

La Mécanique Quantique

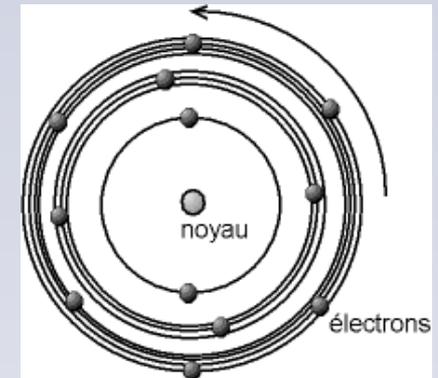
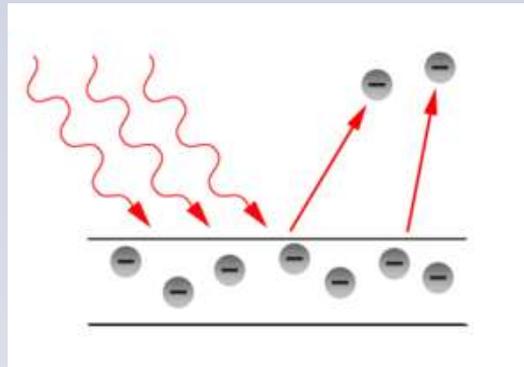
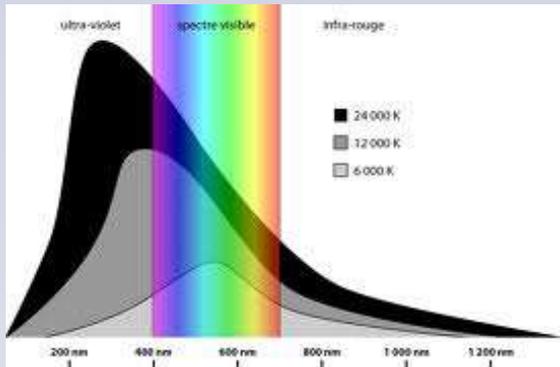
La physique du monde submicroscopique

Sept. 2014



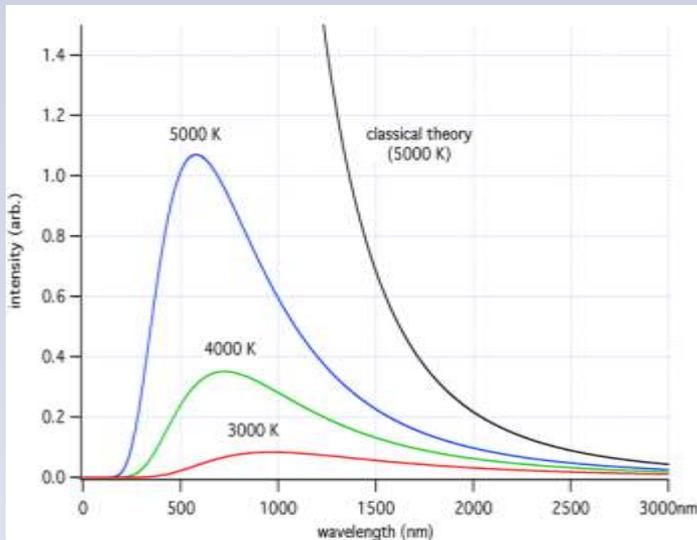
Les origines de la théorie quantique

- ▶ Les 3 phénomènes inexpliqués par la physique «classique», au début du 20^e siècle:
 - ▶ - le rayonnement du corps noir
 - ▶ - l'effet photoélectrique
 - ▶ - la stabilité des atomes



Planck et le rayonnement du corps noir

- ▶ Les théories classiques sont incapables d'expliquer la **relation** entre la **longueur d'onde** (la couleur) du rayonnement émis et la **température** du corps noir.



Spectre du corps noir

Planck et le rayonnement du corps noir

- ▶ En 1900, Max Planck modélise le phénomène et montre que **l'énergie rayonnée** ne peut être émise que par « **paquets** », et introduit le ***quantum d'énergie***:

