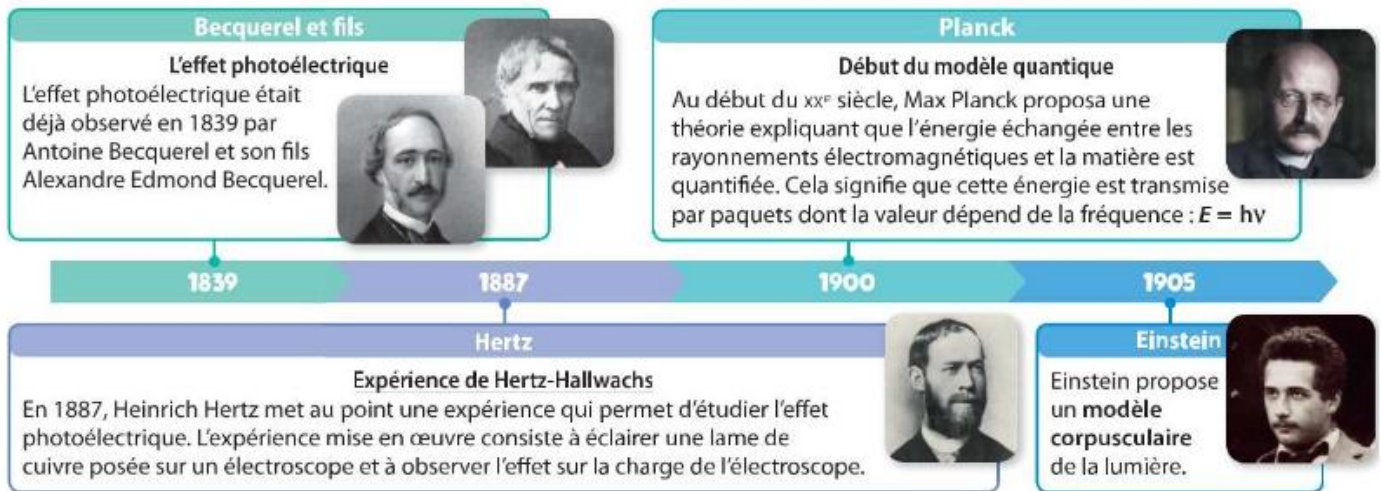
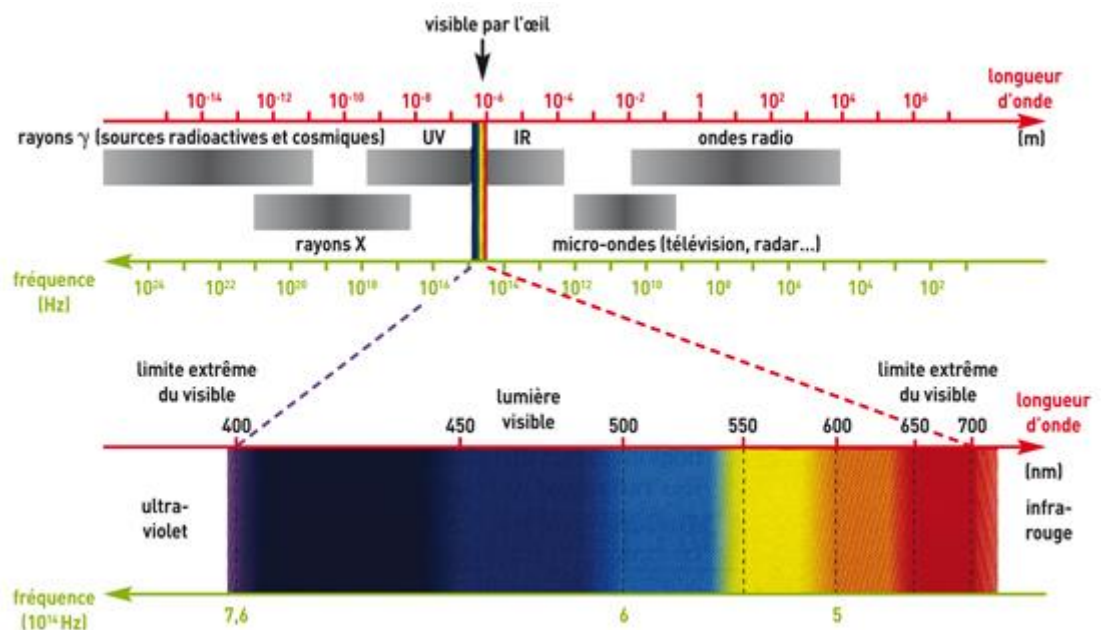


