



“ Porter à la connaissance de tous les éléments indispensables pour mener à bien leur projet photovoltaïque ”

Evelyne RATTE , préfet de la Région Limousin, préfet de la Haute-Vienne

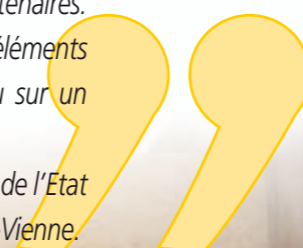
Les questions énergétiques constituent le grand enjeu de l'avenir. Afin d'inscrire le développement de la société française dans une perspective de développement durable, le Grenelle de l'environnement a fixé pour notre pays des objectifs ambitieux de production d'énergies vertes. Qu'elles soient d'origine éolienne, hydro électrique ou solaire, ces énergies renouvelables n'engendrent peu ou pas de déchets ou d'émissions polluantes. Les développer est un défi au cœur des priorités actuelles.

Une politique incitative en faveur de la filière électricité photovoltaïque a fait exploser en quelques mois le nombre de projets dans le département, à la fois pour la mise en place de centrales au sol et pour l'implantation de bâtiments agricoles porteurs de panneaux solaires. Mais l'élaboration de ces projets fait émerger des enjeux contradictoires.

La Haute-Vienne est dotée d'un potentiel solaire intéressant et ses larges espaces ouverts attirent les investisseurs. Parallèlement, les patrimoines paysager, environnemental, agricole qui façonnent l'image même de la partie rurale du département et en font son attractivité sont des richesses dont nous sommes redevables vis-à-vis des générations futures. Il est donc de notre responsabilité de rechercher des solutions pour concilier les différents enjeux, pour faciliter le développement de la filière photovoltaïque et profiter de ses apports économiques tout en conservant au milieu naturel et agricole ses caractéristiques propres.

C'est pourquoi une réflexion collective a été menée par les services de l'État et leurs partenaires. Elle a permis d'ouvrir le dialogue, de rassembler et de porter à la connaissance de tous, les éléments indispensables pour mener à bien un projet, qu'il concerne une installation au sol ou sur un bâtiment agricole.

Par ailleurs, j'ai décidé de créer un pôle des énergies renouvelables qui arrêtera la stratégie de l'État pour aider au développement harmonieux de toutes les énergies renouvelables en Haute-Vienne.



Sommaire

Contexte photovoltaïque

- Le contexte énergétique Page 4
- Les enjeux Page 5
- À quel prix vous sera achetée l'énergie produite ? Page 6
- La réglementation Page 7

Quelles recommandations ?

- Une réflexion globale et concertée Page 9
- Minimiser les impacts Page 10
- La concertation Page 11
- Respect du paysage Page 12

Éléments d'aide au montage des projets

- Que doit contenir votre dossier ? Page 14
- La carte de synthèse des enjeux environnementaux Page 16

Les bâtiments agricoles photovoltaïques

- La réglementation Page 17
- Votre projet doit démontrer un vrai besoin Page 18
- Aspects paysagers Page 20

Organisation départementale

- Un guichet unique Page 23

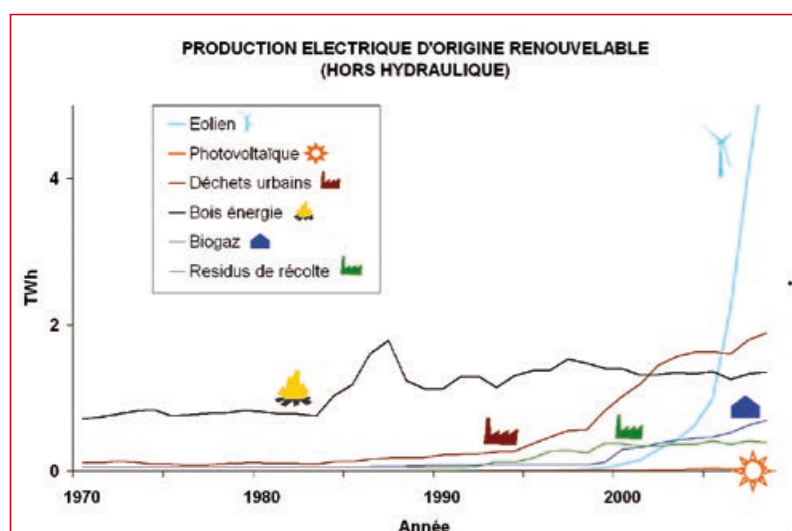
Contexte énergétique

La place du photovoltaïque dans les sources d'énergie en France

(Référence : Statistiques de l'observatoire de l'énergie)

● La production

L'hydroélectricité représente 13 % de la production d'électricité en France. Pour les autres productions à partir d'énergies renouvelables, on constate une forte progression de l'énergie éolienne et un début de décollage pour le photovoltaïque depuis 2006 comme le montre la répartition des productions d'énergies renouvelables (hors hydroélectricité) dans la production d'énergie électrique représentée par le graphique ci-dessous.



● La consommation

Cependant, la consommation d'énergie électrique a progressé fortement et la production de celle-ci à partir des énergies renouvelables augmente moins vite que la consommation totale.

La part de l'énergie renouvelable sur la production totale d'énergie électrique n'augmente donc pas énormément.

Des économies d'énergie sont nécessaires pour atteindre les objectifs du Grenelle de l'environnement.

● Les objectifs

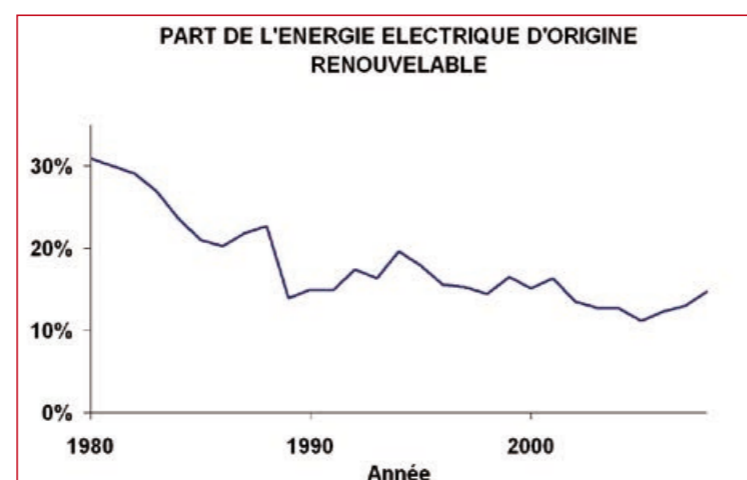
La France s'est fixée dans l'arrêté du 15 décembre 2009 les investissements à prévoir dans les années à venir pour avoir une puissance installée adéquate sur le territoire au 31 décembre 2012 et 2020 :

Type d'énergie	Objectifs au 31/12/2012	Objectifs au 31/12/2020
Biomasse (sauf fraction renouvelable des déchets ménagers et assimilés)	520 MW	2 300 MW
Eolien	11 500 MW	25 000 MW
Hydraulique	Augmentation de 3 TWh / an	Installation de 3 000 MW
Solaire photovoltaïque	1 100 MW	5 400 MW

Le Grenelle de l'environnement prévoit que la France porte la part des énergies renouvelables à au moins 23 % de sa consommation d'énergie finale d'ici à 2020 (loi 2009-967).

Pour le photovoltaïque, on assistera à un changement d'échelle : 13 MW installés en 2007, 5 400 MW en 2020.

Le ministère de l'Écologie a lancé un **appel d'offres pour la construction d'ici 2011 de centrales électriques photovoltaïques** d'une capacité totale de 300 MW sur le territoire. Pour le Limousin, ce sont deux centrales d'une capacité de 10 MW chacune qui devraient être construites.



Les enjeux

Trois enjeux majeurs doivent être conciliés dans une perspective de développement durable.

● Utiliser le potentiel photovoltaïque du département

La Haute-Vienne se caractérise par un potentiel d'environ 1450 kWh/m²/an.

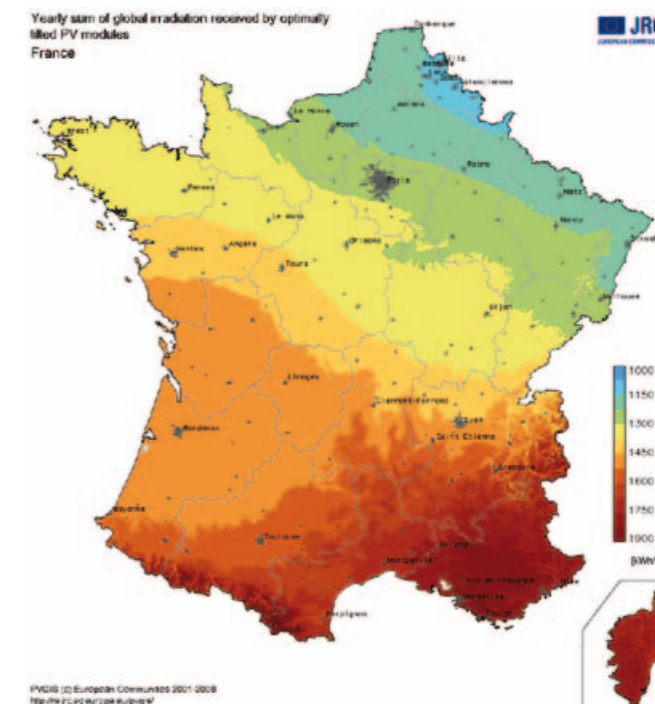
L'énergie solaire reçue est donc de 8 millions de GWh sur le département, à comparer avec une consommation électrique de 2 000 GWh (soit un facteur 4 000).

● Préserver l'espace agricole, l'environnement et le cadre de vie

Les installations de production d'énergie photovoltaïque au sol peuvent modifier de façon sensible le milieu dans lequel elles sont installées, en particulier sur le plan de la répartition des usages des sols et sur le plan paysager.

Or, au même titre que le développement des énergies renouvelables, ces enjeux font l'objet de politiques publiques spécifiques.

À titre d'exemple, la lutte contre la régression des surfaces agricoles et naturelles est également un engagement fort du Grenelle de l'environnement. Pour répondre effectivement aux enjeux du développement durable, les projets de centrales photovoltaïques au sol doivent donc être conduits dans le respect des grands enjeux agricoles, environnementaux, paysagers et de prévention des risques mais aussi économiques et sociaux.



● Utiliser cette activité pour soutenir le développement économique local

La réalisation de centrales photovoltaïques au sol aura nécessairement des incidences soit directes (production et commercialisation d'énergie, développement d'une filière) soit indirectes (visites, tourisme, etc.) et par voie de conséquence une influence sur l'économie locale et les recettes fiscales des collectivités.

Cet aspect est particulièrement sensible en Haute-Vienne où agriculture et tourisme sont des activités économiques particulièrement importantes et où les entreprises ont souvent besoin de trouver des revenus complémentaires.

La volatilité des cours du pétrole, l'incertitude des approvisionnements gaziers, les prix de l'électricité à la hausse, la taxation des émissions de carbone sont autant de facteurs qui vont permettre à l'énergie photovoltaïque de trouver son marché.

La réglementation fixe les tarifs de rachat de l'énergie produite et garantit la pérennité de ces tarifs.

À quel prix vous sera achetée l'énergie produite

par votre centrale photovoltaïque ?

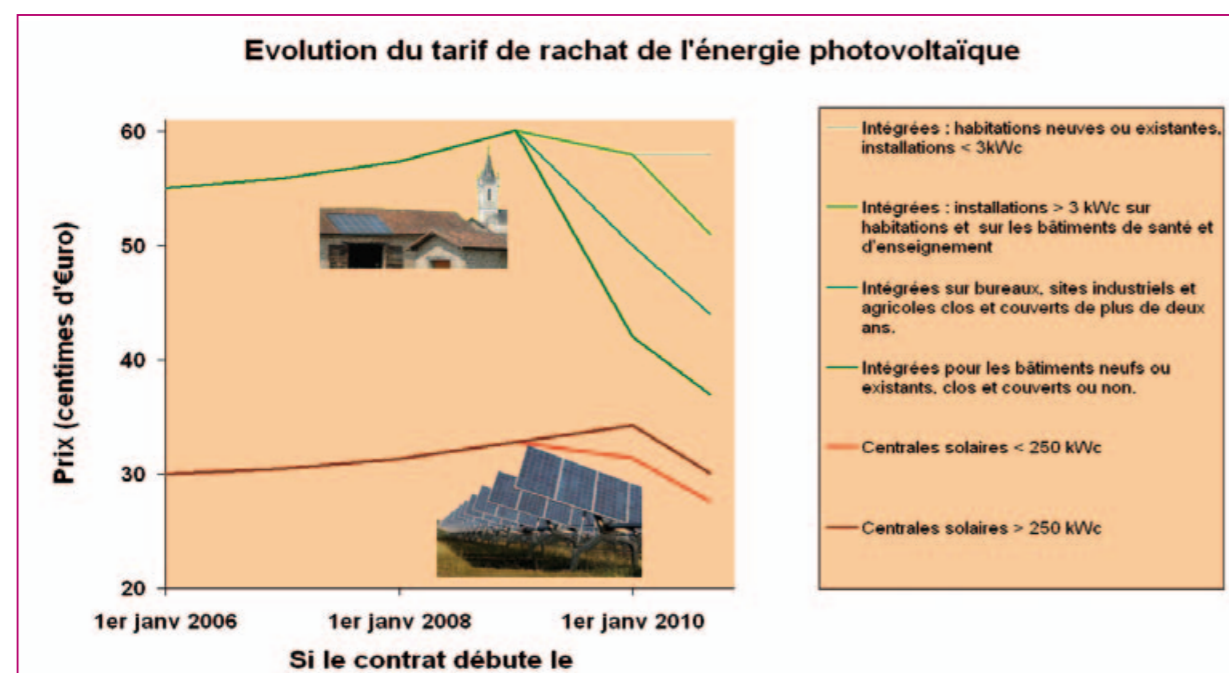
(arrêté du 31 août 2010)

Arrêté du 31/08/2010
NOR : DEVE1022317A

Intégré au bâti de moins de 3 kW, sur bâtiment à usage principal d'habitation.	0,58 € HT/kWh
Intégré au bâti - de plus de 3 kW, sur bâtiment à usage principal d'habitation, - sur bâtiments d'enseignement ou de santé.	0,51 € HT/kWh
Intégré au bâti sur autre bâtiment clos (sur toutes les faces latérales) et installé au moins deux ans après l'achèvement du bâtiment (bureaux, sites industriels ou agricoles).	0,44 € HT/kWh
Installations bénéficiant de la prime d'intégration simplifiée au bâti pour les bâtiments professionnels, notamment industriels, commerciaux, et agricoles, bâtiments neufs ou existants - installations supérieures à 3 kWc (soit environ 30 m ²). - installations inférieures à 3 kWc (soit environ 30 m ²) sur un bâtiment clos et installé au moins deux ans après l'achèvement du bâtiment. Le système photovoltaïque est installé dans le plan de la toiture du bâtiment, il assure la fonction d'étanchéité ou brise soleil, allège, garde corps de fenêtre, balcon ou terrasse, bardage, mur ou rideau.	0,37 € HT/kWh
Autres installations de puissance inférieure ou égale à 250 kWc	0,276 € HT/kWh
Autres installations de puissance supérieure à 250 kWc (Valeur pour la Haute-Vienne)	0,30084 € HT/kWh

(*) La puissance installée se compte en Watt crête : c'est la puissance délivrée par l'installation pour des conditions optimales d'ensoleillement. L'énergie qui sera produite par cette installation dépendra de l'ensoleillement (nombre d'heures d'ensoleillement optimal x puissance installée, se compte en Wh, kWh...).

Les arrêtés 12 janvier 2010 et du 16 mars 2010 ont modifié l'arrêté du 10 juillet 2006 fixant les règles de rachat de l'énergie photovoltaïque. Le 1er septembre une modification des ces tarifs a été publiée. D'autres évolutions pourraient encore intervenir. Le graphique suivant montre l'évolution des tarifs de rachat ces dernières années :



La réglementation

● Ce que votre dossier doit comporter

- Au titre de l'urbanisme : soit une dispense de formalité, soit une déclaration préalable, soit un **permis de construire** en fonction de la taille de l'installation.

