

**Zeitschrift:** Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 51 (1998)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Le déplacement vers le rouge du spectre solaire : et autres effets de déplacement spectral connexes : histoire et analyse des recherches entre 1880 et 1960

**Autor:** Hentschel, Klaus

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740165>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# LE DÉPLACEMENT VERS LE ROUGE DU SPECTRE SOLAIRE, ET AUTRES EFFETS DE DÉPLACEMENT SPECTRAL CONNEXES; HISTOIRE ET ANALYSE DES RECHERCHES ENTRE 1880 ET 1960

PAR

**Klaus HENTSCHEL\***

L'interdépendance entre les instruments, l'expérience, et la théorie est un sujet traité dans plusieurs analyses récentes dans les sciences diverses, s'étendant de la biologie moléculaire à la physique nucléaire.<sup>1</sup> Le domaine thématique choisi ici concerne l'histoire complexe d'un résultat astrophysique, le déplacement vers le rouge des raies du spectre solaire en comparaison avec des mesures précises des spectres terrestres. D'abord considéré comme effet insignifiant, gênant seulement aux spectroscopistes, le problème s'étend rapidement au cours des prochaines décennies à d'autres branches de recherches dans l'astronomie, l'astrophysique, la métrologie, la physique des solides et la physique théorique. Je propose d'offrir une description précise et minutieuse de ces recherches et leur emmêlement progressif.

Dans l'histoire du déplacement vers le rouge des raies spectrales, l'intervalle entre la 'découverte' et son explication théorique était long, et il fallait suivre une voie tortueuse et ardue pour y parvenir. Une difficulté dans d'autres cas moins prolongés est peut-être qu'ils sautent certains stades de leur évolution, ou qu'il n'en reste pas assez de documentation historique. Ici la découverte inattendue, même importune, n'est reconnue que lentement, ainsi que son explication théorique; pour une vue complète il fallait donc inclure toute la période d'environ 1880 à 1960, ainsi qu'une rétrospective préalable de la recherche de laboratoire dans la spectroscopie, et jeter un coup d'œil sur les développements technologiques après 1960. Ce qui m'intéresse particulièrement sont les interprétations attachées à l'effet au cours de l'évolution de sa théorie, le perfectionnement progressif de ses instruments et les améliorations dans les méthodes de laboratoire. Etant donné que le jeu combiné de ces trois éléments a duré pendant plusieurs décades (du premier enregistrement de l'effet jusqu'à l'interprétation satisfaisante dans la théorie de la physique et de l'astrophysique, plus que 70 ans!), le cas traité ici se prête formidablement

<sup>1</sup> Comp. p. ex. le résumé de la littérature dans ma monographie *Zum Zusammenspiel von Instrument, Experiment und Theorie. Rotverschiebung im Sonnenspektrum und verwandte spektrale Verschiebungseffekte von 1880 bis 1960*, Hambourg, Verlag Dr. Kovač, 1998, chap. 1, de même mes remarques supplémentaires 'Historiographische Anmerkungen zum Verhältnis von Experiment, Instrumentation und Theorie', dans Christoph Meinel (éd.) *Experiment: Historische Studien*, Bassum & Stuttgart, GNT-Verlag, 1998.

\* Institut für Wissenschaftsgeschichte Universität Göttingen, Humboldtalle 11, D-37073 Göttingen.

