



HAL
open science

Paysages de l'énergie

Nadine Polombo, Jimmy Lebeau, Jérôme Mansons, Boris Ponel, Stéphane Renaud, Yunfei Shi

► **To cite this version:**

Nadine Polombo, Jimmy Lebeau, Jérôme Mansons, Boris Ponel, Stéphane Renaud, et al.. Paysages de l'énergie. SIG 2009 Conférence Francophone ESRI, Sep 2009, Versailles, France. pp.Energies renouvelables 1-22. halshs-00462035

HAL Id: halshs-00462035

<https://shs.hal.science/halshs-00462035v1>

Submitted on 8 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les paysages de l'énergie : Aide à la décision pour l'implantation d'unités photovoltaïques dans le PNR du Haut-Languedoc

Nadine POLOMBO, Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, CITERES UMR CNRS 6173

Jimmy LEBEAU, Jérôme MANSONS, Boris PONEL, Stéphane RENAUD, Yunfei SHI, stagiaires du Département Aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours
Alain COUZINIÉ, vice-président du syndicat mixte de gestion du PNR du Haut-Languedoc
Julien BIRLINGER, chargé de mission "Energie" du PNR du Haut-Languedoc

Avec le concours de Julie FRAISSE, Ecole Nationale Supérieure du Paysage de Marseille, pour les compositions paysagères.

Nadine POLOMBO

**Ecole Polytechnique de l'Université de Tours - Département Aménagement – CESA
UMR CNRS 6173**

35 Allée Ferdinand de Lesseps BP 30553

37205 TOURS CEDEX 3

Tel : 02 47 36 14 63 - 06 25 47 21 05

Courriel : npolombo@univ-tours.fr



Mots-clés : PNR, photovoltaïque, énergie renouvelable, aide à la décision
Logiciels ESRI utilisés : ArcView, 3D Analyst, Spatial Analyst, Network Analyst
Public visé : tout public

Après une rapide description du projet à l'origine de cette étude, nous présentons quelques éléments de connaissance du territoire établis à partir du SIG du Parc, puis les objectifs et potentiels de production sont évalués. Les fiches techniques synthétisant les caractéristiques des techniques photovoltaïques sont suivies de simulation d'intégration dans les paysages du Parc. Enfin, nous concluons avec les limites de l'étude et les suites possibles.

1 Le projet

Dans le cadre du Grenelle Environnement, le Secrétariat d'Etat à l'Aménagement du Territoire soutient 10 « Ateliers territoriaux », proposés par des territoires volontaires et ouverts à des étudiants dans des formations liées à l'aménagement. Les domaines d'intervention concernent l'étalement urbain, la rénovation urbaine et les secteurs anciens, la trame verte et bleue, les paysages de la proximité, et les paysages de l'énergie. « Les réalisations finales devront incarner une approche novatrice et durable de l'aménagement de l'espace et apporter des réponses concrètes aux enjeux du Grenelle Environnement. »¹