La faculté est donnée aux communes munies d'un plan local d'urbanisme interdisant les installations photovoltaïques au sol de procéder à une modification simplifiée pour l'autoriser sous certaines conditions.

- Au titre de l'environnement : une **étude d'impact** et une enquête publique en fonction de la taille de l'installation

- Une proposition technique et financière fournie par ERDF (Électricité Réseau Distribution France) pour le raccordement au réseau électrique et obtenir le contrat de raccordement et d'exploitation (fiche de collecte de renseignements et informations disponibles sur le site : www.erdfdistribution.fr)

- Une **autorisation d'exploiter** l'installation photovoltaïque afin de devenir producteur d'électricité. Cette démarche se fait auprès de la DIDEME (Direction De la Demande Et des Marchés Energetiques).

- Un certificat fourni par la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) ouvrant droit à **l'obligation d'achat** de l'électricité produite.

Et enfin un **contrat d'achat EDF** ou Régie Locale donne le droit à la vente de la production de l'électricité.

● Dans le détail

Le **Décret n° 2009-1414 du 19 novembre 2009** relatif aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité a été publié au Journal officiel de la République française le 20 novembre 2009.

Ce décret vient modifier le régime juridique des centrales solaires et lève certaines incertitudes juridiques concernant la procédure d'implantation de centrales solaires au sol.

Les conditions d'entrée en vigueur du décret

Le décret cité est entré en vigueur le premier jour du mois suivant la date de sa publication au Journal officiel de la République française soit le 1er décembre 2009.



Toutefois, ses dispositions relatives aux autorisations d'urbanisme ne sont pas applicables :

- Aux centrales solaires au sol comportant des constructions ou installations ayant fait l'objet d'une autorisation d'urbanisme avant l'entrée en vigueur du présent décret c'est-à-dire avant le 1er décembre 2009 ;

- Aux centrales solaires au sol dispensées de toute formalité au titre du code de l'urbanisme et dont les travaux ont été entrepris ou achevés avant l'entrée en vigueur du décret soit avant le 1er décembre 2009.

Quant aux dispositions relatives à l'étude d'impact et à l'enquête publique, elles ne sont pas applicables aux projets dont la demande de permis de construire a été déposée avant la date de publication du présent décret, soit avant le 20 novembre 2009.

La modification simplifiée du plan local d'urbanisme (lorsque la commune en dispose)

Afin de pouvoir autoriser l'installation de centrales photovoltaïques dans les communes où le plan local d'urbanisme en vigueur ne le prévoit pas, ce même décret prévoit que le plan local d'urbanisme pourra être modifié selon la procédure de modification simplifiée prévue à l'article L. 123-13 du code de l'urbanisme pour supprimer des règles ayant pour objet ou pour effet d'interdire l'installation de centrales solaires au sol dont la puissance est inférieure ou égale à 12 mégawatts, dans les secteurs non sauvegardés.

Une réflexion globale et concertée

Une réflexion

Les règles en matière d'autorisation d'urbanisme

Le décret du 19 novembre 2009 prévoit que :

● Ne sont soumises à aucune formalité au titre du code de l'urbanisme :

les centrales solaires au sol dont la puissance crête est inférieure à trois kilowatts et dont la hauteur est inférieure ou égale à un mètre quatre-vingts.

● Sont soumises à déclaration préalable :

- les centrales solaires au sol dont la puissance crête est inférieure à 3 kilowatts et dont la hauteur peut être supérieure à un mètre quatre-vingts ;

- les centrales solaires au sol dont la puissance crête est comprise entre 3 kilowatts inclus et 250 kilowatts inclus ;

- les centrales solaires au sol construites dans des secteurs sauvegardés d'une puissance inférieure à 3 kilowatts crête, quelle que soit leur hauteur.

● Sont soumises à permis de construire :

les centrales solaires au sol dont la puissance crête est supérieure à 250 kilowatts.

Puissance crête (P)	Hauteur par rapport au sol	Obligation réglementaire	Observations 1kWc= 5 à 10m2 de panneaux selon leurs caractéristiques
P < 3kWc	≤ 1,80 m	Aucune formalité au titre du code de l'urbanisme	15 à 30 m2
P < 3kWc dans les secteurs sauvegardés	Quelle que soit la hauteur	Déclaration préalable(*)	15 à 30 m2 secteurs sauvegardés
P < 3kWc	> 1,80m	Déclaration préalable (*)	15 à 30 m2
3kWc ≤ P ≤ 250 kWc	Quelle que soit la hauteur	Déclaration préalable(*)	Entre [15 à 30] et [1250 à 2500] m2
P > 250 kWc	Quelle que soit la hauteur	Permis de construire(**)	Au-delà de [1250 à 2500] m2

(*) Arrêté préfectoral d'opposition ou de non opposition à la déclaration
(**) Arrêté préfectoral refusant ou acceptant le permis de construire

(Direction Départementale des Territoires) qui transmet cette étude à la DREAL pour avis.

Le contexte local peut imposer d'autres pièces (application de la loi sur l'eau, défrichements...).

L'organisation de l'enquête publique est assurée par la Préfecture.

Les règles en matière d'autorisation ou de déclaration d'exploiter les centrales solaires en tant que producteur d'électricité

Le décret ajoute, dans la liste des documents à fournir dans la demande d'autorisation d'exploiter et dans la déclaration, la copie du récépissé délivré par le maire lors du dépôt de la demande de permis ou de la déclaration.

Ce décret prévoit que les centrales solaires d'une puissance crête inférieure ou égale à 250 kilowatts sont réputées déclarées même dans le cas où l'exploitant demande à bénéficier de l'obligation d'achat.

Il prévoit qu'en cas de changement d'exploitant d'une centrale solaire d'une puissance crête inférieure ou égale à 250 kilowatts déclarée avant l'entrée en vigueur du décret soit avant le 1er décembre 2009, cette installation est réputée déclarée par le nouvel exploitant.

La demande d'autorisation ou de déclaration se fait par internet à l'adresse suivante: <http://ampere.industrie.gouv.fr/>



● Votre projet va impacter fortement le territoire

Comme tout projet, les projets de centrales photovoltaïques doivent être conduits dans une démarche territoriale cohérente, transparente et garante de l'intérêt général, portée par l'échelon territorial pertinent.

● Il doit être mené à une échelle pertinente

Le choix d'une échelle pertinente se base sur une analyse du territoire à l'échelle intercommunale, et a minima communale, pour identifier les terrains les plus appropriés. Cette analyse pourra notamment se faire dans le cadre de l'élaboration de SCOT (Schéma de COhérence Territoriale) ou de PLU.

À l'échelle intercommunale, les SCOT sont les lieux privilégiés pour une réflexion amont sur l'aptitude des espaces compatibles avec l'exploitation des énergies renouvelables. On pourra y caractériser les zones à forts enjeux qui ne sont pas destinées à recevoir ces projets ou a contrario, les zones qui pourraient être valorisées par l'implantation d'une centrale au sol.

À une échelle territoriale plus fine, les communes doivent mener une réflexion globale dans le cadre de leur document d'urbanisme pour identifier les terrains les plus à même d'accueillir ces installations. Cette réflexion peut être utilement coordonnée à l'échelle de l'intercommunalité.

Recommandation : Les projets de centrales au sol doivent être replacés dans le cadre d'une stratégie territoriale plus large qui hiérarchise et localise les espaces stratégiques destinés à accueillir les projets. Cette stratégie se définit et se décline à plusieurs échelles (Territoire relevant SCOT, périmètre d'une intercommunalité, Communes...).

● Il doit étudier les alternatives

Les collectivités, en partenariat avec les porteurs de projet si elles le souhaitent, sont invitées à intégrer en premier lieu une approche intercommunale qui permettra d'afficher des priorités.

Ces démarches préalables pourront avantageusement faire l'objet d'études de variantes afin d'apprécier la pertinence de la localisation finale des projets et de rendre les arbitrages en connaissance de cause. Ces études de variantes seront d'autant plus pertinentes qu'elles ne s'arrêtent pas aux strictes limites communales, c'est pourquoi elles devront préférentiellement être conduites par des EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale) ou encore dans le cadre de SCOT.

Recommandation : Dans le cas d'arbitrage entre différents enjeux, il est nécessaire de conduire une étude de localisation alternative et de démontrer qu'il n'existe pas de surface présentant des enjeux à valoriser prioritairement.

● Il doit s'intégrer dans une stratégie globale d'économie d'énergie et de développement des énergies renouvelables

Les projets de centrales photovoltaïques au sol doivent être replacés dans le cadre d'une politique énergétique globale des collectivités qui doit donner la priorité aux économies d'énergie.

Une politique énergétique globale définit les objectifs (quantitatifs notamment), les priorités et les échéances en matière d'économie d'énergie et de développement d'énergies renouvelables à l'échelle de la collectivité.

En matière de développement des projets photovoltaïques, les collectivités doivent considérer la filière dans son ensemble.

Afin de limiter la consommation d'espace et l'artificialisation des sols, le développement de la production d'énergie photovoltaïque doit se faire prioritairement par la réalisation de projets sur les bâtiments, dans le respect de la sécurité des personnes, de la qualité architecturale et de la préservation du patrimoine.

Produire de l'énergie photovoltaïque est bon pour tous mais nécessite d'adopter – en particulier sur le territoire concerné – une véritable politique d'économies d'énergie.

Minimiser les impacts

Minimiser les impacts



● Votre préoccupation constante lors du montage du projet...

Les implantations de centrales au sol doivent être compatibles avec le respect de la gestion économe des sols, de la préservation des espaces naturels et agricoles, de la préservation des sites et des paysages et de la prévention des risques.

Les centrales au sol sont des activités dont la localisation et la répartition doivent être étudiées, comme les autres activités, dans le cadre d'un projet de territoire, à toutes les échelles. Il ne s'agit pas de restreindre leurs possibilités d'installation mais de définir les espaces dans lesquels elles pourront préférentiellement s'installer, ou au contraire ceux qui sont à proscrire en raison d'autres enjeux.

Recommandation : Les centrales ne devront pas être implantées sur des sites à forts enjeux environnementaux, paysagers, agricoles ou de risques.

Il conviendrait d'éviter :

- Les sites présentant de forts enjeux environnementaux liés soit à la présence d'espèces ou d'habitats remarquables : sites natura 2000, réserves naturelles, zones de protection des biotopes, forêts de protection... ;
- Les sites indispensables dans le maintien de cette biodiversité et le fonctionnement de ces espaces (maillages et corridors écologiques) ;
- Les sites à forts enjeux paysagers ;
- Les sites soumis à des risques naturels forts ;
- Les sites agricoles.

Les implantations doivent être orientées uniquement vers des espaces non dommageables à l'activité agricole, non cultivés, sans intérêt environnemental et ne présentant pas de risques (notamment incendie et inondation) pour l'installation.

Les implantations seraient à privilégier en premier lieu sur des surfaces déjà stérilisées, en reconversion ou difficilement valorisables : parking, anciennes décharges ou centres d'enfouissement technique, friches industrielles ou militaires, anciennes carrières, espaces ouverts en zones artisanales ou industrielles, espaces non exposés aux risques.

Recommandation : Des mesures de suppression et de réduction des impacts négatifs peuvent être prises.

● Une préoccupation constante jusqu'au démantèlement de la centrale !

Le recyclage des modules et la remise en état du site est à prévoir.



La concertation

Pratiquer une concertation et une information sans faille tout au long de votre projet, pour prévenir d'éventuels conflits.

● Garantir la transparence

Afin de garantir la réalisation de projets d'implantation en toute transparence, il est indispensable que les partenaires concernés, ainsi que la population, puissent être associés au projet.

Lorsqu'une procédure d'urbanisme est nécessaire (si la commune est dotée d'un document d'urbanisme au vu duquel le projet n'est pas réalisable), elle garantit une information et une consultation des parties prenantes avec des degrés divers selon la procédure engagée :

- Révision ou révision simplifiée : concertation et enquête publique ;
- Modification : enquête publique ;
- Modification simplifiée : le projet est porté à la connaissance du public pendant un mois.

Pour éviter que le délai nécessaire aux études amont, à l'évolution des documents d'urbanisme et à la concertation ne viennent allonger le calendrier de conception et de réalisation d'un projet, différentes démarches peuvent être menées en parallèle.

Recommandation : La collectivité et les porteurs de projet doivent veiller à organiser une bonne diffusion de l'information auprès des partenaires concernés et de la population.



Traqueur EMIX

Respect du paysage

Respect

Votre projet devra être en accord avec le paysage.

● **La répétition et la répartition dans le département des parcs photovoltaïques**

La répartition d'installations photovoltaïques au sol sur l'ensemble du département risque d'entraîner des effets de mitage répétés, comme par exemple la prolifération des serres agricoles dans le sud de la France ou en Espagne. Des regroupements d'installations sur des sites adaptés et des règles d'implantation restent à définir dans une démarche de concertation. Il est certainement plus judicieux d'avoir des unités de production importantes plutôt qu'une multitude de petits projets éparpillés sur l'ensemble du territoire de façon aléatoire.

● **L'étendue des parcs en accord avec l'échelle du paysage**

Les installations doivent être en corrélation avec l'échelle du paysage, ses lignes de force, sa composition. Le parc photovoltaïque ne devrait pas s'imposer brutalement dans le paysage ou en perturber son identité mais composer avec lui.

● **La prise en compte du paysage dans la démarche de projet**

Le projet doit prendre en compte les caractéristiques du paysage et la possibilité d'intégration du parc photovoltaïque. Il ne doit pas être conduit par la seule disponibilité foncière.

● **L'évaluation des impacts visuels du projet et sa composition avec le site**

Il faut en particulier faire attention aux points suivants :

- Les terrassements modifiant la topographie du site sont à proscrire ;
- Prendre soin à l'intégration des éléments annexes (clôtures, accès, postes de collecte/relais...) qui ont une forte incidence sur l'acceptabilité du projet.

