Complément : Demande de cas par cas préalable à la réalisation d'une étude d'impact environnementale

JEROME MOTUT

16 CHEMIN DE GENEAU 33240 VIRSAC

06 67 27 37 36

chateaugeneau@live.fr

Afin de compléter les éléments constitutifs de la demande d'autorisation d'urbanisme vous trouverez ci-après une analyse de la situation du projet dans son environnement.

Les points abordés dans ce document sont les suivants :

1. Les fondations

2. Bilan des émissions de Gaz à effet de serre

3. Mesures Incendie

4. Risques sanitaires

5. Mesures de réduction et d'évitement

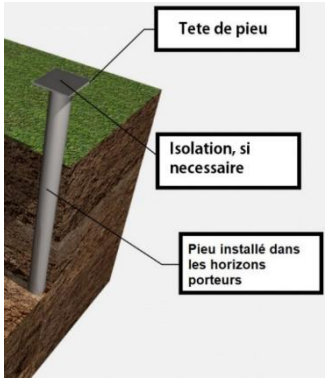
1. Les fondations

Concernant la demande faite sur les fondations dans la rubrique 4.3.1 du cerfa vous trouverez ci-dessous des éléments techniques permettant d'apprécier les solutions envisagées.

1. Les pieux vissés

L'étude géotechnique, réalisée en amont de la réalisation du projet, nous donne la profondeur nécessaire à la pose. Il se peut que les sols soient hétérogènes, dans ce cas nous utilisons des méthodes statistiques pour déterminer la profondeur des pieux requise.

Les hélices des pieux sont ancrées dans les couches résistantes, qu'on appelle des horizons porteurs. Si ces horizons se trouvent trop profond par rapport à la longueur des pieux estimée, nous rallongeons les pieux. Quoiqu'il en soit, la couche d'ancrage est définie par les sondages.



La capacité portante des pieux se calcule en fonction des charges de structure qui est prévue pour être mise sur les pieux, et nous en déduisons les diamètres des pieux à utiliser.

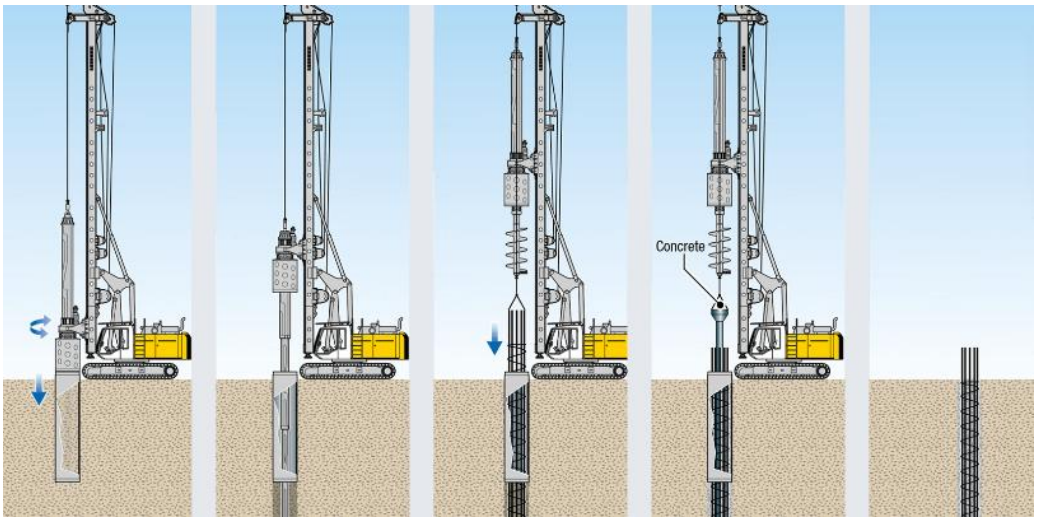
Pose des pieux

La phase de la pose (ou le vissage) est réalisée sur le terrain après les terrassements nécessaires et l'implantation, réalisés par des entreprises spécialisées dans le domaine.

Afin de chiffrer un projet, nous avons besoin de connaître les accès au terrain, les limitations éventuelles en poids et dimensions de la machine de pose, et d'autres contraintes. La déclaration d'intention de commencer les travaux (DICT) doit être déposé pour être sur qu'aucun réseau enterré ne puisse gêner la réalisation de la fondation.

2. Les pieux battus

Les pieux sont réalisés par excavation de matériaux puis coulage de béton dans le sol. Suivant la nature des terrains traversés, il existe de nombreuses techniques de forage. Différents outils sont utilisés selon la dureté des sols (tarière creuse, etc.). Dans le cas de sols de faible cohésion, un tubage permet d'assurer la tenue des terres durant les opérations de forage.



3. Choix de la solution

En fonction des résultats de l'étude de sol qui sera réalisée avant la réalisation de tout travaux, nous aurons tendance à privilégier la technologie des pieux vissés qui permet une réversibilité plus facile, si le terrain ne le permet pas nous opterons pour le pieux béton vertical car c'est une technique peu invasive, avec une superfine d'emprise au sol plutôt faible.

2.Bilan des émissions de Gaz à effet de serre

Concernant le sujet du bilan carbone de l'installation plusieurs études gouvernementale ont été réalisées notamment sur :

- L'Analyse du Cycle de VIE (ACV)
- Le temps de retour carbone
- Le démontage et recyclage des installations photovoltaïques

1. L'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

MÉTHODOLOGIE ACV

Afin de pouvoir comparer sur les mêmes bases l'impact que peut avoir sur l'environnement un produit ou un service, une méthode standardisée s'est développée sous le nom d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Au niveau international, cette analyse est cadrée par les normes ISO 14040 et ISO 14044 de 2006.

Le principe est de comptabiliser les ressources utilisées et les émissions occasionnées à toutes les étapes de la vie d'un produit. L'ensemble de ces données est ensuite traduit en indicateurs quantifiables grâce à des modèles mathématiques. Ces indicateurs s'appliquent généralement

à la fonction du produit et non au produit lui-même, ce qui permet de comparer plus facilement deux produits différents qui remplissent la même fonction. Au final, ce type d'études sert à mettre en lumière quel type d'impact est dominant ou quels sont les éléments ou les étapes qui pèsent le plus sur l'environnement, dans le but de pouvoir agir sur les facteurs adéquats.

MÉTHODOLOGIE

Définition de l'objectif et du périmètre de l'étude

Dans le cas du photovoltaïque, l'objectif est de comptabiliser les ressources utilisées et les rejets occasionnés pour la production de 1 kWh d'électricité. Le résultat dépend donc de la production totale d'une installation, donc de la durée de vie et de la productivité du panneau qui sont fonction de la technologie employée et de l'installation. Les résultats sont donnés par unité fonctionnelle (1 kWh), ce qui permet de comparer les systèmes entre eux (ex : combien de g de CO2 est rejeté dans l'atmosphère pour la production de 1 kWh avec un système photovoltaïque ou avec une centrale à charbon.) Le périmètre de l'étude est défini par l'ensemble des étapes ou processus de transformation qui interviennent pour que le système photovoltaïque remplisse sa fonction, du sable jusqu'au retraitement en fin de vie.

Analyse de l'inventaire

Pour chaque étape, on fait la liste de tout ce qui entre et sort du système. Les «flux entrants » : les quantités d'énergie et de matière utilisées ; et les « flux sortants » : les rejets générés. Ils sont ensuite additionnés pour chaque type de flux (par ex : consommation d'eau, rejet de chutes de découpe d'aluminium...).

Evaluation de l'impact

Durant cette phase, les flux entrants et sortants sont combinés dans des catégories d'impact. Ces résultats sont autant d'indicateurs en termes de dommage environnemental. On retrouve généralement les axes suivants :

- La demande cumulée en énergie primaire
- L'utilisation de ressources non renouvelables.
- Les gaz à effet de serre
- La santé humaine
- Les écosystèmes

ACV D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE

Un système photovoltaïque s'entend ici comme l'ensemble des éléments le composant, à savoir les modules, les onduleurs, les liaisons électriques DC et AC ainsi que les coffrets et protections jusqu'au point de livraison et le système de montage.