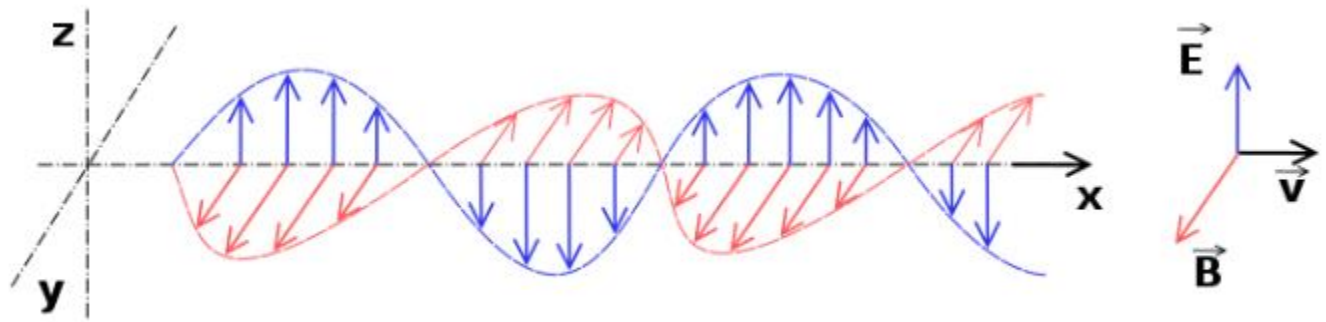
Chapitre 19 : L'effet photoélectrique



1) La lumière : Onde ou particule ?



- Une onde électromagnétique est une catégorie d'onde qui peut se déplacer dans un milieu de propagation comme le vide ou l'air, avec une vitesse avoisinant celle de la lumière soit 300000 km/s. Ces ondes sont par exemple produites par des charges électriques en mouvement. Elles correspondent aux oscillations couplées d'un champ électrique E et d'un champ magnétique B, dont les amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps.



V = Vitesse de déplacement de l'onde E = Champ électrique B = Champ magnétique © Emmanuel Boutet/Wikimedia Commons

- La lumière est une onde électromagnétique de longueur d'onde (dans le vide) comprise entre **400 et 800 nm**.
- L'énergie transportée par une onde électromagnétique dépend de sa fréquence :

$$E = h \cdot \nu$$

E en J
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ S.I.
 ν en Hz

h est appelé constante de PLANCK

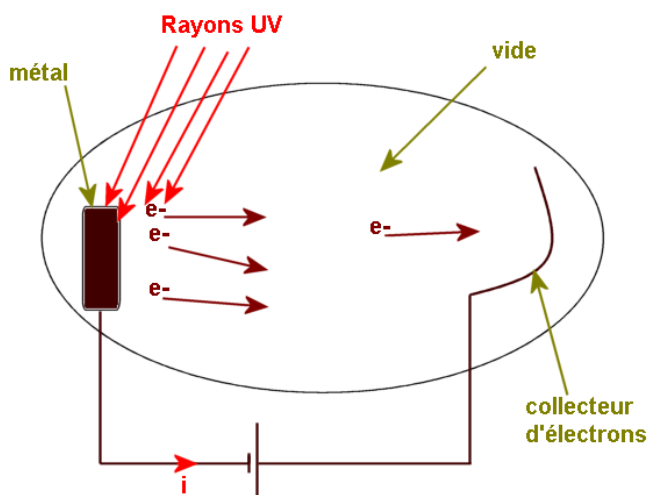
Exercice : Compléter le tableau suivant (On donne : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

