



# COURS 1

# PARTICULES, ONDES ET ATOMES

UE3A - BIOPHYSIQUE  
TUT'RENTRÉE 2017-2018

# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (REM)

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# PLAN

## I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES (REM)

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# I. MASSE ET ÉNERGIE

**1. Masse** = mesure de la quantité de matière d'un corps

/!\ unités SI (g, kg) peu adaptées à l'atome

**2. Masse (molaire) atomique (g)** = masse d'une mole d'atome = masse de  $N$  atomes ( $N$ =nb d'Avogadro= $6,02 \cdot 10^{23}$ ).

$N$  est choisi de façon à ce que  $N$  atomes de  $C^{12}$  pèsent 12g.

**3. Unité de masse atomique (u)** =  $1/12^{\text{ème}}$  de la masse d'un atome de  $C^{12}$

/!\ unité hors SI mais bien adaptée à l'atome

$$1u = \frac{12g}{N} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{N} = \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,166 \cdot 10^{-23} g$$



# I. MASSE ET ÉNERGIE



**A = Nombre de masse** (nombre de nucléons).  
**Z = *numéro atomique*** (nombre de protons)

# I. MASSE ET ÉNERGIE

Masse	Hydrogène	Carbone	Oxygène
d'un atome en g	$0,17 \cdot 10^{-23}$	$2 \cdot 10^{-23}$	$2,65 \cdot 10^{-23}$
d'une mole d'atomes en g <i>masse atomique</i>	1,007	12	15,994
d'un atome en unité de masse atomique	1,007	12	15,994
A nombre de masse (nombre de nucléons)	1	12	16

**Masse d'une mole d'atomes (en g) = Masse d'un atome (en u)**  
**A est toujours égal à l'entier le plus proche de cette valeur**

# I. MASSE ET ÉNERGIE

- La valeur numérique de A exprime 3 quantités selon son unité :
  - *Sans unité* → **nombre de nucléons ou nombre de masse**
  - *En g* → **masse d'une mole d'atome ou masse atomique**
  - *En u* → **masse d'un atome**

# I. MASSE ET ÉNERGIE

## 4. Relation masse-énergie

Selon Einstein, la masse est une forme d'énergie :  $E_0 = m_0 c^2$

Lorsqu'une particule est en mouvement, l'énergie de l'accélération se transforme en masse :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m_0$  = masse au repos

$v$  = vitesse de la masse

$c$  = vitesse de la lumière dans le vide ( $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

Quand  $v \ll c$ ,  $m \rightarrow m_0$  et quand  $v \nearrow$ ,  $m \nearrow$



# I. MASSE ET ÉNERGIE

## 4. Relation masse-énergie

Plus la vitesse de la particule augmente (se rapproche de la vitesse de la lumière), plus sa masse relativiste augmente.

Inversement, plus sa vitesse est faible, plus sa masse se rapproche de  $m_0$ .

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m_0$  = masse au repos

$v$  = vitesse de la masse

$c$  = vitesse de la lumière dans le vide ( $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

Quand  $v \ll c$ ,  $m \rightarrow m_0$  et quand  $v \nearrow$ ,  $m \nearrow$

# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME



# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## II. PARTICULES MATÉRIELLES

### 1. Electron, proton et neutron

	Masse au repos	Masse relativiste	Charge	Stabilité
<b>Électron</b> (électron négatif ou négaton)	$m_e = 0,548 \cdot 10^{-3} \text{ u}$ $\approx 1/2000 \text{ u}$	<b>Masse faible et vitesse relativement élevée,</b> Pour $v=0,5c$ , $m_e = 1,15m_0$	$e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (coulombs)	
<b>Proton</b>	$m_p = 1,007 \text{ u}$	Considérés comme <b>non relativistes</b>	$e^+ = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (coulombs)	<b>Stable</b> , même en dehors du noyau
<b>Neutron</b>	$m_n = 1,009 \text{ u}$		nulle	<b>Instable</b> en dehors du noyau $n = p + e^- + \bar{\nu} + 0,78 \text{ MeV}$



## II. PARTICULES MATÉRIELLES

Unité d'énergie adaptée à l'atome : **l'électronvolt (eV)**  
= **énergie cinétique** acquise par un **électron sans vitesse initiale**, sous l'effet d'une ddp de **1 Volt**

