

**Exposition Les défis de l'énergie**



Objets dédiés à l'exploitation pétrolière et gazifière © CSI/Sophie Chivet

Votre visite débute devant une collection d'objets (éolienne, panneaux photovoltaïques, roue Pelton...) qui servent d'entrée en matière et témoignent de la réalité industrielle de l'énergie.

**Jardin d'objets<sup>1</sup>**

- 1 A quelles sources d'énergie les objets présentés à l'entrée de l'exposition sont-ils associés ?

LES OBJETS	SOURCES D'ENERGIE
Trépan et sondes de logging	-> _____
Arbre de Noël et tête de cheval	-> _____
Panneaux photovoltaïques	-> _____
Grappe de combustible nucléaire	-> _____
Eolienne	-> _____
Roue Pelton	-> _____

**Panneaux photovoltaïques**

- 2 Quel est le matériau utilisé pour créer un courant électrique à partir de la lumière solaire ?

le phosphore     le PVC     le silicium

Cité des sciences et de l'industrie



Roue Pelton © CSI/Sophie Chivet

## Éolienne

- 3 Observez les pales de cette petite éolienne. Elle produit de l'énergie dès que le vent atteint 9 km/h et résiste à des vents de plus de 160 km/h, alors que les éoliennes traditionnelles arrêtent leur production à 90 km/h. Pour quelles raisons ?

---

---

## Roue Pelton

- 4 Cette roue Pelton garde la trace de son activité. Ses coupelles appelées « augets » ont été usées par l'eau. La turbine Pelton est adaptée...
- aux hautes chutes
  - aux moyennes chutes
  - aux basses chutes

Vous venez de voir le système énergétique français qui permet de se déplacer, de s'éclairer et de se chauffer. Mais chacun de nous utilise énormément d'énergie par ses consommations d'objets et de services. Avec le multimédia interactif qui suit, découvrez toutes les étapes de la vie d'un objet de consommation courant, le jeans, et les impacts sur l'environnement qui en résultent.

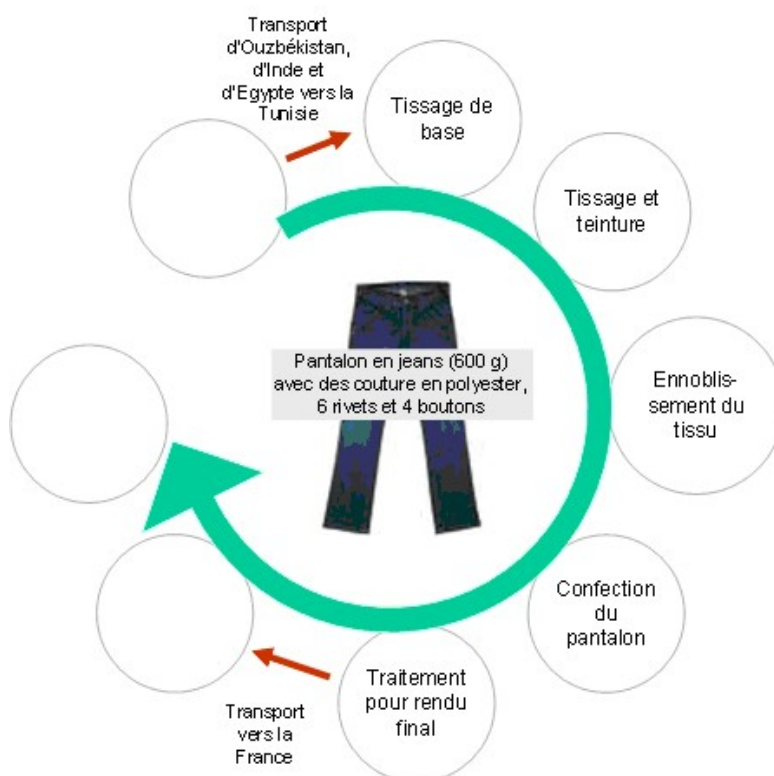
Où est l'énergie ? « Consommations cachées » (multimédia interactif et vitrine d'objets)

