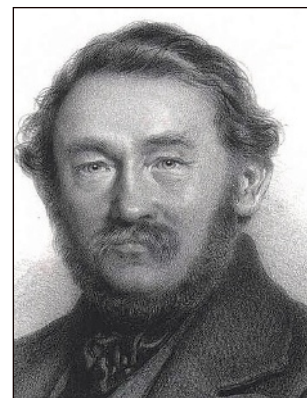




À gauche : Christian Doppler, probablement aux alentours de 1840. Au milieu et ci-dessus : trois des scientifiques qui ont joué un rôle important dans l'histoire de l'effet Doppler. Le Néerlandais Christoph Buys Ballot (au milieu en haut) a mis en évidence pour la première fois l'effet Doppler pour le son, en 1853. Le Hongrois Joseph Petzval (ci-dessus) s'est obstinément opposé à Doppler et à l'effet éponyme. L'Allemand Hermann Vogel (ci-contre) a publié en 1872 des travaux de spectroscopie du Soleil qui constituaient la première démonstration convaincante de l'effet Doppler pour la lumière.

> TU Wien) prenait fin; mais il ne parvint pas à retrouver un poste et dut se contenter d'un emploi de comptable dans une usine de coton.

Au début du XIX^e siècle, l'Empire autrichien était un État bureaucratique tentaculaire qui empilait les couches de réglementations et où il y avait pléthore de candidats compétents pour n'importe quel poste. En dépit de ses études supérieures, Doppler s'est perdu dans cet univers. Ses candidatures à des postes permanents n'ont pas été retenues et, dans le désespoir de ne jamais trouver une situation convenable, il décida d'émigrer aux États-Unis. Il vendit la plupart de ses biens pour payer son voyage et se rendit au consulat américain de Munich afin d'obtenir les documents nécessaires. Mais à son retour en Autriche, à la veille de quitter l'Europe pour un avenir incertain, il reçut une offre pour un poste d'enseignant dans un lycée de Prague, poste qu'il occupa à partir de 1835.

Doppler commença à publier des articles scientifiques et, en 1837, il fut nommé professeur supplémentaire de mathématiques supérieures et de géométrie à l'Institut polytechnique de Prague (aujourd'hui université technique tchèque); en 1841, il fut promu professeur titulaire de géométrie appliquée. Il y rencontra Bernard Bolzano, agitateur politique et mathématicien qui a travaillé sur des définitions rigoureuses de la notion de limite, aujourd'hui célèbre pour sa

contribution au «théorème de Bolzano-Weierstrass», en topologie, qui donne une caractérisation des espaces compacts. Bolzano présidait une réunion de la Société royale des sciences de Bohême le 25 mai 1842, le jour où Doppler lut un document faisant date sur la couleur des étoiles devant une maigre assemblée constituée de seulement cinq membres de la société.

Doppler s'était passionné pour l'astronomie et pour le phénomène de l'aberration stellaire. Celui-ci a été découvert par le Britannique James Bradley en 1727 et pouvait s'expliquer par le mouvement de la Terre autour du Soleil combiné à la vitesse finie de la lumière, qui fait que la position apparente d'une étoile distante change légèrement au cours de l'année.

CHANGEMENT DE COULEUR POUR UNE ÉTOILE EN MOUVEMENT?

En étudiant les travaux de Bradley, Doppler s'est demandé comment le mouvement relatif de la Terre influencerait sur la couleur de l'étoile. En faisant une analogie simple avec un navire se déplaçant dans le même sens que les vagues ou en sens contraire, il parvint à la conclusion que la fréquence des ondes lumineuses frappant l'œil se comportait de la même façon que celle des vagues frappant la proue du navire. Il en déduisit que la couleur de la lumière serait légèrement décalée vers le bleu (augmentation

Article traduit et adapté de « The fall and rise of the Doppler effect », paru dans *Physics Today* (mars 2020, pp. 30-35), avec l'autorisation de l'American Institute of Physics.

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.

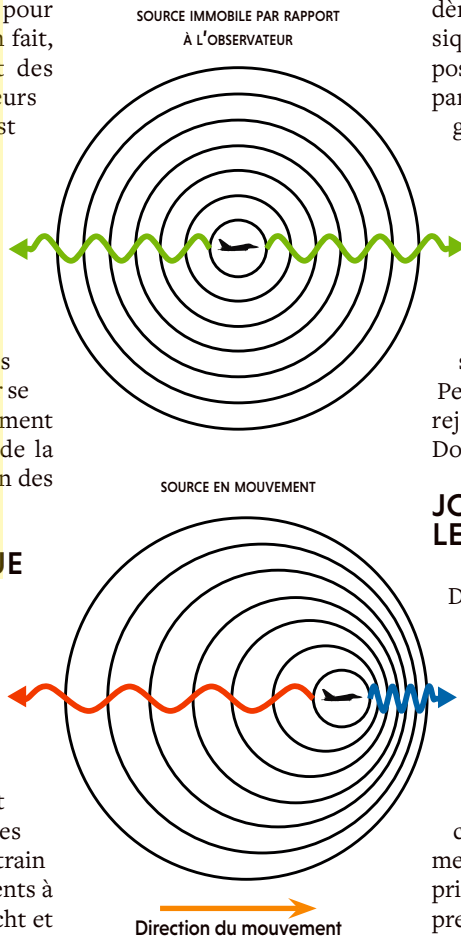
L'intérêt que Doppler portait à l'astronomie l'avait familiarisé avec les étoiles binaires, où le mouvement relatif de la source lumineuse pourrait être suffisamment important pour induire des changements de couleur. En fait, les catalogues d'étoiles comprenaient des exemples de binaires ayant des couleurs 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



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'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 attaquait 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 ➤