



## Appel à projet n° 2-06

Date limite d'envoi des réponses : **Lundi 22 novembre 2021**

### Filières de gestion des modules photovoltaïques en fin de vie Etat de l'art et Prospective

#### Contexte

Les technologies de valorisation de l'énergie solaire se développent depuis maintenant plus de trois décennies. La puissance crête solaire photovoltaïque installée dans le monde en 2019 dépassait les 600 GWc. L'Union Européenne disposait de 131 GWc dont 10 GWc pour la France (EurObserv'ER, 2020). A l'instar de la Chine et des Etats-Unis, le développement se poursuit en Europe (10% supplémentaires en 2019).

Le développement de cette production d'électricité décarbonée pose bien évidemment la question du devenir des modules photovoltaïques (PV) en fin de vie. D'une durée de vie estimée à plus de 20 ans, les filières s'organisent et le recyclage se développe pour les différents matériaux constituant les deux principaux types de modules photovoltaïques actuellement sur le marché :

- **les cellules à base de silicium** (multicristallin, monocristallin et amorphe). Elles sont de loin les plus utilisées aujourd'hui. Cependant, leurs procédés de fabrication sont très consommateurs en énergies et substances chimiques (étapes de raffinage, cristallisation, purification, etc.), leur rendement maximum est intrinsèquement limité et il y a, entre autres, un fort gaspillage de matière lors des découpes des lingots de silicium.
- **les cellules à base de couches minces (hors silicium amorphe)** qui ont en commun le procédé de dépôt du matériau semi-conducteur à faible épaisseur sur des substrats variés. Elles représentent actuellement environ 5% du marché.

Un module photovoltaïque est constitué d'un cadre généralement en aluminium et de cellules photovoltaïques encapsulées avec des métalliseurs de part et d'autre de sa surface par deux couches de protection. Un module comprend plusieurs autres composants dont un boîtier de raccordement

et des câbles de connexion (RECORD, 2012). Les panneaux photovoltaïques eux-mêmes sont principalement composés de verre traité par un revêtement antireflet, mais aussi de polymères (principalement EVA et polyoléfines) qui présentent une résistance importante à tout type de procédé de séparation, et enfin de métaux stratégiques et substances potentiellement dangereuses. L'aluminium et le verre représente près de 80% du poids d'un module photovoltaïque. Les semi-conducteurs qui composent la cellule sont généralement les éléments à plus haute valeur ajoutée du module.

L'ancienneté de la filière PV et sa forte croissance va entraîner dans un avenir proche des quantités importantes de déchets. Ce gisement qui double chaque année en Europe devait atteindre 35 000 tonnes par an à partir de 2020. Ainsi, il offre des opportunités au développement d'une filière de recyclage industrielle (RECORD, 2012). Diverses modélisations ont été réalisées concernant les gisements à prévoir à court et moyen terme (ex IRENA, 2016). Ces modélisations prennent en compte plusieurs hypothèses de calcul (durée d'exploitation, remplacement des modules avant la fin de cycle, etc.) Elles montrent que le gisement à traiter atteindra à l'échelle mondiale, de 1,7 à 8,0 millions de tonnes en 2030 et de 60 à 78 millions de tonnes en 2050. A l'échelle de l'Europe, ces quantités sont estimées à 10 millions de tonnes en 2050.

Avec l'augmentation de ce gisement, l'activité de recyclage des modules PV en fin de vie devrait donc poursuivre son développement en Europe comme cela a été amorcé via les investissements dans les premières unités industrielles.

**Le développement de solutions techniquement, économiquement et environnementalement viables nécessite de considérer l'ensemble du cycle de vie : de l'écoconception des modules PV à leur fin de vie dans la perspective d'un recyclage effectif tenant compte des risques environnementaux et sanitaires associés.**

## **Objectifs de l'étude**

Sur la base de la précédente étude réalisée par RECORD sur le recyclage des modules photovoltaïques en fin de vie (RECORD, 2012<sup>1</sup>) et des nombreux travaux réalisés depuis, cette nouvelle étude a pour objectif global d'évaluer l'avenir à court et moyen terme de la **filière de gestion des modules PV en fin de vie dans le monde** : approche prospective de la filière PV tenant compte de l'évolution des gisements (quantité et typologie de PV) et de l'évolution des techniques de **démantèlement - recyclage** conduisant à des fractions plus pures et des techniques d'extraction /recyclage à forts rendements. Il s'agira également de préciser le contexte réglementaire associé et de réunir les informations disponibles sur les impacts environnementaux et sanitaires de cette filière notamment les points critiques tout au long de la gestion de la fin de vie.

## **Contenu de l'étude - Programme de travail**

*Les proposants feront preuve d'initiative quant à la structuration du projet et présenteront dans leur réponse une organisation appropriée de la mission ; organisation qui devra permettre de répondre au mieux aux objectifs énoncés, notamment via la réalisation des éléments demandés ci-dessous.*

- ☞ Il s'agira dans un premier temps de présenter le contexte réglementaire et l'organisation de cette filière à REP à l'échelle de la France et de l'Union Européenne. Les méthodes de calcul des taux de recyclage des différents éléments seront notamment relatées.
- ☞ Les technologies PV actuellement sur le marché et celles en cours de développement seront présentées synthétiquement, en précisant les lieux de production des PV, leurs compositions (y compris les cellules) et leurs conditions d'usage. Un focus quant à la recherche d'amélioration de la recyclabilité de ces produits (efforts réalisés ou non via l'éco-conception, seconde vie, etc.) sera réalisé.
- ☞ Le proposant actualisera les données sur le gisement de modules PV en fin de vie en France et en Europe pour établir le potentiel de recyclage associé. Via un volet prospectif, les données seront extrapolées à horizon 2030. Il précisera les tonnages susceptibles d'être collectés à court et moyen termes (tonnage de modules PV décomposé en tonnage par matériau), en France et en Europe, ainsi que les coûts associés.

