

LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

CHAPITRE 2 : EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

CONTENU : 1 ÈRE PARTIE

1- Historique

2- L'effet photoélectrique

L'émission photoélectrique

l'effet COMPTON

L'effet de photoconductivité

L'effet photovoltaïque

Etymologie

Principe du photovoltaïque

1) HISTORIQUE

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

□ **1839** : Le physicien français Antoine Becquerel et son fils Alexandre Edmond Becquerel découvrent le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire un courant électrique dans un matériau solide.

□ **1875** : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

Albert Einstein fut le premier, en **1905**, à proposer une explication de cet effet, en utilisant le concept de particule de lumière, appelé aujourd'hui photon. Cette explication lui valut le prix Nobel de physique en **1921**.

1954 : Les trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince (laboratoires BELL) présentent la première cellule photovoltaïque avec un rendement de 4%.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point et installée à bord des premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.(USA)

1963 : Première application terrestre dans un phare au Japon

-
- 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware aux USA.
 - 1982 : La première installation photovoltaïque reliée au réseau électrique en Europe c'était en Suisse.
 - 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

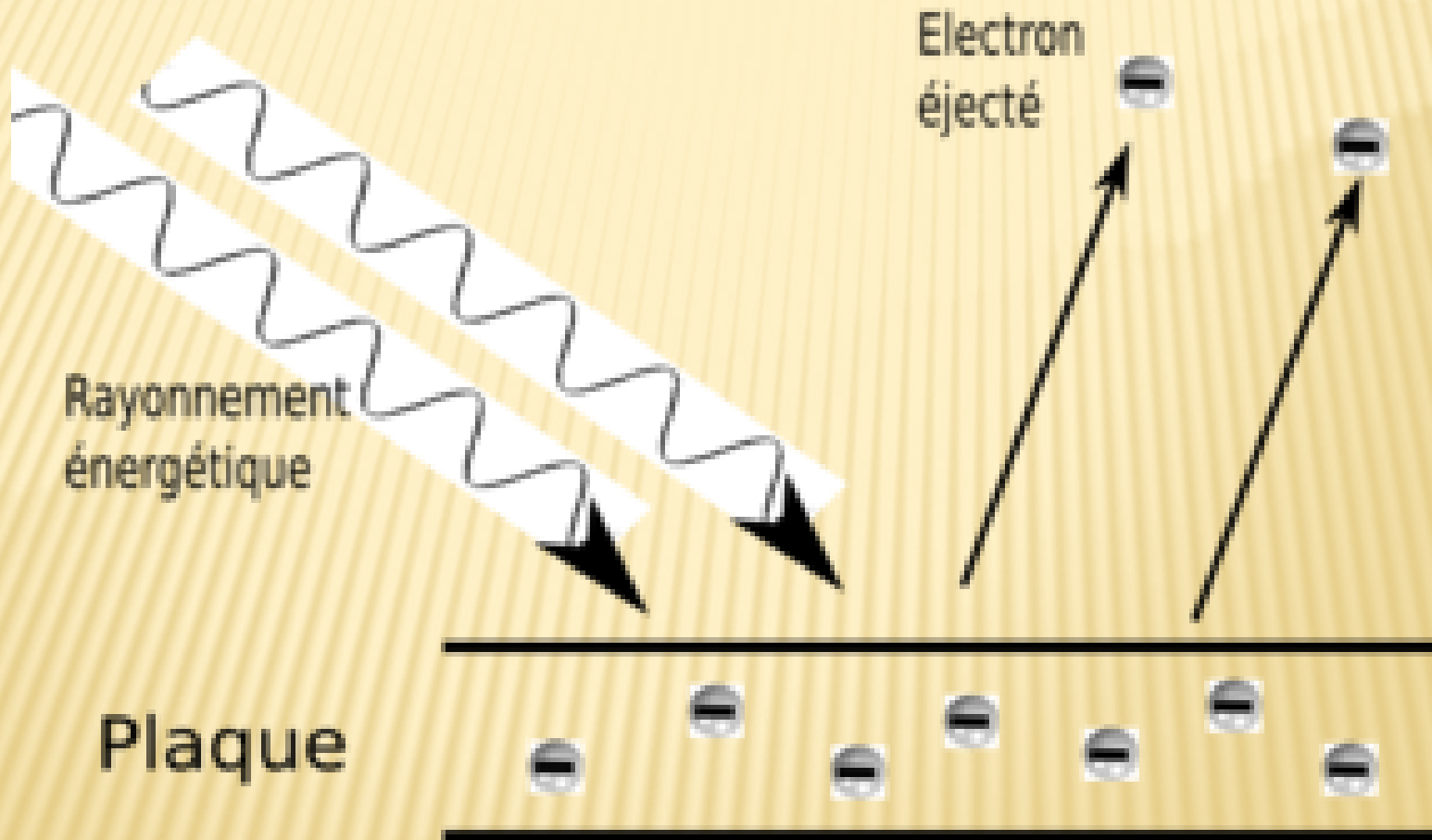
2) L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

L'effet photoélectrique est un phénomène physique durant lequel un matériau, généralement métallique, émet des électrons lorsque ce matériau est exposé à la lumière ou un rayonnement électromagnétique.

On désigne sous le nom d'effet photoélectrique tous les phénomènes électriques qui sont provoqués par l'action de la lumière sur la matière:

1-- L'éjection des électrons par effet de lumière: On parle alors d'émission photoélectrique.

Schéma de l'effet photoélectrique



2– L'absorption de lumière peut également augmenter la conductibilité d'un corps : On parle alors de photoconductivité.

3– Certains conducteurs sous l'effet d'un éclairage suffisant font apparaître des forces électromotrices d'où il résulte une transformation directe d'énergie lumineuse en énergie électrique : On parle alors de l'effet photovoltaïque

1) L'ÉMISSION PHOTOÉLECTRIQUE

C'est l'absorption de lumière par un solide qui peut entraîner l'éjection d'électrons dans le vide ou dans le milieu qui est en contact avec cet électron.

Pour extraire un électron libre d'un métal, il faut lui fournir une énergie minimale eE_0 appelée travail d'extraction. Cette énergie peut être fournie par un photon d'énergie $(h.\nu)$.

Si $(h.\nu)$ est supérieur a eE_0 , le surplus d'énergie se retrouve sous forme d'énergie cinétique E_{cm} .

$$E_{cm} = h\nu - eE_0$$

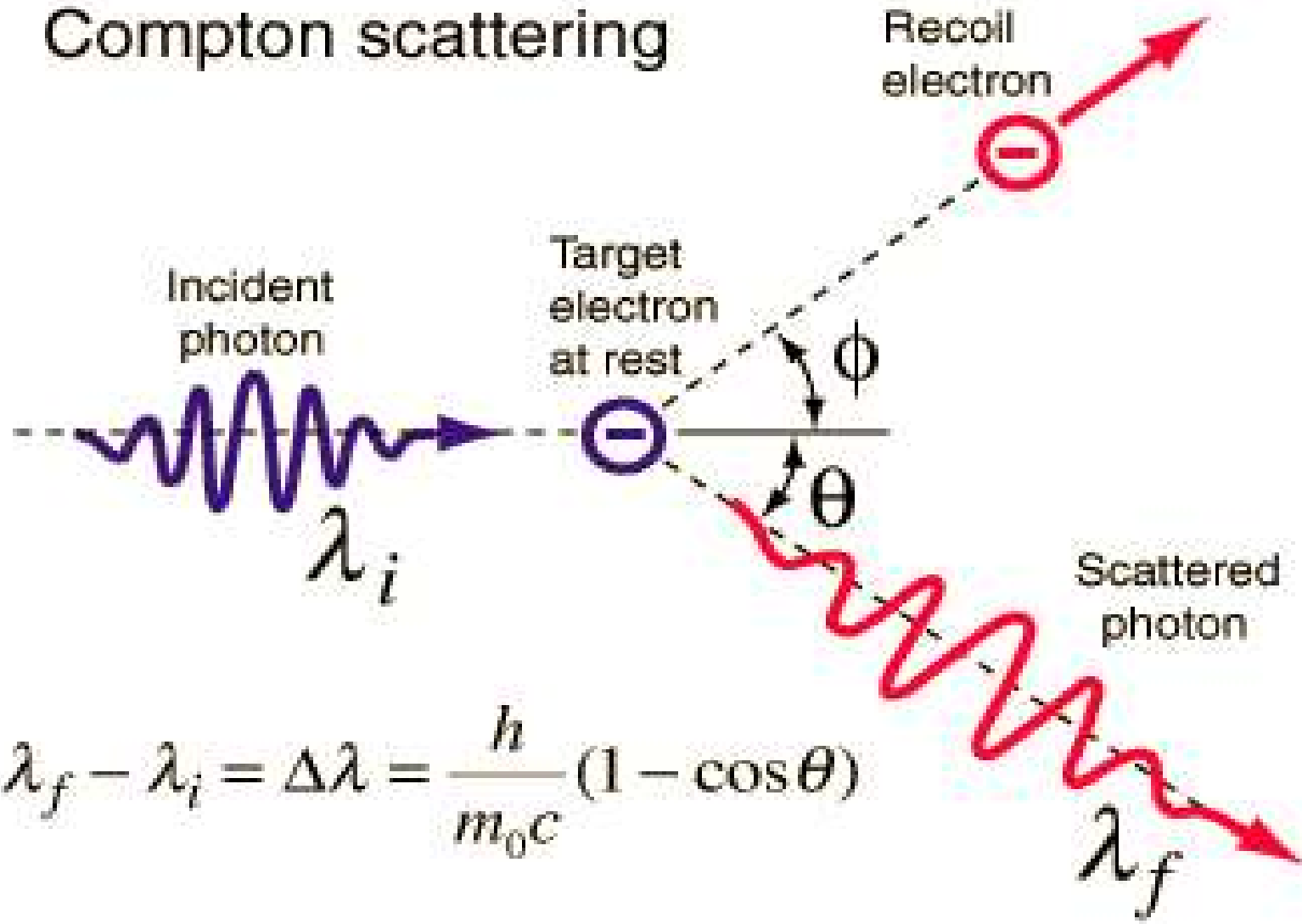
e: la charge élémentaire de l'électron

L'EFFET COMPTON :

L'effet Compton (on parle aussi de diffusion Compton) est un célèbre phénomène découvert en 1923 par le prix Nobel de physique Arthur Compton montrant que la lumière est constituée de quanta d'énergie possédant une quantité de mouvements.

