



**PRÉFET
DE LA RÉGION
AUVERGNE-
RHÔNE-ALPES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



tenerrdis
ENERGY CLUSTER
Auvergne-Rhône-Alpes



eauairsol

**Tous acteurs de la préservation
des ressources naturelles**

Fiche Thématique

Economie Circulaire du
photovoltaïque



Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement
Auvergne-Rhône-Alpes
TENERRDIS

Juillet 2022

Sommaire

Mieux concevoir les panneaux PV pour réduire leur empreinte carbone et matière

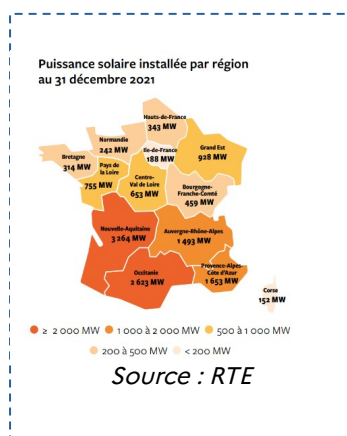
L'écoconception

Optimiser les techniques de recyclage pour diminuer leur impact sur l'environnement et améliorer la valeur économique du process

Des solutions innovantes

Accompagner l'émergence du réemploi

Propos Introductifs



Source de production d'énergie renouvelable très compétitive, l'énergie photovoltaïque progresse chaque année en France. En effet, selon le ministère de la transition écologique, la filière a réalisé un nouveau record avec **2 687 MW raccordés en 2021, soit un total de 14 GW** de puissance totale raccordée au réseau national. La filière photovoltaïque, troisième source d'énergie renouvelable utilisée en France (derrière l'hydraulique et l'éolien) suit les grandes tendances mondiales et la demande en panneaux continue à croître chaque année.

L'Union européenne est pionnière sur la question du recyclage. Suite à la Directive n°2012/19/UE, elle a imposé un taux de 85 % de collecte et de 80 % de recyclage des matières présentes dans un panneau photovoltaïque.

La filière étant encore récente, couplée à la durée de vie moyenne des panneaux supérieure à **25-30ans**, si ce n'est plus, le nombre de panneaux en fin de vie reste limité actuellement (de l'ordre de quelques milliers de tonnes par an en France). Néanmoins, selon les projections de l'IRENA, la France pourrait présenter des volumes compris entre **1,5 et 1,8M (selon les scénarios) de tonnes de déchets cumulés en 2050¹**.

Ainsi, le recyclage à haute valeur ajoutée de ces panneaux doit se préparer dès aujourd'hui car les défis techniques et industriels sont importants et le gisement de modules en fin de vie à venir considérable.

Au-delà de la question du recyclage, comme le prévoit le code de l'environnement, c'est vers une économie davantage circulaire qu'il faut tendre, afin de préserver les ressources et la qualité de l'environnement. Il s'agit ainsi de progresser sur toutes les étapes de la chaîne de valeur des panneaux PV, en travaillant sur les questions de leur éco-conception, de leur réemploi et enfin de leur recyclage, et ceci notamment grâce à l'émergence et au soutien d'acteurs régionaux.

Précision : Les panneaux photovoltaïques sont catégorisés en 2 grandes familles : Les modules à base de silicium cristallin et les technologies couches minces. Cette note est consacrée principalement aux panneaux silicium puisqu'ils représentent plus de 95% de la production².

1 End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels, 2016
2 Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report, 2022

Mieux concevoir les panneaux PV pour réduire leur empreinte carbone et matière

Part des pays producteurs de modules PV :

- Chine **70 %**
- Autres pays Asie : **25 %**
- Etats-Unis : **3 %**
- Europe : **< 2%**

Pour le polysilicium, les quantités utilisées par module sont passées de **6,8**

Le processus de fabrication des modules est à l'origine de la majorité des émissions de gaz à effet de serre attribuées aux panneaux photovoltaïques. En effet, cela est du avant tout au mix énergétique du pays dans lequel les panneaux sont fabriqués c'est-à-dire à **70 % en Chine**³ qui est pour l'instant majoritairement alimenté en charbon.

L'augmentation attendue de la demande en panneaux photovoltaïques va mobiliser davantage de matières premières minérales comme le silicium qui est aujourd'hui considéré comme critique par l'Union européenne et dont les procédés de transformation sont très énergivores. La croissance de la filière photovoltaïque pourrait également avoir un impact sur la demande d'aluminium, d'argent ou encore de cuivre. Ainsi, la diminution des quantités utilisées pour la fabrication fait l'objet d'une attention particulière dans les recherches d'innovation actuelles. Par exemple, les proportions de silicium dans les modules ont été divisées d'un tiers sur la dernière décennie. Pour l'argent, les évolutions technologiques prévoient de diviser par 2 les quantités nécessaires à la conception des panneaux⁴.