Il est admis par la communauté scientifique internationale que dans le cas du photovoltaïque, les étapes qui pèsent le plus dans le bilan concernent la fabrication des systèmes, et ce quelle que soit la technologie retenue. En effet, une fois en fonction, mis à part le remplacement éventuel des onduleurs, le système produit de l'électricité sans dommage notable pour l'environnement : ni bruit, ni vibration, ni consommation de combustible, ni production de déchets, d'effluents liquides ou gazeux…

Lors de la fabrication, l'impact le plus important sur l'environnement est dû à la consommation d'énergie. En effet, une partie importante de l'énergie utilisée est issue de combustibles fossiles, à l'origine de l'épuisement des ressources fossiles, de l'émission de gaz à effet de serre et de l'émission de résidus de combustion provoquant pluies acides et dommages respiratoires. Dans le cas particulier du silicium cristallin, cette consommation est principalement due au très énergivore procédé de production de silicium polycristallin en réacteurs Siemens.

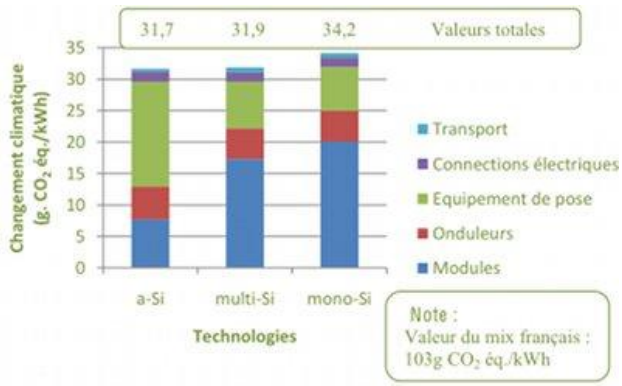
L'ensemble des dépenses énergétiques peut être exprimé en énergie primaire. L'énergie primaire est l'énergie puisée dans les ressources naturelles telles qu'on les trouve à l'état brut (pétrole, gaz, charbon, uranium, soleil, vent, biomasse etc.). Cette unité permet de prendre en compte les pertes inhérentes au mode de production d'énergie utilisée. Pour du silicium cristallin, il faut compter environ 15 000 MJ d'énergie primaire par kWc pour un système photovoltaïque complet. Exprimé autrement, on comptera environ 1 400 kWh d'énergie finale (l'électricité facturée au compteur par exemple) par kWc installé.

L'énergie grise d'un système photovoltaïque, exprimée en énergie primaire, permet de calculer le temps de retour énergétique, par rapport à l'énergie habituellement utilisée à laquelle se substitue la production photovoltaïque. En Europe, il faut en moyenne 1 à 1,5 ans à un système photovoltaïque pour produire autant d'énergie qu'il en a fallu pour le fabriquer, cette durée étant fonction de l'ensoleillement. Bien entendu, les technologies se perfectionnant sans cesse, l'impact environnemental diminue à mesure que le rendement des cellules augmente et que les concepteurs de systèmes prennent soin d'optimiser la production.

ETUDE ESPACE-PV

L'Analyse du Cycle de Vie cofinancée par l'ADEME et initiée en 2008 dans le cadre du projet ESPACE-PV a permis de présenter plusieurs résultats représentatifs pour la France.

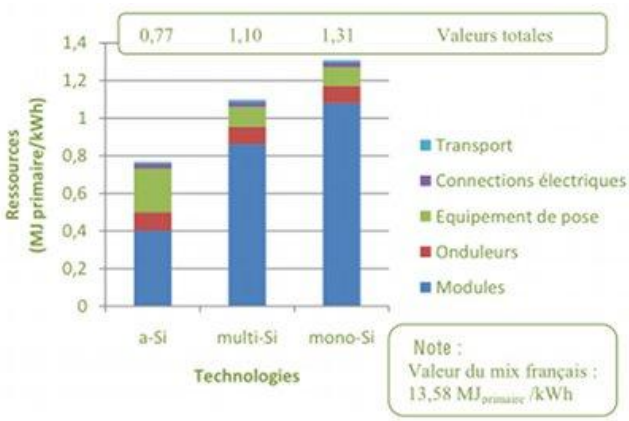
EVALUATION DE LA CONTRIBUTION À L'EFFET DE SERRE (EMPREINTE CARBONE) POUR DIFFÉRENTS SYSTÈMES



L'empreinte carbone est traduite à l'aide d'un indicateur en g CO2-équivalent par kWh produit, correspondant à la quantité de gaz à effet de serre émis lors de la fabrication du système divisé par sa production électrique pendant 30 ans. Le résultat obtenu dépend alors de la productivité du système, fortement liée à l'irradiation du lieu, et varie donc avec la région concernée.

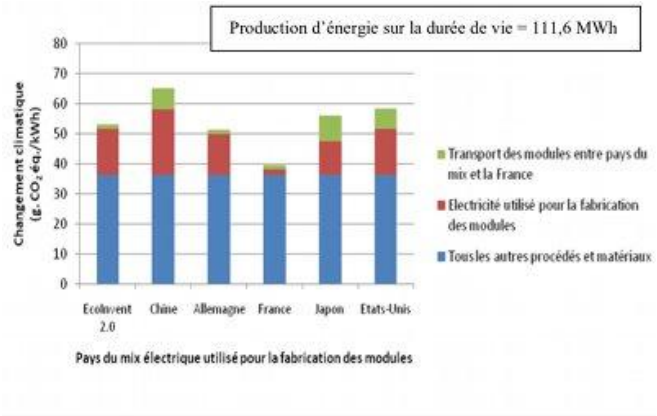
La part des modules dans les indicateurs environnementaux est majoritaire et souligne la nécessité d'optimiser l'impact environnemental de leur fabrication. On peut noter au passage la très faible contribution du transport à l'impact carbone global d'un système PV.

EVALUATION DE LA PART DES RESSOURCES CONSOMMÉES POUR DIFFÉRENTS SYSTÈMES



D'après ce graphique, la technologie silicium amorphe semble consommer moins de ressources pour sa fabrication, résultat pouvant être généralisé aux couches minces en général. Cependant, l'équipement de pose a une importance particulière sur les émissions de CO2 éq. puisque sa superficie est doublée pour une même puissance installée. Une plus grande utilisation de métaux à fort contenu énergétique, comme l'aluminium par exemple, explique ces résultats.

COMPARAISON DE L'IMPACT LIÉ À LA FABRICATION DES SYSTÈMES POUR DIFFÉRENTS MIX ÉNERGÉTIQUES



Cette comparaison apporte des éléments de réponse au questionnement sur la pertinence écologique de fabriquer des modules à partir d'électricité provenant de centrales à charbon.

HARMONISATION DES ACV

COHÉRENCE ET HARMONISATION DES ACV

Constatant la multiplication des ACV pour les systèmes photovoltaïques, un groupe d'experts de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE/IEA) a souhaité harmoniser le choix des hypothèses de travail et des méthodologies adoptées et a publié un guide méthodologique sur l'analyse du cycle de vie de l'électricité photovoltaïque de systèmes raccordés au réseau (lien vers le guide en bas de page).

Ce guide émet des recommandations sur les caractéristiques techniques relatives aux systèmes photovoltaïques étudiés (durée de vie de 30 ans, composants du système photovoltaïque, ratio de performance de 75 %, un seul remplacement d'onduleur, irradiation moyenne de la zone concernée, etc.), sur l'approche méthodologique et sur les modèles d'analyse choisis (empreinte environnementale du kWh d'électricité injecté sur le réseau, catégories d'impact etc.) et enfin sur le format des résultats (mention des hypothèses utilisées, choix des indicateurs, etc).

EMPREINTE CARBONE HARMONISÉE

Durant les 30 dernières années, des centaines d'analyses du cycle de vie ont ainsi été menées et publiées sur le photovoltaïque, des systèmes résidentiels aux fermes solaires, fournissant une large gamme de résultats. Le NREL (Laboratoire National des Energies Renouvelables, aux Etats-Unis) a effectué en 2012 un travail de synthèse dans le souci de dégager les tendances et de réduire les écarts d'une étude à l'autre.

Références : 1/ Hsu, D. D., O'Donoughue, P., Fthenakis, V., Heath, G. A., Kim, H. C., Sawyer, P., Choi, J.-K. and Turney, D. E. (2012), Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Crystalline Silicon Photovoltaic Electricity Generation. Journal of Industrial Ecology, 16: S122–S135. 2/ Kim, H.