	Photon 1	Photon 2	Photon 3
Fréquence ν	$8,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$		
Période T			
Longueur d'onde λ			550 nm
Énergie E (en J)			
Énergie E (en eV)		3,2 eV	

2) L'effet photoélectrique

a) Mise en évidence

Expérience :



- 1886 : *H. Hertz* remarque que la lumière a une influence notable sur la formation d'étincelles par des électrodes.
- 1888 : *W. Hallwachs*, assistant de *H. Hertz*, remarque qu'une plaque de zinc isolée se charge positivement sous l'action d'une lumière ultra-violette.
- 1899 : *J. J. Thomson* démontre que la plaque de zinc se charge positivement sous lumière UV parce qu'elle émet des électrons (qu'il a lui-même découverts en 1897).
- 1902 : *P. Lenard* montre expérimentalement l'effet de seuil de l'effet photoélectrique.
- 1905 : *A. Einstein* comprend que la lumière est structurée en quanta d'énergie : les photons.

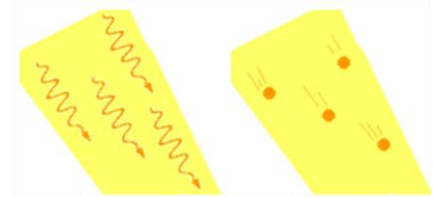
Observations :

- En résumé, on observe une **émission d'électrons** par un métal soumis à un rayonnement électromagnétique
- La théorie ondulatoire ne permet pas d'expliquer l'existence d'une **fréquence SEUIL** du rayonnement électromagnétique à partir de laquelle l'émission d'électrons se produit. C'est le **modèle corpusculaire**, celui du photon, qui va permettre d'expliquer ce phénomène.

- L'augmentation de l'intensité du rayonnement permet uniquement d'augmenter le nombre de photons émis par la source .

Interprétations :

- En 1905 **Albert Einstein** publie un premier article révolutionnaire dans la revue "Annalen der Physik", intitulé "Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière". Pour comprendre la nature de la lumière, il s'est penché sur l'effet photoélectrique . En s'appuyant sur les travaux de **Max Planck**, il explique que la lumière est formée de "quanta" (qu'on appellera plus tard "photons"), sorte de grains d'énergie qui, en fonction de la fréquence du rayonnement, provoque l'émission de ces électrons.
- Il en déduit que la lumière est à la fois continue (une onde) et discontinue (des particules). Cette conclusion l'amènera alors à la dualité onde-particule de la lumière car cette dernière présente simultanément les propriétés physiques de l'onde et celles de la particule.



- L'énergie de la lumière est transportée par des **photons** qui présentent un **aspect particulaire** et **ondulatoire**.

- **Le photon est un quantum d'énergie ayant :**

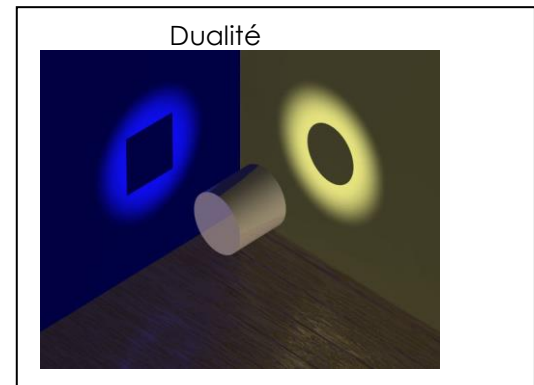
- une masse nulle
- une charge nulle
- une vitesse égale à c dans le vide