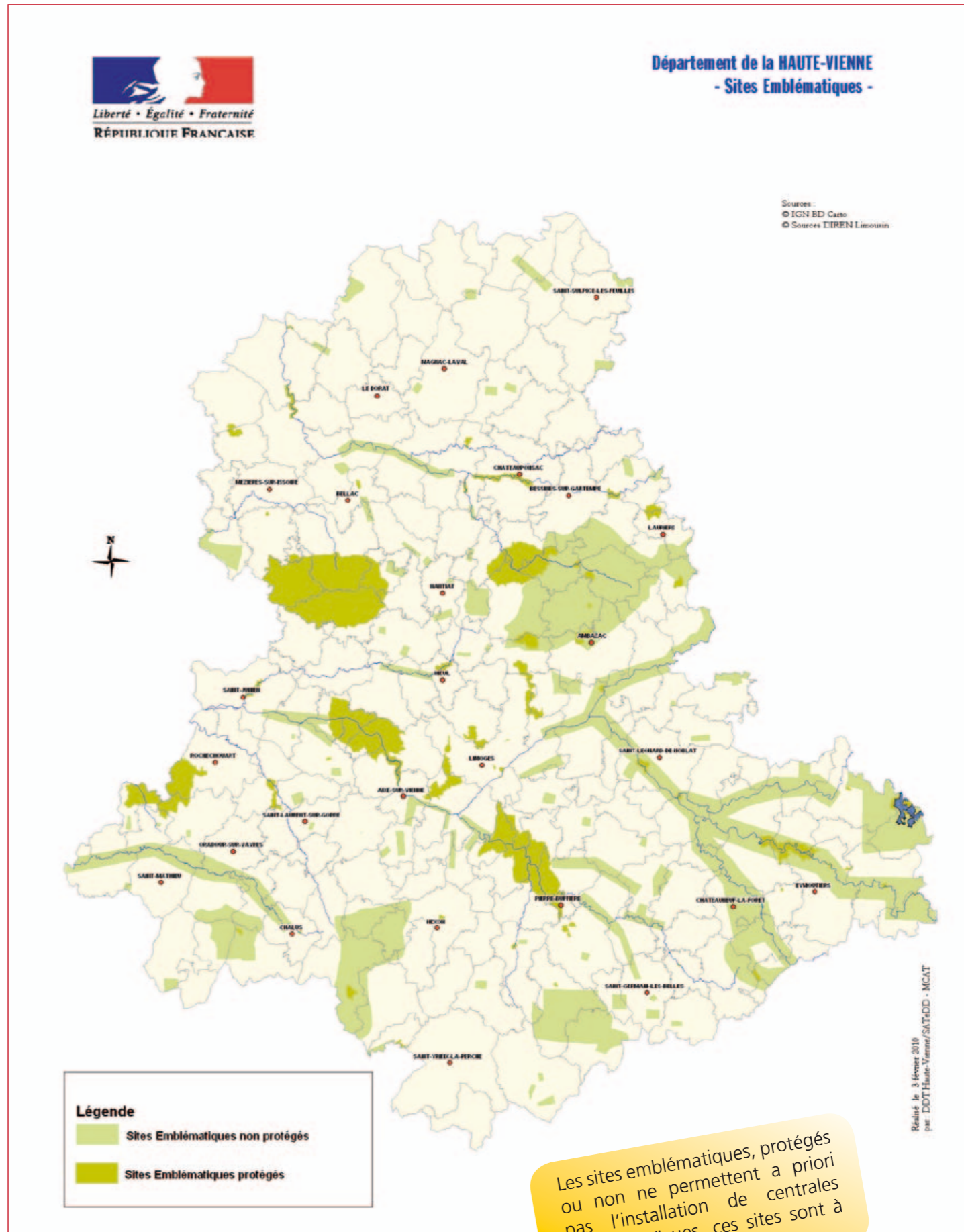
● **En pratique, l'étude paysagère se déroulera en deux étapes :**

Un projet sommaire sera présenté au comité technique urbanisme environnement, il comprendra :

- Une esquisse commentée des éléments techniques et non techniques du projet intégré au site ;
- Dessin en plan, coupes, croquis perspectif ;
- Positionnement sur un fond de photo aérienne (plan masse élargi du périmètre du projet) ;
- Photos du site depuis différents points de vues éloignés et proches ;
- Évaluation sommaire des impacts et de leur prise en compte par le projet.

Pour l'instruction du dossier, le projet sommaire sera complété par :

- La description des principes de l'aménagement, illustrée de manière suffisante pour permettre une bonne compréhension des solutions proposées ;
- Dessin en plan, coupes, croquis perspectifs (plus précis que pour le projet sommaire) ;
- Détails divers : plan de nivellement, plantations, clôtures etc... ;
- Simulations du projet par photomontages ;
- Étude d'impact.



Les sites emblématiques, protégés ou non ne permettent a priori pas l'installation de centrales photovoltaïques, ces sites sont à éviter.

Que doit contenir votre dossier ?

Votre dossier

● **Le demandeur**

Identité, coordonnées

● **La situation du projet et conception**

- Plan de situation au 1/25 000ème ; (carte IGN avec le dessin du projet) ;
- Plan cadastral ;
- Photos aériennes avec courbes de niveau ;
- Blocs diagrammes légendés ;
- Coupes de terrain.

● **Les éléments techniques et financiers**

- Estimation financière du projet ;
- Impacts socio-économiques ;
- Montage juridique ;
- Puissance ;
- Éléments techniques ;
- Raccordement au réseau ;
- Nature des terrains, état initial ;
- Propriété foncière ;
- Accessibilité.

● **La prise en compte environnementale (étude d'impacts nécessaire pour les projets supérieurs à 250Wc)**

- Objet de la notice

La réalisation de la notice environnementale doit être un moment privilégié de la concertation sur les enjeux environnementaux et paysagers, entre le maître d'ouvrage, le bureau d'étude, et les services de l'État. La notice doit permettre de définir la nature du projet, le site d'implantation de celui-ci et la variante de moindre impact sur l'environnement et le paysage. Dans le cas où le projet serait soumis à une étude d'impact, cette notice servira de base au cadrage préalable à l'étude.

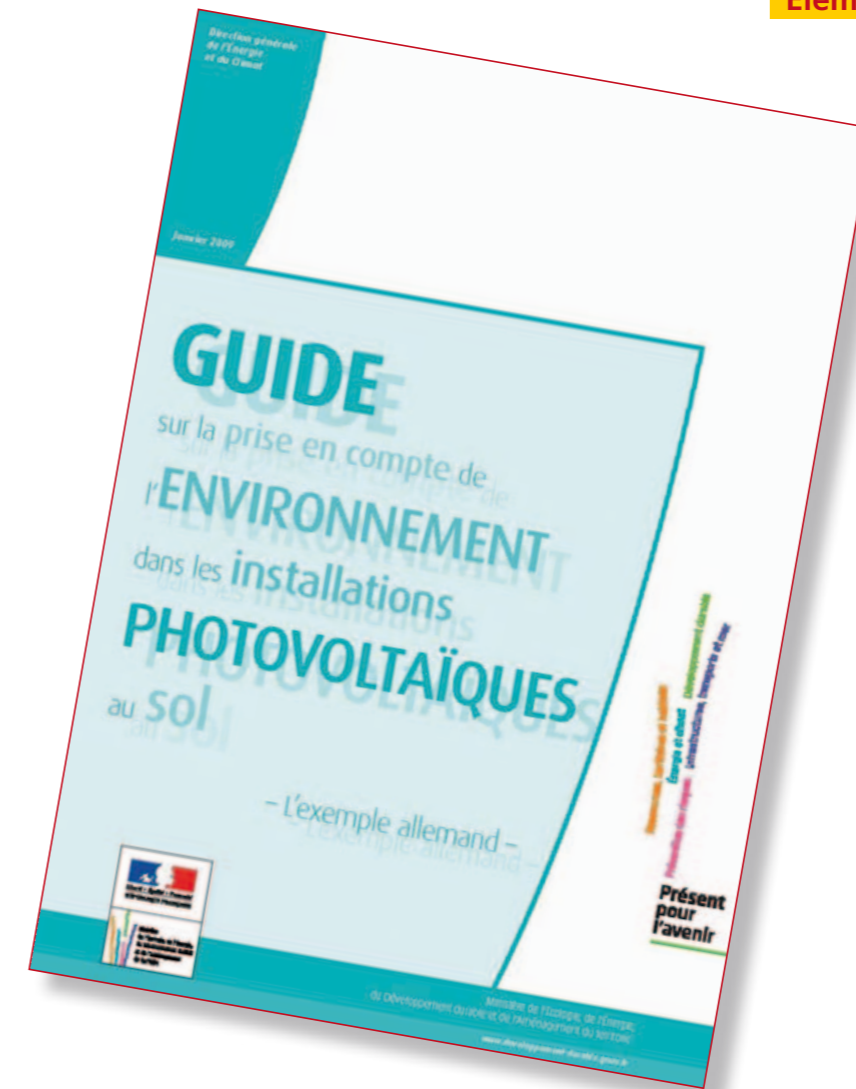
Le porteur de projet développera un argumentaire explicitant les choix effectués au regard du paysage.

- Définition du projet

La définition du projet détermine les éléments constitutifs qui seront pris en compte dans l'évaluation des incidences sur l'environnement. La pertinence de la notice environnementale implique que le projet soit considéré dans son ensemble et sa globalité. A ce titre, la notice devra considérer le projet proprement dit mais aussi les installations annexes extérieures qui seront nécessaires à la réalisation et au fonctionnement de celui-ci (connexion au réseau électrique, voies d'accès, clôture, ouvrages d'accompagnement). D'un point de vue temporel, la notice devra considérer les phases de développement à long terme du projet (phasage de réalisation, extensions programmées).

- Définition de l'aire d'étude

Le périmètre de la notice environnementale définit la zone géographique dans laquelle le projet sera susceptible de générer des incidences sur l'environnement et le paysage. La qualité de la notice dépend en grande partie de la pertinence d'investigation. L'ampleur du périmètre devra être modulée par les incidences potentielles attendues, les protections réglementaires, la configuration et la sensibilité de la zone d'implantation. Ce périmètre devra correspondre au secteur



affecté par le projet et ses variantes. L'aire d'étude peut ainsi comprendre plusieurs zones qui seront progressivement resserrées autour de la zone d'implantation du projet. À ce titre, la zone de prospection doit être suffisamment grande pour permettre la prise en compte des entités paysagères qui seront affectées par le projet, et l'étude des variantes possibles afin de réaliser un choix motivé en croisant les critères environnementaux, paysagers, techniques et économiques.

- Variante de moindre impact

La hiérarchisation des contraintes environnementales et paysagères définit les variantes du projet de manière à dégager la variante de moindre impact. L'analyse des critères environnementaux et paysagers de chaque variante doit affiner et compléter la caractérisation des sensibilités établies au niveau de l'aire d'étude élargie. La comparaison des variantes doit sélectionner la solution technique la moins impactante sur les contraintes locales et les éléments de

sensibilité préalablement identifiés. Les conditions d'insertion du projet devront être précisées sur le plan technique, notamment au niveau des secteurs présentant une sensibilité importante. La notice environnementale doit ensuite esquisser les mesures qui permettront de réduire et de composer les impacts résiduels.

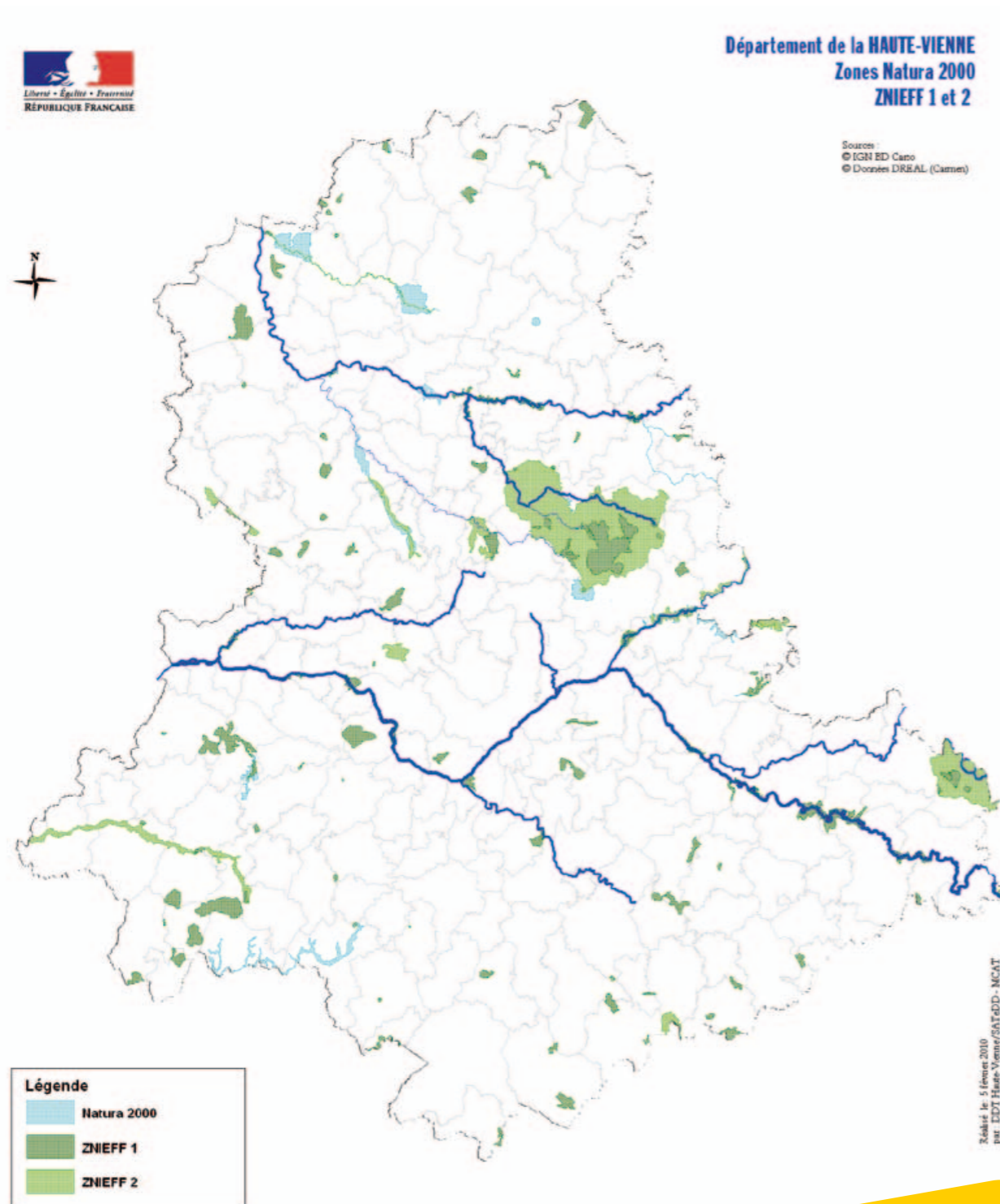
Voir également le guide sur la prise en compte de l'environnement dans les installations photovoltaïques au sol, téléchargeable sur le site du ministère de l'écologie : www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/photov-guideallemand-env-3.pdf

● **La concertation envisagée**

- Partenaires consultés ;
- Forme de la concertation adoptée ;
- Avis de la commune d'implantation.



La carte de synthèse des enjeux environnementaux



Les sites d'importance écologique, protégés ou non ne permettent a priori pas l'installation de centrales photovoltaïques, ces sites sont à éviter. Pour les données actualisées, rendez vous sur la base de données cartographiques de la DREAL Limousin : http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/index.php?map=naturepaysage.map&service_idx=20W

La réglementation

Recommandations pour l'implantation d'installations photovoltaïques sur les bâtiments agricoles.

● La mairie, votre interlocuteur

Vous avez un projet de construction pour répondre à un besoin professionnel nécessaire au démarrage, au développement, à l'adaptation de votre activité ou à de nouvelles orientations de votre exploitation agricole.

Il vous sera utile de recueillir en mairie :

- Le classement au document d'urbanisme (Zonage des plans d'occupation des sols POS, plan local d'urbanisme PLU, carte communale) des parcelles envisagées pour l'implantation de votre projet ; renseignez-vous également si une modification ou révision du document d'urbanisme est en cours ;
- Les règles de constructibilité applicables au terrain (articles 1 à 14 du règlement de la zone agricole du PLU par exemple) ;
- Les caractéristiques des accès et réseaux existants ;
- Les servitudes, les risques naturels et technologiques, les protections liées aux sites et paysages, les espaces boisés classés EBC ;
- Éventuellement, la réglementation sanitaire applicable à votre projet (pour un bâtiment d'élevage par exemple).

Vous trouverez, le formulaire de demande d'autorisation d'urbanisme. D'autres documents d'information peuvent aussi être disponibles (plaquette sur l'architecture locale, le paysage...).



Les centrales photovoltaïques au sol et sur bâtiments agricoles en Haute-Vienne

Vous pourrez également discuter de votre projet avec l'équipe municipale, et prendre contact avec le CAUE (Conseil de l'Architecture, de l'urbanisme et de l'Environnement).

Il est rappelé qu'en règle générale, la demande de permis de construire ne peut être instruite que si la personne qui désire entreprendre des travaux soumis à autorisation a fait appel à un architecte pour établir le projet architectural faisant l'objet de la demande de permis de construire. Seules en sont dispensées les exploitations agricoles à responsabilité limitée à associé unique qui déclarent vouloir édifier ou modifier pour elles-mêmes une construction à usage agricole dont la SHOB n'excède pas 800 m² (articles L431-1 et 3 du code de l'urbanisme).

Vous déposerez ensuite le dossier de demande d'autorisation qui comprendra le formulaire du permis de construire et les documents établissant le lien et la nécessité du projet par rapport à l'exploitation agricole.

Votre projet doit démontrer un vrai besoin pour l'exploitation agricole

Deux conditions sont à remplir pour établir le lien et la nécessité du projet par rapport à l'exploitation agricole :

- Le projet concerne une exploitation agricole ;
- Le projet est nécessaire à l'exploitation agricole.

