

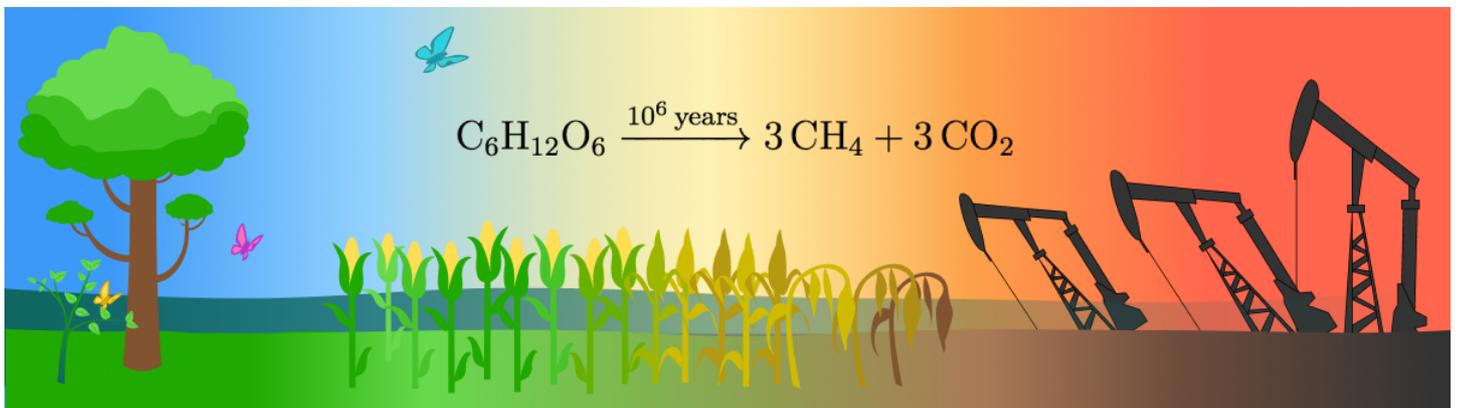
Introduction

À l'exception de certaines bactéries des profondeurs de l'océan utilisant l'énergie des sources hydrothermales et des organismes qui se nourrissent de ces bactéries, tous les êtres vivants sur Terre dépendent de l'énergie solaire pour survivre. Les plantes dépendent du soleil pour se développer et meurent en son absence. Tout animal herbivore dépend donc aussi du soleil pour sa survie, et par conséquent, tout mangeur d'herbivore dépend du soleil, et ainsi de suite le long de la chaîne alimentaire.



Certes, les humains dépendaient du soleil dans le passé, mais suite aux progrès techniques, peut-être pourrait-il aujourd'hui s'en passer ? Loin de là ! la plupart des technologies modernes nécessitent de l'électricité et presque toute l'électricité est produite à partir de sources qui n'existeraient pas sans le Soleil. Quelles sources d'électricité proviennent au final du Soleil ?

- combustible fossile
 biocarburant
 nucléaire
 barrage hydraulique
 vent
 solaire
 géothermie



On estime que les réserves totales en énergies fossiles étaient de 10^{23} J avant que les humains commencent à extraire et brûler ces combustibles.

Si cela a pris 500 millions d'années pour accumuler ces combustibles fossiles, quel serait un taux de consommation annuel durable pour cette énergie ?