Schéma de l'effet Compton

Compton scattering



2) EFFET DE LA PHOTOCONDUCTIVITÉ

La photoconductivité a été découverte en 1873 par W. Smith, mais elle n'a pas pris la même importance théorique que l'émission photoélectrique lors de l'établissement de la théorie des quanta.

La conductivité d'un corps peut s'écrire :

$$\sigma = \rho_n e \mu_n + \rho_p e \mu_p$$

- ρ_n et ρ_p désignent respectivement les densités d'électrons libres et de trous.
- μ_n et μ_p leurs mobilités
- e la charge élémentaire de l'électron

3) L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

i)- L'étymologie:

Le terme « photovoltaïque » est composé du mot de grec ancien « photos » qui signifie lumière et du nom de famille du physicien italien (Alessandro Volta) et du suffixe « -ïque » généralement utilisé pour la constitution d'un adjectif à partir d'un nom. « Voltaïque » se dit de la pile électrique inventée par Volta et de ses effets.

Photovoltaïque

Photos

Voltaïque

Lumière

Electricité

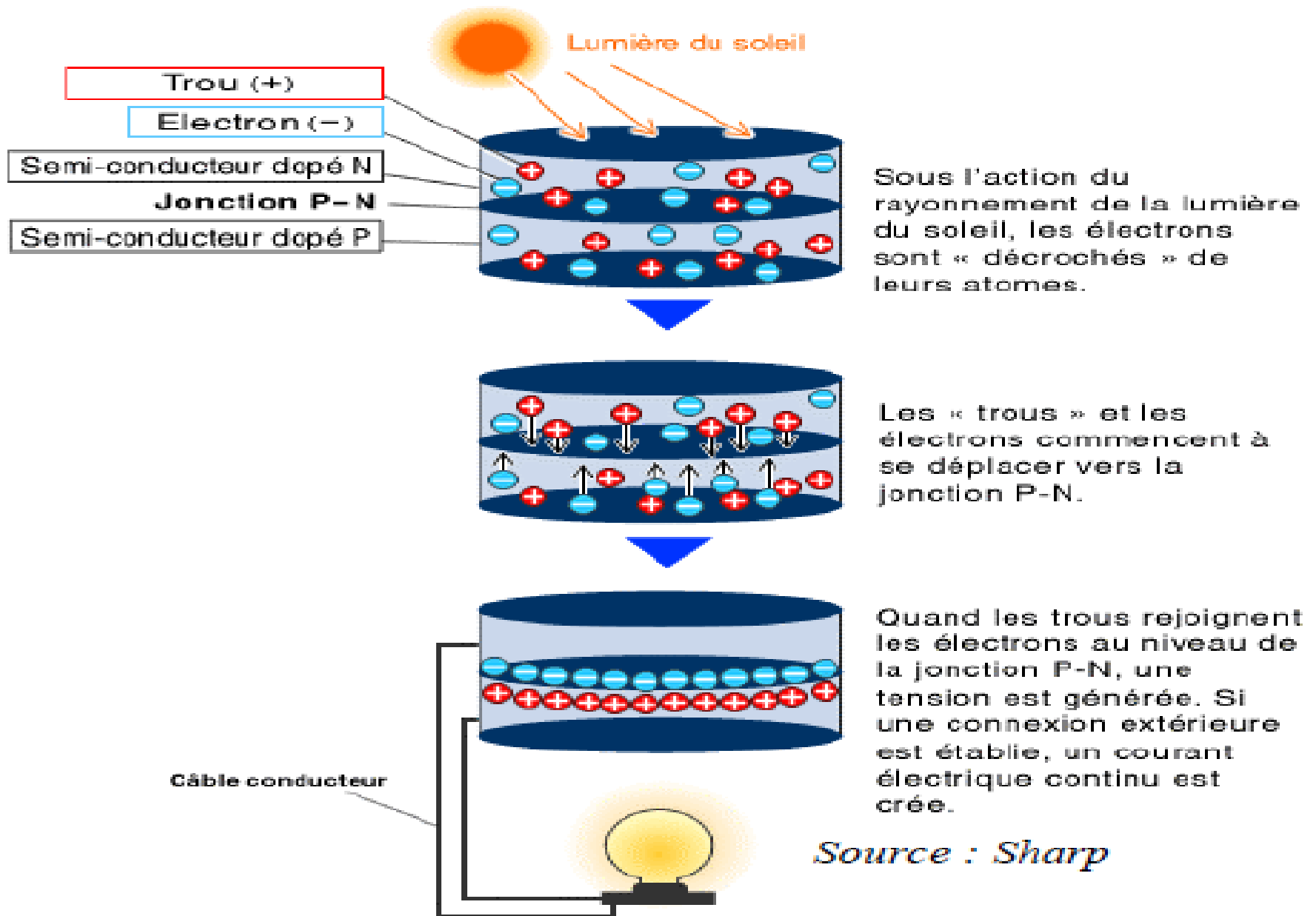
C'est la production de
l'électricité à partir de la lumière

ii) Principe du photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans un matériau semi-conducteur, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue.

Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.



-
- L'effet photovoltaïque se manifeste donc quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif).
 - Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent).

-
- Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.

Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie $h\nu$ à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque.

QUIZ

Q1: En quelle année l'effet photoélectrique a été découvert et par qui?

R1: 1839 par Le physicien français Antoine Becquerel.

Q2: En quelle année la première cellule photovoltaïque a vue la lumière et avec quel rendement?

R2: 1954 avec un rendement de 4%

Q3: L'éjection des électrons par effet de lumière est connu par:

R3: L'émission photoélectrique

... QUIZ

Q4: Donner une définition brève de l'effet photovoltaïque

R4: C'est la production de l'électricité à partir de la lumière

Q5: Qu'est ce qui se passe quand un matériau est exposé a la lumière?

R5: Sous l'action de la lumière, les électrons des couches électroniques supérieures ont tendance à être arrachés.

....QUIZ

Q6: Qu'est ce qui se passe dans le matériau si les électrons reviennent à leur état initial?

R6: L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Q7: Dans quelles conditions les électrons ne reviennent pas à leur état initial?

R7: Si le matériau est un semi-conducteur

Q8: Quel est le rôle du dopage des semi-conducteurs?

R8: Pour assurer qu'un faible champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente.

CONTENU : 2^{EME} PARTIE

Les semi-conducteurs

Le dopage des semi-conducteurs

Semi-conducteur intrinsèque

Semi-conducteur extrinsèque

Dopage de type N

Dopage de type P

Jonction P-N

LES SEMI-CONDUCTEURS

Un semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante.

En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants. Exemples (Silicium, germanium,...)

Dans un isolant électrique :

La bande de conduction est vide et le gap est grand (de l'ordre de 10 eV par exemple). Le solide ne contient alors aucun électron capable de participer à la conduction.

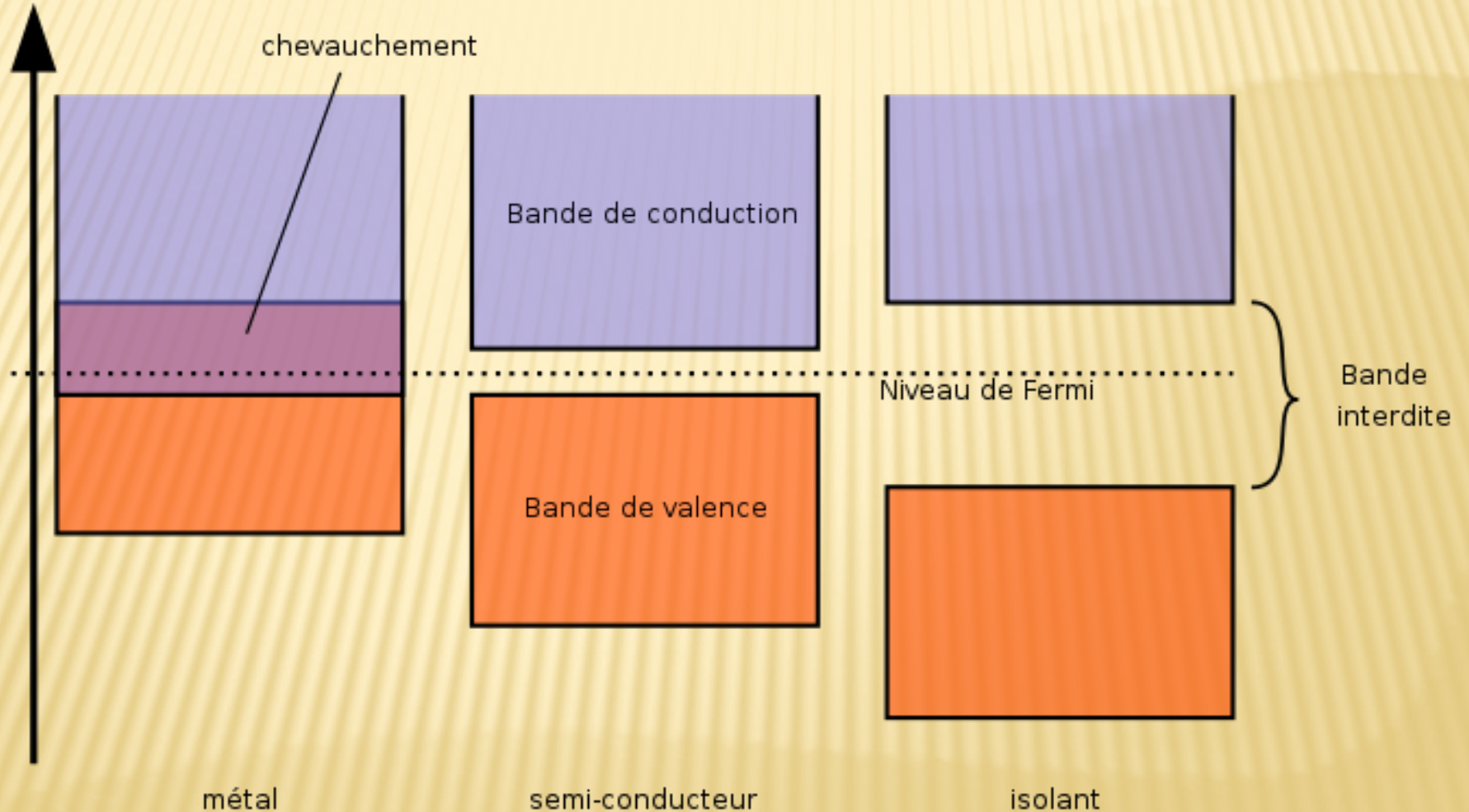
Dans un conducteur électrique :