Il vous est recommandé de rédiger une notice permettant de vérifier ces deux conditions et de l'accompagner des documents cités ci-après.

● Le projet concerne une exploitation agricole

Votre activité

La définition retenue de l'activité agricole est celle donnée par l'article L.311-1 du Code Rural.

Selon le code rural, article L 311-1 :

« Sont réputées agricoles toutes les activités correspondant à la maîtrise et à l'exploitation d'un cycle biologique de caractère végétal ou animal et constituant une ou plusieurs étapes nécessaires au déroulement de ce cycle ainsi que les activités exercées par un exploitant agricole qui sont dans le prolongement de l'acte de production ou qui ont pour

support l'exploitation (...). Il en est de même des activités de préparation et d'entraînement des équidés domestiques en vue de leur exploitation, à l'exclusion des activités de spectacle. »

Sont exclues de fait les activités telles que l'entreprise paysagiste, l'entretien de parcs et jardins, l'entreprise de travaux agricoles, la vente de bois, l'élagage et le bûcheronnage, le simple gardiennage d'animaux...

L'activité agricole doit avoir un caractère professionnel et s'exercer dans le cadre d'une exploitation agricole, au sens de l'entreprise.

Les activités agricoles ainsi définies ont un caractère civil.

Une activité agricole exercée à titre secondaire ne permet pas de prétendre à la construction d'une habitation en zone agricole.

L'activité agricole doit avoir un caractère professionnel et s'exercer dans le cadre d'une exploitation agricole, au sens de l'entreprise.

Vous pouvez démontrer l'existence de l'exploitation agricole en joignant toute pièce ou document qui puisse en attester.

Votre exploitation

Votre projet porte sur une exploitation pérenne et économique viable. Vous devez l'attester en communiquant les trois informations suivantes :

- Numéro SIREN/SIRET ;
- Numéro PACAGE ;
- Numéro EDE (le cas échéant).

● Le projet est nécessaire à l'exploitation

La notion de nécessité à l'exploitation s'apprécie au cas par cas, à partir des éléments de votre dossier.

Vous devez justifier cette nécessité dans une notice complémentaire qui exprimera en termes simples :

- La motivation du besoin de construire un bâtiment agricole, justifié par rapport à l'activité de l'exploitation (projet d'augmentation de l'activité, mise aux normes agricoles...);



- L'adéquation entre la taille du bâtiment et l'activité de l'exploitation (justification par rapport à ces projets des dimensions et caractéristiques du bâtiment...);
- La motivation d'implanter des éléments photovoltaïques sur cette construction (notamment argumentaire économique).

Si certains de ces justificatifs sont en possession de l'administration, vous n'avez pas à les fournir. Sinon, ils doivent être joints à la demande de permis de construire.



Aspects paysagers

Une attention particulière doit y être portée

● Un constat sans appel sur l'implantation des bâtiments photovoltaïques et les points de vigilance à avoir pour monter votre projet.

Le Constat		Les points de vigilance
Une dispersion malencontreuse. Des bâtiments isolés provoquent un mitage du territoire.	Le positionnement du bâtiment ne s'effectue pas toujours par rapport à la logique d'exploitation ou au relief, mais souvent par rapport à une disponibilité foncière ou une logique de raccordement à un poste de collecte ou une ligne électrique. Ces modes d'implantations effectuées avec ces autres logiques ne permettent pas une recomposition paysagère qui ait un sens, permettant une meilleure intégration du bâtiment.	Retrouver une logique d'exploitation et composer avec les bâtiments existants
Une orientation récurrente invariable : des constructions qui n'utilisent que leur versant sud.	Les orientations logiques ou traditionnelles ne sont pas respectées. Le pan de toit photovoltaïque est toujours orienté vers le sud pouvant aller parfois, selon le relief, à l'encontre du site pour son implantation. Par exemple, pour les terrains inclinés au nord les constructions à contre-pente s'avèrent systématiquement contradictoires avec les mouvements d'ensemble du relief.	Conserver des lignes de toit parallèles aux courbes de niveaux
Des gabarits trop importants. Des bâtiments surdimensionnés, souvent monobloc.	En raison de la rentabilité escomptée du projet, les surfaces de toitures sont très importantes. Cette envergure nécessite des terrassements conséquents qui viennent s'opposer aux lignes du relief et aussi s'imposer dans le paysage. Il devient alors difficile de raccorder le bâtiment au terrain naturel, soulignant ainsi l'aspect artificiel de l'installation. Les tailles imposantes de bâtiment d'un seul tenant dénotent également par rapport à l'échelle des bâtiments existants.	Adapter et fractionner le bâtiment
Une forme incomplète. Des constructions aux formes incongrues mono-orientées.	Le photovoltaïque peut générer des constructions mono-pentes sans murs qui s'apparentent à des plans mono-inclinés sur pilotis. Ceux-ci ne peuvent être identifiés comme des bâtiments. L'effet de masse s'obtient en outre par des toits bi-pentes et des parois verticales fermées en particulier sur les côtés nord et ouest.	Promouvoir des constructions qui soient de vrais bâtiments

● **Recommandations générales pour l'implantation de votre bâtiment agricole**

Un bâtiment agricole, c'est un outil de travail, mais c'est aussi une image qu'on donne à voir, un ajout dans l'organisation de la commune, un signal dans le paysage. C'est pourquoi le permis de construire considère votre projet sur trois échelles de grandeur, de la plus large à la plus fine : l'échelle du site, du bâti et de la parcelle.

Échelle du site. A une échelle élargie : la perception globale du projet dans le site	Le porteur de projet, cherche à positionner son bâtiment de la façon la plus adéquate par rapport aux structures du paysage, ses lignes de forces, son relief, ses espaces ouverts... Le bâtiment doit composer impérativement avec ces éléments en place, afin de créer une harmonie, sans phénomène de dominance dans le paysage qui générerait une rupture définitive. Après cette lecture, le porteur de projet détermine la volumétrie du bâtiment et son emplacement.	Dans le dossier de permis de construire PC1 : le plan de situation. Il indique le contexte général auquel se rattache le terrain de construction sur la commune. Sur une carte au 1/25 000, le plan donne des renseignements sur l'occupation du sol du territoire (ensembles architecturaux, les végétaux, la topographie, l'hydrographie...) PC8 : Les photographies lointaines. Elles permettent de situer le terrain dans le paysage.
Échelle du bâti.	Après avoir déterminé l'emplacement, la forme de la construction et son accompagnement, les matériaux et les couleurs, ainsi que les plantations directement aux abords du bâtiment, viendront parfaire la cohérence du projet. Pour les supports et parois, les teintes foncées (gris colorés) permettent une meilleure intégration au fil des saisons. Les bardages bois peuvent constituer un choix intéressant. Les panneaux solaires seront choisis non réfléchissants.	Dans le dossier de permis de construire PC5 : le plan des façades et des toitures. Ce document visualise la volumétrie, les ouvertures, les matériaux. PC4 : La notice explicative. Elle a pour but d'expliquer le projet en décrivant : le contexte paysager global, l'état initial du terrain et de ses abords, les partis architecturaux retenus pour assurer l'insertion du projet dans son contexte, l'aménagement de la parcelle (accès, plantations, traitement des surfaces externes comme les aires de stockage...), l'implantation, l'organisation, la composition et le volume des bâtiments, les matériaux, les couleurs...

Un guichet unique

Échelle de la parcelle : la cohérence d'implantation du bâtiment

Le porteur de projet précise et cale l'implantation du bâtiment et sa volumétrie (positionnement précis, terrassements minima) ainsi que les modalités d'accompagnements (trame plantée alentours, annexes, accès). L'intérêt est de raccorder au mieux le nouveau bâtiment à son contexte direct.

Dans le dossier de permis de construire **PC2 : le plan de masse.** Il indique l'implantation de la construction sur le terrain et les aménagements extérieurs. Ce plan précise l'orientation, l'échelle, les limites de la parcelle, les hauteurs des bâtiments, les reliefs, les écoulements des eaux, les raccordements, les voiries, les bâtiments à proximité, la végétation, les accès prévus.

PC3 : le plan en coupe.

PC6 : le document graphique. Cela peut être un photomontage (ou une vue en 3 D) montrant le projet dans son contexte paysager (constructions avoisinantes, coteaux...). Il est nécessaire de bien choisir le cadrage qui ne doit pas être trop près du bâtiment construit et pris depuis un point de vue significatif (route, coteau d'en face par exemple).

PC7 : les photographies de près. Les vues montrent la situation du projet dans son environnement proche.

● Comment sera instruit votre projet ?

Un guichet d'accueil des porteurs de projets et des collectivités est créé.

En amont des procédures réglementaires, cette instance informelle, animée et pilotée par la DDT, a trois missions principales :

- Informer ;
- Conseiller ;
- Préconiser des recommandations sur les projets à forts enjeux.

Ses avis ne se substituent pas à ceux requis par les réglementations ou instances décisionnelles en vigueur. Ils sont un appui pour le service instructeur ou pour l'instance décisionnelle, en lui apportant notamment un éclairage sur les différents enjeux en cause.

Le comité technique urbanisme environnement est composé de membres permanents : Préfecture, DDT, STAP (Service Territorial de l'Architecture et du Patrimoine), DREAL, DRAAF, et ADEME (Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Énergie). Sa composition peut être élargie, selon les projets à examiner aux représentants des Chambres d'Agriculture, des PNR (Parcs Naturels Régionaux), d'ERDF, du CAUE...

● Comment fonctionne ce guichet ?

Le secrétariat

Il est assuré par la DDT.

Le guichet

Il est mis à la disposition des maîtres d'ouvrage pour faciliter la mise en œuvre éventuelle de leur projet. Il prépare les travaux du comité technique urbanisme environnement qui examine les projets photovoltaïques selon les orientations données par le **pôle des énergies renouvelables, présidé par le Préfet.**

L'examen du projet repose sur :

- L'analyse du dossier fourni par le porteur de projet ;
- Une audition éventuelle du porteur de projet ;
- Une visite sur le terrain si nécessaire.

“ **Garantir un traitement équitable et transparent de tous les dossiers déposés** ”

Gérard Pérot,
Directeur Départemental des Territoires

Le développement de la filière photovoltaïque est une nécessité et un objectif largement partagé. Il doit se faire en respectant les principes du développement durable, en évitant notamment la surconsommation d'espace et en respectant le foncier agricole et les espaces naturels. Les premiers dossiers déposés ont montré qu'il convenait de préciser les enjeux et d'informer les maîtres d'ouvrage potentiels sur les principes à prendre en considération pour mener à bien leurs projets avec rapidité et efficacité. La Direction Départementale des Territoires a initié un travail partenarial* pour réfléchir à la manière d'informer un large public sur les enjeux du développement de la production d'électricité d'origine photovoltaïque, sur les recommandations à apporter aux porteurs de projets aussi bien dans la phase de réflexion précédant le montage de leur projet que dans la phase de réalisation des documents administratifs permettant d'obtenir les autorisations nécessaires. C'est ainsi qu'a été construite cette brochure.

Ce document cadre n'a pas de valeur réglementaire. Il n'est pas opposable. Il contient les références des différentes réglementations qui s'appliquent aux projets photovoltaïques. Il constitue avant tout un outil pédagogique pour les porteurs de projets, les conseillers, les élus... C'est également un outil d'aide à la décision permettant de clarifier les conditions de réalisation des projets. Il a l'ambition de faire poser les bonnes questions à chaque étape de la démarche.

Le travail partenarial engagé jusqu'à maintenant va se poursuivre dans un comité technique urbanisme environnement, par l'examen collégial de tous les projets déposés en garantissant un traitement équitable et transparent. La conception du document cadre et la création du comité technique urbanisme environnement sont deux initiatives complémentaires qui ont pour ambition de contribuer de manière raisonnée et partagée au développement maîtrisé de l'énergie photovoltaïque.

* Ont participé à ce document, en tant que référents : L'ADEME, la Chambre d'Agriculture, les architectes et paysagistes conseil, le STAP et le service de la préfecture.

Pour la mise à disposition
des photographies illustrant ce
document, nous remercions
Monsieur LESCIBAA, agriculteur à
Blanzac et les entreprises
ECOSOLIS, EMIX et EXOSUN.

Contact

**Direction départementale des territoires
Secrétariat du Service Urbanisme Logement**

Le Pastel - 22 rue des Pénitents Blancs
87032 Limoges Cedex

Tél. 05 55 12 95 00 - Fax. 05 55 12 90 99,

Courriel : ddt-sul@haute-vienne.gouv.fr



***Annexe 8 : Délibérations du conseil municipal de la commune de Saint-Hilaire-la-Treille soutenant le projet agrisolaire de la Ferme de Bord en date du
11/12/2019***

Nombre de conseillers :

en exercice	11
présents	10
représentés	00
votants	10
Exprimés	10
Pour	10
Contre	00

L'an deux mille dix-neuf,
le onze décembre,
le conseil municipal de la commune de St Hilaire la Treille
dûment convoqué, s'est réuni en session ordinaire,
à la Mairie, sous la présidence de Mme Odile BERGER, Maire.

Date de convocation du conseil municipal : 03/12/19

Présents : MMES BERGER - BLANCHET - MM. DUCHIRON -
LETANG A - BARDOU - GOGO - NADAUD - MME DEGAY -
M. LETANG J.P. - MME DUBOIS.
Absente excusée : MME VANNIER.

Délibération de soutien à la modification de zonage pour la réalisation d'un projet agri-solaire sur la commune de St Hilaire la Treille.

Mme Jocelyne BLANCHET a été élue secrétaire.

Madame le Maire informe le Conseil Municipal de l'aménagement d'un projet agri-solaire combinant une centrale photovoltaïque au sol d'une puissance envisagée de 30MWc environ avec un élevage ovin au lieu-dit « Bord » sur le territoire communal. Ce projet nécessite d'adapter le futur document d'urbanisme local en conséquence il est demandé au Conseil Municipal son soutien à la modification de zonage sur les parcelles listées ci-dessous :

Section	Numéro
YA	20
YA	22
ZY	4
ZY	6 (partie)
ZY	8
ZY	9
ZC	1

Au vu des dispositions d'urbanisme actuellement applicables au projet agri-solaire, (Règlement National d'Urbanisme), le projet agri-solaire est situé en dehors des parties urbanisées de la commune mais serait toutefois autorisé en raison de sa nature d'équipement collectif dès lors qu'il respecte impérativement les activités agricole en compatibilité avec l'élevage ovin en place ce qui permettra son maintien et son développement.

Toutefois, afin de permettre la réalisation de ce projet sur notre territoire, il apparaît nécessaire de prévoir un zonage compatible dans le projet de PLUi du secteur de Brame-Benaize de la Communauté de Communes du Haut Limousin en Marche actuellement en cours d'instruction, en vue de rendre le projet éligible aux dispositions du cahier des charges des appels d'offres du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. En effet, pour être éligible à ces appels d'offres, le site identifié pour l'implantation du projet doit à l'heure actuelle être localisé dans une zone Naturelle « Npv » ou « Ner » autorisant explicitement dans son règlement les installations photovoltaïques ou de production

condition que celles-ci soient compatibles avec le maintien de l'élevage ovin sur ces parcelles.

Ainsi :

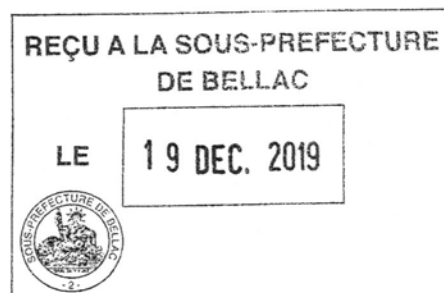
Considérant l'intérêt général et local qui s'attache au projet de centrale photovoltaïque au sol situé à Bord sur le territoire de la Commune de Saint-Hilaire-la-Treille ;

Après en avoir délibéré, l'Assemblée :

- DECIDE de soutenir cette modification de zonage, notamment à l'occasion de l'enquête publique du PLUi à venir ;
- AUTORISE Madame le Maire à effectuer toute démarche nécessaire en ce sens, notamment, auprès des administrations compétentes, de la Communauté de Communes du Haut Limousin en Marche, de la commission d'enquête qui sera chargée de recueillir les avis sur le projet de PLUi du secteur de Brame-Benaize ;
- AUTORISE Madame le Maire à signer tous documents s'y rapportant.