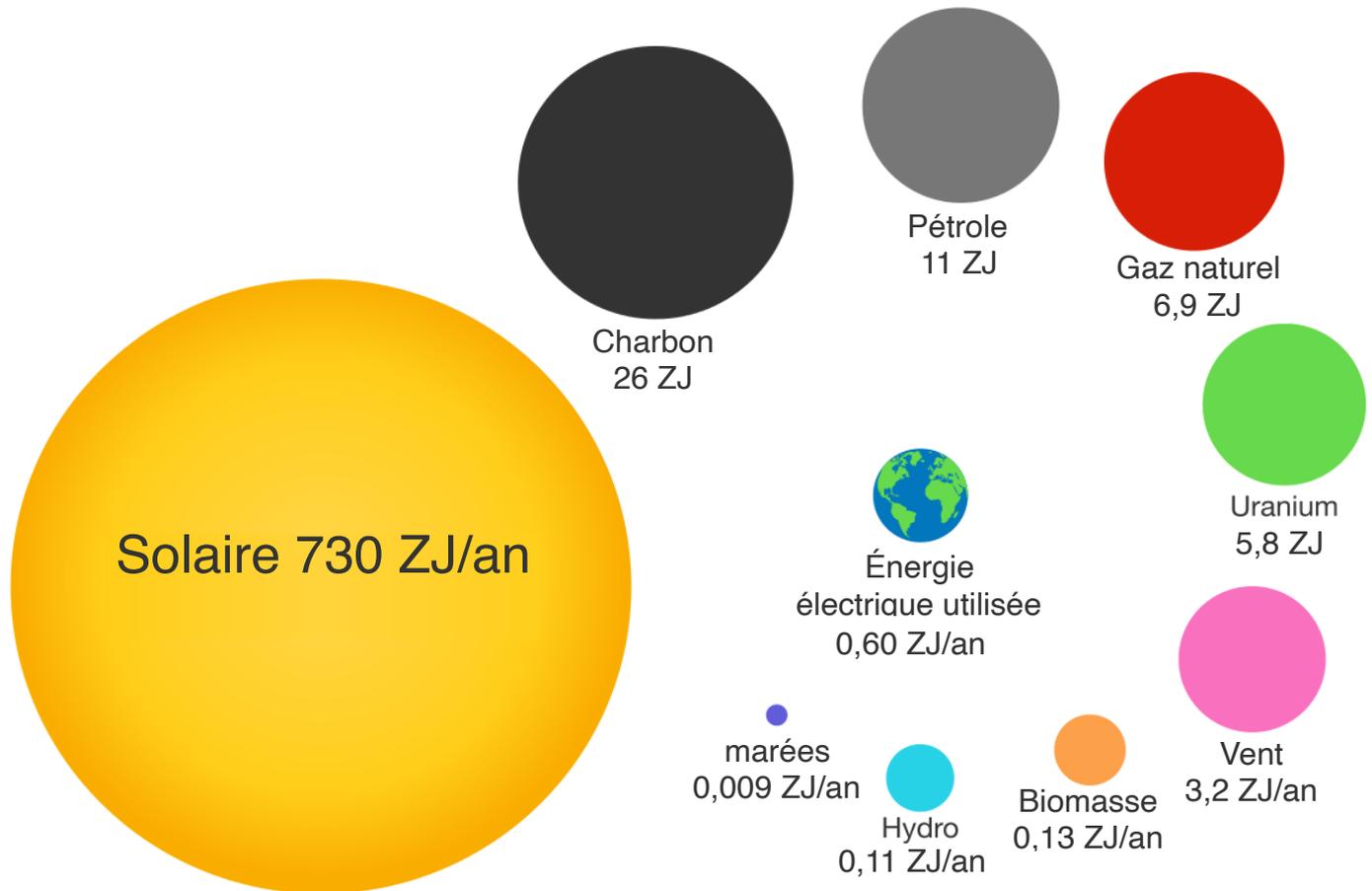
- 2×10^{11} J par an
 2×10^{14} J par an
 2×10^{17} J par an
 2×10^{20} J par an

Les humains consomment actuellement environ 10^{20} J/an d'énergie fossile pour produire de l'électricité, ce qui est très supérieur à un taux d'utilisation durable. Pire, une grande partie des combustibles fossiles ne servent pas à la production d'électricité mais aux transports...

Au rythme actuel, on épuisera les ressources en énergie fossile dans à peu près 100 ans.

