Spectres de bandes. D'après quelques notes manuscrites de Ritz et une conversation

Pierre Weiss

► To cite this version:

Pierre Weiss. Spectres de bandes. D'après quelques notes manuscrites de Ritz et une conversation. Radium (Paris), 1911, 8 (5), pp.177-180. 10.1051/radium:0191100805017700 . jpa-00242468

HAL Id: jpa-00242468

<https://hal.science/jpa-00242468>

Submitted on 1 Jan 1911

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRES ORIGINAUX

Spectres de bandes

D'après quelques notes manuscrites de Ritz et une conversation ¹

Par Pierre WEISS

a) *Mécanisme d'émission des spectres de bandes.*

Dans le mémoire ² où Ritz étudie un mécanisme électromagnétique simple émettant les spectres en séries, il dit à la page 675 (*Œuvres*, p. 412).

« Ces théories ne s'appliquent pas aux spectres de bandes. Pour ce qui les concerne, je m'en tiendrai à la remarque que l'on peut peut-être les attribuer à des anneaux ou à des polygones fermés, formés des mêmes aimants élémentaires. On peut supposer, en effet, que des organes de cette espèce jouent un rôle important dans la construction de l'atome et que pour qu'un spectre en séries puisse se produire ils doivent au préalable être brisés par les phénomènes électriques ou chimiques qui provoquent l'émission de la lumière.... »

Il a été trouvé dans les papiers laissés par Ritz, sur une petite feuille portant quelques équations et quelques mots de texte, une ébauche de théorie de ce mécanisme d'émission des spectres de bandes, que je vais essayer d'expliquer.

Rappelons que l'organe d'émission des spectres en séries, imaginé d'abord comme des bâtonnets magnétiques et non magnétiques, juxtaposés en ligne droite, peut être réalisé de diverses façons. Ritz se représentait volontiers ³ les bâtonnets magnétiques comme fournis par des solides de révolution chargés d'électricité à leur surface et animés d'un mouvement rapide de rotation autour de leur axe. Il s'était rendu compte, en particulier, que pour des solides de révolution quelconques on peut trouver une distribution superficielle d'électricité qui les rend équivalents à des systèmes de deux pôles magnétiques situés sur l'axe. Lorsque les pôles magnétiques se rapprochent de la surface, la densité électrique augmente indéfiniment dans leur voisinage et les surfaces portant l'électricité

deviennent pratiquement équivalentes à des charges ponctuelles. Ces solides sont alternativement positifs et négatifs et doués de rotations de sens contraire. Ils sont fixés les uns aux autres, en chaîne linéaire, par leur attraction électrostatique. Il avait pensé que les bâtonnets non magnétiques, exigés eux aussi par la théorie des spectres en séries, pourraient être des corps électrisés de même espèce, mais dépourvus de rotation, puis, faisant un pas de plus, que l'électron vibrant et le pôle électrique libre à l'extrémité de la file des bâtonnets sont une seule et même chose.

Supposons que, supprimant les bâtonnets non magnétiques, on considère une file de bâtonnets magnétiques. On peut admettre que, lorsqu'elle est soumise à une tension α^2 , elle possède la propriété de prendre des mouvements vibratoires analogues à ceux d'une corde ou plutôt d'une chaîne.

Il règne le long de cette corde un champ magnétique H dirigé dans le sens de la longueur et elle porte des charges électriques équidistantes. Supposons que ces charges exécutent des vibrations circulaires autour de l'axe sous l'influence combinée de la tension α^2 et du champ H . (Les notes de Ritz sont muettes sur la raison pour laquelle l'action du champ sur les charges positives et négatives voisines ne se neutralisent pas. On peut peut-être invoquer à cet effet une différence de configuration des charges positives et négatives, que l'on est disposé à admettre par ailleurs. Les unes, occupant un espace plus étendu, seraient, par exemple, partiellement en dehors du champ.)