5 L'énergie grise, qu'est-ce que c'est ?

6 Combien d'énergie faut-il pour fabriquer et entretenir un pantalon en jean fabriqué en Tunisie avec du coton non-bio?

1 «litre équivalent pétrole»<sup>5</sup>      30 l      60 l

7 La séquence animée de l'exposition présente la contribution énergie tout au long de la vie de ce jean. Le dessin ci-dessous illustre ces étapes, mais il est en parti effacé, précisément là où vous pourriez facilement réduire votre impact sur l'environnement. Complétez-le.



8 Autre objet de consommation courant : le téléphone portable. Quel est son coût énergétique depuis sa fabrication jusqu'à sa fin de vie, pour un scénario moyen d'utilisation de 11 minutes par jour pendant 2 ans ?

1,2 «litres équivalent pétrole»      3,5 l      6,8 l

<sup>5</sup> Unité de mesure qui correspond à la quantité d'énergie produite par 1 litre de pétrole

Qui consomme quoi et combien à l'échelle de la planète, avec quelle efficacité, où sont les réserves, les zones conflictuelles, qui rejette du gaz carbonique, combien, etc. ? Explorez le monde de l'énergie avec le planisphère interactif situé face à l'entrée du cylindre central : Un monde de différences « L'état des lieux planétaire ».

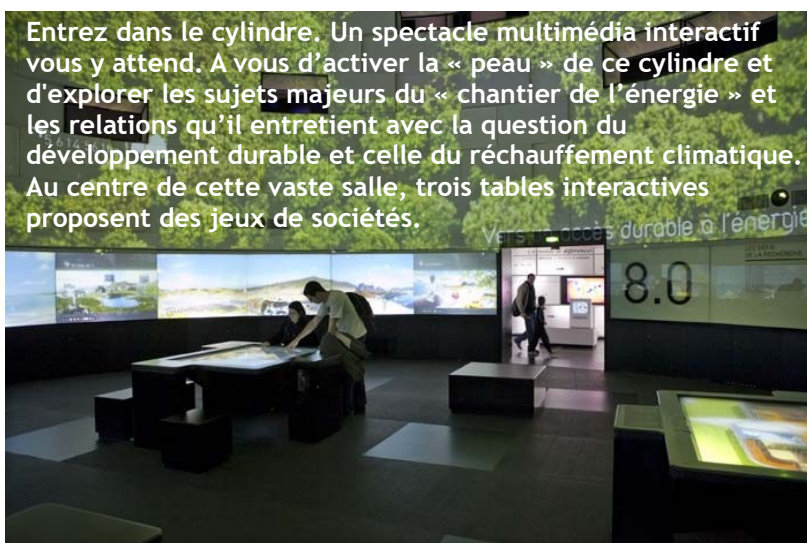
### Un monde de différences « L'état des lieux planétaire » (multimédia interactif)

- 1 En 2008, l'humanité a utilisé plus de 11 milliards de tonnes équivalent pétrole d'énergie primaire. Cela fait une moyenne de 1,78 «tonnes équivalent pétrole» (tep) par habitant, pour 6,5 milliards d'humains. Mais cette moyenne varie selon les régions. Comparez par exemple la consommation d'un africain à celle d'un européen (zone UE), d'un japonais et d'un canadien. Utilisez le bouton « pause » le temps de noter les consommations sur la carte ci-dessous.



