

PHYSIQUE
FONDAMENTALE

SEMESTRE 1

Chapitre 1 : Spectroscopie

David ALBERTO

DTS I.M.R.T
2020 / 2021

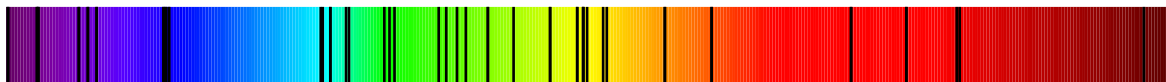
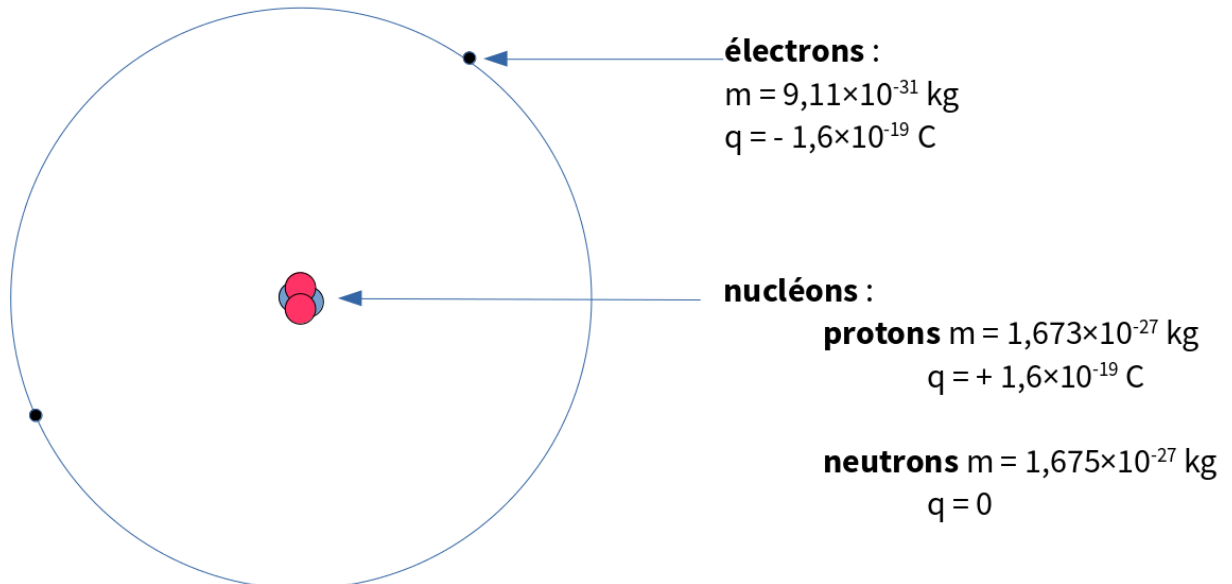


Table des matières

| | | |
|-------|--|---|
| I | Structure de l'atome | 1 |
| I.1 | <u>Description de l'atome</u> | 1 |
| I.2 | <u>Symbole d'un noyau</u> | 1 |
| I.3 | <u>Quelques définitions</u> | 2 |
| I.4 | <u>Configuration électronique d'un atome</u> | 2 |
| II | Les ondes électromagnétiques | 3 |
| II.1 | <u>Grandeurs caractéristiques</u> | 3 |
| II.2 | <u>Relation entre les grandeurs</u> | 3 |
| II.3 | <u>Les domaines du spectre électromagnétique</u> | 3 |
| II.4 | <u>Dualité onde – corpuscule</u> | 4 |
| III | Spectres et structure des atomes | 5 |
| III.1 | <u>Spectres d'émission et d'absorption</u> | 5 |
| III.2 | <u>Interprétation des spectres de raies</u> | 6 |
| III.3 | <u>Energie d'ionisation d'un atome</u> | 8 |
| III.4 | <u>Energie de liaison d'un électron</u> | 8 |

I Structure de l'atome

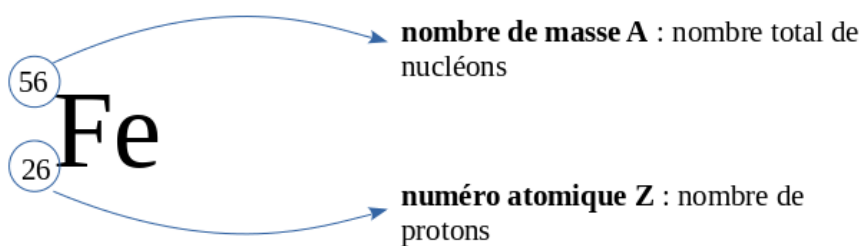
I.1 Description de l'atome



Remarques :

- Ecart de masse important entre nucléons et électrons : la masse est concentrée dans le noyau.
- Le noyau est environ 100 000 fois plus petit que l'atome entier.
- L'atome est neutre : il comporte autant de protons que d'électrons.

