

Examen d'Histoire et Méthode des Sciences

30 Novembre 2009

Licence L₂ MPM

POLYCOPIÉ SUR L'HISTOIRE DE L'ATOME AUTORISÉ
À L'EXCLUSION DE TOUTE AUTRE DOCUMENT
ET À CONDITION QUE CELUI-CI NE SOIT PAS SURCHARGÉ D'ANNOTATIONS.

Vous devez OBLIGATOIREMENT porter un numéro à 4 ou 5 chiffres sur la feuille destinée au QCM : il correspondra au numéro que vous aurez également reporté sur la feuille anonyme destinée à la réponse que vous donnerez à la question de réflexions que vous rendrez à l'issue de l'épreuve.

Questions de réflexion sur 10 points

1. Le discours introductif à la remise du prix Nobel précise ce qui a motivé l'attribution du prix :

« L'objet des recherches du professeur Jean Perrin qui lui ont valu le prix Nobel de Physique pour 1926 était de mettre un terme à la longue lutte concernant l'existence réelle des molécules.

L'idée avec laquelle le Professeur Perrin poursuivit dans les premières étapes de ces recherches était la suivante. S'il découle de la loi gouvernant les mouvement des molécules que, en dépit de sa masse, l'air n'est pas comprimé contre la surface de la Terre, mais qu'elle s'étend alors qu'elle devient raréfié, cela est vrai bien au-delà des plus hautes montagnes, dans ce cas, et vu que les mouvements des molécules obéissent aux mêmes lois que chaque autre corps minuscule, il doit y avoir quelque chose d'analogue pour chaque système de petits corps. Si une grande quantité de particules légères suffisamment petites est distribuée dans un liquide, toutes les particules ne se placeraient pas en bas même si elles étaient plus lourdes que le liquide, mais elles se distribueraient elles-mêmes à différents niveaux selon une loi similaire à celle de l'air. Perrin, maintenant avait à réaliser cette expérience. »

Le comité Nobel a par ailleurs attribué les prix suivants :

- 1905 : Philipp von Lenard, rayons cathodiques ;
- 1906 : John Joseph Thomson, conduction de l'électricité par des gaz ;
- 1908 : Ernest Rutherford, désintégration des éléments et chimie des éléments radioactifs ;
- 1922 : Niels Bohr, structure de l'atome ;
- 1929 : Louis de Broglie, nature ondulatoire des électrons ;
- 1935 : James Chadwick, découverte du neutron.

qui constituent la liste exhaustive des prix Nobel attribués à ce qui touche la structure atomique.

- a) Que revendique Perrin avec cette partie de son discours ?
- b) Y'a-t-il eu un prix Nobel sur cette partie de l'atome ?
- c) Est-ce qu'il y a d'autres constituants de l'atome auxquels ne correspond aucun prix Nobel ?
- d) Qu'est-ce que cela pourrait suggérer ?

a) Dans cet extrait de son discours de remise du prix Nobel, Perrin revendique une contribution à la découverte de l'électron.

b) Aucun prix Nobel n'a été attribué pour la découverte de l'électron. Ceci résulte d'une succession de contributions plus ou moins claires, aucune n'étant réellement décisive. Ainsi, l'existence de l'électron a été pressentie par George Stoney (1826-1911) grâce à une réinterprétation de la loi de Faraday. Stoney introduit le nom d'*électron*. Helmholtz fait la même analogie. Crookes (1832-1929) montre que les rayons cathodiques sont constitués de matière et chargés négativement. Par ailleurs, à l'instar de Eugen Goldstein, il pense que cette particule de matière doit correspondre à une entité sub-atomique. Ensuite, Thomson fait une première vérification théorique sur le signe de la charge de ces petites particules. Il fait une première estimation de la vitesse de ces particules. Ce n'est qu'ensuite que Perrin intervient avec un article qui propose une nouvelle expérience afin de « vérifier » les résultats essentiellement de Goldstein et de Crookes. Mais ce n'est que Thomson qui mesure avec une précision suffisante le rapport $\frac{e}{m}$ de l'électron.

c) Il n'y a aucun prix Nobel pour la découverte du proton. L'émergence du proton est également assez confuse et résulte de plusieurs contributions. Il est par conséquent délicat d'attribuer un prix pour la découverte de cette particule, tout comme pour l'électron.

d) Le comité Nobel n'a pas attribué de prix pour la découverte de l'électron car il est particulièrement délicat d'associer un nom à une étape décisive pour sa mise en évidence. Il s'agit de plusieurs contributions successives, par petites touches. Le prix attribué à John Thomson est assez symptomatique de cette confusion, dans la mesure où la contribution pour laquelle Thomson est couronné n'est certainement pas celle qui a retenu la plus grande attention.

