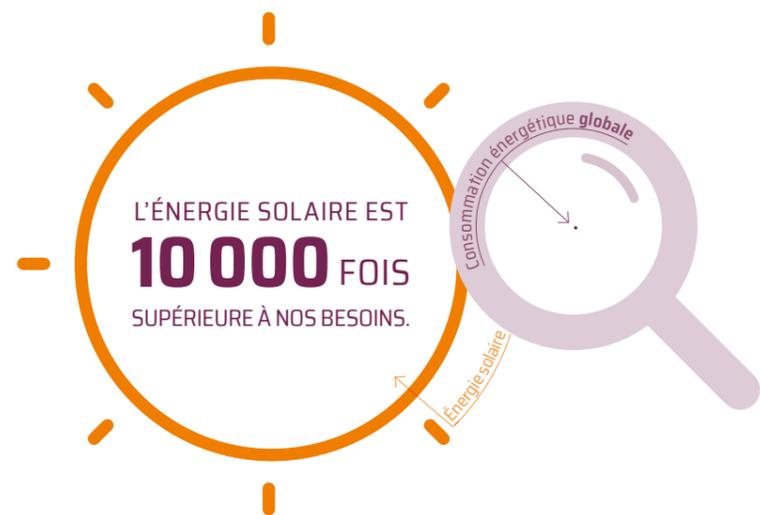




# PHOTOVOLTAÏQUE & LUMIÈRE DU SOLEIL LA PRODUCTION D'UNE ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE

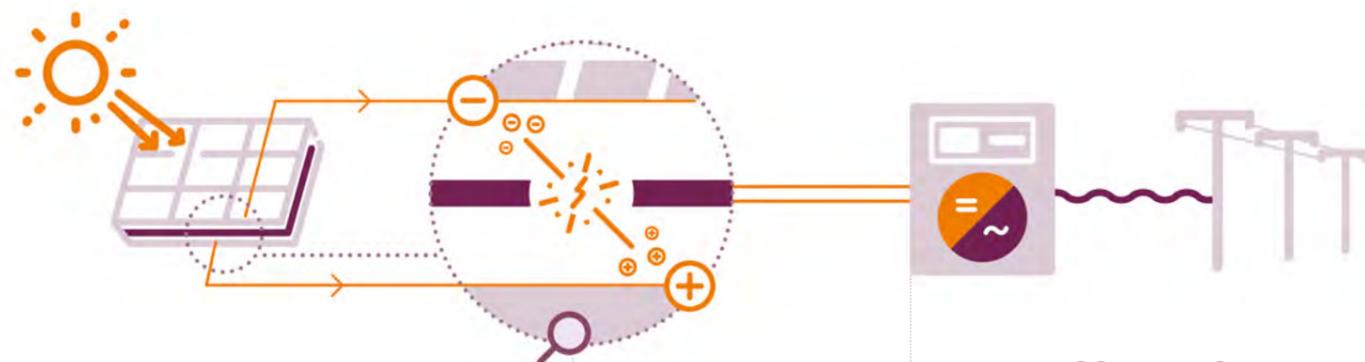
## L'ÉNERGIE SOLAIRE, UNE ÉNERGIE ABONDANTE ET RENOUVELABLE



L'énergie solaire est inépuisable dans la mesure où la durée de vie restante du soleil est estimée à

**5,5 MILLIARDS D'ANNÉES.**

## DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES AUX RÉSEAUX ÉLECTRIQUES



### Le saviez-vous ?

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés **semi-conducteurs** (tels le silicium) qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la **lumière**.

### Raccordés au réseau

Les **panneaux d'une installation photovoltaïque** transforment l'énergie solaire en courant continu.

L'**onduleur convertit le courant continu en courant alternatif** pour que l'électricité produite soit compatible avec les réseaux électriques.

## À RETENIR

### La puissance crête

correspond à la puissance que peut délivrer un panneau lorsqu'il est soumis à un rayonnement de 1000 W/m<sup>2</sup> dans des conditions standard de température et de pression.

En France, en moyenne, avec **5 à 10 m<sup>2</sup>** de surface orientée plein Sud et inclinée à 30°, il est possible d'installer **1 kWc** pour une production de **1100 kWh/an.**

Production annuelle (kWh/kWc) en fonction de la localisation



- 900 à 1000 kWh/kWc/an
- 1000 à 1100 kWh/kWc/an
- 1100 à 1300 kWh/kWc/an
- 1300 à 1500 kWh/kWc/an