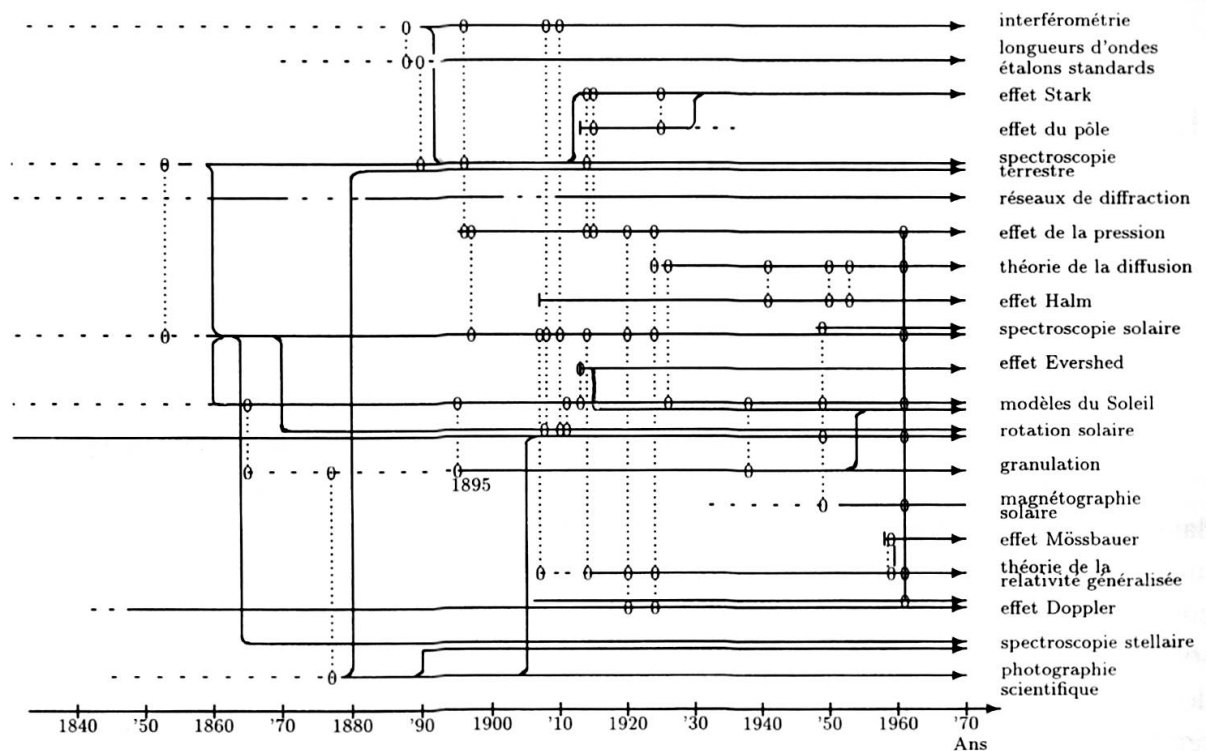


FIG. 1

Diagramme synoptique de l'entrelacement et de la ramification des traditions de recherche dans la spectroscopie, l'interférométrie et la physique solaire.

à la clarification des problèmes divers déjà entamés dans la littérature de l'histoire des sciences. Par conséquent, il est possible de présenter les interdépendances de ces trois éléments entrelacés — théorie, instrumentation, expérience, qui sont typiques pour toutes les disciplines expérimentales — dans le cadre de ce cas étendu comme déroulement à ralenti.

### Ebauche de l'évolution historique

Les améliorations dans la résolution des spectromètres, achevées grâce aux développements technologiques, permettaient aux collaborateurs de Henry Augustus Rowland à Baltimore vers 1890 de constater que, par rapport aux raies spectrales émises par une source lumineuse terrestre, les raies sombres de Fraunhofer dans le spectre solaire étaient déplacées vers le rouge. Cette différence était à la limite de la précision de la mesure, à savoir, environ  $0,05\text{\AA}$ . Rowland voulait d'abord interpréter cette anomalie par l'imperfection des instruments utilisés. Cependant, son assistant de laboratoire Jewell put démontrer qu'il s'agissait d'un 'effet véritable' dans le spectre du Soleil. On supposait alors que la pression atmosphérique du Soleil, dont on ne savait encore rien à cette époque, en était la cause. La situation devint plus compliquée après 1900, lorsque l'on aperçut un nombre croissant d'indications que les spectres terrestres de comparaisons, eux aussi, exhibent de petits déplacements, à savoir, aussi bien le spectre de l'étincelle électrique que le spectre de l'arc. Notamment l'effet du pôle, qui était présent dans plusieurs