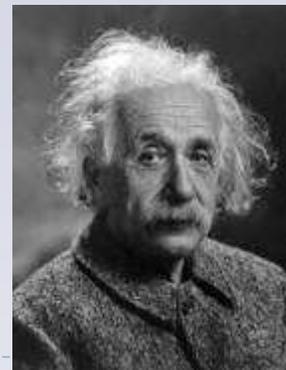
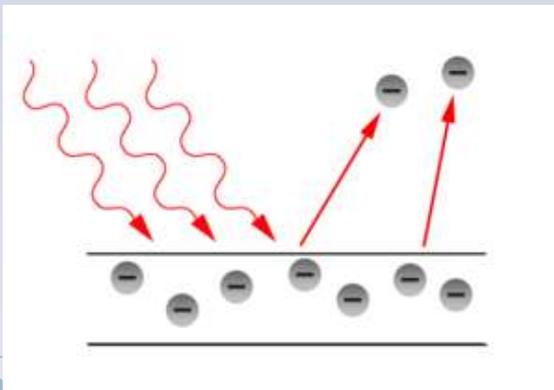
$$\Delta E = h\nu$$



h , constante de Planck
 $= 6,6260696 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

L'effet photoélectrique

- ▶ Une plaque de métal soumise à un flux lumineux émet des électrons:
 - ▶ leur **énergie** (leur vitesse) ne dépend que de la **longueur d'onde** de la lumière utilisée.
- ▶ En 1905, Einstein émet l'hypothèse que la lumière est constituée de « **grains** », d'énergie $\Delta E = h\nu$, les **photons**.



La lumière: ondulatoire ou corpusculaire?

- ▶ La lumière présente donc 2 aspects, **ondulatoire et corpusculaire**, contradictoires.
- ▶ On parle de **dualité onde/corpuscule**.



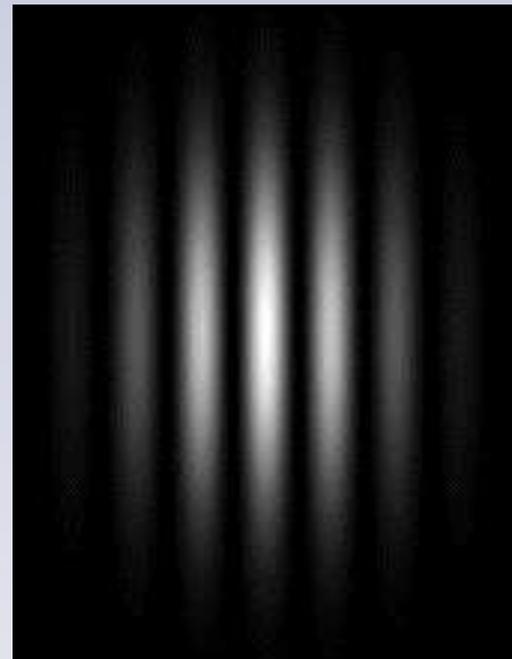
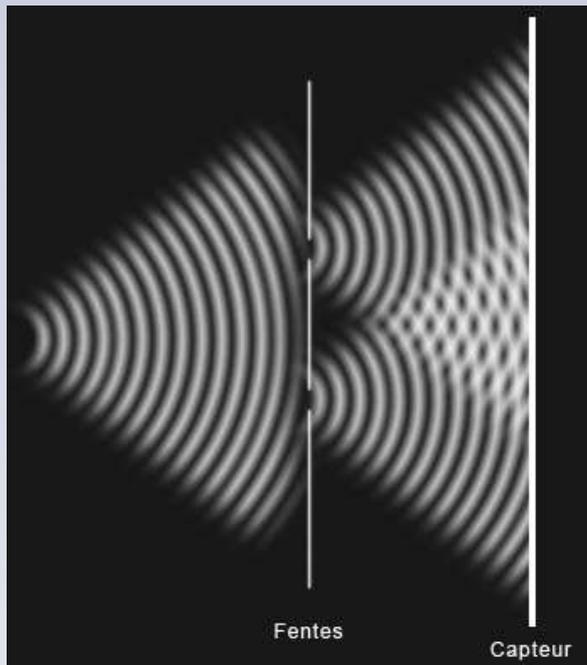
Etrangetés de la mécanique quantique

- ▶ La mécanique quantique une théorie peu intuitive et difficile à interpréter.
 - ▶ Sa justification la plus incontestable est que, depuis sa conception, ses applications ont été très nombreuses et qu'elle n'a **jamais été mise en défaut**.
-
- ▶ Examinons quelques unes des étrangetés de la MQ.

