théorie pour la lumière en 1848. N'étant pas au courant des travaux de Doppler, il avait correctement prédit que l'effet serait observable dans les décalages de fréquence des étroites raies spectrales d'émission des étoiles en mouvement, et non dans leur changement global de couleur. Fizeau présenta ses résultats lors d'une conférence à la Société philomathique de Paris le 29 décembre 1848. C'est pourquoi on parle aussi d'«effet Doppler-Fizeau».

PETZVAL GAGNE LA PARTIE

Doppler répliqua à l'attaque de Petzval en demandant simplement à son adversaire si un phénomène observé doit être considéré comme inexistant s'il ne peut être déduit d'équations différentielles. Aussi raisonnable que soit cet argument, une majorité de membres de l'académie se rangea du côté de Petzval, et seuls quelques autres, dont Andreas von Ettingshausen, prirent la défense de Doppler.

La décision finale de l'académie devait être prise lors d'une réunion le 21 octobre 1852. Une fois de plus, Petzval fut autorisé à présenter ses arguments. Mais Doppler ne put y assister : le stress et la déception causés par l'affaire eurent des conséquences négatives sur sa santé, qui s'effondra après des années de lutte contre la tuberculose. Lorsque les membres de l'académie apprirent qu'il préparait un voyage à Venise en vue d'améliorer sa santé, certains considérèrent à tort que Doppler se retirait de la mêlée et qu'il concédait sa défaite. Les membres se prononcèrent en faveur de Petzval et déclarèrent que la théorie de Doppler devait être «abandonnée, puisqu'elle est fausse, comme cela a été démontré».

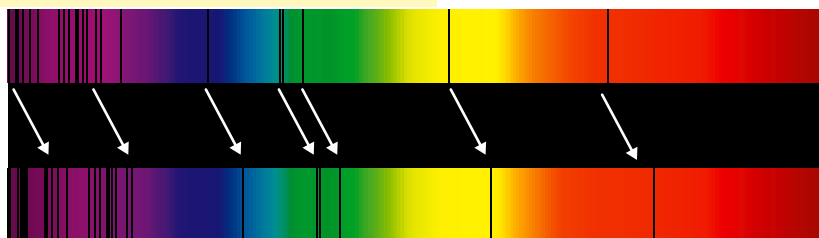
Dix jours plus tard, Doppler fut officiellement démis de ses fonctions de directeur de l'Institut de physique de Vienne et remplacé par Ettingshausen. Mais Doppler était déjà en route pour Venise, où il mourut de sa maladie quatre mois plus tard seulement.

ERNST MACH CONFIRME L'EFFET DOPPLER ACOUSTIQUE

C'était peut-être la fin de l'affaire à l'Institut de physique de Vienne, mais Ettingshausen n'était pas prêt à abandonner l'effet Doppler simplement parce qu'un comité avait déclaré

qu'il n'existait pas. Plusieurs années plus tard, il proposa à son étudiant Ernst Mach de construire un dispositif de laboratoire destiné à démontrer directement l'effet Doppler acoustique. Mach construisit et testa un système à anche tournante où des tubes acheminaient de l'air à celle-ci et la faisaient vibrer à sa fréquence naturelle, tout en dirigeant le son produit vers un observateur immobile. Pendant que le dispositif tournait, l'anche s'approchait et s'éloignait alternativement de l'observateur, qui pouvait entendre les tonalités qui montaient et descendaient rapidement.

Petzval continua cependant à nier l'effet et reprocha à Mach une stupidité liée à son jeune âge et de gâcher ses chances de carrière en s'accrochant à une théorie abandonnée. En réponse, Mach conçut un appareil encore plus ingénieux, qui permettait d'entendre dans une



direction les tons montants et descendants du son et dans une direction orthogonale, dans laquelle l'anche et l'observateur sont relativement stationnaires, un son de hauteur constante. Cette configuration démontrait même le principe de conservation des fréquences cher à Petzval. Malgré ces démonstrations, Petzval n'était jamais satisfait et, au cours des années suivantes, Mach dut subir la confusion et l'incrédulité persistantes de beaucoup d'autres, jusqu'à ce qu'il refuse finalement de discuter plus avant de l'effet.

L'ÉMERGENCE DE L'EFFET DOPPLER OPTIQUE

Bien que les indices expérimentaux en faveur de l'effet Doppler acoustique se soient régulièrement accumulés, les démonstrations correspondantes de l'effet Doppler optique ont tardé à émerger. La percée eut lieu en 1868 grâce à William Huggins. Ce Britannique était l'un des pionniers de la spectroscopie appliquée à l'astronomie et était célèbre pour avoir découvert que certaines nébuleuses étaient constituées de gaz atomiques, tandis que d'autres étaient formées d'étoiles. Huggins correspondit avec James Clerk Maxwell pour confirmer le bien-fondé des arguments de Doppler, que Maxwell corrobora en utilisant sa nouvelle théorie électromagnétique. En mai 1868, Huggins lut un article à la Société

Décalage vers le rouge des raies d'absorption dans le spectre visible du superamas de galaxies BAS11, comparé au spectre du Soleil. Ce décalage est très important, la vitesse de récession du superamas, due à l'expansion de l'Univers, étant très grande.