L'état vibratoire est alors décrit par :

$$(1) \quad \begin{cases} y = A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \nu t \\ z = A \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \nu t \end{cases}$$

où a est la distance entre deux nœuds consécutifs pour la vibration fondamentale et $\nu : 2\pi$ la fréquence. Les équations du mouvement d'un élément de corde dx de masse μdx et de charge ϵdx contiendront le

1. Note ajoutée aux *Œuvres de W. Ritz*, publiées par la Soc. Suisse de Phys., (Gauthier-Villars, 1911.)

2. Magnetische Atomfelder und Serienspektren. *Ann. d. Phys.* 25 (1908) 660; *Œuvres de Ritz*, VII, p. 98.

3. *Loc. cit.* p. 670, *Œuvres*.

terme d'inertie et les forces provenant du champ magnétique et de la tension de la corde :

$$(2) \quad \begin{cases} \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \varepsilon H \frac{\partial z}{\partial t} - \alpha^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \\ \mu \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - \varepsilon H \frac{\partial y}{\partial t} - \alpha^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0 \end{cases}$$

d'où, en substituant (1), deux fois la même équation :

$$(5) \quad \mu \cdot v^2 + \varepsilon \cdot v \cdot H - \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \cdot \alpha^2 = 0$$

dans laquelle H peut aussi être remplacé par $-H$, donc

$$(4) \quad v = \pm \frac{\varepsilon H}{2\mu} \pm \frac{\varepsilon H}{2\mu} \sqrt{1 + \frac{4m^2 \pi^2 \mu}{\varepsilon^2 H^2 a^2} \alpha^2}.$$

Les solutions correspondant aux deux signes $+$ et aux deux signes $-$ sont seules acceptables. En posant

$$\frac{4\pi^2 \alpha^2 \mu}{\varepsilon^2 H^2 a^2} = k^2$$

nombre qui est petit quand la tension de la corde a un rôle subordonné par rapport au champ, on a :

$$(5) \quad v = \frac{\varepsilon H}{\mu} \left[1 + \frac{m^2 k^2}{4} - \frac{m^4 k^4}{16} + \dots \right].$$

Pour $m=0$, on retrouve la fréquence d'une charge décrivant un cercle dans le champ H. Si l'on s'arrête au deuxième terme, on a la loi de Deslandres avec $v_0 = \frac{\varepsilon H}{\mu}$ pour la tête de la bande. Si l'on conserve le 3^e terme, v croît moins vite, comme le veut l'expérience.

Ritz est amené ici à choisir entre une file rectiligne et un anneau fermé. Il donne la préférence à ce dernier dans les termes suivants : « S'il y a deux extrémités, les lignes devraient être d'abord simples ($m=1, 2, \dots$), puis à m grand correspondront des vibrations diverses selon que l'on se trouve aux extrémités ou au milieu. Donc anneau circulaire ».

v croît avec m , la bande a donc la tête du côté du rouge. Pour obtenir des valeurs décroissantes, il faut supposer α^2 négatif. L'anneau, au lieu d'être tendu, est comprimé dans la direction de la périphérie.

L'écartement entre deux raies consécutives est donné à partir de la formule complète (4), par :

$$(6) \quad \frac{dv}{dm} = \frac{v_0}{2} \frac{mk^2}{\sqrt{1+m^2k^2}}$$

Il croît plus lentement que la loi de Deslandres l'indique, et cela est conforme à l'expérience. Mais l'écart ne cesse pas de croître. La formule ne donne donc pas le maximum d'écartement des expériences de Kayser et Runge¹ sur le spectre du cyanogène².