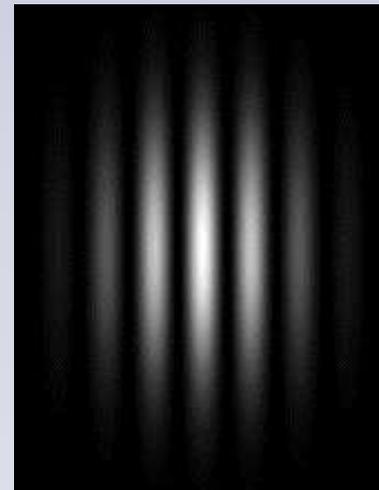
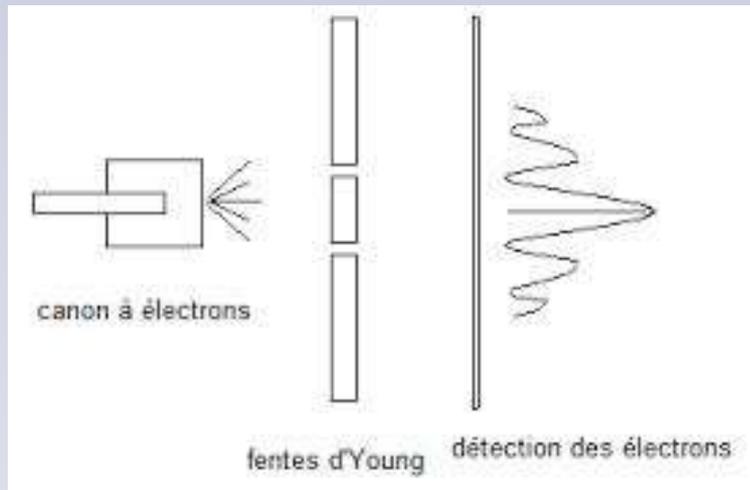
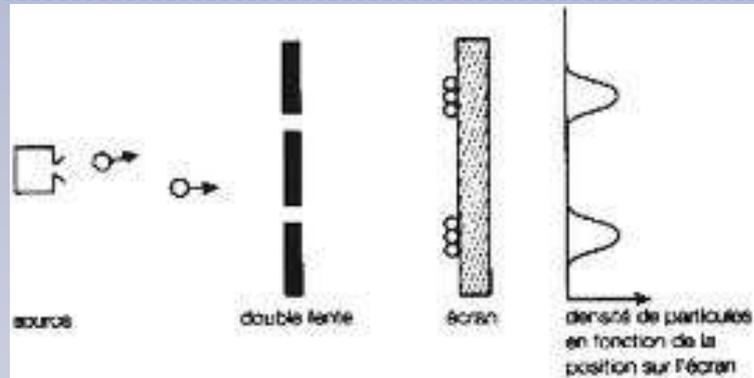


L'expérience des fentes d'Young

- ▶ Expérience réalisée pour la 1^{ère} fois par **Thomas Young** en 1801.



L'expérience des fentes d'Young



Les électrons se comportent donc **comme des ondes.**



L'expérience des fentes d'Young

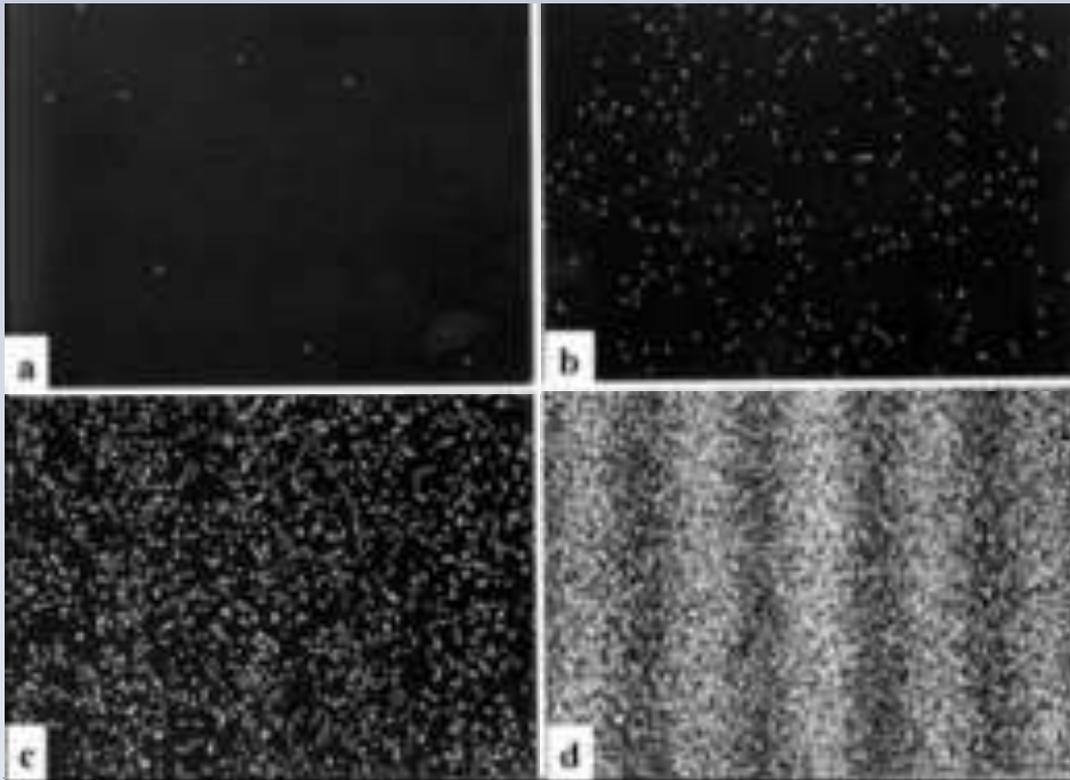
- ▶ Si on veut savoir par quelle fente est passé chaque électron, par ex. en plaçant un détecteur derrière chaque fente, **les franges d'interférences disparaissent.**
- ▶ Réciproquement, si on observe des franges d'interférences, **il est impossible de savoir par quelle fente sont passés les électrons.**