I.2 Symbole d'un noyau



On note $N = A - Z$ le nombre de neutrons

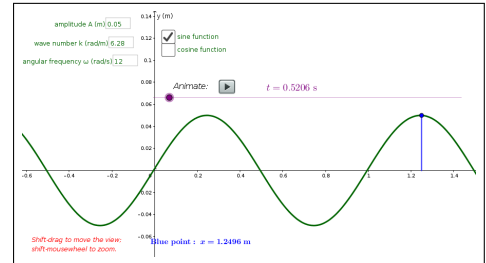
II Les ondes électromagnétiques

II.1 Grandeurs caractéristiques

Animation : <https://www.geogebra.org/m/SxNZa3Q2>

Une onde est la propagation d'une perturbation dans un milieu, sans transport de matière, mais avec transport d'énergie.

On distingue 2 types d'ondes : les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques.



- Les **ondes mécaniques** nécessitent un **milieu matériel** pour se propager (surface de l'eau, ondes sonores)
- les **ondes électromagnétiques** se propagent **même dans le vide**. Dans ce chapitre, on se limite à l'étude des ondes EM.
- **Longueur d'onde** : distance séparant deux maximums consécutifs. Unité S.I. : la *mètre*.
- **Période T** : durée entre deux passages de perturbations consécutives au même point. Unité S.I. : la *seconde*.

II.2 Relation entre les grandeurs

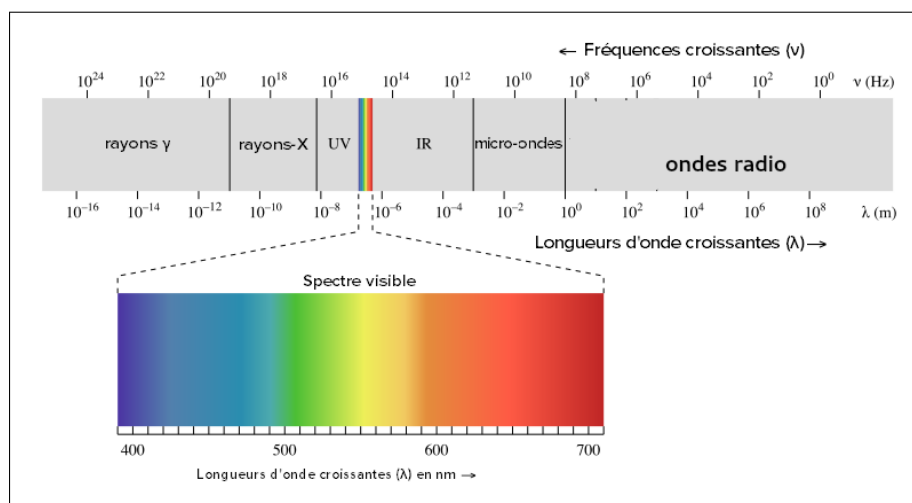
- On définit également la **célérité c** ($m.s^{-1}$) comme la vitesse de propagation de l'onde. Sa valeur dans le vide est une constante physique fondamentale : $c \simeq 3,0 \cdot 10^8 m.s^{-1}$
- On définit la **fréquence ν** (Hz) comme le nombre de répétitions par seconde.
- Relation entre les grandeurs caractéristiques :

$$\nu = \frac{1}{T}$$

$$\lambda = c \times T$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

II.3 Les domaines du spectre électromagnétique



Les différents domaines sont découpés selon leurs propriétés et leur mode de production.