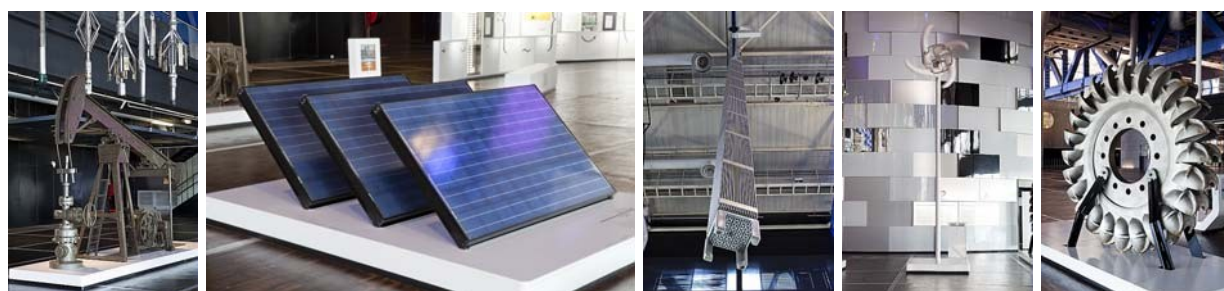
Poursuivez votre exploration du monde de l'énergie avant d'aborder la seconde partie de l'exposition, à l'intérieur du cylindre.

### Entrez dans le cylindre...



Le « chantier de l'énergie » © CSI/Sophie Chivet

# RÉPONSES



## Jardin d'objets

- 1 A quelles sources d'énergie les objets présentés à l'entrée de l'exposition sont-ils associés ?

LES OBJETS	SOURCES D'ENERGIE
Trépan et sondes de logging	-> Pétrole - Gaz
Arbre de Noël et tête de cheval	-> Pétrole - Gaz
Panneaux photovoltaïques	-> Soleil
Grappe de combustible nucléaire	-> Uranium
Eolienne	-> Vent
Roue Pelton	-> Eau

## Trépan et sonde de Logging

- 2 Trépan et sonde de Logging sont destinés à l'exploration pétrolière et gazière. Des deux objets, quel est celui qui attaque la roche lors du forage d'exploration ?

Le trépan      La sonde de Logging

Le trépan attaque la roche en tournant à grande vitesse pour y creuser un puits avant que ne soit descendue la sonde de Logging pour analyser les caractéristiques des roches traversées : porosité, perméabilité, présence et qualité de fluides, etc.

### **Arbre de Noël et tête de cheval**

- 3 Lorsque le gisement est atteint et que la pression est suffisante, les hydrocarbures jaillissent. La lourde pièce que l'on place sur le jet pour capter le pétrole ou le gaz et contrôler leur débit s'appelle...

Arbre de Noël    Tête de cheval

L'« arbre de Noël » ou « tête de puits » est en effet une lourde pièce munie de vannes que l'on place sur le jet, lorsque la pression du gisement est suffisante. Dans le cas contraire, on installe une pompe refoulante aspirante en fond de puits, actionnée par un balancier surnommé « tête de cheval », en raison de son profil caractéristique. La pompe remonte plusieurs litres ou dizaines de litres à chaque va-et-vient.

### **Panneaux photovoltaïques**

- 4 Quel est le matériau utilisé pour créer un courant électrique à partir de la lumière solaire ?

le phosphore    le PVC    le silicium

Les panneaux photovoltaïques exploitent une propriété du silicium, matériau semi-conducteur, pour créer un courant continu. Lorsqu'un semi-conducteur est frappé par le rayonnement solaire, il libère des électrons qui se déplacent dans le matériau. En alternant couches de matériau enrichies en électrons et couches déficitaires, on crée une sorte de cellule électrique qui fournit du courant continu : c'est l'effet photovoltaïque.

### **Grappe de combustible nucléaire**

- 5 Placez-vous sous la « grappe de combustible » afin de voir les tiges creuses destinées à accueillir les pastilles de combustible en uranium enrichi. Où se situe cet objet dans la centrale nucléaire ?

Cet assemblage est au cœur du réacteur, au contact de l'eau dans le circuit primaire.