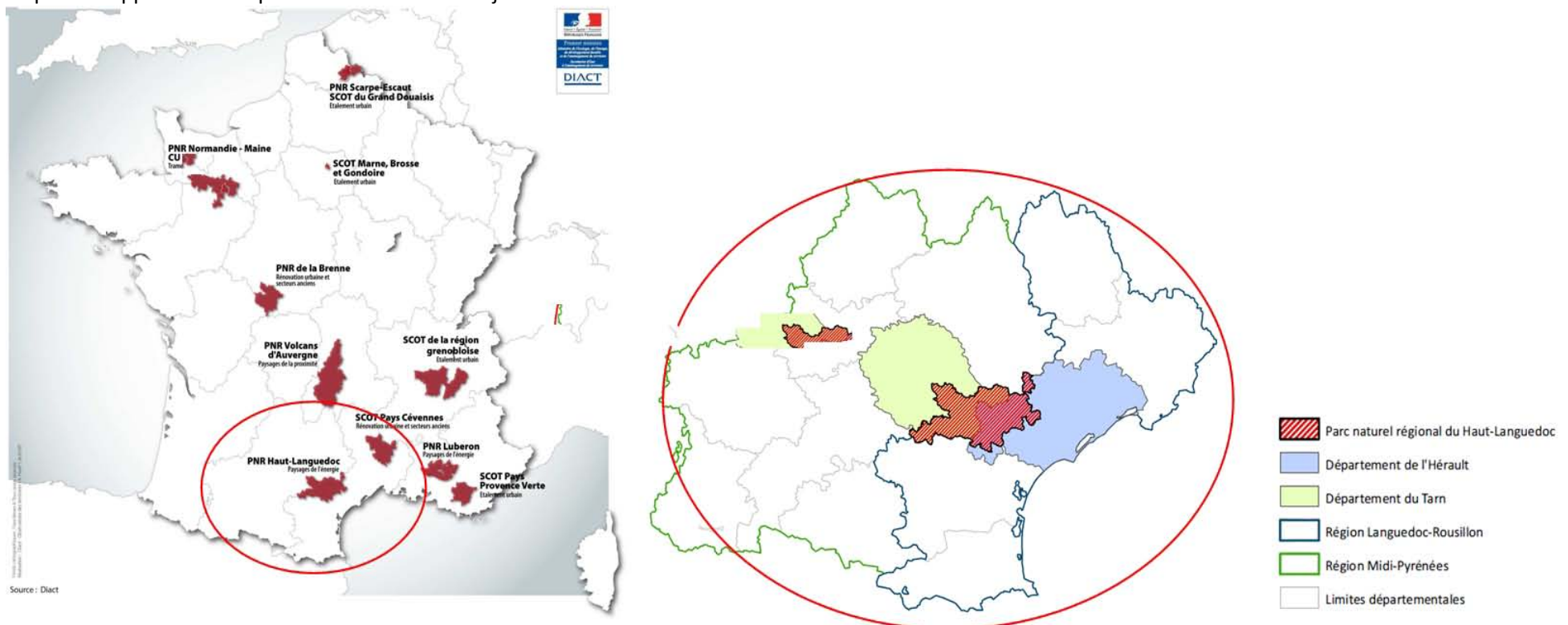


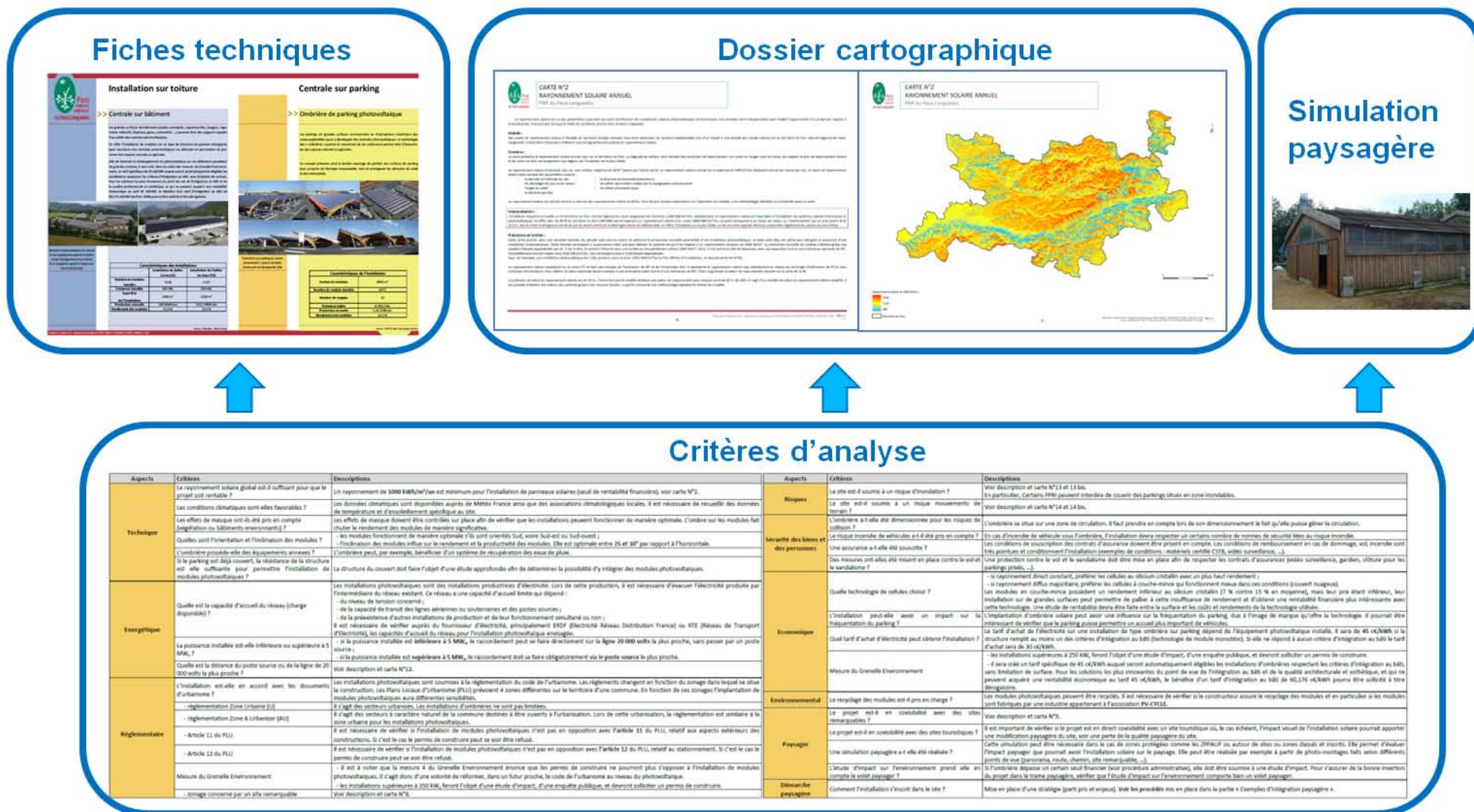
Figure 1 - Le Parc National Régional du Haut-Languedoc

De par sa localisation géographique, le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc bénéficie d'un gisement solaire important. Les récentes mesures incitatives financières de l'Etat ont engendré un regain d'intérêt pour la filière solaire photovoltaïque de la part des investisseurs, des agriculteurs et des élus. Dans une logique de développement durable, il est nécessaire de bien connaître son territoire, ses potentiels, ses enjeux paysagers et économiques pour décider d'une stratégie et œuvrer à une valorisation du patrimoine, tout en prenant en compte la qualité des paysages.

L'objectif de ce travail est d'évaluer le potentiel énergétique solaire photovoltaïque des communes du Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc, et de créer un outil d'aide à la décision à destination des élus du Parc, avec les informations nécessaires aux décideurs lorsqu'ils sont sollicités pour avis sur un projet ou lorsqu'ils sont eux-mêmes porteurs du projet.

L'outil est composé de :

- Critères d'analyse : centrale au sol, installation sur toitures individuelles, bardage et garde-corps, verrières et murs rideaux, centrales sur bâtiment, ombrières sur parking.
- Fiches techniques
- Cartographie globale avec explications et commentaires
- Cartographie par commune
- Simulations paysagères



Aspects	Critères	Description	Aspects	Critères	Description
Technique	Le rayonnement solaire global est-il suffisant pour que le projet soit rentable ?	Un rayonnement de 1000 kWh/m ² /an est minimum pour l'installation de panneaux solaires (selon la rentabilité financière), voir carte N°2.	Risques	Le site est-il soumis à un risque d'inondation ?	Voir description et carte N°13 et 14. En particulier, certains sites peuvent être affectés par des inondations de courtes durées (crues de printemps).
	Les conditions climatiques sont-elles favorables ?	Les données climatiques sont disponibles auprès de Météo France ainsi que des associations climatologiques locales. Il est nécessaire de recueillir des données de température et d'ensoleillement spécifiques au site.	Le site est-il soumis à un risque mouvement de terrain ?	Le site est-il soumis à un risque mouvement de terrain ?	Le site est-il soumis à un risque mouvement de terrain ?
Énergétique	Les effets de masque ont-ils été pris en compte (intégration ou bâtiment existant) ?	Les effets de masque doivent être contrôlés sur place afin de vérifier que les installations peuvent fonctionner de manière optimale. L'ombre sur les modules fait chuter le rendement des modules de manière significative.	Sécurité des biens et des personnes	L'ombre a-t-elle été dimensionnée pour les risques de collision ?	L'ombre a-t-elle été dimensionnée pour les risques de collision ?
	Quelle est l'orientation et l'inclinaison des modules ?	L'orientation possible des modules est fonction de la production et de la productivité des modules. Elle est optimisée entre 25 et 30° par rapport à l'horizontale.	Économique	Le coût moyen de production est-il inférieur à 0,10 €/kWh ?	Le coût moyen de production est-il inférieur à 0,10 €/kWh ?
Réglementaire	Quelle est la capacité d'accueil du réseau (charge disponible) ?	La puissance installée est-elle inférieure ou supérieure à 5 MW _{cr} ?	Environnemental	Le recyclage des modules est-il pris en compte ?	Le recyclage des modules est-il pris en compte ?
	Quelle est la distance du poste source ou de la ligne de 20 000 volts la plus proche ?	La puissance installée est-elle inférieure ou supérieure à 5 MW _{cr} ?	Paysager	Le projet est-il en cohérence avec des sites remarquables ?	Le projet est-il en cohérence avec des sites remarquables ?

