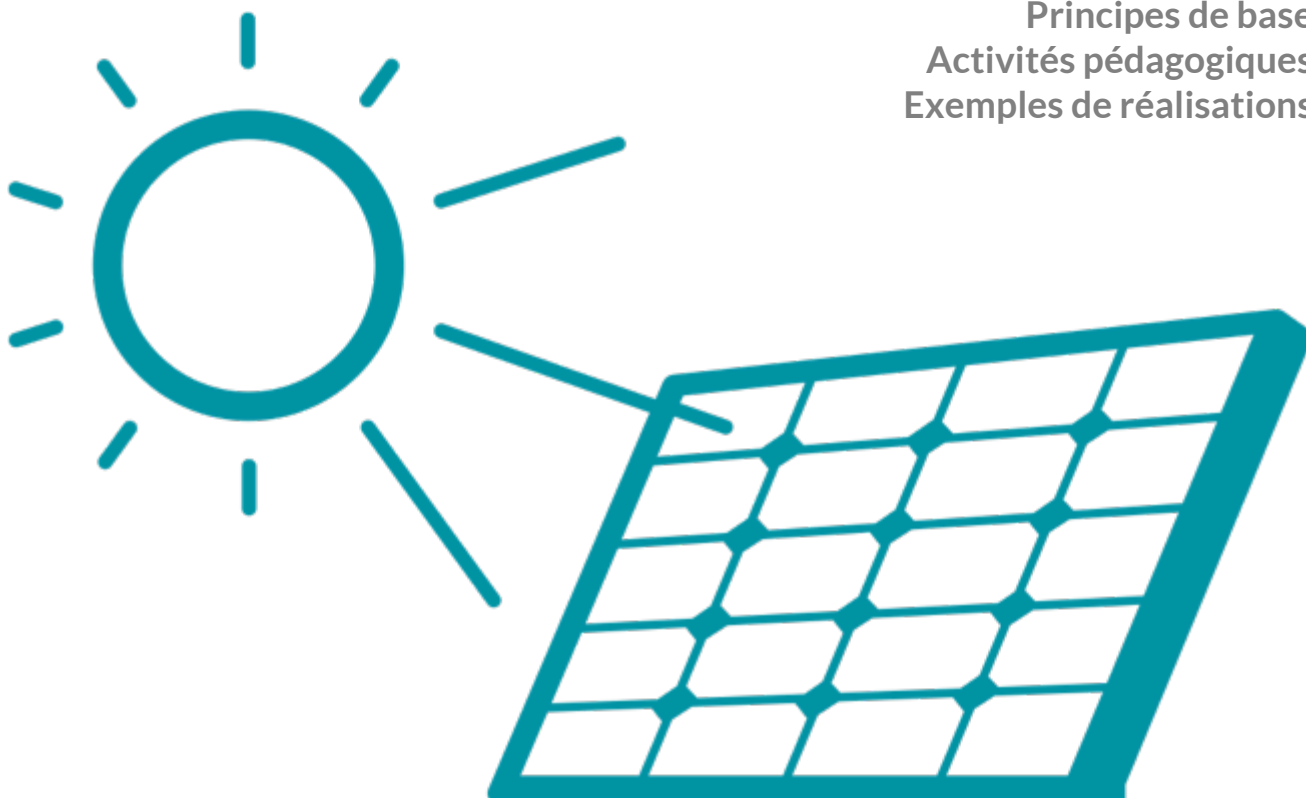


# LIVRET PÉDAGOGIQUE

Principes de base  
Activités pédagogiques  
Exemples de réalisations



## Photovoltaïque

Quand l'énergie solaire devient  
électricité



# Table des matières

<b>Chapitre 1 : L'énergie rayonnante</b> .....	<b>5</b>
<b>a. L'étoile du soleil</b> .....	<b>6</b>
Activité n°1 - Démonstration .....	7
Activité n°2 – Expérience sensorielle .....	8
Activité n°3 - Exercice .....	9
<b>b. La course du soleil</b> .....	<b>12</b>
Activité n° 4 – Travaux manuels .....	14
Activité n°5 – Exercice .....	15
<b>Chapitre 2 : L'énergie électrique</b> .....	<b>20</b>
<b>a. L'électron et le courant électrique</b> .....	<b>21</b>
Activité n°1 – Démonstration .....	22
Activité n°2 - Démonstration .....	23
Activité n°3 – Expérience sensorielle .....	24
<b>b. La tension et le courant</b> .....	<b>25</b>
Activité n°4 – Démonstration .....	26
<b>Chapitre 3 : Le phénomène photovoltaïque</b> .....	<b>27</b>
<b>a. Comment ça marche ?</b> .....	<b>28</b>
Activité n°1 – Démonstration .....	29
<b>b. Fabrication de cellules et modules photovoltaïques</b> .....	<b>30</b>
Activité n°2 – Jeux de cartes .....	32



<b>Chapitre 4 : Les générateurs électriques solaires</b> .....	<b>35</b>
<b>a. Les sites isolés</b> .....	<b>36</b>
Activité n°1 – Travaux manuels.....	38
<b>b. L’installation photovoltaïque raccordée au réseau</b> .....	<b>41</b>
Activité n°2 - Exercice .....	42
Activité n°3 - Exercice .....	44
<b>Chapitre 5 : Et si on se racontait des histoires</b> .....	<b>48</b>
<b>a. Les « ragots » du photovoltaïque</b> .....	<b>49</b>
Activité n°1 – Jeux de cartes .....	50
<b>b. La progression du photovoltaïque</b> .....	<b>53</b>
Activité n°2 – Exercice.....	55
<b>c. Il était une fois au pays de l’Ain</b> .....	<b>57</b>
Activité n°3 – Exercice.....	58
<b>Chapitre 6 : Des actions citoyennes et pédagogiques</b> .....	<b>60</b>
<b>a. Toits en transition</b> .....	<b>61</b>
<b>b. Des précurseurs sur la Métropole de Lyon</b> .....	<b>62</b>
<b>Chapitre 7 : Des outils pour une éducation à l’énergie solaire</b> .....	<b>63</b>
<b>a. Documentation</b> .....	<b>64</b>
<b>b. Fournisseurs de matériels</b> .....	<b>66</b>

Ce livret a été réalisé par HESPUL.

Auteurs : Thierry Manceau, Maïté Garnier, Marion Levert

Edition janvier 2019

Crédits photos : Hespul, Freepik, Pixabay

L’association HESPUL cumule 25 ans d’expérience dans le solaire photovoltaïque et est spécialisée dans le développement des énergies renouvelables et de l’efficacité énergétique.

Son objectif est de contribuer à l’avènement d’une société sobre et efficace, reposant sur les énergies renouvelables, tout en défendant les valeurs d’équité et d’intérêt général.

Avec le soutien de :



# Introduction

Le choix historique d'une électricité majoritairement nucléaire a détourné la France des énergies renouvelables durant de nombreuses années. Pourtant, il existe de multiples sources de production d'électricité qui peuvent se combiner pour subvenir à nos besoins d'électrification. L'électricité photovoltaïque d'origine solaire est l'une d'entre elles.

Les systèmes photovoltaïques utilisent l'énergie la mieux répartie dans le monde : la lumière solaire. En France, des milliers de systèmes photovoltaïques produisent de l'électricité pour des applications telles que l'électrification de sites isolés, le traitement de l'eau, les télétransmissions, les équipements publics et l'alimentation du réseau électrique.

L'usage de l'énergie solaire est devenu un sujet de société accessible pour les enfants, les jeunes comme les adultes. Nos bâtiments et nos paysages sont en transformation. Ils deviennent les témoins locaux de la transition énergétique.

Ce livret pédagogique vous propose d'introduire et d'animer plusieurs activités afin de rendre cette prise de conscience plaisante et ludique. Son but est de rendre l'enseignement de l'électricité photovoltaïque accessible aux professeurs, éducateurs et animateurs. Deux énergies s'y côtoient. La première est l'énergie rayonnante du soleil, la deuxième est l'énergie électrique produite.

Chaque exposé de connaissances est accompagné d'une fiche activité pour introduire le sujet avec les participants. Les informations sont concises pour rendre cet ouvrage pratique et rapidement utilisable. En fin d'ouvrage, des pistes de travail et des ressources internet vous sont proposées pour construire un projet éducatif sur l'énergie photovoltaïque.

L'équipe d'HESPUL vous encourage vivement à vous ré-approprier l'énergie solaire et à en faire un véritable projet d'animation éco-citoyenne. Si besoin, nous sommes à votre écoute pour vous accompagner dans votre projet.



# Chapitre 1

## L'ÉNERGIE RAYONNANTE

---

### a. L'étoile du soleil

- **Activité n°1** : Le rayon de lumière
- **Activité n°2** : Sentir le rayonnement
- **Activité n°3** : Le rayonnement solaire sur la planète terre

### b. La course du soleil

- **Activité n°4** : Dessiner les masques du paysage
- **Activité n°5** : Fabriquer un clinomètre



## a. L'étoile du soleil

Le soleil est une étoile vieille de 5 milliards d'années située à 150 millions de kilomètres de la terre et dont le diamètre est 100 fois supérieur à celui de la Terre.

C'est l'étoile la plus proche de la Terre.

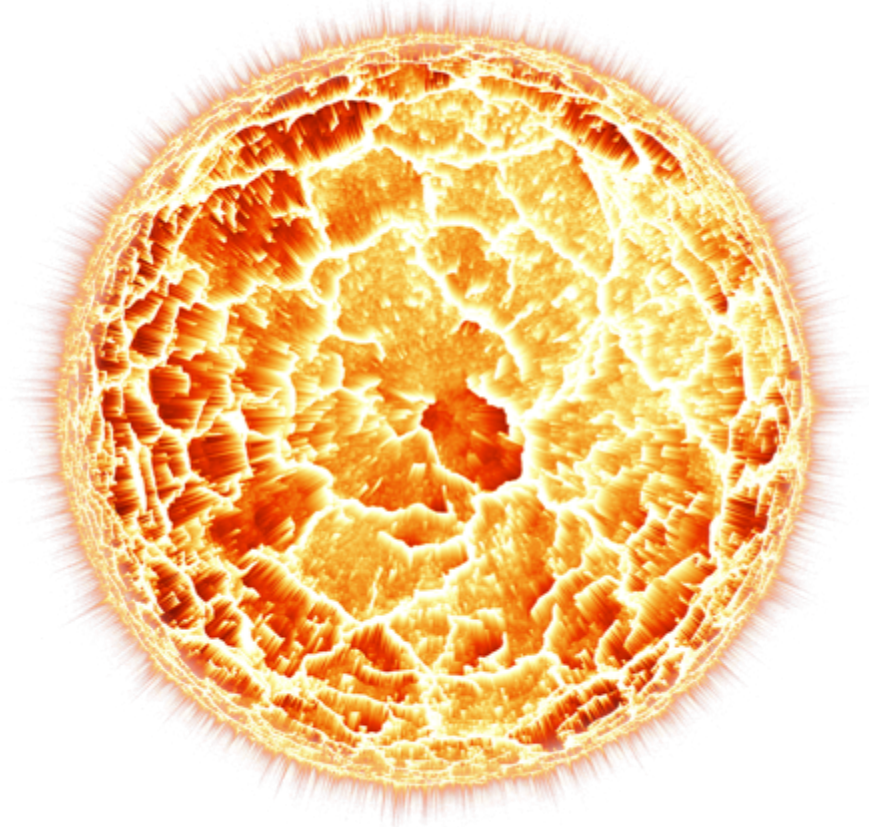
L'énergie qu'elle envoie provient des réactions de fusion nucléaire en chaîne qui engendrent à sa surface un rayonnement d'une puissance estimée à 66 millions de Watts par m<sup>2</sup>.

Ce **rayonnement énergétique** se disperse en s'éloignant de sa source et arrive aux limites de l'atmosphère terrestre avec une puissance de 1360 W/m<sup>2</sup> en moyenne.

Au sol, la puissance n'est plus que de 1000 W/m<sup>2</sup> en moyenne par fort ensoleillement car l'atmosphère réfléchit et absorbe une partie du rayonnement.

C'est une énergie rayonnante composée de plusieurs longueurs d'ondes.

La lumière est une énergie rayonnante composée de photons. Elle voyage à 300 000 km par seconde.



La Terre

Le soleil

# Activité n°1 - Démonstration

## Le rayon de lumière

### Matériel à vous procurer

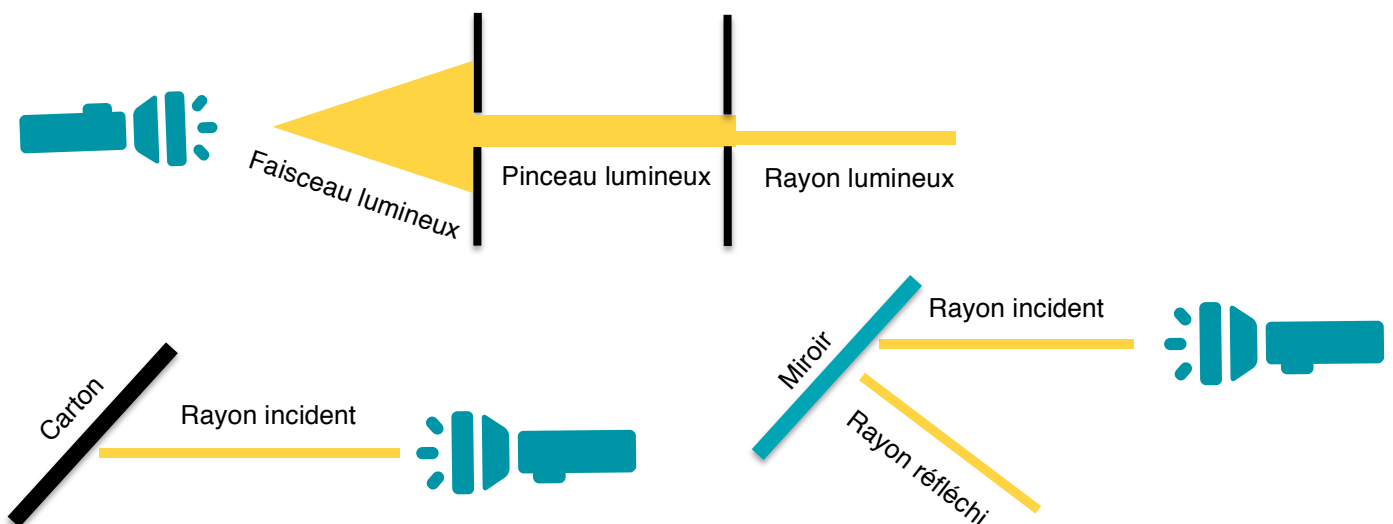
- une lampe de poche
- un carton format A3, au milieu duquel vous découperez un trou (diamètre 2cm)
- un carton format A3, au milieu duquel vous percerez un trou (diamètre 1 mm)
- un carton format A3, noir
- un miroir

### Instructions

1. Plonger la salle dans le noir et allumer la lampe de poche pour matérialiser le **rayonnement**. La lampe crée un **faisceau lumineux**.
2. Barrer le chemin de ce faisceau lumineux avec le carton troué.
3. De l'autre côté du carton sort un **pinceau lumineux**.
4. Barrer le chemin de ce pinceau lumineux avec le carton percé.
5. De l'autre côté du carton sort un **rayon lumineux**. C'est une droite qu'il est possible de symboliser au tableau par une craie jaune.
6. Utiliser le miroir pour **réfléchir** le rayon lumineux.
7. Utiliser le carton noir pour absorber le rayon lumineux.

**Astuce !** Préparer le matériel en plusieurs exemplaires pour permettre la démonstration en sous-groupes.

**Le saviez-vous ?** De la même façon, l'atmosphère réfléchit et absorbe une partie de l'énergie rayonnante du soleil.



## Activité n°2 – Expérience sensorielle

# Sentir le rayonnement

### Matériel à vous procurer

- une planche de carton par participant
- un miroir

### Instructions

1. Choisir une journée ensoleillée.
2. Demander aux participant-es de s'asseoir en direction du soleil et de fermer les yeux (rappelez les dangers de regarder le soleil les yeux ouverts).
3. Les participant-es sentiront les sensations du rayonnement sur le visage et placeront la planche de carton devant leurs visages puis la retireront.
4. Un-e participant-e place le carton devant le visage d'un-e autre participant-e (qui a les yeux fermés) qui doit le détecter en disant « ombre ! ». Idem avec le miroir qui renvoie plus de rayonnement sur le visage ou les mains : « miroir ! ».
5. Discuter ensuite des sensations du rayonnement.  
(Chaleur, lumière, picotements, zones sensibles, transfert, etc.)