C., Fthenakis, V., Choi, J.-K. and Turney, D. E. (2012), Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-film Photovoltaic Electricity Generation. Journal of Industrial Ecology, 16: S110–S121.

In fine, l'empreinte carbone d'un système photovoltaïque complet est évaluée à environ 44g CO2-eq/kWh.

g CO2-eq/kWh	au sol	en toiture
Toutes technos photovoltaïques	44	
mono-Si (14 %)	40	40
multi-Si (13,2 %)	69	46
a-Si (6,3 %)	28	29
CdTe (10,9 %)	21,5	22
CIGS (11,5 %)	44	46

Les valeurs qui en ressortent sont les valeurs médianes d'une série de valeurs références tirées de 13 études pour le silicium cristallin et de 5 pour les couches minces sur les 400 recensées. L'harmonisation des données a ensuite consisté à ramener les estimations d'émissions de gaz à effet de serre à un ensemble d'hypothèses de départ identiques, à savoir : irradiation de 1700 kWh/m2.an, rendement du module (cf tableau), ratio de performance de 75% ou 80% selon que le système soit intégré en toiture ou posé au sol, durée de vie de 30 ans et dégradation du rendement de 0,5 % par an. Enfin, l'étude concernant le silicium cristallin visait des modules cadrés, recyclage compris, pour un état de l'art technologique datant de 2005-2006, alors que celle sur les technologies couches minces envisageait des modules non cadrés, recyclage exclus. Cette méthode a permis de réduire la dispersion des résultats de 65 %.

IMPACT DES DIFFÉRENTS COMPOSANTS D'UNE INSTALLATION PV

Le système photovoltaïque s'étend au delà du module. A l'énergie physiquement dépensée lors des étapes de fabrication des modules vient s'ajouter l'énergie grise et les rejets impactés par les autres éléments. Suivant les systèmes et leur type d'intégration, ces valeurs évoluent beaucoup. On peut cependant émettre quelques généralités.

LES ONDULEURS

Du fait de l'électronique qu'ils contiennent en quantité grandissante ainsi que des métaux utilisés pour les boîtiers, les onduleurs ont un impact important. L'augmentation de leur durée de vie peut permettre d'améliorer le bilan énergétique.

L'ALUMINIUM

Il est présent en petite quantité comme contact arrière des cellules photovoltaïques et en masse dans le cadre, la structure de montage et l'onduleur. La production d'aluminium est très consommatrice en énergie et génère des émissions d'hexafluorure de soufre ou SF6, gaz à effet de serre à très haut pouvoir réchauffant (coefficient de 22 200 contre 1 pour le CO2).

LE SILICIUM

Il est l'enjeu le plus important de réduction de la consommation énergétique. Il faut 60 fois plus d'énergie pour produire du silicium solaire que du verre. Les pistes actuellement explorées sont l'amélioration des procédés de raffinage et la diminution de l'épaisseur des cellules.

L'ARGENT

Présent en quantité limitée sur la planète, le taux de récupération et de recyclage de ce métal est, comme son prix, élevé. Il est utilisé dans les électrodes en face avant des cellules, les fournisseurs de pâtes de métallisation développant des amalgames sans Argent.

SUBSTANCES DANGEREUSES

Parmi les substances les plus dangereuses, on trouve le plomb, le brome et le cadmium. Le plomb est présent dans les soudures ou les contacts électriques des cellules, des procédés de soudure alternatifs faisant leur apparition sur le marché. Le brome se trouve dans les matières plastiques de l'onduleur. Le cadmium est utilisé dans les technologies CIGS et CdTe, sous forme de sulfure de cadmium CdS dans les deux et de tellurure de cadmium, le principal élément semiconducteur de la technologie CdTe.

AUTRES MATÉRIAUX

D'autres matériaux ne présentent pas de toxicité particulière mais ne sont pas valorisables en fin de vie ou présentent des ressources limitées. C'est le cas de l'EVA ou du Tedlar.

Enfin, de nombreux composés chimiques utilisés lors de la fabrication du silicium polycristallin et des cellules photovoltaïques imposent des conditions de manipulation adéquates garantissant la santé et la sécurité des travailleurs. Étant donné qu'ils donnent lieu à des rejets importants de polluants dans l'eau ou dans l'air, dont les plus importants sont les gaz à effet de serre du type CF4 ou des produits inorganiques tels que HF, HNO3, HCl, NH3 et NaOH, des systèmes de traitement sont mis en place sur les lieux de fabrication pour éviter tout rejet dans la nature.

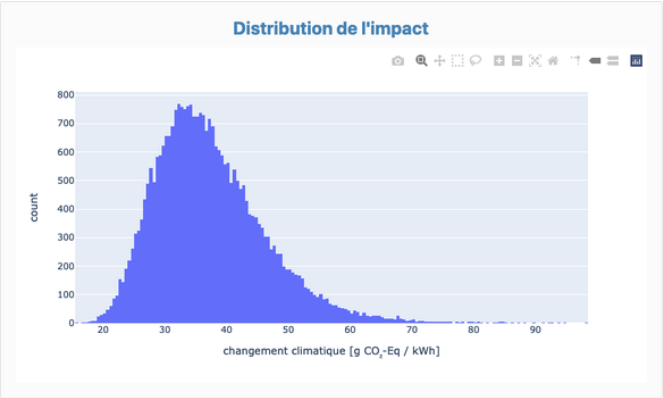
ÉTUDE INCER-ACV

Le projet INCER-ACV, financé par l'ADEME en partenariat avec ENGIE, ARMINES et le centre OIE de Mines ParisTech, vise à calculer les impacts environnementaux de la filière photovoltaïque ainsi que les marges d'incertitude associées à ces calculs.

Dans le cadre de ce travail, un outil permettant de tester différentes hypothèses a été mis à disposition gratuitement en ligne. Celui-ci permet de calculer les valeurs moyenne et médiane d'un indicateur environnemental ainsi que les incertitudes associées.

UNE EMPREINTE CARBONE INFÉRIEURE À 50 GCO2/KWH (À 90 % DE CHANCE) POUR UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE COMPLET

L'empreinte carbone d'un module dépend de plusieurs facteurs :



- le productible annuel de l'installation photovoltaïque,
- la durée de vie des modules (de 25 à 35 ans),
- la durée de vie des onduleurs (de 10 à 30 ans),
- la quantité d'électricité nécessaire à la production du silicium,
- le rendement du système en sortie d'onduleur,
- le contenu CO2 du mix électrique utilisé pour la fabrication du module, des cellules et wafers ainsi que de l'aluminium contenu dans le système,
- le type de système (au sol ou en toiture).

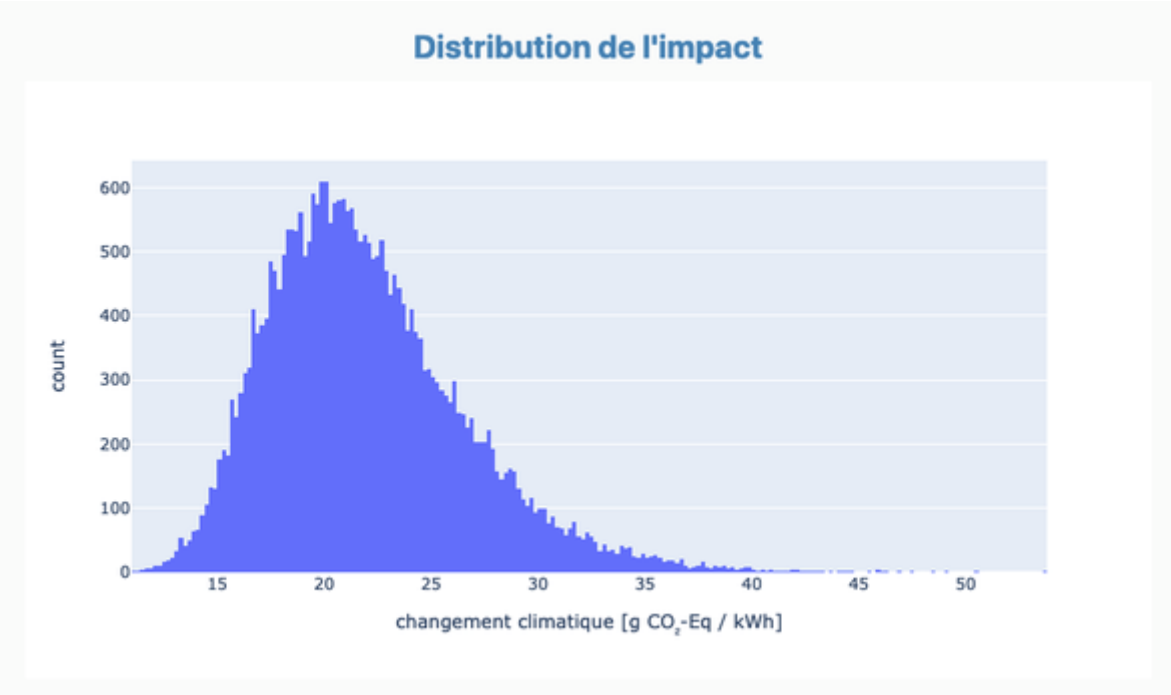
Chacun de ces facteurs est soumis à incertitude : celle-ci a été été représentée pour chacun d'entre eux sous la forme d'une distribution de probabilité. 10 000 tirages aléatoires sur chacune de ces variables ont ensuite été réalisés pour calculer 10 000 résultats d'empreinte carbone. La distribution de probabilité ci-dessus est le résultat de ces tirages.