Le document ci-dessous comporte les 4 fiches critères correspondant aux types d'installation les plus pertinents pour le Parc : centrales au sol et sur hangar agricole, installations sur parking et installations sur toitures individuelles, ainsi que les fiches techniques. Les critères prennent en compte les aspects technique, énergétique, réglementaire, économique, environnemental, paysager et la sécurité.

Nous présentons ici un extrait de l'étude réalisée par les stagiaires, mettant en évidence l'importance de l'information géographique dans la connaissance du territoire et le rôle de l'analyse spatiale comme outil du projet territorial. Si cette étude semble montrer que la connaissance locale est un préalable à l'élaboration d'un projet, elle soulève aussi plusieurs questions : comment coordonner les différentes échelles territoriales, jusqu'à quel niveau de précision doivent être portées les données locales, suffit-il d'évaluer des coefficients pour généraliser une démarche locale, ... ?

Les sources de données utilisées sont : IGN@BD CARTO®, IGN@BD TOPO®, IGN@BD ALTI®, IGN@BD ORTHO®, CORINE Land Cover, DIREN Languedoc-Roussillon/Midi-Pyrénées, SDAP, CAUE du Tarn, Préfectures du Tarn et de l'Hérault, Conseil Général du Tarn et Conseil Général de l'Hérault, BRGM, PRIM, IFN, INAO, INSEE, AGRESTE

2 Le PNR : connaissance du territoire

2.1 Géographie, population

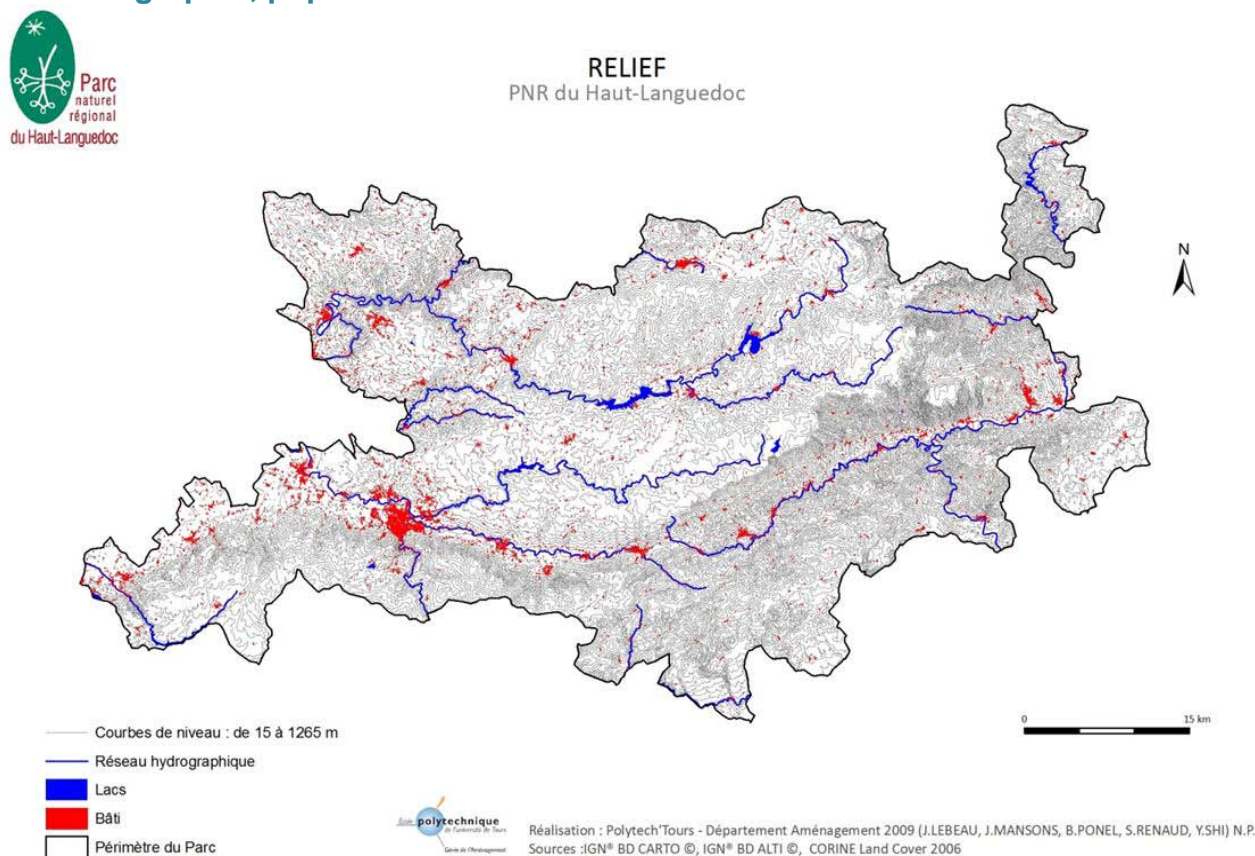


Figure 2 - Géographie

Le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc occupe un territoire de 2600 km², au relief contrasté, en zone de moyenne montagne. Traversé par la ligne de partage des eaux, le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc bénéficie d'une double influence climatique, atlantique et méditerranéenne. Cette spécificité se traduit par une diversité biologique et paysagère exceptionnelle.