**Quels sont les mots qui peuvent expliquer la perception de ces énergies invisibles ? Comment pourrait-on aussi les dessiner ?**





## Activité n°3 - Exercice

# Le rayonnement solaire sur la planète Terre

Distribuez le schéma de la page suivante aux participant-es avec la consigne suivante :

Observez le schéma et répondez aux questions :

### Questions

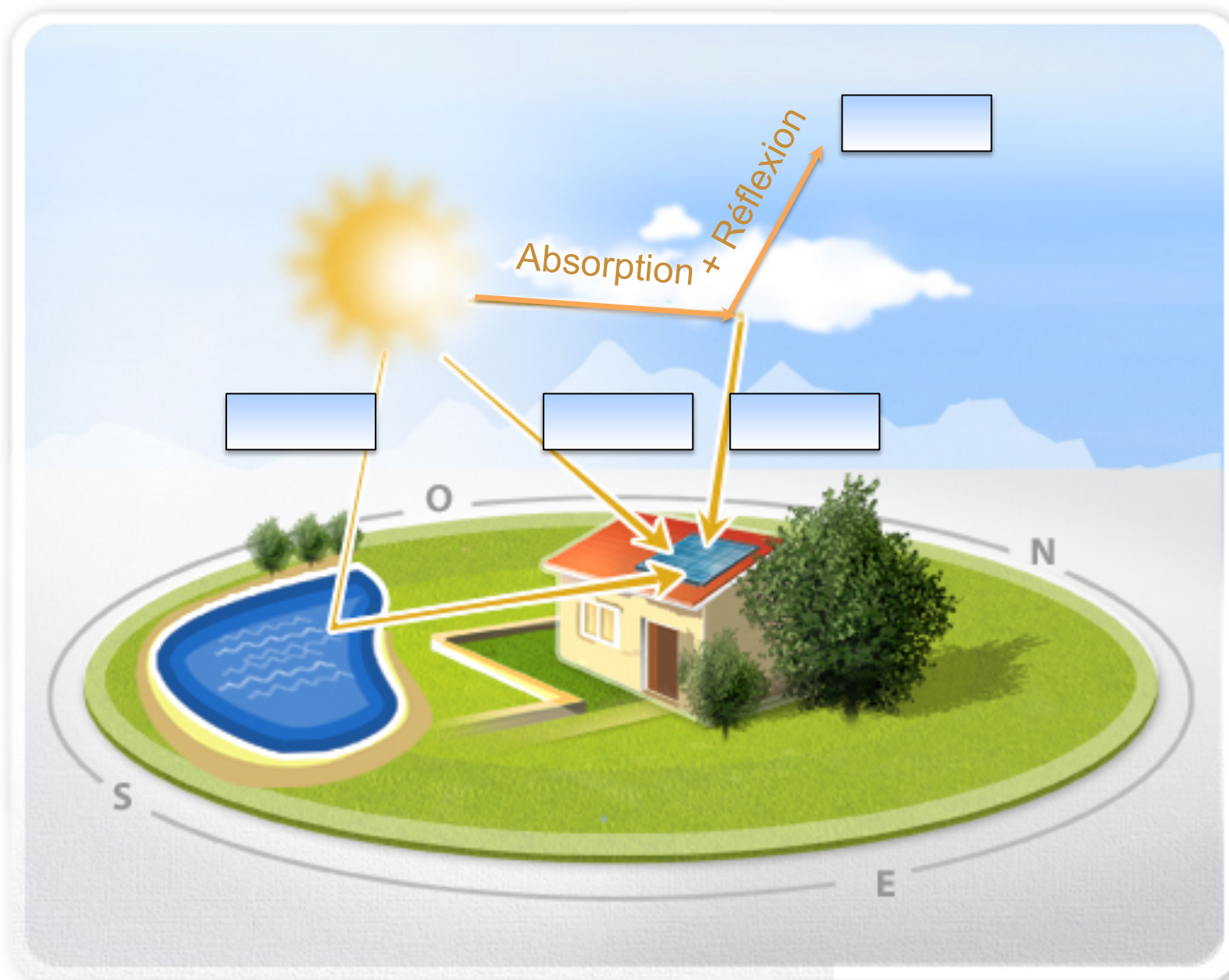
1. Quelle proportion de l'énergie rayonnante du soleil est absorbée et réfléchiée par l'atmosphère sans atteindre la Terre ?  
.....
2. Quelles sont les trois formes de l'énergie rayonnante qui atteignent la Terre ?  
.....

### Corrigé

1. 30 %
2. Les trois formes sont : le rayonnement direct, par albédo et diffus.

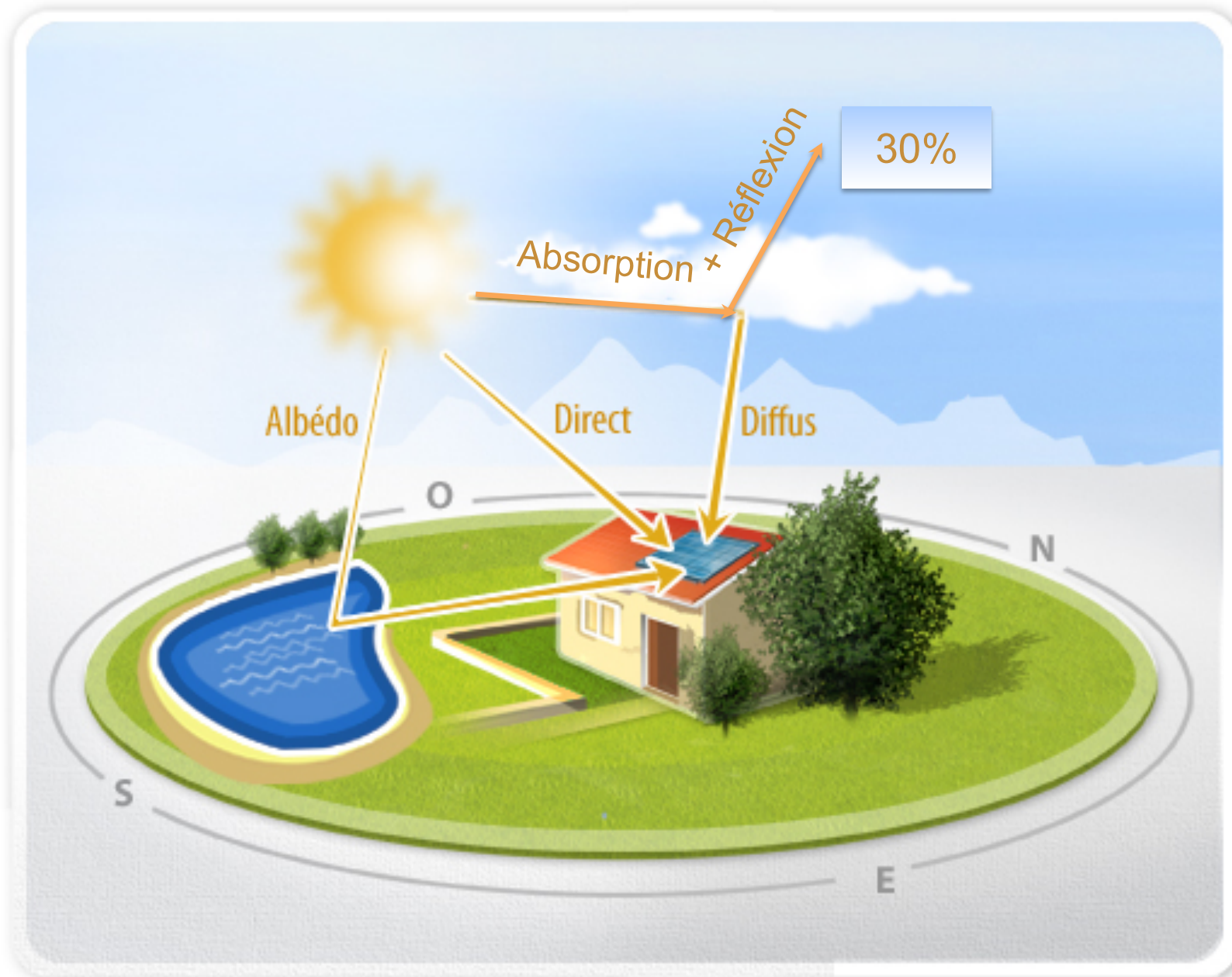


## FICHE EXERCICE





## CORRECTION DE L'EXERCICE



## b. La course du soleil

L'énergie rayonnante du soleil suit une course qui varie en fonction du lieu et des saisons.

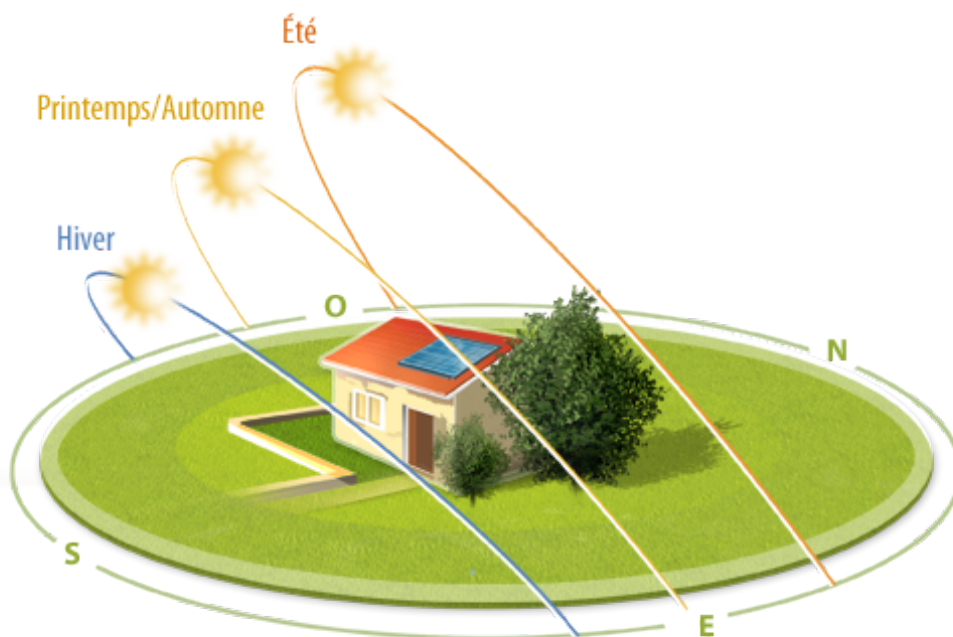
Chaque lieu reçoit cette énergie en fonction de l'**azimut** et de la **hauteur angulaire** du soleil.

L'**azimut** est l'angle horizontal formé par le soleil vis à vis du Sud. Par convention, on donne au Sud la valeur zéro.

La **hauteur angulaire** du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan de l'horizon. Cette hauteur est maximale au solstice d'été et minimale au solstice d'hiver, dans l'hémisphère Nord.

L'intensité du rayonnement varie en fonction de l'angle du soleil avec la terre mais aussi de la couche d'air à traverser. Pour une hauteur de  $30^\circ$ , les rayons doivent traverser une masse d'air égale au double de l'épaisseur de l'atmosphère. À des hauteurs de  $20^\circ$  et  $15^\circ$ , les rayons ont à traverser l'équivalent de 3 à 4 fois cette épaisseur.

La latitude et les conditions climatiques du lieu déterminent un certain nombre d'heures d'ensoleillement. Le graphique (exemple d'un relevé de masque p16) montre l'évolution solaire aux différentes saisons et pour chaque heure de la journée. Il est une projection de l'illustration ci-dessous qui montre l'évolution du soleil dans le ciel en hiver, au printemps/automne, en été.



Evolution du soleil selon les saisons / Source : Hespul

## Carte d'ensoleillement en France

Cette carte montre l'irradiation annuelle sur le territoire français, c'est-à-dire la quantité de lumière reçue sur un mètre carré de surface à l'horizontale traduit en kWh.

Par exemple, le nord de la France reçoit en moyenne chaque année 1 000 kWh/m<sup>2</sup> d'irradiation solaire alors que sur les bords de la Méditerranée elle atteint plus de 1600 kWh/m<sup>2</sup>.



Source : [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html#!](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#!)

## Activité n° 4 – Travaux manuels

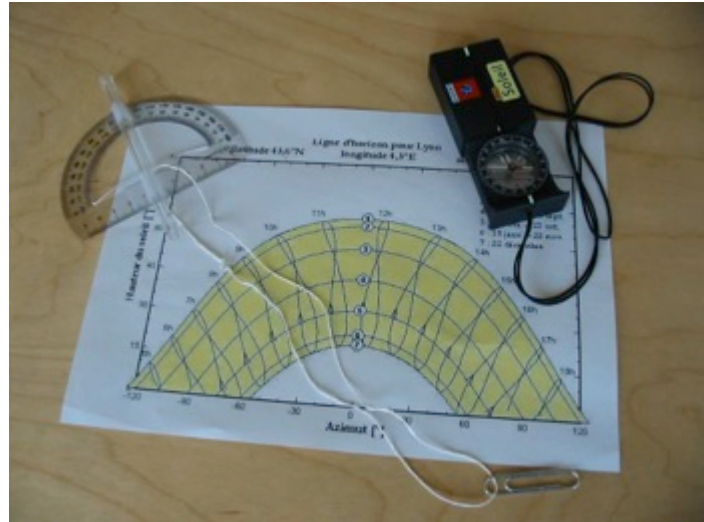
### Fabriquer un clinomètre

#### Matériel à vous procurer

- Un rapporteur
- Un fil
- Un trombone
- Un tube vide de stylo-bille
- Ruban adhésif

#### Instructions

1. Passer le fil dans le trou du rapporteur et l'accrocher.
2. Accrocher le trombone au bout du fil.
3. Fixer le tube de stylo-bille au centre et perpendiculairement à l'angle droit du rapporteur avec du ruban adhésif.



Voici votre clinomètre. Il sert à dessiner un masque d'ombrage sur le relevé de masque de la page 16.



# Activité n°5 – Exercice

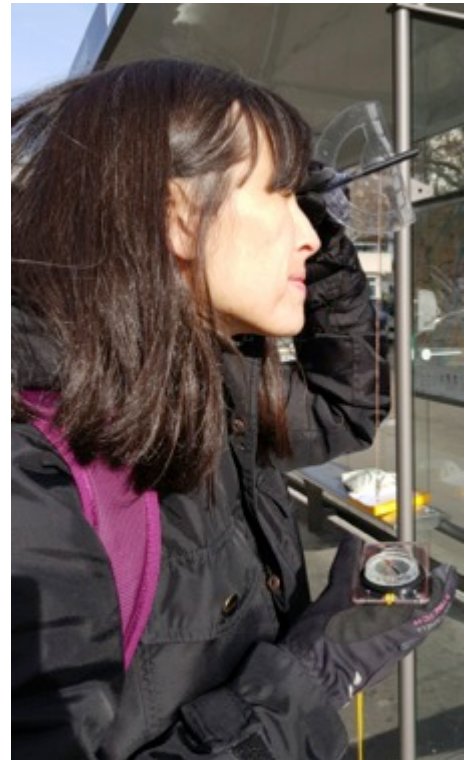
## Dessiner les masques du soleil

### Matériel à vous procurer

- Une boussole
- Un clinomètre
- Graphique des courbes du soleil (voir pages suivantes). Choisir le graphique en fonction de votre situation géographique, car les courbes varient en fonction de la latitude.

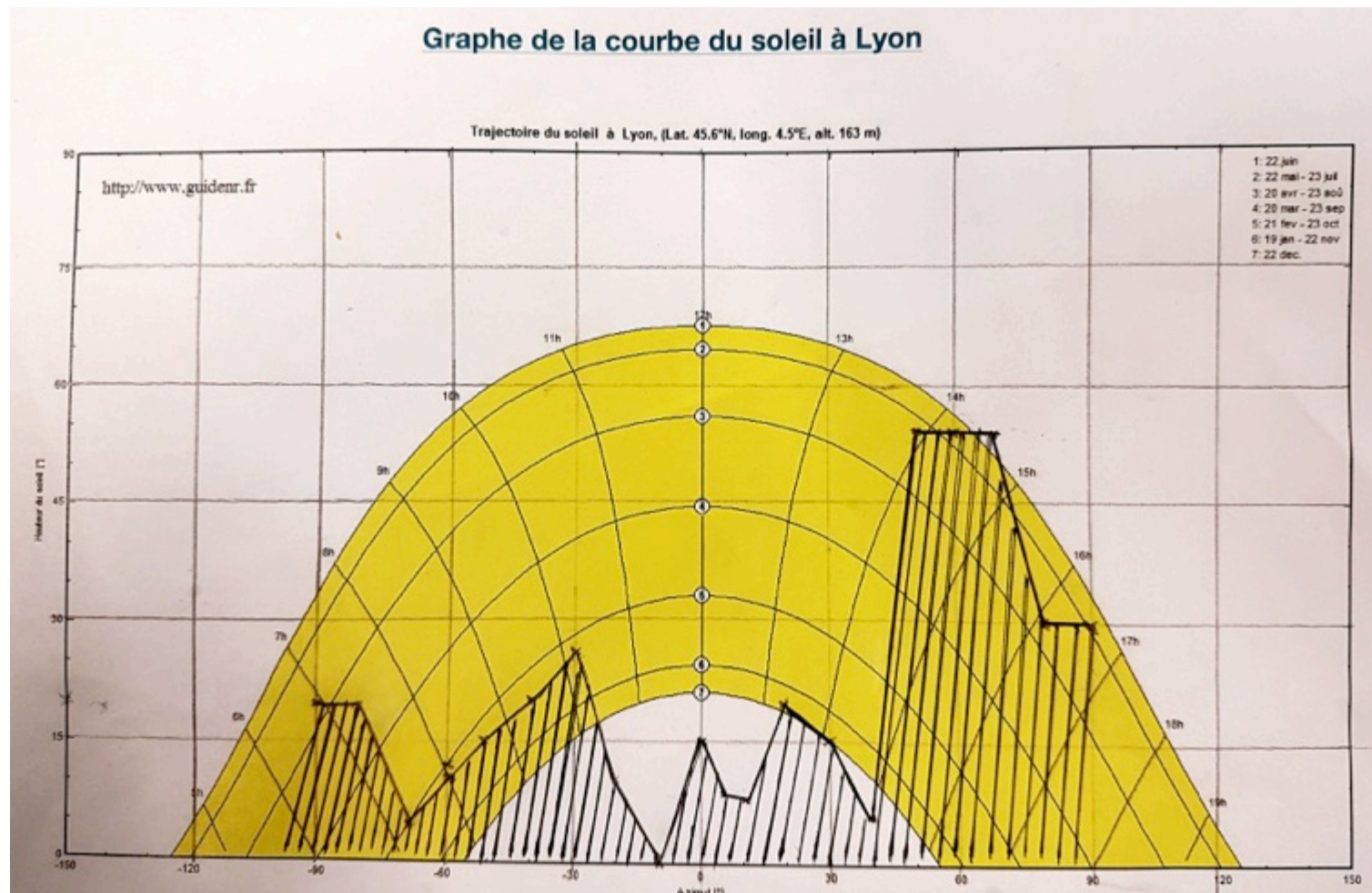
### Instructions

1. Faire des équipes de deux (l'un regarde avec le clinomètre et l'autre note les résultats sur le graphique).
2. S'installer sur le site qui doit recevoir l'énergie rayonnante du soleil.
3. Prendre la boussole, se tourner vers l'Est et encore de 30 degrés vers le Nord. C'est le point de départ qui correspond à  $-120^\circ$  par rapport au Sud ( $0^\circ$ ) sur le graphique.
4. Prendre le clinomètre à la verticale (l'arrondi vers soi) et viser avec le tube de stylo-bille le sommet de l'obstacle (ce qui cacherait le soleil) au niveau du point de départ.
5. Relever le résultat grâce à la position du fil sur l'arrondi du clinomètre : c'est la hauteur angulaire de l'obstacle en  $^\circ$ .
6. Noter cette valeur sur le graphique, au point correspondant sous l'axe des abscisses (1<sup>er</sup> point  $-120$  ; 2<sup>ème</sup> point  $-110$  ; etc...).
7. Se déplacer progressivement avec la boussole pour noter un point tous les  $10^\circ$  jusqu'à l'extrémité opposée, à  $+120^\circ$  côté Nord-Ouest.
8. Reporter les valeurs notées par des points sur le graphique.
9. À la fin, relier tous les points entre eux. Le relief du paysage et les obstacles prennent forme sur le graphique (exemple à la page suivante).
10. Pour une explication détaillée d'un relevé de masque, cliquer sur le lien du site internet « Explication détaillée d'un relevé de masque » disponible au chapitre 7 (page 64).