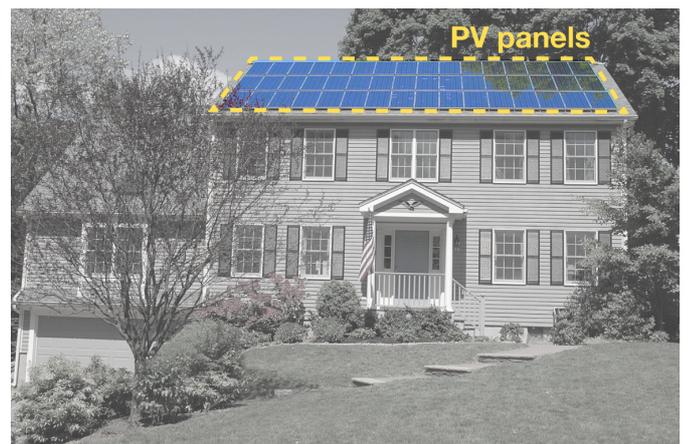
Si on veut maintenir notre grande consommation énergétique dans le futur, il faut opérer une transition vers d'autres sources d'énergie pour générer l'électricité.

Les sources d'énergie renouvelables ne se réduisent pas contrairement aux sources non renouvelables, mais il y a une limite à la quantité maximale de puissance qu'elles peuvent fournir. Par exemple, s'il y a 100 TW de vent sur Terre, il est impossible de générer plus de 100 TW d'électricité à partir du vent, quel que soit le nombre d'éoliennes construites.

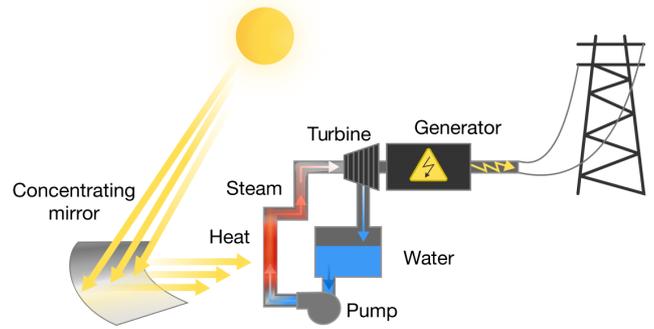


L'énergie solaire est de loin la source d'énergie renouvelable la plus abondante, et la quantité d'énergie solaire qui atteint la surface de la Terre est plusieurs ordres de grandeur supérieure à la demande énergétique mondiale actuelle (ainsi qu'aux réserves de combustibles fossiles). Par conséquent, avec des technologies efficaces (un bon rendement), on pourrait imaginer répondre à toute la demande énergétique mondiale avec seulement l'énergie solaire.

Le **photovoltaïque** (PV) est la technologie permettant de produire de l'électricité à partir du rayonnement solaire la plus commune et il est de plus en plus courant de voir des panneaux PV sur les toits. Avec cette technologie, un rayon solaire absorbé par un matériau spécial appelé semi-conducteur excite des électrons, et ces électrons excités sont collectés pour produire un courant électrique. Le PV est donc une méthode très directe de conversion des rayons solaires en électricité.