Principaux fabricants français :

- DualSun
- Photowatt
- Recom-Sillia
- Systovi
- Voltec Solar

L'écoconception

Pour atténuer les conséquences écologiques de la fabrication, 2 solutions :

- la relocalisation de la fabrication des modules dans des pays dans lesquels la production énergétique est la moins carbonée (France* ou Norvège par exemple). Cependant cela signifierait potentiellement une augmentation des coûts.
- **L'écoconception** : « La démarche se caractérise par l'intégration de critères environnementaux dès la phase de conception du panneau afin d'en réduire l'impact tout au long du cycle de vie ».

Actuellement, les travaux de recherche du CEA-Ines sont focalisés sur l'utilisation de matériaux plus aisés à démanteler par la suite, notamment des matériaux composites tels que la **fibres de lin, combinée à des résines thermoplastiques biosourcés** pour remplacer le verre. Substituer la partie en aluminium du panneau fait également partie des objectifs pour diminuer l'impact environnemental.

³ IEA PVPS report 2020

⁴ The Role of Silver in the Green Revolution, Institut International de l'Argent

* Quantité de polysilicium utilisée pour 1 W de wafer : IEA PVPS Trends in PV 2021

« L'inscription de la filière photovoltaïque dans une démarche d'écoconception pourrait ainsi constituer une réelle opportunité pour relancer l'activité industrielle en France et en Europe via une différenciation « vertueuse ». Ce pari industriel nécessiterait, néanmoins un accompagnement fort des pouvoirs publics tout en garantissant un niveau de concurrence suffisant pour maintenir la dynamique d'innovation »

Néanmoins, des obstacles tels que l'absence d'une réelle filière de fabricants de modules en Europe ou la faible maturité de la filière sur les aspects environnementaux limitent pour l'instant le déploiement de l'écoconception. Pour remédier à cela, le **CSTB**, de par la création du [Laboratoire des Performances Environnementales](#) en 2015, propose d'accompagner les industriels dans leur stratégie environnementale. En effet, cette offre permet de répondre aux exigences d'écoconception et de valider les Fiches de Données Environnementales et Sanitaires (FDES) à travers le recueil de données ou indicateurs ainsi que la réalisation de l'analyse de cycle de vie (ACV).

Optimiser les techniques de recyclage pour diminuer leur impact sur l'environnement et améliorer la valeur économique du process

En Auvergne-Rhône-Alpes : 201 tonnes de déchets collectées en 2021

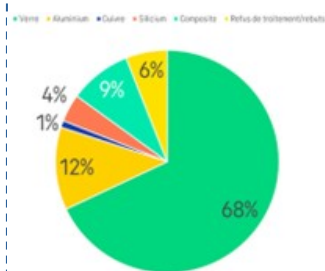


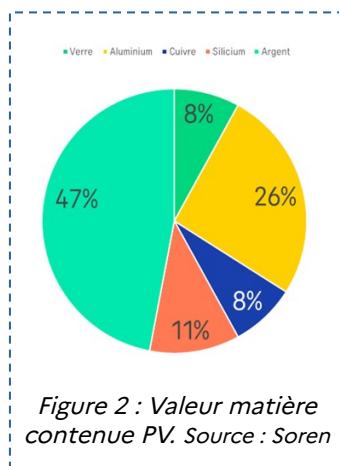
Figure 1 : Masse recyclée d'un module PV Source : Soren

En France, l'éco-organisme en charge de la collecte et du recyclage des modules photovoltaïques est **SOREN**. Agréé par les pouvoirs publics et sans but lucratif, ses missions concernent aussi la sensibilisation et l'éducation des professionnels du photovoltaïque et les consommateurs.

D'après les chiffres de *SYDEREP*, le système déclaratif des filières REP, **2614 tonnes** de déchets de panneaux solaires ont été collectées en France métropolitaine en 2021.

Contrairement aux idées reçues, les panneaux photovoltaïques sont très recyclables comme l'atteste le **taux de valorisation à 94,7 %⁵** pour un module photovoltaïque à base de silicium cristallin. A titre de comparaison il est « seulement » de 70 % pour des machines à laver.

⁵ Source : Soren



La répartition de la masse de matières recyclées est très différente de la répartition de la valeur économique de ces matières (figures 1 et 2). Par exemple, le verre qui est le matériel le plus présent dans un module PV ($\approx 70\%$) ne va correspondre qu'à 8 à 10 % de la valeur du potentiel à recycler. A l'inverse, des composants peu volumineux tels que l'argent, le cuivre ou encore le silicium vont représenter jusqu'à 65 % de la valeur recyclable. La capacité de séparation des matériaux et la pureté du recyclage de certains matériaux est un enjeu de premier plan pour le développement de la filière.