Fait et délibéré en mairie, les jour, mois et an que dessus.
Pour copie conforme.

Le Maire,
O. BERGER



Annexe 9 : Courrier de la Communauté de Communes du Haut Limousin en Marche en date du 10/01/2020, en faveur du projet agricole de la Ferme de Bord

A Bellac, le 10 janvier 2020

Monsieur Gérard JAMGOTCHIAN,
Président de la Commission d'enquête
publique du PLUi Brame Benaize
12 avenue Jean Jaurès
87300 BELLAC

Courrier réf : 2020-030

Affaire suivie par : Joëlle Sallé – DGA Pôle développement

Objet : projet agrisolaire – Saint Hilaire la Treille

Monsieur le Président,

La communauté de communes Brame Benaize avait initié une réflexion territoriale autour de la réalisation de son Plan Local d'Urbanisme Intercommunal à partir décembre 2015. Cette analyse a été reprise par la communauté de communes du Haut Limousin en Marche suite à la fusion des EPCI intervenue en Janvier 2017.

A l'issue de ces réflexions, un projet de PLUi a été arrêté en Mars 2019 pour le secteur Brame Benaize, la phase d'enquête publique de déroule du 30 décembre 2019 au 3 février 2020.

Parallèlement à la construction de l'avenir territorial du Haut Limousin en Marche, Françoise et François VANNIER, propriétaires du foncier de la Ferme de Bord à Saint Hilaire la Treille, qu'ils exploitent en Gaec, ont souhaité développé un projet agrisolaire.

A travers ce projet, il s'agit pour ces exploitants de dégager un revenu complémentaire compatible avec l'élevage ovin, d'anticiper et faciliter la transmission de leur ferme, de contribuer à l'effort de la transition énergétique et de pérenniser un système agricole agro écologique conciliant performance économique et environnementale.

Environ 40 hectares maximum pourront être utilisés pour le parc photovoltaïque, le reste de la surface de l'exploitation actuelle étant réservée à la production de foin pour l'élevage. De plus, les panneaux seront positionnés pour permettre le pâturage des moutons et ainsi assurer l'entretien des parcelles tout en maintenant l'activité agricole.

Pour toutes ces raisons, les élus de la communauté de communes sont favorables à ce projet agrisolaire qui s'inscrit dans les orientations définies dans le cadre du PLUi et du PCAET. Ils souhaitent par conséquent la mise en compatibilité du zonage du projet dans le PLUi en N enr. Ceci permettra de rendre le projet éligible aux appels d'offres de la Commission de Régulation de l'Energie.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée.

Le Vice-Président,

Gilles REYNAUD



***Annexe 10 : Analyse de l'impact climat de capacités additionnelles solaires photovoltaïques en France à horizon 2030 – Etude réalisée par France Territoire
Solaire en date du 24/03/2020***

Analyse de l'impact climat de capacités additionnelles solaires photovoltaïques en France à horizon 2030

Note de restitution



24 mars 2020

Sommaire

L'AUGMENTATION DES CAPACITES PHOTOVOLTAÏQUES EN FRANCE PERMET DE REDUIRE LE CONTENU CO ₂ DU MIX ELECTRIQUE FRANÇAIS ET EUROPEEN.....	3
PRINCIPES METHODOLOGIQUES	5
RESULTATS DETAILLES.....	7
Des émissions de CO ₂ évitées par le PV à hauteur de 270 à 330 gCO ₂ /kWh.....	7
Un poids carbone du PV français en 2030 estimé à 32 gCO ₂ /kWh.....	9
HYPOTHESES DETAILLEES.....	12
Le mix de production remplacé par le PV a été calculé à travers une modélisation fine du système électrique français et européen	12
Le poids du PV installé en 2030 a été calculé via une approche analyse de cycle de vie	14
LIMITES ET ENSEIGNEMENTS DE L'ETUDE	18
A PROPOS DES AUTEURS.....	19

L'augmentation des capacités photovoltaïques en France permet de réduire le contenu CO₂ du mix électrique Français et Européen

En janvier 2020, le gouvernement a soumis à consultation publique une nouvelle version de la programmation pluriannuelle de l'énergie à l'horizon de 2028. Cette nouvelle version a confirmé les objectifs ENR, et notamment solaire, ambitieux, tout en précisant la trajectoire de baisse du nucléaire jusqu'à 50% dans le mix électrique en 2035.

Etant donné la faible intensité carbone moyenne du mix électrique français, l'impact climat positif de l'ajout de capacités photovoltaïques en France a pu être questionné. Dans ce cadre, *France Territoire Solaire* a missionné *Artelys* et *I Care & Consult* pour évaluer l'impact climat de ces nouvelles capacités, sur la base du fonctionnement réel du système électrique avec l'outil de modélisation **Artelys Crystal Super Grid**.

L'analyse, réalisée en comparant deux situations pour le mix électrique correspondant à l'année 2030¹, reposant sur des hypothèses issues de scénarios publics de référence (Programmation pluriannuelle de l'énergie, scénarios du « Ten-Year Network Development Plan » de l'ENTSO-E²) et différant uniquement par leur capacité PV en France, montre la **contribution nette positive** de capacités additionnelles de PV en France à la transition climat en France et en Europe.

En effet, en comparant la variante PV haut du scénario PPE (54 GW de solaire PV) et la variante PV bas (41,5 GW de solaire PV) en 2030, l'impact des 12,5 GW additionnels de PV à cet horizon 2030 est le suivant :

- Une diminution des émissions de CO₂ de **238 gCO₂ par kWh** de production PV supplémentaire au sein du système électrique, qui provient de **270 gCO₂/kWh** d'émissions évitées dans le système électrique français et européen, auxquelles sont retirés les **32 gCO₂/kWh** nécessaires pour fabriquer et installer les systèmes PV.
- Ces émissions évitées dans le système électrique proviennent du remplacement de productions thermiques en France (11%) et en Europe (89%). La production additionnelle PV ne se substitue que partiellement à de la production nucléaire française : 48% de la production PV additionnelle remplace une production nucléaire (bien en dessous du taux nucléaire actuel dans la production), tandis que plus de la moitié de l'énergie produite par les panneaux supplémentaires (52% ou 7,4TWh) permet in-fine de réduire de la production thermique. Ces 6,8 TWh de réduction du nucléaire correspondent à moins de 2% de la production nucléaire française dans le scénario de référence (381 TWh).
- Ces résultats montrent que le solaire n'intervient pas directement en remplacement du mix de production moyen mais permet surtout de réduire la production des capacités thermiques, en

¹ Cette analyse est volontairement réalisée dans un contexte avec de fortes capacités de production décarbonée en France (nucléaire, éolien, solaire, hydro), et sans réadaptation du plan de maintenance des centrales nucléaires, de manière à ne pas favoriser les capacités PV dans l'analyse.

² <https://tyndp.entsoe.eu/>

cohérence avec les analyses récentes de RTE sur l'influence des énergies renouvelables sur les productions des différentes filières³.

- L'impact CO₂ de la production PV supplémentaire pourrait être encore plus important si la croissance de ces capacités était accompagnée par un développement de capacités de flexibilité additionnelles ou une augmentation de la demande qui permettrait d'exploiter la production nucléaire substituée (6,8 TWh). Par exemple, une conversion en hydrogène de cette énergie décarbonée disponible pourrait permettre d'éviter **60 g CO₂ supplémentaires par kWh de production PV supplémentaire**⁴.

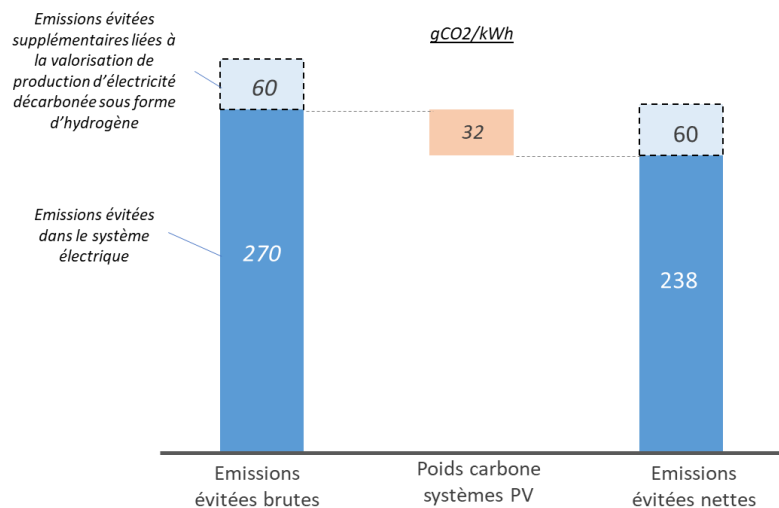


Figure 1 : Synthèse des émissions évitées par les capacités photovoltaïques supplémentaires en France en 2030

- Si les capacités nucléaires ne devaient pas baisser autant que prévu dans la PPE, restant aux 63 GW actuels plutôt qu'aux 57 GW prévus, l'analyse montre que les émissions évitées resteraient élevées, à 190 gCO₂/kWh additionnel (+ 60 g CO₂/kWh de conversion hydrogène).
- Enfin, les économies de CO₂ permises par les capacités additionnelles (12,5 GW) de PV ont été évaluées avec une méthodologie dans laquelle ces capacités sont en concurrence importante avec les autres capacités peut émettrices de CO₂ (nucléaire, hydro ou autres EnR variables), contrairement à la situation actuelle où « l'énergie éolienne et l'énergie solaire se déploient essentiellement en addition au potentiel de production nucléaire et hydraulique » comme l'indique RTE⁵.

³ « 11. Ces résultats battent en brèche une vision réductrice du système électrique où chaque incrément de production éolienne et solaire se ferait au détriment du nucléaire et n'aurait pas d'influence sur les émissions de gaz à effet de serre. », RTE, https://www.rte-france.com/sites/default/files/note_bilans_co2_v3.pdf

⁴ Ce chiffre d'émissions évitées correspond à la moyenne entre l'impact de l'hydrogène s'il est injecté dans le réseau de gaz (un MWh d'hydrogène remplace un MWh de méthane) et l'impact de l'hydrogène s'il évite une production par vaporéformage (un MWh d'hydrogène remplace environ 1,3 MWh de méthane).

⁵ Message 7 de la note CO₂ mentionnée plus haut.

Principes méthodologiques

L'étude se base sur une simulation de la réponse du réseau électrique français et européen face à l'introduction de capacités PV supplémentaires. La simulation prend en compte la consommation d'électricité en France et dans les pays voisins, la production et la consommation des pays voisins ainsi que la capacité d'interconnexion.

Afin d'analyser le mix électrique, nous avons choisi 2030 comme année de référence. Elle représente l'horizon de temps de la programmation pluriannuelle de l'énergie⁶ (PPE) qui a été officialisée en 2020. La PPE affiche des objectifs ambitieux en termes de capacités renouvelables et constitue donc un cadre d'analyse intéressant pour la pertinence du PV dans le système électrique. Conformément à la PPE, le scénario considéré n'intègre pas de capacités de production thermique supplémentaire par rapport à aujourd'hui.

En Europe, le scénario utilisé repose sur le scénario « Sustainable Transition » du TYNDP 2018 de l'ENTSO-E, qui prend en compte l'évolution possible des mix électriques étrangers, qui gardent dans leur ensemble une part thermique carbonée importante (40%) en 2030.

Pour évaluer l'impact carbone net du photovoltaïque sur le système électrique, l'approche adoptée consiste à comparer les émissions du mix électrique remplacé par l'installation de capacité PV dans le système, au contenu carbone intrinsèque du PV. Ce raisonnement est présenté par l'équation suivante, l'unité utilisée est le gCO₂/kWh :

$$\text{Emissions évitées nettes} = \text{Emissions directes évitées sur le mix électrique} - \text{Contenu carbone du PV}$$

Emissions directes évitées sur le mix électrique

Le bénéfice climat du photovoltaïque repose sur le fait que chaque kWh PV remplace un mix électrique qui peut contenir partiellement des moyens de production carbonés (gaz naturel, charbon et fioul) et qui génèrent donc des émissions directes de CO₂⁷.

La détermination de ce mix électrique remplacé est basée sur une comparaison entre un scénario dit de référence (ses capacités PV reposant sur le scénario PPE PV bas), et un scénario avec des capacités PV supplémentaires et identiques par ailleurs (ses capacités PV reposant sur le scénario PPE PV haut), pour lesquels l'équilibre-offre demande est simulé **au pas de temps horaire sur une année avec Artelys Crystal Super Grid**. Ces simulations d'équilibre offre-demande prennent en compte l'ordre de préséance économique (ou principe du « merit order ») ainsi que l'ensemble des contraintes techniques s'appliquant aux différentes technologies (y compris les interconnexions électriques).

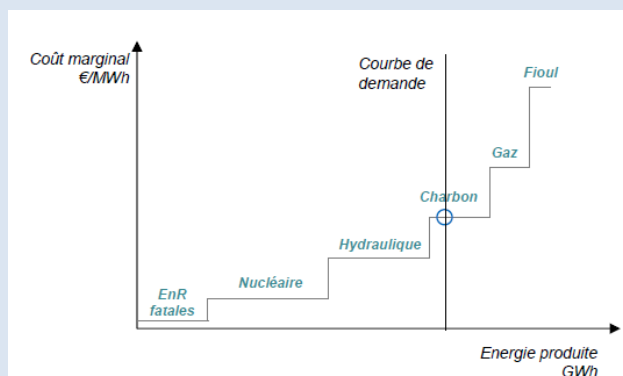
⁶ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

⁷ L'analyse repose sur les contenus CO₂ des combustibles issues de la base carbone de l'Ademe (<https://www.bilans-ges.ademe.fr/>), et suppose un contenu négligeable de bio-méthane ou autre gaz renouvelable dans le mix de gaz.

Cette analyse est réalisée pour un scénario climatique correspondant à une année « moyenne » en Europe (année 2006), affectant à la fois les profils horaires de productions renouvelables et de consommation en Europe.

Merit order

La logique du merit order (ou ordre de préséance économique) consiste, dans une optique de minimisation du coût de production de l'électricité, à faire appel aux différentes unités de production suivant un ordre de priorité basé sur un coût marginal croissant. Les énergies renouvelables dites « fatales » (éolien, photovoltaïque, hydraulique au fil de l'eau), avec un coût marginal quasi-nul, sont ainsi appelées en premier dans le merit order, suivies des moyens de base (nucléaire) puis de semi-pointe (centrales à charbon et à gaz) pour finir par les moyens de pointe et d'extrême pointe (fioul notamment) et les flexibilités (hydro, batteries). En pratique, la logique du merit order n'est pas statique et peut évoluer d'une période à l'autre : un moyen de production peut avoir un coût marginal plus faible qu'un autre à un instant t mais se retrouver plus cher à un autre instant (le gaz et le charbon ont ainsi permuté de position au cours des dernières années, dû à des variations dans les prix du gaz et du charbon).



Ainsi, l'augmentation de la production d'énergie renouvelable fatale fait changer à des moments de l'année le moyen de production appelé en dernier. Souvent les plus chères en termes de coût marginal, les centrales fossiles sont donc amenées à être appelées de moins en moins souvent.

Contenu carbone du PV

Le contenu carbone du PV est calculé à partir de l'ensemble des émissions de GES du cycle de vie d'un système PV : fabrication des équipements, transport sur site, travaux d'installation, et en fin de vie démantèlement et gestion des déchets, et repose sur l'analyse d'I Care & Consult ci-dessous.