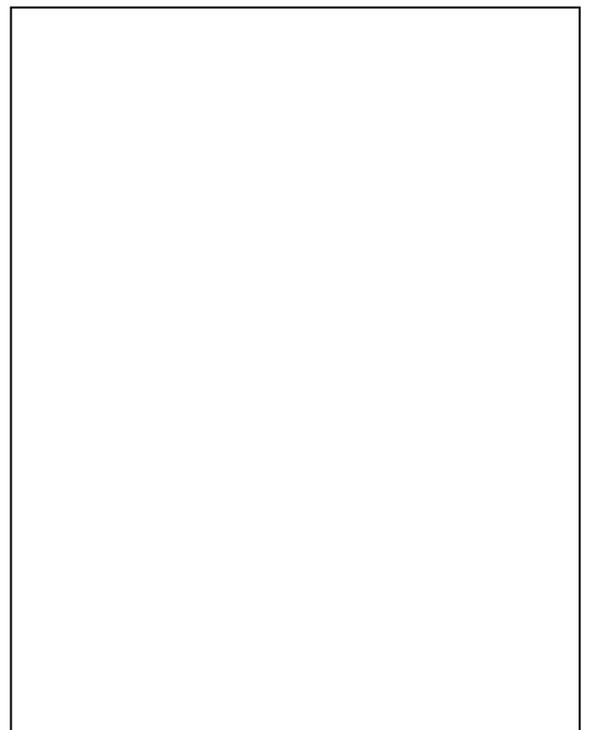
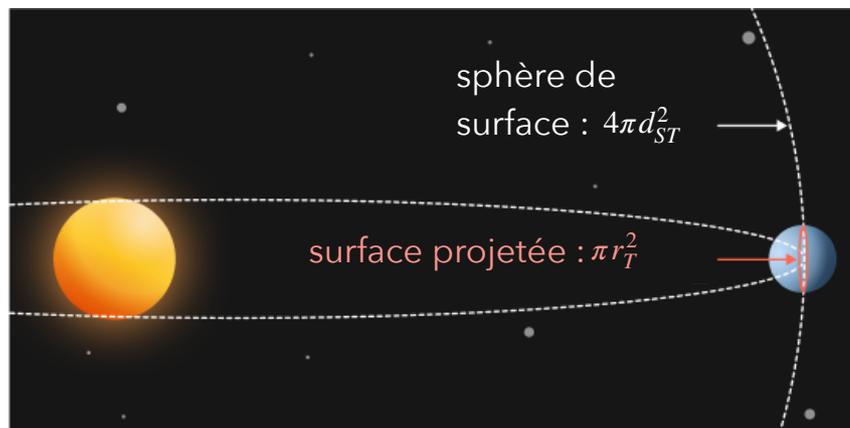
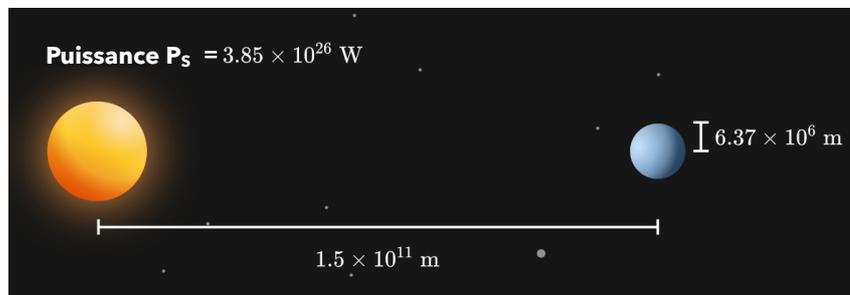


La deuxième technologie solaire la plus utilisée pour générer de l'électricité est l'**énergie solaire thermique**. Un système à énergie solaire thermique concentre les rayons solaires grâce à des miroirs sur un fluide caloporteur. L'énergie est ainsi stockée sous forme thermique et est ensuite convertie en énergie mécanique par une turbine puis électrique grâce à un générateur. Une centrale thermique solaire fonctionne au final comme une centrale thermique à combustible fossile sauf que la source de chaleur n'est plus la combustion, mais le rayonnement solaire.



Puissance solaire disponible

Que vaut l'irradiance I du rayonnement solaire au niveau de la Terre (**l'irradiance est la puissance par unité de surface en W/m^2 du rayonnement**) ? Aide : à une distance d_{ST} du soleil, l'irradiance I du soleil multipliée par la surface de la sphère de rayon d_{ST} qui entoure le soleil vaut ...



Et que vaut la puissance solaire totale interceptée par la Terre ? Comparez à la puissance totale moyenne consommée par les humains qui est d'environ 10^{13} W.



Étant donné qu'un peu plus de 30% de cette intensité est absorbée ou réfléctée dans l'espace par l'atmosphère, l'irradiance au niveau de la surface terrestre I_{surf} est dans le meilleur des cas (incidence normale) seulement d'environ **1 kW/m²**.