UNE RELOCALISATION DE LA CHAÎNE DE VALEUR DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES EN FRANCE PERMETTRAIT DE DIVISER PAR DEUX L'EMPREINTE CARBONE

INER-ACV intègre une hypothèse "mix électrique utilisé pour la production du module", en remplaçant la valeur par défaut (essentiellement mix électrique chinois) par un mix français. L'empreinte carbone est divisée par deux en ordre de grandeur.

11 AUTRES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX SONT CALCULÉS

L'outil INCER-ACV permet de calculer selon un principe similaire 11 autres indicateurs comme par exemple l'acidification des milieux, les déchets radioactifs évités, l'épuisement des ressources minérales, la qualité de l'air, l'utilisation en eau ou la toxicité humaine.



Impact CO2 dans le cas d'une production de modules localisée en France. Source : INCER-ACV.

2. Le temps de retour carbone

QU'EST-CE QUE LE TEMPS DE RETOUR CARBONE ?

La fabrication d'une installation photovoltaïque, son exploitation et son démantèlement ont une empreinte carbone. Lorsque cet équipement permet d'éviter d'émettre du CO2, comme cela peut être le cas des énergies renouvelables, il est possible de calculer le temps nécessaire au remboursement de la "dette" carbone.

Le temps de retour carbone est égal au ratio entre l'empreinte carbone de l'équipement sur l'ensemble de son cycle de vie et les émissions évitées par celui-ci sur une année. Il se mesure en général en années.

QUELLE EST L'EMPREINTE CARBONE DU PHOTOVOLTAÏQUE ?

Les Analyses de Cycles de Vie (ACV) permettent de calculer l'empreinte carbone du photovoltaïque. Elles sont toutefois soumises à une forte incertitude liée notamment à la méthodologie utilisée. Pour la suite, nous nous baserons sur la méta-analyse du NREL(Laboratoire National des Energies Renouvelables, aux Etats-Unis) qui fournit une empreinte complète évaluée à 44g CO2-eq/kWh.

Les estimations du NREL ont été réalisées pour un ensoleillement proche de celui du sud de la France (1 700 kWh/m2.an) où une installation PV de 1 kWc produit environ 38 MWh sur sa durée de vie. Sur la base de ce calcul, l'empreinte totale serait donc d'environ 1,7 tCO2 pour 1 kWc.

Une part significative de l'empreinte du photovoltaïque est liée à l'électricité utilisée pour la production des modules et des produits intermédiaires nécessaires à leur fabrication (lingots de silicium, wafers, cellules). Or, la consommation d'électricité nécessaire à la fabrication de 1 kWc tend à diminuer. De plus, l'électricité utilisée est de moins en moins carbonée. Ainsi, l'empreinte carbone du photovoltaïque tend à diminuer avec le temps. Des estimations plus récentes fournissent ainsi des chiffres inférieurs à 30 gCO2/kWh , y compris pour des installations dont le matériel a été fabriqué en Asie.

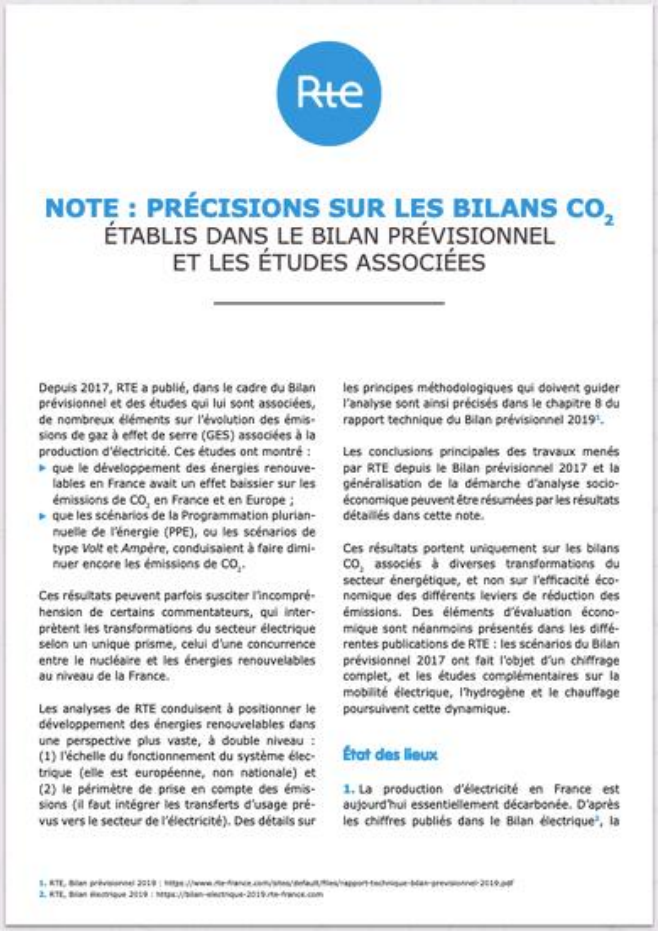
Les modules constituent le plus souvent l'essentiel de l'empreinte carbone d'un système photovoltaïque.

Ceux utilisés dans le cadre des appels d'offres de la CRÉ ont une empreinte moyenne de 550 kgCO2/kWc, ce qui correspond à 15 gCO2-eq/kWh pour les seuls modules, mais ne prend pas en compte l'impact carbone des autres équipements comme les onduleurs et les câbles, ou les travaux.

LE PHOTOVOLTAÏQUE INTALLÉ EN FRANCE EST PERTINENT POUR LE CLIMAT MÊME SI LE MIX FRANÇAIS EST PEU CARBONÉ

Si le photovoltaïque remplace une énergie faiblement carbonée, les émissions évitées sont faibles voire nulles. S'il remplace une énergie dont l'empreinte carbone est plus faible que la sienne, les émissions de CO2 peuvent même être positives. Le mix électrique français étant peu carboné, a priori, la question de la pertinence du photovoltaïque en France pour le climat pourrait se poser. Pourtant, même en France, le photovoltaïque remplace bien une production électrique au gaz ou au charbon bien plus carboné que lui.

L'ÉOLIEN ET LE PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE SE SUBSTITUENT PRESQUE EXCLUSIVEMENT À UNE PRODUCTION ÉLECTRIQUE GAZ OU CHARBON



NOTE : PRÉCISIONS SUR LES BILANS CO_2
ÉTABLIS DANS LE BILAN PRÉVISIONNEL
ET LES ÉTUDES ASSOCIÉES

Depuis 2017, RTE a publié, dans le cadre du Bilan prévisionnel et des études qui lui sont associées, de nombreux éléments sur l'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) associées à la production d'électricité. Ces études ont montré :

- que le développement des énergies renouvelables en France avait un effet baissier sur les émissions de CO_2 en France et en Europe ;
- que les scénarios de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), ou les scénarios de type *Volt* et *Ampère*, conduisaient à faire diminuer encore les émissions de CO_2.