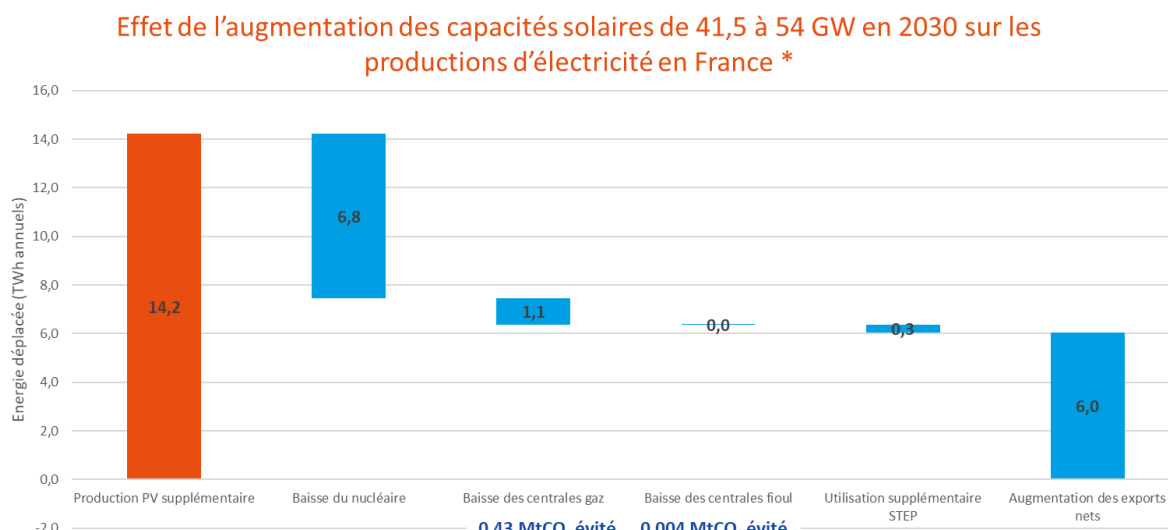
Emissions évitées nettes

Les émissions nettes évitées sont alors simplement la différence entre les émissions directes du mix remplacé et les émissions indirectes du contenu carbone du PV. A partir du moment où les émissions du mix de production remplacé sont supérieures au poids carbone du PV installé, le photovoltaïque est donc considéré comme bénéfique pour le système électrique du point de vue de l'impact climat.

Résultats détaillés

Des émissions de CO₂ évitées par le PV à hauteur de 270 à 330 gCO₂/kWh

La comparaison de la situation de référence et de la situation avec plus de capacité photovoltaïque (+12,5 GW) en 2030 donne les résultats suivants :



* Analyse marginale du PV dans un contexte fixé. Effet de l'accroissement des capacités solaires sur les capacités de flexibilités, les plans de maintenance des groupes nucléaires et sur l'évolution de la demande non pris en compte.

Figure 2 : Substitutions d'énergie en France

Dans les conditions de demande d'électricité et d'offre de flexibilité du scénario PPE (avec 41,5 GW de solaire en 2030), les 12,5 GW de capacités photovoltaïques supplémentaires induisent une augmentation de la production annuelle solaire de 14,2 TWh qui se traduit dans le système électrique en :

- Une baisse de la production des centrales nucléaires (48% de la production PV supplémentaire)
- Une baisse de la production des centrales thermique au gaz (8%)
- Une augmentation des exports nets⁸, c'est-à-dire plus d'exports vers les voisins et moins d'imports (42%)
- Une utilisation supplémentaire des STEP (2%)

La part de la baisse de la production nucléaire est ainsi moindre que la part du nucléaire dans le mix électrique français, et cette baisse de la production nucléaire de 6,8 TWh correspond à moins de 2% de la production nucléaire totale (381 TWh) dans le scénario de référence. Au total la production d'énergie décarbonée est augmentée de 7,4 TWh en France dans les conditions du scénario PPE. Cette hausse de la production d'électricité décarbonée pourrait être encore supérieure (jusqu'à atteindre les 14,2 TWh) si l'augmentation des capacités PV est accompagnée par un déploiement de flexibilités supplémentaires, sous forme de stockage d'électricité ou de conversion en hydrogène de cette électricité décarbonée, par une augmentation de la consommation par exemple pour la satisfaction de

⁸ Exports nets = Exports annuels – Imports annuels. La production solaire supplémentaire permet d'augmenter les exports en été et de diminuer les imports en hiver.

nouveaux usages dans la mobilité, l'industrie ou le bâtiment au-delà des objectifs donnés par la PPE ou par une réadaptation du plan de maintenance des centrales nucléaires.

La baisse de production des centrales thermiques en France induit une réduction directe d'émission de CO₂ dans le système électrique français de **0,43 MtCO₂/an**.

L'augmentation des exports nets (+6 TWh) induit une réduction de la production dans le reste de l'Europe, principalement sur le gaz (3,3 TWh) et sur le charbon (+2,2 TWh). Ces substitutions de production induisent une réduction de CO₂ de l'ordre de **3,4 MtCO₂/an** dans le reste de l'Europe.

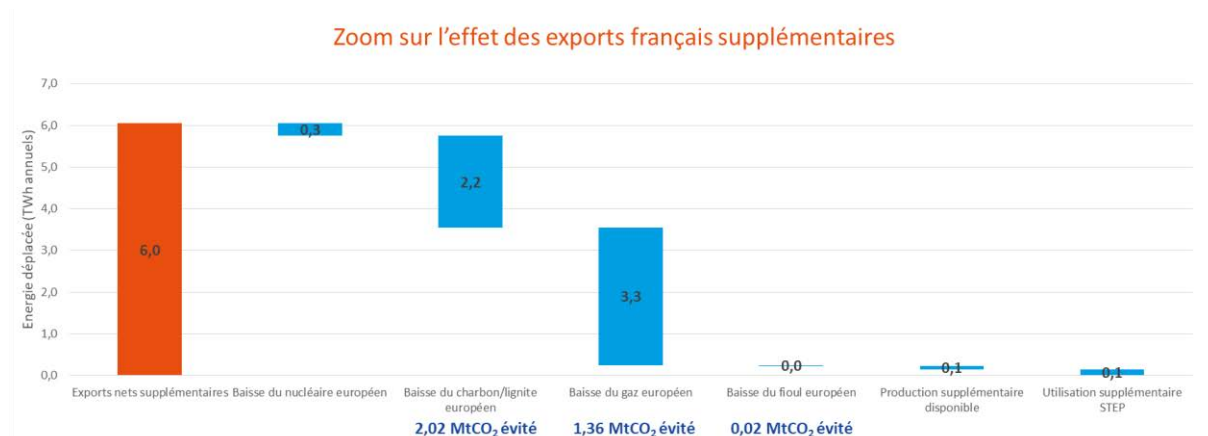


Figure 3 : Substitutions d'énergie dans le reste de l'Europe.

Au total, l'augmentation de production d'électricité PV se traduit par une réduction directe de **3,8 MtCO₂/an** dans le système électrique français et européen, le facteur d'émissions évitées du PV installé s'établit donc à 3,8Mt/14,2TWh, soit **270 gCO₂/kWh**⁹.

Dans le cas où des capacités de « power-to-hydrogène » seraient disponibles pour absorber le surplus d'électricité décarbonée (6,8 TWh), l'hydrogène produit pourrait remplacer de la consommation de gaz naturel¹⁰, ce qui permettrait d'éviter 0,75 à 1,05 MtCO₂ supplémentaires, ajoutant **60 gCO₂/kWh** (50-75) par an et portant ainsi les émissions évitées à **330 gCO₂/kWh** (326-340).

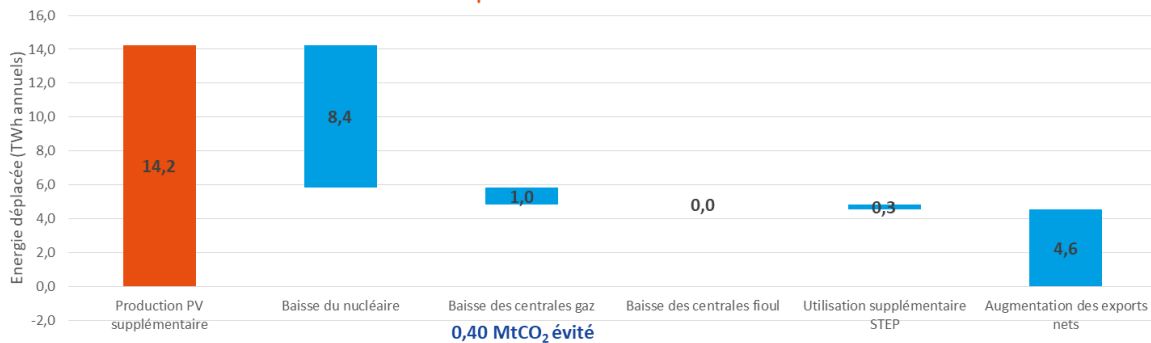
Enfin, dans le cas d'un mix électrique de départ avec plus de capacités nucléaires que dans le scénario PPE (cf. section hypothèses détaillées) toutes autres hypothèses égales par ailleurs, comme les capacités d'export sont proportionnellement plus utilisées dans la situation de référence (sans ajout des 12,5 GW de PV), les opportunités pour exporter la production solaire supplémentaire sont plus réduites. En effet, dans ce cas, les 14,2 TWh n'induisent qu'une augmentation des exports nets de 4,5 TWh. Ces exports nets permettent d'éviter 1,5 TWh de production au charbon et 2,3 TWh de production au gaz, évitant ainsi 2,7 MtCO₂/an au niveau Européen. L'impact du PV sur les émissions du système est donc plus faible : **190 gCO₂/kWh**, même s'il reste significativement plus important que

⁹ La prise en compte de 10% de gaz renouvelable dans le mix de gaz viendrait réduire ces émissions évitées de 0,18Mt, portant l'impact du PV à 255 gCO₂/kWh produit.

¹⁰ L'hydrogène peut être soit injecté dans le réseau de gaz soit remplacer de l'hydrogène produit par vaporéformage, utilisant du gaz et émettant du CO₂.

les émissions liées à son installation. De la même manière cette électricité décarbonée supplémentaire pourrait être valorisée sous forme d'hydrogène, permettant une réduction supplémentaire des émissions de CO₂ de l'ordre de 1000 à 1400 ktCO₂ par an, soit environ **80 gCO₂/kWh**, pour un total de **270 gCO₂/kWh**.

Effet de l'augmentation des capacités solaires de 41,5 à 54 GW en 2030 sur les productions en France



Zoom sur l'effet des exports français supplémentaires

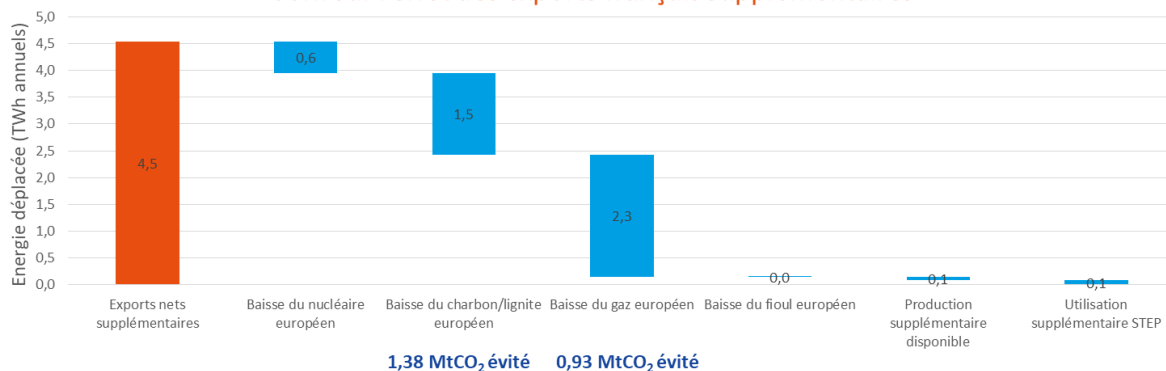


Figure 4. Substitutions d'énergie dans le cas avec plus de capacités nucléaires en 2030 (63GW)

Un poids carbone du PV français en 2030 estimé à 32 gCO₂/kWh

- Evaluation du poids carbone des systèmes installés en France en 2030

Le poids CO₂ moyen du kWh PV en France à l'horizon 2030 a été basé sur un calcul ACV de 4 systèmes différents : une centrale au sol conforme sous appel d'offre, une grande toiture sous appel d'offre, et 2 moyennes/petites toitures équipées de panneaux multi et monocristallin. La répartition des capacités au sol et en toiture dépend des objectifs fixés dans la PPE, toujours en projet à la date de publication de la note. La répartition des capacités en toiture a été estimée sur la base de l'historique des installations en France depuis l'instauration du mécanisme d'appel d'offre en 2017. Les hypothèses sont détaillées dans les chapitres suivants.

Types de systèmes photovoltaïques			Répartition retenue en 2030	Poids carbone gCO ₂ /kWh
Centrale au sol – 57%			57%	23 (14-35)
Toiture – 43%	Grande (AO CRE) – 30%		13%	23 (15-35)
	Moyenne / Petite (guichet ouvert) – 70%	Monocristallin – 45%	13,5%	64 (58-72)
		Multicristallin – 55%	16,5%	45 (42-48)
Parc photovoltaïque installé en France à 2030				32 (25-42)

Plusieurs facteurs expliquent les écarts entre les différents systèmes PV ci-dessus :

- Le poids carbone du panneau est généralement inférieur à 1150 kgCO₂/kWh pour les systèmes sous appel d'offre, i.e. centrales au sol et grandes toitures. En effet, les 2 appels d'offre comprennent un système de point basé sur un bilan carbone simplifié.
- Le poids carbone des panneaux installés sur moyenne/petite toiture n'est pas « régulé » par des critères carbone en guichet ouvert. Ainsi, le critère de sélection principal du client étant le prix, la majorité des panneaux (85%¹¹) sont d'origine asiatique avec un poids carbone plus élevé que ceux fabriqués en Europe (entre 1200 et 2200 kgCO₂/kWh¹).
- Les panneaux monocristallins ont un poids carbone plus élevé que les multicristallins, à cause du besoin en énergie supplémentaire lié à la fabrication du lingot de silicium.
- Les grandes installations (au sol et en toiture) utilisent généralement des panneaux à rendement supérieur aux installations en toiture.

La valeur moyenne obtenue pour les centrales au sol est de 23 gCO₂/kWh avec un minimum de 14 gCO₂/kWh et un maximum de 35 gCO₂/kWh. La valeur moyenne pour les grandes toitures est très proche, étant donné les limites de poids carbone similaires pour les panneaux dans les AO, le poids carbone des panneaux étant le driver principal dans le poids carbone des centrales. Son poids est en moyenne de 23 gCO₂/kWh avec un minimum de 15 gCO₂/kWh et un maximum de 35.

Pour les petites/moyennes toitures avec modules monocristallins, la valeur moyenne obtenue est de 64 gCO₂/kWh avec une valeur minimum de 58 gCO₂/kWh et une valeur maximum de 72 gCO₂/kWh. Enfin, pour les petites/moyennes toitures avec modules multicristallins, la valeur moyenne obtenue est de 45 gCO₂/kWh avec un minimum de 42 gCO₂/kWh et un maximum de 48 gCO₂/kWh.

La moyenne pondérée des différentes centrales en France permet d'obtenir une valeur moyenne de **32 gCO₂/kWh**.

¹¹ PEF screening report of electricity from photovoltaic panels in the context of the EU Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) Pilots, 2016

- **Comparaison avec les valeurs habituellement utilisées dans les bases de données**

Ces valeurs sont à comparer à la littérature actuelle. Le contenu carbone en littérature varie actuellement entre 35 et 100 gCO₂/kWh.

La Base Carbone fournit les résultats présentés Figure 5. La valeur moyenne est de 55 gCO₂/kWh pour un minimum de 35 gCO₂/kWh. Le maximum et le minimum correspondent à des variations de systèmes PV (technologies et localisation).