Graphisme, illustrations: © H. Bories

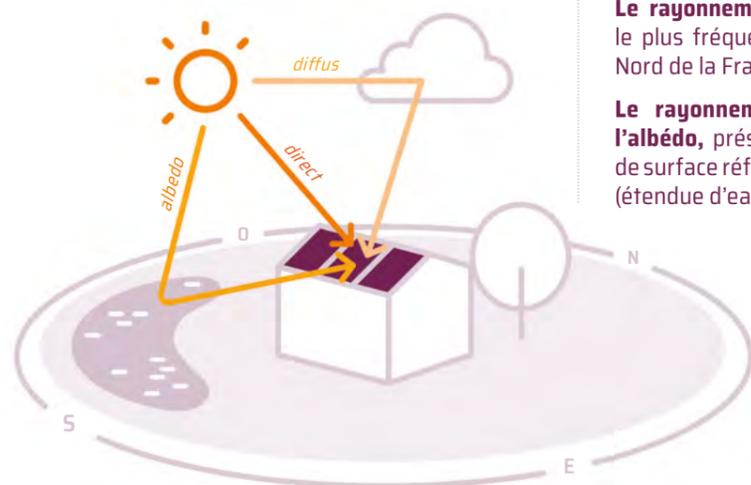
## UN ENSOLEILLEMENT VARIABLE MAIS PRÉVISIBLE ET CONSTANT D'UNE ANNÉE À L'AUTRE

### La lumière du soleil : du 3 en 1 !

Le **rayonnement direct**, le plus intense

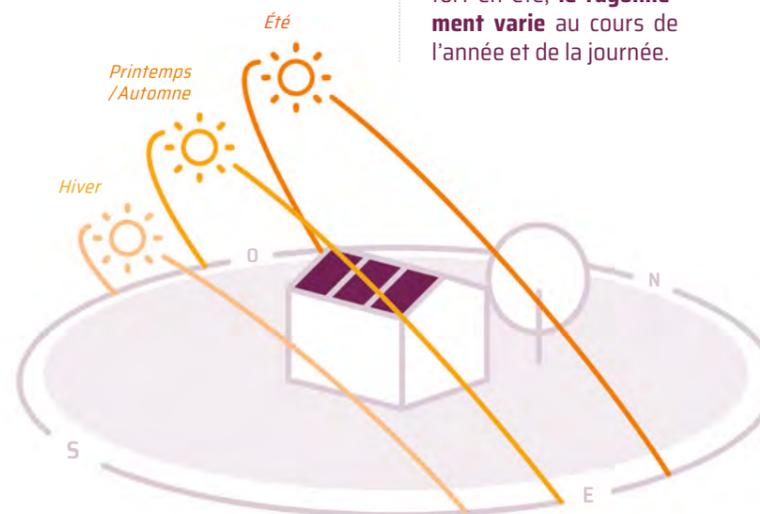
Le **rayonnement diffus**, le plus fréquent dans le Nord de la France

Le **rayonnement dû à l'albédo**, présent en cas de surface réfléchissante (étendue d'eau, neige...)



### Au rythme des heures et saisons

Plus faible en hiver, plus fort en été, le **rayonnement varie** au cours de l'année et de la journée.



### Pour une production optimale

Un **panneau orienté à 30°, plein Sud**, permet d'optimiser la production en été et ainsi maximiser la production annuelle.





# ÉNERGIES RENOUVELABLES (EnR) & SYSTÈMES ÉLECTRIQUES UN MIX ÉLECTRIQUE 100% RENOUVELABLE EN FRANCE EN 2050 ?

## D'APRÈS LES ÉTUDES,

Des scénarios ont été simulés pour 2050 avec une proportion de 50 à 100 % d'EnR.



Futurs énergétiques 2050

## C'EST TECHNIQUEMENT FAISABLE,

Avec ces hypothèses, la sécurité d'approvisionnement d'électricité est assurée à chaque heure de l'année.

### 4 prérequis techniques :

- > Développer les **flexibilités** en consommation et en production.
- > Bien dimensionner les **réserves** opérationnelles et améliorer les **méthodes de prévision** des EnR.
- > Développer les **réseaux électriques**.
- > Équiper les installations d'**onduleurs innovants** ou de compensateurs synchrones pour **maintenir la stabilité**.

## À UN COÛT RAISONNABLE

Des investissements sont nécessaires, pour un coût maîtrisé et des emplois créés.

### Tous les scénarios étudiés ont révélé la nécessité :

- > **d'investir dans de nouveaux moyens de production** pour remplacer les équipements nucléaires en fin de vie et faire face à l'augmentation de la consommation d'électricité;
- > **de renouveler les réseaux électriques;**
- > **de développer fortement les EnR** pour atteindre la **neutralité carbone en 2050**.

## À RETENIR

### Quelque soit le scénario :

- > Besoin d'investir dans le système électrique
- > Nécessité de développer les EnR
- > Enjeu de maîtrise de la consommation

**Consensus scientifique sur la faisabilité technique** d'un système électrique 100% EnR

**Coût total du système électrique maîtrisé,** plus sensible aux conditions de financement et aux évolutions de la consommation qu'à une technologie de production en particulier.