Ces résultats peuvent parfois susciter l'incompréhension de certains commentateurs, qui interprètent les transformations du secteur électrique selon un unique prisme, celui d'une concurrence entre le nucléaire et les énergies renouvelables au niveau de la France.

Les analyses de RTE conduisent à positionner le développement des énergies renouvelables dans une perspective plus vaste, à double niveau : (1) l'échelle du fonctionnement du système électrique (elle est européenne, non nationale) et (2) le périmètre de prise en compte des émissions (il faut intégrer les transferts d'usage prévus vers le secteur de l'électricité). Des détails sur les principes méthodologiques qui doivent guider l'analyse sont ainsi précisés dans le chapitre 8 du rapport technique du Bilan prévisionnel 2019[1].

Les conclusions principales des travaux menés par RTE depuis le Bilan prévisionnel 2017 et la généralisation de la démarche d'analyse socio-économique peuvent être résumées par les résultats détaillés dans cette note.

Ces résultats portent uniquement sur les bilans CO_2 associés à diverses transformations du secteur énergétique, et non sur l'efficacité économique des différents leviers de réduction des émissions. Des éléments d'évaluation économique sont néanmoins présentés dans les différentes publications de RTE : les scénarios du Bilan prévisionnel 2017 ont fait l'objet d'un chiffrage complet, et les études complémentaires sur la mobilité électrique, l'hydrogène et le chauffage poursuivent cette dynamique.

État des lieux

1. La production d'électricité en France est aujourd'hui essentiellement décarbonée. D'après les chiffres publiés dans le Bilan électrique[2], la

1. RTE, Bilan prévisionnel 2019 : https://www.rte-france.com/sites/default/files/rapport-technique-bilan-previsionnel-2019.pdf
2. RTE, Bilan électrique 2019 : https://bilan-electrique-2019.rte-france.com

Cette information est le résultat d'une étude de RTE menée dans le cadre du bilan prévisionnel 2019.

Depuis plusieurs années, la production nucléaire française diminue, cette baisse est toutefois liée à des causes intrinsèques à la filière.

Une- réduction -significative- de- la- production- annuelle des réacteurs nucléaires a certes été enregistrée depuis les années 2000, et principalement entre 2005 (production annuelle de 30 TWh) et 2016 (production de 384 TWh, soit une baisse de près de 50 TWh en un peu plus de dix ans). Cette réduction tient principalement aux performances du parc nucléaire, dont les réacteurs font l'objet d'arrêts plus fréquents et plus longs, notamment dans le cadre du programme du « grand carénage ». RTE a analysé en détail les conséquences ces arrêts et leurs conséquences sur la sécurité d'approvisionnement dans le cadre des derniers Bilans prévisionnels.

Les énergies renouvelables —prioritaires sur le réseau —peuvent entrainer une baisse de la production nucléaire lors des périodes de faible prix sur le marché de l'électricité. Ce phénomène, marginal en 2019, devrait le rester dans les années à venir, mais pourrait se développer à plus long-terme.

La faculté, pour certains réacteurs nucléaires, de pouvoir moduler leur production constitue une caractéristique importante du parc français, qui n'est pas récente et était déjà nécessaire dans les années 1990 et 2000 pour adapter la production au- profil- de- consommation- (la- France- disposant- majoritairement de nucléaire dans son mix et moins de centrales au gaz ou au charbon que les pays voisins). Dans le contexte d'aujourd'hui, la modulation à la baisse de la production des réacteurs nucléaires en périodes de grande abondance de production

renouvelable est un phénomène qui existe, mais demeure rare et se produit essentiellement lors des périodes de faible consommation électrique (en particulier certains week-ends et jours fériés). Il intervient pour des raisons économiques (quand les prix de marché sont bas), dans le cadre d'une gestion de stock : hors cas spécifiques,- la- production- est- souvent- simplement- reportée.

L'éolien et le photovoltaïque remplacent donc essentiellement une production électrique thermique à base de charbon ou de gaz, en France, ou à l'étranger via les exports.

En conséquence, l'augmentation de la production éolienne et solaire en France se traduit par une réduction de l'utilisation des moyens de production thermiques

Les émissions totales évitées par l'éolien et le photovoltaïque sont de l'ordre de 22 MT CO2 en 2019 pour 46 TWh produits. En moyenne, 1 kWh éolien ou photovoltaïque évite ainsi l'émission de 480 gCO2/kWhe.

Pour obtenir une évaluation des émissions évitées grâce à la production éolienne et solaire, RTE a simulé ce que serait le fonctionnement du système électrique actuel sans ces installations. Cette étude, restituée dans le rapport technique du Bilan prévisionnel 2019, chiffre les émissions évitées à environ 22 millions de tonnes de CO2 par an (5 millions de tonnes en France et 17 millions de tonnes dans les pays voisins).

UN TEMPS DE RETOUR CARBONE D'ENVIRON 3 ANS EN 2019

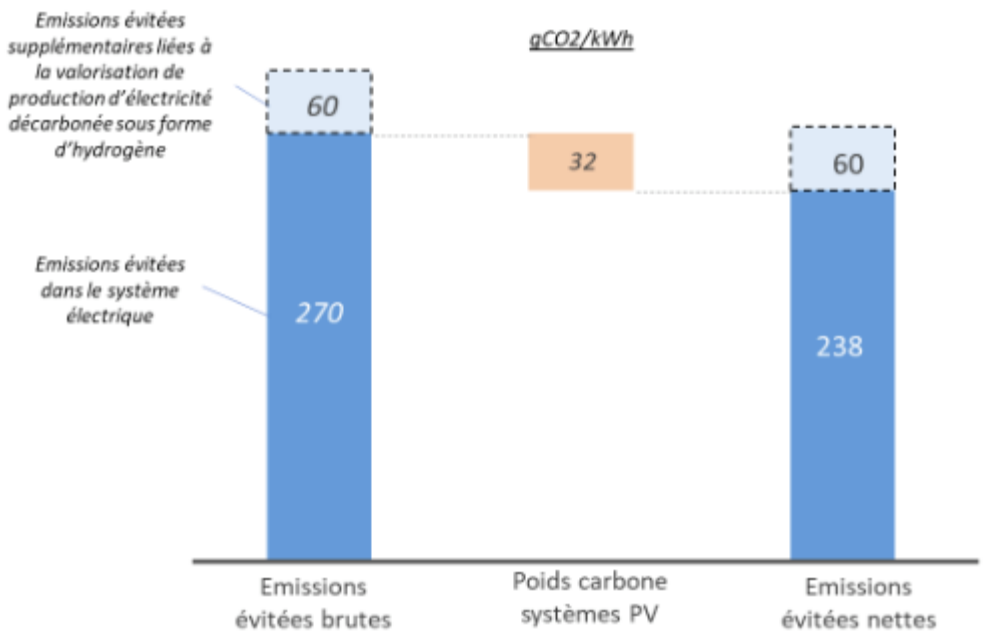
L'empreinte carbone d'un kilowatt-crête photovoltaïque est de l'ordre de 1,7 tCO2. Sur un an, ce kilowatt-crête produit en moyenne 1 150 kWh en France (ensoleillement de la région lyonnaise) et permet donc d'éviter l'émission d'environ 550 kg de CO2 par an sur la base du fonctionnement du mix électrique français en 2019 (480 gCO2évitées/kWhe). Il faut donc environ 3 ans pour rembourser la dette carbone pour une installation photovoltaïque en France en 2019.

QUEL TEMPS DE RETOUR EN 2030 ?

Plus les énergies renouvelables se développeront en France et en Europe, plus il y aura de chances qu'une production photovoltaïque à une heure donnée se substitue à une production décarbonée et non à une production gaz ou charbon. Sur le long-terme, les émissions évitées par kilowattheure devraient donc diminuer, tout en restant positive.

D'après une étude publiée en 2020 de France Territoire Solaire, si la trajectoire de développement des EnR prévue par la PPE est respectée, le photovoltaïque permettra d'éviter 238 gCO2eq/kWh net en 2030, calculé à partir de 270 gCO2eq/kWh évités, auxquels doivent être retirées les émissions liées à l'empreinte carbone du photovoltaïque (44 gCO2/kWh dans l'étude du NREL, 32 gCO2/kWh dans l'étude de France Territoire Solaire). Si l'arrêt des réacteurs est retardé, les émissions évitées seront plus faibles, inversement, si les la capacité

photovoltaïque installée est plus faible que prévu, les émissions évitées seront plus importantes.