POPULATION PAR COMMUNE
PNR du Haut-Languedoc

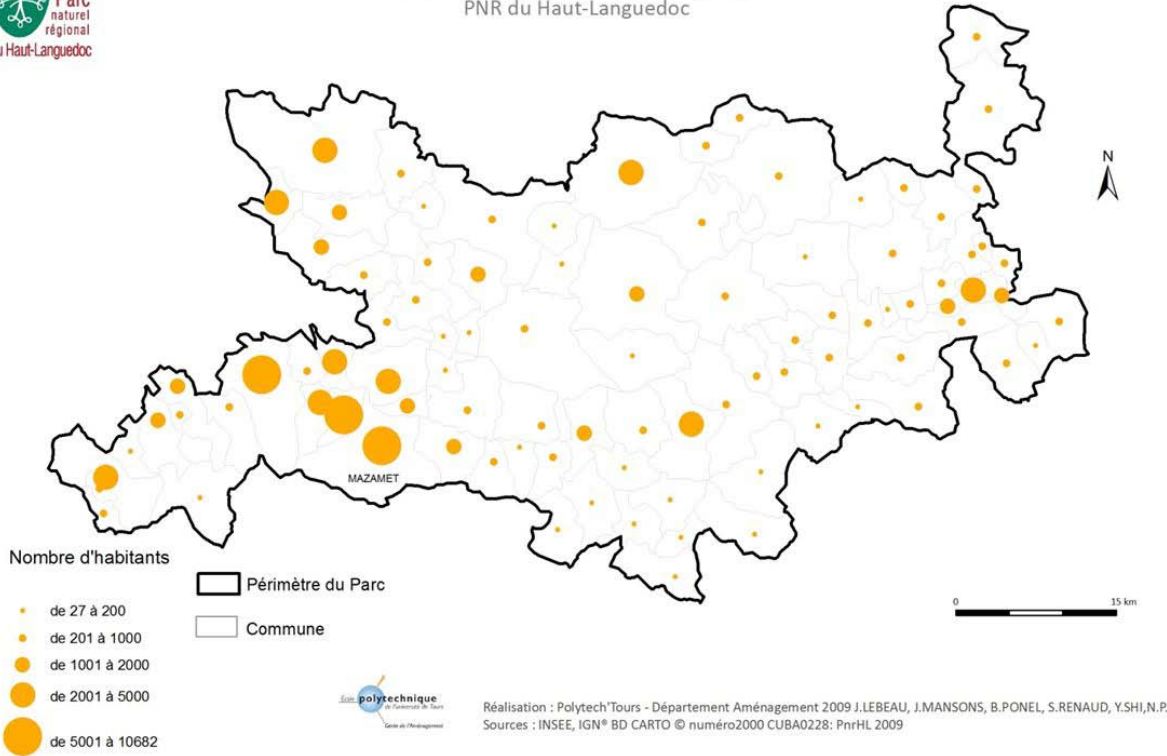


Figure 3 - Population



Figure 4 - Village de caractère

Ce territoire peu peuplé est composé de 93 communes pour une population totale de 86000 habitants. Les villes moyennes (plus de 2000 habitants) sont situées majoritairement à l'ouest du Parc. La notion de « village de caractère » est spécifique au Parc, qui souhaite en préserver la qualité.

2.2 Occupation du sol

Dans un contexte de crise viticole où l'arrachage de vigne est subventionné, les zones agricoles sont des zones d'enjeux particulièrement sensibles. Pour une surface équivalente, les revenus de l'énergie photovoltaïque sont supérieurs aux revenus liés à l'activité agricole.

ESPACES AGRICOLES ET SYLVICOLES
PNR du Haut-Languedoc

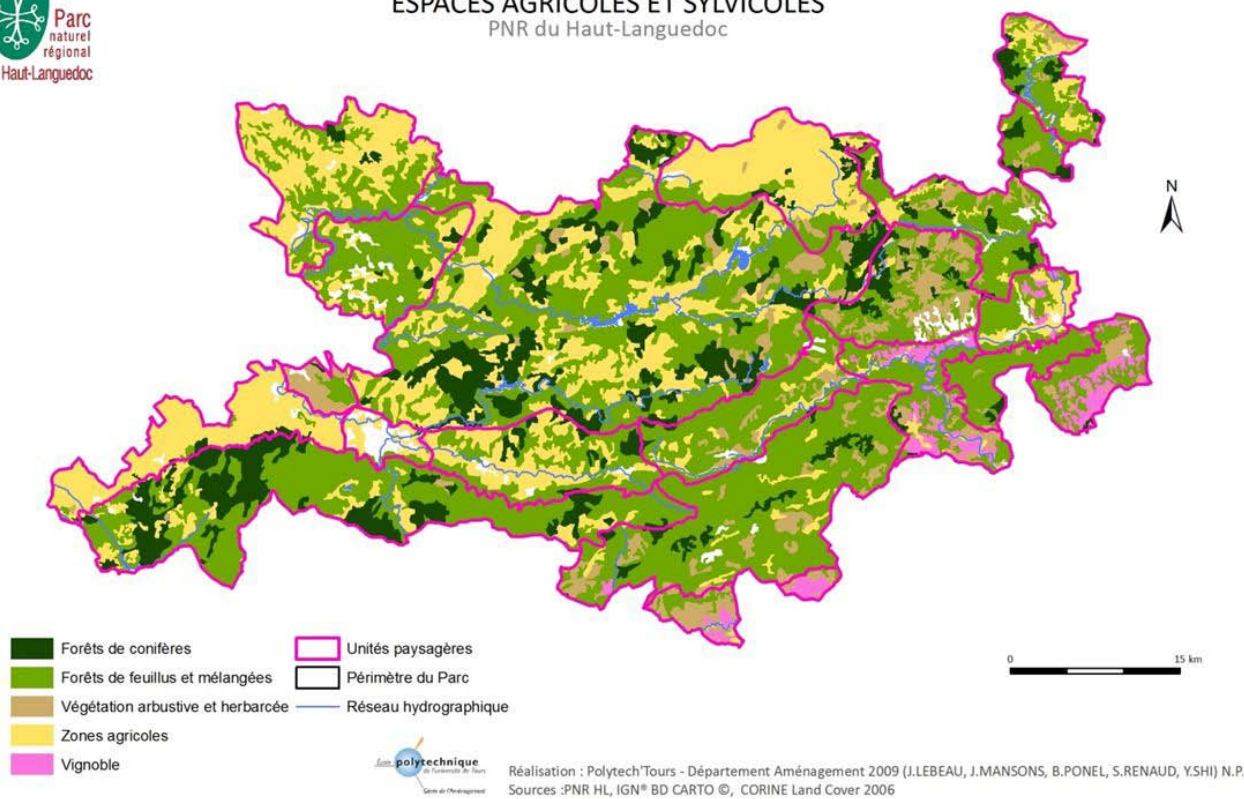


Figure 5 - Occupation du sol et unités paysagères



Figure 6 - Paysage de forêts et paysage de vigne

Le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc est recouvert aux 2/3 de bois et de forêts, et 30% de sa superficie est dédiée à l'agriculture. Des contraintes réglementaires limitent les possibilités d'implantation de centrales photovoltaïques selon le type de zonage du PLU : zone urbaine (U), zone à urbaniser (AU), zone agricole (A), zone naturelle (N).