- 6 L'énergie nucléaire est d'abord transformée en énergie thermique avant d'être transformée à nouveau en énergie électrique. Quelle est la proportion récupérée en énergie électrique ?

70 %    40 %    30 %

Le rendement de conversion de l'énergie thermique en énergie électrique d'une centrale nucléaire de ce type est d'environ 30 %.



Petite éolienne pour sites urbains ou isolés © CSI/Sophie Chivet

### Éolienne

- 7 Observez les pales de cette petite éolienne. Elle produit de l'énergie dès que le vent atteint 9 km/h et résiste à des vents de plus de 160 km/h, alors que les éoliennes traditionnelles arrêtent leur production à 90 km/h. Pour quelles raisons ?

Cette éolienne se distingue notamment par ses pales en forme de gouttière qui se rétrécissent vers l'extérieur. Cette forme unique permet d'exploiter pleinement les flux d'air générés par le vent. La structure des pales est également renforcée.

### Roue Pelton

- 8 Cette roue Pelton garde la trace de son activité. Ses coupelles appelées « augets » ont été usées par l'eau. La turbine Pelton est adaptée...
- aux basses chutes
  - aux chutes moyennes
  - aux hautes chutes

La hauteur de chute et le débit déterminent en effet le type de turbine hydraulique utilisée dans les centrales hydroélectriques. La turbine Pelton est utilisée pour des hautes chutes (10 à 500 m) et des faibles débits (20 à 1000 l/s).

### Où est l'énergie ? « Consommations cachées » (multimédia interactif et vitrine d'objets)

#### 14 L'énergie grise, qu'est-ce que c'est ?

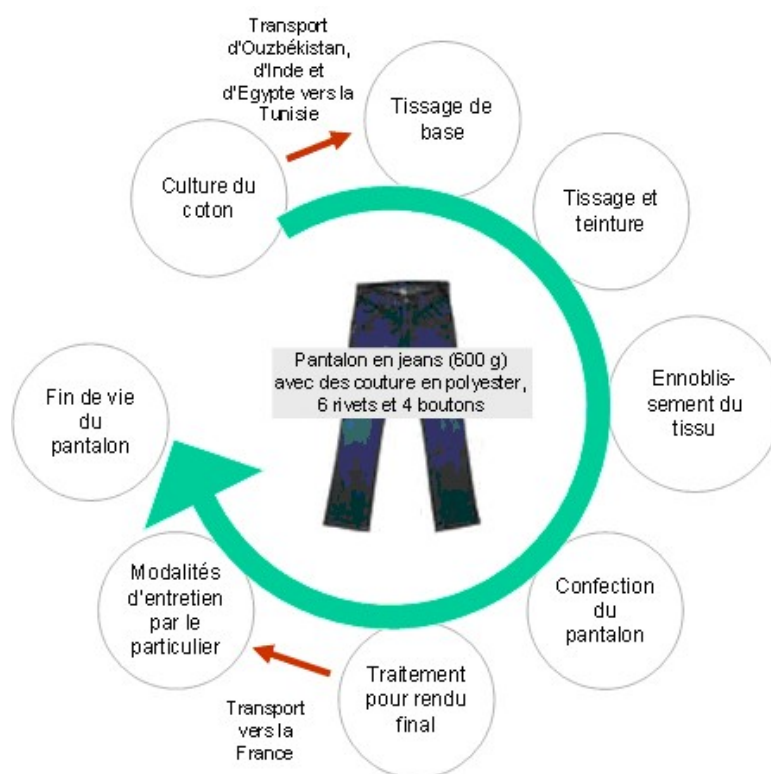
C'est la somme des dépenses énergétiques engagées pour fabriquer un produit : processus de fabrication, mise en forme, transport, etc.

#### 15 Combien d'énergie faut-il pour fabriquer et entretenir un pantalon en jean fabriqué en Tunisie avec du coton non-bio ?