3. Le démontage et le recyclage des installations photovoltaïques

CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

La législation européenne en matière de gestion des déchets s'appuie essentiellement sur la directive cadre sur les déchets 2008/98/CE, la directive 2011/65/CE relative aux exigences d'écoconception des produits liés à l'énergie, la directive 2002/95/CE dite RoHS limitant l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, et la directive 2002/96/CE dite DEEE "Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques". (ou D3E) relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques.

Le droit européen reconnaît la responsabilité des producteurs pour la gestion de fin de vie de leurs produits (principe du pollueur payeur). Ainsi depuis 2005 dans le respect de la directive des D3E, les fabricants d'onduleurs doivent réaliser à leurs frais la collecte et le recyclage de leurs produits. Depuis 2012 le principe s'applique aux fabricants de panneaux photovoltaïques. Ces derniers doivent respecter les obligations de collecte et de recyclage des panneaux qui est à leur charge.

Ces lois européennes ont été transposées au droit français en 2014. Le décret n°2014-928 correspondant à la loi européenne a été publié le 22 août modifiant la sous-section relative au DEEE du code l'environnement (articles R 543-172 à R 543-206-4).
En France, selon le principe de responsabilité élargie des producteurs (REP), la gestion des déchets issus des équipements électriques et électroniques (EEE), doit être assurée par les producteurs desdits produits. Pour remplir leurs obligations, ces derniers doivent mettre en

place soit un système individuel agréé, soit adhérer à un éco-organisme titulaire d'un agrément. L'arrêté du 4 mars 2022 proroge l'agrément de la société SOREN en tant qu'éco-organisme jusqu'au 31 décembre 2027.

Les règlements européens n°1013/2006 et n°1014/2007 concernent quant à eux le transfert de déchets.

DURÉE DE VIE DES MODULES

Aujourd'hui, les fabricants de modules garantissent en général 80% de la puissance initiale après 25 ans. Cela ne signifie pas que l'installation doit être démontée au bout de 25 ans, bien au contraire puisqu'elle reste encore en mesure de produire 80% de sa puissance initiale. La fin de vie reste donc à l'appréciation du producteur, selon ses besoins de production (par rapport à ses besoins de consommation par exemple). Dans les analyses de cycle de vie, la durée de vie du système photovoltaique généralement admise est de 30 ans, avec 2 renouvellements d'onduleurs.

DURÉE DE VIE DES ONDULEURS

Lors de la réalisation du plan d'affaires d'une installation photovoltaïque, il est souvent pris l'hypothèse d'un renouvellement d'onduleurs tous les 10 ans.

Cette hypothèse peut paraitre prudente au vu d'une étude de la Haute école spécialisée bernoise (2022) , qui a analysé un panel de 1195 systèmes photovoltaïques comprenant 2121 onduleurs (majoritairement string ou multistring) et 8542 optimiseurs, majoritairement de petites tailles (inférieur à 20 kVA), de différentes configurations et de différents constructeurs. L'étude conclut que :

- Après 15 ans, 65,7% des onduleurs n'ont pas encore eu de défaillances. Après 10 ans, plus de 75% des onduleurs n'ont pas encore eu de défaillances.
- Les onduleurs situés en intérieur ont un plus faible taux de défaillance que les onduleurs situés en extérieur, environ d'un facteur 2. Il semblerait également aussi qu'un positionnement dans un environnement stable (pièce chauffée en intérieur, protection contre la pluie et le soleil en extérieur) soit bénéfique, mais la quantité de données est trop faible pour avoir une conclusion précise.
- Les onduleurs ont une durée de vie différente selon les constructeurs. De plus, les onduleurs mis en service avant 2010 ont moins de défaillances sur les premières années.
- Le type de technologie a une influence notable. En particulier, les installations sans optimiseur ont un plus faible taux de défaillance (après 8 ans, environ d'un facteur 2).

- Pas de différence peut être tiré de l'étude des autres facteurs étudiés : puissance de l'onduleur, ratio de puissance, onduleur/modules, angle d'inclinaison ou type de toit.

DÉMANTÈLEMENT ET COLLECTE

Le démantèlement d'une installation photovoltaïque consiste à déposer tous les éléments constitutifs du système, depuis les modules jusqu'aux câbles électriques en passant par les structures support.

Le démontage des modules d'une centrale ne signifie pas forcément l'arrêt définitif de cette dernière.

En effet il peut être décidé d'installer de nouveaux panneaux permettant de revenir à un niveau de production équivalent ou supérieur à celui de l'année de mise en service en prolongeant ainsi la vie de la centrale.

De grandes quantités de modules peuvent aussi être amenées à être changées suite à des alertes qualité ou des évènements météorologique exceptionnels (grêle),

Attention ces opérations appelées "repowering" sont réglementairement encadrées si la centrale bénéficie d'un tarif d'achat. Plus d'infos sur la page Modifier mon installation .

Si, après 20 ou 30 ans de service, l'installation doit cesser sa production, alors la totalité des éléments sera démontée pour tri et recyclage ou réemploi.

Panneaux en attente de traitement sur l'usine ENVIE de Saint-Loubès

Panneaux en cours de traitement : le cadre et la boite de jonction ont été enlevés

L'ÉCO-ORGANISME SOREN

Depuis 2007, des fabricants européens de panneaux photovoltaïques se sont regroupés autour de l'association PV Cycle pour organiser la collecte et le recyclage. Des filiales opérationnelles ont été créées dans les différentes pays de l'Union Européenne pour mettre en place le dispositif requis par la DEEE.

En France, l'unique éco-organisme agréé par les pouvoirs publics pour la prise en charge des panneaux photovoltaïques usagés est la société SOREN (anciennement PV Cycle France), créée en 2014. Elle est détenue par sept entités (acteurs de la filaire Photovoltaïque) dont l'association PV Cycle.

Elle a mis en place un système de collecte et de recyclage et accepte tous les panneaux en provenance du marché français, quel que soit leur marque ou leur technologie. Dès lors qu'un producteur souhaite mettre au rebut ses panneaux photovoltaïques, il peut s'adresser à SOREN :

- pour moins de 40 panneaux, ceux-ci peuvent être déposés au point d'apport volontaire le plus proche ("Trouver un point d'apport volontaire")
- pour plus de 40 panneaux, un enlèvement sur site est possible sous réserve de respecter un certain conditionnement (palette, film, cerclage).

PRISE EN CHARGE DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT ET DE COLLECTE

Soren supervise la gestion de la fin de vie des modules. L'éco-organisme a pour rôle de collecter l'éco-participation afin de financer le système de collecte et de recyclage. Cette éco-participation est payée par les fabricants de modules lors de leur mise sur le marché français. La collecte et le recyclage sont sous-traités à des organismes spécialisés qui sont sélectionnés lors d'appels d'offre émis par SOREN. Pour les emporter ils doivent remplir des critères précis

provenant des exigences légales du cahier des charges imposé par le ministère de la transition écologique à SOREN.

A date de Novembre 2022 SOREN organise la collecte des panneaux photovoltaïques sur toute la France et achemine les panneaux vers 3 centres de traitements :

- Toulouse
- Bordeaux (Saint-Loubes)
- Lille

RECYCLAGE DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

RECYCLAGE DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES À BASE DE SILICIUM CRISTALLIN

Les panneaux solaires sont-ils recyclables ?

De 2018 à 2021, c'était l'usine Veolia de Rousset qui était chargée de recycler les modules photovoltaïques. A l'arrivée sur la chaîne de recyclage, le panneau subissait les actions suivantes : la boite de jonction, les câbles et le cadre en aluminium (si présent), étaient retirés de la partie laminée (plaque de verre, cellules - encapsulant et le backsheet). Les éléments détachés étaient envoyés dans leur filière de recyclage. En parallèle, le laminé était broyé. Le broyat était traité de façon à séparer les différents matériaux : verre, métaux, plastique, sable constitué de verre et silicium, et enfin des résidus : infographie de Soren.