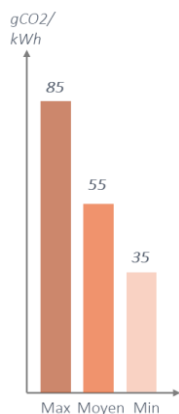


Figure 5 : Poids CO₂ du PV selon les données de la Base Carbone

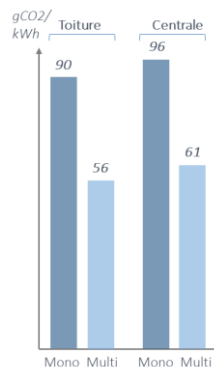


Figure 6 : Poids CO₂ du PV issu du PEF

Les données de la Base Carbone sont issues d'une évaluation réalisée par le cabinet SmartGreenScans, conformément aux ACV que l'ADEME a mené sur différents systèmes. Les valeurs sont néanmoins basées sur des données de 2011, avec notamment un contenu CO₂ du module de 1798 kgCO₂/kWc ce qui est bien plus important que les exigences des AO CRE en France actuellement.

Enfin les valeurs fournies par le Product Environmental Footprint (PEF) sont présentées Figure 6. Elles sont basées sur l'ACV détaillée d'un système moyen, avec un système en toiture d'une puissance installée de 3 kWc et d'une centrale au sol de 570 kWc. 85% des modules sont considérés comme fabriqués en Chine contre seulement 15% en Europe, ce qui explique en partie le contenu carbone important. La production annuelle considérée de 975 kWh/kWc sur une durée de vie de 30 ans pour les deux types de systèmes, ce qui correspond à un facteur de charge de 11%. Le facteur de charge considéré est donc plus faible que le facteur de charge moyen français, ce qui contribue à un impact plus élevé (2300 et 1300 kgCO₂/kWc pour les modules mono et multi cristallin respectivement).

Hypothèses détaillées

Le mix de production remplacé par le PV a été calculé à travers une modélisation fine du système électrique français et européen

A niveau de consommation égale, une production photovoltaïque supplémentaire en France remplace la production de centrales plus chères (comme les centrales thermiques ou nucléaires), comme le photovoltaïque est prioritaire dans le merit-order. La France étant interconnectée avec ses voisins, les productions sont affectées non seulement en France mais aussi dans le reste de l'Europe. En effet, cette production supplémentaire peut, en fonction des moments, remplacer de la production en France, menant ou non à une réduction des émissions de CO₂, ou affecter les flux aux frontières, en augmentant les exports ou réduisant les imports, affectant par la même les productions des mix voisins, et donc potentiellement leurs émissions.

Pour capter ce phénomène, deux situations correspondant à 2030 sont comparées : la gestion du système électrique est simulée pour une **situation de référence**, dont les hypothèses de capacité et demande reposent sur des scénarios publics référents, et pour une **situation avec significativement plus de capacité solaire photovoltaïque**, toutes hypothèses étant égales par ailleurs. Les émissions de CO₂ liées au système électrique Européen sont calculées pour ces deux situations, la différence d'émissions de CO₂ entre les deux situations étant donc imputable au photovoltaïque.

Ces simulations sont réalisées avec Artelys Crystal Super Grid¹², outil de référence pour la modélisation et la simulation des systèmes énergétiques. Ici, Super Grid simule les plans de production européens pendant un an au pas de temps horaire, en prenant en compte les flexibilités (stockages, production hydro) et les échanges d'électricité entre pays.

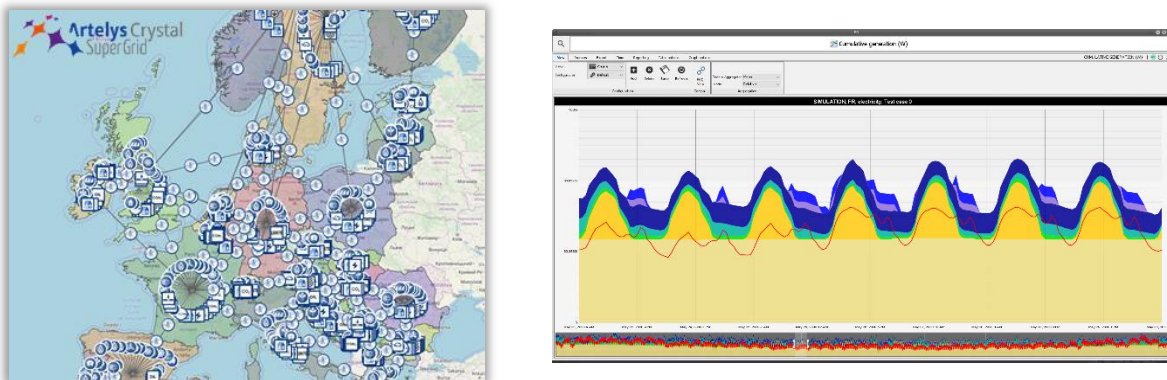


Figure 7 : Vue du système électrique européen dans Super Grid (à gauche) et de la production cumulée pour une semaine.

¹² <https://www.artelys.com/fr/crystal/super-grid/>

Le **scénario de référence** repose pour la France sur les hypothèses de la PPE¹³, et pour l'Europe sur le scénario « Sustainable Transition » du Ten-Year Network Development Plan¹⁴ 2018 de l'ENTSO-E. En particulier, les hypothèses clé sont les suivantes :

- Les capacités solaires dans ce mix de référence sont au niveau « bas » de la PPE pour 2030, c'est-à-dire 41,6 GW (en supposant une croissance similaire entre 2028 et 2030 que celle entre 2023 et 2028).
- Le niveau de nucléaire est de 57,5 GW. Comme prévu dans la PPE, il implique une fermeture de 8 réacteurs d'ici 2030, avec l'entrée en service de la centrale de Flamanville.
- Le niveau de demande en France est de 470 TWh soit un niveau comparable à celui de 2018 (474 TWh).
- Les hypothèses d'interconnexion avec les pays voisins reposent sur la grille de référence pour 2030 de l'ENTSOE, c'est-à-dire 26,9 GW de capacité d'export française.
- Le mix Européen se décarbone assez massivement d'ici 2030, en gardant toutefois une part toujours importante de production au charbon et au gaz (environ 40%).

Une simulation est réalisée avec le scénario de référence ci-dessus. Elle est ensuite comparée aux résultats d'un scénario avec une **capacité solaire supplémentaire**, toutes hypothèses étant égales par ailleurs, la capacité solaire installée correspondant dans ce cas au niveau « haut » de la PPE, soit 54,1 GW. Cette différence de 12,5 GW de capacité solaire ajoute 14,2 TWh de production par an.

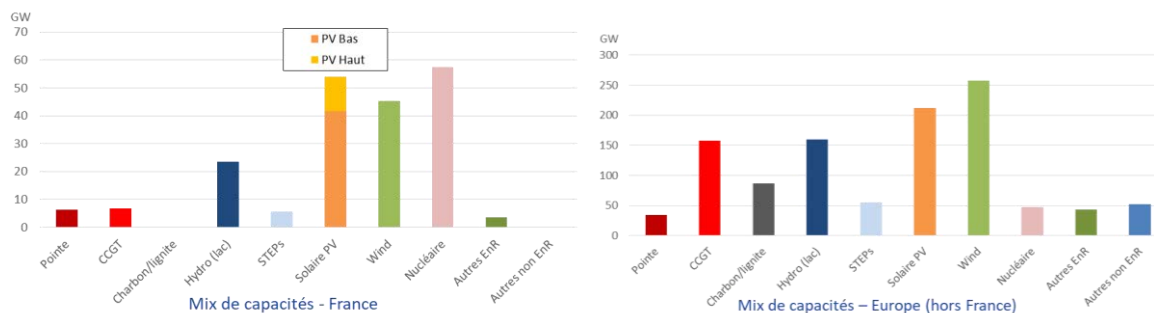


Figure 8. Hypothèses de capacités installées en France et en Europe en 2030

Une **analyse de sensibilité** a également été réalisée, avec un mix de référence ayant une capacité nucléaire plus importante en 2030, le mix européen étant supposé identique. Dans cette analyse de sensibilité, l'hypothèse est faite que toutes les centrales nucléaires actuelles (sauf celle de Fessenheim dont la fermeture est déjà décidée) sont maintenues. Avec la mise en service de celle de Flamanville, la capacité nucléaire dans le mix reste donc à 63 GW.

¹³ https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ppe_pour_consultation_du_public.pdf

¹⁴ <https://tyndp.entsoe.eu/tyndp2018>

Le poids du PV installé en 2030 a été calculé via une approche analyse de cycle de vie

Ainsi, le calcul du poids CO₂ moyen du PV installé en France en 2030 a été basé sur un calcul ACV de 4 systèmes :

- Une centrale au sol conforme au cahier des charges de l’AO CRE.
- Une grande toiture conforme au cahier des charges de l’AO CRE.
- Une moyenne/petite toiture équipée de panneaux monocristallins.
- Une moyenne/petite toiture équipée de panneaux multicristallins.

La part de chacun de ces systèmes dépend de 3 paramètres :

- La répartition, entre toiture et centrale au sol, de l’objectif de capacité PV installée en 2028 extrapolé jusqu’en 2030, selon la programmation pluriannuelle de l’énergie.
- La répartition historique des capacités en toiture entre grandes toitures (AO CRE) et moyenne/petite toiture (obligation d’achat/guichet ouvert).
- La part des moyennes/petites toitures entre panneaux mono et multicristallin, basée sur l’étude de marché annuelle du Fraunhofer¹⁵.

Système			Répartition retenue en 2030
Centrale au sol – 57%			57%
Toiture – 43%	Grande (AO CRE) – 30%		13%
	Moyenne/Petite (guichet ouvert) – 70%	Monocristallin – 45%	13,5%
		Multicristallin – 55%	16,5%

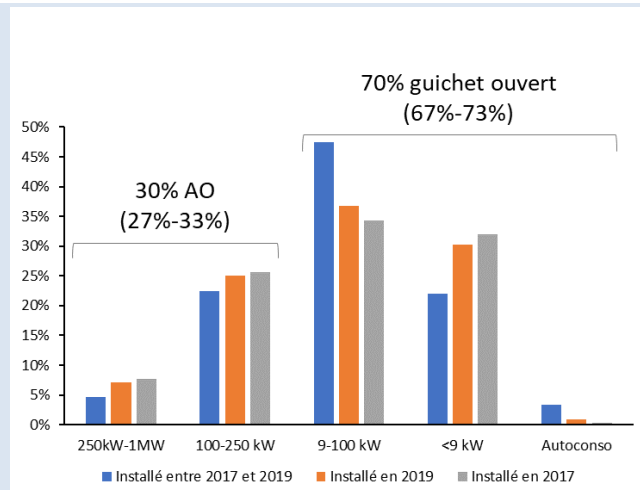
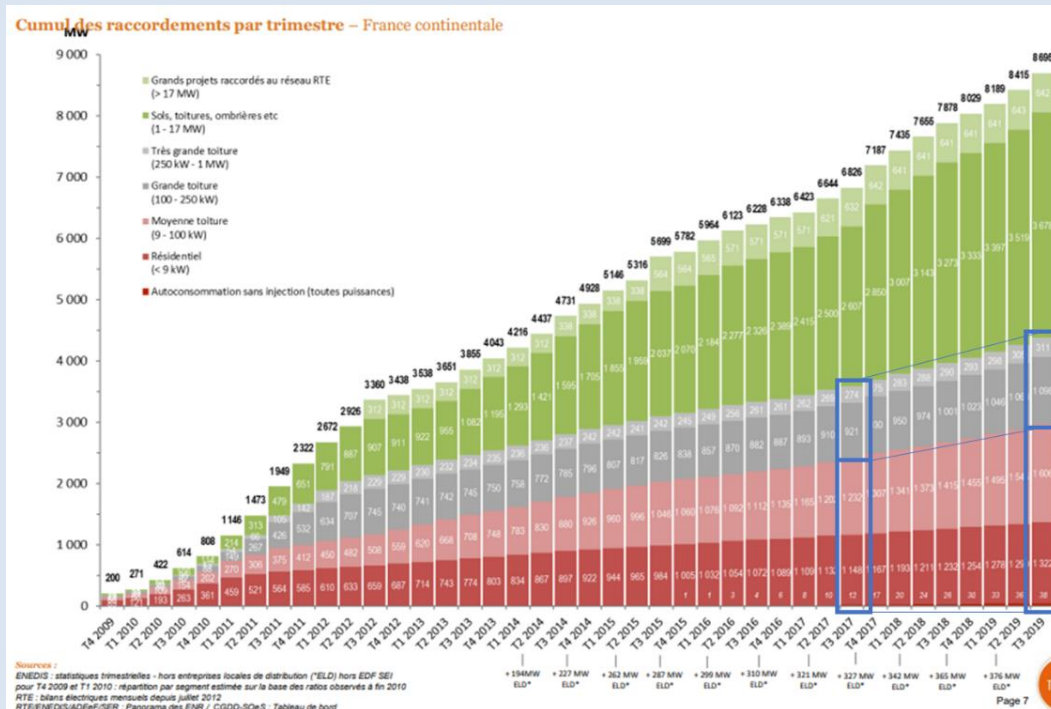
Calcul des parts de marché

La répartition des capacités PV installées entre toiture et centrale au sol à l’horizon de 2030 a été déterminée en extrapolant les objectifs PPE de 2028 comme le montre le tableau ci-dessous :

Type de système	2023	2028		2030		
		PV Bas	PV Haut	PV Bas	PV Haut	
Centrale au sol	11,6 GW	20,6 GW	25 GW	24,2 GW	30,36 GW	57%
En toiture	9 GW	15 GW	19,5 GW	17,4 GW	23,7 GW	43%
Total	20,6 GW	35,6 GW	44,5 GW	41,6 GW	54,06 GW	

¹⁵ Photovoltaic report novembre 2019, Fraunhofer ISE with support of PSE GmbH

La répartition des capacités en toiture, entre les grands systèmes sous AO et les moyens/petits systèmes en guichet ouvert, a été basée sur l'historique des installations entre l'année 2017 (année d'instauration du dernier AO) et 2019. Le graphe ci-dessous montre les capacités en MW entre les différents systèmes PV installés en France depuis 2009. Le graphe suivant compare la répartition des capacités en toiture selon les puissances et donc la répartition entre appel d'offre et guichet ouvert. Celle-ci montre que 30% des capacités en toiture ont été installées dans le cadre de l'AO CRE.



Centrales au sol

Dans le cadre de cette étude, une valeur unique de 575 kgCO₂/kWc a été considérée pour les modules. Cette valeur a été choisie sur plusieurs critères :

- En France, la majorité des centrales au sol répondent aux AO CRE. Les AO CRE imposent un bilan carbone simplifié des modules pour lequel les valeurs sont encadrées. Ainsi un panneau PV répondant aux exigences d'un AO CRE doit avoir un contenu carbone entre 50 kgCO₂/kWc et 1150 kgCO₂/kWc pour recevoir les points carbone associé sur une échelle linéaire. Les panneaux à 50 kgCO₂/kWc reçoivent une note maximale, les panneaux à 1150 kgCO₂/kWc ne reçoivent pas de points.
- Le retour d'expérience montre qu'aujourd'hui, les modules dont le contenu CO₂ oscille autour de 500 kgCO₂/kWc sont très prisés dans le cadre des AO CRE.
- La valeur de 575 kgCO₂/kWc est basée sur l'ACV complète d'un panneau fabriqué en Europe dont l'évaluation carbone simplifiée est de 500 kgCO₂/kWc, qui représente une part importante du marché actuel.

Les développeurs sont aujourd'hui à la recherche d'un panneau compétitif qui soit un compromis entre contenu carbone et performance. Cette valeur de 575 kgCO₂/kWc correspond ainsi à un panneau représentatif du marché actuel. Par ailleurs, le choix d'une valeur moyenne évite les paramétrages par pays d'origine ou par technologies (mono, multi, bifacial, etc.).

Une analyse de sensibilité a été menée pour des modules de 300 kgCO₂/kWc et de 1000 kgCO₂/kWc. Ces hypothèses se basent sur deux tendances possibles à l'horizon 2030 :

- 300 kgCO₂/kWc : la majorité des centrales au sol continue à être installée dans le cadre de l'AO CRE avec une intensité carbone des modules toujours plus importantes ;
- 1000 kgCO₂/kWc : le PV devenant de plus en plus rentable, de moins en moins de centrales candidatent aux AO CRE et l'absence d'exigence spécifique tend à l'augmentation de l'intensité carbone moyenne.