Remarque:

- ▶ dans la 1^{ère} expérience on observe les électrons comme des corpuscules.
- ▶ dans la 2^{ème} expérience on observe les électrons comme des ondes.

De plus en plus bizarre!

- ▶ L'expérience a été refaite plus récemment en envoyant des électrons un à un.



- ▶ Le résultat est surprenant, et inexplicable si on n'admet pas la dualité onde-corpuscule.

Le principe de superposition

- ▶ En mécanique quantique, si a et b sont 2 états possibles pour une particule, alors **l'état a+b est lui aussi un état possible.**

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle + |-\rangle)$$

- ▶ Il est assez difficile d'imaginer que quelque chose puisse être à **la fois** dans un certain état et dans l'état opposé*.
(ex. le chat de Schrödinger)!



L'intrication

- ▶ Si 2 particules ont été émises simultanément, elles vont **continuer à interagir**, même à grande distance.

- ▶ L'état de la paire de particules est ce qu'on appelle un état intriqué, c'est une **superposition** d'états:

$$|\Psi_{\text{int}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_1 |-\rangle_2 + |-\rangle_1 |+\rangle_2)$$



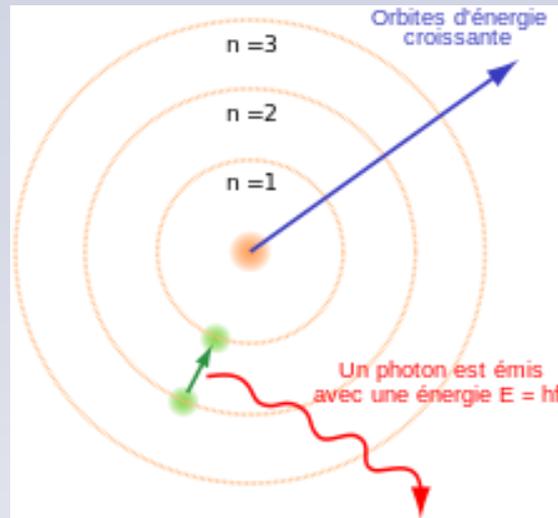
L'intrication

- ▶ Les particules, une fois émises, **continuent à interagir** :
 - ▶ si on fait la mesure sur la particule 1 et qu'on trouve l'orientation + par ex., on sera sûr **sans faire de mesure** que la particule 2 sera dans l'orientation - .
 - ▶ les 2 particules pouvant être à une **très grande distance l'une de l'autre***.
- ▶ Ce phénomène est appelé **non-localité, ou non-séparabilité**, notion essentielle en mécanique quantique**.



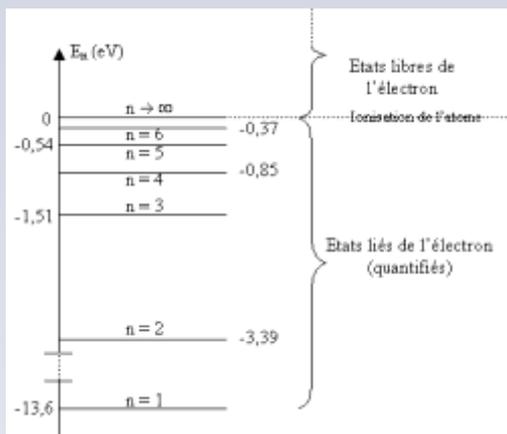
L'atome de Bohr

- ▶ Le modèle planétaire proposé par Rutherford en 1911, bien que représentatif, ne fonctionne pas pour l'atome d'Hydrogène:
 - ▶ Il n'explique pas le spectre de raies et la stabilité de l'atome
- ▶ Niels Bohr propose en 1913 un modèle « **quantique** » qui permet d'expliquer ces 2 phénomènes.