Le verre pur était valorisé dans les filières verrières en fonction de sa qualité. Le sable constitué de verre et silicium était employé comme sable technique afin de réaliser des enrobés bitumineux pour les routes. Les métaux étaient envoyés dans leur filière de recyclage, et les plastiques étaient incinérés.

Au total, environ 95% de la masse des matériaux du panneau était valorisée. Soren a décidé en accord avec Veolia de ne plus employer le site de Rousset pour le recyclage des modules. Ceci pour des raisons de non-rentabilité économique du site.

Depuis 2022, l'éco-organisme a souhaité financer le projet d'Envie 2E Aquitaine, qui a monté un partenariat avec la start-up ROSI Solar. Le projet permettra une meilleure valorisation.

Centre de traitement Envie 2E Aquitaine

L'usine de Saint-Loubès (proche de Bordeaux) a été inaugurée le 27 septembre 2022. Le centre Envie 2E Aquitaine (déjà centre de regroupement des modules après leur collecte) a fait l'acquisition d'une machine permettant de séparer le verre de la partie laminée du module. Le verre pourra être réemployé tel quel, donc en recyclage en boucle courte. Le reste : cellule, encapsulant et back sheet sera envoyé à l'usine de ROSI Solar à la Mure. Dans cette usine, la start-up a développé une chaîne de recyclage lui permettant de recycler 80 à 90% des cellules : silicium et métaux. En sortie, ROSI Solar obtiendrait du silicium 5N. Cette proposition devrait être opération en début 2023 d'après ROSI Solar.

L'usine de Saint-Loubes a aussi mis en service une ligne de réemploi des modules.

Toutefois, en attendant la mise en place de cette solution, Soren a sélectionné deux centres de recyclage : celui de l'entreprise belge Galloo à Halluin et celui de Commet Treatment en Belgique. Le process actuel consiste à broyer les modules et à employer le broyat en sous couche routière. Il s'agit de down cycling : on réemploie les matériaux mais pas à leur valeur initiale.

RECYCLAGE DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUE EN COUCHES MINCES

Les couches minces représente moins de 5% du parc installé. La principale technologie employée sont les panneaux au CdTe. Ce sont les seuls qui bénéficient d'un recyclage industriel les autres étant présents aujourd'hui en trop faibles quantités pour le développement de chaîne de recyclage.

Le recyclage des module au CdTe est pris en charge par First Solar après la collecte de Soren. First Solar annonce un recyclage de 90% avec une matière valorisée dans de nouveaux modules.

VALORISATION

Les filières de valorisation des matériaux extraits lors des opérations de recyclage sont naturellement celle de la production de modules photovoltaïques, mais aussi les filières traditionnelles des matières premières secondaires comme le verre et l'aluminium ainsi que le marché des métaux pour le cuivre, l'argent, le cadmium, le tellure etc.

Un système photovoltaïque est principalement constitué de modules et d'onduleurs. Le reste étant des composants et raccords électriques classiques, dont le recyclage n'est pas spécifique à la filière photovoltaïque.

RÉEMPLOI DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Le réemploi est promu par la loi AGEC 2020 dans beaucoup de filières. Dans le photovoltaïque, il n’existe pas encore de filière de réemploi organisée, au vu des faibles volumes aujourd’hui concernés. Toutefois, plusieurs acteurs se lancent sur ce sujet.

L’idée de réemployer des modules PV provient d’un constat ; aujourd’hui des modules sont démontés et envoyés au recyclage alors qu’ils sont toujours fonctionnels. Cela arrive notamment lors d’actions de "repowering" :

- Pour les cas en autoconsommation sur des "repowering" opportunistes : on remplace des modules initiaux par des modules plus puissants.
- Pour des centrales dont la production est en vente partielle ou totale, cela peut être dû à une mise au rebut d’une majorité des panneaux pour cause de défauts. Le reste, encore fonctionnel, peut être mis au rebut avec l'ensemble des modules de la centrale.
- On peut aussi voir des panneaux fonctionnels mis au rebut lors de démantèlements anticipés pour causes judiciaires ou contractuelles.

PLUSIEURS PRATIQUES DE RÉEMPLOI

Plusieurs pratiques plus ou moins organisées de réemploi existent :

- Les ventes de particuliers à particuliers (sur des sites de vente en ligne ou de façon informelle par des connaissances)
- Des installations de quelques kWc réalisées avec des panneaux de réemploi pour faire de l’autoconsommation totale (filière gérée par des installateurs ou artisans non qualifiés)
- De l’export vers l’étranger pour des installations off-grid comme des pompes solaires (filière gérée par des entreprises)

La dernière pratique est problématique car souvent ces modules sont envoyés dans des régions où il n'y a pas beaucoup de personnes formées à la maintenance photovoltaïque et dans lesquelles il n'y a pas d'infrastructure pour la gestion des modules en fin de vie.

L'OPPORTUNITÉ D'UNE FILIÈRE DE RÉEMPLOI EN France

Une filaire de réemploi en France pourrait présenter des opportunités, notamment pour la fourniture de kit d'autoconsommation pour les foyers à faibles revenus, ou pour de l'équipement de mobilier urbain.

La problématique majeure aujourd'hui pour le développement d'une filaire du réemploi est l'uniformité d'une procédure de test qui permettrait une assurabilité des installations.

Des organismes comme Soren ou le CEA Liten sont en train de monter des prototypes de chaîne de réemploi. Ils testent des processus et système d'organisation pour voir si les gisements de modules « réemployables » sont suffisants, si l'activité peut être rentable et généralisable à une échelle nationale. Les panneaux seraient testés et certifiés permettant de garantir que les panneaux sont fonctionnels et pas dangereux.

Par exemple, Soren dans l'usine d'ENVIE 2E Aquitaine a mis en place la procédure de test suivante : test visuel + test infrarouge + test isolement + flash-test + électroluminescence

Enfin, des programmes de recherches (notamment ceux du programme européen Horizon 2020) s'intéressent aux questions de circularité dans le PV. L'IEC travaille sur des normes d'écoconception et veut proposer des processus pour faire du réemploi.

RÉEMPLOI D'ONDULEURS

D'après la traduction par pv magazine des résultats préliminaires d'une étude en cours, menée par la Haute école spécialisée bernoise (BFH), les auteurs considèrent que :