Mais le rayonnement solaire évolue pendant une journée ! Quelle est l'irradiance journalière moyenne ?
Aide : on peut d'abord calculer l'énergie solaire totale reçue pendant un jour à la surface de la Terre en utilisant la surface projetée et remarquer que pendant les 24h, cette énergie sera répartie sur toute la surface terrestre.



$$I_{surf}$$



$$\frac{1}{2} I_{surf}$$



$$\frac{1}{\pi} I_{surf}$$



$$\frac{1}{4} I_{surf}$$

Inconvénient de l'énergie solaire : sa dispersion

Que vaut l'énergie recueillie en moyenne sur une journée par un panneau solaire d'1 m² ? (On supposera un rendement de 15%.)

Quelle volume d'essence contient autant d'énergie sachant qu'1 L de pétrole libère 30 MJ ?



Pour répondre à la demande globale en énergie de la planète qui est de $4,4 \cdot 10^{11}$ kWh par jour, quelle surface de panneaux solaires ayant un rendement de 15% faudra-t-il ?



$\approx 4 \times 10^4 \text{ km}^2$
 (≈ la surface de la Suisse)



$\approx 5 \times 10^5 \text{ km}^2$
 (≈ la surface de l'Espagne)



$\approx 2 \times 10^7 \text{ km}^2$
 (≈ la surface de la Russie)

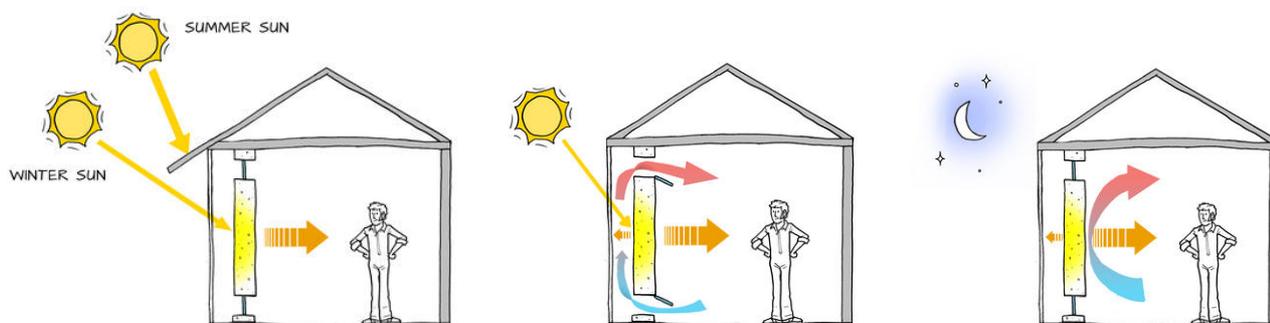


$\approx 1,5 \times 10^{14} \text{ km}^2$
 (≈ surface émergée totale)

Conversion thermique de l'énergie solaire dans l'habitat



Captteur solaire thermique (le rayonnement diffusé par la feuille noire est un rayonnement thermique infrarouge piégé par le verre contrairement au rayonnement incident plus énergétique, c'est l'effet de serre).



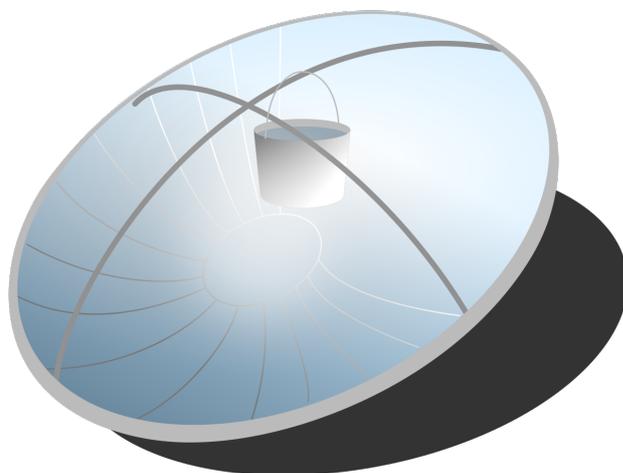
Mur à accumulation d'énergie

L'énergie thermique est transférée de deux manières différentes dans ce deuxième exemple de convertisseur thermique, lesquelles ?