/!\ **unité hors SI mais bien adaptée à l'atome**

$$1 \text{ eV} = E_c = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\begin{aligned} 10^3 \text{ eV} &= \text{keV} \\ 10^6 \text{ eV} &= \text{MeV} \\ 10^9 \text{ eV} &= \text{GeV} \end{aligned}$$

## II. PARTICULES MATÉRIELLES

On peut avoir une **équivalence masse/énergie** pour **1 unité de masse atomique** :

$$1\, u = 931\, \text{MeV}/c^2$$

# II. PARTICULES MATÉRIELLES

## 2. Autres particules

	Masse au repos	Charge
<b>Positon (<math>\beta^+</math>)</b> Antiparticule de l'électron	$m = 1/2000 \text{ u}$	$+e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (coulombs) (idem que proton)
<b>Neutrino (<math>\nu</math>) et Antineutrino (<math>\bar{\nu}</math>)</b> Expliquent la radioactivité $\beta$	quasi nulle	nulle
<b>Particule <math>\alpha</math></b> = 4 nucléons ( $2p + 2n$ ) = le noyau de l'atome d'Hélium	$m = 4,0015 \text{ u}$ ( $< 2m_p + 2m_n$ )	charge = $3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ( $2 \times +e$ )

# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME





# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

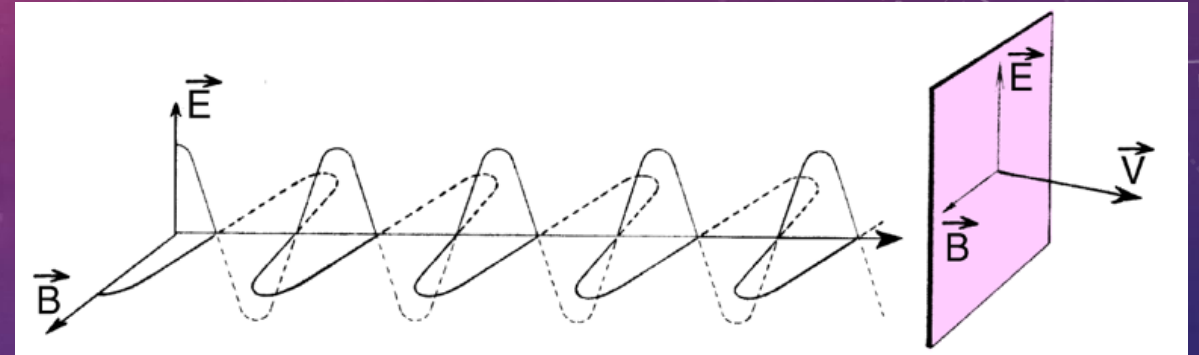
V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

## 1. Représentation classique

REM =

- perturbations du champ électromagnétique qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière, soit  $c = 3.10^8 \text{ m. s}^{-1}$
- résultent de la propagation simultanée d'un champ électrique  $E$  et d'un champ magnétique  $B$  vibrant en phase, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et par rapport à la direction de propagation.



# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les REM sont caractérisés par :