Au début du 20^{ème} siècle, la forêt a colonisé les espaces abandonnés par l'agriculture et l'élevage du fait de l'exode rural. Suivant les secteurs, le reboisement s'est fait de manière naturelle, ou par la plantation de résineux. L'installation d'une centrale photovoltaïque au sol dans une zone boisée est possible sous certaines conditions. Les parcelles incluses dans un massif boisé de plus de 4 hectares d'un seul tenant doivent faire l'objet d'une autorisation administrative, quelle que soit la surface réellement défrichée.

ESPACES AGRICOLES SENSIBLES PNR du Haut-Languedoc

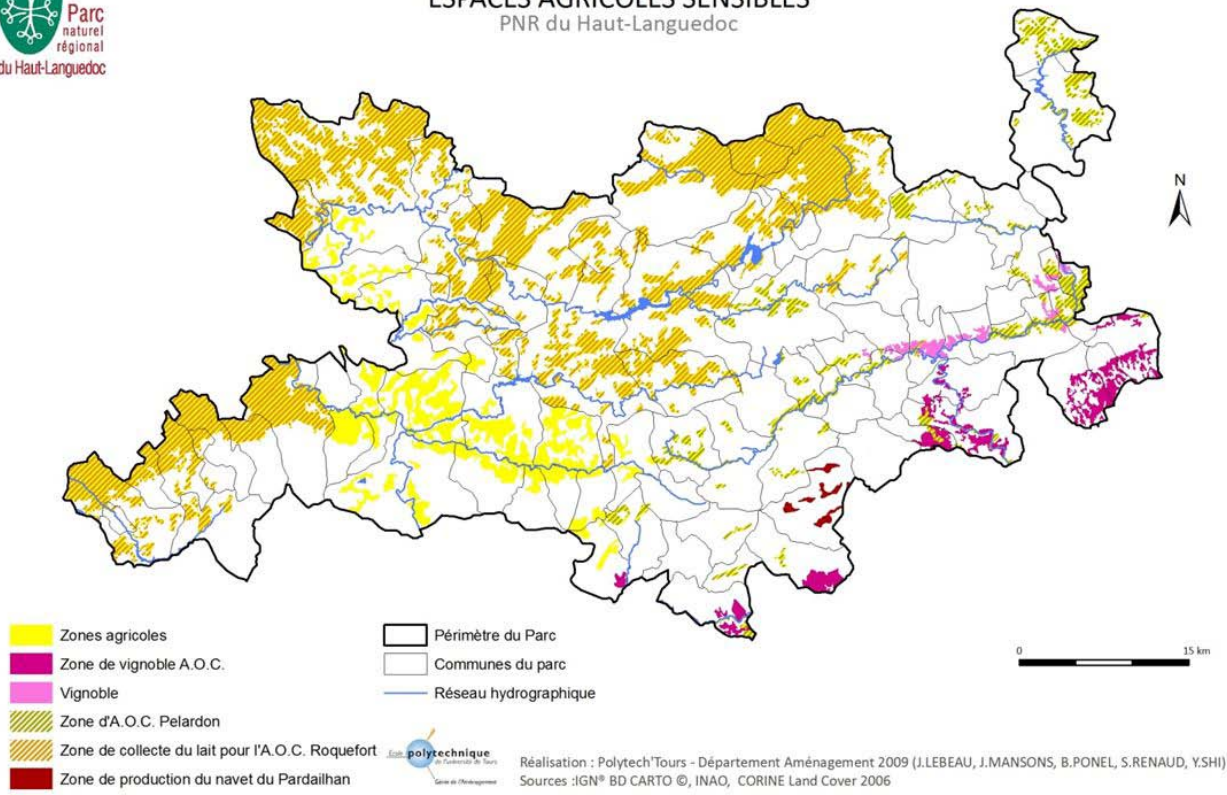


Figure 7 - Les espaces agricoles sensibles

Le territoire du Parc compte cinq AOC viticoles et deux AOC fromagères. Les zones agricoles coïncident avec les zones de faible pente favorables à l'implantation de centrales photovoltaïques. Ce sont des zones d'enjeux particulièrement sensibles.

D'autres aires naturelles sensibles ont été cartographiées :

- La Reserve nationale de chasse et de faune sauvage du Caroux-Espinouse, les arrêtés de biotope, les zones Natura 2000, qui sont soumises à réglementation.
- Les inventaires et les zones non soumises à réglementation : les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (Z.N.I.E.F.F.), les Zones d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (Z.I.C.O.), les Espaces Naturels Sensibles (E.N.S).