1 «litre équivalent pétrole» 30 l 60 l

En effet, du champ de coton jusqu'à sa fin de vie, un jean a dépensé 63 «litres équivalent pétrole».

#### 16 La séquence animée de l'exposition présente la contribution énergie tout au long de la vie de ce jean. Le dessin ci-dessous illustre ces étapes, mais il est en parti effacé, précisément là où vous pourriez facilement réduire votre impact sur l'environnement. Complétez-le.



Vous pouvez en effet réduire votre impact sur l'environnement :

- en choisissant d'acheter un jean issu d'un coton bio,
- par un entretien réfléchi (à basse température ou à froid, ni séchage ni repassage et pas trop de lavage)
- en lui offrant une seconde vie : donnez-le plutôt que de le jeter.



- 17 Autre objet de consommation courant : le téléphone portable. Quel est son coût énergétique depuis sa fabrication jusqu'à sa fin de vie, pour un scénario moyen d'utilisation de 11 minutes par jour pendant 2 ans ?

1,2 «litres équivalent pétrole» 3,5 l 6,8 l

Le coût de la fabrication/assemblage (5,4 lep)  
+ l'emballage (0,1 lep) + l'utilisation (1,3 lep) = 6,8 lep

Quelques produits de consommation courante et l'énergie grise correspondante en « litre équivalent pétrole » :

1 litre de lait bio = 0,13 l

1 kg de haricots verts frais d'Egypte (par avion) = 1,3 l

1 kg d'agneau de Nouvelle-Zélande (par avion) = 8,3 l

1 litre de jus d'orange du Brésil = 0,25 l

1 kg de haricots verts frais locaux = 0,1 l

1 salade en hiver cultivée sous serre = 1 l

1 kg de bœuf local = 7 l

1 km d'autoroute = 59800 l

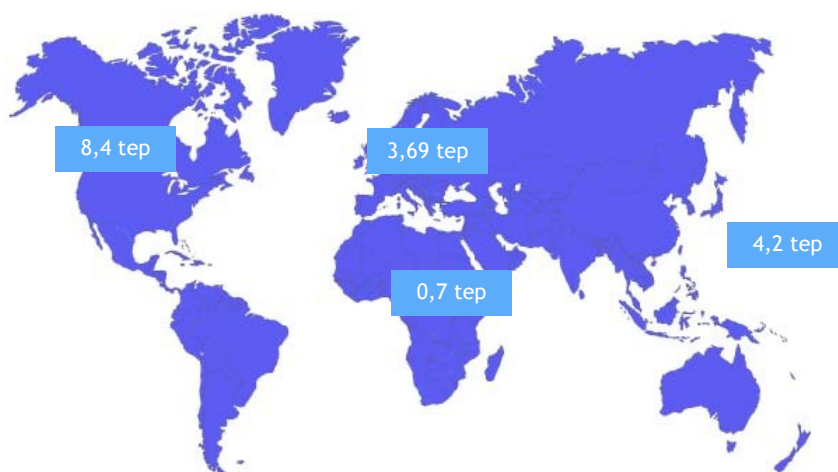
1 ordinateur et 1 écran plat 17 pouces produits en Asie = 612 l

1 pneu de voiture = 27 l

### Un monde de différences « L'état des lieux planétaire » (multimédia interactif)

- 18 En 2008, l'humanité a utilisé plus de 11 milliards de tonnes équivalent pétrole d'énergie primaire. Cela fait une moyenne de 1,78 « tonnes équivalent pétrole» (tep) par habitant, pour 6,5 milliards d'humains. Mais cette moyenne varie selon les régions. Comparez par exemple la consommation d'un africain à celle d'un européen (zone UE), d'un japonais et d'un canadien. Utilisez le bouton « pause » le temps de noter les consommations sur la carte ci-dessous.

Un africain consomme 0,7 tep ; chacun de nous, européen, consomme 3,69 tep ; un japonais 4,2 tep et un canadien 8,4 tep.