→ L'énergie E d'un photon est donnée par la relation :

$$E = h\nu \Leftrightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

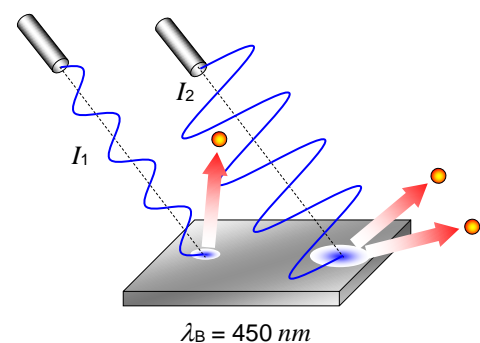
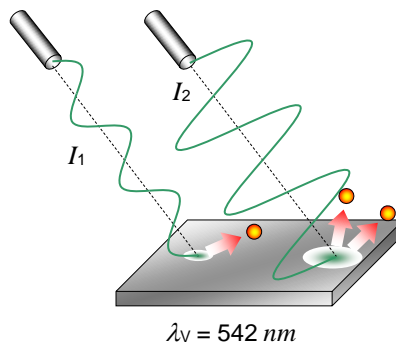
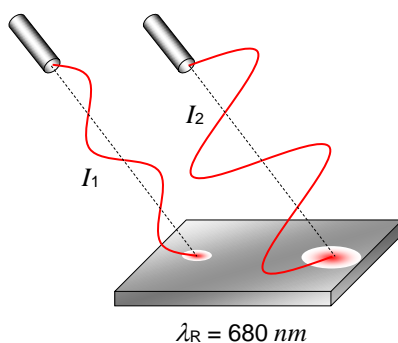
E en J		E en J
h (Cste de Planck) en $J\cdot s$		h (Cste de Planck) en $J\cdot s$
c en $m\cdot s^{-1}$		c en $m\cdot s^{-1}$
λ (longueur d'onde) en m		λ (longueur d'onde) en m
		ν (fréquence) en Hz



b) Effet de seuil

Expérience :

On considère une plaque de potassium éclairée par une source de lumière monochromatique dont on peut faire varier la longueur d'onde et l'intensité.



Observations :

- Pour une lumière de longueur d'onde supérieure à 542 nm (ici $\lambda_R = 680 \text{ nm}$), quelle que soit l'intensité reçue par la plaque, aucun électron n'est émis.
- On diminue alors progressivement la longueur d'onde de la source et, à 542 nm , la plaque émet enfin des électrons avec une vitesse très faible (proche de zéro). Si l'on maintient cette longueur d'onde mais que l'on double l'intensité lumineuse, on remarque alors que le nombre d'électrons émis par la plaque double aussi.

- Si l'on diminue encore la longueur d'onde de la source ($\lambda_B = 450 \text{ nm}$), on remarque que la vitesse d'émission des électrons hors de la plaque augmente. Et comme précédemment, le nombre d'électrons émis est toujours proportionnel à l'intensité lumineuse.

Interprétations :

- Chaque photon a une énergie qui dépend de sa couleur (longueur d'onde). Le photon rouge ($\lambda_R = 680 \text{ nm}$), a peu d'énergie ($E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 2,92 \text{ E-19 J} = 1,82 \text{ eV}$), insuffisante à produire un effet photoélectrique en tout cas !
- Le photon vert à $\lambda_V = 542 \text{ nm}$ semble posséder l'énergie minimale nécessaire ($E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3,66 \text{ E-19 J} = 2,29 \text{ eV}$) pour extraire un électron à l'atome de potassium : c'est **l'effet de seuil**. En augmentant l'intensité du faisceau, on augmente le nombre de photons verts et donc le nombre d'électrons qui vont être expulsés du métal.
- Le photon bleu a encore plus d'énergie que le photon vert ($E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 4,41 \text{ E-19 J} = 2,76 \text{ eV}$), il peut donc éjecter un électron du potassium comme le photon vert. On remarque également que les électrons éjectés par un photon bleu ont une **vitesse plus grande** que ceux éjectés par un photon vert : **l'excédent d'énergie des photons de longueur d'onde supérieure à la longueur d'onde seuil est converti en énergie cinétique de l'électron**.