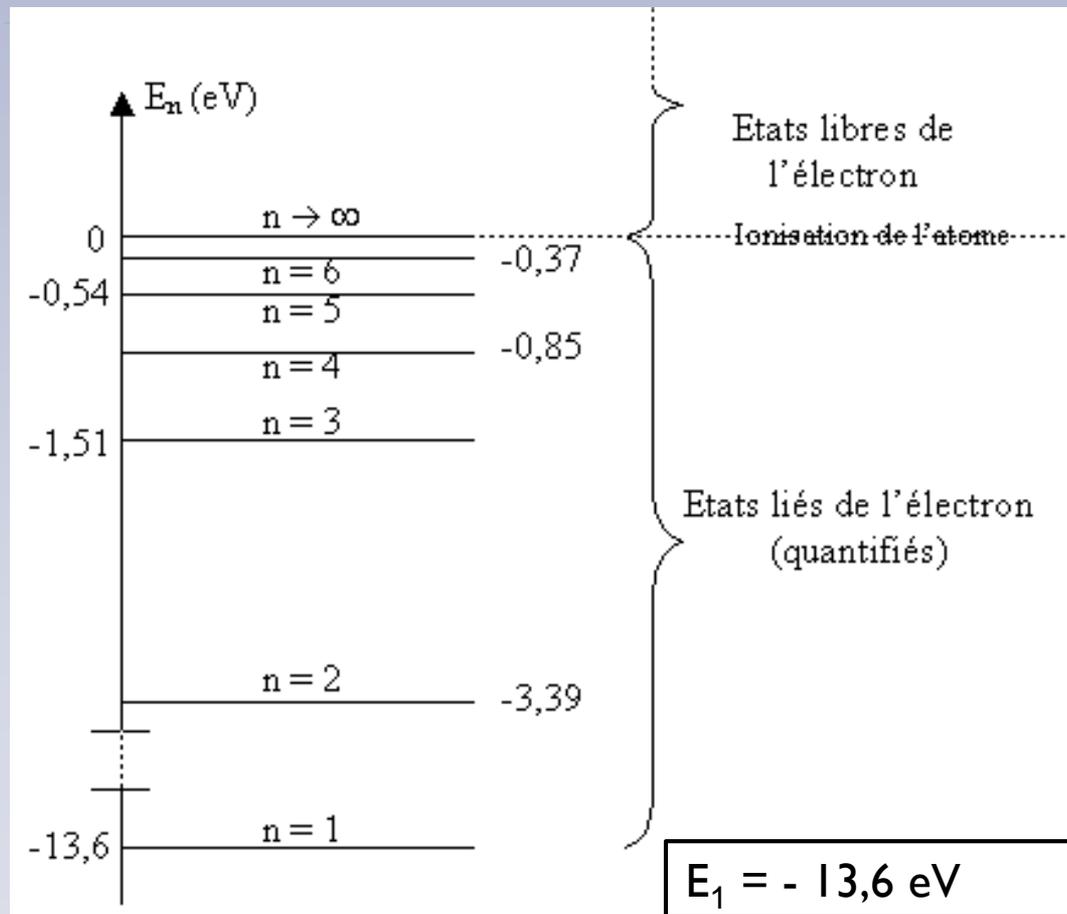


L'atome de Bohr

- ▶ Bohr postule que les orbites des électrons autour du noyau sont **quantifiées**:
 - seules sont autorisées les orbites qui se trouvent à une distance particulière du noyau.
- ▶ En partant de ce postulat, il calcule les **niveaux d'énergie** de l'atome d'hydrogène et trouve $E_n = E_1/n^2$,
avec E_n = énergie du niveau n et E_1 = énergie de l'état fondamental