2.3 Le patrimoine

PATRIMOINE REMARQUABLE NATUREL ET BÂTI PNR du Haut-Languedoc

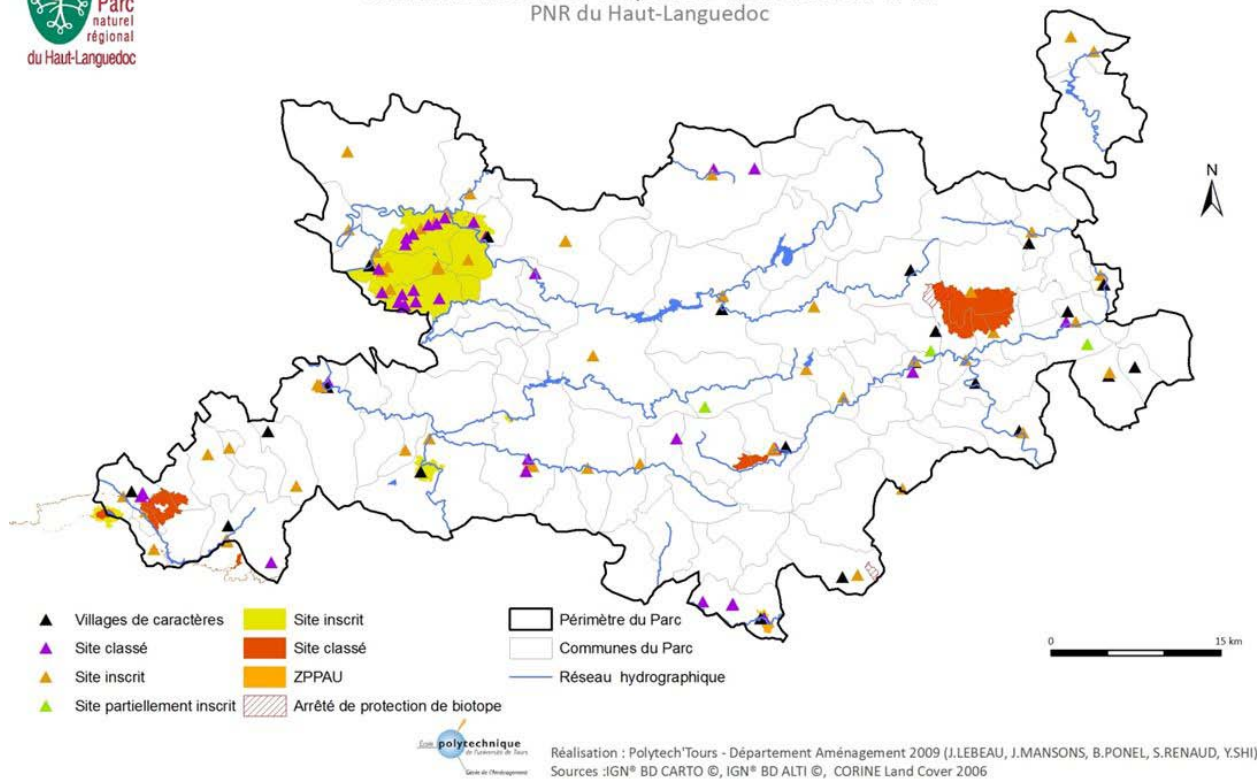


Figure 8 - Patrimoine naturel et bâti

Le patrimoine inscrit ou classé est soumis à réglementation. Les sites doivent être conservés en l'état. Cependant ils sont potentiellement et légalement exploitables pour des installations solaires photovoltaïques ou thermiques, qui doivent faire l'objet d'une étude d'intégration paysagère plus fine où le rôle de l'Architecte des Bâtiments de France est déterminant. Les villages ou hameaux définis par le Parc comme village de caractère ne bénéficient pas toujours d'une protection réglementaire

2.4 Les infrastructures



DISTANCES AUTOUR DES TRANSFORMATEURS Mesurées sur les voies existantes

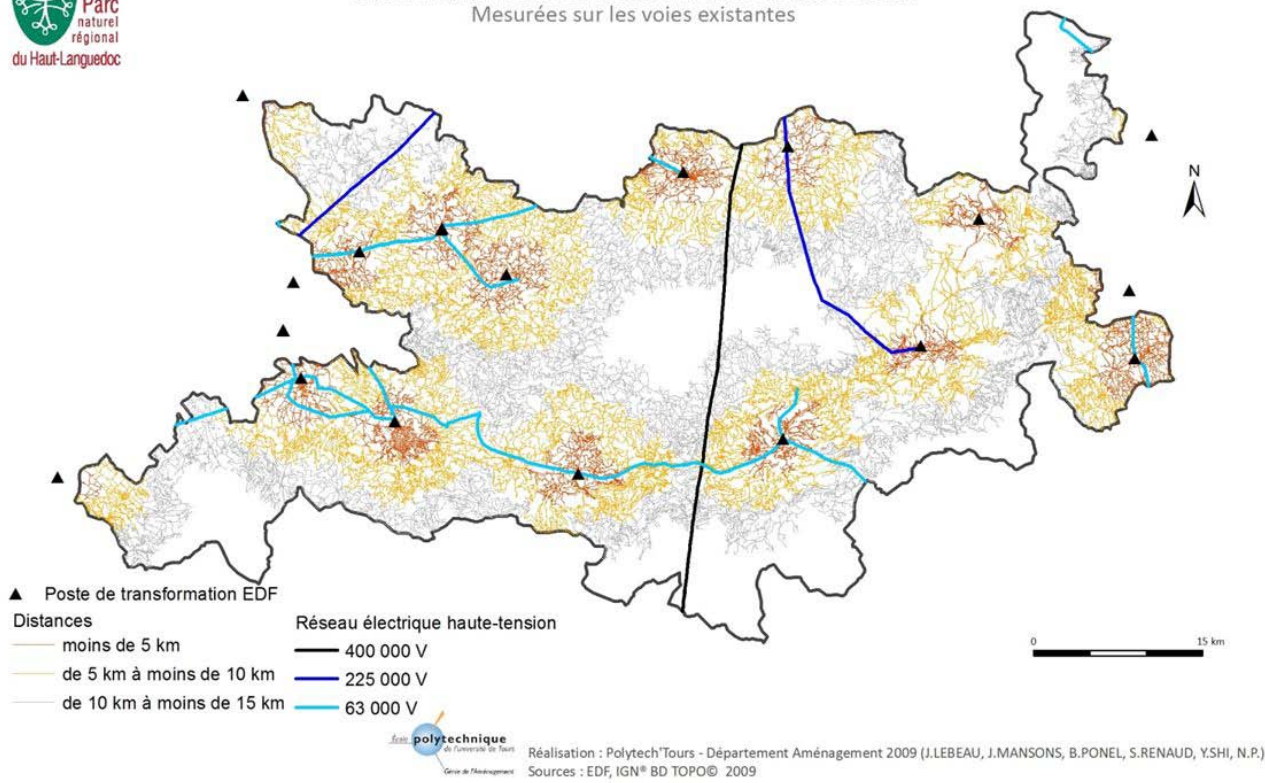


Figure 9 – Infrastructures et distances aux postes sources

Pour des projets photovoltaïques de puissance installée inférieure à 5 MWc (mégawatt crête), le raccordement au réseau peut se faire en injectant directement l'électricité produite dans une ligne 20 000 V. Par contre, pour des puissances installées supérieures à 5 MWc, le raccordement au réseau doit se faire via un poste source. La capacité des postes d'accueil doit aussi être prise en compte.

Toutes les voies existantes : voieries, chemins, voies ferrées ont été utilisées pour créer le réseau de calcul de distances. Cela donne en première approximation la faisabilité de passage dans une zone montagneuse, dans un contexte d'extension du réseau électrique actuel. Sont particulièrement visées d'éventuelles grandes centrales au sol. On peut restreindre le calcul au réseau électrique existant avec les données de ERDF (Electricité Réseau Distribution France).

A l'heure actuelle, les développeurs de projets photovoltaïques n'investissent pas dans des projets situés à plus de 10 km d'un poste source du fait du surcoût.

2.5 Les risques

Les zones à risques d'inondation, ou de mouvements de terrains, ou les sols argileux présentant des retrait et gonflements sont à éviter pour la construction d'une centrale. La précision des données d'aléa ou de plan de prévention des risques est à vérifier aux limites des zones concernées.