Exemples :

Fréquence seuil :

Métal	Zinc (Zn)	Cuivre (Cu)	Sodium (Na)
Fréquence seuil ν_s ($\times 10^{15} \text{ Hz}$)	1,14	1,03	0,558
Longueur d'onde seuil λ_s (nm)	263	290	538

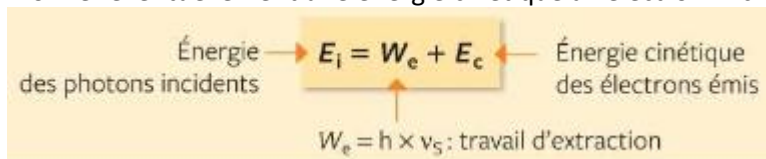
Energie seuil :

Métaux	Cs	Rb	K	Na	Li	Ca	Ag
W_e (eV)	2,14	2,16	2,30	2,75	2,90	2,87	4,26
Éléments	Al	Zn	Cr	W	Cu	Ni	Pt
W_e (eV)	4,28	4,33	4,50	4,55	4,65	5,15	5,65

c) Bilan énergétique :

L'énergie fournie par le photon incident permet donc de :

- Libérer l'électron du métal : W_e = travail d'extraction
- Donner éventuellement une énergie cinétique à l'électron : E_c



On peut écrire cette relation de la manière suivante :

$$h \times \nu_i = h \times \nu_s + \frac{1}{2} \times m_e \times v_i^2$$

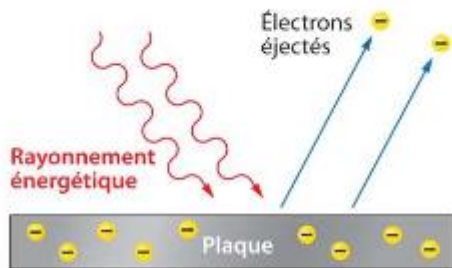
Constante de Planck → h Fréquence seuil → ν_s

Fréquence incidente → ν_i Vitesse initiale d'extraction des électrons ou vitesse maximale des électrons émis → v_i

$$\frac{1}{2} \times m_e \times v_i^2 = h \times (\nu_i - \nu_s)$$

Exercice :

Une plaque de métal est éclairée par une lumière de longueur d'onde $\lambda = 0,239 \mu\text{m}$. Des électrons ayant une énergie cinétique de 3,32 eV sont alors arrachés de la plaque.



1. Déterminer à quel domaine du spectre électromagnétique appartient la longueur d'onde.
2. Calculer l'énergie apportée par la radiation lumineuse.
3. Calculer le travail d'extraction W_e .
4. Déterminer la nature du métal constituant la plaque.
5. L'expérimentateur désire augmenter la vitesse des électrons émis. Prévoir s'il doit changer l'intensité du faisceau lumineux ou sa longueur d'onde.

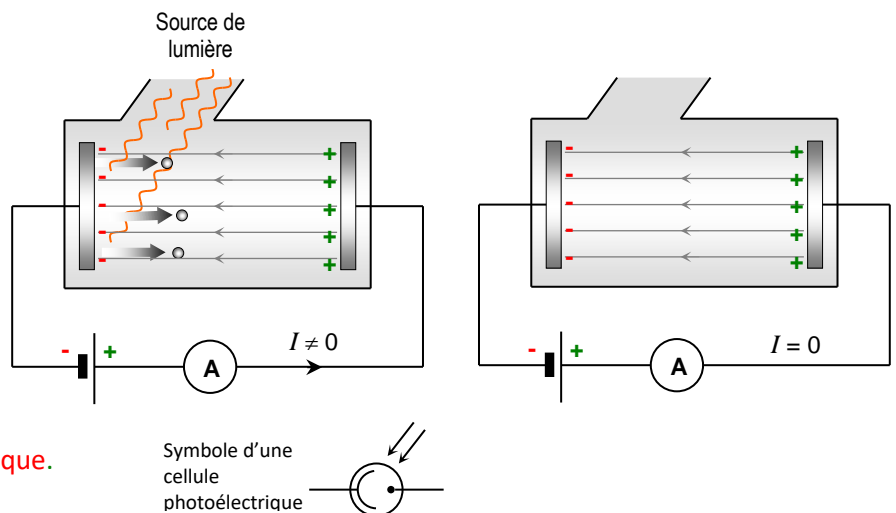
Métal	Seuil photoélectrique
Al	365 nm
Cs	660 nm
K	550 nm
Na	500 nm