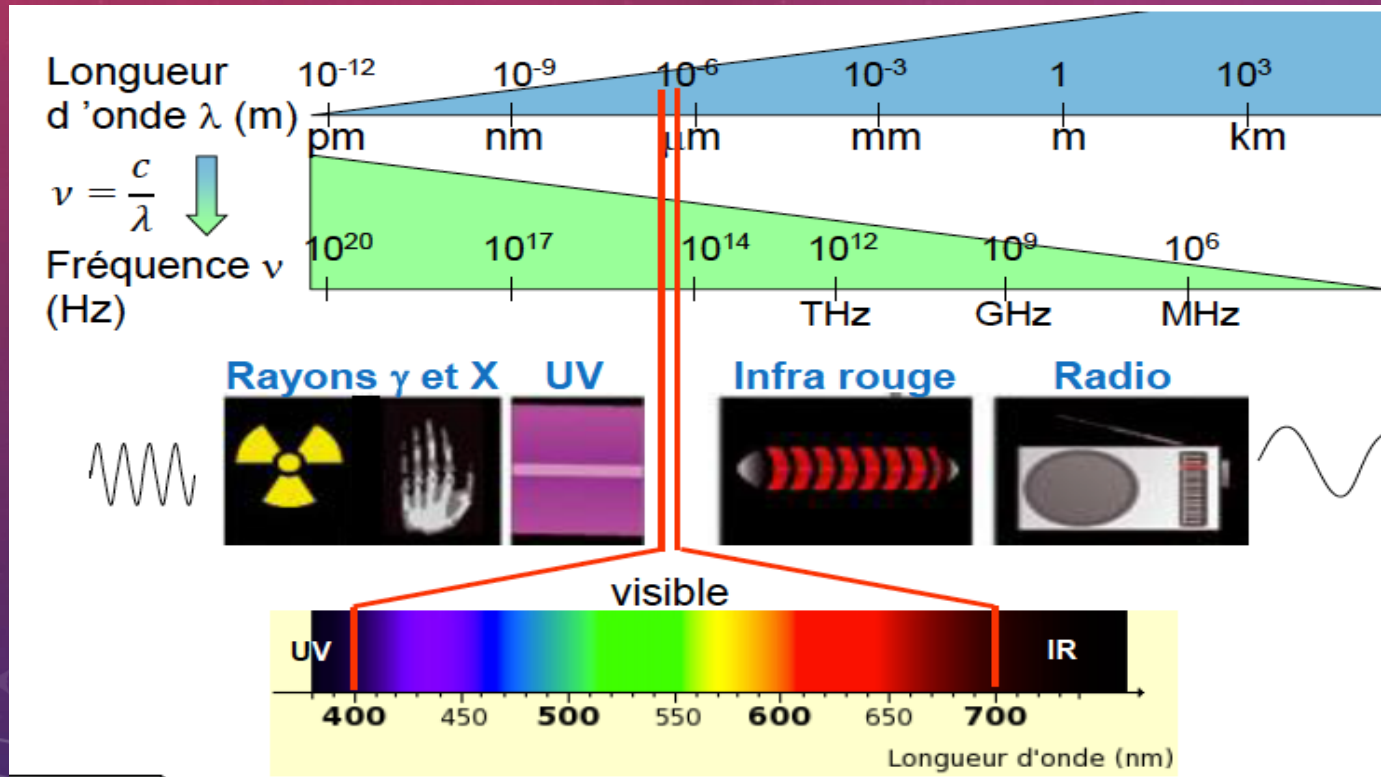
- Leur **longueur d'onde  $\lambda$  (m)** = plus petite distance séparant 2 points dans un même état vibratoire
- Leur **fréquence  $\nu$  (Hz)** = nb de répétitions d'un phénomène périodique par sec

$$C = \lambda \times \nu$$

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

/!\  $\lambda$  et  $\nu$  invers prop!

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES



- Le **spectre REM** est très large et peut s'exprimer selon  $\lambda$  ou  $\nu$
- **Rayons X  $\neq$  Rayons  $\gamma$**  par leur provenance :  
RX = origine atomique   VS   R $\gamma$  = origine nucléaire



# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

## 2. Représentation quantique

Une OEM ne peut céder ou acquérir de l'énergie qu'elle transporte que par quantités discontinues, multiples entiers d'une quantité élémentaire, le « *quantum de Planck* » :

$$E[J] = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

avec  $h$  = constante de Planck =  $6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s

# III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

La **relation de Duane et Hunt** permet de relier facilement  $E$  et  $\lambda$  en considérant les **unités habituelles** (/!\ hors SI) :