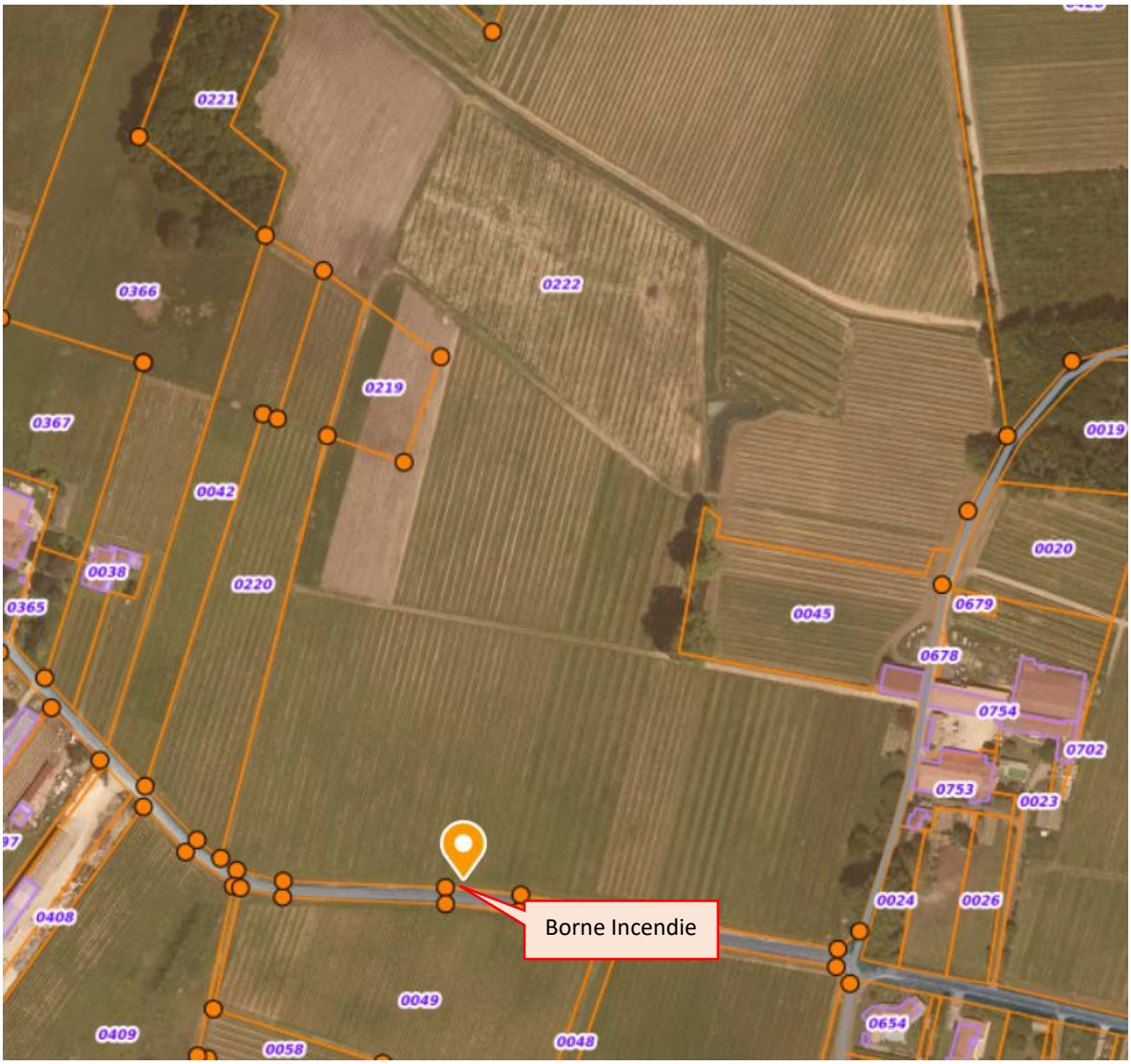
- "les résultats de tous les onduleurs et optimiseurs de puissance examinés montrent que plus de 50 % des électroniques de puissance ne présentent aucune erreur liée au rendement jusqu'à l'âge de 15 ans".
- "la règle générale selon laquelle les onduleurs devraient fonctionner environ 15 ans sans panne" est confirmée.

De plus, les onduleurs sont réparables et certains constructeurs et réparateurs pensent que l'on pourrait étendre cette durée de vie à 30 ans. Bien sûr, cette prolongation nécessite davantage d'opérations de maintenance.

Aussi, certains réparateurs ont mis en place une vente d'onduleurs de seconde main.

3.Mesures Incendie

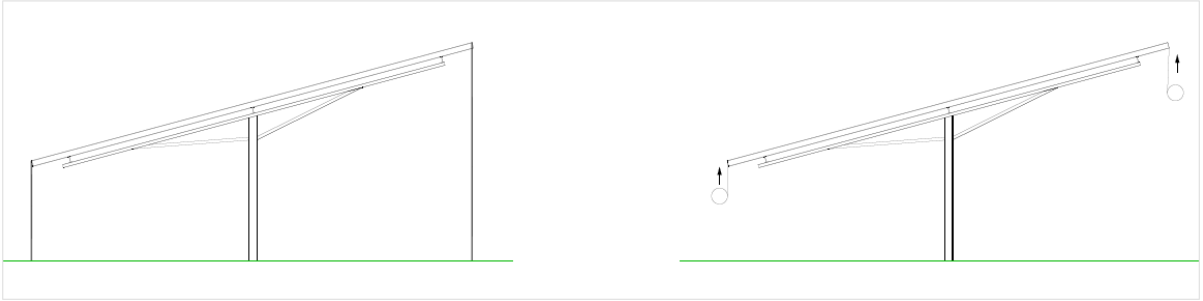
Concernant la rubrique 6.1, une borne incendie répertoriée par le SDISS est présente aux abords de l'exploitation comme vous pouvez le voir ci-dessous :



Dans le cadre de l'instruction de la demande de permis de construire, le SDISS sera consulté concernant l'étude du projet. Des prescriptions pourront être ainsi faite afin que les installations pour la lutte incendie soient dimensionnées dans les règles de l'art. Une réserve incendie pourrait être prescrite en complément de la borne comme ci-dessous :

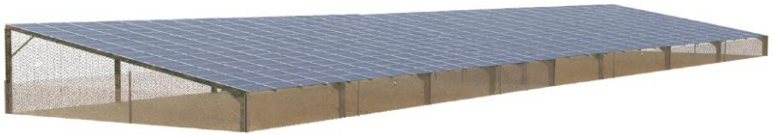
4. Risques sanitaires

Comme vous pouvez le voir ci-dessous ou sur les plans de permis, chaque infrastructure est composée d'une couverture étanche, de filets fixes sur les pignons et de filets amovibles sur les grands cotés.



Filet déroulé en période de risque de grippe aviaire

Filet remonté hors de période de grippe aviaire



Tout l'intérêt de ces filets amovibles (enroulables) et de permettre à l'éleveur de fermer complétement l'espace dédié à l'élevage et ne plus laisser l'accès aux espaces sans protection pendant les périodes de risques influenza élevés.

Dans cette configuration, il n'y a plus de contact direct entre le cheptel élevé et la faune sauvage, ce qui limite considérablement les risque de transmission, de plus les autres éléments à risques tels que les abreuvoirs et les mangeoires se retrouvent protégés sous un espace couvert ce qui évite les contaminations par les défections des oiseaux sauvages. Vous retrouverez tous les éléments importants concernant ce sujet dans le document nommé « Rapport bien être Gibier ».

Concernant là problématique de perchage évoquée dans votre demande de compléments, le sujet est de fait résolu par l'installation des filets périphériques amovibles qui permettent de ne pas avoir de contamination par les fientes et le lessivage car le gibier élevé n'évolue plus sur les espaces potentiellement contaminés.

5. Mesures de réduction et d'évitement

Concernant les mesures mise en œuvre :

- Evitement : afin de réduire le plus possible nous abordons la problématique selon plusieurs axes :

    - Le Terrassement : Nous ne réalisons pas de travaux de terrassement de surface afin d'éviter de provoquer des modifications structurelles des sols et de réduire l'impact potentiel sur la faune et la flore existantes.

    - Le Déboisement : Nous ne modifions pas l'implantations des arbres et arbustes présents sur les abords du site, l'objectif étant d'éviter le taillage ou l'abattage d'arbre existant.

- Sur l'aspect de la réduction des impacts environnementaux :

    - Le terrassement des fouilles pour les fondations : Nous privilégions les fondations par pieux vissés dès lors que l'étude de sol, qui serait réalisée avant les travaux, le permets. Cette technologie permet de ne pas réaliser de fouille et d'excavation. Si les résultats de l'étude de sol ne nous permets pas la réalisation de pieux vissés nous réaliserons des fondations en pieux béton, cette solution limite considérablement l'impact sur les sols par rapport à des fondations plus classiques, la zone d'intervention représente seulement quelques dizaines de centimètres de diamètre.

- Les déchets du chantier : Nous réalisons un tri et un stockage des déchets lors de la phase chantier afin de ne pas avoir d'impact néfastes sur l'environnement, les déchets sont évacués au fur et à mesure du remplissage des bennes à ordures dédiées. Les déchets restent minimes et en majeures parties recyclables (cartons et câbles alu ou cuivre principalement).

- Les engins utilisés : Nous utilisons des engins récents qui respectent l'ensemble des normes et obligations environnementales en vigueurs afin de réduire tous risques pour l'environnement.

- Les plages horaires pour la réalisation des travaux : nos équipes interviennent sur des plages horaires en journée hors week-end et n'interviennent pas de nuit afin de limiter les risques aussi bien en termes de sécurité humaine mais aussi en termes de risques d'impact sur l'environnement au sens large (collision avec des arbres ou des haies, écrasement d'espèce au sol…).

- Sur l'aspect des mesures compensatoires liées aux impacts environnementaux :
  - Deux haies paysagères seront implantées au sud du projet : ces deux haies seront composées d'arbres et d'arbustes de hauteur différentes pour réaliser une haie multi strate qui permettra à la fois de créer une barrière visuelle végétale et participera à l'objectif de déploiement des haies sur le territoire. Les haies sont des lieux propices aux développement de la faune et ont un effet de rétention des eaux.