mesures étalons pris à Bonn, Washington, Marseille, et Paris, les rendit d'un coup presque inutiles. On sentait plus vivement le besoin d'une nouvelle fondation solide des longueurs d'ondes étalons standards, ce dont on tenait compte dans les activités coordonnées internationales de la Commission de l'Union de coopération des recherches solaires. Au début des années 1920, de nouveaux résultats de la théorie de l'atmosphère solaire indiquèrent que la pression dans les couches extérieures était seulement une fraction d'une atmosphère; or, l'effet de la pression ne peut jouer qu'un rôle insignifiant dans le déplacement spectral. A l'aide de développements instrumentaux, on pouvait éliminer, du moins pratiquement, les effets de l'étincelle et du pôle, avant de pouvoir les expliquer théoriquement. Par contre, d'autres problèmes inattendus se révélèrent sous forme de déplacements des raies sombres générées des rayons émis à proximité du centre et du bord du Soleil, ce que Jacob Halm à Edinburg remarqua en 1907. Ainsi fut achevé le lien entre les recherches spectrométriques et celles traitant de la rotation solaire. Dans cette année même, Einstein lui aussi postula pour la première fois l'effet du déplacement vers le rouge des raies spectrales en provenance de champs de gravitation forts, comme, par exemple, celui du Soleil. Plusieurs décades devaient s'écouler avant qu'une clarification complètement satisfaisante pût être trouvée pour le déplacement des raies solaires émises du bord et du centre après l'avoir corrigé pour l'effet Doppler. Par contre, pour le problème du déplacement gravitationnel vers le rouge, une prédiction théorique existait déjà, mais malgré des essais massifs en cette direction, les données d'expérience des spectres solaires ne permettaient pas de vérification. Au lieu d'un déplacement constant relatif de  $\Delta\lambda/\lambda \simeq 2 \times 10^{-6}$ , comme prévu par la théorie de la relativité générale, les valeurs moyennes trouvées par les divers groupes de chercheurs variaient radicalement entre elles, même les informations brutes des résultats du centre solaire; en outre, elles s'inclinaient à rester nettement au-dessous de la valeur prédite par Einstein. Ni les efforts de Karl Schwarzschild ni ceux d'Erwin Finlay Freundlich à partir de 1914 ne purent fournir de confirmation claire du déplacement gravitationnel. Pourtant Einstein n'abandonna pas sa confiance en l'existence de cet effet, qui est une conséquence directe du principe d'équivalence, un principe crucial de sa théorie généralisée de la relativité et de la gravitation. Le revirement brusque, entre 1917 et 1927, d'une majorité de la communauté scientifique en faveur d'Einstein au sujet de la vérification empirique de son effet est dû surtout aux recherches de Charles Edward St. John à Mt. Wilson en Californie. Au début antirelativiste convaincu, cet astronome américain finit par se convertir, en 1923, en partisan, s'appuyant sur les indications empiriques de ses propres résultats. Mais ceux-ci restaient sujet à controverse entre les spécialistes. Pendant les décennies suivantes, les méthodes de mesure et les modèles théoriques des processus dans l'atmosphère solaire gagnent d'une sophistication considérable, sans que la théorie et l'expérience ne s'harmonisent. On doit attendre jusqu'en 1959/60 pour la vérification nette du déplacement gravitationnel vers le rouge, dans le champ de gravitation de la Terre, accomplie sous des conditions expérimentales reproductibles, au moyen de l'effet Mössbauer, qui venait d'être découvert. Dans les années 1960 on réussit enfin à confirmer ce déplacement dans le spectre solaire en utilisant des instruments de vérification nouveaux.

Entrelacés avec la file directrice de cette exposition historique, d'autres aspects sont mis en relief: l'institutionnalisation de l'astrophysique dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, ainsi que les liens intéressants entre le développement de nouvelles disciplines et la conception des instruments requis par des constructeurs indépendants spécialisés. Très souvent, des scientifiques de premier ordre entretenaient des rapports suivis avec leurs mécaniciens, jusqu'au lancement d'un nouvel instrument. Steinheil, qui mettait en pratique les idées de Kirchhoff et de Bunsen dans la construction d'un spectroscopie sophistiqué, est un tel exemple; un autre exemple est le fabricant d'instruments Brashear et Cie, à Pittsburgh, qui réalisait les réseaux de diffraction sur les surfaces concaves pour le spectroscopiste H.A. Rowland à Baltimore (v. aussi sec. 11.4.1 qui traite de l'interaction entre la science et l'industrie en général).

### **La mesure de précision et le déclenchement de découvertes**

La série de mesures précises, commencée par Rowland, d'à peu près 20'000 longueurs d'ondes jusqu'à la quatrième décimale significative (donc une précision de 8 chiffres au total) exemplifie le style de la physique de précision suivi à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Avec la découverte du déplacement vers le rouge des raies spectrales du Soleil qui en résulta, cette série fournit une exception complètement inattendue des régularités physiques connues jusque-là; on ne savait même pas comment les classer. Il est montré que l'amélioration constante de la précision en déterminant les longueurs d'ondes qu'avait atteinte Rowland à force de l'impératif méthodologique de l'accroissement de l'exactitude (il finit par une précision augmentée d'un facteur 10 sur ses prédécesseurs) était la condition requise pour que cette découverte fut possible, puisque la résolution spectrale d'auparavant ne suffisait pas pour discerner les déplacements relatifs vers le rouge d'un ordre de grandeur de  $10^{-6}$ . Cependant Rowland ne croyait pas pouvoir trouver quelque chose de fondamental dans ces recherches. Paradoxalement c'est dans ce contexte purement empirique qu'on a trouvé des résultats qui ne sont compréhensibles que dans un cadre théorique tel que la théorie de la relativité généralisée d'Einstein, qui mène bien au-delà de l'horizon de la physique classique.