$$E[eV] = \frac{1240}{\lambda[nm]}$$

# PLAN

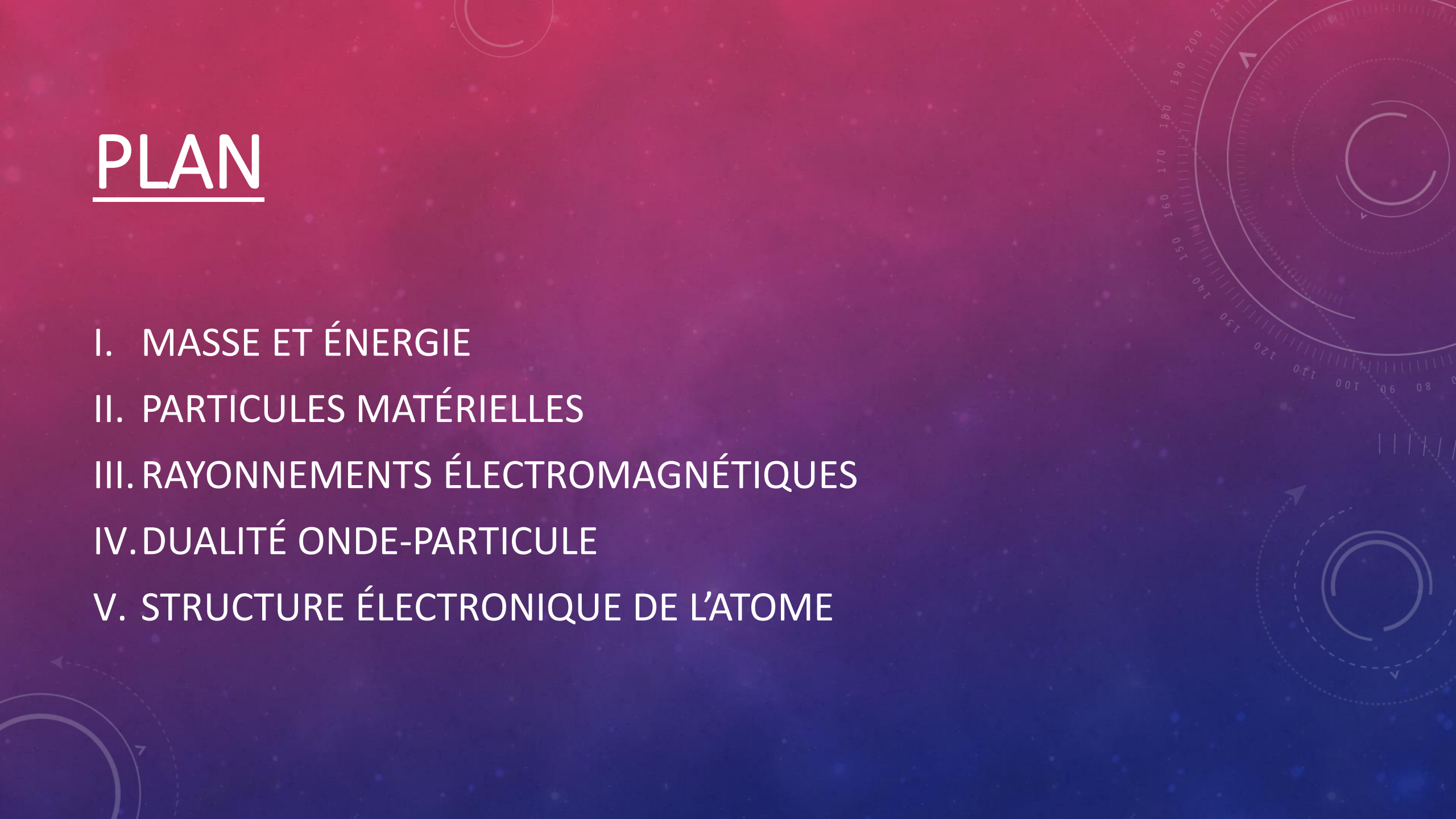
I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME



# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME



# IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

## 1. Les ondes considérées comme particules

D'abord, **Einstein** rapproche :

$$\left. \begin{array}{l} E = mc^2 \text{ pour une particule de masse } m \\ E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ pour le quantum de Planck} \end{array} \right\}$$

$$E = mc^2 = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow$$

$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

→ On peut donc affecter une **masse** à une **OEM**, qui peuvent être considérées comme des **corpuscules** : les **photons**, avec une **masse exclusivement dynamique**  $m = \frac{h}{\lambda c}$ .

# IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

## 2. Les particules associées à des ondes

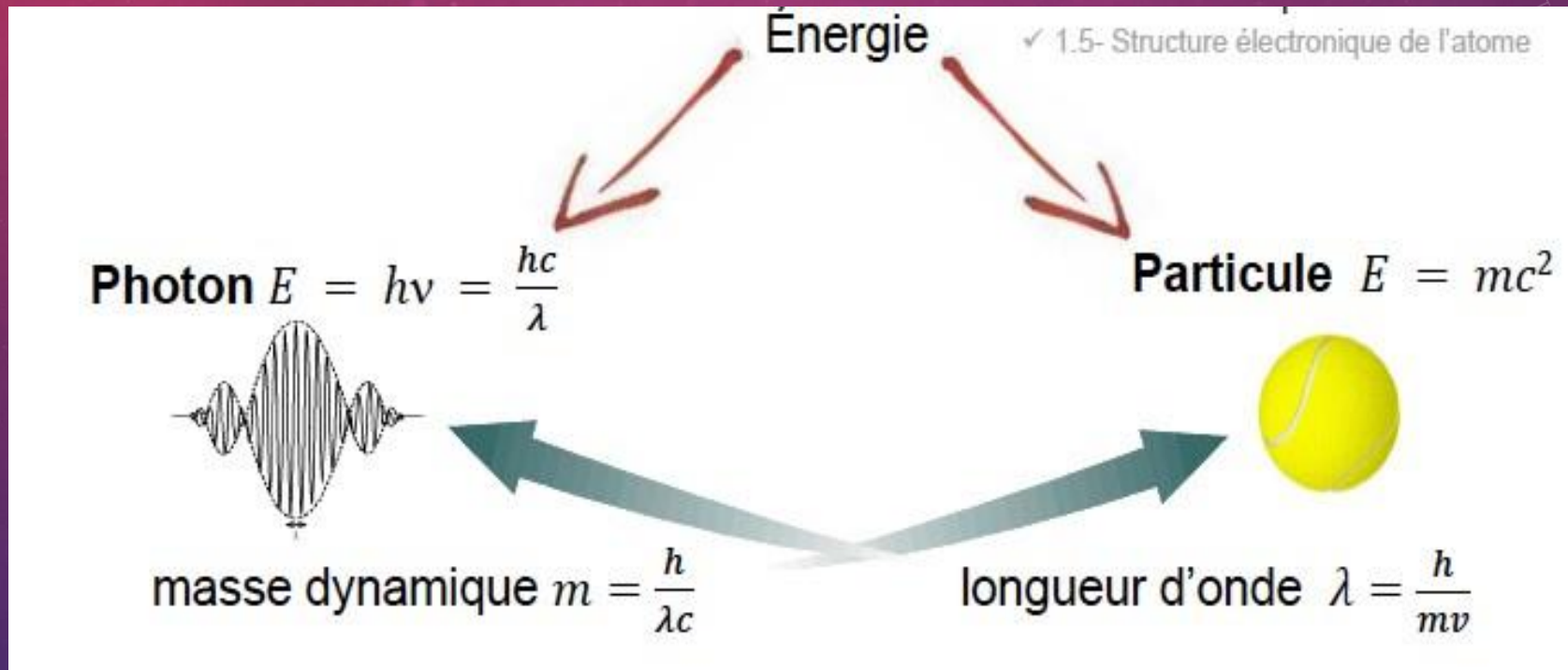
Plus tard, **Louis De Broglie** prend le pb à l'envers :

$$m = \frac{h}{\lambda c} \text{ pour le photon} \quad \longrightarrow \quad m = \frac{h}{\lambda v} \text{ pour une particule}$$

Ainsi, à toute **particule** de **masse**  $m$  et de **vitesse**  $v$ , on peut associer une **onde** dont la **longueur d'onde**  $\lambda$  vaut :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

# IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE



# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME





# PLAN

I. MASSE ET ÉNERGIE

II. PARTICULES MATÉRIELLES

III. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

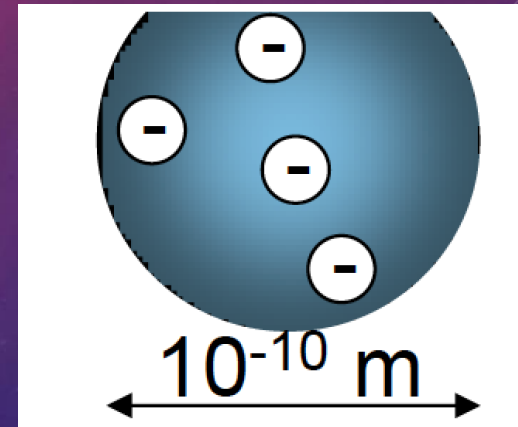
IV. DUALITÉ ONDE-PARTICULE

V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

Jusqu'au début du 20e siècle

On considère l'atome comme une **sphère pleine remplie de charges négatives**

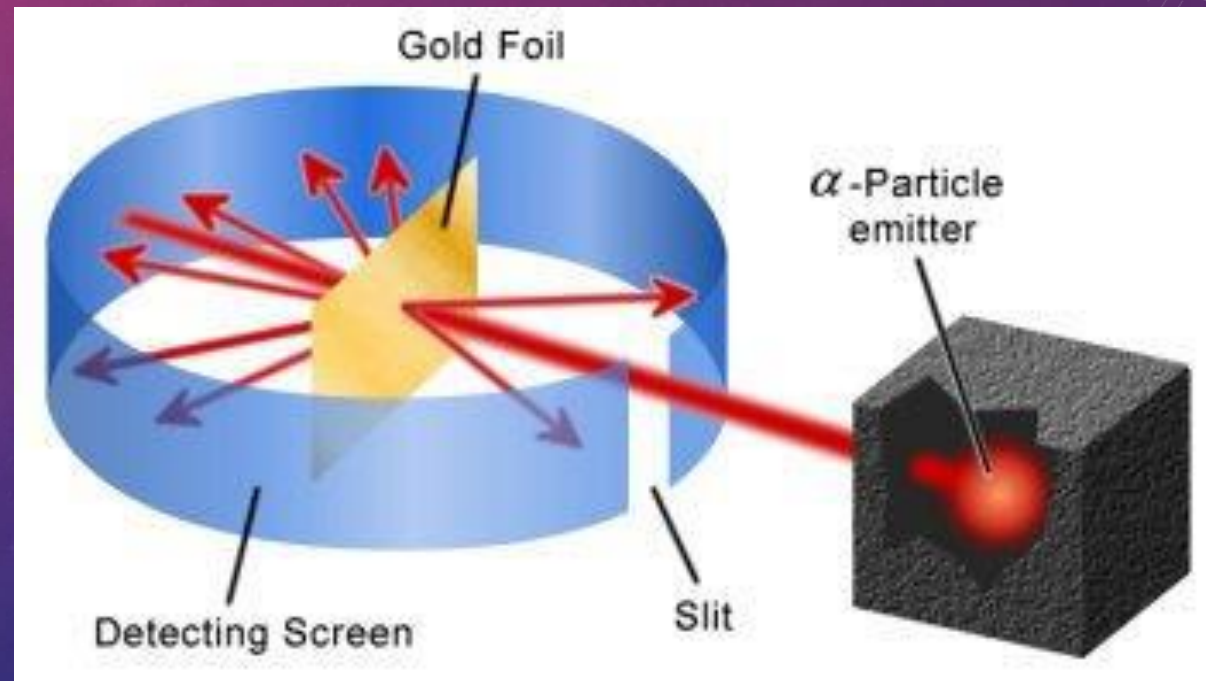


# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 1. Modèle planétaire de Rutherford (1911)

Expérience démontrant  
l'incompatibilité de ce  
modèle

→ « la matière est  
pleine de vide »



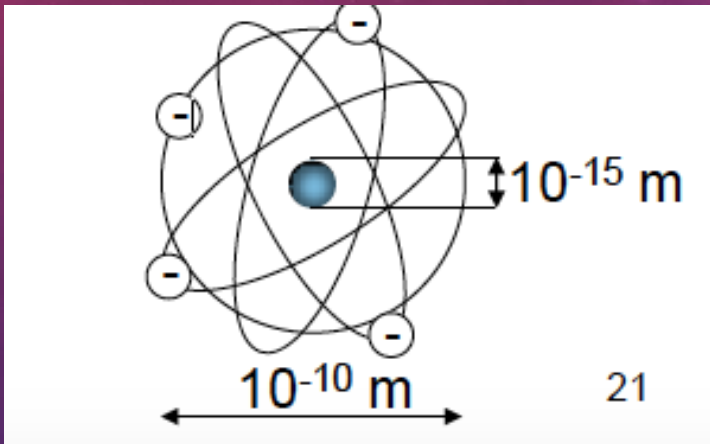


# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 1. Modèle planétaire de Rutherford (1911)

Selon ce nouveau modèle, l'atome est constitué :

- d'une **masse** concentrée dans le **noyau** chargé **positivement** ( $10^{-15}$  m)
- d'**électrons** chargés **négativement**, qui gravitent autour, en **périphérie** (donnant la forme de l'atome,  $10^{-10}$  m)

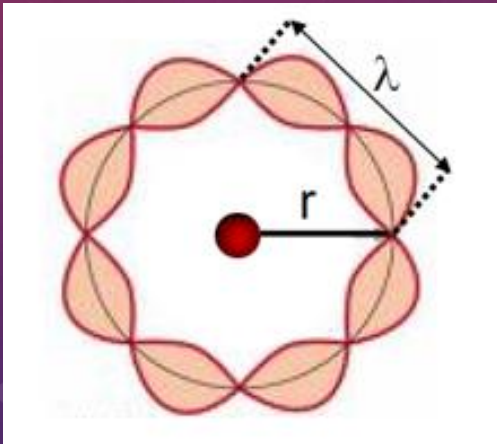




# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 2. Modèle de Bohr (1913)

C'est la **conséquence directe** de la **dualité onde-particule**.