## EXEMPLE D'UN RELEVÉ DE MASQUE SOLAIRE

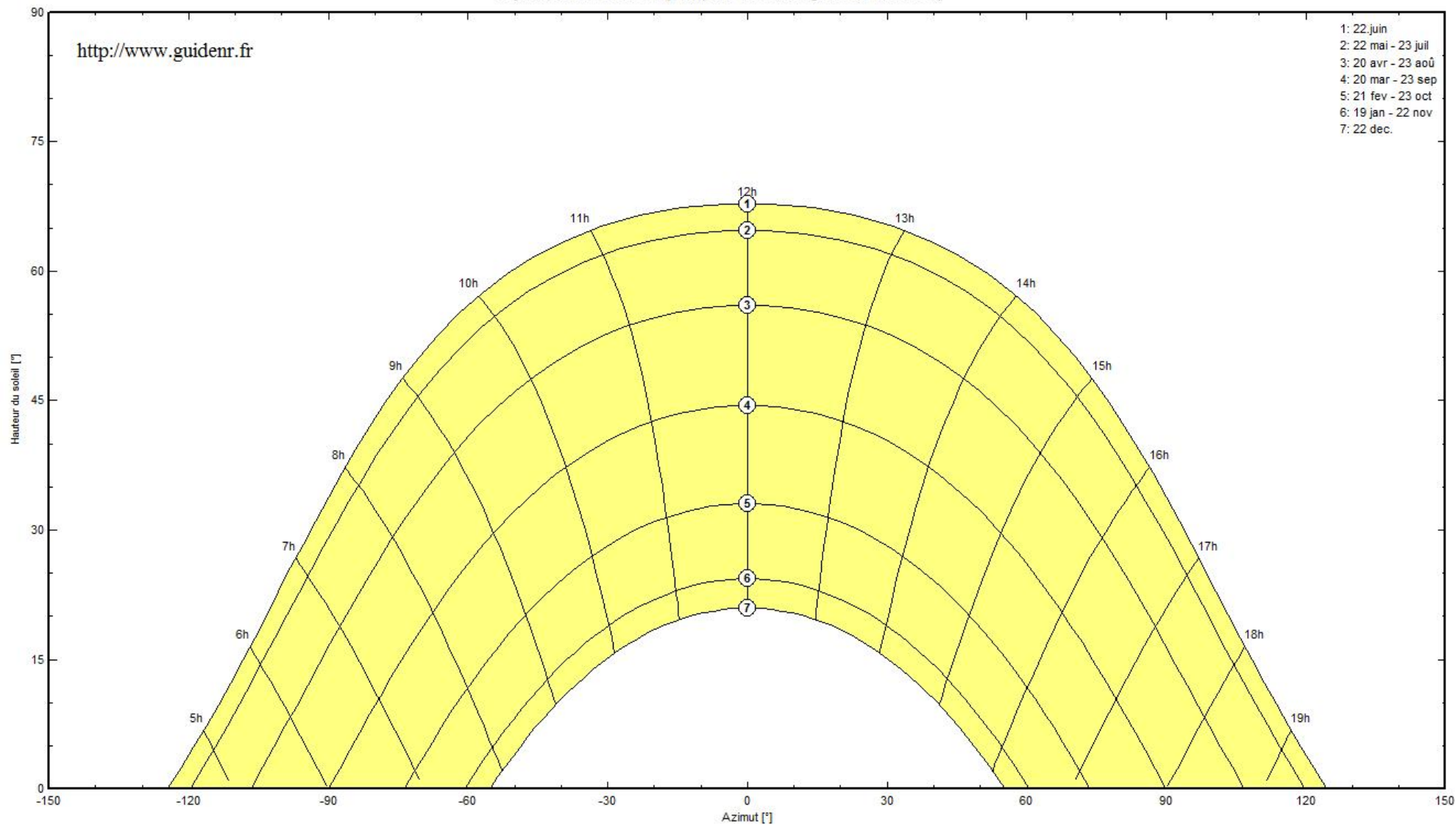
Le diagramme ci-dessous permet de repérer la position du soleil par rapport à son azimut (axe horizontal) et sa hauteur angulaire (axe vertical). Les différentes courbes représentent la course du soleil à Lyon pour des dates déterminées (voir les dates en haut à droite du graphique). Les lignes avec les horaires représentent la position du soleil pour chaque date de l'année lorsqu'elles se croisent avec les courbes solaires. Les rayures représentent le relief derrière lequel le soleil est caché à certaines périodes de l'année : **c'est le masque solaire**.





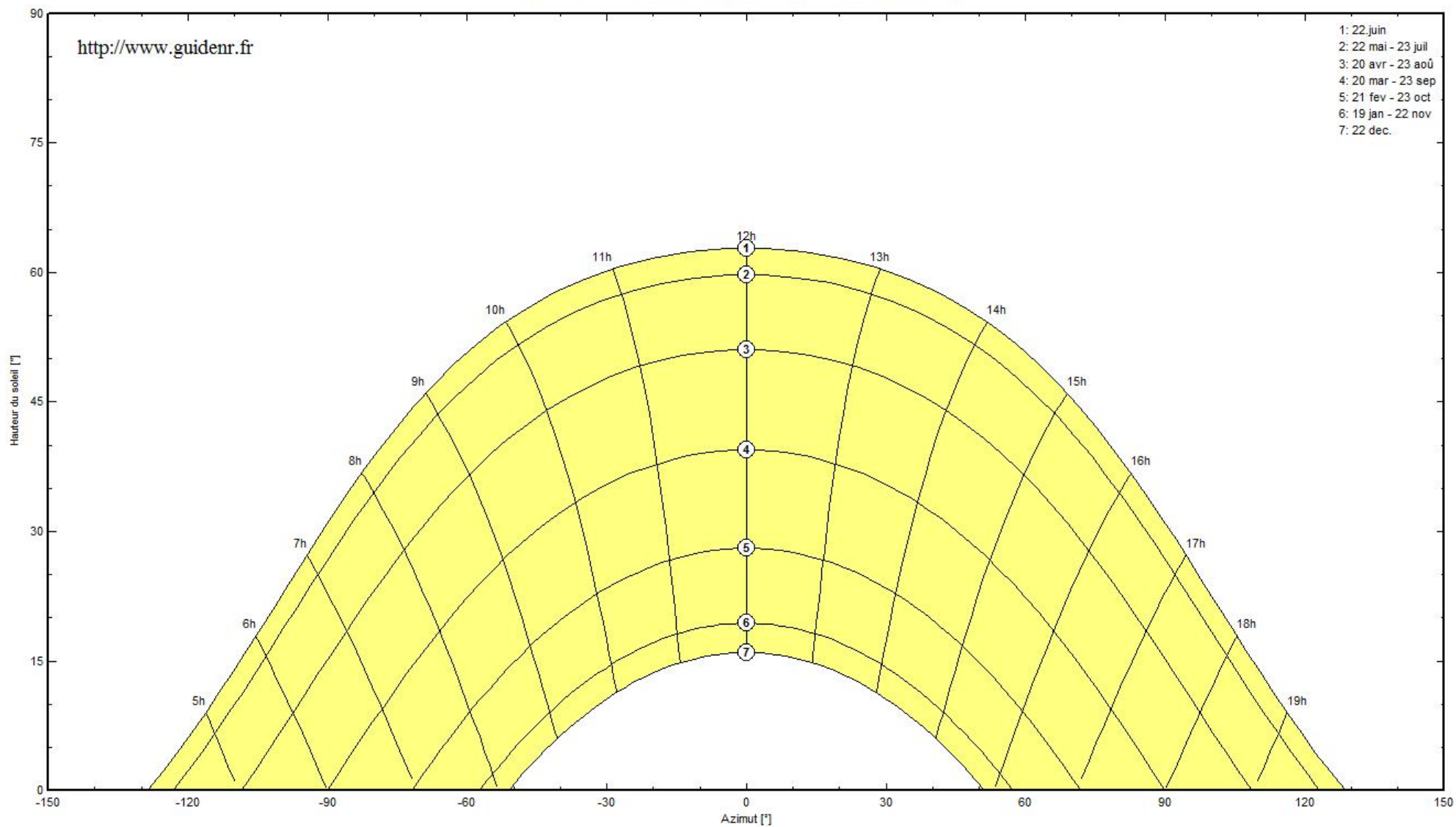
## Graphe de la courbe du soleil à Lyon

Trajectoire du soleil à Lyon, (Lat. 45.6°N, long. 4.5°E, alt. 163 m)



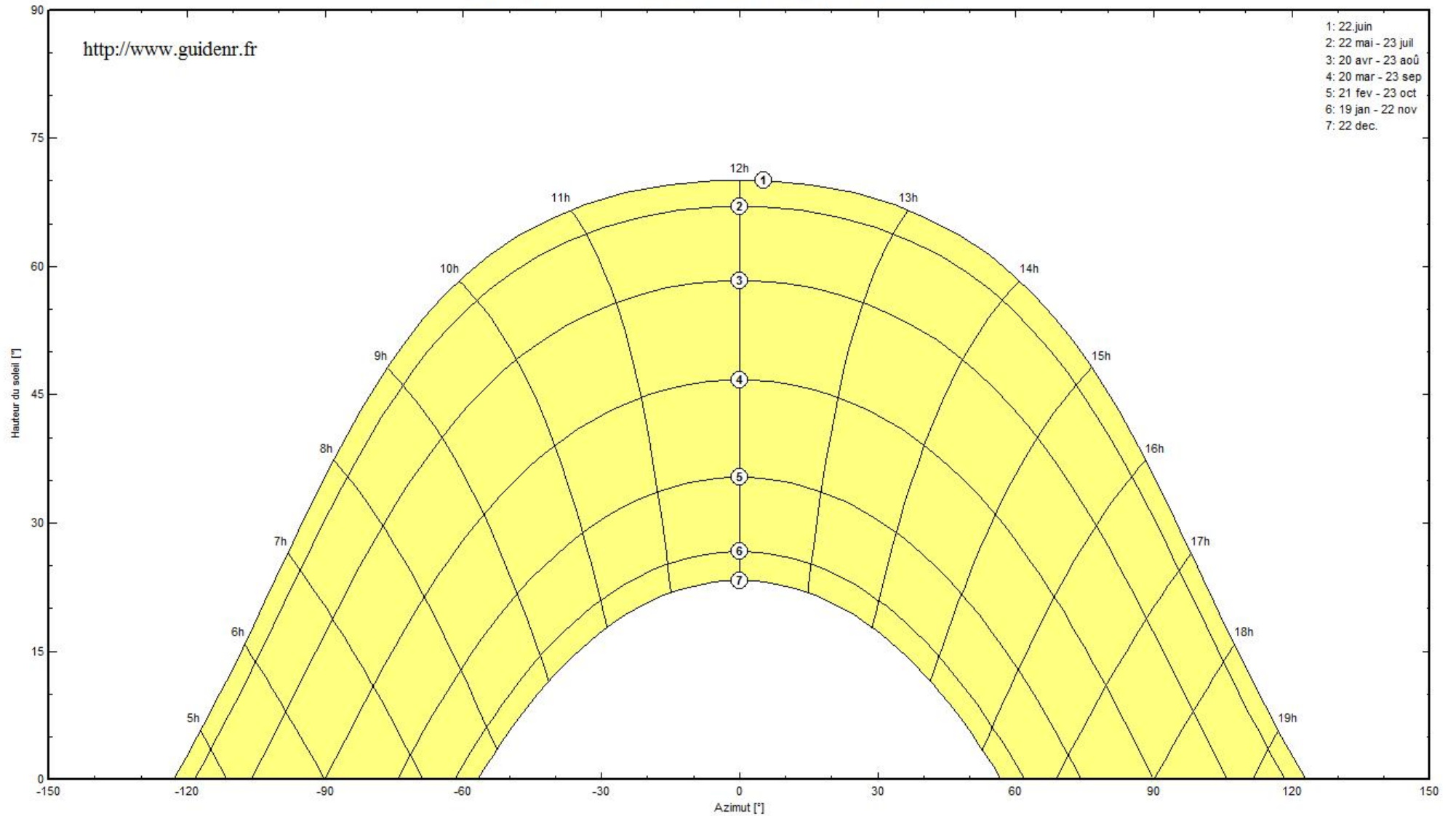
## Graphe de la courbe du soleil à Lille

Trajectoire du soleil à Lille , (Lat. 50.6°N, long. 3.1°E, alt. 30 m)



## Graphe de la courbe du soleil à Marseille

Trajectoire du soleil à Marseille, (Lat. 43.3°N, long. 5.1°E, alt. 5 m)



# Chapitre 2

## L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

---

### a. L'électron et le courant électrique

- **Activité n°1** : Charges rouges et vertes
- **Activité n°2** : Le courant passe
- **Activité n°3** : La ligne électrique

### b. La tension et le courant

- **Activité n°4** : Varions le courant





## a. L'électron et le courant électrique

**L'électron** est une particule de l'atome qui est chargée d'électricité négative, alors que le noyau de l'atome est chargé d'électricité positive.

**Les charges électriques** peuplent toute la matière. Lorsque des atomes se rassemblent pour créer des objets, les électrons autour des noyaux se mélangent pour former une sorte de « fluide électrique ». Dans la matière, il y a autant de charges négatives que de charges positives. Par conséquent, toutes ces charges s'annulent.

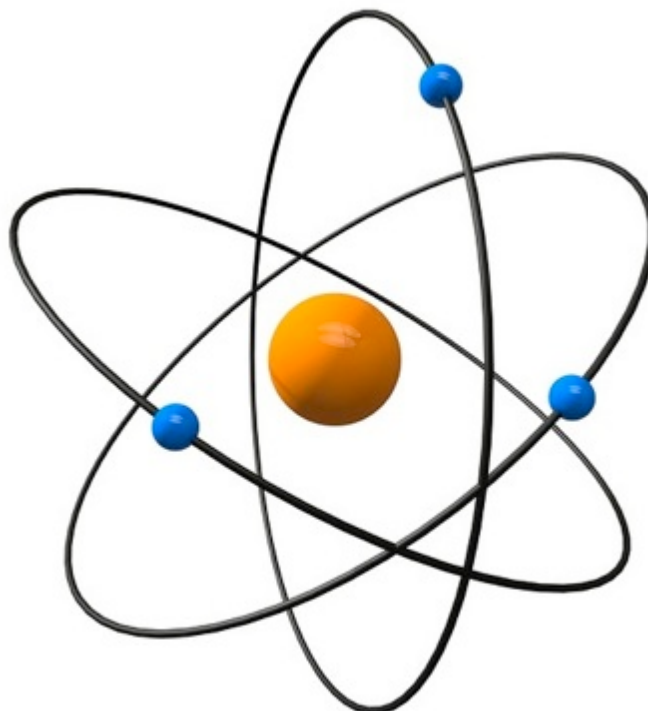
Chaque électron tourne autour d'un **noyau**. Il est assez facile de retirer les électrons de leurs noyaux (par contre les noyaux sont reliés les uns aux autres et il est difficile de les séparer). Quand les électrons peuvent quitter leur atome, ils se déplacent dans toutes les directions.

Lorsque les électrons se déplacent tous dans le même sens, cela crée un courant électrique. Les matériaux qui conduisent le courant électrique sont des « **conducteurs** » ; ils forment nécessairement un circuit fermé.

**Le courant électrique est le déplacement d'un ensemble d'électrons dans des corps appelés conducteurs.** Par convention, le courant se déplace du symbole (+) vers le symbole (-).

Le **courant alternatif** passe dans un sens puis dans un autre. Le courant alternatif du réseau français change de sens 50 fois par seconde.

Le **courant continu** ne passe que dans un sens.