RISQUES NATURELS

Inondations - Mouvements de terrain - Retrait-gonflement argiles

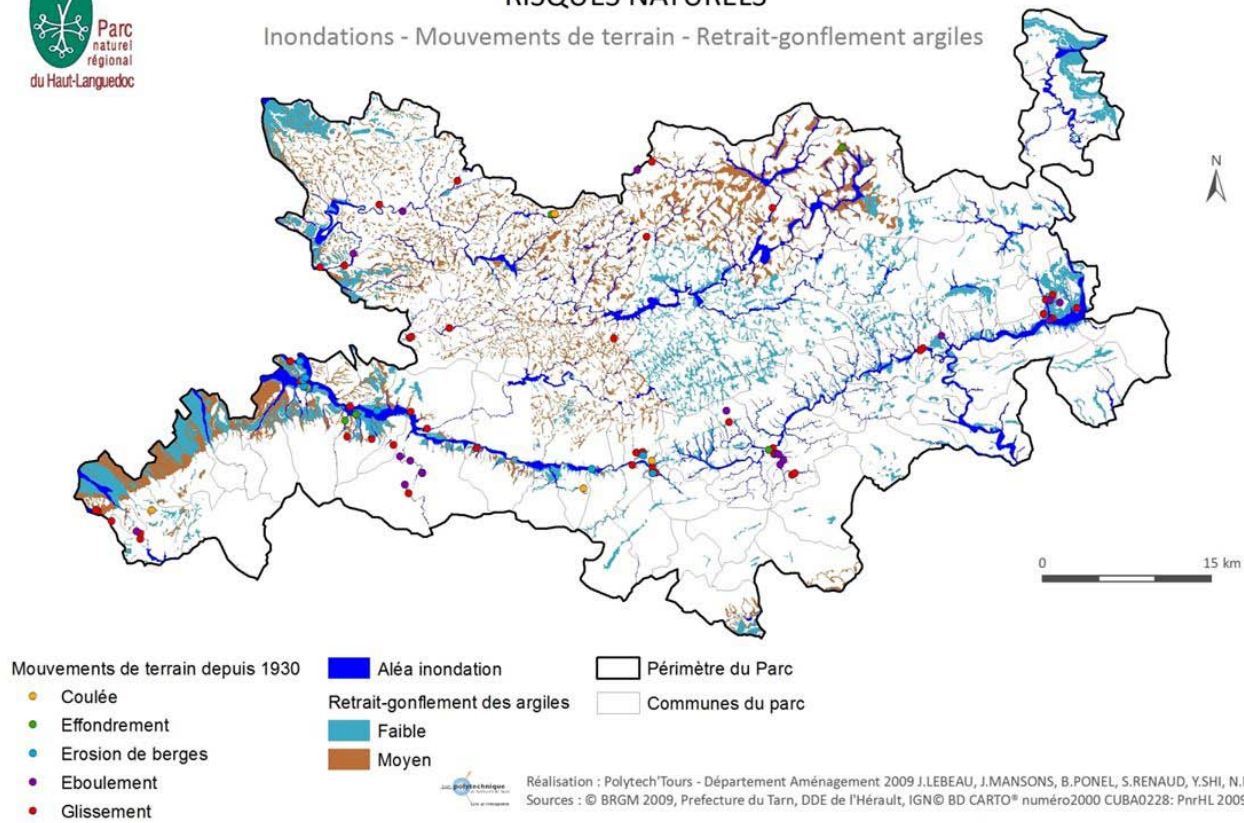


Figure 10 – Risques naturels : inondations, mouvements de terrain, retrait-gonflement des argiles.

2.6 Le rayonnement solaire



RAYONNEMENT SOLAIRE ANNUEL PNR du Haut-Languedoc

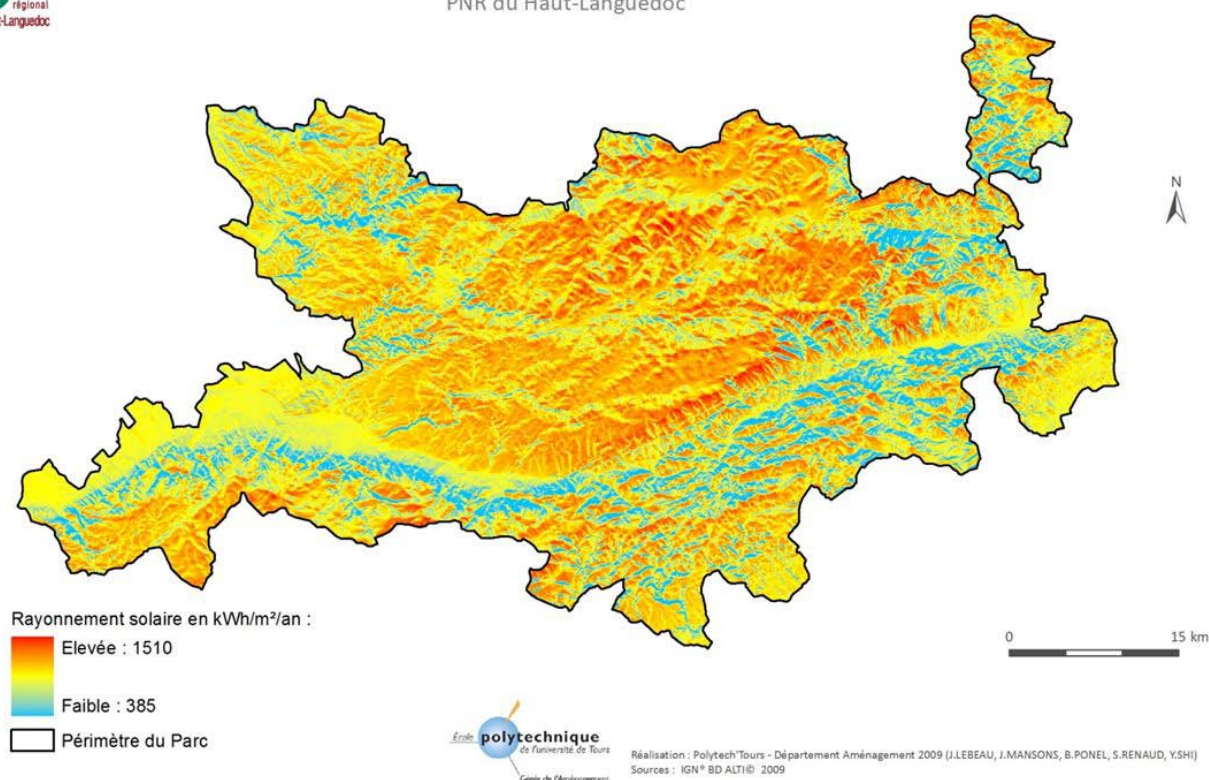


Figure 11 - Rayonnement solaire annuel

Le rayonnement solaire global capté au sol est la somme de trois types de rayonnement :

- le rayonnement direct représente la composante la plus importante du rayonnement solaire ;
- le rayonnement diffus est la seconde composante la plus importante, il est dispersé par l'atmosphère (gouttelettes d'eau des nuages, particules de poussières, ...)
- le rayonnement réfléchi est généré par la réflexion d'une partie des rayons incidents à la surface du sol.