Le rendement du panneau considéré est de 21%. Cette hypothèse correspond ainsi à une haute performance aujourd'hui, supposée être la moyenne en 2030.

Le reste de l'impact de la centrale au sol est basé sur des données d'une centrale au sol moyenne, dont le facteur de charge considéré est le facteur de charge moyen français en 2019 : 1200 heures/an soit 13,7%.

Grandes toitures

Les grandes toitures, > 100 kW et < 8 MW, sont soumis à procédure d'appel d'offre appelé AO CRE4-bat. Le cahier des charges de cet AO, comme pour les centrales au sol, comprend un système de points spécifique au contenu carbone des panneaux, sur la base d'un bilan carbone simplifié. Les limites étant les mêmes que pour les centrales au sol, nous avons considéré le même type de panneau, avec 575 gCO₂/kWc. Ensuite, nous avons intégré cette valeur dans l'ACV des systèmes en toiture, issu du PEF (Product Environmental Footprint), pour calculer le poids carbone d'un système en toiture avec

critère carbone. L'analyse de sensibilité a été réalisée sur la base du contenu carbone des panneaux, entre 300 et 1000 gCO₂/kWc.

Moyennes/petites toitures

Les centrales en toiture sont divisées en deux catégories selon le type de modules installés : Mono-Si ou Multi-Si. Selon l'institut Fraunhofer, les modules Mono-Si représentent 45% des modules cristallins installés contre 55% pour les multi-Si. Le contenu CO₂ moyen en 2030 se base sur ces hypothèses.

Les valeurs utilisées sont celles du PEF (Product Environmental Footprint). L'empreinte environnementale produit a été développée par la Commission Européenne afin de comparer les produits sur un référentiel commun. Pour différents types de produits ont ainsi été développés des PEFCR : Product Environmental Footprint Category Rules. Ces documents reprennent ainsi des recommandations spécifiques sur la manière de conduire une ACV pour chaque produit. Un PEFCR a ainsi été développé pour les modules PV. Des membres de l'industrie PV ont ainsi été intégrés à l'équipe technique (First Solar, ECN Solar Energy, etc.). Dans le cadre du développement de ce PEFCR, une *screening study* a été menée notamment pour les modules mono et multi cristallins en toiture.

Ainsi, la présente étude se base sur ces résultats qui ont été modifiés afin d'être adaptés au contexte français. Le facteur de charge a été ajusté au facteur de charge moyen français de 13,7% ou 1200 heures/an, contre 960 heures/an initialement.

Le rendement moyen considéré pour les centrales en toiture avec des modules mono cristallins est de 18% tandis qu'il est de 15% pour les modules multi cristallins.

Des analyses de sensibilité ont été menées pour chaque cas en faisant varier le rendement de +/- 2%.

Limites et enseignements de l'étude

- Les résultats de l'étude sont fortement dépendants des hypothèses du scénario PPE concernant les capacités de flexibilité et d'interconnexions. Des capacités supérieures de flexibilité et d'interconnexions permettraient d'accroître l'effet climat calculé. A contrario, des capacités inférieures viendraient réduire cet impact climat.
- L'étude a choisi d'analyser l'impact climat des capacités additionnelles à la seule année 2030 et non l'impact climat cumulé sur la période 2020-2030, ce qui minore a priori l'impact positif pour le climat.
- Par ailleurs, en se positionnant en 2030 avec les hypothèses de la PPE, l'étude présuppose que 41,5 GW de capacité PV sont déjà installés, ce qui positionne le système électrique de départ (cad. avant ajout des 12,5 GW de capacité PV supplémentaire) dans un contexte de forte production électrique décarbonée (nucléaire et renouvelables) et présentant des enjeux de variabilité significatifs. Si la capacité PV était inférieure en 2030 au niveau PPE bas, l'effet positif pour le climat de capacités PV supplémentaires serait supérieur au calcul réalisé dans l'étude
- Même en prenant des hypothèses plus conservatrices quant à la baisse des capacités nucléaires, la contribution du PV supplémentaire reste largement positive pour le climat.

A propos des auteurs



France Territoire Solaire

France Territoire Solaire est un *think-tank* qui a pour objet social de :

- Produire des **propositions**, notamment de politiques publiques, permettant le développement de l'énergie solaire en France,
- Fournir régulièrement des **données chiffrées sur le secteur photovoltaïque** dans une recherche d'objectivité et de transparence dans l'étude des réponses fournies par l'énergie solaire aux défis contemporains.

France Territoire Solaire crée des liens entre la recherche, l'industrie, la politique et les citoyens :

- **Composé de personnes qualifiées et de compétences variées** : universitaires, chercheurs, experts, représentants de l'industrie, représentants d'associations....
- Participant aux **concertations avec la puissance publique**, aux **réflexions collectives avec les organisations professionnelles** du secteur ainsi qu'au **débat public** à travers des travaux de concert avec des organismes tant publics que privés tels des administrations, des collectivités locales, des syndicats, des organisations non gouvernementales (ONG), des entreprises privées ou toute autre association.

Les résultats des travaux menés par **France Territoire Solaire** sont diffusés dans un cercle restreint ou publiés, comme c'est le cas pour **l'Observatoire de l'Energie Solaire photovoltaïque en France** (www.observatoire-energie-photovoltaïque.com) publié chaque trimestre depuis près de 10 ans.



Artelys est une entreprise spécialisée en optimisation, prévision et aide à la décision. A travers la réalisation d'une centaine d'études et de projets logiciels dans le domaine de l'énergie, **Artelys** est reconnue comme un **acteur de référence dans la modélisation des systèmes énergétiques et l'aide à la décision**.

Artelys a notamment développé la suite logicielle **Artelys Crystal**, dédiée à l'optimisation de la gestion et des investissements sur les systèmes énergétiques, qu'elle emploie notamment pour **évaluer l'impact de politiques énergétiques et environnementales**.

Plus d'informations sur www.artelys.com



I Care & Consult est une entreprise de **conseil en stratégie de l'environnement** dont l'ambition est d'accompagner les acteurs publics, les entreprises et les investisseurs dans leur « transition environnementale », en changeant le paradigme d'une société à forte empreinte vers une société à forte productivité environnementale.

Fort de plus de 40 consultants experts en France et à l'international, **I Care & Consult est leader dans l'analyse de l'impact économique et environnemental des systèmes de production énergétique**. I Care & Consult accompagne à ce titre de nombreux acteurs du secteur de l'électricité dans la transition bas carbone.

Plus d'informations sur www.i-care-consult.com

Annexe 11 : Note de RTE sur les bilans CO2 suite au bilan prévisionnel de 2019



NOTE : PRÉCISIONS SUR LES BILANS CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂.

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 2019¹.

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 CO₂ 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 électrique², la

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

production d'électricité d'origine nucléaire s'est élevée en 2019 à 379 TWh, celle d'origine hydraulique à 60 TWh tandis que la production renouvelable d'origine éolienne et solaire a atteint un total de 45 TWh. Dans le même temps, la production des centrales thermiques fossiles s'est élevée à 42 TWh et provient désormais essentiellement de centrales au gaz récentes (cycles combinés) qui émettent moins de gaz à effet de serre que les centrales-au-charbon-ou-au-fioul

2. Les émissions de CO₂ du secteur électrique français ont tendanciellement diminué au cours des dernières années pour atteindre environ 19 millions de tonnes en 2019. Rapportées à la production, cela revient à un contenu carbone moyen très faible en comparaison d'autres pays européens dont le mix s'appuie encore beaucoup sur des centrales thermiques à combustible fossile. À titre de comparaison, les émissions du secteur électrique se sont élevées en 2018 à plus de 270 millions de tonnes en Allemagne, près de 70 millions au Royaume-Uni, ou encore environ 90 millions en Italie.

Sur l'influence du développement des énergies renouvelables sur la production des différentes filières :

3. Si les énergies renouvelables sont déployées en substitution à l'énergie nucléaire, il n'existe pas d'effet significatif sur les émissions de gaz à effet de serre. L'éolien et le solaire comme le nucléaire sont des technologies qui n'émettent pas de CO₂ lors de la phase de production d'électricité (hors construction des installations et phase amont du cycle du combustible), et conduisent donc à une production d'énergie décarbonée. En intégrant le cycle de vie des matériels, les émissions restent extrêmement faibles pour le nucléaire et l'éolien, et sont légèrement supérieures pour le photovoltaïque³ même si elles restent d'un ordre de grandeur très nettement inférieur aux émissions associées à la combustion de charbon, fioul ou gaz.

4. En France, le développement de l'éolien et du solaire ne s'est pas réalisé, au cours des années récentes, en substitution à l'énergie nucléaire. Entre 2005 et 2019, la capacité de production nucléaire est demeurée identique (63 GW).

5. 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 430 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 prévisionnels⁴.

6. 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.

7. Aujourd'hui, l'énergie éolienne et l'énergie solaire se déploient donc essentiellement en addition au potentiel de production nucléaire et hydraulique.

³. Source : ADEME, Base carbone 2019

⁴. Voir la page du Bilan prévisionnel sur le site de RTE pour les dernières publications : <https://www.rte-france.com/fr/article/bilan-previsionnel>

8. 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 (à gaz, au charbon-et-au-fioul) -Du-point-de-vue-des-coûts-variables, faire fonctionner ces unités est en effet plus onéreux que d'utiliser les moyens de production solaires, éoliens ou hydrauliques (dès lors qu'il existe du productible en vent, rayonnement ou hydraulité), ou que de faire fonctionner les centrales nucléaires existantes.

9. Cette réduction de l'utilisation des moyens thermiques se produit en France et dans les pays voisins, car le système électrique fonctionne de manière interconnectée à l'échelle européenne. La France disposant de peu de centrales thermiques – dont certaines (centrales à gaz) sont plutôt récentes et compétitives sur les marchés européens – une partie importante des réductions d'émissions sont enregistrées dans les pays voisins, *via* une augmentation des exports d'électricité et une réduction des imports. C'est ce qui explique que la France reste le principal exportateur européen malgré la réduction importante de la production nucléaire depuis les années 2000.

Sur l'évaluation des effets du développement des énergies renouvelables en matière d'émissions de gaz à effet de serre :

10. 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). Dit autrement, si ces capacités n'avaient pas été développées et avec le reste du parc électrique actuel et inchangé, les moyens thermiques en

France et en Europe auraient été davantage sollicités, conduisant à des émissions supplémentaires, notamment via des centrales au charbon et au gaz. Ce calcul permet d'évaluer les émissions évitées par le seul développement des capacités éoliennes et solaires, et non les réductions d'émissions liées à d'autres évolutions du secteur au cours des dernières années (évolution des prix des combustibles et du prix du CO₂ sur le marché ETS, déclassement de certaines centrales, etc.)

11. Ces résultats battent en brèche une vision réductrice du système électrique où chaque incrément de production éolienne et solaire se ferait au détriment du nucléaire et n'aurait pas d'influence sur les émissions de gaz à effet de serre.

12. Les scénarios publiés dans le Bilan prévisionnel 2017 (*Ampère, Volt...*) et les analyses publiées sur la mobilité électrique et l'hydrogène montrent que cette dynamique est susceptible de se prolonger, au moins en partie, à l'avenir. En particulier, les trajectoires choisies par le Gouvernement dans le cadre de la PPE conduisent à une croissance du potentiel de production d'électricité décarbonée. Dit autrement, la croissance de la production éolienne et solaire est supposée être plus rapide que la réduction de la production nucléaire, même en fermant quatorze réacteurs nucléaires sur les quinze prochaines années. À condition que ces trajectoires soient effectivement tenues, les performances du système électrique en France en matière d'émissions de CO₂ et sa contribution à la réduction des émissions à l'échelle européenne devraient croître.

13. Les études complémentaires sur les échanges d'électricité⁵ soulignent que le potentiel d'export est loin d'être saturé, mais que les conditions économiques (prix de l'électricité et viabilité économique-des-différentes-filières -sont-à-vérifier).

14. À moyen terme, l'atteinte des objectifs publics de croissance du parc d'électricité décarbonée en France permettra de réduire encore les émissions

5. RTE, octobre 2018, *Analyses complémentaires sur les échanges d'électricité aux interconnexions dans les scénarios du Bilan prévisionnel* : https://www.concerte.fr/system/files/concertation/BP2017_annexe-echanges-aux-interconnexions-vf.pdf

de gaz à effet de serre, soit dans les pays voisins *via* la hausse des exports et le moindre recours aux centrales thermiques situées dans ces pays, soit en France *via* des transferts d'usages vers l'électricité

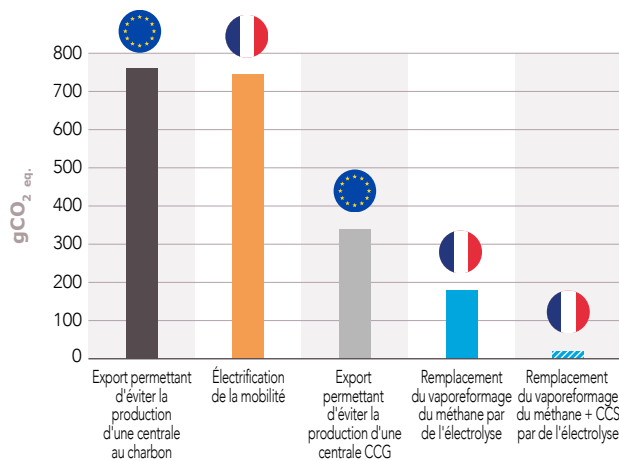
Sur les effets des nouveaux usages électriques en matière d'émissions de gaz à effet de serre :

15. Dans ce cas de figure, le système électrique peut accueillir de nouveaux usages (mobilité électrique, production de gaz de synthèse, chauffage...) en substitution à des combustibles fossiles. En utilisant un modèle européen, RTE vérifie de manière systématique le bilan carbone net de ces transferts, qui réduisent les émissions en France mais peuvent avoir des effets plus nuancés à l'échelle européenne. Plus précisément, du point de vue des émissions, les transferts d'usages vers l'électricité en France peuvent apparaître en concurrence avec l'export d'électricité décarbonée dans les pays voisins.

16. RTE a ainsi montré que le développement de la mobilité électrique⁶ en France conduit à des baisses très nettes des émissions de gaz à effet de serre (en lien avec la combustion de carburants pétroliers évitée), même en prenant en compte les effets sur le système électrique européen et l'analyse de cycle de vie des batteries.

17. S'agissant de la transition vers l'hydrogène bas-carbone⁷ produit par électrolyse, les gains sur les émissions sont clairs au niveau de la comptabilité nationale grâce à la réduction des émissions liées à la production conventionnelle de l'hydrogène (vaporeformage du méthane). L'analyse à l'échelle européenne peut être en revanche plus

Figure 1. Émissions évitées à l'échelle de l'Union européenne par la production d'un kilowattheure d'électricité décarbonée en France en fonction de son utilisation, en France ou en Europe



nuancée : à parc inchangé, le développement de l'hydrogène conduit à réduire les exports, alors même que ces exports permettent d'éviter davantage d'émissions que le remplacement du gaz par l'électricité pour produire de l'hydrogène en France. L'augmentation de la production d'électricité décarbonée prévue au titre de la PPE permet de contrebalancer cet effet et d'assurer un bilan carbone global positif pour la transition vers l'hydrogène bas-carbone.

18. L'étude en cours sur le chauffage et le secteur du bâtiment, qui sera publiée prochainement, viendra compléter l'analyse environnementale des principaux transferts d'usage vers l'électricité. Elle suivra le même cadre méthodologique que les études mentionnées ci-dessus avec notamment des analyses sur les plans technique, environnemental et économique.

⁶ RTE, mai 2019, *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique* : https://www.rte-france.com/sites/default/files/electromobilite_synthese_9.pdf

⁷ RTE, janvier 2020, *La transition vers l'hydrogène bas-carbone - Atouts et enjeux pour le système électrique à l'horizon 2035* : https://www.rte-france.com/sites/default/files/apport_hydrogene_vf.pdf