# Activité n°1 – Démonstration

## Rendre visibles les charges électriques

Partout, la matière est composée d'« électricité », mais puisque positif et négatif s'annulent, nous sommes rarement confrontés à des effets électriques dans la vie de tous les jours. Pour voir des effets électriques, il faut **séparer les charges positives et négatives**.

### Matériel à vous procurer

- deux feuilles format A4 plastique<sup>1</sup> : une rouge et une verte
- un rouleau de scotch et une paire de ciseaux

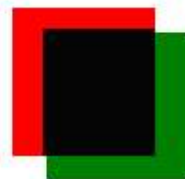
### Instructions

La feuille rouge représente la partie positive de la matière (noyaux), et la feuille verte la partie négative (électrons).

1. Fabriquer d'abord de la « matière ordinaire ». Pour cela, coller ensemble une feuille rouge et une feuille verte, au moyen de bouts de scotch repliés entre les deux feuilles.
2. Ensuite, fabriquer un objet. Pour cela, découper soigneusement et selon votre imagination une forme (ci-contre un carré...).
3. Retirer le scotch, et séparez légèrement les deux couches : des franges vertes et rouges apparaissent...



La forme, en réalité un « sandwich » contenant une couche rouge et une couche verte se recouvrant parfaitement, est noire. Lorsque nous superposons charges positives (rouge) et charges négatives (vert), ces charges s'annulent (nous obtenons du noir incolore).



**Lorsque charges positives et négatives se déplacent ensemble, on parle de mouvement physique de la matière. Ce n'est que lorsque ces charges se déplacent les unes par rapport aux autres qu'un courant électrique est créé.**

---

<sup>1</sup> Choisissez du film transparent si vous utilisez un rétroprojecteur, du film translucide si vous utilisez une surface blanche.



## Activité n°2 - Démonstration

# La circulation du courant électrique

### Matériel à vous procurer

- des dominos

### Instructions

1. Mettre en place les dominos, debout, en ligne, assez rapprochés.
2. Faire tomber le premier, observer ce qui se passe. Très vite toute la rangée de dominos s'écroule, un domino entraînant l'autre dans sa chute.

Les dominos représentent les électrons. Lorsque des électrons se déplacent dans un sens, ils créent un courant continu.

Individuellement, les dominos se déplacent lentement. En effet, un électron se déplace avec une vitesse de l'ordre de centimètres par minute. Guère plus rapide que les aiguilles d'une montre...

Par contre, l'écroulement de la rangée de dominos est très rapide. En effet, le courant électrique circule à une vitesse de 300 000 km par seconde.



## Activité n°3 – Expérience sensorielle

# Faites-vous passer le courant !

**L'énergie électrique est une énergie qui circule sans qu'on puisse la voir.**

### Instructions

1. Faire des groupes de 5 à 10 personnes réunies en cercle, se tenant la main les yeux fermés.
2. Une personne fait le générateur électrique : il ou elle « envoie » du courant en serrant la main de son voisin-e.
3. Les personnes font ainsi passer le courant à leur voisin-e en respectant le sens initial.

### Variantes

- **Sonore** : Deux personnes à mi-parcours tiennent un instrument entre leurs deux mains (cloche, tambourin...). Vous pouvez ainsi simuler le passage du courant dans un appareil, mais aussi organiser des courses de courant !
- **Visuelle** : Avant de réaliser l'expérience telle que décrite ci-dessus, vous pouvez en faire une version plus visuelle. À la place de serrer les mains, les personnes font une vague avec leur bras qui se déplace comme le fait une onde.



## b. La tension et le courant

**C'est la tension qui provoque le déplacement des électrons.**

La tension est une sorte de "pression électrique", qui retire les électrons de leurs noyaux et les déplace. Qui dit déplacement d'électrons par rapport aux noyaux dit courant électrique.

Imaginez une cascade. On peut comparer :

- l'eau au « fluide » électrique formé par les électrons,
- la différence de hauteur entre le haut et le bas de la cascade à la tension électrique,
- le déplacement de l'eau au courant électrique
- la quantité d'eau déplacée à l'intensité du courant électrique.

La différence de hauteur (tension) provoque le déplacement de l'eau (électrons), ce qui crée une cascade (courant électrique).

Autre image possible : des enfants qui descendent un toboggan.



# Activité n°4 – Démonstration

## Varions la tension et l'intensité du courant

### Matériel à vous procurer

- quelques bouteilles d'eau en plastique (au moins 2)
- des ciseaux, un cutter, une agrafeuse
- un arrosoir et de l'eau
- des petites boulettes de papier (optionnel)

### Instructions

1. Couper le haut et le fond des bouteilles
2. Découper les bouteilles en deux dans le sens de la longueur. Vous créez ainsi deux rigoles pour chaque bouteille.
3. Réaliser un tuilage des rigoles pour créer une longue rigole dans laquelle pourra couler de l'eau.
4. Agraffer le tout en veillant à ce que les agrafes se referment bien.

### Animation

Les participant-es créent une pente en inclinant plus ou moins la rigole. La différence de hauteur simule la tension (la montagne de tout à l'heure). Remplissez un arrosoir d'eau (qui simule le « fluide » électrique formé par les charges électriques).

Faites couler de l'eau dans la rigole. Le courant d'eau représente le courant électrique. Il peut être visualisé en mettant des petites boulettes de papier dans l'eau qui symbolisent les électrons.



### **Intensité**

En rajoutant plus ou moins d'eau dans la rigole, faites varier l'intensité du courant électrique.

### **Tension**

En penchant plus ou moins la rigole, faites varier la tension du courant électrique.

## Chapitre 3

# LE PHÉNOMÈNE PHOTOVOLTAÏQUE

---

### a. Comment ça marche ?

- **Activité n°1** : Les billes s'entrechoquent

### b. Fabrication de cellules et modules photovoltaïques

- **Activité n°2** : Construire une cellule et un module photovoltaïque



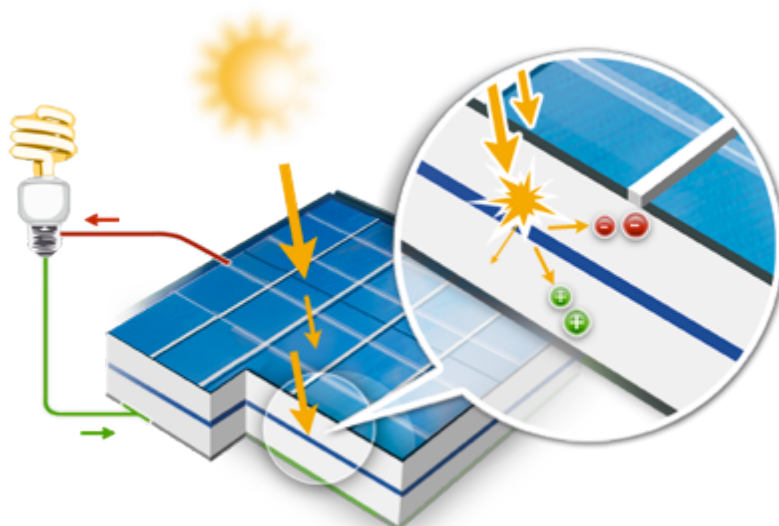


## a. Comment ça marche ?

L'**effet photovoltaïque** est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés **semi-conducteurs**. Le plus connu est le **silicium** utilisé pour les composants électroniques.

Lorsque les particules de lumière, appelées les **photons**, heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique qui est recueilli par des fils métalliques très fins.

L'**énergie rayonnante** du soleil est ainsi transformée en **énergie électrique**. Cette énergie électrique est un **courant continu**.



Cellule photovoltaïque / Source : Hespul

L'effet photovoltaïque permet de disposer d'un générateur de courant continu sans pièce mécanique en mouvement et sans bruit. Il est parfois comparé à une pile, c'est pourquoi ce générateur peut s'appeler *une photopile*.

L'effet photovoltaïque a été découvert par Edmond Becquerel en 1839.

### Le saviez-vous ?

Un générateur électrique est la plupart du temps composé d'un aimant et d'une bobine de cuivre. Pour générer du courant, il faut que ces deux éléments soient en mouvement l'un par rapport à l'autre. C'est le cas dans une éolienne, une centrale nucléaire, une dynamo...



# Activité n°1 – Démonstration

## Les billes s'entrechoquent

### Matériel

- Des billes (ou des perles rondes) dont au moins une jaune
- Une large boîte en carton
- Une couverture plastique pour reliure de rapports
- Des ciseaux,
- du ruban adhésif,

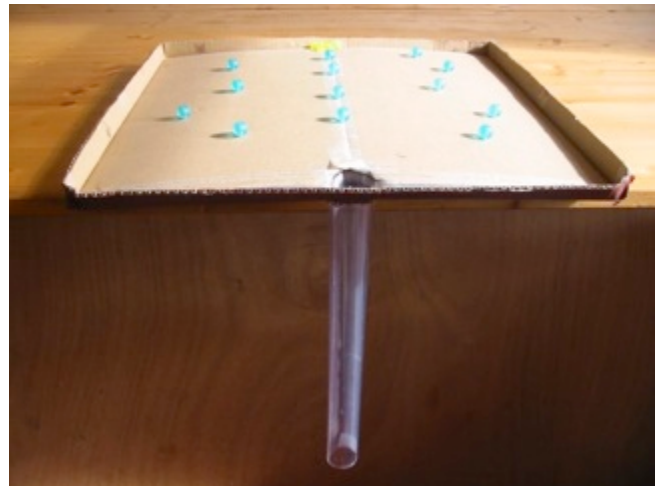
### Instructions

1. Enrouler la couverture plastique pour créer un tuyau de diamètre supérieur aux billes.
2. Consolider le tuyau avec du ruban adhésif.
3. Couper les bords de la boîte en carton pour conserver un rebord de 2 centimètres.
4. Au bord du terrain de jeu que vous avez ainsi créé, faites un trou au fond du carton du même diamètre que le tuyau
5. Fixer le tuyau sur le trou comme pour un entonnoir.

### Animation

Disposez les billes dans la boîte en carton. Ce mini jeu de billard représente le phénomène photovoltaïque :

- Le terrain de jeu est la plaque de silicium.
- Le tuyau est le conducteur électrique.
- Les billes sont les électrons du silicium.
- La bille jaune est un photon.



Faites tomber les billes dans le trou avec la bille jaune pour créer un courant de billes (un courant électrique).

## b. Fabrication de cellules et modules photovoltaïques

### Fabrication des cellules, les différentes étapes :

Le silicium est la matière première de 90% des cellules photovoltaïques. Il provient de la silice qui est le principal composant du sable. Après un processus de purification à haute température, le silicium est récupéré pour des applications électroniques.

Chaque cellule génère une très petite quantité d'électricité. Pour obtenir une tension électrique plus importante, les cellules sont assemblées en série. On obtient ainsi des panneaux ou des modules photovoltaïques.

Les cellules étant très fines et très fragiles, il est nécessaire de les protéger des intempéries par une enveloppe protectrice et un verre transparent et solide. La puissance délivrée par un module sous un ensoleillement optimum<sup>2</sup> est appelée la puissance crête du module. L'unité du Watt-crête s'écrit Wc.

Pour comparaison, la fabrication ressemble à celle d'un croque monsieur ou d'un panini. C'est-à-dire plusieurs couches les unes sur les autres, avec une pellicule de résine. Lorsque l'ensemble est chauffé, la résine fond comme le fromage !



Fabrication du silicium solaire



Fonte du silicium à haute température et cristallisation

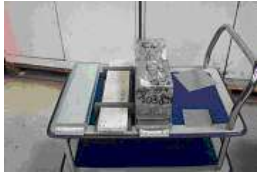


Moulage de blocs de silicium en lingotières



<sup>2</sup> c'est à dire 1kW /m<sup>2</sup> d'énergie rayonnante (la puissance d'un petit radiateur électrique) sous forme de lumière

Sources des photos: Kyocera et Photowatt



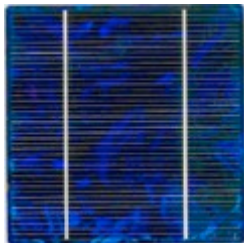
Sciage des blocs de silicium pour obtenir des plaques très fines de 200 microns d'épaisseur



Traitement de la surface pour obtenir des polarités + et -



Pose des conducteurs électriques formant un grillage : une grille de collecte des électrons en argent en face avant et une électrode en aluminium en face arrière



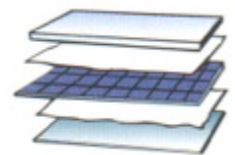
Cellule prête au montage



Montage des cellules en série pour recueillir le courant électrique



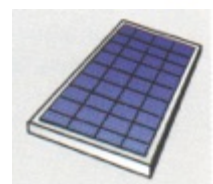
Pose des protections : un verre trempé transparent sur la face exposée au soleil et un autre matériau rigide comme support avec des feuilles de résine intercalaires, puis lamination à chaud (pressage du « croque monsieur »)



Pose du cadre en aluminium, de la boîte de jonction et des connecteurs à l'arrière



Module ou panneau photovoltaïque terminé



## Activité n°2 – Jeux de cartes

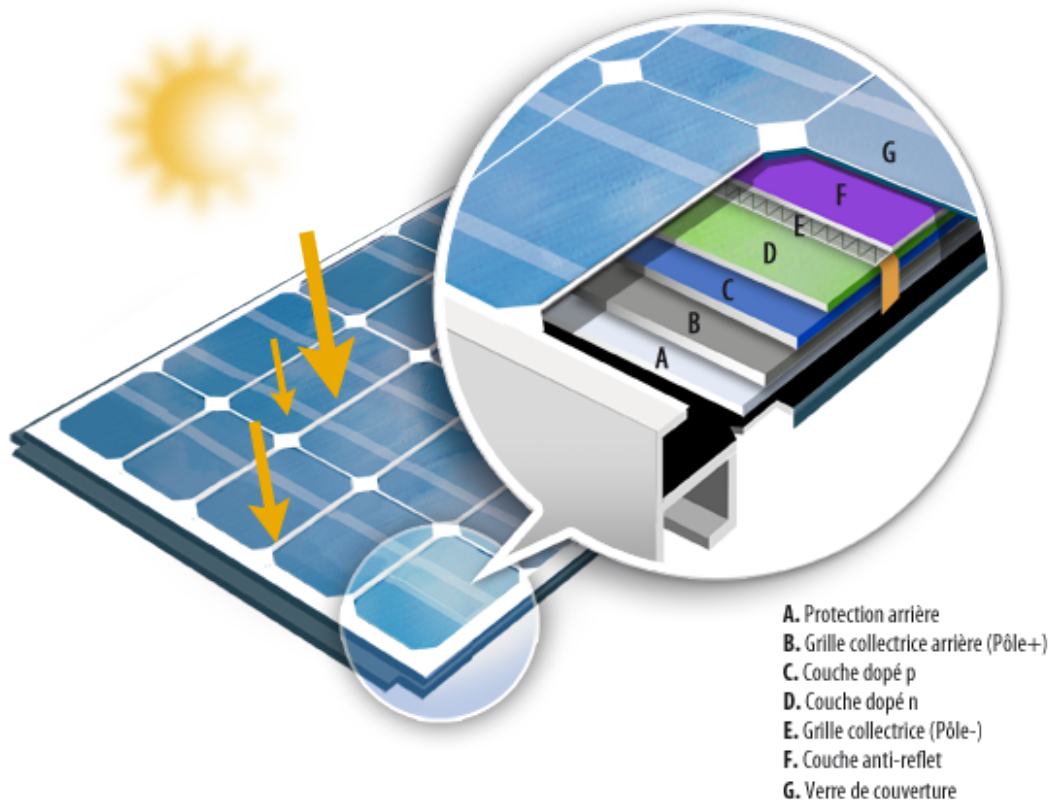
# Construire une cellule et un module photovoltaïque

### Matériel à vous procurer

- Photocopier les planches de dessins ci-jointes et découper chaque étape. Vous obtenez des cartes.

### Instructions

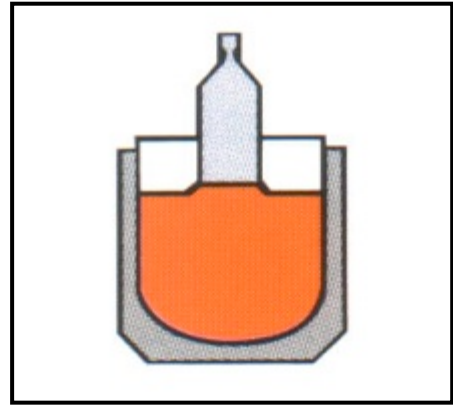
1. Constituer des groupes.
2. Distribuer un jeu de cartes par groupe.
3. Les participant·es doivent reconstruire les étapes de fabrication d'une cellule et d'un module.