---

<sup>1</sup> « Recyclage des panneaux photovoltaïques en fin de vie. Etat des lieux international » réf. 11-0912/1A

- ☞ Il détaillera les technologies de démantèlement - recyclage en fonction du type de modules à recycler. Cela concernera les technologies actuellement déployées et celles à venir (TRL à préciser). Une cartographie des acteurs académiques et industriels sera présentée. Il évaluera les rendements matière de ces différentes techniques, les degrés de pureté atteints. Il identifiera les points forts et les points faibles des techniques actuelles de démantèlement – recyclage afin de dégager les pistes de progrès. Les coûts des équipements de démantèlement-recyclage, leur consommation spécifique ainsi que les coûts de fonctionnement de ces équipements seront fournis. Sur la base des coûts de collecte, de démantèlement, recyclage, purification et des prix de vente sur le marché des matières recyclées, il évaluera la viabilité économique des technologies de démantèlement - recyclage sur les technologies les plus matures (TRL > 6). Pour cela, le proposant s'attachera à établir des REX d'unités de recyclage PV mises en place récemment, en France, en Allemagne et dans le monde.
- ☞ Dans une vision Economie Circulaire et économie de la ressource, il apportera une réflexion sur l'intérêt de remettre sur le territoire européen, via le recyclage, des ressources minérales qui ont été consommées en Asie principalement, lors de la fabrication. Il décrira les secteurs potentiellement intéressés par les matières issues de cette filière de recyclage et les besoins sur le marché européen.
- ☞ Il se consacrera à l'évaluation des impacts environnementaux des opérations de démantèlement - recyclage des modules PV : rejets atmosphériques, effluents liquides, etc. Il précisera l'impact de la filière sur le changement climatique (kg eqCO<sub>2</sub>).
- ☞ Enfin il amorcera une analyse du risque pour la santé et la sécurité des travailleurs via un diagnostic des points critiques pour la sécurité des agents de ces filières. Cette analyse devra apporter des éléments utiles pour la rédaction du document unique d'évaluation des risques.

*Le proposant aura l'opportunité de s'appuyer sur une bibliographie internationale récente, nombreuse et de qualité. Il pourra ainsi avancer rapidement sur les points les mieux documentés pour se focaliser sur des aspects plus spécifiques et moins bien couverts par les études existantes. Une liste de certains de ces aspects pourrait être présentée dans la réponse.*

#### **Quelques références :**

RECORD (2012) : <https://record-net.org/catalogue/22>

IRENA (2016) <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>

MTE (2020) : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plan%20ressources%20Photovoltaique.pdf>

#### **Durée de l'étude**

10 à 12 mois

## **Cadre budgétaire**

35 000 euros hors taxes

## **Déroulement de l'étude et livrables exigés**

- **Déroulement d'une étude et procédures à suivre :**  
<https://www.record-net.org/deroulement-etude/>
- Il est à noter qu'en fin de projet, à l'issue des réunions de travail telles que décrites dans la page ci-dessus, l'équipe organisera une réunion de restitution d'une heure environ par web conférence (système supporté par RECORD). Ce webinar aura pour but de présenter de manière didactique, les résultats détaillés de l'étude à l'ensemble des membres de RECORD et à toute personne que RECORD souhaitera convier.
- **Livrables**
  - Au minimum, 1 rapport intermédiaire (rapport « rédigé », pas de rendu sous forme de Powerpoint),
  - 1 rapport final (rapport « rédigé », pas de rendu sous forme de Powerpoint),
  - 1 diaporama en français présentant de manière synthétique les principaux enseignements de l'étude (powerpoint d'une vingtaine de slides),
  - 1 diaporama en anglais présentant de manière synthétique les principaux enseignements de l'étude (powerpoint d'une vingtaine de slides),
  - 1 synthèse détaillée des travaux en français et en anglais (environ 3000 mots par langue),
  - Animation d'un webinar (comme explicité ci-dessus).

*Des compléments d'information concernant ces livrables (modèles à suivre, diffusion, etc.) sont disponibles via le lien mentionné ci-dessus.*

## **Valorisation**

Si le contenu du travail réalisé le permet, l'équipe retenue sera tenue de participer, à la demande de RECORD, à des actions de valorisation des résultats acquis au terme de ce projet (publication, séminaire). La réponse à cet appel pourra intégrer un développement sur ce point (valorisation envisagée, moyens de diffusion adaptés au sujet, etc.).

## **Dépôt des projets**

Les projets devront impérativement être présentés en utilisant le **formulaire** disponible sur le site de RECORD, à la page de parution des appels d'offre.

Les réponses sont à retourner pour le **lundi 22 novembre 2021** dernier délai (date d'envoi du courriel et du dépôt sur le site).

Chaque dossier doit impérativement être fourni à la fois :

**1/** Par dépôt à l'adresse suivante :

<https://record-net.org/appels-d-offres>

**2/** Par courriel à l'adresse :

[contact@record-net.org](mailto:contact@record-net.org)

### **Evaluation des réponses**

Au-delà de la conformité des réponses aux consignes mentionnées ci-dessus et au modèle de réponse demandé par RECORD, les principaux critères d'évaluation seront la qualité et l'argumentation de la réponse, les compétences de l'équipe candidate (expériences, publications, etc.), la qualité et la disponibilité du personnel mis à disposition pour la réalisation du projet.