Valeurs limites du domaine visible : 400 nm 800 nm

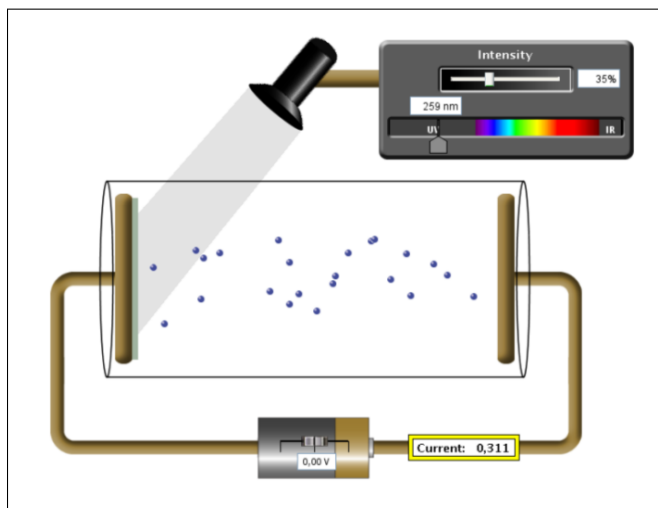
II.4 Dualité onde – corpuscule

a L'expérience historique de H.Hertz

Animation : <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/photoelectric>

L'**effet photoélectrique** est l'expulsion d'électrons d'un métal, sous l'action d'un rayonnement.

L'effet est indépendant de l'intensité lumineuse du faisceau. Il se manifeste au-delà d'une certaine fréquence de l'onde lumineuse, c'est-à-dire **en dessous d'une certaine longueur d'onde** (les valeurs seuils dépendent du métal éclairé).



b Le photon

En 1905, A. EINSTEIN est le premier à proposer une interprétation de l'effet photoélectrique, dans un article qui sera récompensé par un prix Nobel.

On peut considérer une onde électromagnétique comme un flux de corpuscules (particules) ou *n grains d'énergie* λ , appelés *n photons* λ . Chacun d'eux transporte une énergie donnée par la relation :

$$E = h \times \nu$$

Ce modèle permet d'interpréter l'effet photoélectrique : les électrons ne sont expulsés du métal que si les photons incidents possèdent l'énergie suffisante, et donc la fréquence suffisante.

Relation Energie longueur d'onde :

$$E = \frac{h \times c}{\lambda}$$

Comme l'énergie et la longueur d'onde sont inversement proportionnelles, l'effet ne se déclenche que *si la longueur d'onde passe en-deçà d'une valeur plafond*. Tout rayonnement doit être considéré à la fois comme une onde **et** comme un flux de photons. Ces deux aspects sont indissociables : c'est la *dualité onde corpuscule*.

Exemple de calcul :

Calculer l'énergie d'un photon de lumière rouge (600 nm), et celle d'un photon UV (200 nm).

Remarques : l'énergie d'un photon est inversement proportionnelle à la longueur d'onde.

L'ordre de grandeur des énergies est très faible. On utilise souvent une autre unité d'énergie : **l'électronvolt (eV)**.

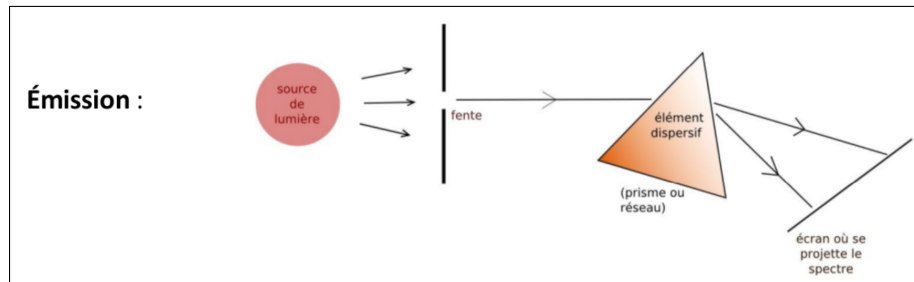
Convertir en eV les énergies précédentes.

III Spectres et structure des atomes

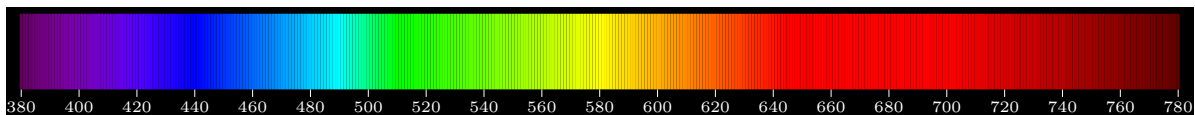
III.1 Spectres d'émission et d'absorption

Un spectre lumineux est un document donnant d'importantes informations sur une source de lumière ou sur la matière qu'elle a traversé.