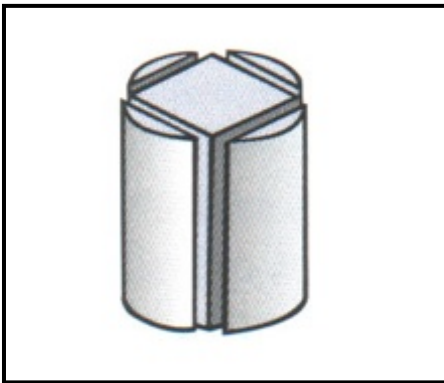
## FICHE EXERCICE



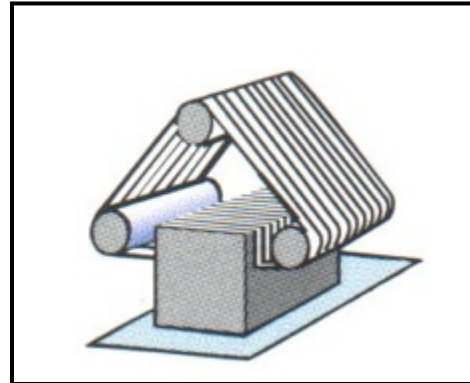
Fabrication du silicium solaire



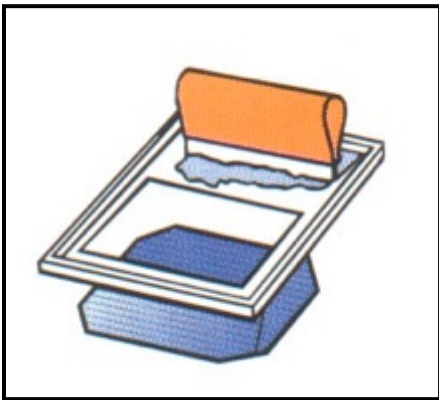
Fonte du silicium à haute température



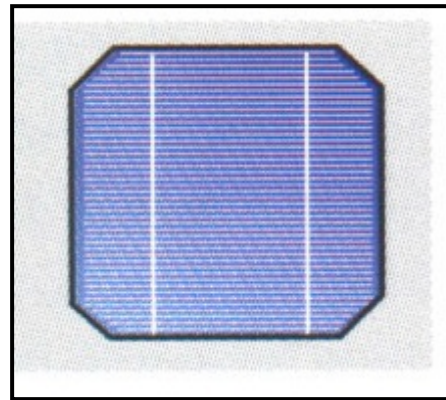
Moulage de blocs de silicium



Sciage des blocs de silicium



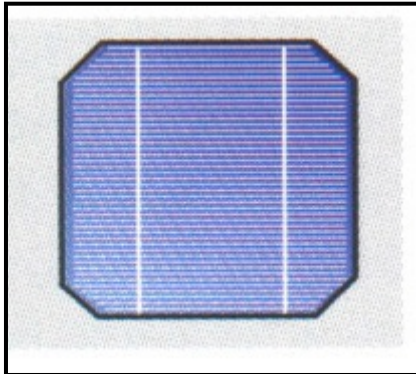
Traitement de la surface



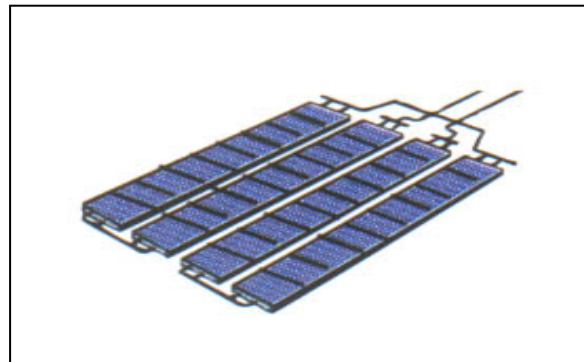
Pose des conducteurs électriques



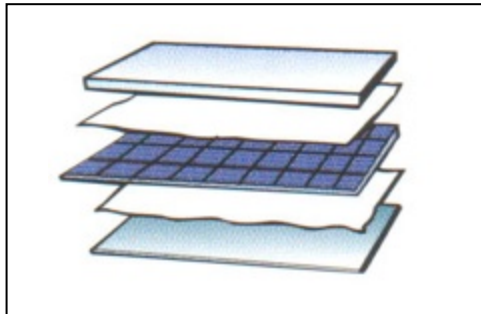
## FICHE EXERCICE



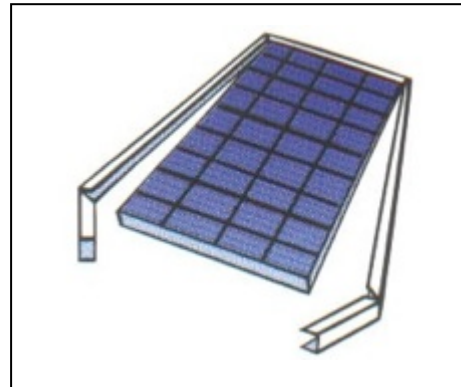
Cellule prête au montage



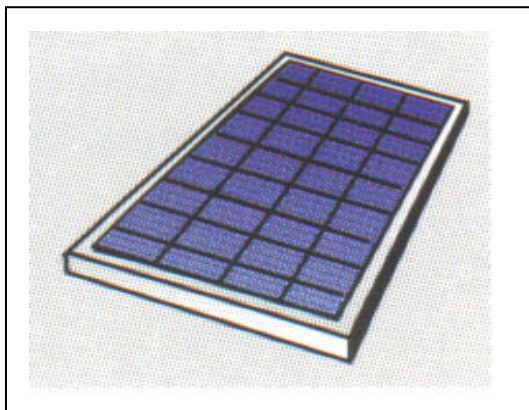
Montage des cellules en série pour recueillir le courant électrique



Pose des protections



Pose du cadre, de la boîte de jonction et des connecteurs à l'arrière



Module ou panneau photovoltaïque terminé

# Chapitre 4

## LES GÉNÉRATEURS ÉLECTRIQUES SOLAIRES

---

### a. Les sites isolés

- **Activité n°1** : Le manège solaire

### b. L'installation raccordée au réseau

- **Activité n°2** : La maison photovoltaïque
- **Activité n°3** : La production centralisée ou décentralisée de l'électricité

### c. Les applications architecturales



## a. Les sites isolés

Lorsque le réseau électrique ne parvient pas jusqu'au lieu d'habitation, il est possible de produire son électricité sur place. Il faudra cependant la stocker pour disposer d'un courant électrique régulier car le flux solaire varie en fonction de l'heure et de la météo.

### L'installation

Si les panneaux photovoltaïques constituent le **générateur**, le stockage sera assuré par des **batteries**.

Deux autres appareils viendront se rajouter à l'ensemble de l'installation. Il s'agit d'un **régulateur** et d'un **onduleur**.

Le régulateur sert à contrôler le remplissage des batteries pour éviter un vieillissement trop rapide.

L'onduleur sert à transformer le courant continu des batteries en courant alternatif si les récepteurs utilisés dans la maison fonctionnent en courant alternatif. Cet appareil n'est pas indispensable si les récepteurs fonctionnent en courant continu.



Maison en site isolé / Source : Hespul

## De combien d'électricité a-t-on besoin ?

Comme la maison est autonome en électricité, il faut calculer sa consommation journalière. Ainsi, il faut additionner la consommation de tous les récepteurs en fonction des besoins de la famille sur une période de 24 heures.

Ensuite, le nombre de batteries doit répondre à ce besoin d'électricité avec une petite marge de sécurité.

C'est en dernier lieu qu'il est possible de décider du nombre de modules photovoltaïques pour charger chaque semaine le stock de batteries. Cela dépend du gisement solaire disponible sur le lieu choisi. Nous avons vu que l'énergie rayonnante du soleil varie en fonction de la latitude, du relief, du climat et des obstacles.

L'ensemble de ces prévisions s'appelle **calcul de dimensionnement d'une installation solaire**.

En France, d'une façon générale, le réseau électrique est accessible pour de nombreux usages. Cependant, une installation autonome permet parfois d'éviter des travaux importants d'extension du réseau électrique. C'est ainsi que des chalets d'alpages, des gîtes d'étapes, des bâtiments agricoles, des relais téléphoniques, des pompes à eau et des refuges sont équipés de générateurs solaires avec batteries.

## La gestion complexe des batteries

Les batteries demandent une surveillance continue et un entretien régulier (réhydratation). Elles génèrent un risque d'explosion. Elles peuvent être encombrantes et doivent être installées dans un local adapté. Leur durée de vie est limitée : 7 à 10 ans. Leur coût est élevé et renchérit le prix du kWh produit. Elles sont difficilement recyclables parce qu'elles sont composées d'éléments chimiques particulièrement polluants.



Refuge de la Cougourde / Crédit photo : Tenesol



Parc de batteries / Crédit photo : SMA



## Activité n°1 – Travaux manuels

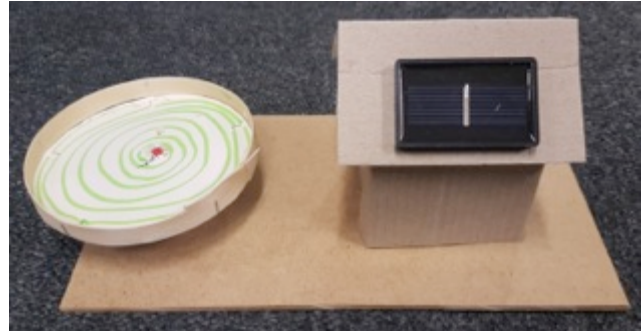
# Fabriquer un manège solaire

### Matériel à acheter\*

- moteurs\*
- cellules photovoltaïques\*
- pignons pour axes du moteur\*
- fil électrique dédoublé

### Matériel à se procurer

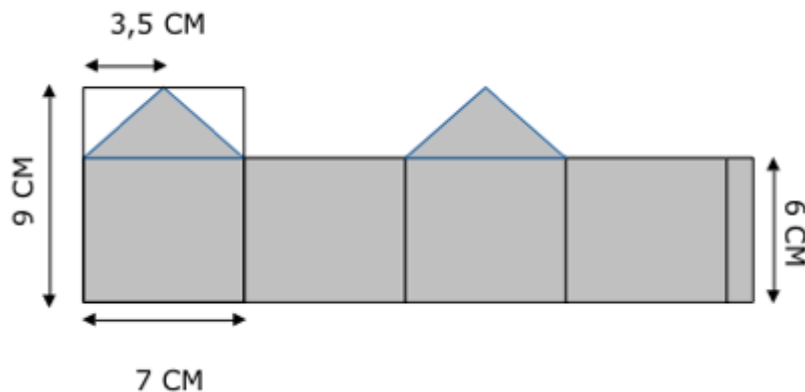
- carton
- panneaux Isorel
- 1 boîte à camembert en bois
- 1 rouleau de papier toilette
- colle
- scotch



Le manège solaire / Source : Hespul

### Préparation

- Couper le câble d'enceinte en morceau de 20cm. Dénuder les 4 extrémités de chaque morceau sur 1cm
- Dénuder les fils des moteurs et les câbles de raccordement
- Découper les planches aux dimensions (L25x14) et percer 2 trous à 4,5cm du bord le plus étroit.



\* Matériel électrique disponible à OPITEC ([www.opitec.fr](http://www.opitec.fr))



## Fabrication

### **LA MAISON :**

1. À l'aide du gabarit ci-dessus, tracer les contours de la maison et du toit, sans oublier une languette d'environ 5 mm. Tracer en pointillé les plis à faire.
2. Découper aux ciseaux la maison et le toit. Découper au cutter la fenêtre du toit (conserver la chute de carton de la fenêtre)
3. Presser la tranche d'une règle sur le carton pour faciliter le pliage. Former la maison et le toit en pliant sur les pointillés
4. Déposer de la colle le long de la languette de la maison et la fermer. Coller le toit sur la maison.

### **LA CELLULE SOLAIRE :**

1. Dévisser les écrous et enlever les rondelles de la cellule. Replacer les écrous sans les visser jusqu'au bout.
2. Enrouler par la gauche (sens des aiguilles d'une montre) chaque câble autour des vis. Remettre les écrous et les visser sur le câble enroulé. Faire serrer avec une pince par un adulte. Pour vérifier que les écrous sont bien vissés : les câbles doivent être maintenus par les écrous et ne plus bouger lorsque l'on tire dessus.
3. Poser la cellule sur le toit. Tirer les câbles à l'intérieur de la maison et les faire sortir par l'un des deux trous du panneau Isorel.

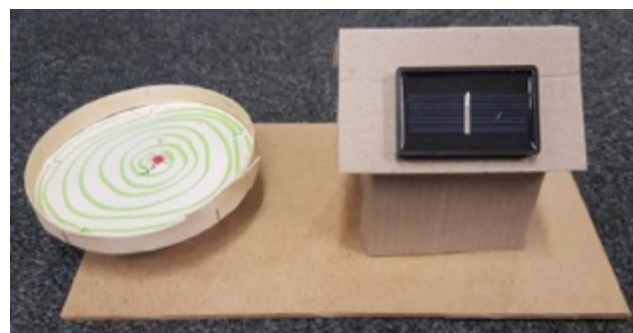
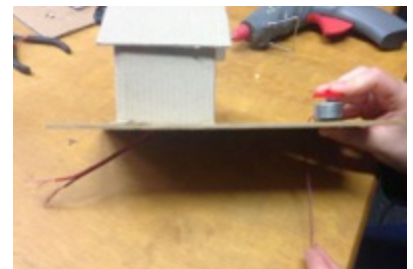
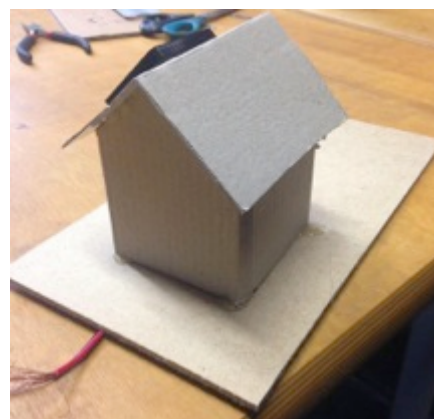
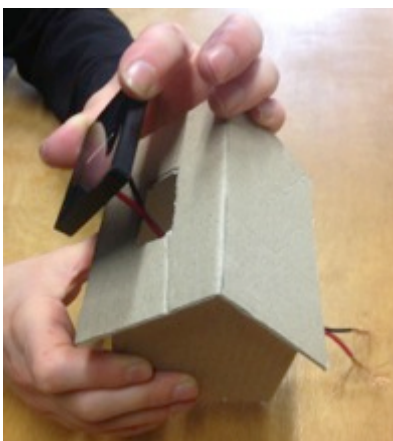
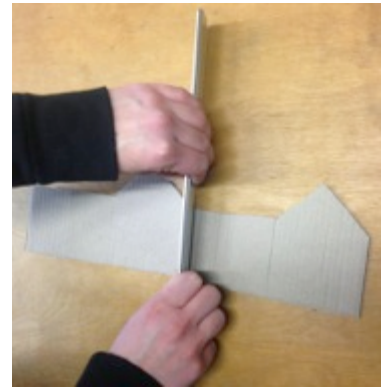
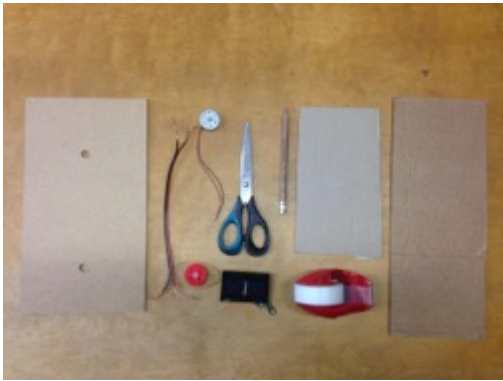
### **L'ASSEMBLAGE :**

1. Couper en deux le morceau de carton conservé lors du découpage du toit de la maison. Coller les deux carrés l'un sur l'autre et les placer à côté du second trou de la planche Isorel. Déposer le moteur dessus et faire passer ses câbles dans le trou. Fixer le moteur avec de la patafix.
2. Réaliser les branchements : enrouler les fils du moteur sur les fils de la cellule (noir avec noir et rouge avec rouge). Placer du scotch sur les câbles pour les isoler et les maintenir.

### **LE MANÈGE :**

1. Percer un trou au centre de la boîte à camembert du diamètre du réducteur. Enfiler le réducteur d'un côté et la roue dentée de l'autre de la boîte à camembert, puis poser la boîte à camembert sur l'axe du moteur.
2. Distribuer le rouleau de papier toilette pour le coller sur la boîte à camembert.  
→ **Vérifier si la maquette fonctionne, au soleil si possible, sinon sous une lampe puissante !**

Etapes principales en image



## b. L'installation photovoltaïque raccordée au réseau

Le générateur photovoltaïque distribue de l'énergie électrique sur le réseau au plus près des besoins.

Il n'est pas utile de stocker l'électricité car cette énergie sera consommée à travers le réseau électrique par plusieurs utilisateurs.

C'est une production d'électricité locale et non polluante pour ses besoins personnels et d'autres utilisateurs reliés au réseau.

**Le courant électrique généré peut être autoconsommé ou vendu sur le réseau.**

### L'installation

Un système électrique solaire raccordé au réseau comprend au minimum un **module photovoltaïque**, un **onduleur**, un **compteur** et un **disjoncteur**.

L'onduleur est spécialement conçu pour transformer le courant électrique d'après les caractéristiques rigoureuses du réseau.

Pour l'électricité injectée sur le réseau (qui n'a pas été autoconsommée), le compteur servira à facturer ce service à un fournisseur d'énergie.

### Combien d'électricité peut-on produire ?

La production annuelle d'électricité d'une installation solaire dépend :

- de l'ensoleillement annuel du site comme nous l'avons vu précédemment.
- d'un facteur de correction calculé à partir de l'écart d'orientation par rapport au sud, de l'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontal et le cas échéant des ombrages relevés sur le site.
- des performances techniques des modules et de l'onduleur.