Après 2035, nécessité de développer un **panel de technologies** (stockage court et long terme, nouveaux onduleurs)



Transition(s) 2050  
Feuilleton « Mix électrique »



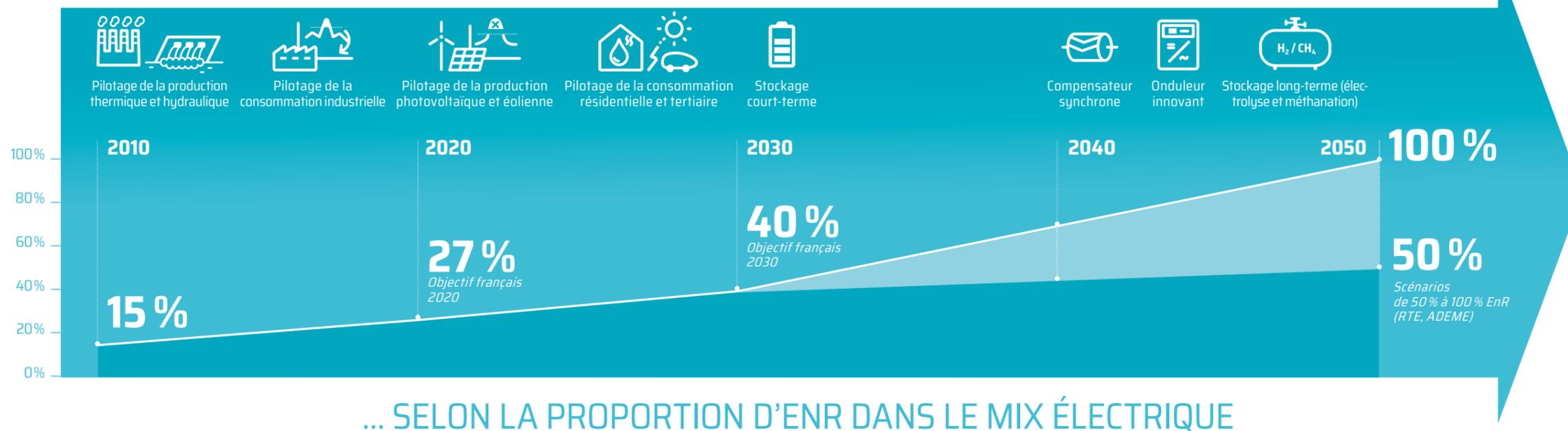
### L'équilibrage du système électrique en 2050 repose sur :

- > le développement et le renforcement des **interconnexions européennes et du réseau interrégional,**
- > **le pilotage** de la consommation,
- > **le stockage** d'électricité transformée en gaz et réciproquement (électrolyseurs, unités de méthanation, ...).

### Les coûts pourront rester maîtrisés jusqu'en 2050 :

- > Les coûts totaux **augmentent avec la consommation**
- > Les coûts en €/MWh sont relativement **similaires à ceux actuels, quels que soient les mix de production**

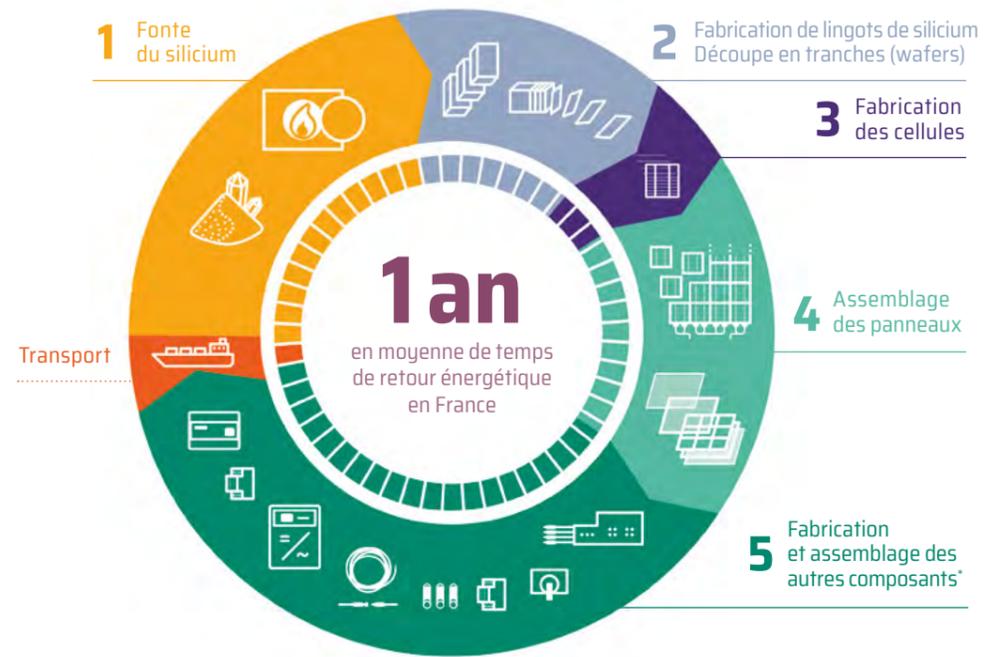
## DES TECHNOLOGIES À DÉPLOYER MASSIVEMENT ...