La bande de conduction est partiellement occupée, même à une température de zéro kelvin, alors un faible champ électrique peut faire passer un électron aux niveaux d'énergies supérieurs, sans dépenser beaucoup d'énergie.

Dans un semi-conducteur :

La bande de conduction est vide mais le gap est plus faible (de l'ordre de 1 à 2 eV). Le solide est donc isolant à température nulle, mais une élévation d'énergie (photons) permet de faire passer des électrons de la bande de valence à la bande de conduction.

Énergie électronique



La conductivité électrique des semi-conducteurs peut être contrôlée par dopage, en introduisant une petite quantité d'impuretés dans le matériau afin de produire un excès d'électrons ou un déficit.

Des semi-conducteurs dopés différemment peuvent être mis en contact afin de créer une jonction, permettant de contrôler la direction et la quantité de courant qui traverse l'ensemble.

Cette propriété est à la base du fonctionnement des composants de l'électronique : diodes, transistors, etc.

LE DOPAGE P-N DES SEMI-CONDUCTEURS

Les semi-conducteurs intrinsèques :

Un semi-conducteur est dit intrinsèque lorsqu'il est pur : il ne comporte aucune impureté et son comportement électrique ne dépend que de la structure du matériau.

Un semi-conducteur réel n'est jamais parfaitement intrinsèque mais peut parfois en être proche comme le silicium monocristallin pur.

Dans un semi-conducteur intrinsèque, les porteurs de charge ne sont créés que par des défauts cristallins et par excitation thermique.

Le nombre d'électrons dans la bande de conduction est égal au nombre de trous dans la bande de valence.

Ces semi-conducteurs ne conduisent pas le courant électrique, ou très peu, sauf si on les porte à haute température.

Les semi-conducteurs extrinsèques :

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés, Ce procédé est appelé dopage. Le dopage consiste à implanter des atomes correctement sélectionnés (nommés « impuretés ») à l'intérieur d'un semi-conducteur intrinsèque afin de contrôler ces propriétés électriques.

DOPAGE

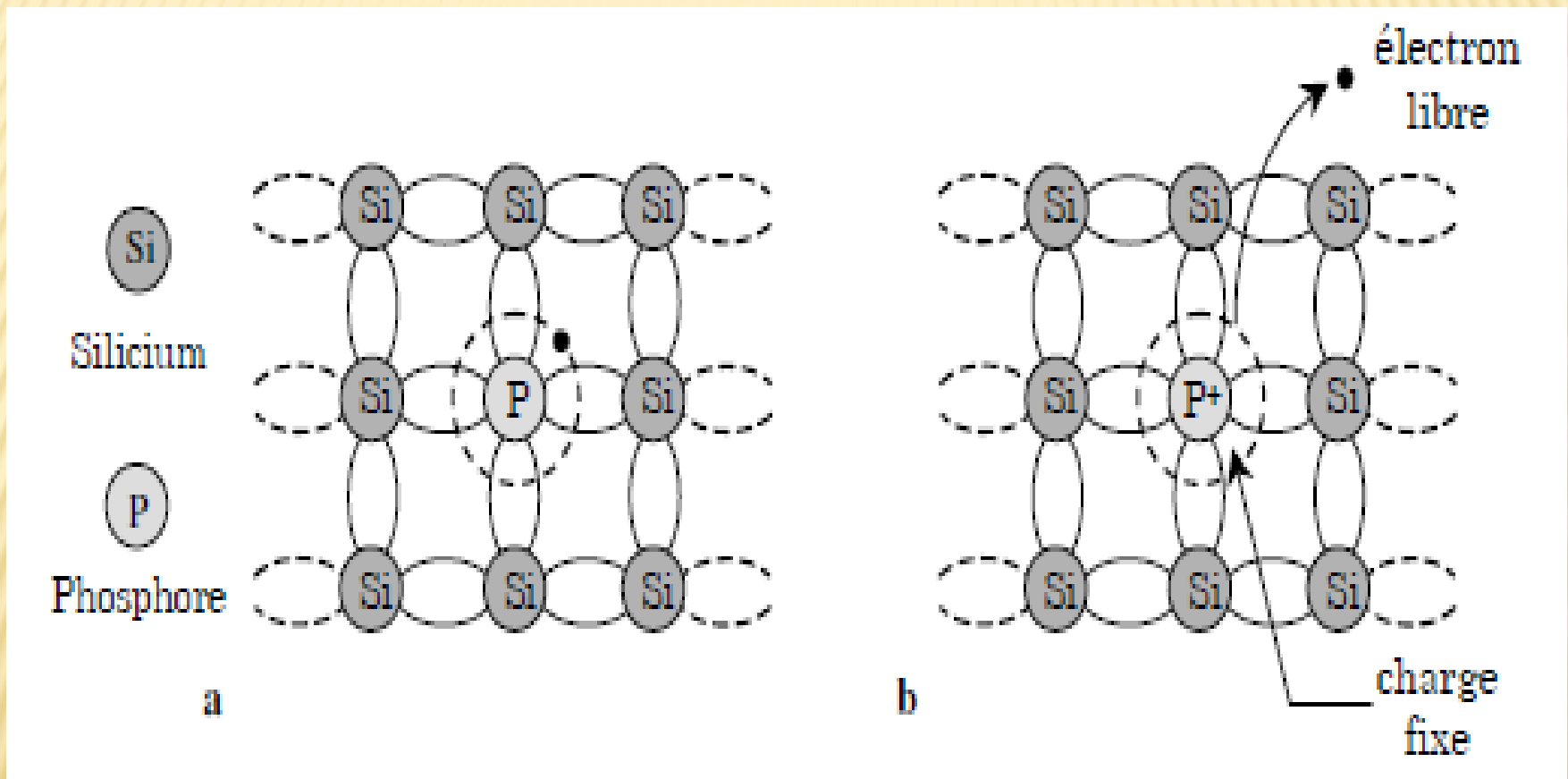
La technique du dopage augmente la densité des porteurs à l'intérieur du matériau semi-conducteur. Si elle augmente la densité d'électrons, il s'agit d'un dopage de type N. Si elle augmente celle des trous, il s'agit d'un dopage de type P. Les matériaux ainsi dopés sont appelés semi-conducteurs extrinsèques.

Il existe plusieurs méthodes pour effectuer le dopage d'un matériau : le dopage par diffusion, le dopage par implantation ionique, le dopage par transmutation nucléaire et le dopage par technique laser.

Dopage de type N :

Le dopage de type N consiste à augmenter la densité en électrons dans le semi-conducteur. Pour ce faire, on inclut un certain nombre d'atomes riches en électrons dans le semi-conducteur.

Par exemple, dans le cas du silicium (Si) on inclut un atome ayant cinq électrons de valence, comme ceux de la colonne V de la table périodique comme le phosphore (P) par exemple.