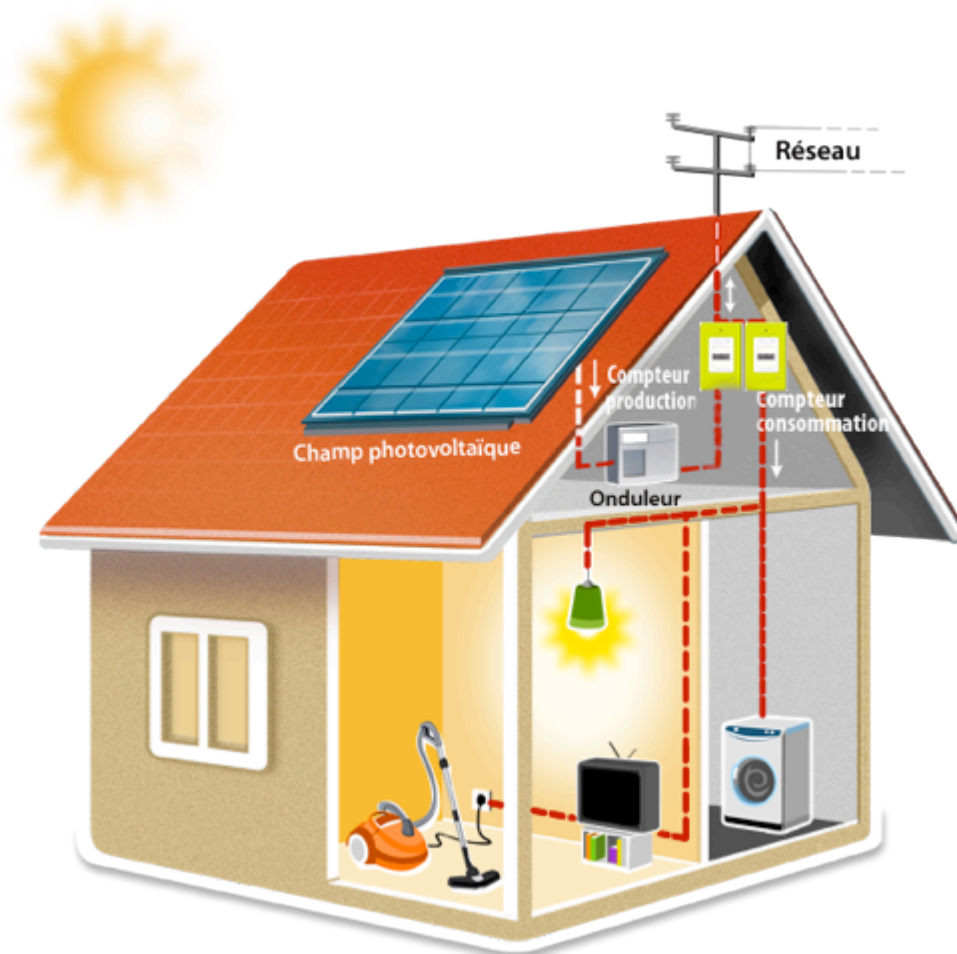
## Activité n°2 - Exercice

# La maison photovoltaïque

Le schéma de la page suivante (à la suite de la solution, qui est donnée ci-dessous) montre une maison photovoltaïque, équipée de générateurs photovoltaïques. Distribuez ce schéma aux participant-es avec la consigne suivante :

Rechercher l'emplacement de ces différents appareils :

- Le champ photovoltaïque
- L'onduleur
- Le compteur de production
- Le compteur de consommation
- Le réseau
- Les appareils électriques



La maison photovoltaïque / Source : Hespul

## FICHE EXERCICE

### La maison photovoltaïque



La maison photovoltaïque / Source : Hespul

**Rechercher l'emplacement de ces différents appareils :**

- (1) le champ photovoltaïque (PV), (2) l'onduleur, (3) le compteur de production, (4) le compteur de consommation, (5) le réseau et (6) les appareils électriques



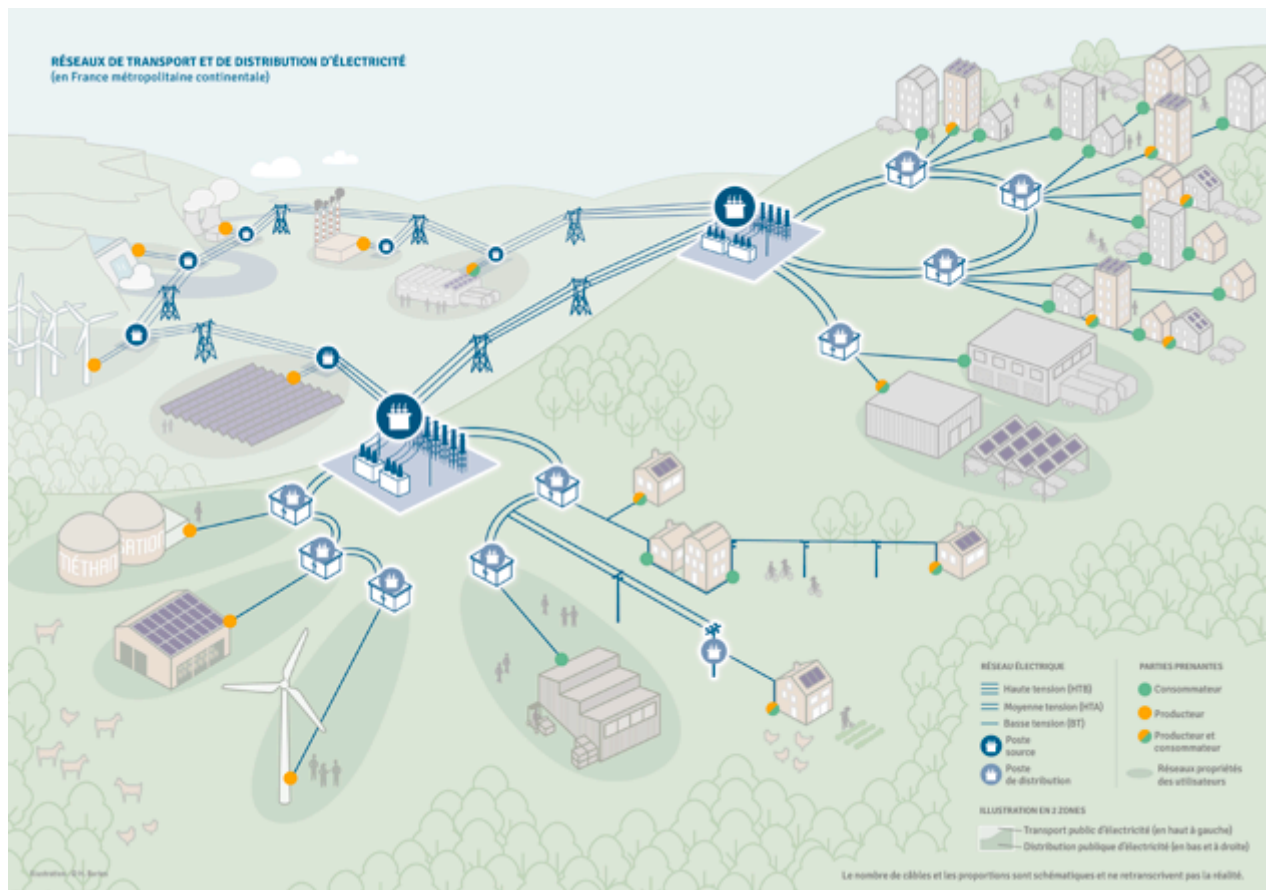
## Activité n°3 - Exercice

# La production centralisée et décentralisée de l'électricité

À la page suivante, (à la suite de la solution, qui est donnée ci-dessous), une illustration décrit les réseaux de transport et de distribution d'électricité. Distribuez le schéma avec la consigne suivante :

Sur cette illustration, entourez les différentes parties prenantes :

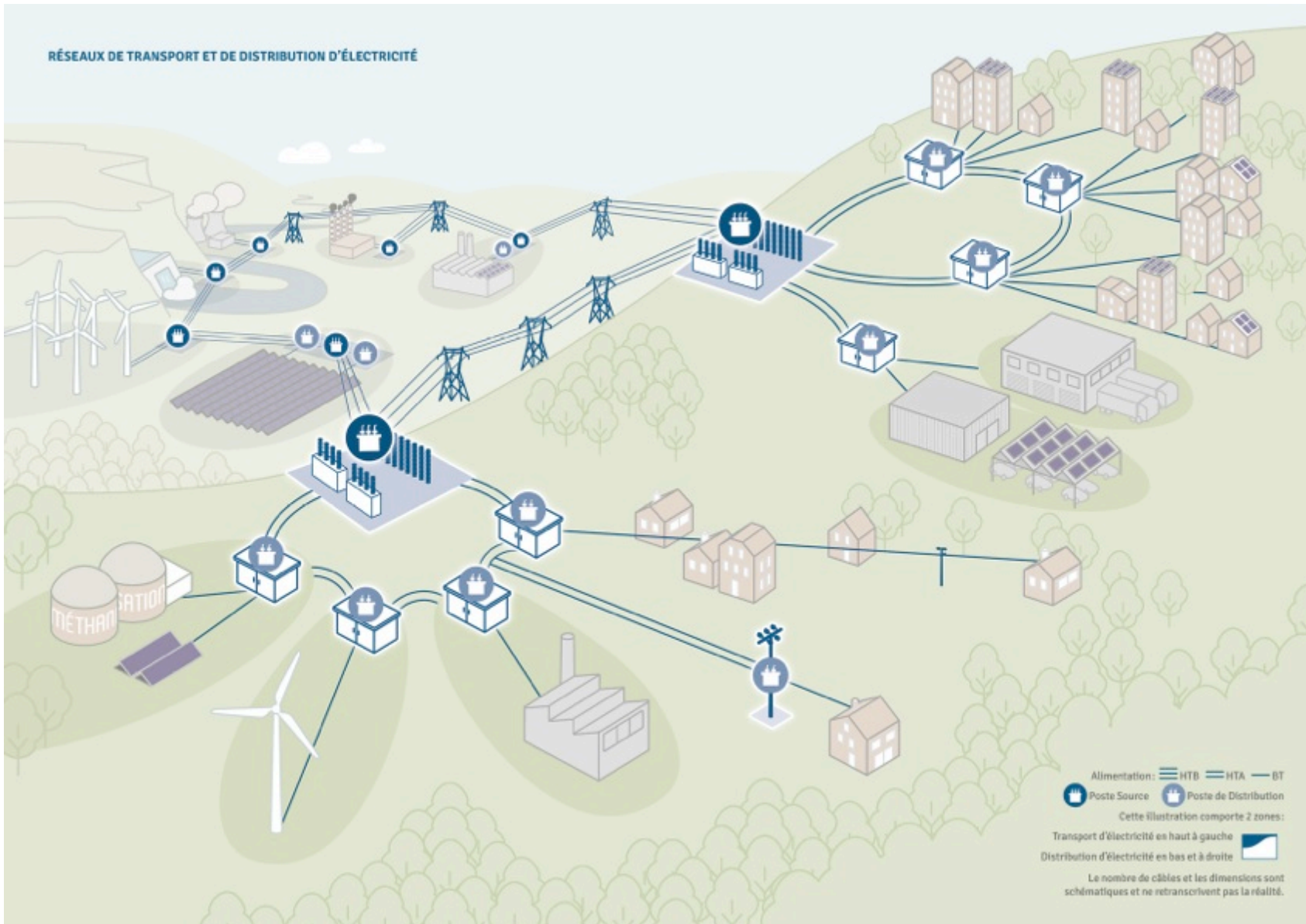
1. En rouge les producteur(s) d'énergie électrique
2. En vert les consommateurs d'énergie électrique
3. En rouge et vert les producteur(s) & consommateur(s) d'énergie électrique



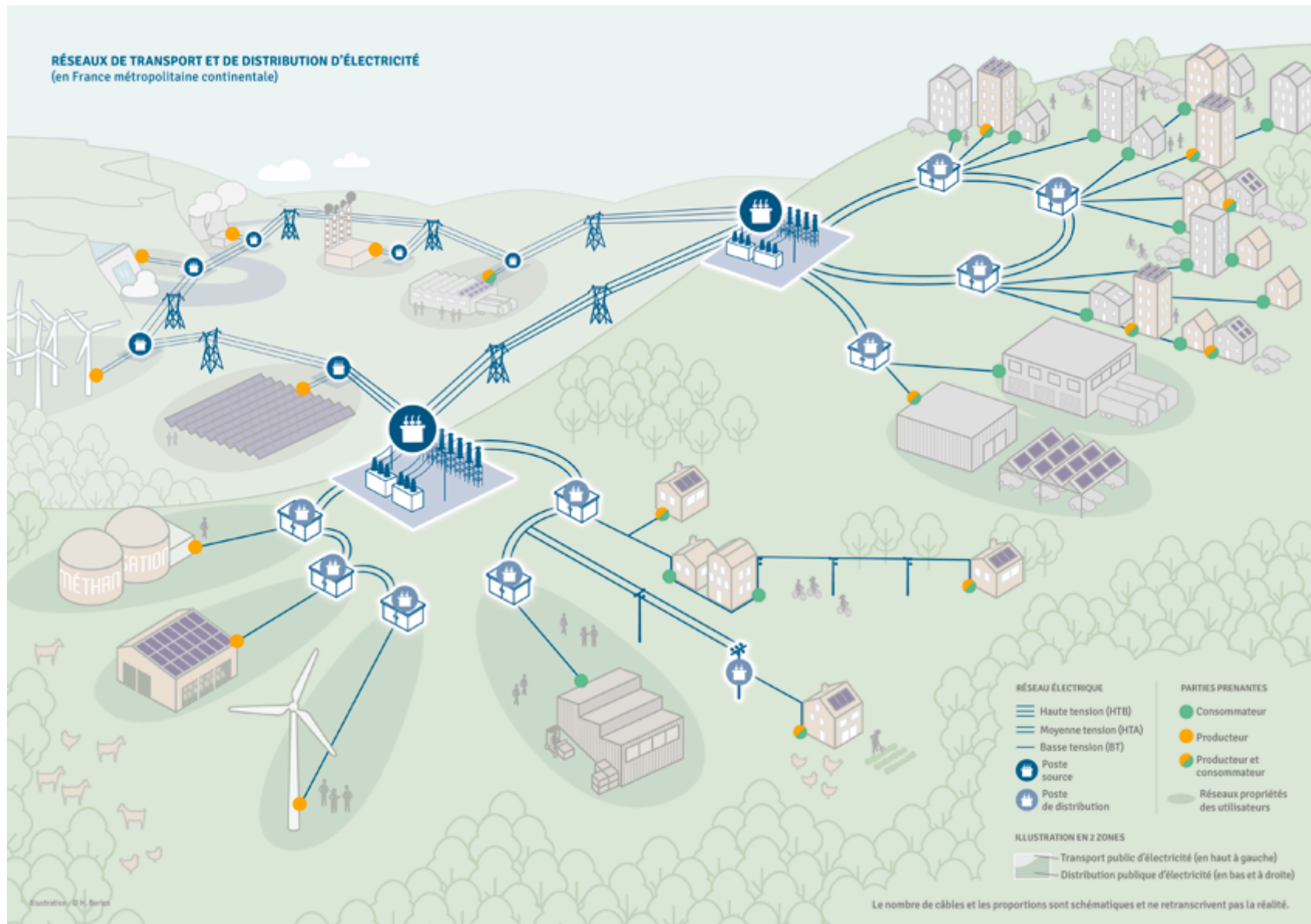
Source : Hespul / Hélène Bories

## FICHE EXERCICE

### PRODUCTION CENTRALISÉE ET DÉCENTRALISÉE D'ENERGIE ELECTRIQUE



## SOLUTION DE L'EXERCICE





## c. Les applications architecturales



**Tuiles photovoltaïques**



**Une verrière photovoltaïque**



**Une casquette photovoltaïque**



## Chapitre 5

### Et si on se racontait des histoires

---

#### a. Les « ragots » du photovoltaïque

- Activité n°1 : Jeux de cartes

#### b. La progression du photovoltaïque

- Activité n°2 : Comparer les graphismes

#### c. Il était une fois en France

- Activité n°3 : Se raconter des histoires



## a. Les « ragots » du photovoltaïque

Le photovoltaïque est souvent victime de nombreux préjugés et d'idées reçues. En France, cette technologie n'est pas appréciée à sa juste valeur, comparée à tort avec les centrales thermiques et même nucléaires.

Pourtant, parmi toutes les sources d'électricité renouvelables, le photovoltaïque offre de nombreux avantages :

- La technologie est exploitable pratiquement partout car la lumière du soleil est disponible dans le monde entier.
- L'équipement de production peut être installé à proximité du lieu de consommation, évitant ainsi les pertes d'électricité dans le transport.
- La taille des installations peut facilement être ajustée selon les besoins et les moyens.
- Le fonctionnement n'émet pas de rejets gazeux ni de substances indésirables pour produire de l'électricité.
- La maintenance et les réparations sont minimales car aucune pièce mécanique n'est en mouvement.

Par conséquent, le photovoltaïque est particulièrement bien adapté à l'intégration dans la plupart des bâtiments, quel que soit leur usage (habitations, bureaux, entreprises, centres commerciaux,...) ou pour couvrir des surfaces de parkings et parfois même des friches agricoles ou industrielles.

Les questions récurrentes posées sur les énergies renouvelables sont pertinentes même si elles sont trop souvent posées comme des aprioris ou qu'elles ressemblent à une rumeur qui se propage. Les systèmes photovoltaïques en font les frais sans doute à cause de la complexité du marché, des offres commerciales parfois peu sérieuses, des réglementations françaises illisibles pour développer cette filière.

Si le photovoltaïque nous fait donc raconter des histoires, sachons « séparer le bon grain de l'ivraie » comme nous le rappelle ce vieux proverbe.

# Activité n°1 – Jeux de cartes

## Les idées reçues

### Matériel

- Photocopiez et découpez les 6 cartes ci-jointes

### Instructions

- Le jeu de cartes permet de vérifier des connaissances à partir d'idées reçues sur le photovoltaïque

### Animation

Introduction : Demander aux participant·es de partager leurs questions sur le photovoltaïque. Pour les aider, leur proposer de compléter les phrases suivantes : « j'ai entendu dire que... », « il paraît que... », « on m'a dit que... »

#### **Variante 1**

Disposez les six cartes en tas sur la table avec la question face visible.  
A tour de rôle, chacun prend une carte et pose la question aux autres personnes.