# PHOTOVOLTAÏQUE & ENVIRONNEMENT UN BILAN POSITIF TOUJOURS EN AMÉLIORATION

## LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES PRODUISENT BIEN PLUS D'ÉNERGIE QU'ELLES N'EN CONSOMMENT



\*Autres composants de l'installation: onduleurs, câbles, supports, dispositifs de protection et de communication...  
Source : D'après les données de « Photovoltaics Report, Fraunhofer Institute, juillet 2021 »

### Un Temps de Retour Énergétique de plus en plus court

Le Temps de Retour Énergétique est le temps nécessaire à l'installation photovoltaïque pour qu'elle produise autant d'énergie qu'il en a fallu pour sa fabrication.

Il se calcule en additionnant toute l'énergie consommée pour fabriquer et entretenir le système photovoltaïque, divisée par toute l'énergie produite sur la durée de vie de l'installation.

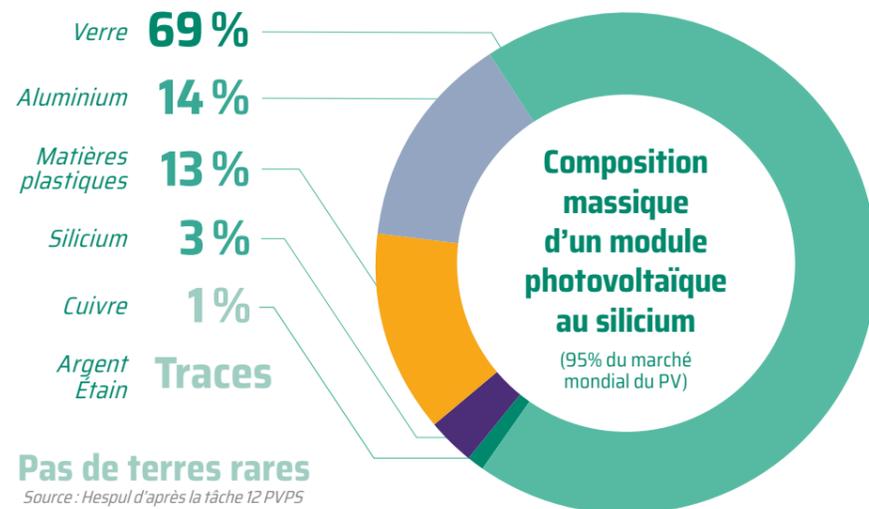
Les lignes de fabrication et les modules photovoltaïques étant de plus en plus performants, le Temps de Retour Énergétique a tendance à diminuer.

#### Comparaison du temps de retour énergétique et de la durée de vie d'une installation photovoltaïque



**1 an** : C'est le temps nécessaire à l'installation photovoltaïque pour produire autant d'énergie qu'il en a fallu pour sa fabrication.

## DES MODULES FABRIQUÉS MAJORITAIREMENT À BASE DE SILICIUM ET DE VERRE, RECYCLABLES À PLUS DE 90%

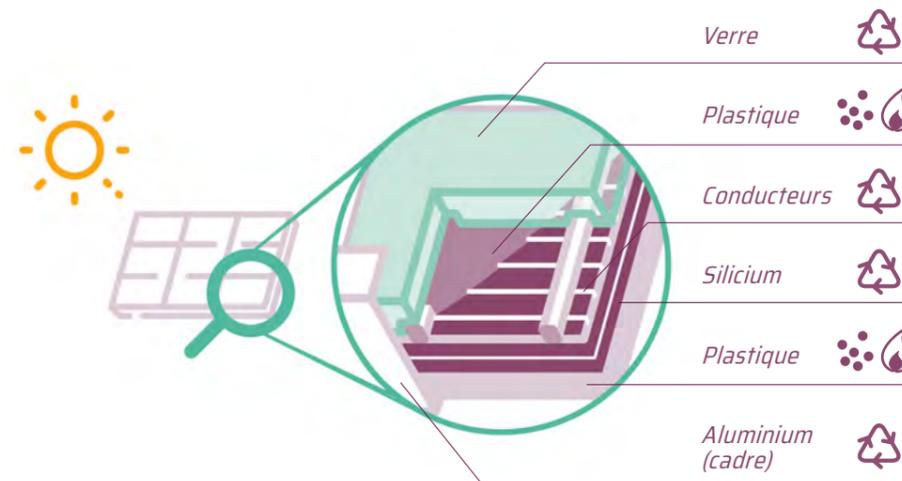


La majeure partie des modules est fabriquée à base de silicium, 2<sup>e</sup> élément le plus abondant dans la croûte terrestre.

Le verre et l'aluminium, qui composent plus de 80% d'un module, sont recyclables à 100%.