1. KAYSER et RUNGE, *Wied. Ann.*, **38** (1889) 80.

2. La même feuille de notes porte encore l'indication sui-

Sur une autre feuille de notes de Ritz se trouve la trace de nombreuses tentatives pour trouver la meilleure formule empirique à trois constantes représentant ces expériences de Kayser et Runge. Cette feuille paraît être antérieure à ses idées sur l'origine électro-magnétique des spectres et n'est donc qu'indirectement en rapport avec ce qui précède. Il essaye notamment

$$v = a + bm^2 \sqrt{1 + cm^4}$$

et les 3 premiers termes de son développement

$$v = a + bm^2 + cm^6$$

et trouve que le terme en m^6 varie trop rapidement. Il essaye

$$v^2 = a + bm^2 + cm^4$$

et

$$v = a + bm^2 + cm^4.$$

Il trouve cette dernière formule préférable aux autres et note à ce propos que « à partir de la 160^e raie les fonctions $v=f(m)$ et $v^2=f(m)$ se comportent d'une manière non régulière ». Nous allons revenir sur ce point. Il essaye encore :

$$v^2 = \frac{a + bm^2}{1 + cm^2}$$

l'erreur est un peu plus grande que ci-dessus.

Dans une conversation, Ritz avait énoncé une idée qui rattache ce qu'il appelle « le caractère non régulier de la fonction v pour les raies d'ordre élevé » au mécanisme d'émission. Il s'était exprimé à peu près de la manière suivante :

On possède dans certaines bandes des nombres de raies considérables dont la position est déterminée avec exactitude; mais, quelle que soit la loi empirique avec laquelle on cherche à représenter la distribution des raies dans ces bandes, il arrive un moment où, pour un numéro d'ordre élevé des raies, cette loi est en défaut. Si l'on a recours à une représentation graphique, la courbe tourne court, avec une brusquerie que les formules habituelles ne rendent pas.

Imaginons que la partie de l'atome dont les vibrations émettent des spectres de bandes ait une structure analogue à celle d'une chaîne composée de maillons de longueur déterminée. On conçoit alors très bien que les vibrations se produisent pour la plus grande partie du phénomène comme si la chaîne avait une structure continue, tandis que pour des longueurs d'ondes voisines de la longueur du maillon (ou de certaines valeurs particulières en relation avec elle),

vante, se rapportant à une autre solution possible du problème, dans laquelle n'intervient pas la tension α^2 : « Outre le champ magnétique constant qu'il produit dans toute sa longueur, un anneau peut être soumis encore à des champs magnétiques extérieurs, variables de point en point, faibles par rapport au premier ».

les nombres de vibrations soient influencés par la grandeur finie de l'élément.

b) Structure des bandes.

A la question qui lui avait été adressée : « N'est-il pas établi que des bandes ont quelquefois deux « têtes », l'une du côté des grandes longueurs d'ondes, l'autre du côté des petites » (hypothèse de Thiele¹) ? Ritz avait répondu sans commentaires : « Cette idée n'est pas soutenable ».

Les tableaux de nombres trouvés dans ses notes montrent que cette conviction se rattache aussi à l'étude des bandes du cyanogène observées d'abord par Kayser et Runge², puis par Jungbluth³ et dont les têtes sont à 5885,56 ; 5871,55 ; 5861,85 et 5854,85 Å.

Voici en quelques mots l'état de la question : King⁴, ayant découvert de nouvelles têtes dirigées du côté des petites longueurs d'ondes, a cru pouvoir les considérer comme les « queues » correspondant aux « têtes » anciennement connues et les a associées en faisant chevaucher les bandes les unes sur les autres. Comme preuve de cette coordination il donne des relations numériques entre les longueurs d'ondes des têtes et des queues. Elles sont contenues dans le tableau suivant :

T_n	Q_n	$\frac{T_n}{Q_n}$	T_n	Q_n	$\frac{T_n}{Q_n}$
5590,52	5205,84	1,12069	5885,60	5465,69	1,12059
5585,99	5180,58	1,12746	5871,59	5455,17	1,12770
5584,10	5160,32	1,13409	5861,91	5405,04	1,13417

La valeur démonstrative de ce tableau me paraît faible. D'après la loi de Deslandres, qui est applicable aux têtes de bandes d'une série, comme aux raies d'une bande, les distances entre les têtes successives, mesurées à l'échelle des fréquences, forment une progression arithmétique. Supposons que l'on associe deux séries de bandes tournées en sens contraire et obéissant l'une et l'autre à cette loi, mais entièrement indépendantes quant à leur origine. Si les raisons des deux progressions arithmétiques sont voisines, comme

cela arrive fréquemment¹, les distances entre les têtes et les queues formeront, elles aussi, une progression arithmétique. (Critérium de dépendance invoqué par Jungbluth.) Il en sera même ainsi, quelles que soient les deux premières bandes que l'on associe, et cela pourra se produire, suivant que les raisons des deux progressions seront de même signe et de signe contraire, quand on se déplace à partir des premières bandes dans le même sens ou dans le sens contraire.