#### **Variante 2**

Toutes les cartes peuvent être distribuées et chaque personne pose sa question à tour de rôle.

#### **Variante 3**

Les cartes peuvent tourner dans les mains des participant·es pour découvrir les questions et les réponses.

Chaque carte doit faire l'objet d'un commentaire avec l'animateur·trice pour s'assurer que tous les participant·s aient compris l'idée reçue de la carte et la réponse correspondante.

Je suis obligé de vendre ma production d'électricité solaire

VRAI ? - FAUX ?

Les panneaux photovoltaïques sont recyclables à 90 %

VRAI ? - FAUX ?

Il faut plus d'énergie pour fabriquer les panneaux qu'ils n'en rapportent

VRAI ? - FAUX ?

Les panneaux solaires ne produisent pas d'électricité la nuit quand on en a besoin.

VRAI ? - FAUX ?

La neige empêche les panneaux de produire de l'électricité

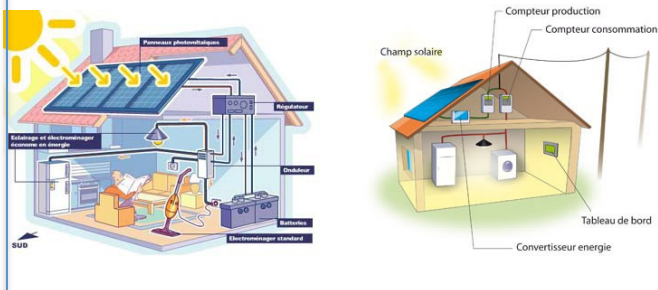
VRAI ? - FAUX ?

Les panneaux photovoltaïques produisent même s'il y a des nuages

VRAI ? - FAUX ?

## Faux

Le contrat de raccordement avec Enedis est obligatoire mais pas le contrat de vente.  
Il est aussi possible d'être en totale autonomie avec des batteries sans se raccorder au réseau. Dans ce cas pas de contrat avec Enedis.



## Vrai

Aujourd'hui le taux moyen de recyclage est de **90 %** avec des taux allant jusqu'à 97 %.  
Les modules PV seront recyclés par **PV Cycle** suivant leur technologie.  
Depuis 2005, les fabricants d'onduleurs doivent, dans le respect de la directive des D3E réaliser à leurs frais la collecte et le recyclage de leurs produits.  
Suite à la révision en 2012 de cette directive, les fabricants des panneaux photovoltaïques doivent respecter les obligations de collecte et de recyclage des panneaux, à leur charge.



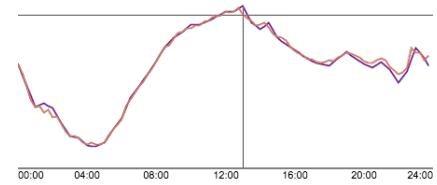
## Faux

Temps de retour pour une installation solaire en Europe  
Il faut environ 3 ans pour l'irradiation moyenne en Europe  
(Soit une installation 1 kW dans le Rhône 3 x 1 000 kWh = 3 000 kWh)



## Faux

Courbe de charge de la journée du 1 septembre 2017 – source RTE



Le photovoltaïque a comme avantages pour le réseau d'avoir :

- une production pouvant être proche des lieux de consommation lorsque les installations sont sur toitures ou parkings, donc une réduction des besoins de développement du réseau
- une production largement prévisible et demandant peu d'exploitation et maintenance ;
- une production en phase avec la consommation :  
en été, la période de pointe en France dure de 9h à 15h.

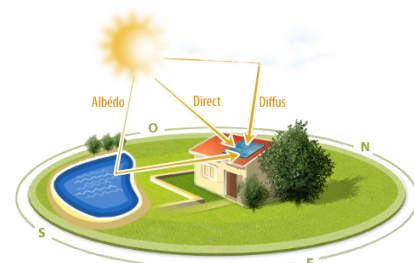
## Vrai

La neige va agir comme un cache.  
S'il est uniforme la production est égale à zéro.



## Vrai

Le direct, le diffus et l'albédo influencent la production des panneaux



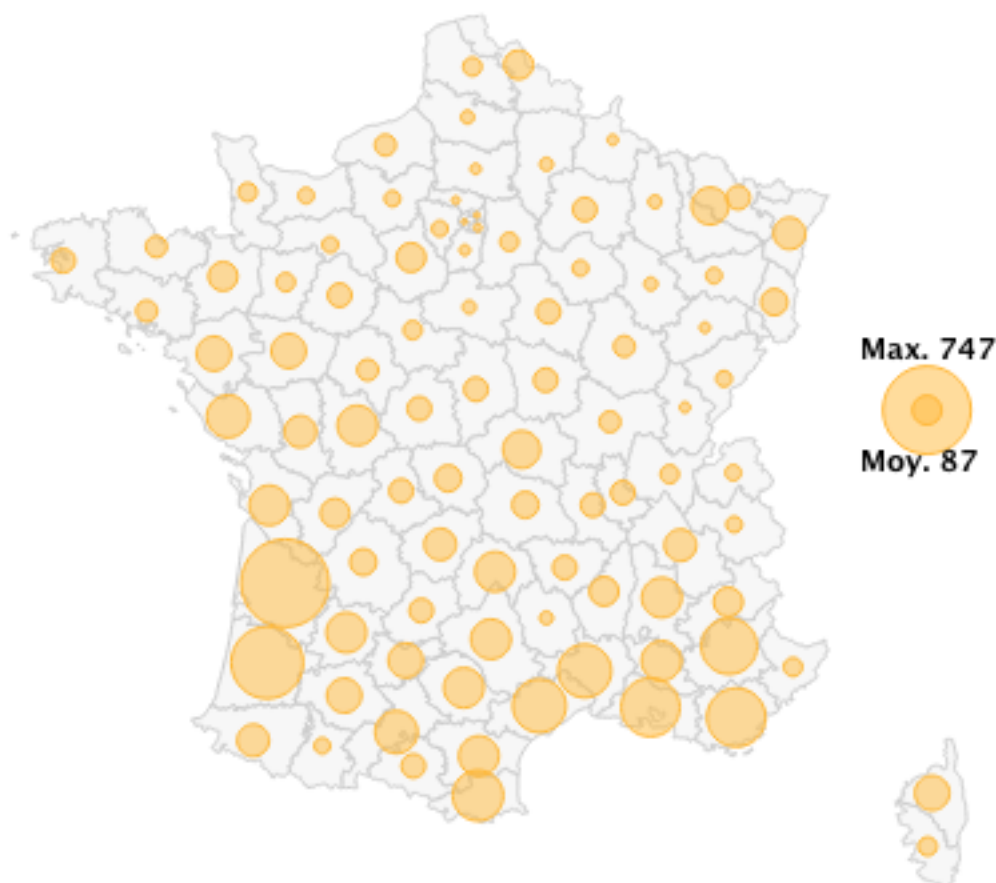


## b. La progression du photovoltaïque

La vision du développement de cette filière énergétique est possible grâce à la diffusion de plusieurs données :

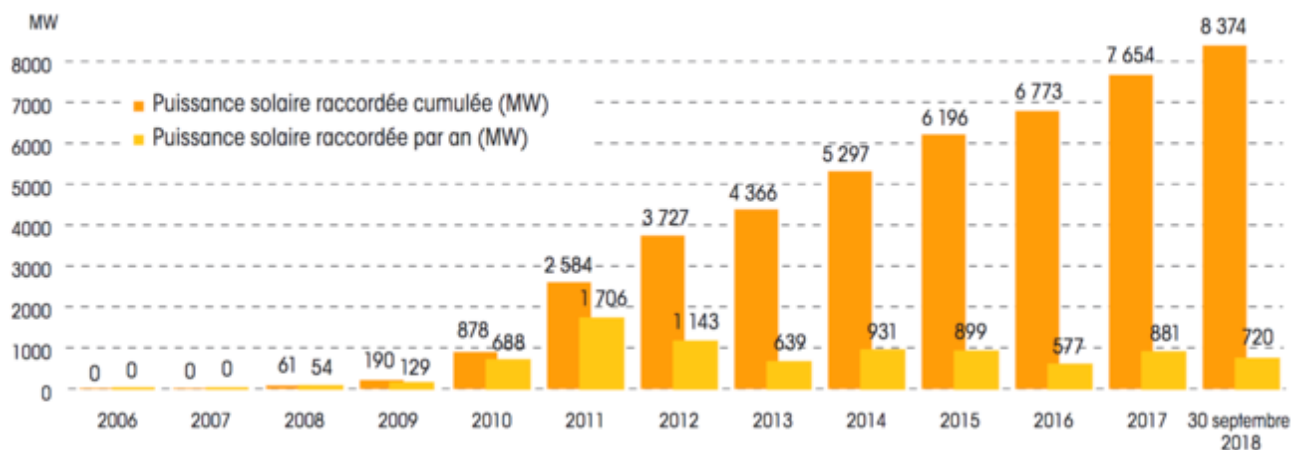
- Les bilans électriques de la **Direction Générale Energie Climat (DGEC)**, du **Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)** et du **Service de l'observation et des statistiques (SOeS)**, rattachés au Ministère de la transition écologique et solidaire.
- Les publications gestionnaires de réseau de distribution, principalement **Enedis**.
- Les publications des données consolidées de la production photovoltaïque en France métropolitaine par le gestionnaire de **réseau de transport RTE**.

Ces données sont analysées par différents organismes dont Observ'ER, France Territoire Solaire, le cabinet de Kurt Salmon, le Syndicat des Energies Renouvelables, Enerplan.



Puissance solaire photovoltaïque totale raccordée par département au 30 septembre 2018 en MW  
Source : SDES d'après Enedis, RTE, EDF-SEI, CRE et les principales ELD

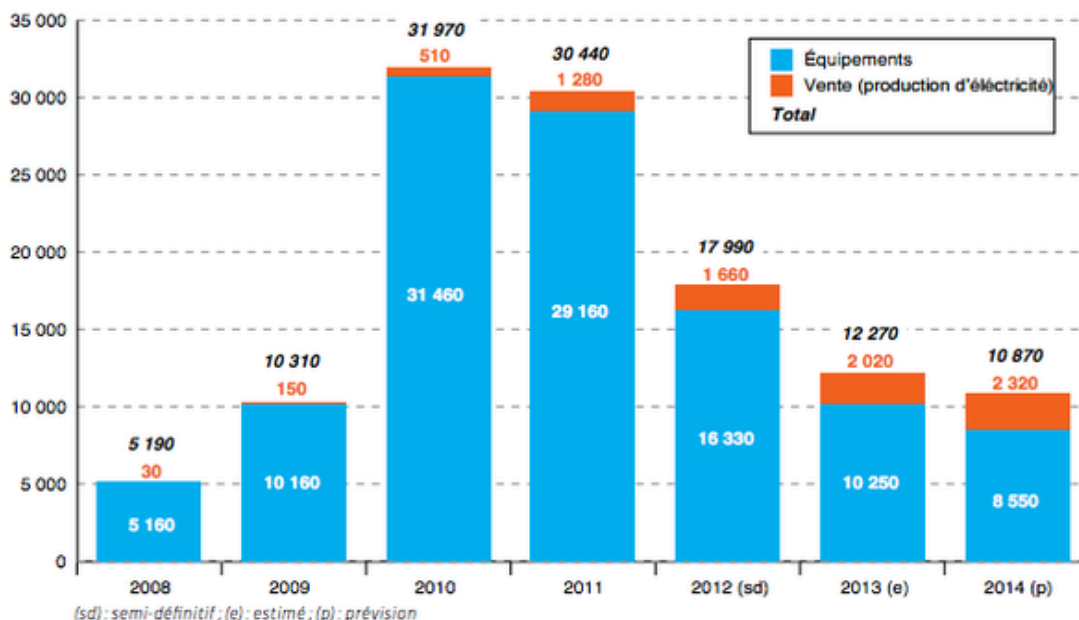
### Evolution de la puissance solaire raccordée (MW)



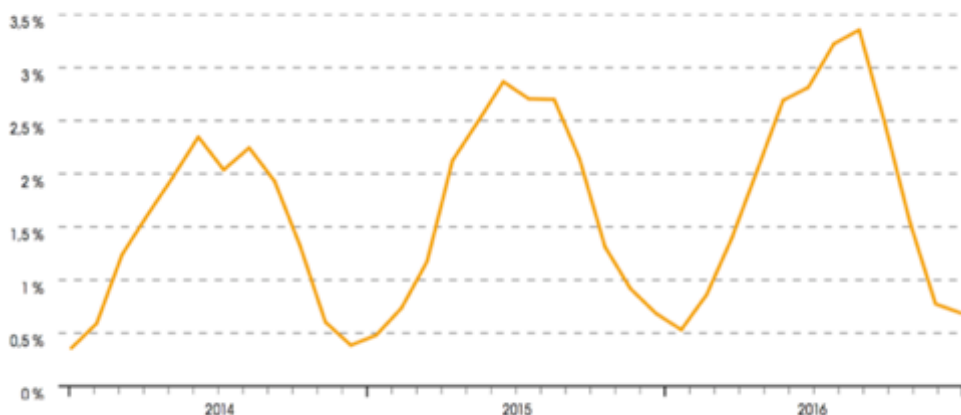
Panorama de l'électricité renouvelable en 2016 / Source : RTE/SER/ERDF/ADEeF

### Chiffres d'emplois directs dans le secteur du photovoltaïque

Source : Ademe 2014



### Couverture mensuelle de la consommation par la production solaire



Chaque barre sur la ligne des abscisses correspond au mois de l'année en commençant par janvier  
Source : Panorama enr fin septembre 2018

## Activité n°2 – Exercice

# Comparer les graphiques

### Matériel

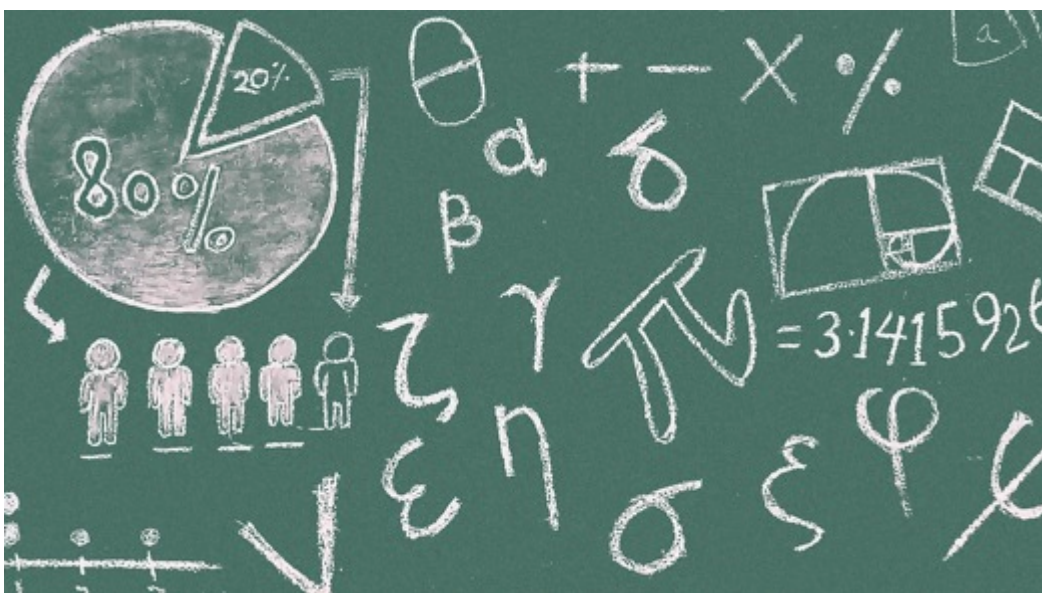
- Photocopier le graphique sur la production cumulée dans le monde ainsi que les graphiques présentés précédemment.
- Règles avec mesure + stylos

### Instructions

1. Distribuer les graphiques à chaque participant·e.
2. Sur le graphique « Puissance cumulée photovoltaïque dans le Monde », ajouter à droite la puissance cumulée de la France en 2014.