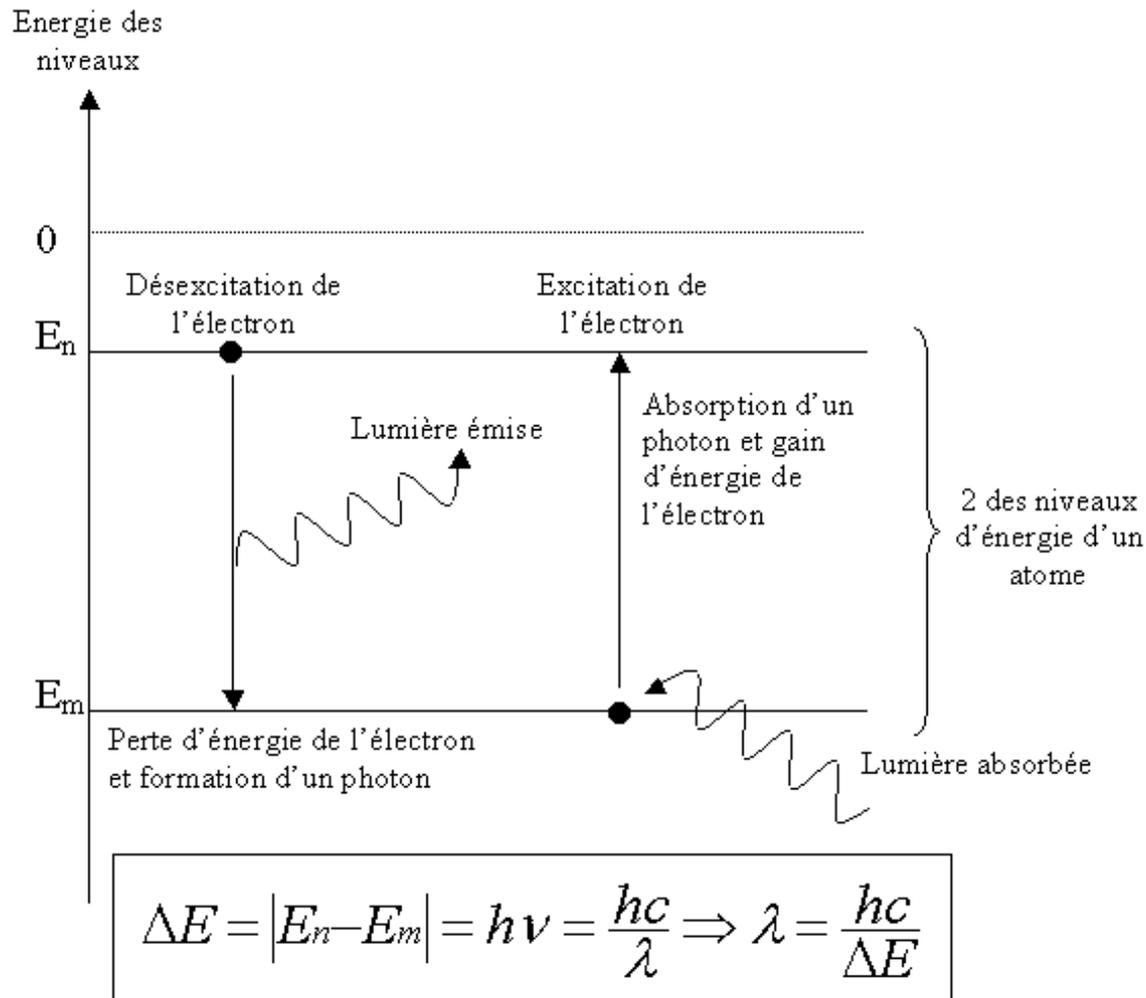
Les niveaux d'énergie de l'hydrogène



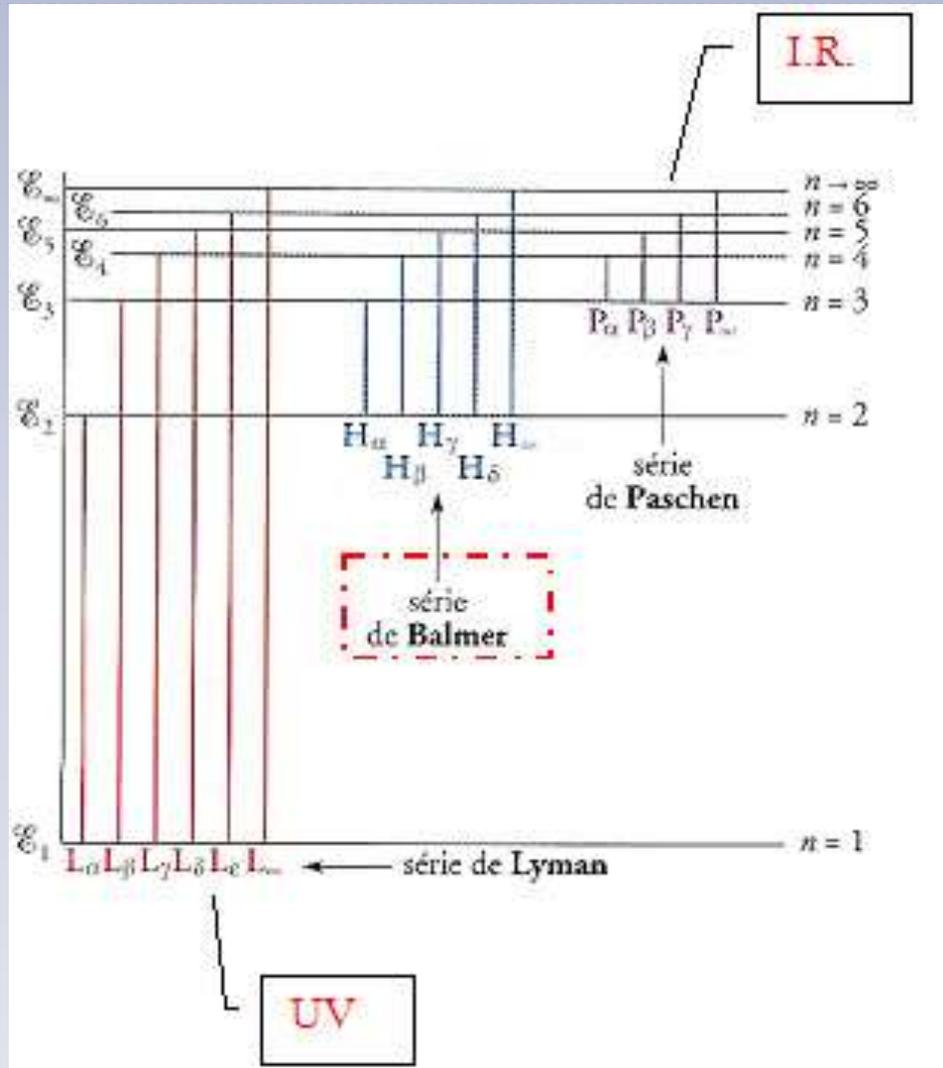
$$E_1 = \frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2}$$

1 eV = énergie communiquée à un électron accéléré sous une ddp d'1 volt.