C'est alors un cas modèle dans la science normale, en fin de siècle: des mesures de série des longueurs d'ondes étalons produisent une révolution dans la conception du monde qui, auparavant, était hors de considération dans l'idéologie scientifique victorienne. La découverte du déplacement vers le rouge dans le contexte des recherches de routine tout à fait empiriques est un exemple exceptionnel d'un revirement historique d'une aggravation quantitative à une nouveauté qualitative. Ainsi, c'était d'une part la plus fine résolution des réseaux concaves de diffraction qui permettait à Rowland et à son assistant Jewell la découverte du déplacement des raies spectrales; d'autre part, la découverte, à son tour, exigeait encore plus de raffinement des spectromètres de haute précision, ce qui fut achevé au début du siècle avec le développement des méthodes interférométriques pour la détermination des longueurs d'ondes, bien que ces instruments ne fussent capables de mesurer que des raies particulières assez distinctes et intenses.

Ayant une précision de mesure entre 0,1 et 0,01Å, les réseaux de diffraction du type Rowland restaient un moyen de recherche réclamé jusqu'aux temps modernes. Donc, il ne faut pas considérer l'amélioration de la précision métrologique dans un certain domaine, avec ses perfectionnements techniques, comme un processus de substitution totale d'un type d'instrument particulier par un autre. Il s'agit plutôt de l'établissement d'un niveau supplémentaire dans la métrologie. Sur le plan pratique et sur le plan théorique, celle-ci devient de plus en plus complexe, tout en continuant d'évoluer au niveau plus bas où on continue d'utiliser les instruments traditionnels et moins précis.

De ces observations sur les relations entre l'augmentation de la précision et la probabilité de découvertes on peut aussi tirer la conclusion plus profonde que les découvertes les plus importantes eurent lieu à la limite de la précision métrologique. Plusieurs découvertes significatives suivaient de proche l'introduction d'innovations techniques: l'utilisation des réseaux concaves conçus par Rowland ne menait pas seulement à l'effet dont il s'agit ici. En 1896 on réussit à trouver l'effet Zeeman, à savoir, l'influence du champ magnétique sur la position et le nombre des raies spectrales, ce que des générations de physiciens avaient cherché en vain. D'autres cas de ce déclenchement de découvertes nouvelles par le perfectionnement des instruments sont: la génération de champs électriques forts conduisant à la découverte de l'effet Stark, de même que la vérification du déplacement vers le rouge dans le champ de gravitation terrestre par le moyen de la technologie de Mössbauer.

Il en résulte une perspective intéressante sur la suite et la fréquence de découvertes scientifiques: avec chaque perfectionnement technique déclenché par une innovation imprévisible ou par une avance technologique, nous pouvons attendre une montée rapide suivie d'un ralentissement de découvertes scientifiques. Lorsque toutes les possibilités de cette vague technologique sont épuisées, une sorte de saturation des potentialités d'expérience s'installe jusqu'à ce qu'un nouveau seuil soit franchi. Il en résulte un mouvement cyclique de découvertes dans chaque champ d'enquête. Puisque de telles nouvelles possibilités d'observation, ou bien de tels perfectionnements d'instruments déjà disponibles, sont des conditions évidemment nécessaires (quoique, comme nous l'avons vu, non pas suffisantes) aux découvertes scientifiques plus importantes, les innovations technologiques assument un rôle clef. Elles déclenchent des cycles de découvertes souvent sans qu'on les remarque derrière les progrès remarquables qu'elles avaient stimulés.

L'étendue temporelle généreuse de cette étude permet la comparaison structurelle des divers épisodes dans un même contexte de recherche, ce qui dans d'autres cas pose une difficulté d'analyse. J'espère qu'une telle analyse de cas thématiquement parentés dans le contexte disciplinaire de l'astronomie, de la spectroscopie et de l'astrophysique entre 1880 et 1960, à fin de chercher des motifs ou formules typiques qui les relient les uns aux autres dans leurs relations d'instrumentation, d'expérience, et de théorie, est intéressante pas seulement aux historiens des sciences, mais aussi aux scientifiques qui s'intéressent à l'évolution historique de l'astronomie et de la physique du XIX<sup>e</sup> et du XX<sup>e</sup> siècles, et aux philosophes des sciences qui s'occupent du problème des interdépendances entre l'expérience, l'instrumentation et la théorie.