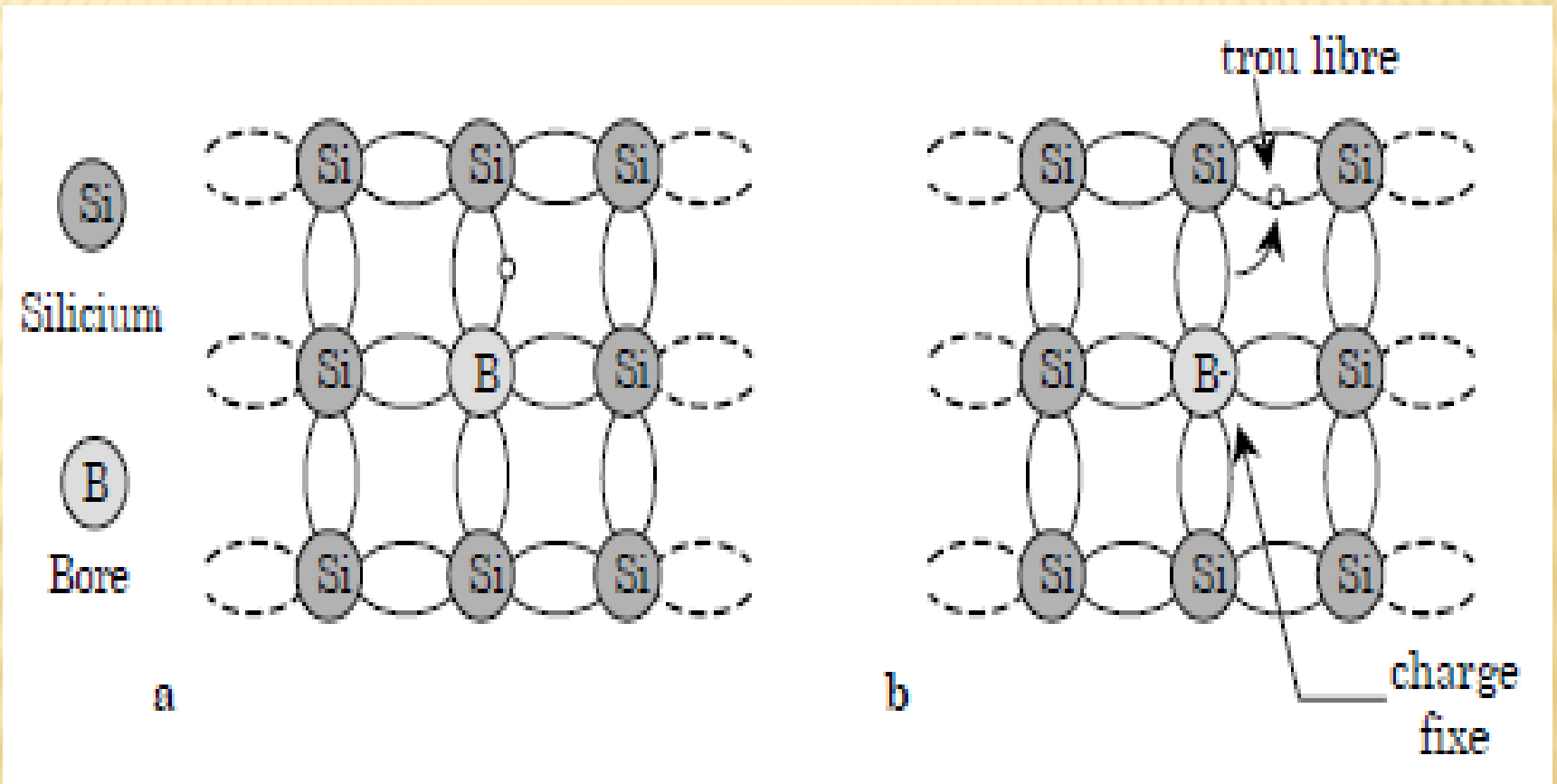


Silicium dopé au phosphore : a. $T=0\text{K}$, b. $T \neq 0\text{K}$

Dopage de type P :

Le dopage de type P consiste à augmenter la densité en trous dans le semi-conducteur. Pour le faire, on inclut un certain nombre d'atomes pauvres en électrons dans le semi-conducteur afin de créer un excès de trous. Dans l'exemple du silicium, on inclus un atome trivalent (colonne III du tableau périodique), généralement un atome de Bore.

Cet atome n'ayant que trois électrons de valence, il ne peut créer que trois liaisons covalentes avec ses quatre voisins créant ainsi un trou dans la structure, un trou qui pourra être rempli par un électron donné par un atome de silicium voisin, déplaçant ainsi le trou.



Silicium dopé au Bore : a. $T=0\text{K}$, b. $T \neq 0\text{K}$

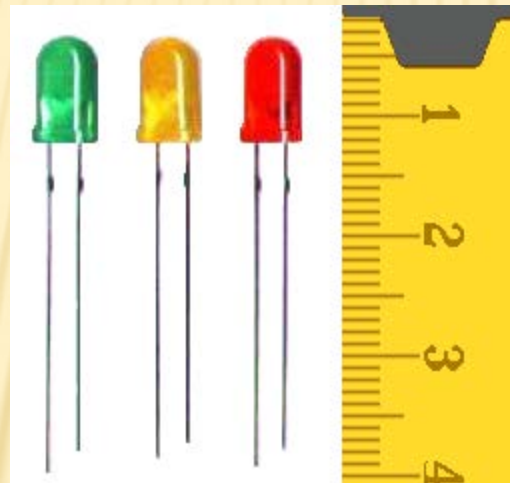
LA JONCTION P-N

Une jonction P-N est créée par la mise en contact d'un semi-conducteur dopé N et d'un semi-conducteur dopé P.

La jonction entraîne l'égalisation des niveaux de Fermi par décalage des bandes. Si l'on applique une tension positive du côté de la région P, les porteurs majoritaires positifs (les trous) sont repoussés vers la jonction.

Dans le même temps, les porteurs majoritaires négatifs du côté N (les électrons) sont attirés vers la jonction.

Quand les électrons Arrivent à la jonction, soit ils se recombinent (un électron tombe dans un trou) en émettant un photon éventuellement visible (Diode Led).



Soit ces électrons continuent leur course jusqu'à atteindre l'électrode opposée ce qui donne un courant électrique.

NIVEAUX DE FERMI :

Dans un solide, le niveau de Fermi est le niveau énergétique le plus élevé qu'un électron puisse occuper à 0°K . A la température T , les électrons peuvent occuper des niveaux d'énergie supérieurs au niveau de Fermi.

Le niveau de Fermi est une caractéristique indispensable pour connaître la répartition des électrons en fonction de l'énergie.

La probabilité d'occupation des niveaux d'énergie de Fermi-Dirac:

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp \frac{(E - \mu)}{k_B T}}$$

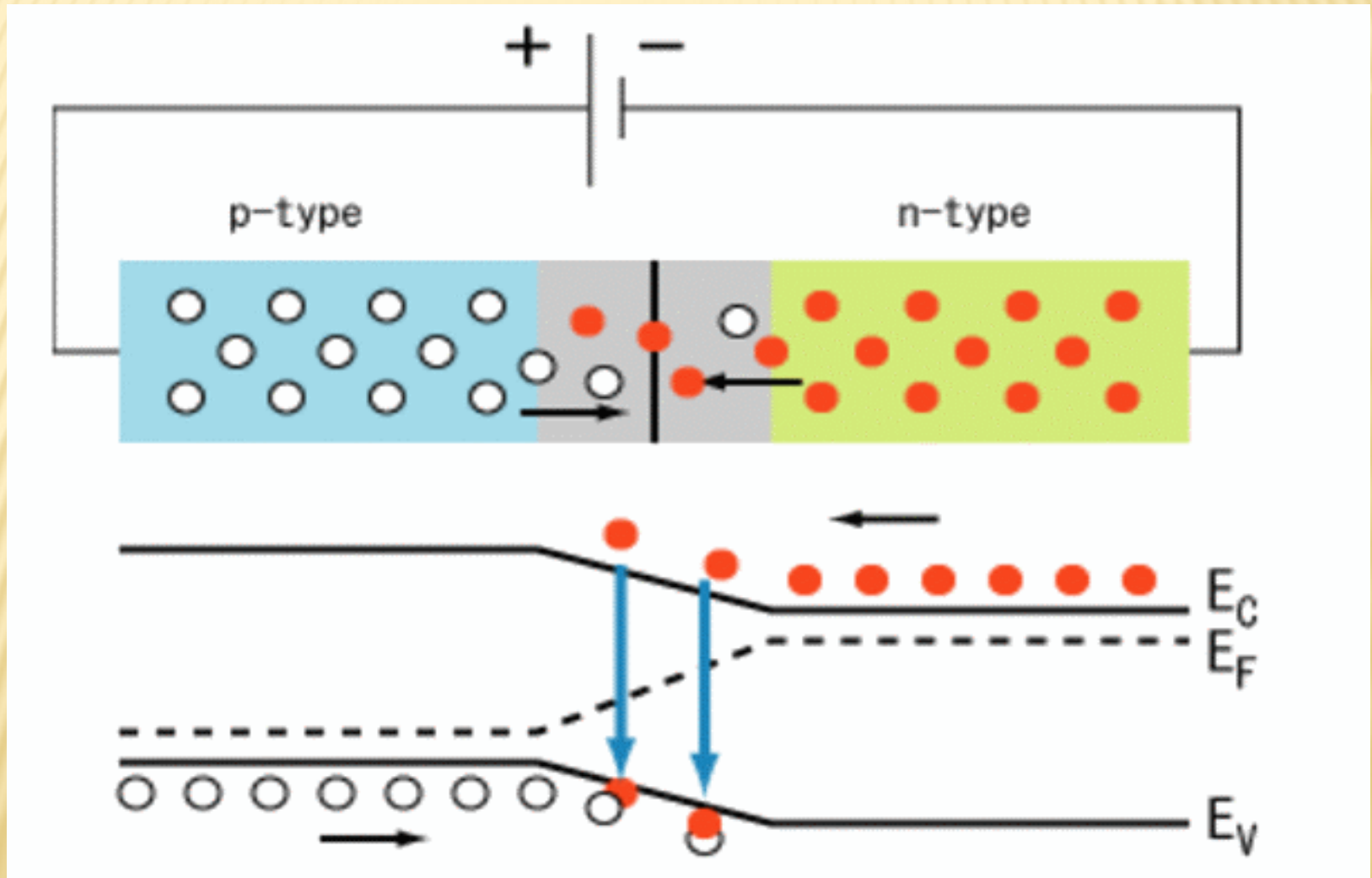
μ : Représente le potentiel chimique des électrons,

T : La température,

k_B : La constante de Boltzmann

$f(E)$: Traduit la probabilité d'occupation des électrons.