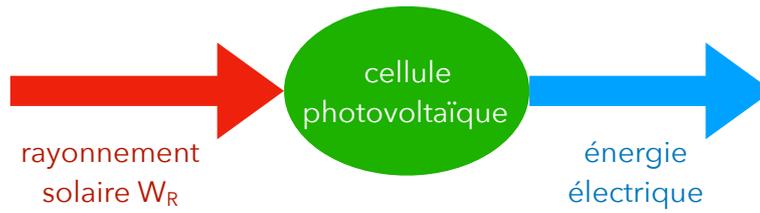
Exercice :

Supposons que l'on veuille faire bouillir une casserole d'1 L d'eau initialement à 20°C grâce à un miroir concentrant la lumière solaire d'une surface d'1 m². Combien de temps cela va-t-il prendre ?

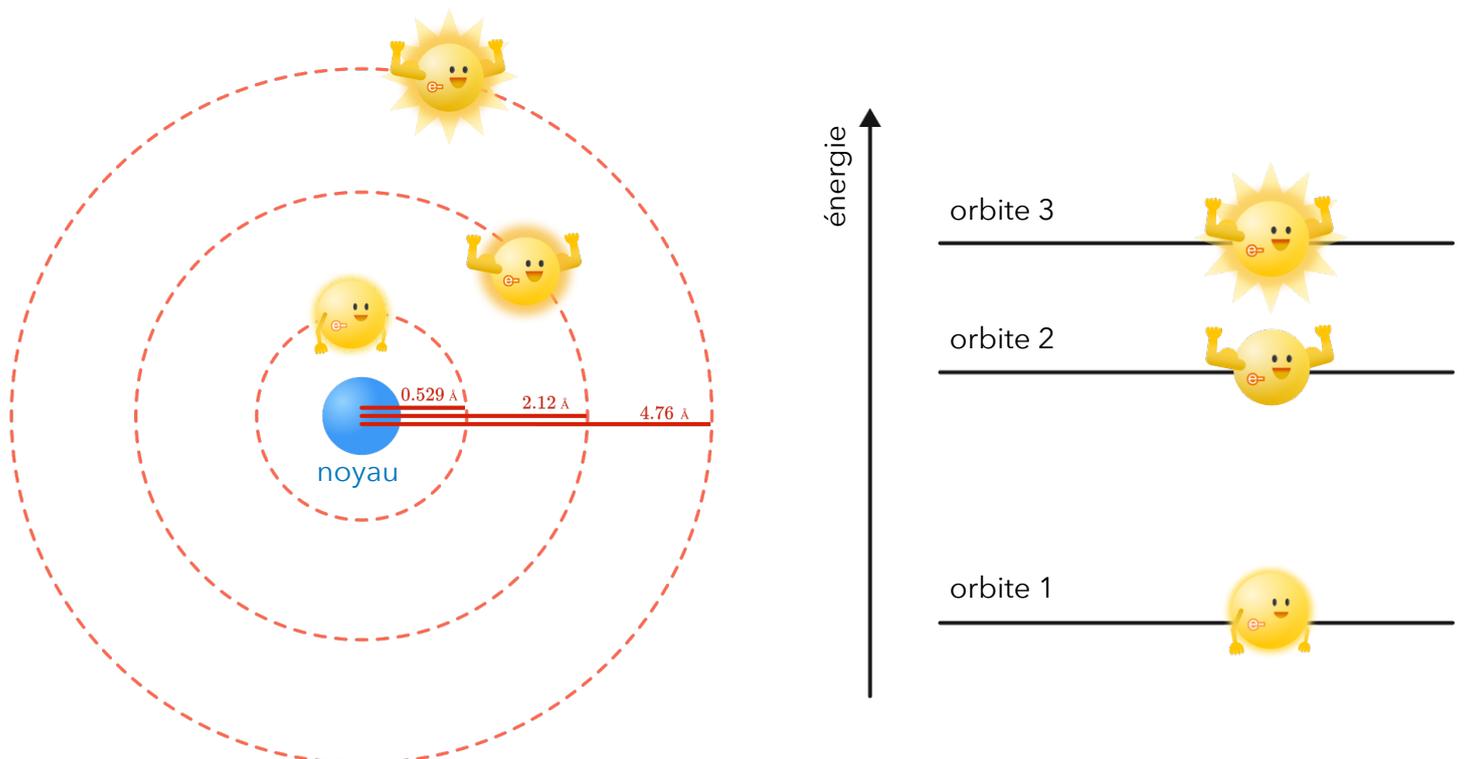
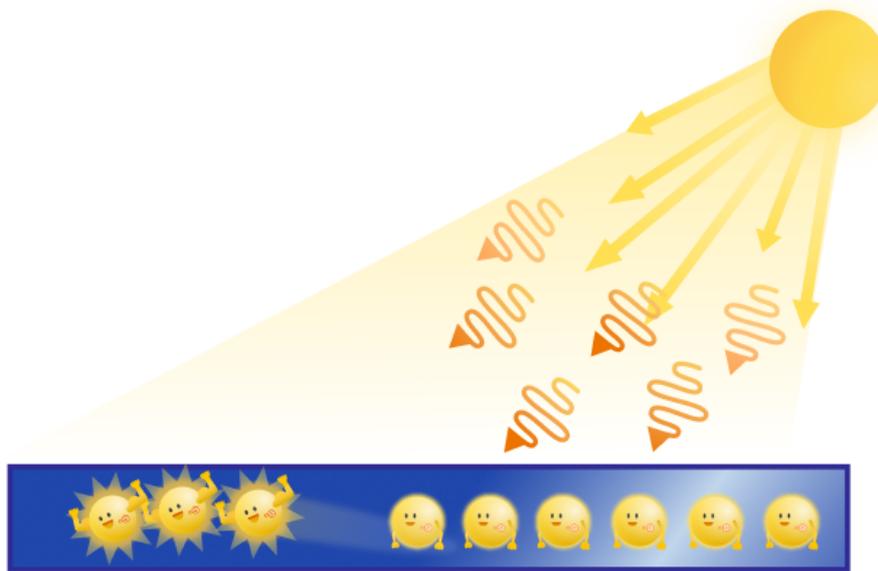
donnée : la capacité thermique massique de l'eau vaut $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$.