Les matières plastiques peuvent être valorisées (en matière ou énergie).

Le silicium, le cuivre et l'argent peuvent être recyclés.



## À RETENIR

**En 1 an en moyenne,** l'installation photovoltaïque a produit autant d'énergie qu'il en a fallu pour sa fabrication.

Sur sa durée de vie, un système photovoltaïque produit environ **30 fois plus d'énergie** qu'il n'en consomme.

Le taux de **recyclage** des modules photovoltaïques est supérieur à **90%**.

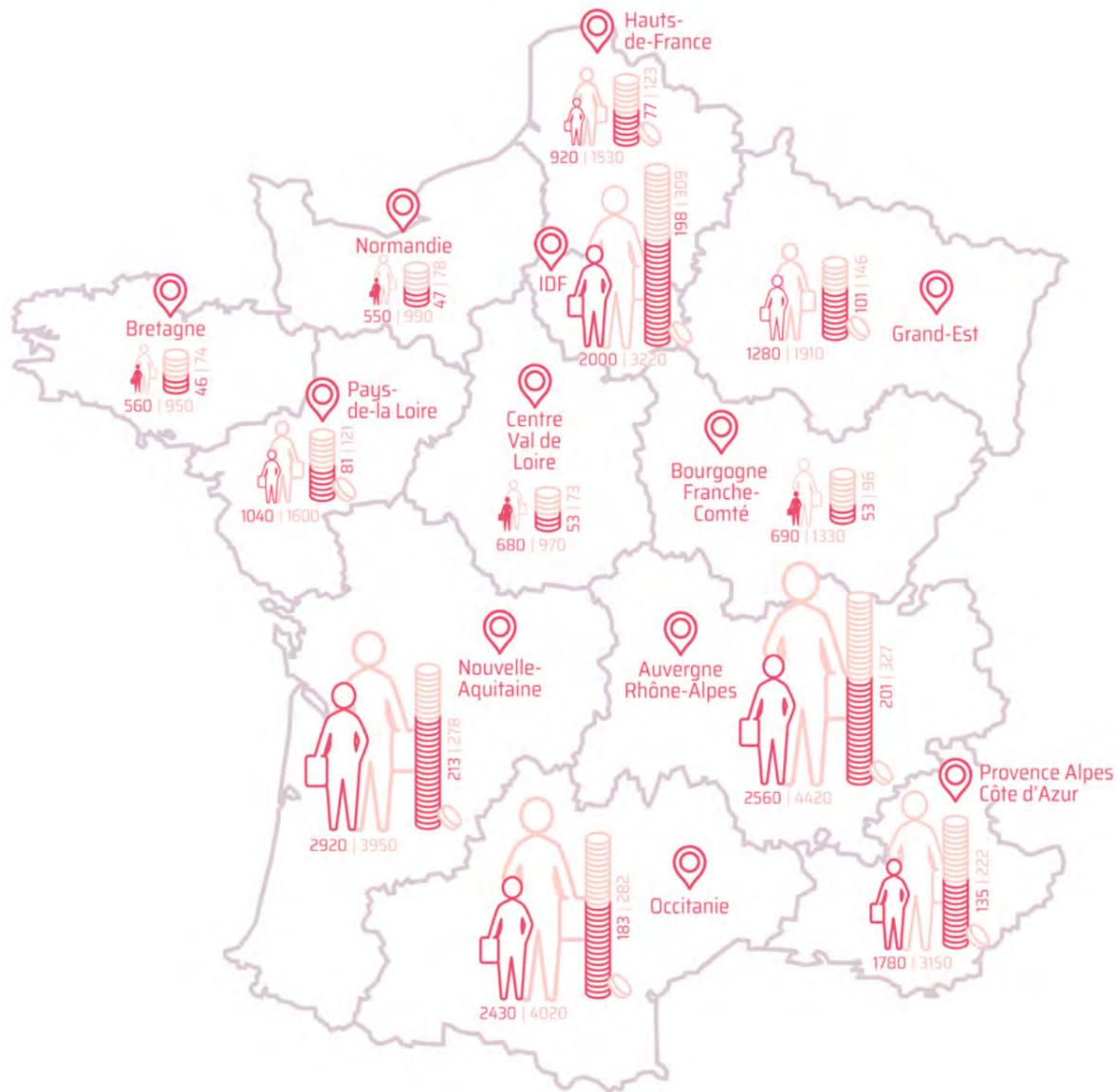
**0,3% de la superficie** de la France, ou 2 000 km<sup>2</sup>, c'est au **maximum** la surface qui serait occupée par le photovoltaïque au sol dans un scénario 100% renouvelable.

Le photovoltaïque permet de **réduire les émissions de CO<sub>2</sub>**. Lorsque les installations photovoltaïques produisent, elles n'émettent ni CO<sub>2</sub> ni polluants et leur électricité se substitue majoritairement à celle produite à partir d'énergies fossiles, fortement émettrices.