Des solutions innovantes

Des innovations répondant aux objectifs d'optimisation de la valeur recyclée et de moindre impact pour l'environnement se développent dans la région Auvergne-Rhône-Alpes :

Technologies ROSI Solar : L'entreprise grenobloise a développé au cours des dernières années des solutions innovantes pour les panneaux en fin de vie, afin de récupérer l'argent, le cuivre et surtout le silicium à des niveaux de pureté élevés. A la différence des procédés de recyclage « conventionnels », l'avantage de cette technologie repose sur le recours à un **traitement chimique doux**, sans acide, une méthode, par conséquent, moins agressive et plus respectueuse de l'environnement. L'ouverture de l'usine de démonstration prévue fin 2022 – début 2023 à la Mure (Isère) – représentant un investissement de 4,5M€ - permettra le développement de ces technologies à grande échelle : **création d'une trentaine d'emplois et le recyclage de 2000 à 3000 tonnes de panneaux** photovoltaïques par an dans un premier temps.

Techniques de délamination CEA : Dans le cadre du projet européen [Photorama](#), le CEA s'est associé à plusieurs partenaires pour mettre au point deux nouveaux procédés de délamination des modules PV :

- **par fil diamanté** : Elle consiste à désolidariser les faces avant et arrière du module grâce à un fil de 600 à 700 micromètres de diamètre en moins de 30 minutes. Sans solvant ni rejet, cette action mécanique permet d'obtenir du verre intact et de récupérer les autres matériaux.
- **par fluides supercritiques** : A un niveau de maturité moins élevé que la précédente, cette méthode sépare les différentes couches du module par le biais d'une injection de CO₂ supercritique (propriétés intermédiaires entre liquide et gaz). Après dépressurisation, le polymère se met à gonfler et mousser. Verre et métaux critiques sont intacts, ils peuvent être recyclés.

1 kg module recyclé = 2 kg de CO2 économisés

Accompagner l'émergence du réemploi

En ce qui concerne le réemploi des panneaux photovoltaïques, la filière est encore peu mature et reste donc à développer. Il n'existe pour l'instant pas de réel cadre national pour le réemploi des modules PV. Néanmoins, la **loi AGEF** a prévu la mise en place d'un fonds de soutien au réemploi auquel l'éco-organisme agréé doit consacrer **5% des écocontributions qu'il perçoit. Cela représentera environ 1,7 M€** sur la durée de l'agrément actuel c'est-à-dire jusqu'à 2027.

Selon **Soren**, la baisse de rendement des panneaux photovoltaïques n'est pas un obstacle au réemploi car les panneaux ont une garantie de rendement de 80% sur 20 à 25 ans minimum. En revanche, la concurrence de panneaux photovoltaïques de nouvelle génération peut être un frein car les coûts de recertification des panneaux photovoltaïques usagés sont importants.

De même que sur les questions de l'écoconception, le **CTSB** est engagé sur les enjeux de la filière réemploi. La volonté est d'une part de développer des guides sur l'évaluation des performances de panneaux réemployés et d'autre part d'accompagner les centres de reconditionnement. A cet égard, avec le soutien de l'ADEME et du Ministère de la Transition Ecologique, le CSTB a lancé le développement **d'une plateforme numérique** associée au diagnostic « Produits, Équipements, Matériaux, Déchets » **PEMD**. Ce dispositif a pour objectif de capitaliser l'ensemble des diagnostics PMD, assurer un suivi statistique, mettre en visibilité les gisements auprès des filières... En clair, favoriser les connexions entre les acteurs et faciliter leurs démarches notamment sur le réemploi.

Le développement de l'économie circulaire des panneaux photovoltaïques est un enjeu primordial pour l'horizon 2050 – et à travailler dès aujourd'hui ! Les prévisions annoncent jusqu'à 8500 GW⁶ de capacité installée dans le monde, ce qui représenterait environ 78 M de tonnes de déchets cumulés. Il importe que ce gisement de matière puisse être valorisé pour contribuer à répondre aux enjeux environnementaux de la filière et permettre une création de valeur qui pourrait atteindre les 13 Mds €. Ainsi la circularité de la filière permettrait de produire 2 milliards de nouveaux modules.

6 Future of Solar PV, IRENA, 2019



**PRÉFET
DE LA RÉGION
AUVERGNE-
RHÔNE-ALPES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



tenerrdis
ENERGY CLUSTER
Auvergne-Rhône-Alpes



Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement
Auvergne-Rhône-Alpes
Tenerrdis

FTPV3 - Economie Circulaire du photovoltaïque