#### Régions de consommation sous la moyenne

- Afrique (0,7 tep)
- Amérique latine (1,1 tep)
- Chine (1,3 tep)
- Mexique (1,7 tep)

#### Régions de consommation au-dessus de la moyenne

- Moyen Orient (2,76)
- Union européenne (3,69 tep)
- Europe hors UE (2,98)
- Japon (4,2)

#### Régions de consommation très au-dessus de la moyenne

- Australie-Océanie (5,7 tep)
- Etats-Unis (7,9 tep)
- Canada (8,4)

## Sélection de textes d'exposition

### Définition(s)

Chaleur, lumière, travail... il s'agit toujours d'énergie. Gouvernée par des lois physiques, l'énergie se conserve tout en changeant de forme. Elle est partie intégrante du vivant et participe aux réactions chimiques et processus physiques de toute nature. Les sources d'énergie sont multiples. Pour les exploiter, il faut libérer l'énergie, c'est-à-dire la transformer : l'énergie chimique du pétrole devient chaleur ou énergie mécanique ; l'énergie cinétique d'une chute d'eau devient électricité, puis lumière... La transformation de l'énergie est opérée par des convertisseurs : machines, comme les moteurs et turbines, ou dispositifs techniques, comme les cellules solaires. A chaque mode de transformation correspond une filière industrielle : hydraulique, nucléaire, éolien...

L'énergie a été le moteur de la Révolution industrielle. De tout temps, préoccupation majeure des sociétés humaines, la quête d'énergie fut en partie à l'origine de l'esclavage et de guerres... Aujourd'hui, la recherche de la sécurité énergétique est vitale pour chaque nation et la répartition inégale des sources d'énergie sur Terre reste un facteur géopolitique essentiel. De même, il existe des disparités flagrantes entre les consommations : celle d'un Français est dix fois celle d'un Africain. Résoudre les problèmes posés par de tels écarts sera l'un des défis politiques des années à venir.

### Texte du commentaire audio du film présentant l'énergie en langue des signes

L'énergie... qu'est-ce que c'est ? C'est ce qui permet à l'homme de courir, de travailler, de faire marcher les ampoules, les télévisions, les voitures, les usines...

Mais d'où vient-elle ? L'homme trouve de l'énergie dans la nourriture. C'est le métabolisme du corps qui transforme les calories en chaleur et en mouvement.

Pour le reste, il existe dans la nature plusieurs sources d'énergie et plusieurs façons de les transformer en énergie utilisable par l'homme.

Il y a les énergies fossiles : le charbon, le pétrole et le gaz. C'est 80% de la consommation mondiale d'énergie. En brûlant, ils dégagent de la chaleur qui peut être transformée en énergie mécanique.

Il y a le nucléaire. La fission des atomes d'uranium ou de plutonium libère l'énergie contenue dans le noyau de l'atome.

Il y a enfin toutes les énergies renouvelables. Les barrages transforment l'énergie mécanique de l'eau en électricité. De la même façon, les éoliennes transforment l'énergie mécanique du vent. Les panneaux solaires transforment l'énergie lumineuse. Les centrales thermiques convertissent l'énergie chimique des végétaux.

Toutes ces sources d'énergie sont réparties inégalement à la surface du globe. Leur consommation n'est pas du tout la même d'un pays à l'autre. Et elle ne cesse d'augmenter.

Aujourd'hui nous affrontons un quadruple défi :

- La croissance démographique est sans précédent : 9 milliards d'habitants sur Terre en 2050 pour 6 milliards en 2000.
- Le développement des pays émergents, en Afrique, Asie, Amérique latine, exige toujours plus d'énergie.
- L'usage immodéré des combustibles fossiles contribue au réchauffement climatique.
- Ces mêmes ressources énergétiques non-renouvelables sont en voie d'épuisement.