2. En considérant que le prix Nobel a été attribué à Perrin pour la mise en évidence de la réalité des molécules, que pensez-vous de cet extrait qui clôture son discours ?

Perrin veut apparaître comme ayant apporté une contribution décisive à la découverte de l'électron. Replacée dans le contexte de l'ensemble des contributions, cette appréciation semble plutôt injustifiée.

3. En reprenant les résultats obtenus par Thomson en 1897, que pensez-vous du commentaire que fait Perrin à son propos ?

Perrin persiste dans l'idée que Thomson a confirmé ses propres expériences, faisant abstraction des résultats de Goldstein et de Crookes qui contenaient l'ensemble des résultats obtenus par Perrin. Par ailleurs, il reste persuadé qu'il fut le premier à faire cette synthèse. Enfin, il qualifie de « faciles » les mesures réalisées par Thomson, le point crucial étant pour lui d'avoir démontré l'électrification des rayons cathodiques, ce qui avait été démontré par Goldstein et Crookes. Les mesures faciles ne furent réalisées avec une précision suffisante qu'à partir de 1907 en raison de complications expérimentales. Perrin fait ici preuve de la « mauvaise foi » habituellement rencontrée lors de querelle de revendications.

4. Quelle idée fréquemment répandue concernant le modèle atomique de Thomson est ici mise à mal par le commentaire de Perrin ?

Contrairement à ce qui est largement galvaudé, les électrons ne sont pas placés aléatoirement dans la sphère d'électricité positive, mais à des positions « *telles que les attractions et répulsions étaient en équilibre.* »

5. Est-ce que la conception de l'atome avancée par Rutherford est identique à celle qu'avait supposé Perrin ?

Non, car jusqu'à la publication par Niels Bohr de sa structure atomique, Rutherford n'avait publié qu'une conception selon laquelle l'atome n'était constitué d'un très petit noyau massif plongé dans une sphère d'électricité de signe opposé. Il ne suppose en aucun cas une structure type « système solaire ».

6. Est-ce que la présentation du « modèle atomique de Rutherford » est conforme à celle qu'il avait réellement faite ? Quelles sont les correspondances et les différences ?

Comme cela est indiqué dans la réponse précédente, Rutherford n'a jamais écrit sur le cortège électronique avant 1913, année de publication de Bohr. Il est par conséquent délicat de parler de « modèle de Rutherford ». L'ensemble du cortège électronique est considéré comme une sphère homogène d'électrification.

7. De quel article provient la présentation de l'atome « De cette manière, chaque atome consiste d'un noyau positif inimaginablement petit où presque toute la masse de l'atome est concentrée et autour duquel les électrons planétaires, dont la présence détermine les propriétés physiques et chimiques de l'élément correspondant, orbitent à des distances relativement colossales. » faite par Perrin ?

Cette présentation provient de l'article correspondant à une conférence « grand public » donnée par Perrin. Elle fut publiée sous les références J. Perrin, Les hypothèses moléculaires, *Revue scientifique*, **15**, 449-461, 1901.

8. Que manque-t-il pour décrire correctement la constitution du noyau ?

Le neutron.

9. Quel résultat inattendu a été avancé par Perrin dans les années 1920 ?

Dès 1920, Perrin aurait indiqué que *la seule perte d'énergie qui doit ensuite accompagner la condensation de l'hydrogène en hélium suffit à rendre compte du rayonnement solaire pendant approximativement cent milliards d'années au taux actuel (la première théorie permettant la compréhension de la prodigieuse ancienneté de conditions climatiques seulement légèrement différentes des conditions actuelles. Ceci anticipe grandement les résultats de Hans Bethe et Carl Weizacker.*

10. Que manque-t-il à Perrin pour être mieux reconnu sur ces idées ?

Les deux idées les plus novatrices que Perrin ait eu sont probablement celles qu'il n'a pas concrétisées en des résultats quantifiés, validés par l'expérience, c'est-à-dire un modèle atomique de type système solaire et la production d'énergie par « condensation d'hydrogène en hélium ».

Extrait du discours lors de la remise du prix Nobel

Structure discontinue de la matière

par Jean Perrin, le 11 Décembre 1926

La structure discontinue de l'atome

Alors même que des évidences continuent de s'accumuler au sujet de la réalité atomique encore disputée, un début a été réalisé pour pénétrer la structure interne de ces atomes, une recherche pour laquelle Rutherford et Bohr ont obtenu de formidables résultats, comme nous le savons. Et je dois résumer ici ma contribution à cette recherche.