3) La cellule photoélectrique :

a) Principe :

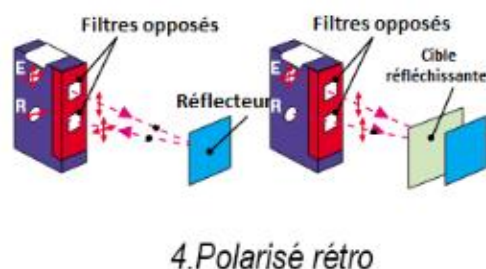
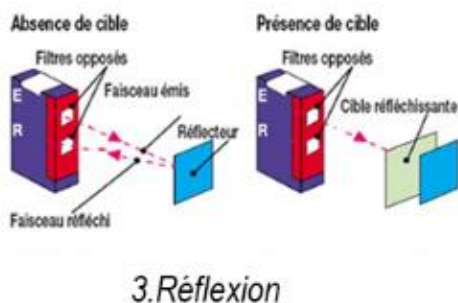
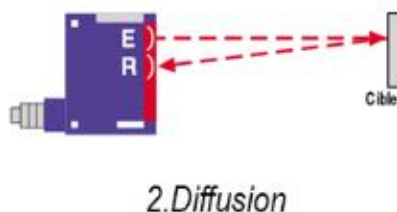
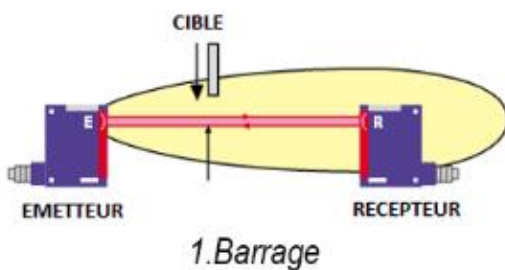
En présence de lumière, les électrons éjectés sont alors quasiment tous récupérés par l'anode positive, ce qui a pour effet de produire une intensité plus importante dans le circuit électrique.

En l'absence de lumière, aucun électron n'est émis par la photocathode et donc aucun courant ne circule dans le circuit.



C'est le principe d'une cellule photoélectrique.

Exemples d'utilisation :