La **circonférence** de l'orbite est :  **$l = 2\pi r$**

$l$  doit être un **multiple entier** de sa **longueur d'onde  $\lambda$**  :

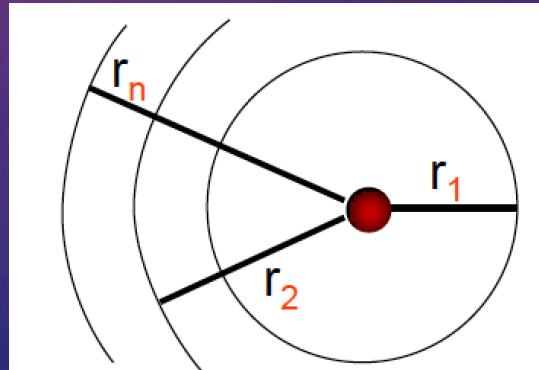
$$l = 2\pi r = n\lambda$$

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 2. Modèle de Bohr (1913)

Donc le rayon  $r$  est quantifié selon un nombre fini d'orbites ( $r = n \frac{\lambda}{2\pi}$ ).

L'intensité de la liaison des électrons au noyau dépend de  $r$ .



# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 3. Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron

- Cas de l'atome d'hydrogène  ${}_1H$

L'énergie de l'électron  
sur une orbitale  $n$  vaut :

$$W_n = -13,6 \frac{1}{n^2} [eV]$$

/!\ L'énergie de l'électron est **négative**!

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 3. Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron

- Cas de l'atome d'hydrogène  ${}_1H$

L'énergie de liaison de l'électron est l'énergie qu'il faut apporter pour **arracher cet électron** de l'édifice atomique et **l'emporter hors de l'influence du noyau**. Elle vaut :

$$E_L = |W_n|$$

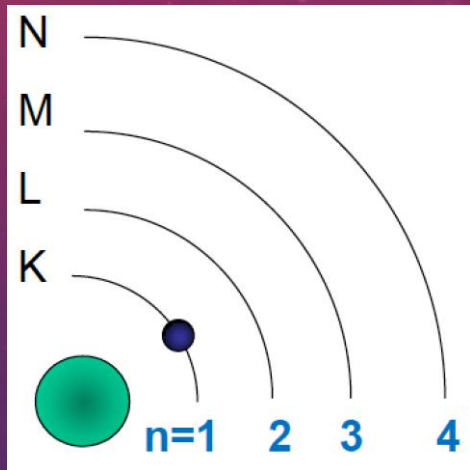
/!\ L'énergie de liaison de l'électron est **positive!**



# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 3. Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron

$W_n$  et  $E_L$  sont **quantifiées** : elles varient de façon **discontinue** en fonction de  $n$



À l'état fondamental de  ${}_1\text{H}$ , l' $e^-$  occupe la **couche K** correspondant à l'énergie  $W_n$  **minimale** et  $E_L$  **maximale**.

Il peut **passer sur une orbite supérieure** seulement par **absorption** d'un **quantum d'énergie**.

*Ex : si  $\Delta E = 10,2 \text{ eV} \rightarrow$  passage de K à L  
si  $\Delta E = 12,1 \text{ eV} \rightarrow$  passage de K à M*

$n$	1	2	3	4
$r \text{ (} 10^{-10}\text{m)}$	0,5	2	4,5	8
Orbite	K	L	M	N
$W_n \text{ (eV)}$	-13,6	-3,4	-1,5	-0,8
		$W_k/4$	$W_k/9$	$W_k/16$

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 3. Conséquences du modèle de Bohr sur l'énergie de l'électron