1 eV = $1,602 \times 10^{-19}$ joule

Les niveaux d'énergie de l'hydrogène



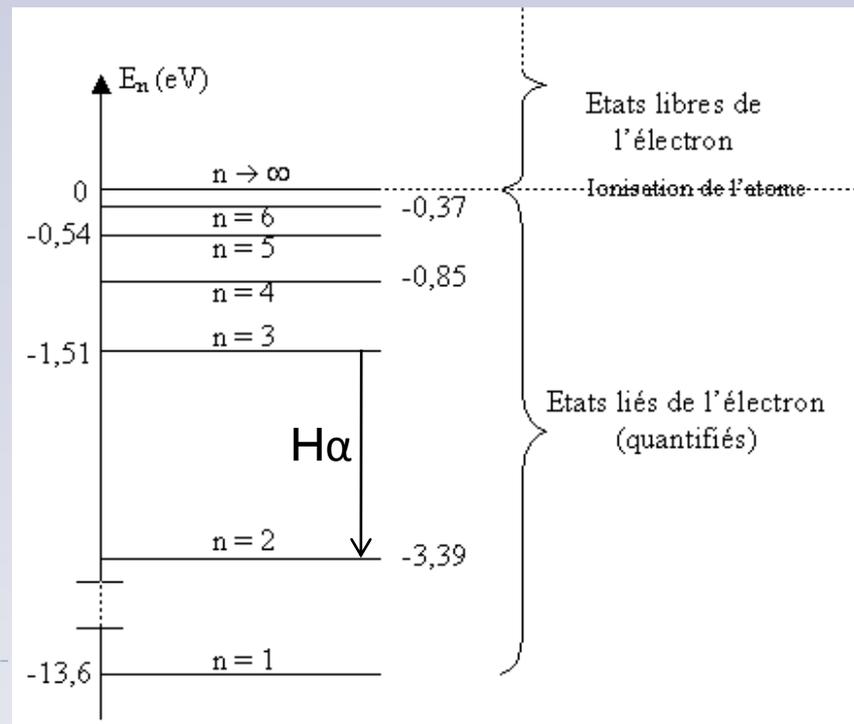
Les niveaux d'énergie de l'hydrogène



La raie H α de l'hydrogène

La raie d'émission H α de l'hydrogène correspond à la transition du niveau 3 vers le niveau 2 :