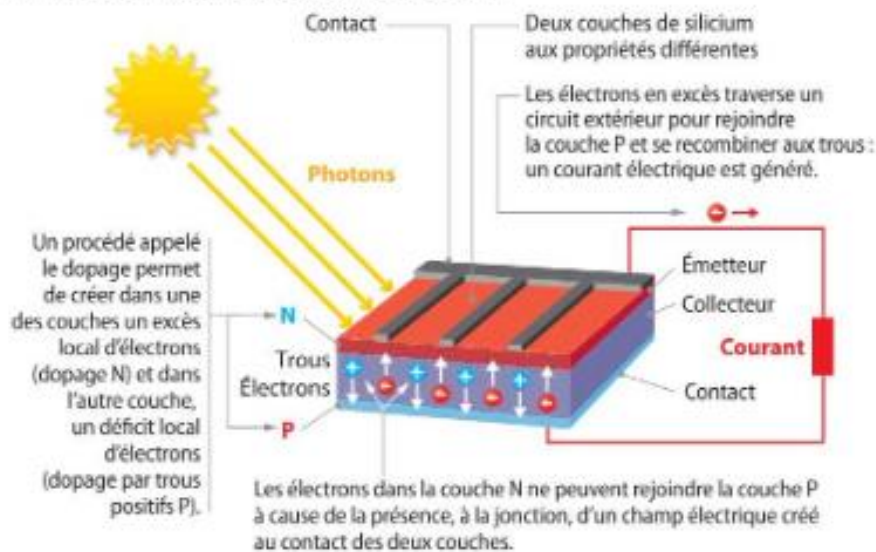


b) Cellule photovoltaïque :

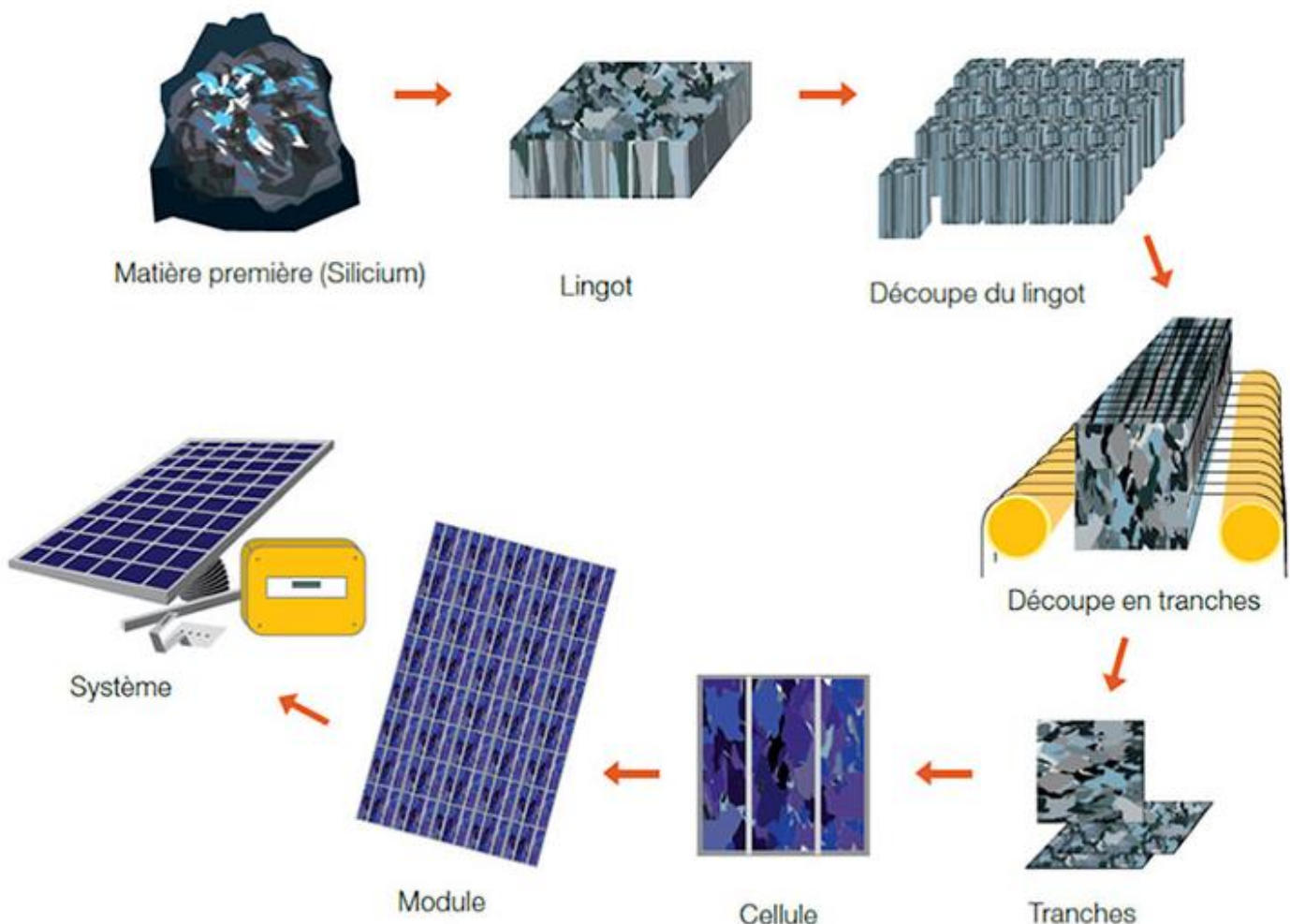
Définition : L'effet photovoltaïque est l'apparition d'une tension électrique aux bornes d'un matériau semi-conducteur exposé à la lumière.