En première approximation le quotient des fréquences variera, dans les mêmes cas, en progression arithmétique. C'est ce que trouve King. Eu égard à la grande similitude des séries de bandes successives, on ne saurait attribuer une portée quelconque à ce que ce quotient passe deux fois approximativement par les mêmes trois valeurs.

Cet argument paraît néanmoins avoir pesé d'un assez grand poids dans la conviction de Kayser² qui considère comme certain que King ait trouvé les queues correspondant aux têtes et que par suite l'hypothèse de Thiele soit exacte.

Jungbluth se propose de contrôler cette hypothèse en faisant de nouvelles mesures sur une partie des bandes anciennement connues. Pour les discuter, il porte en abscisses³ les longueurs d'ondes et en ordonnées la différence des longueurs d'ondes de deux raies consécutives. Les courbes qu'il obtient ainsi pour quatre des bandes du cyanogène partent de leurs têtes T_1, T_2, T_3, T_4 avec une allure approximativement parabolique qui correspond à la loi $\nu = A + (Bm + C)^2$ (ν = fréquence, m = nombre entier) de Deslandres ; mais pour les raies de numéros d'ordre élevés, la courbe est nettement au-dessous de la parabole et l'écart entre les raies consécutives passe même par un maximum. Ces courbes expérimentales sont continuées en pointillé et semblent aboutir naturellement,

Fig. 1.

dans le dessin original de Jungbluth, pour les trois dernières bandes à des queues Q_2, Q_3, Q_4 indiquées par

1. THIELE, *Astroph. Journal*, **6** (1897) 65.
2. KAYSER et RUNGE, *Wied. Ann.*, **38** (1889) 80.
3. JUNGBLUTH, Regularities in the Structure of the third Cyanogen Band, *Astroph. Journal*, **20** (1904) 237.
4. KING, *Astroph. Journal*, **14** (1901) 323.

1. VOIR FABRY, *J. de Phys.*, **4** (1905) 245.
2. KAYSER, *Handbuch der Spektrosk.*, 1^{re} éd. 2-487.
3. La figure donnée ici est celle de Jungbluth, redessinée en remontant aux tableaux de nombres contenus dans son travail.

King. Pour la première, une tête de King faisant défaut dans la région où Jungbluth l'attend, il continue la courbe par continuité, et détermine ainsi la position de la queue Q_1 , dans une région où elle est inobservable par suite de la présence d'une bande intense.

Laissant celle-ci de côté nous avons :

Têtes d'après Jungbluth.	Têtes d'après King.	Queues supposées.
T_2 . . . 5871,55	4152,95	Q_2 . . . 5605,12
T_5 . . . 5861,85	4158,22	Q_5 . . . 5628,98
T_4 . . . 5854,85	4165,54	Q_4 . . . 5658,27

La coordination des têtes et des queues de Jungbluth est donc formellement en contradiction avec celle de King. En outre, chez Jungbluth, les bandes

Fig. 2.

Fig. 5.

complètes de King chevauchant (fig. 2) les unes sur les autres, sont remplacées par des bandes s'emboîtant les unes dans les autres.

Jungbluth, qui signale expressément cette circonstance, ne craint pas d'ajouter que, rapprochée des relations numériques de King, elle apporte aux idées de ce dernier une nouvelle confirmation.