- Généralisation à un nombre  $Z$  quelconque d'électrons

Théoriquement, si les électrons ne se gênaient pas, leur énergie serait :

$$W_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} [\text{eV}]$$

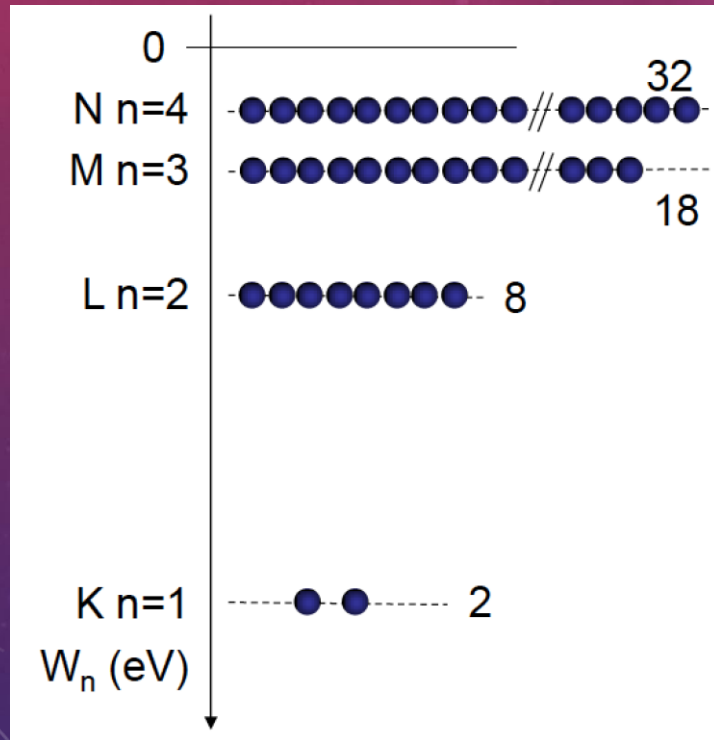
Mais en réalité, ils subissent l'influence du nuage électronique auxquels ils appartiennent : c'est l'**effet écran**.

$$W_n = -13,6 \frac{(Z - \sigma)^2}{n^2} [\text{eV}]$$

avec  $\sigma$  la constante  
écran

# V. STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME

## 4. Remplissage des couches électroniques dans le modèle de Bohr



Nombre maximum d'électrons  
par couche =  $2n^2$

/!\  $n=1$  pour la première couche K !  
Jamais  $n=0$  !!



# CONCLUSION

- ✓ Tous les atomes sont construits selon le **même mode de remplissage des couches électroniques** :  $2n^2$  (modèle de Bohr)
- ✓ Les **énergies des électrons** sont **quantifiées** : elles dépendent des couches et de l'atome :  $W_n = -13,6 \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2} \text{ eV}$ 
  - Les e<sup>-</sup> de la couche K sont les **plus fortement liés** donc  $W_K$  **varie beaucoup** selon les atomes
  - Les e<sup>-</sup> de la couche externe sont les **moins fortement liés** donc  $W_{\text{ext}}$  **varie peu** selon les atomes
- ✓ Lorsque les **couches électroniques les plus basses sont complètes**, l'atome est dans son **état fondamental** (sinon état excité avec excès d'énergie).

	Hydrogène Z=1	Calcium Z=20	Tungstène Z=74
$W_K$ (eV)	- 13,6	- 4000	- 69500
$W_{\text{ext}}$ (eV)	- 13,6	- 25,4	- 5,7



# QCM

L'iode naturel stable ( $Z=53$ ) a une masse atomique égale à 126,90447 g.

- A) La masse d'un atome d'iode naturel est égale à 126,90447 u.
- B) Il s'agit de l'iode-126 (nombre de masse  $A=126$ ).
- C) Cet atome d'iode naturel dans son état fondamental possède 53 électrons.
- D) Le noyau de cet atome est composé de 74 neutrons.
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses.

# QCM

L'iode naturel stable ( $Z=53$ ) a une masse atomique égale à 126,90447 g.

- A) La masse d'un atome d'iode naturel est égale à 126,90447 u.
- B) Il s'agit de l'iode-126 (nombre de masse  $A=126$ ). (127!!)
- C) Cet atome d'iode naturel dans son état fondamental possède 53 électrons. (car état fondamental  $\rightarrow$  nb  $e^-$  = nb  $p$ )
- D) Le noyau de cet atome est composé de 74 neutrons. ( $N=A-Z$ )
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Reponse **ACD**

Merci pour votre attention  
On vous souhaite plein de courage  
On est avec vous! 😊