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} * 3 \cdot 10^8}{(3,4 - 1,5) * 1,6 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow \lambda = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$



L'onde de matière de de Broglie

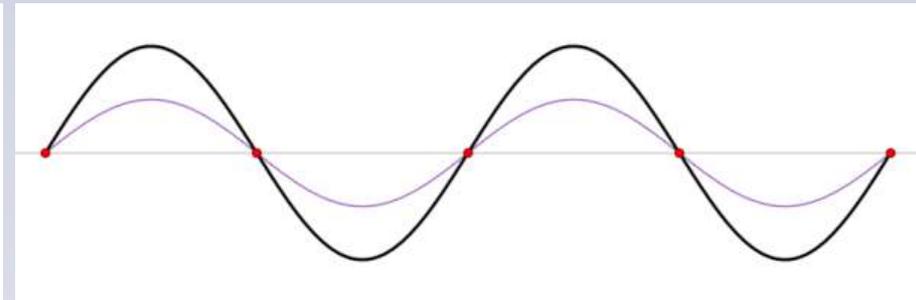
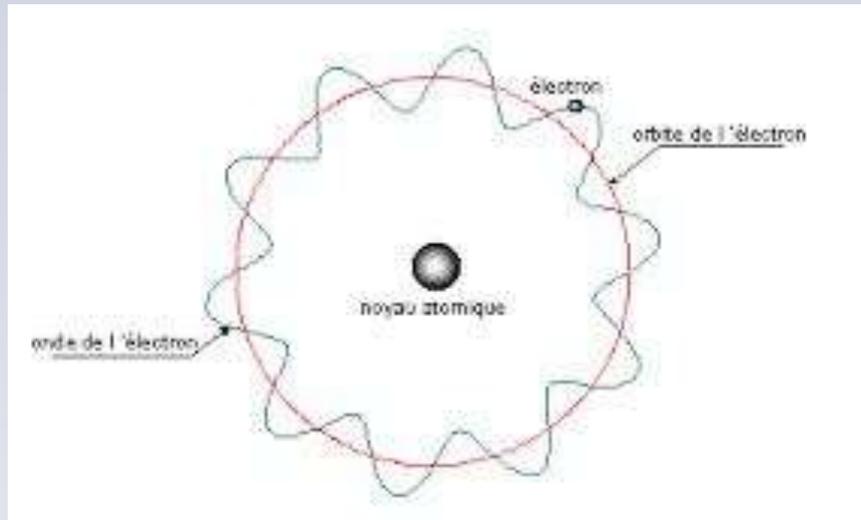
- ▶ En 1924, Louis de Broglie lance l'idée révolutionnaire qu'à **toute particule** en mouvement peut être associée une **onde**, (**appelée onde de matière**), de longueur d'onde égale:

$$\lambda = h/p$$

où $p = mv$ est la quantité de mouvement (ou impulsion) de la particule

L'onde de matière de de Broglie

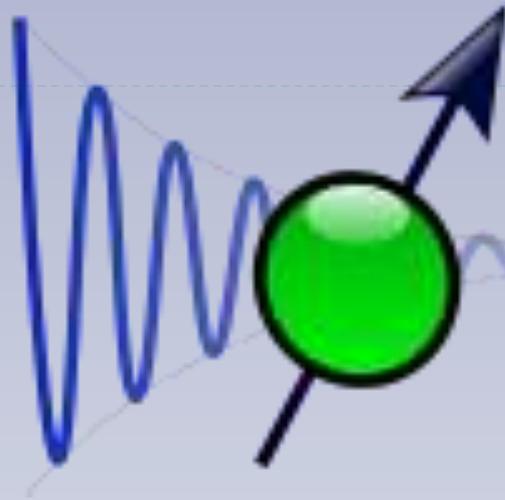
- ▶ De Broglie interprète les orbites (permises) des électrons comme des boucles fermées dont la **circonférence** est égale à un **multiple entier** de λ .
- ▶ Ces boucles fermées vibrent comme une onde **stationnaire** (onde qui ne se propage pas).



L'onde de matière de de Broglie

- ▶ La thèse de L. de Broglie est confirmée en 1927:
 - ▶ dans leurs expériences de diffraction d'électrons, **Davisson et Germer** et **G.P.Thomson** retrouvent la valeur de la longueur d'onde prévue par de Broglie (0,166 nm).

- ▶ La **dualité onde-corpuscule** n'est alors plus mise en doute.



Suite dans la 2ème partie