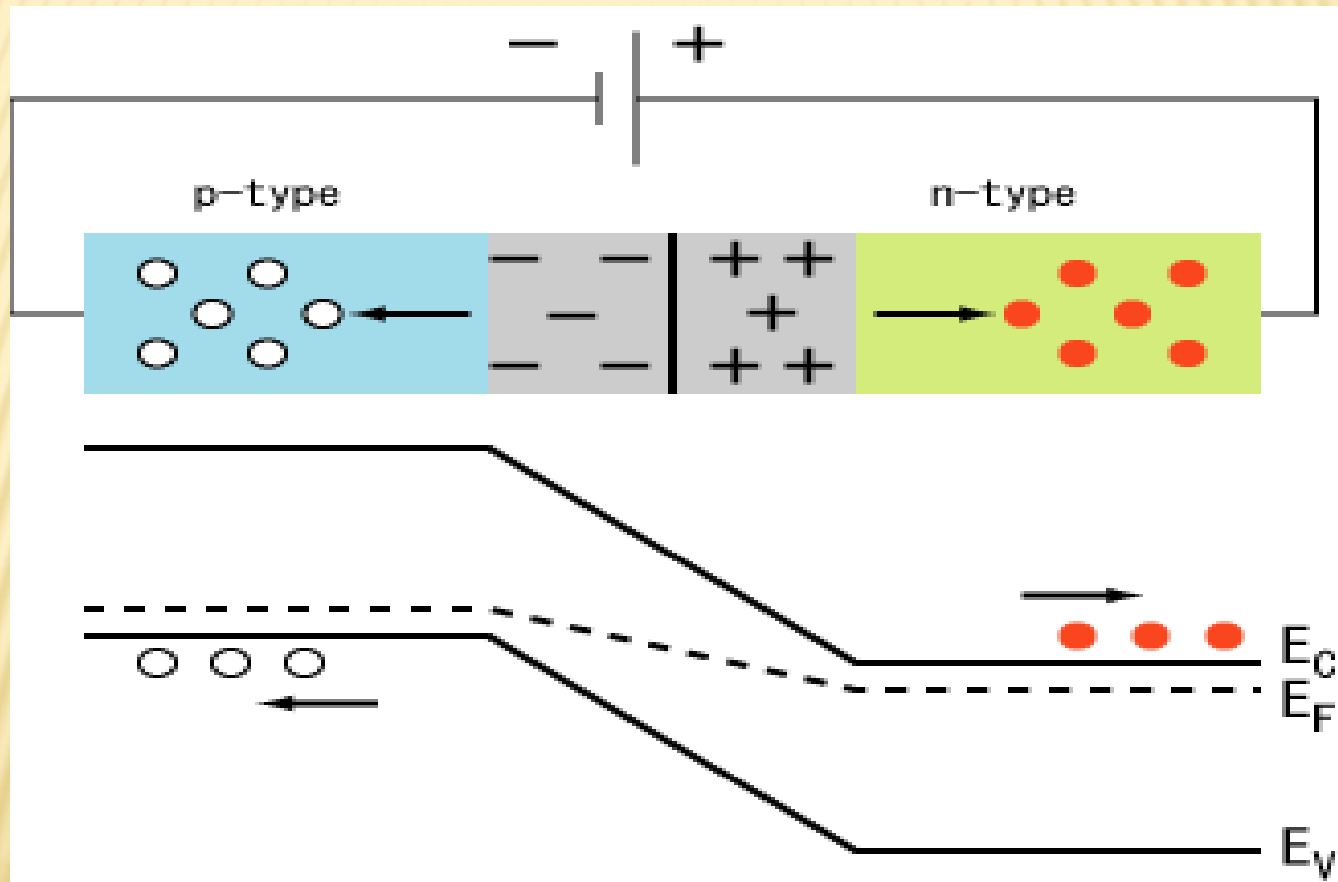
JONCTION P-N EN POLARISATION DIRECTE



JONCTION P-N EN POLARISATION INVERSE

Si la différence de potentiel est inversée, les porteurs majoritaires des deux côtés s'éloignent de la jonction, bloquant ainsi le passage du courant à son niveau. La jonction P-N est à la base du composant électronique nommé diode, qui ne permet le passage du courant électrique que dans un seul sens.

JONCTION P-N EN POLARISATION INVERSE



QUIZ

Q1: Pourquoi un solide est isolant?

R1: Parce que sa bande de conduction est vide et son gap est important (≈ 10 eV)

Q2: Avec quoi se caractérise un semi-conducteur.

R2: Avec ne bande de conduction vide mais un gap très faible (1 à 2 eV)

Q3: Quelles sont les sources qui donnent des électrons libres dans un semi-conducteur intrinsèque.

R3: Les défauts cristallins et l'excitation thermique.

.... QUIZ

Q4: Quelle est la répartition des électrons dans les deux bandes dans un semi-conducteur intrinsèque?

R4: Le nombre d'électrons dans la bande de conduction est égal au nombre de trous dans la bande de valence.

Q5: Quel est le rôle du dopage dans un semi-conducteur?

R5: Augmenter la conductivité.

Q6: Quel est le type de dopage si on inclut un atome ayant cinq électrons de valence dans le silicium (Si)?

R6: Type N

... QUIZ

Q7: Qu'est ce qui se passe dans le silicium dopé au phosphore a $T > 0$ K ?

R7: L'électron supplémentaire du phosphore se libère

Q8: Qu'est ce qui se passe quand les électrons arrivent a la jonction?

R8: Soit chaque électron tombe dans un trou en émettant un photon ou bien ces électrons continuent leur course pour donner un courant électrique.

...QUIZ

Q9: Que représente μ et $f(E)$ dans la formule de Fermi-Dirac?

R9: μ représente le potentiel chimique des électrons.

$f(E)$ représente la probabilité d'occupation des électrons.

Q10: Une diode se caractérise par quoi?

R10: Une diode permet le passage du courant électrique dans un seul sens.

CONTENU : 3 EME PARTIE

Le silicium

Classement et propriétés

Point de vue cristallographique

Différents types de silicium

Silicium polycristallin Poly-Si

Silicium monocristallin Mono-Si

Silicium amorphe a-Si

SUITE....

Les différents procédés de fabrication

La méthode Czochralski

La méthode de fusion de zone (FZ)

Procédé de tirage EMCP

Chaine de production du photovoltaïque

CLASSEMENT ET PROPRIÉTÉS

Les semi-conducteurs sont classés selon leur composition chimique, il y a des semi-conducteurs élémentaires tels que le diamant (C), le silicium (Si), le germanium (Ge) qui appartiennent tous au groupe IV du tableau périodique.

Il existe également des semi-conducteurs composites, binaires, ternaires, quaternaires, voire quinaires, respectivement constitués de deux, trois, quatre ou cinq espèces chimiques différentes.

Élément chimique de
numéro atomique : 14

- masse atomique :
28,085

- ion 4+ de rayon 0,042
nm.

De 280 000 grammes
par tonne, soit 28 %,.

- 2ième élément de
l'écorce terrestre.

13 III	14 IVB	15 VB	16 VIB	17 VII	Hélium 2 He 4,002602
Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006855	Oxygène 8 O 15,99940	Fluor 9 F 18,99840316	Néon 10 Ne 20,1797(6)
Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085(1)	Phosphore 15 P 30,97376200	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Argon 18 Ar 39,948(1)
Gallium 31 Ga 69,723(1)	Germanium 32 Ge 72,630(8)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971(8)	Brome 35 Br 79,904(3)	Krypton 36 Kr 83,798(2)
Indium 49 In 114,818(1)	Étain 50 Sn 118,710(7)	Antimoine 51 Sb 121,760(1)	Tellure 52 Te 127,60(3)	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,293(6)
Thallium 81 Tl 204,3835	Plomb 82 Pb 207,2(1)	Bismuth 83 Bi 208,98040	Polonium 84 Po [209]	Astate 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]
Nihonium 113 Nh [286]	Flerovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [289]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennessee 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]
Dysprosium 66 Dy 162,500(1)	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259(3)	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,045	Lutécium 71 Lu 174,9668
Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendélévium 101 Md [258]	Nobelium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [260]

Origine du nom : du latin silex-silicis, silex-silice, et du suffixe -ium métal.

Terme créé par l'Anglais Sir Humphry Davy, en 1808, à partir du mot silica, silice, oxyde de silicium. Silicium (en anglais : silicon).

Le silicium est élément métal pur, gris foncé à noir, avec des reflets métalliques bleutés, il n'est pas du tout aussi ductile que les autres métaux.

LE SILICIUM SUR LA TERRE

Après l'oxygène, c'est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre.

Se trouve essentiellement sous forme minérale, il forme, avec le quartz et les silicates, plus de 90 % de la croûte terrestre.

Le silicium a été isolé pour la première fois en 1823 par Jöns Jacob Berzelius.



UTILISATIONS DU SI DANS L'INDUSTRIE :

- Verrière, le verre est fabriqué depuis la protohistoire à partir de la silice ;
- Composant des céramiques ;
- Composants électroniques, pour ses propriétés de semi-conducteur ;
- Synthèse des silicones (environ 40 % de la consommation) ;
- Semi-conducteur, pour la fabrication de cellules solaires photovoltaïques.