Il était connu que lorsqu'une décharge électrique passe dans un tube de verre à travers un gaz suffisamment raréfié, la partie faisant face à la cathode est illuminée par une fluorescence sur laquelle l'ombre de tout obstacle placé devant la cathode se profile; et que les *rayons cathodiques* définissables de cette manière, sont déviés par un champ magnétique en décrivant une trajectoire circulaire lorsqu'ils sont projetés à angle droit d'un champ uniforme (Hittorf¹). Crookes a eu l'intuition que ces rayons étaient des trajectoires de particules négatives émises par la cathode et violemment repoussées par elle (1886), mais il n'a pas réussi à établir cette électrification. Et cette théorie de l'émission a été abandonnée lorsqu'Hertz, d'une part faillit dans ces essais à montrer l'électricité négative des rayons, et d'autre part, montra qu'ils étaient capables de passer à travers une feuille de verre ou une feuille d'aluminium de plusieurs microns d'épaisseur. Il était supposé depuis lors que les *rayons cathodiques* étaient immatériels et avait une nature ondulatoire semblable à la lumière. Cette opinion a été principalement tenue par Lenard (1894²) qui montra que ces rayons pouvaient laisser le tube où ils étaient formés, à travers une « fenêtré » constituée d'une feuille relativement fine pour supporter la pression atmosphérique, et qu'ils pouvaient être étudiés de cette manière dans tout gaz ou dans un vide absolu.

Il me sembla, cependant, que les projectiles électrifiés imaginés par Crookes *pourraient différer suffisamment, en taille et en vitesse, des molécules ordinaires, pour passer à travers des murs qui étaient imperméables à ces molécules*, et cherchant à appliquer sans complication la définition de la charge électrique, j'ai fait en sorte que les rayons cathodiques pénétrèrent dans un « cylindre de Faraday » contenu dans une chambre de protection. Aussitôt que les rayons (qui peuvent être écartés par un champ magnétique qui est juste suffisamment fort pour le faire) entrent dans le cylindre, ceux-ci présentent des phénomènes qui donnent précisément la charge électrique négative, et qui ont permis de la mesurer (1895). Cette expérience a été couronnée de succès lorsque la chambre protectrice était entièrement fermée, les rayons y pénétraient à travers une fine feuille de métal. Presque simultanément, j'ai montré (1896) que les rayons cathodiques sont déviés par un champ électrique, et qu'il y a une méthode ici pour mesurer la goutte dans un potentiel qui a été jusque-là inconnu et à partir de laquelle elles prennent leur énergie.

Ces expériences furent répétées, et confirmées par Lenard lui-même (dont la théorie est ruinée), par Wiechert, par Wien, et par J. J. Thomson. J'ai commencé à faire ces mesures qui promettaient de donner la vitesse (évidemment variable selon les circonstances) des projectiles issus de la cathode et le rapport e/m de sa charge sur sa masse, complétant les mesures de la goutte dans un potentiel associé au champ magnétique capable de produire une déviation donnée. J'ai été précédé ici par J. J. Thomson qui, dans le tout premier article dans lequel il publia la confirmation de mes expériences, montra qu'une fois que l'électrification des rayons ait été démontrée, il était facile d'obtenir la vitesse et la charge des projectiles de l'action d'un champ électrique et du champ magnétique. Il trouva que le rapport e/m , indépendamment de toutes circonstances, est approximativement 2000 fois plus grand que celui obtenu pour l'hydrogène dans les électrolyses et, par conséquent, il a eu l'honneur de prouver que les projectiles issus de la cathode étaient plus légers que l'atome d'hydrogène (1897). L'idée expérimentale de l'*électron* comme un constituant subatomique universel était par conséquent atteinte, et mes expériences ont joué une certaine part dans la croissance de notre connaissance sur la manière avec laquelle la matière est discontinuée.

Le problème de la structure de l'atome a immédiatement été posé dès qu'il a cessé être l'unité ultime

¹ Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914), étudiant de Julius Plücker, fut l'un des premiers à reconnaître que quelque chose voyageait en ligne droite à partir de la cathode et profilait des ombres d'objets placés devant la cathode.

²P. Lenard, *Über Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äussersten Vakuum* (Cathode rays in gases at atmospheric pressure and in the highest vacuum), *Sitz.-ber. Berl. Akad.*, for 12th January 1893 — , *Wied. Ann. Physik*, **51**, 1894.

de matière. J. J. Thomson supposa qu'alors que l'atome est dans son ensemble neutre, il consiste en une sphère homogène d'électricité positive à l'intérieur de laquelle les électrons sont placés en des positions telles que les attractions et répulsions étaient en équilibre.