# PHOTOVOLTAÏQUE & ÉCONOMIE UNE FILIÈRE CRÉATRICE D'EMPLOIS ET DE RICHESSES AU NIVEAU LOCAL

## DES EMPLOIS EN HAUSSE DANS TOUTES LES RÉGIONS



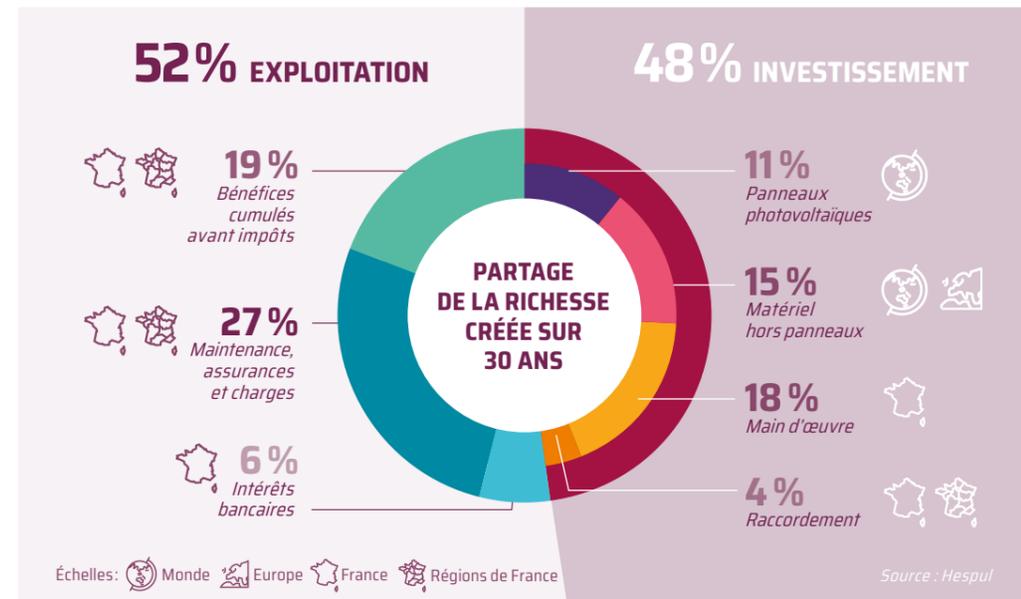
Nombre d'emplois (Équiv. Temps Plein) en 2019 | en 2028

Contribution au PIB (en M€) en 2019 | en 2028

En 2019, la filière photovoltaïque française - représentait **environ 17 000 emplois directs et indirects** - et a contribué au **PIB français** à hauteur de **1,4 Mds€**.  
Ces chiffres devraient **croître de 50 à 60 % d'ici 2028**.

Source : Évaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires, EY pour le SER.

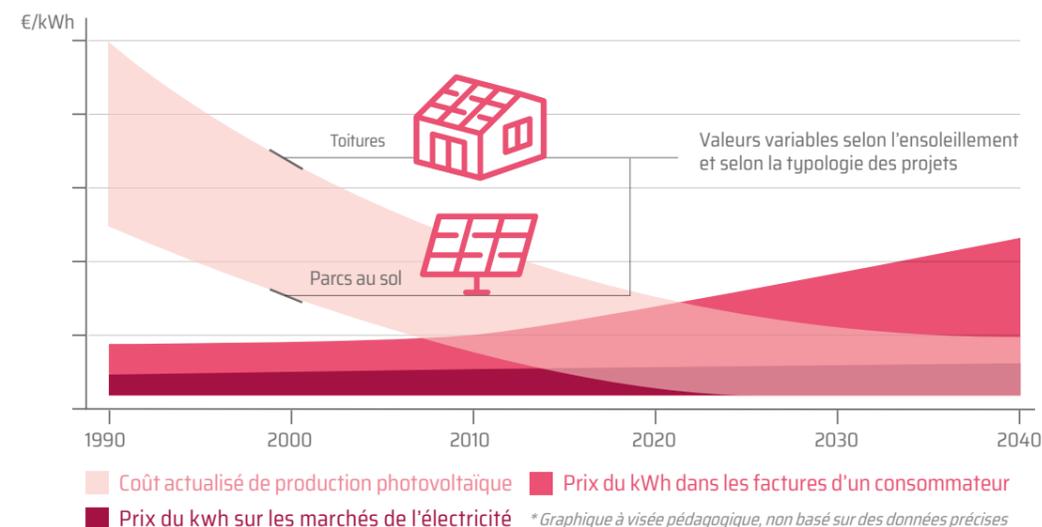
## DES RETOMBÉES ÉCONOMIQUES LOCALES



Une installation photovoltaïque crée de la richesse **sur l'ensemble de sa durée de vie** :  
 › environ la moitié l'est en phase d'investissement,  
 › l'autre sur les 30 ans d'exploitation.