DEGRÉ DE PURETÉ DU SILICIUM:

On distingue trois niveaux de pureté du silicium, désignés en fonction de l'utilisation :

- silicium métallurgique (pureté 99 %), noté MG-silicium
- silicium de qualité solaire (pureté 99,999 9 %), noté SoG-silicium
- silicium de qualité électronique (pureté 99,999 999 99 %), noté EG-silicium

PROPRIÉTÉS DU SILICIUM A 300 K

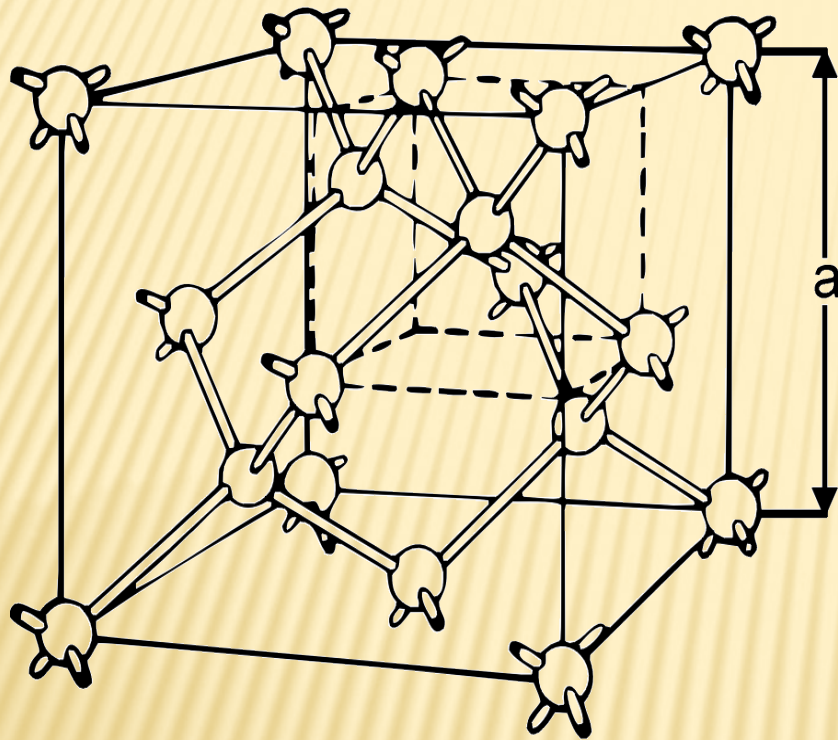
Nom	Symbole	Unités	Valeur
Structure cristalline			Diamant
Paramètre cristallin	a	Å	5.43
Masse atomique	M	g. mole ⁻¹	28.09
Masse volumique	ρ	g.cm ⁻³	2.33
Nombre atomes par unité de volume	N	cm ⁻³	5.0 10 ²²
Hauteur de la Bande Interdite	E _g	eV	1.12
Densité effective d'états dans la BdC	N _c	cm ⁻³	2.8 10 ¹⁹
Densité effective d'états dans la BdV	N _v	cm ⁻³	1.04 10 ¹⁹
Mobilité des électrons	μ_n	cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹	1.45 10 ³
Mobilité des trous	μ_p	cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹	4.5 10 ²
Vitesse de saturation des électrons	v _{sn}	cm.s ⁻¹	1.0 10 ⁷
Vitesse de saturation des trous	v _{sp}	cm.s ⁻¹	
Champ de claquage	E _{av}	kV.cm ⁻¹	3 10 ²
Affinité électronique	χ_s	eV	4.05
Coefficient de dilatation thermique	α_l	K ⁻¹	2.6 10 ⁻⁶
Chaleur spécifique	C	J.g ⁻¹ .K ⁻¹	0.7
Conductivité thermique	λ	W.cm ⁻¹ .K ⁻¹	1.31
Température de fusion	T _f	° C.	1415

Le silicium est un élément tétravalent, sa structure cristalline est du type cubique diamant, son paramètre de maille est $a=5.43 \text{ \AA}$. Il a $5 \cdot 10^{22}$ atomes par centimètre cube.

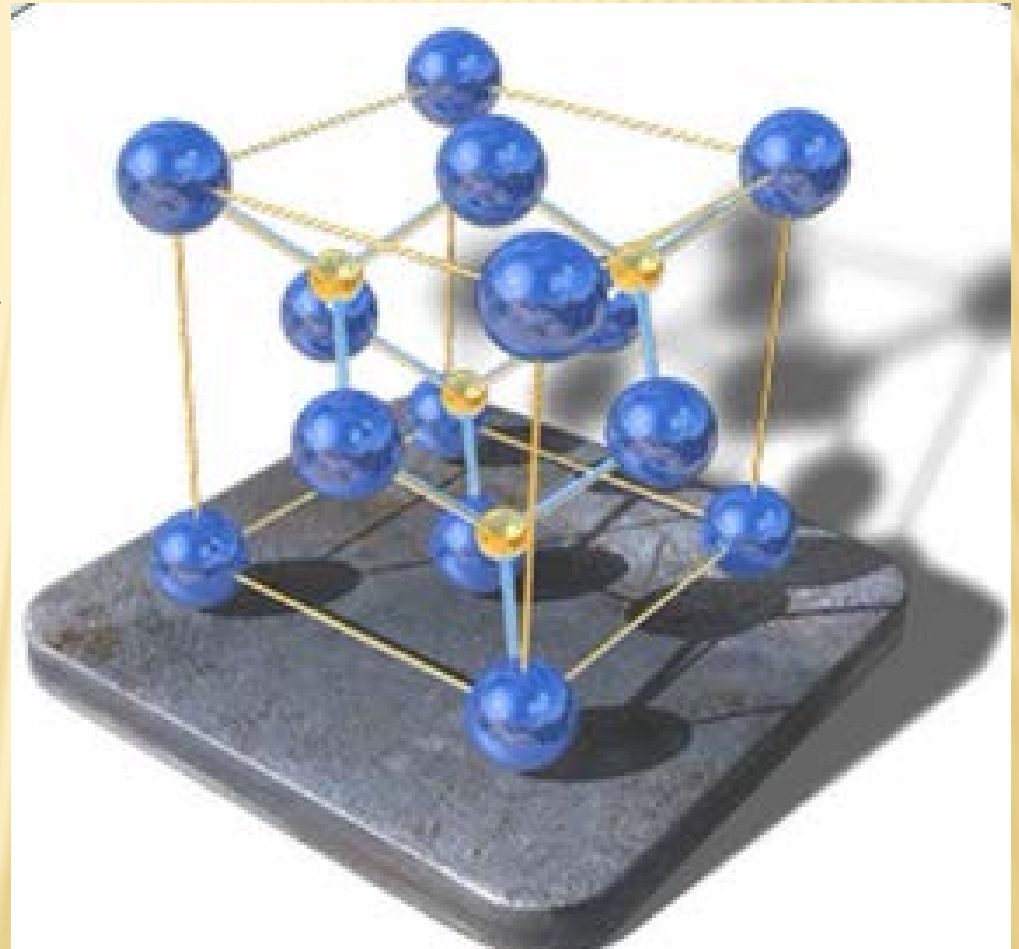
Le caractère localisé des liaisons covalentes fait que le Si peut être isolant à l'état parfait, il est bien connu également comme conducteur.

Le caractère isolant du silicium fait qu'il ne présente pas de couplage électromagnétique à température ambiante.

LE RÉSEAU CUBIQUE DIAMANT CFC



Diamant
(C, Ge, Si, etc.)



LES 3 TYPES DU SILICIUM

Le silicium polycristallin :

Généralement abrégé par poly-Si , il est constitué de grains monocristallins séparés entre eux par des zones désordonnées et riches en défauts cristallins, que l'on peut assimiler à du silicium amorphe et que l'on nomme joints de grains.

Lingot du Silicium polycristallin



Le silicium monocristallin : mono-Si

Dans un cristal idéal est homogène de silicium les atomes sont arrangés selon la structure diamant avec une même distance interatomique. C'est ce qui lui donne une couleur unie gris-noir métallique.



Lingot du Silicium monocristallin

Silicium amorphe :

Le silicium amorphe, généralement abrégé par a-Si, est la variété allotropique non cristallisée du silicium, c'est-à-dire dans lequel les atomes sont désordonnés et ne sont pas rangés de façon régulière définissant une structure cristalline. Le silicium amorphe peut être déposé en couches minces à basse température sur un grand nombre de substrats.

Ruban de Silicium amorphe



LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE FABRICATION:

L'utilisation du silicium représente actuellement 99% dans le domaine photovoltaïque.

Parce qu'est l'un des éléments les plus abondants sur Terre, parfaitement stable et non toxique.

Il existe plusieurs technologies pour l'élaboration du silicium photovoltaïque.

Mono-Si:

Deux principales méthodes par lesquelles il est possible d'obtenir du silicium monocristallin de qualité microélectronique:

LA MÉTHODE CZOCHRALSKI :

Il s'agit d'une méthode dans laquelle un germe monocristallin est trempé à la surface d'un bain liquide de silicium, on commence par faire le vide dans le four ensuite on fait circuler un gaz inerte, l'argon.

Le creuset est ensuite chauffé jusqu'à la fusion du silicium. On descend alors le germe de silicium monocristallin jusqu'à le mettre en contact avec le silicium en fusion.

L'orientation de ce germe imposera l'orientation cristalline du lingot. Le germe tourne dans le sens des aiguilles d'une montre et le creuset dans le sens contraire. On obtient alors un lingot cylindrique de 60 à 100 kg pour environ 2 m de longueur.

Cette méthode de solidification est donc adaptée à la fabrication des monocristaux où le rendement est élevé du silicium issu de cette méthode.

Le coup de fabrication très élevé, il est généralement destiné à l'industrie spéciale.