Comment faire face ? Avec quelles énergies et dans quelles conditions ? Pouvons-nous économiser l'énergie ? Mieux l'utiliser ? Les découvertes scientifiques et les innovations changeront-elles la donne ? Dans quels délais ?

Cette exposition explore de nombreuses pistes pour donner à ces questions un début de réponse.

### Légendes des objets qui marquent l'entrée de l'exposition

#### Trépan et sonde de Logging

Les gisements d'hydrocarbures sont situés à plusieurs milliers de mètres de profondeur. Le puits est réalisé sur terre ou en mer, à partir d'une plateforme. Il peut être oblique, voire quasi horizontal. Le forage utilise un trépan, outil qui attaque la roche en tournant à grande vitesse. Lors du forage d'exploration, une sonde de Logging est descendue dans le puits pour analyser les caractéristiques des roches traversées : porosité, perméabilité, présence et qualité de fluides, etc.

#### Arbre de Noël et tête de cheval

Si la pression du gisement est suffisante, les hydrocarbures jaillissent dès que le forage les atteint. On insère immédiatement sur le jet une tête de puits qui permet de capter pétrole ou gaz et de contrôler leur débit. Cette lourde pièce munie de vannes est aussi appelée « arbre de Noël ». Quand la pression est faible au départ ou quand elle retombe, on utilise des pompes. Ce balancier, surnommé « tête de cheval » pour son profil caractéristique, actionne une pompe refoulante aspirante installée en fond de puits. Il remonte quelques litres ou dizaines de litres à chaque va-et-vient.

#### Grappe de combustible nucléaire

Les pastilles de combustible en uranium enrichi sont empilées dans des tiges creuses et étanches de zirconium, les « crayons », regroupés dans des assemblages appelés « grappes de combustible ». Ces éléments mis en commun forment le cœur du réacteur et assurent la réaction en chaîne. La chaleur dégagée chauffe l'eau sous pression du circuit primaire à environ 300°C. Cette chaleur est transmise à l'eau d'un circuit secondaire. En se vaporisant, celle-ci entraîne une turbine dont la rotation produit le courant électrique. Le rendement de conversion de l'énergie thermique en énergie électrique d'une centrale nucléaire de ce type est de 33 %.

#### Éolienne

En 1888, Brush construit une éolienne à 144 pales pour alimenter sa maison en électricité. Aujourd'hui les parcs éoliens se multiplient et la technologie a évolué jusqu'à des éoliennes géantes de 198 mètres, capables de fournir 6 MW soit la consommation de 4500 ménages. Autre voie de développement, les petites éoliennes pour sites urbains ou isolés. L'éolienne Nheolis, développée avec le CNRS et l'ONERA, se distingue par la forme de ses pales et son excellent rendement. Silencieuse et puissante, elle produit dès que le vent atteint 9 km/h et résiste aux tempêtes.

### **Panneaux photovoltaïques**

Ces panneaux exploitent une propriété de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium. Lorsqu'un semi-conducteur est frappé par le rayonnement solaire, il libère des électrons qui se déplacent dans le matériau. En alternant couches de matériau enrichies en électrons et couches déficitaires, on crée une sorte de cellule électrique qui fournit du courant continu. C'est l'effet photovoltaïque. Aujourd'hui, cette technologie évolue vers des semi-conducteurs de moins en moins coûteux, en couches de plus en plus minces et avec de meilleurs rendements.

### **Roue Pelton**

Dans une centrale hydroélectrique, la force de l'eau entraîne une turbine dont la rotation convertit le mouvement en énergie électrique. Au cœur de la turbine se trouve une roue Pelton, avec en périphérie, des coupelles appelées augets. L'énergie potentielle de l'eau est transformée en énergie cinétique : l'eau arrive par une conduite forcée où elle est mise sous pression, elle est projetée sur les augets par des injecteurs, ce qui fait tourner la roue. Les augets sont profilés pour faciliter l'évacuation de l'eau et obtenir ainsi un bon rendement.