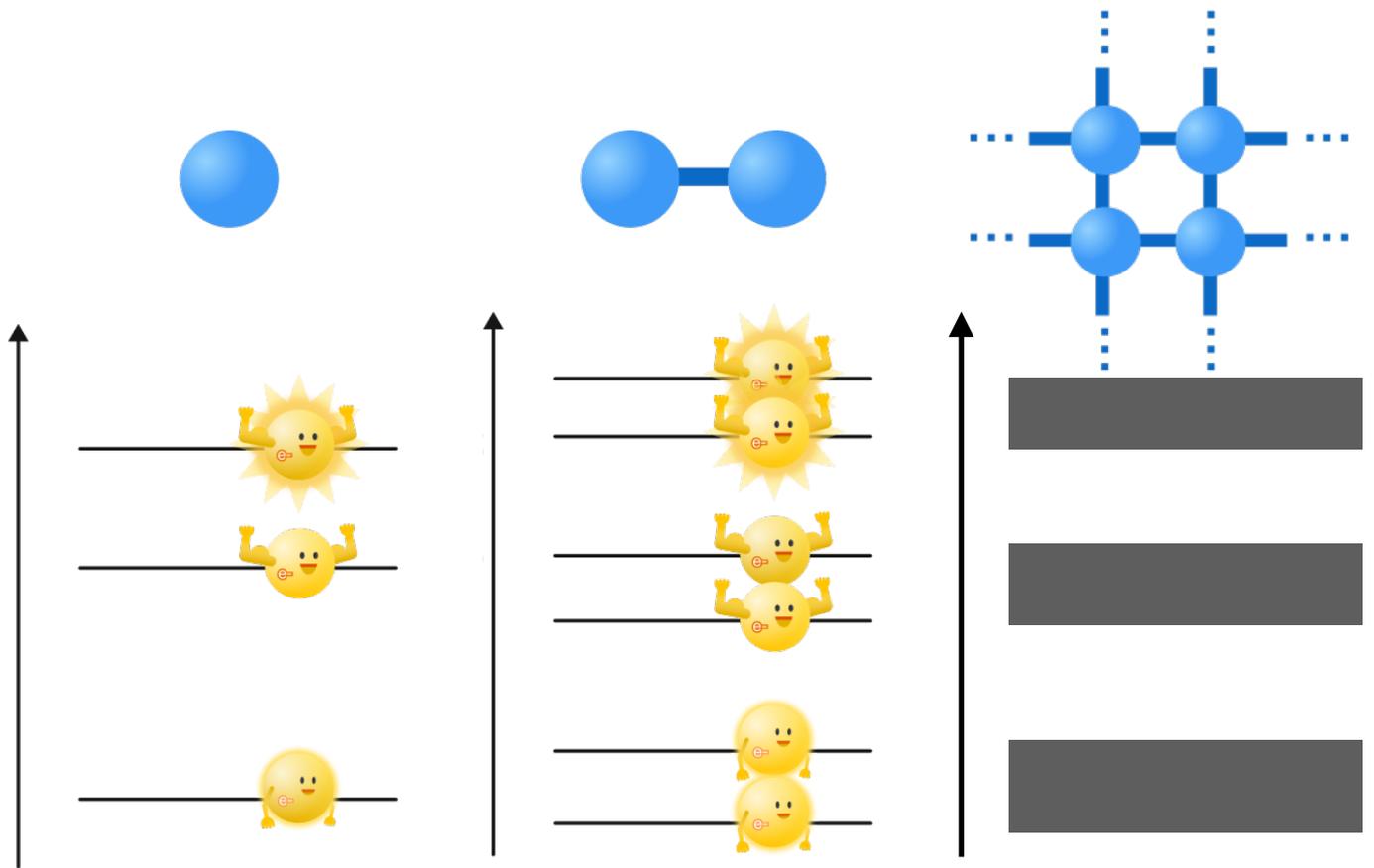


Conversion électrique de l'énergie solaire



La conversion du rayonnement solaire en électricité repose sur l'effet photovoltaïque dont l'origine est la quantification des niveaux d'énergie des atomes et l'aspect corpusculaire de la lumière, composée de photons (petites particules de lumière de masse nulle et transportant une énergie $E = h\nu$ (en J) où h est la constante de Planck et ν est la fréquence de la lumière (en Hz)).





Dans un solide, il y a tellement de niveaux d'énergie couplés entre eux qu'ils forment des bandes d'énergie. Pour un isolant, la dernière bande occupée par les électrons, appelée bande de valence, est complètement remplie et les électrons ne peuvent alors pas sauter d'un atome à l'autre, ils sont bloqués. La bande d'énergie supérieure, appelée bande de conduction, est vide.

Dans un semi-conducteur, l'écart énergétique entre les deux bandes est faible (1,12 eV pour le silicium utilisé dans les panneaux photovoltaïques) si bien qu'un photon de lumière visible peut envoyer un électron dans la bande de conduction où il peut bouger et donc créer un courant.

Exercice :

Sachant que la lumière visible a une fréquence supérieure à 400 THz, prouver qu'un photon visible est suffisant pour exciter un électron du silicium.

données :

électron-volt : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