## LE PHOTOVOLTAÏQUE DE PLUS EN PLUS COMPÉTITIF

Le coût de production correspond à la totalité des coûts d'une installation photovoltaïque (investissement, exploitation...) divisée par l'énergie produite pendant sa durée de vie.



## À RETENIR

Le fort développement du photovoltaïque s'accompagne d'une baisse des coûts mais surtout d'une **hausse des emplois** dans le secteur.

**70 % de la richesse créée reste en France** y compris pour les installations équipées de modules d'origine asiatique.

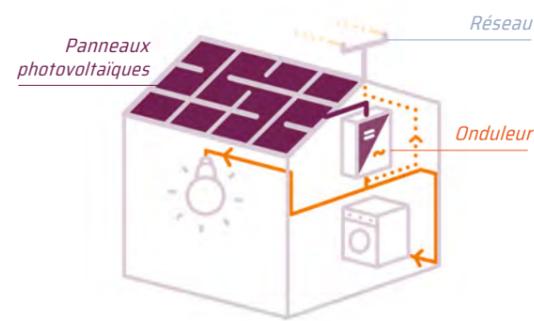
Plus on installe de photovoltaïque dans le monde, plus son coût diminue.  
**En 10 ans**, de 2009 à 2019 en France, **division par 10 des coûts** de production photovoltaïque.

Le coût dépend fortement de la taille et du type d'installation, pouvant aller de 15 c€/kWh pour une installation sur maison individuelle, à 5 c€/kWh pour les parcs au sol.



# PHOTOVOLTAÏQUE & TERRITOIRES UNE ÉNERGIE PRODUITE ET CONSOMMÉE LOCALEMENT

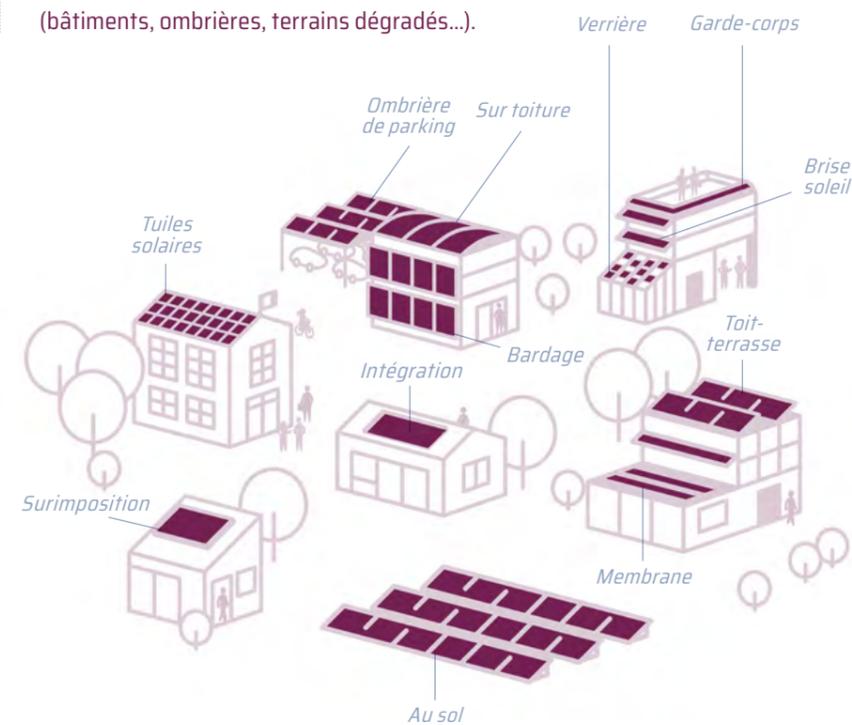
DE QUELQUES PANNEAUX SUR UNE MAISON À DES MILLIERS DANS LES PARCS AU SOL,  
LE PHOTOVOLTAÏQUE EST TRÈS MODULAIRE.



**L'énergie produite sera toujours consommée au plus proche,** indépendamment du mode de rémunération choisi (vente et/ou autoconsommation).

**Les panneaux photovoltaïques s'insèrent dans l'environnement grâce à une variété de supports adaptables aux différentes surfaces artificialisées**

(bâtiments, ombrières, terrains dégradés...).