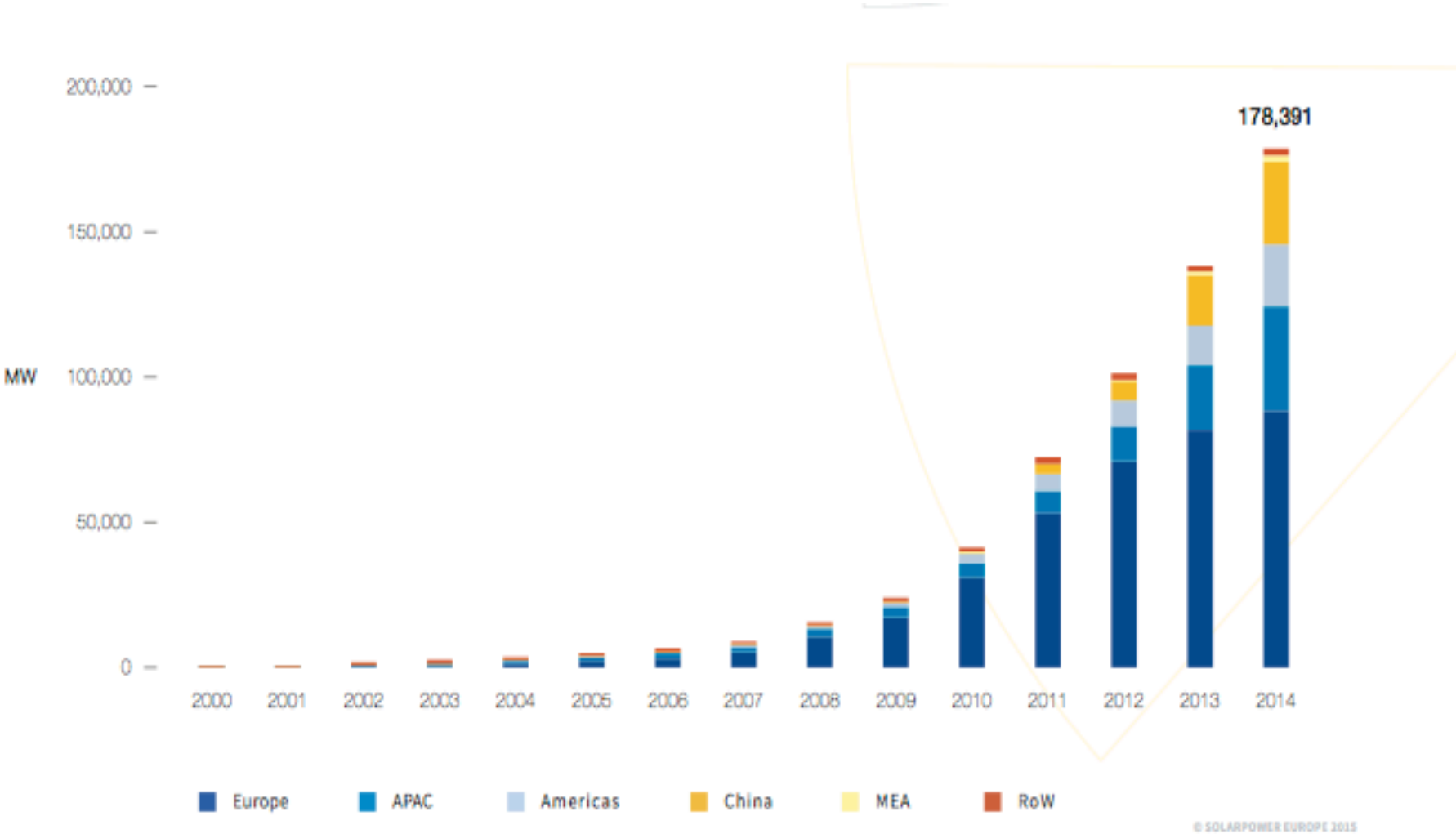
### Animation

- Tirer les lignes nécessaires en dessous des 50 000 MW pour ajouter la colonne de la France qui est égale à 8 374 MW.
- Comparer les évolutions et discuter sur la compréhension des graphiques.



# Puissance cumulée photovoltaïque dans le Monde

Source : SolarPower Europe (GLOBAL MARKET OUTLOOK FOR PHOTOVOLTAICS UNTIL 2019)



## c. Il était une fois au pays de l'Ain...

Il était une fois dans le département de l'Ain, une grosse machine nucléaire qui s'appelait Superphénix. Cette grosse machine nucléaire était un surgénérateur qui consommait beaucoup d'électricité pour refroidir ses ardeurs mais n'arrivait même pas à produire cette électricité tant désirée. Elle voulait tellement être la plus grosse machine qu'elle risquait à tout moment d'inonder le pays de l'Ain de ses crachats radioactifs.

Un jour, sur la colline d'en face, un groupe d'opposant-es à l'affreuse machine nucléaire décidèrent de lui montrer qu'il n'est pas utile d'être gros pour produire de l'électricité. Ils posèrent sur le toit d'un cabanon un ensemble de panneaux photovoltaïques qu'ils raccordèrent au réseau électrique.

**En France, le premier système photovoltaïque raccordé au réseau est né à Lhuis, au pays de l'Ain, alors qu'il existait déjà de nombreuses installations dans d'autres pays. C'était en l'an 1992. Ce générateur électrique fonctionne toujours en produisant chaque année ses kWh d'électricité solaire.**



Phébus n°1 est le nom du premier toit solaire raccordé au réseau en France

Quant à Superphénix, la grosse machine nucléaire qui a coûté des milliards d'euros pour sa construction et sa gestion, continue à coûter « un max de pognon » pour son démontage depuis l'an 1997. Et ce n'est pas fini !

Créée en 1991, l'association Phébus a installé et mis en service en juin 1992 le premier toit solaire en France, d'une puissance de 1 kWc (10m<sup>2</sup>). En 2001 l'association change de nom pour s'appeler désormais par le mystérieux nom de HESPUL...





# Activité n°3 – Exercice

## Se raconter des histoires

### Matériel

- Photocopier la légende des indiens Yamanas
- Feuille de papier et stylos

### Instructions

- Conter une ou deux fois la légende du moineau chaman

### Animation 1

- Proposer aux participant·es d'écrire un conte solaire avec leur imaginaire en s'aidant de quelques mots clés :

Soleil, solaire, lumière, énergie, électricité, énergie renouvelable, transition énergétique, etc...

(il n'est pas utile que tous ces mots figurent dans le conte. Chacun·e utilise les métaphores qu'il souhaite créer et animer).

### Animation 2

#### **La courbe du soleil**

- A partir de la courbe du soleil de Lyon, page 17, repérer l'aube et le crépuscule
- Si l'aube et le crépuscule n'existaient pas, comment serait cette courbe ?

#### **La Terre de Feu**

Sur quel parallèle se trouve la Terre de Feu ?

#### **Variante 1**

Imaginer la courbe d'évolution du soleil à cet endroit de la planète.

#### **Variante 2**

Observer la courbe de la Terre de Feu et expliquer pourquoi elle est différente de celle de Lyon

## La naissance de l'aube et du crépuscule

*(D'après une légende des indiens Yamanas qui peuplaient autrefois la Terre de Feu, proche du cap Horn.)*

*En ce temps-là, il y avait la nuit, et puis il y avait le jour, tous deux se succédaient sans aube ni crépuscule. Une fois, les hommes trouvèrent une baleine échouée sur la grève, tout près du Cap Horn.*

*Ils la dépecèrent, la découpèrent et ils firent cuire l'immense tas de viande et de graisse, providentielles provisions.*

*Tout affairés, ils ne voyaient pas - ou ils ne voulaient pas voir - que Hespul était parmi eux. Hespul, le grand chaman Moineau.*

*Personne, non, personne ne se souciait de lui offrir quelque présent, de l'aider même simplement à se découper quelques morceaux de viande. Rien.*

*C'était comme s'il n'était pas là. Certains même dans leur quête enfiévrée le bousculèrent, l'apostrophèrent :*

*- Oh, le Vieux, écarte-toi du passage.*

*C'en était trop ... Vers midi, le soleil étincelait au plus haut du ciel et, tout à coup, ce fut la nuit, le noir absolu.*

*Terrorisés, accablés, les gens n'osaient dire un mot, faire un geste. Alors au milieu des ténèbres s'éleva la voix du chaman :*

*- Oui c'est moi Hespul le Moineau. Vous m'avez méprisé, vous m'avez bousculé. Alors par ma magie, c'est la nuit la plus noire qui est tombée sur vous, pour toujours.*

*Alors les plumes et les ailes lui poussèrent et Hespul le Moineau voulut s'envoler, laisser les hommes dans la nuit éternelle. Mais ils le supplièrent, le cajolèrent, se confondirent en excuses, pleurèrent des larmes d'humilité retrouvée, promirent de vénérer à nouveau Hespul le grand chaman.*

*Alors seulement, Hespul le Moineau se laissa attendrir et revint sur sa malédiction. La tête parée de ses plumes de moineau, le corps peint en blanc, une ligne rouge tracée sur son visage, Hespul le Moineau dansa lentement en cercles concentriques, entonnant son chant de l'est.*

*Peu à peu, très lentement, la nuit s'effaça pour laisser place au jour. Tout doucement.*

*Depuis, tous les matins, Hespul le Moineau entame son chant de l'est « piou-piou-piou » et lentement, à travers l'aube, il appelle le jour et efface la nuit.*

*Il le fait sans se presser afin que les hommes aient peur chaque jour et se souviennent qu'il faut respecter le grand chaman Hespul le Moine*

# Chapitre 6

## Des actions citoyennes et pédagogiques

---

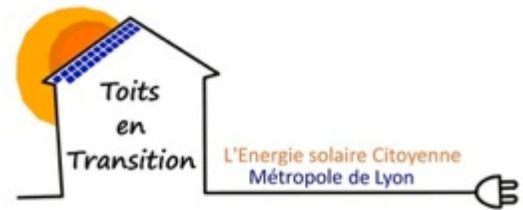
- a. Toits en transition
- b. Des précurseurs sur la Métropole de Lyon



Sociétaires de la SCIC Citoy'enR, 1er anniversaire de la coopérative et inauguration de sa 1ere toiture solaire à L'Union (Haute-Garonne) le 23 juin 2018 / Photo : Marc Mossalgue

## a. Toits en transition

Toits en Transition est une association créée au mois de mai 2015 à l'initiative d'un collectif de citoyen·nes bénévoles partageant la volonté de développer localement les énergies renouvelables. L'objectif de l'association est d'inciter les habitant·es de l'agglomération lyonnaise à s'impliquer dans la transition énergétique en participant à la réalisation d'installations photovoltaïques sur la Métropole de Lyon.



L'association propose également des actions de sensibilisation sur les questions énergétiques, notamment auprès des jeunes générations.

Les installations photovoltaïques sont financées collectivement par les citoyen·nes et tous les acteurs·trices qui le souhaitent. Ces générateurs solaires sont mis en service sur les toitures de bâtiments publics ou privés dans diverses communes de la Métropole lyonnaise. Les installations sont réalisées, financées et exploitées à l'aide d'une société locale : la SAS coopérative « **Un Deux Toits Soleil** ».

La coopérative loue les toits aux propriétaires et se rémunère en vendant l'électricité produite à un fournisseur d'électricité. Cet engagement citoyen d'appropriation de l'énergie est accessible au plus grand nombre avec une première part sociale à 50€. Particuliers, collectivités, entreprises peuvent rejoindre la coopérative.

Contact : <https://toitsentransition.weebly.com/>





## b. Des précurseurs sur la Métropole de Lyon

### L'école Château Gaillard à Villeurbanne

En juillet 2000, une première école sur la métropole lyonnaise était équipée d'une installation photovoltaïque de 2 kW avec des panneaux de la marque Photowatt, fabriqués à Bourgoin-Jailleu. C'est à l'initiative du Conseil de quartier des Buers que cette installation photovoltaïque a pu voir le jour. La proposition a été faite à la mairie de se porter candidate pour bénéficier du programme européen que l'association Hespul avait lancé à l'époque. La municipalité a accepté de financer le solde du projet avec une participation du Conseil Régional de Rhône-Alpes.

Le compteur électromagnétique de l'époque tournait à l'envers lorsque les panneaux photovoltaïques produisaient de l'électricité. L'électricité produite était ainsi automatiquement déduite de la consommation.



L'école Château Gaillard à Villeurbanne / Source : Google Maps



# Chapitre 7

## Des outils pour une éducation à l'énergie solaire

---

### a. Documentation

### b. Fournisseurs de petits matériels



## a. Documentation

### Sites internet

**Centre de ressources sur le photovoltaïque**

[www.photovoltaique.info](http://www.photovoltaique.info)

**Dossier sur Mtaterre**

<https://www.mtaterre.fr/dossiers/comment-ca-marche-lenergie-solaire>

<https://www.mtaterre.fr/dossiers/sur-la-route-de-lelectricite>

**Energies renouvelables : En finir avec les idées reçues**

<http://www.hespul.org/energies-renouvelables-en-finir-avec-les-idees-recues/>

**Le jeu en ligne ECOVILLE et ses ressources pédagogiques**

<http://ecovillelejeu.com/>

**Cadastre solaire de la Métropole de Lyon**

<https://www.grandlyon.com/services/cadastre-solaire.html>

**Explication détaillée d'un relevé de masque :**

[http://www.sigma-tec.fr/textes/texte\\_masque\\_ombres.html](http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_masque_ombres.html)

**Evaluer mon devis photovoltaïque**

<https://evaluer-mon-devis.photovoltaique.info/>

**Réseau pour la transition énergétique**

<https://cler.org/>

**Luc Schuiten – Cité Végétale**

<https://www.vegetalcity.net/>



[www.hespul.org](http://www.hespul.org) est le site de l'association HESPUL. Informations et actualités sur la transition énergétique sont mises à jour régulièrement. Une rubrique « Education et Sensibilisation » présente des dispositifs d'animation.

## Films

### Film « les voleurs de feu »

<https://www.brigittechevet.fr/films/les-voleurs-de-feu/>

Suite à un moratoire décrété fin 2010, la filière de l'énergie solaire a perdu d'un coup plus de 15 000 emplois en France. Et depuis, elle a bien du mal à se remettre de ce coup dur. Pourtant, dans les années 70, notre pays était l'un des plus en pointe au monde sur la recherche solaire !

### 3 petits cochons

<https://bit.ly/2V9Dgyp>

Michaela HUBER, concours de court-métrages CLER Obscur, 2012

Trois petits cochons habitent dans un pays gouverné par le Géant de l'énergie. Ils doivent régler des factures énergétiques toujours plus élevées...

### Rendez-vous avec la force – Ma petite planète chérie

<https://bit.ly/2Eode5j>

Jacques-Rémy GIRERD, production FOLIMAGE, France 3, Canal

Les enfants vont faire connaissance avec « la Force » qui peut fournir beaucoup d'électricité mais qui est alors très gourmande en ressources énergétiques.

## Livres

### Le Soleil, notre étoile

Pål BREKKE , Jean-Claude VIAL, CNRS éditions juin 2013

Comment s'est-il formé ? Quelle est sa structure ? Comment l'observe-t-on ?

Quelles sont les nombreuses interactions entre lui et la Terre ? Comment influe-t-il sur nos existences, nos technologies ?

### Les lumières et les hommes

Revue Raison présente n°196, 4<sup>o</sup> trimestre 2015

### Publications sur le photovoltaïque

<https://bit.ly/2XhNsqr>

Posters, guides pratiques, revues régulièrement mises à jour

### L'énergie à petits pas

François Michel, Actes Sud Junior, 2007

D'où vient l'énergie ? Quelles sont ses sources ? Pour demain, saurons-nous préserver notre planète et ses ressources ?

### Energies renouvelables : en finir avec les idées reçues !

<https://bit.ly/2GSjB2c>

11 fiches thématiques pour tirer le vrai du faux sur les énergies renouvelables.

Réseau Action Climat, le Clerc, Hespul, 3<sup>ème</sup> édition, 2015

## b. Fournisseurs de matériels

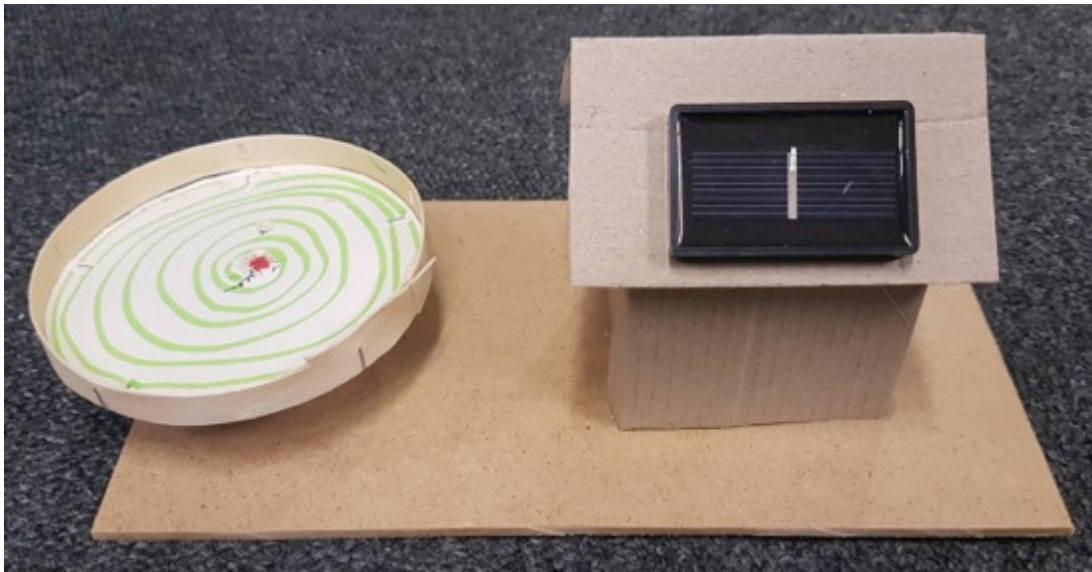
Ces entreprises proposent du petit matériel photovoltaïque par correspondance. Demandez un catalogue pour connaître leurs produits.

### **OPITEC**

64 rue DeFrance, 94 307 Vincennes cedex  
[www.opitec.com](http://www.opitec.com)

### **PIERRON éducation**

2 rue Gutenberg, 57206 Sarreguemines cedex  
[www.pierron.fr](http://www.pierron.fr)







- ▼ **TARIFS D'ACHAT**  
et autoconsommation
- ▼ **PRÉPARER**  
un projet
- ▼ **RÉALISER**  
une installation
- ▼ **EXPLOITER**  
une installation

Le site internet [www.photovoltaique.info](http://www.photovoltaique.info) est l'outil phare du Centre national de Ressources sur le PhotoVoltaire (CRPV) porté par HESPUL. Il met à disposition de tous, particuliers, professionnels, collectifs citoyens, décideurs politiques, etc. une information de qualité, fiable et indépendante sur les aspects techniques, économiques et juridiques de la filière photovoltaïque.



HESPUL  
14 place Jules Ferry, 69006 Lyon  
+33 (0)4 37 47 80 90  
info@hespul.org  
www.hespul.org  
Twitter : @hespul