Pour visualiser le **spectre d'émission** d'une source, on utilise un dispositif similaire à celui-ci :

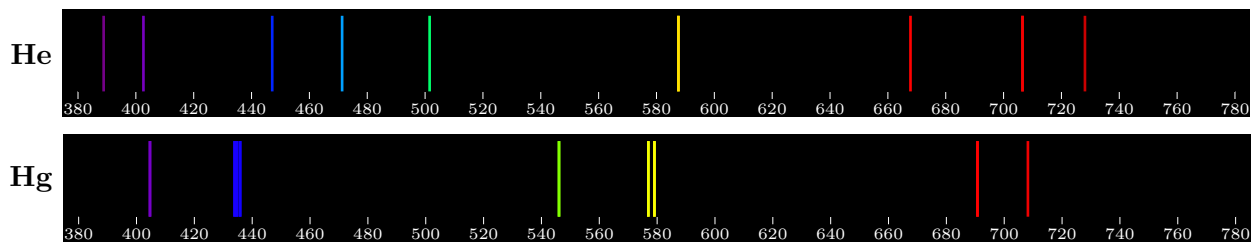


Si la source lumineuse est un corps chaud (filament d'une lampe, métal chauffé, lave en fusion), on voit apparaître sur l'écran un **spectre de la lumière blanche** :



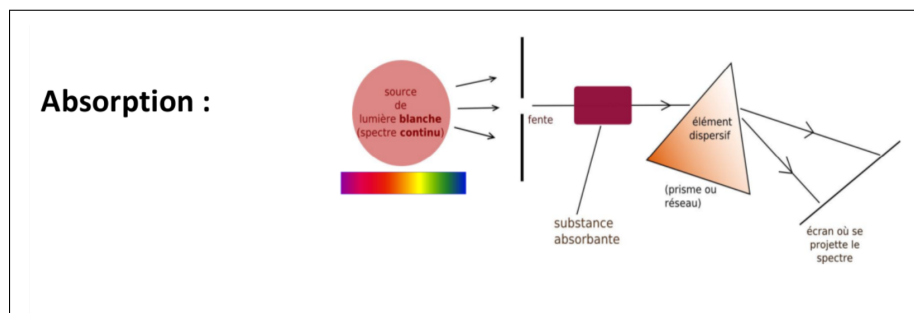
La source émet **une gamme ininterrompue** de longueurs d'onde : c'est un **spectre continu**.

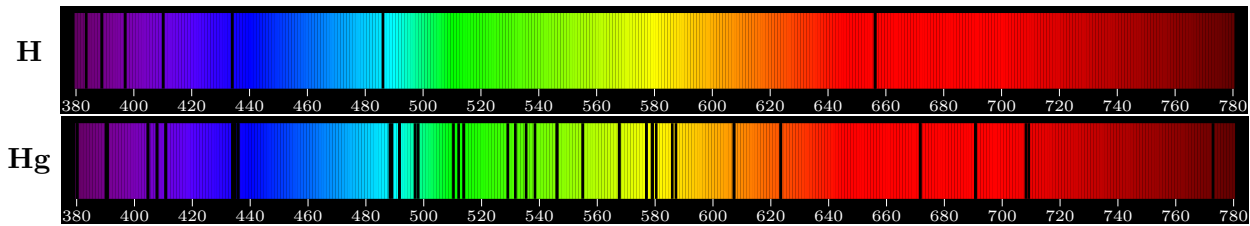
Si la source lumineuse est un gaz traversé par une décharge électrique, on voit apparaître sur l'écran un **spectre de raies d'émission** :



Le gaz présent dans la lampe ne peut émettre de radiations qu'à certaines longueurs d'onde : c'est un **spectre discontinu**.

Comment obtenir un spectre d'absorption :





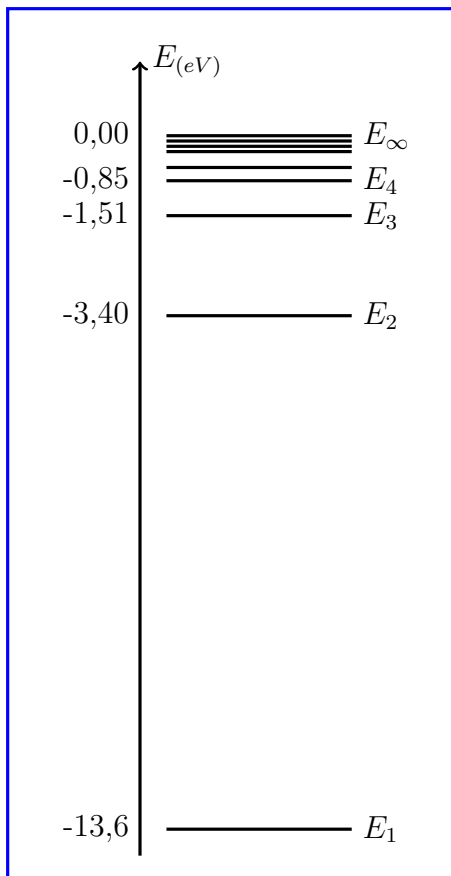
Animation : la position des raies est caractéristique de l'élément chimique présent.