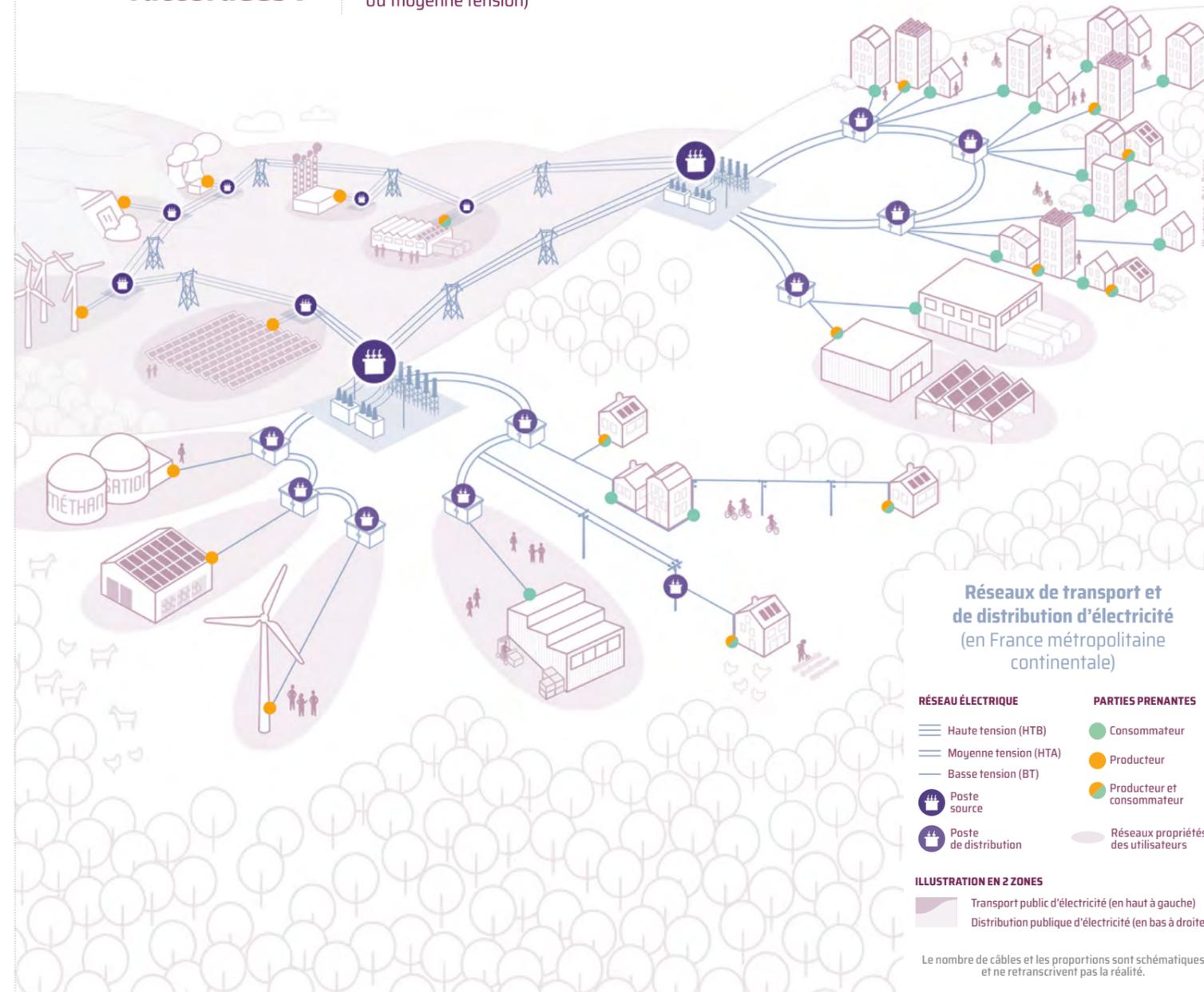


**Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées :**

› aux réseaux publics de distribution d'électricité (basse tension pour les puissances  $\leq 250$  kW ou moyenne tension)

› ou au réseau de transport (haute tension pour les puissances  $> 17$  MW),

› en zone urbaine ou zone rurale.



**Réseaux de transport et de distribution d'électricité** (en France métropolitaine continentale)

- |                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| <b>RÉSEAU ÉLECTRIQUE</b> | <b>PARTIES PRENANTES</b>              |
| — Haute tension (HTB)    | ● Consommateur                        |
| — Moyenne tension (HTA)  | ● Producteur                          |
| — Basse tension (BT)     | ● Producteur et consommateur          |
| ⚡ Poste source           | ○ Réseaux propriétés des utilisateurs |
| ⚡ Poste de distribution  |                                       |

**ILLUSTRATION EN 2 ZONES**  
■ Transport public d'électricité (en haut à gauche)  
■ Distribution publique d'électricité (en bas à droite)

Le nombre de câbles et les proportions sont schématiques et ne retravaillent pas la réalité.

## À RETENIR

**Le photovoltaïque est accessible à toute personne physique ou morale**

(particulier, collectif citoyen, collectivité, exploitant agricole, entreprise, ...).

**Chacun de ces acteurs peut :**

› **Choisir un fournisseur**

approvisionné en énergie photovoltaïque pour sa consommation

› **Investir directement**

dans une installation photovoltaïque sur son patrimoine ou par la prise de parts de capital dans une société de production

› **Mettre à disposition**

des surfaces de toiture ou au sol

› **Participer à la réalisation de projets**