J'ai été, je crois, le premier à supposer que l'atome avait une structure rappelant celle du système solaire où les électrons « planétaires » circulaient autour d'un « soleil » positif, l'attraction par le centre étant contrebalancée par la force d'inertie (1901). Mais je n'ai jamais essayé ou même vu aucun moyen de vérifier cette conception. Rutherford (qui y est sans doute arrivé indépendamment, mais qui a eu la délicatesse de rapporter cette courte phrase extraite d'une conférence au cours de laquelle je l'avais prononcé) comprit que la différence essentielle entre sa conception et celle de J. J. Thomson était qu'il existait au voisinage du soleil positif et quasi-ponctuel, des champs électriques énormes comparés à ceux qui existeraient à l'intérieur d'une sphère homogène positive ayant la même charge, mais embrassant l'ensemble de l'atome.

Le résultat était que si une charge positive qui est elle-même quasi-ponctuelle, est suffisamment rapide pour être capable de passer au voisinage d'un noyau, elle sera fortement déviée, exactement comme une comète peut être déviée lorsqu'elle vient de l'infini et passe au voisinage du soleil. C'est selon cette voie (1911), que Rutherford découvrit et expliqua que certains rayons α (les rayons décrits par les atomes d'hélium éjectés par des substances radioactives) subissent de très fortes déviations lorsqu'ils passent à travers de fine feuille, produisant sur un écran phosphorescent, et très loin de l'impact moyen du paquet de rayons, des scintillations qui marquaient leurs arrivées individuelles. Toutes ces déviations sont expliquées quantitativement à la condition que le *noyau* soit crédité d'une charge telle que le nombre d'électrons planétaires est égal au « numéro de rang » de l'atome dans les séries de Mendeleïev. De cette manière, chaque atome consiste d'un noyau positif inimaginablement petit où presque toute la masse de l'atome est concentrée et autour duquel les électrons planétaires, dont la présence détermine les propriétés physiques et chimiques de l'élément correspondant, orbitent à des distances relativement colossales.

Le noyau lui-même, enfin, a été révélé comme étant discontinu et composé de noyaux d'hydrogène, ou de *protons*, qui sont probablement scellés par des électrons nucléaires.

Comme Prout l'avait prédit, chaque atome peut, en fait, être regardé comme résultant de la condensation d'un nombre entier d'atomes d'hydrogène (les éléments s'en écartant ont été trouvés comme étant des mélange d'*isotopes*, qui confirment individuellement la loi); les petites différences qui existent sont expliquées (en appliquant la loi d'Einstein sur la masse de l'énergie) par de grandes variations d'énergie interne qui peut accompagner ces condensations (Langevin). Et j'ai indiqué (1920) que la seule perte d'énergie qui doit ensuite accompagner la condensation de l'hydrogène en hélium suffit à rendre compte du rayonnement solaire pendant approximativement cent milliards d'années au taux actuel (la première théorie permettant la compréhension de la prodigieuse ancienneté de conditions climatiques seulement légèrement différentes des conditions actuelles : la théorie de Helmholtz-Kelvin expliquait seulement un maximum de 50 millions d'années, un résultat grandement insuffisant aussi loin que la géologie est considérée.

Ceci m'a conduit à penser que les atomes d'hydrogène, et ensuite ceux d'hélium (les seuls révélés par analyse spectrale dans les nébuleuses non-résolvables) se condensent progressivement, au cours de l'évolution stellaire, en des atomes de plus en plus lourds, la désintégration radioactive étant l'exception, et l'intégration atomique étant la règle.

Cependant, Rutherford réussit à prouver, dans des expériences admirables (1922), celles où un noyau d'azote, d'aluminium ou de phosphore est heurté avec force par un projectile (suffisamment rapide pour les heurter en dépit de la répulsion électrique), un proton est éjecté (rayons α) avec une énergie qui pourrait excéder celle d'un projectile α , et Rutherford interpréta cette *transmutation* comme résultant d'une désintégration explosive (similaire à celle d'un coquille qui serait explosée par un impact). J'ai maintenu, au contraire (1923), qu'il y avait alors une intégration, celle de noyaux d'hélium qui commencent par se combiner avec le noyau qui l'a heurté, pour former un atome radioactif (d'une espèce encore inconnue) qui éjecte aussitôt un proton, qu'il restait finalement un atome qui est plus lourd de trois unités que l'atome qui l'a heurté. Ceci a été confirmé par Blackett (1925) dans le laboratoire de Rutherford : trois rayons convergeant sont comptés (par la méthode de C. T. R. Wilson) lorsqu'une transmutation de Rutherford apparaît, au lieu des quatre qui devraient exister si le projectile frappant retient son individualité après l'impact.

Mais ceci se réfère plutôt à l'évolution de la matière qu'à la discontinuité; si j'avais à dire plus, je partirai du sujet pour lequel je suis ici pour discourir.