III.2 Interprétation des spectres de raies

Puisque la position des raies est caractéristique de l'élément chimique, ces raies contiennent des informations sur **l'organisation interne de l'atome**.

La première interprétation des raies est donnée par le physicien danois Niels BOHR, en 1913.

a Niveaux d'énergie de l'atome



- L'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs discontinues : on dit que l'énergie d'un atome est *quantifiée*.
- Le niveau de plus basse énergie (E_1) correspond à la répartition normale des électrons dans les couches (ordre d'énergie croissante). L'atome est alors dans **son état fondamental**.
- Si l'atome reçoit de l'énergie, un électron peut passer sur une sous-couche d'énergie supérieure; l'atome possède alors une énergie plus élevée (E_2, E_3) : il est alors dans **un état excité**.
- Si l'atome reçoit suffisamment d'énergie, l'électron peut quitter l'atome, qui est alors à **l'état ionisé** ($E_\infty = 0$). Toutes les autres valeurs d'énergie sont **négligibles**.

b Transitions électroniques

On considère l'atome d'hydrogène à l'état excité E_3 :

Lorsque l'atome passe du niveau E_3 vers le niveau E_2 , il perd de l'énergie sous forme d'onde EM (photon).

Cette transition s'accompagne de l'émission d'un photon, d'énergie :

$$E_{ph} = E_3 - E_2$$

La longueur d'onde du photon émis vaut :

$$\lambda = \frac{h \times c}{E_{ph}} = \frac{h \times c}{E_3 - E_2}$$

en prenant garde à convertir les énergies en J.

Application numérique : $\lambda = 657 \text{ nm}$: raie rouge

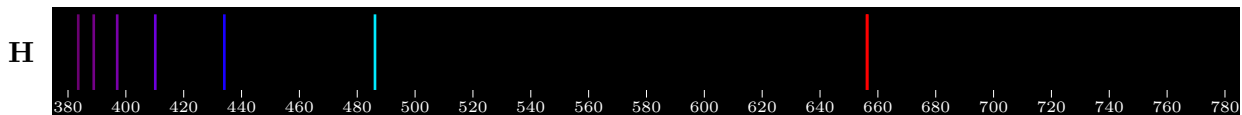
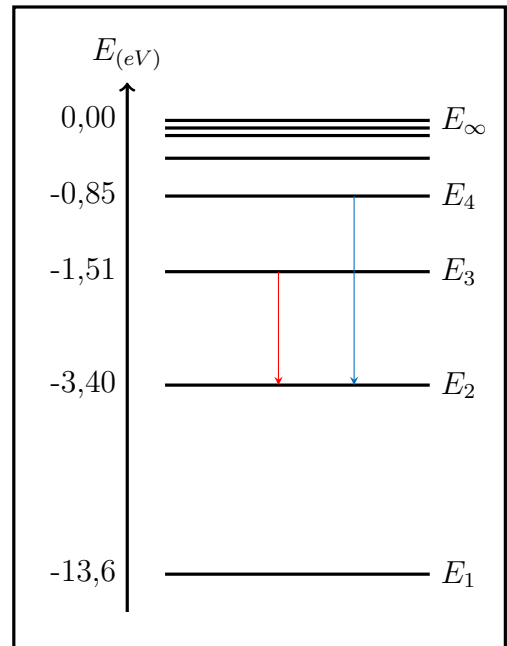
Qu'en est-il pour la transition $E_4 \rightarrow E_2$:

λ inférieure ou supérieure ?

On trouve : $\lambda = 487 \text{ nm}$: raie bleue

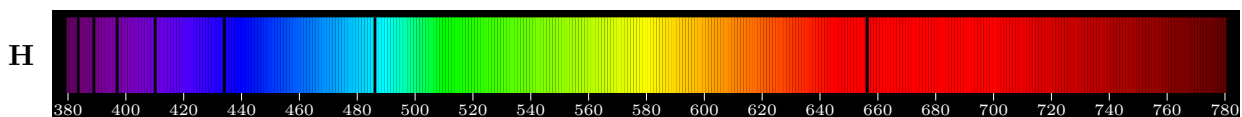
Les photons ainsi émis sont appelés *photons de fluorescence*.