→ L'effet photovoltaïque est l'une des conséquences de l'effet photoélectrique.

Une cellule photovoltaïque est souvent constituée de silicium qui reçoit l'énergie lumineuse permettant l'excitation des électrons.



→ Les cellules photovoltaïques sont réalisées avec des semi conducteurs comme le silicium : C'est un élément abondant : il constitue 27,2% de la croûte terrestre. Il existe sous forme de silice SiO_2 , principal constituant du sable.

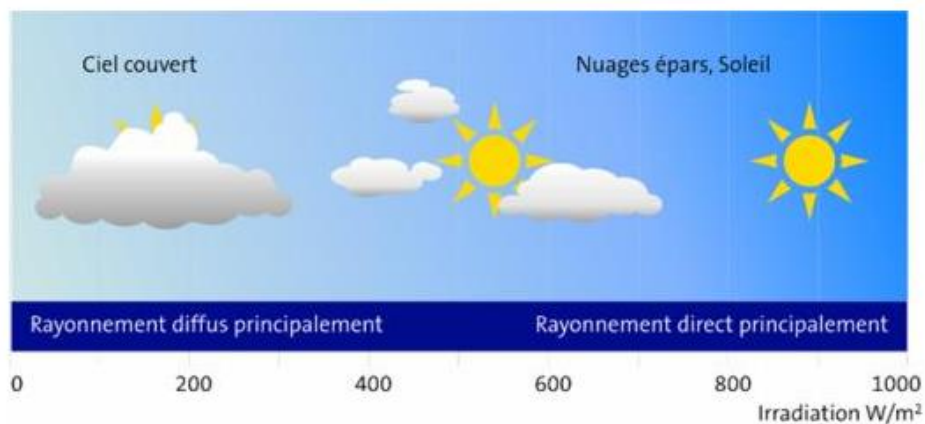


- Les cellules photovoltaïques réunies sur un « panneau solaire » permettent de convertir l'énergie solaire GRATUITE en énergie électrique continue. L'utilisation d'un onduleur permet de la convertir en énergie alternative utilisable par tous les appareils usuels.
- Le rendement η (êta) d'un panneau solaire traduit la **capacité du panneau à convertir l'énergie lumineuse qu'il reçoit en énergie électrique**.

$$\eta = \frac{P_{\text{elec}}}{P_{\text{Sol}}} \quad \left| \begin{array}{l} P \text{ en } W \\ \eta \text{ sans dim.} \end{array} \right.$$

avec P_{elec} la puissance électrique fournie par le panneau et P_{Sol} la puissance solaire reçue.

- La cellule photovoltaïque à hétérojonction atteint un rendement actuel de **19 %** pour du polycristallin, et **22%** pour du monocristallin. Pour un module commercialisé composé de cellules photovoltaïques à hétérojonction, le rendement commence à atteindre plus de **24 %** en production et approcher **25 %** en pré-série.
- La puissance produite par un panneau solaire dépend de l'irradiance solaire (en W/m^2) :



La caractéristique $I = f(U)$ d'un panneau photovoltaïque a été tracée pour une température de $25^\circ C$ pour différents éclairagements.