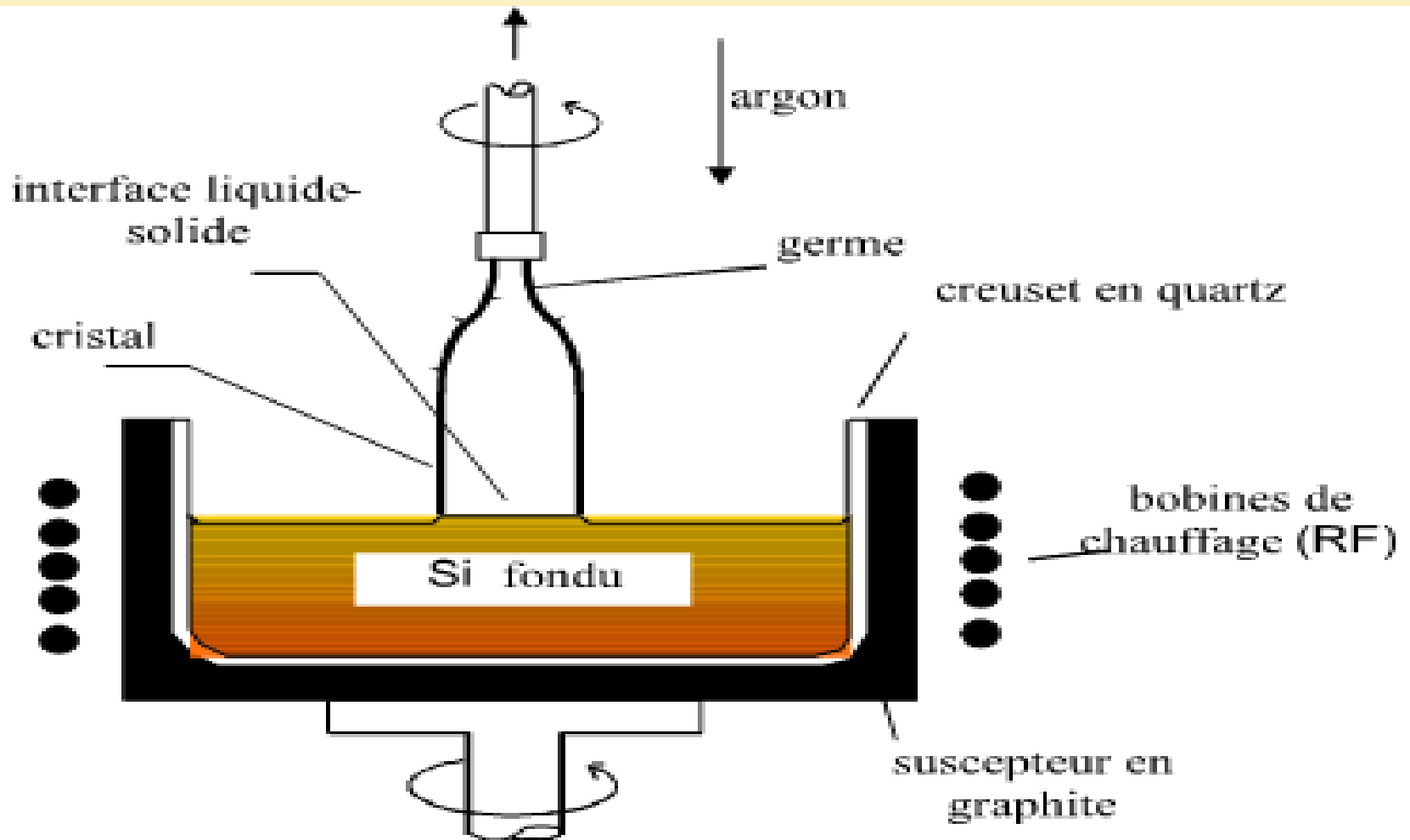


Schéma des méthodes Czochralski

LA MÉTHODE DE FUSION DE ZONE (FZ)

La technique permet d'obtenir du silicium d'une plus grande pureté en évitant la contamination par le creuset. Le processus consiste à produire une zone fondue localement au moyen d'un inducteur.

Il s'agit d'un procédé de fusion-solidification. L'inducteur chauffe un bâton de silicium polycristallin qui est déplacé verticalement et suivant une lente rotation.

Un germe de cristal est utilisé pour initier la croissance. Cette méthode est cependant plus longue et plus chère.

-
- On part d'un lingot solide polycristallin. En faisant circuler dans les bobines un courant H.F.
 - Le silicium fond Il se forme une goutte qui tient par la tension superficielle, elle se solidifie par le bas quand la bobine monte, la partie solidifiée prend l'orientation cristalline du bout de départ.
 - Donc pour obtenir un lingot monocristallin en met un germe monocristallin au début du lingot.

Fabrication du cylindre de Si

Méthode de **fusion de zone**

On utilise un courant d'induction, très fort, qui chauffe le Si, qui recristallise en monocristal

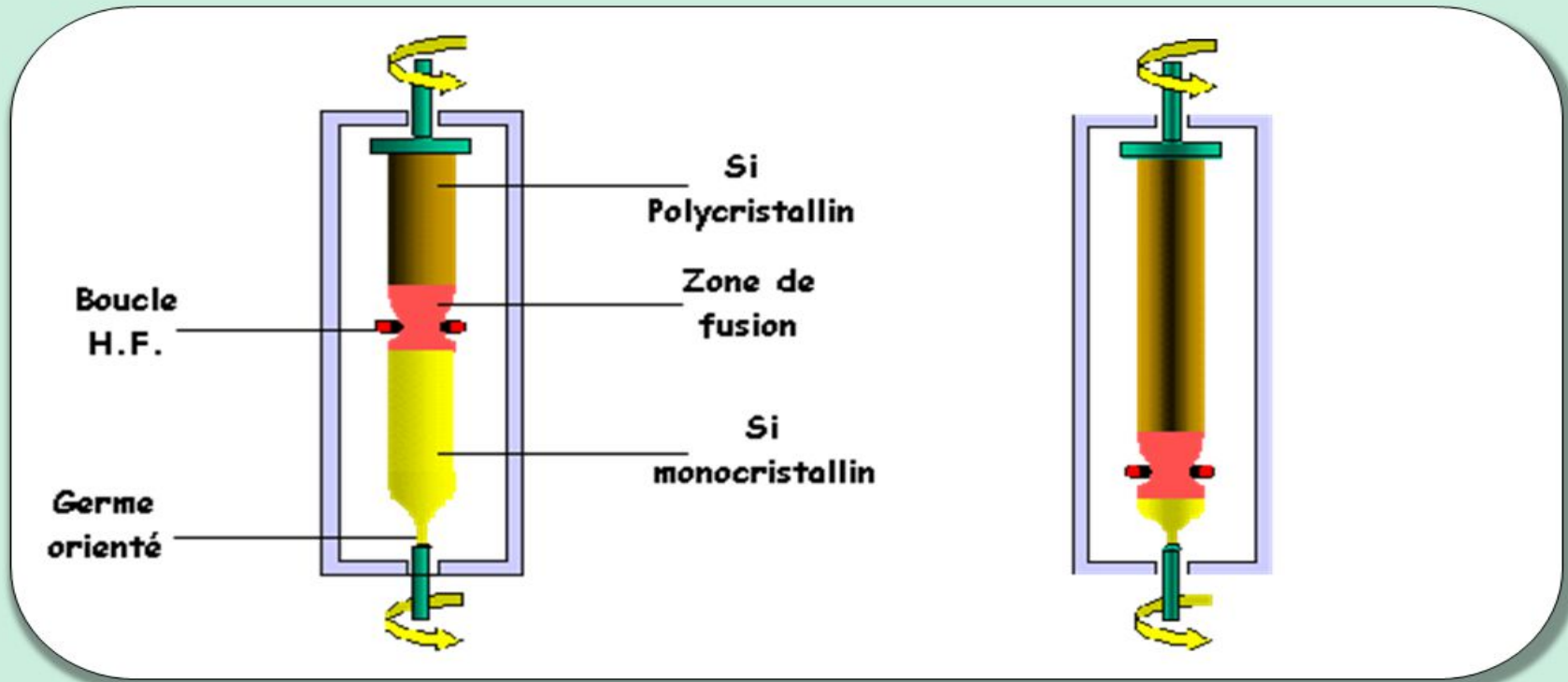


Schéma des méthodes fusion de zone

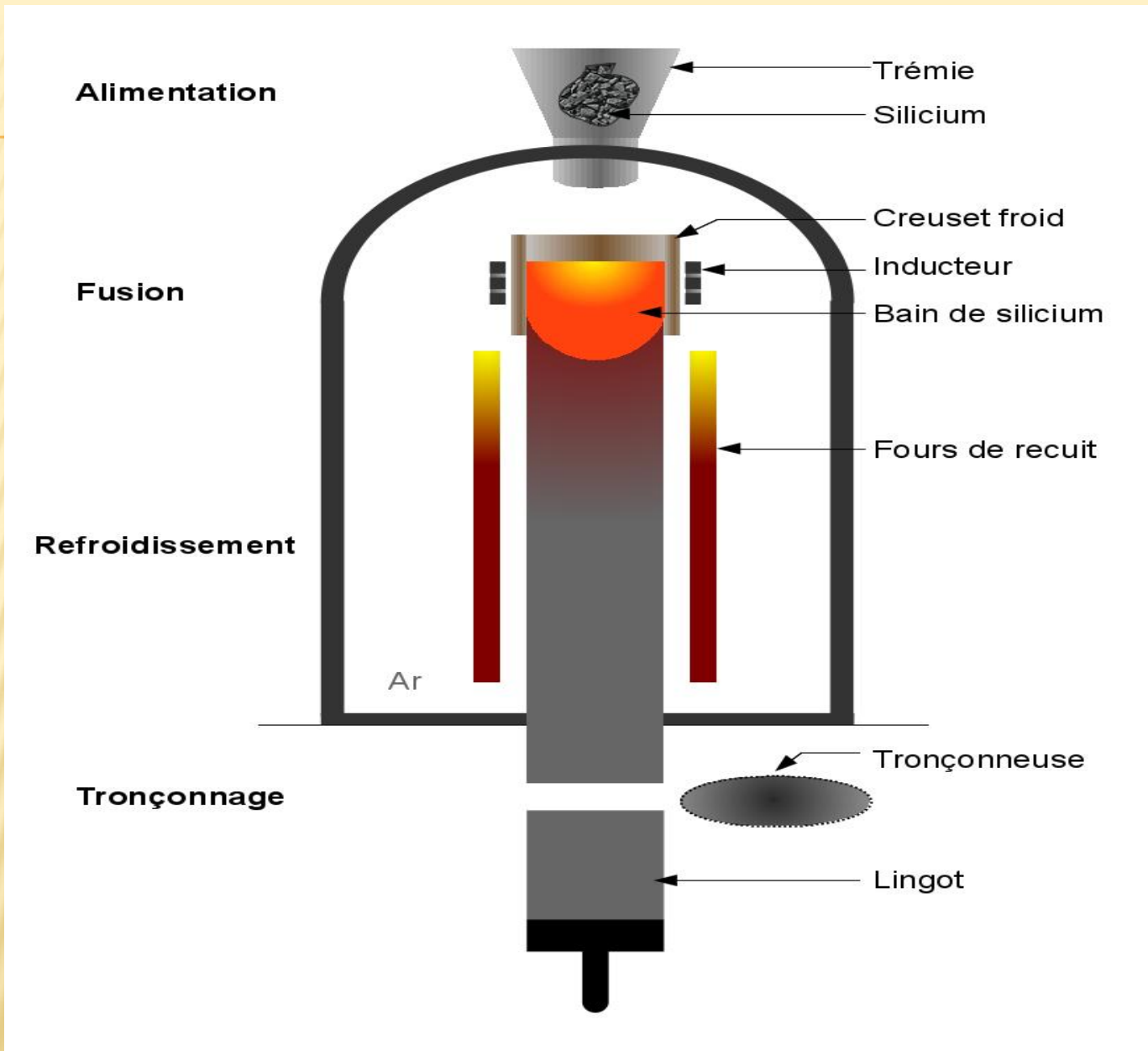
PROCÉDÉ DE TIRAGE PAR COULÉE CONTINUE

Poly-Si:

le procédé se distingue fortement des procédés conventionnels (discontinus), à la fois par son caractère continu, par sa forte productivité, et par une exploitation aisée et très automatisée.

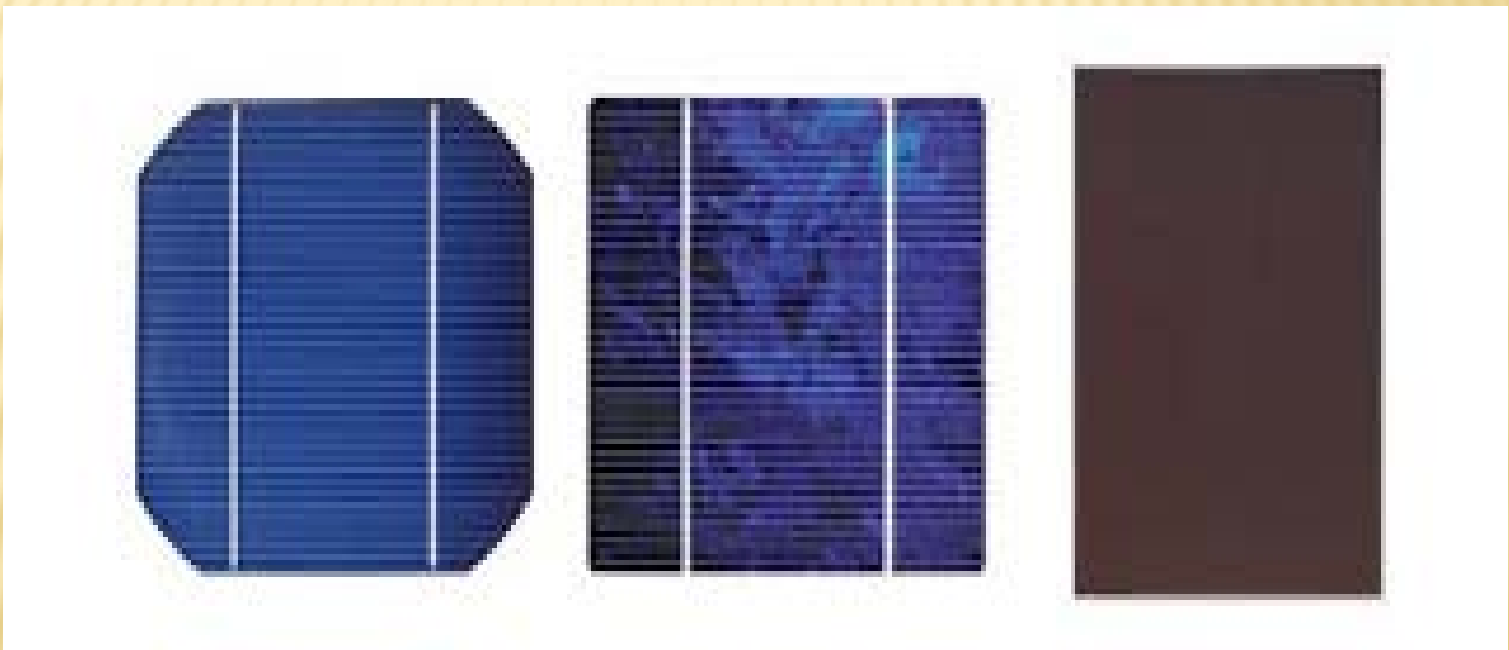
Le silicium est d'abord chauffé à environ 800 °C, sa température de couplage électromagnétique.

A partir de cette température, le silicium interagit avec le champ magnétique, cette interaction lui permet d'atteindre sa température de fusion, soit 1415 °C.



Procédé de la coulée continue électromagnétique

Après que le silicium est fabriqué en lingots, il est découpé en fines tranches (Wafer) pour la préparation des cellules photovoltaïques.

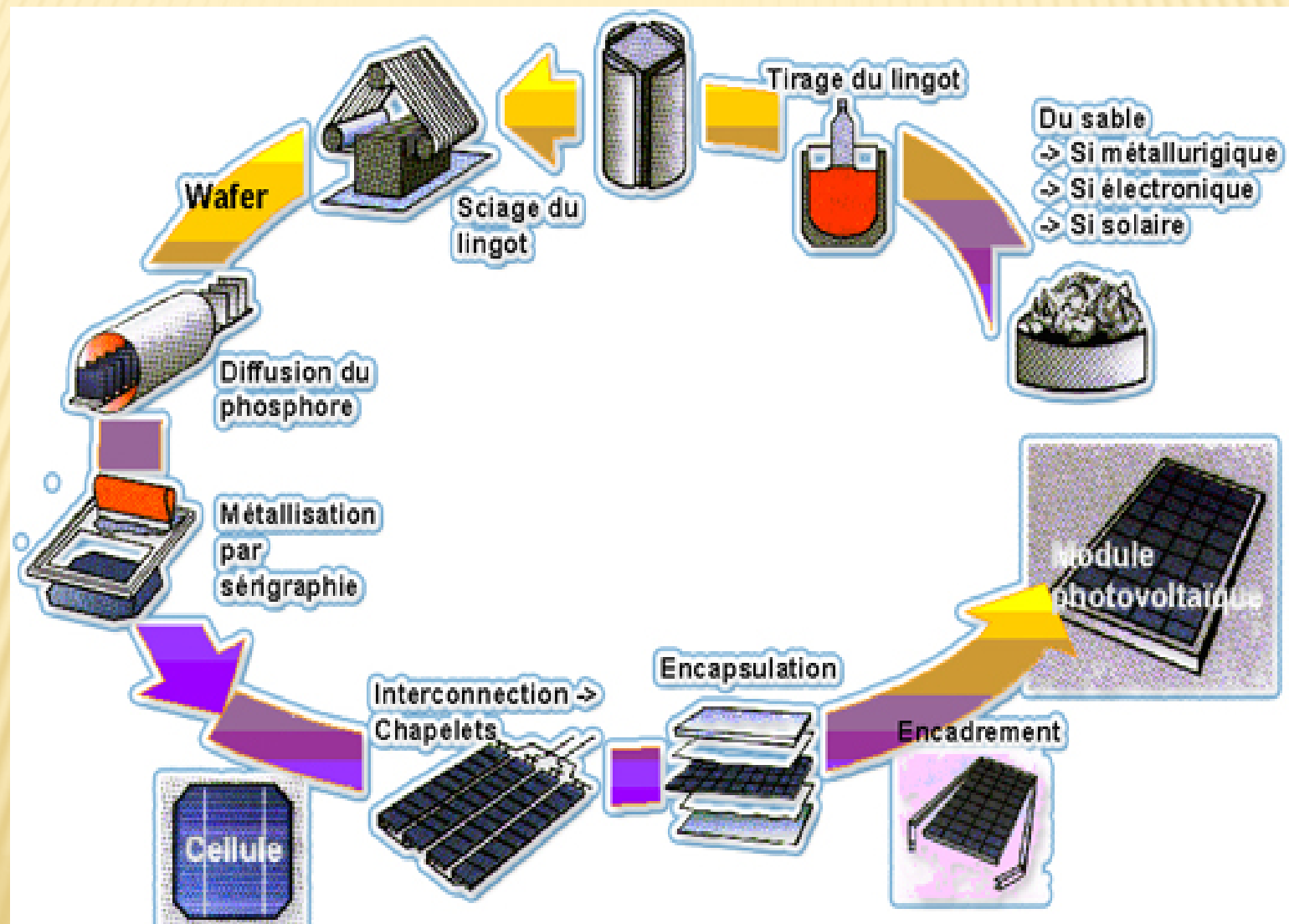


Monocrystallin

Polycristallin

Amorphe

CHAINE DE PRODUCTION DU PHOTOVOLTAÏQUE



QUIZ

Q1: Quel est le degré de pureté du silicium SoG-silicium ?

R1: 99,999 9 %

Q2: Citer les 3 types du silicium avec leur symboles

R2: poly-Si, mono-Si et a-Si

Q3: Donner une définition pour le a-Si

R3: Les atomes du silicium amorphe sont désordonnés et ne sont pas rangés de façon régulière

Q4: Citer deux types de procédé de fabrication du mono-Si

R4: Les méthode (Cz) et (FZ)

Q5: Qu'est ce qu'on obtient après le sciage des lingots de silicium?

R5: On obtient des fines tranches appelées (Wafers)