On peut donc attribuer chaque raie du spectre à une transition énergétique du diagramme :



C'est la démarche inverse qu'a eue N. BOHR : à partir des raies du spectre, il en a déduit l'existence des niveaux d'énergie, ainsi que leurs valeurs.

On explique également la correspondance entre les raies colorées du spectre d'émission et les raies noires du spectre d'absorption :



Une raie noire correspond à une transition vers le haut (augmentation d'énergie), entre deux mêmes niveaux que la transition vers le bas de même longueur d'onde.

Autrement dit, un atome ne peut absorber (raies noires) que les mêmes longueurs d'onde que celles qu'il peut émettre (raies colorées).

Condition d'absorption :

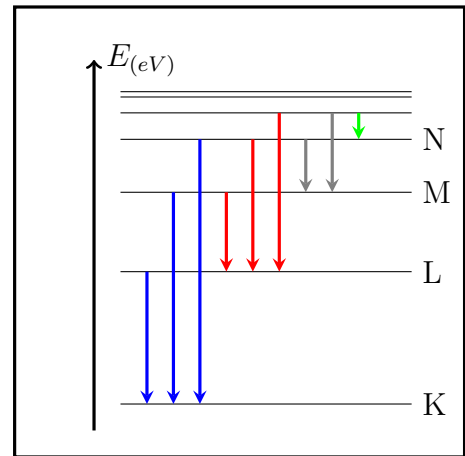
Seuls peuvent être absorbés les photons dont l'énergie est exactement égale à un écart entre deux niveaux du diagramme.

c Nomenclature des raies d'émission

On regroupe d'abord les raies par **famille**, suivant la couche d'arrivée :

Exemple : la raie L_β indique la transition $E_4 \rightarrow E_2$.

Remarque : la nomenclature a été adoptée par analogie avec l'atome H, pour lequel E_1 correspond à l'électron sur la couche K, E_2 à la couche L, etc.



III.3 Energie d'ionisation d'un atome

Définition :

L'énergie d'ionisation d'un atome est l'énergie nécessaire pour arracher un électron, à partir de son état fondamental.

Calcul pour l'atome H

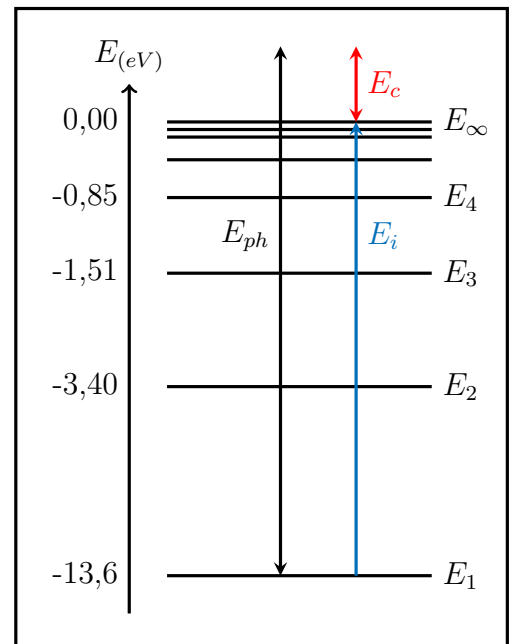
Que se passe-t-il si le photon incident possède une énergie supérieure à l'énergie d'ionisation ?

Le photon est absorbé. L'atome est porté à l'état ionisé, et l'électron arraché est mis en mouvement. L'excédent d'énergie du photon est récupéré par l'électron sous forme cinétique.

Les atomes constitutifs des tissus ont des énergies d'ionisations très proches :

| H | C | N | O |
|------|------|------|------|
| 13,6 | 11,3 | 14,5 | 13,6 |

Les photons transportant une énergie égale ou supérieure à cet ordre de grandeur sont classés comme *rayonnement ionisants* : rayonnements X et γ .



III.4 Energie de liaison d'un électron

Plus les électrons sont situés sur des couches profondes, proches du noyau, plus ils sont liés au noyau. L'énergie d'un niveau, en valeur absolue, correspond à l'énergie de liaison d'un électron se trouvant sur la couche correspondante.