Pour rechercher quelle est exactement la portée des expériences de Jungbluth, j'ai marqué dans le dessin les points observés. La partie expérimentale, représentée en traits pleins, se termine, pour les quatre bandes, en a , b , c , d . Pour deux des bandes, en b et en d , elle s'écarte de la partie extrapolée par Jungbluth, représentée en pointillé, par une plus grande courbure, semblant donner raison à l'idée de Ritz, et rendant impossible l'attribution des queues faites par Jungbluth.

Mais si l'on compare les expériences de Jungbluth à celle de Kayser et Runge, la concordance qui est bonne jusqu'en b' cesse. On se rend compte facilement que Jungbluth a, en b' , passé par inadvertance à des raies d'une bande voisine placées par rapport à celles de la bande suivie jusque là à peu près comme les traits d'un vernier par rapport à ceux de l'échelle principale. D'ailleurs Jungbluth supprime dans son graphique la portion $b'b$. En définitive sur les quatre bandes, la corrélation entre les têtes et les queues est admissible à la rigueur pour deux d'entre elles ($T_2 - Q_2$; $T_5 - Q_5$).

L'idée de Ritz sur la nature non régulière de la fonction ν pour les raies d'ordre élevé qui repose sur la brusquerie du coude en b' a donc en partie comme origine une erreur de Jungbluth.

Il semble qu'à la suite du travail de Jungbluth, la conviction que l'hypothèse de Thiele est exacte se

soit généralisée. En 1905, A. Hagenbach¹ l'exprime dans une monographie sur les spectres de bandes. On n'a pas remarqué qu'en réalité les *conclusions* de Jungbluth à la fin de son travail sont beaucoup moins affirmatives que ses *courbes*.

On trouve encore dans les notes de Ritz l'indication suivante :

« Les queues de King, en particulier celle à 5605, sont impossibles, parce qu'elles sont composées de raies relativement intenses avec des *différences* presque *constantes*, tandis que les différences devraient croître très rapidement comme à la tête de la bande. »

Cette remarque est très probablement suggérée par l'examen de la planche de Kayser et Runge² sur laquelle il est aisé de reconnaître l'aspect décrit par Ritz. On peut y évaluer la distance des raies à 0,5 Å environ, ce qui porte l'arc de courbe correspondant bien en dehors des limites de la figure. Le même aspect est visible sur la planche de Jungbluth (*loc. cit.*).

Cet argument semble définitivement détruire ce qu'il reste de probabilité aux attributions faites par Jungbluth. Nous avons déjà fait justice incidemment de l'argument que Jungbluth tire de ce que les *longueurs* des bandes varient en progression arithmétique. Mentionnons que, par contre, Ritz note avec soin comme un fait important la progression arithmétique, signalée par Jungbluth, des écartements maxima des raies des quatre bandes (2,25 ; 2,00 ; 1,75 ; 1,5 Å). Ce fait conserve sa valeur indépendamment de toute hypothèse sur l'existence d'une seule ou de deux têtes.

On peut donc conclure de la manière suivante : l'hypothèse de Thiele est appuyée par :

- 1° L'existence des têtes dirigées dans les deux sens ;
- 2° L'existence d'un maximum dans l'écartement des raies.

Mais la démonstration de cette hypothèse n'a pu être continuée jusqu'à présent, ni par la possibilité de coordonner sans équivoque les têtes et les queues, ni par la poursuite de la décroissance de la distance des raies dans un intervalle assez étendu au delà du maximum. L'écartement des raies dans le voisinage de la queue 5605 y contredit formellement.

L'idée de Ritz n'est pas en contradiction avec les faits. Mais les indications en sa faveur qui restent dans les quatre bandes du cyanogène sont un peu diminuées après suppression de la partie fautive $b'b$ de Jungbluth.

Il y aurait grand intérêt à faire de nouvelles déterminations sur des bandes composées d'un grand nombre de raies et, peut-être, à la reprise de la discussion des données déjà connues.

[Manuscrit reçu le 20 avril 1911].

1. A. HAGENBACH. *Wüllner-Festschrift* (1905) 133.

2. AKAD. BERLIN. *Phys. Abh. nicht zur Akad. gehör. Gelehrter*, 1 (1889) 44.