Les calculs réalisés par le modèle prennent en compte les effets atmosphériques, la latitude et l'altitude du site, la pente et l'exposition, ainsi que les décalages de jour et de saison, de l'angle du soleil et les effets des ombres créées par la topographie environnante.

Le rayonnement solaire total capté au sol est également tributaire de conditions climatiques locales. Il est possible de tenir compte du couvert nuageux en entrant la part de rayonnement diffus dans le rayonnement total. La part de rayonnement diffus choisie est de 30 %.

Deux stations météorologiques de Météo-France sont présentes sur le territoire du Parc : à l'aéroport de Castres-Mazamet et à Montredon-Labessonnié. Le rayonnement solaire a été calculé à l'aide de Spatial Analyst pour chacune des deux stations et comparé aux mesures réelles. Sur une année, pour la station de Castres-Mazamet aéroport, l'écart entre les données réelles et les données calculées est de 7 % ; l'écart est de -1,4 % pour la station de Montredon-Labessonnié.

3 Objectifs et potentiel de production

3.1 L'énergie solaire photovoltaïque

3.1.1 Les cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques transforment l'énergie solaire en électricité directement utilisable, ou injectable dans le réseau EDF. Les applications raccordées au réseau public de distribution d'électricité peuvent être subdivisées en trois grands domaines :

- les systèmes attachés à un bâtiment consommateur d'électricité (résidentiel ou professionnel). *Les modules y sont « surimposés » à la toiture ou « intégrés au bâti ».* Leur surface active va de quelques dizaines à quelque milliers de mètres carrés, soit des puissances de quelques kilowatts crêtes à quelques mégawatts crêtes ;
- les systèmes posés sur ou intégrés à des structures non-consommatrices d'électricité par elles-mêmes mais pour lesquelles les panneaux remplissent une fonction bien identifiée en plus de la production d'électricité (ombrière de parking, couverture de passage public ou de quai de gare, mur antibruit, ...). Leur surface active va en général de quelques centaines à quelques milliers de mètres carrés, soit des puissances de quelques dizaines de kilowatts crêtes à quelques mégawatts crêtes ;
- les centrales photovoltaïques au sol, constituées de quantités importantes de modules posés sur des structures porteuses, dont la production est exclusivement destinée à l'alimentation directe du réseau électrique.

Leur surface active va de quelques hectares à plusieurs dizaines d'hectares, soit des puissances de quelques centaines de kilowatts à plusieurs dizaines de mégawatts crêtes.

Les différentes technologies sont présentées dans les fiches techniques du paragraphe 4.

Le fournisseur d'électricité (EDF ou la régie locale) est obligé d'acheter l'énergie électrique photovoltaïque injectée sur le réseau. Les tarifs et les conditions d'éligibilité sont fixés par la loi. Le tarif d'achat, donnant lieu à un contrat de 20 ans, est composé d'un tarif de base de 0,30 €/kWh (40 dans les DOM et en Corse) pour tous les maîtres d'ouvrage et d'une prime supplémentaire de 0,25 €/kWh (15 dans les DOM et en Corse) pour les installations « intégrées au bâti », soit un tarif de 55 c€/kWh sur tout le territoire de la République.

3.1.2 Procédures administratives

Procédures administratives		Descriptions
Code de l'urbanisme	Déclaration préalable à la Mairie	Il est nécessaire de déposer une déclaration préalable si : - ravalement et travaux entraînant un changement d'aspect extérieur ; - création de SHOB comprise entre 2 et 20 m ² ; - modification ou suppression d'un élément d'intérêt patrimonial ou paysager identifié par la commune.
	Permis de construire à déposer en Mairie	Il est nécessaire d'obtenir un permis de construire si : - modification de volume et percement ou agrandissement d'ouverture sur mur de façade ; - création de SHOB supérieure à 20 m ² ; - immeuble protégé ou identifié par un Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur (PSMV) : modification des structures porteuses ; - en secteur sauvegardé, site classé : construction de 0 à 20 m ² de SHOB quelle que soit la hauteur.
		L'article R 111-21 du code de l'urbanisme prévoit qu'un projet peut être refusé ou faire l'objet de prescriptions si la construction porte atteinte « au caractère ou à l'intérêt des lieux avoisinants, aux sites, aux paysages naturels ou urbains ainsi qu'à la conservation des perspectives monumentales ».

Loi électrique de 2000 pour unité de production d'électricité	<i>Déclaration</i>	Régime de déclaration, si la puissance installée est inférieure à 4,5 MW _c , à faire au MEEDDAT (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire) – DGEC (Direction Générale de l'Energie et du Climat).
	<i>Autorisation</i>	Régime d'autorisation, si la puissance installée est supérieure à 4,5 MW _c , à faire au MEEDDAT - DGEC.
Contrat de rachat d'électricité		- demande de certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat d'électricité auprès de la DRIRE, pour les installations supérieures à 250 kW _c ; - les installations inférieures à 250 kW _c sont dispensées de ce certificat ; - les installations supérieures à 12 MW _c ne peuvent bénéficier de l'obligation d'achat et du tarif réglementaire correspondant.
Raccordement réseau électrique		- soumis à autorisation préfectorale, instruction DDEA pour le réseau ERDF de tension inférieure à 63 kV (installations inférieures à 12 MW _c) ; - soumis à autorisation préfectorale, instruction DRIRE pour le réseau RTE de tension supérieure ou égale à 63 kV (installations supérieures à 12 MW _c).
Etude d'impact	<i>Code de l'Environnement</i>	L'article L 122-2 du Code de l'Environnement dispose que tout projet dont le montant total des travaux, ouvrages et aménagements, dépasse 1,9 millions d'euros HT est soumis à la production d'une étude d'impact.
	<i>Mesure du Grenelle Environnement à venir</i>	Les installations supérieures à 250 kW _c feront l'objet d'une étude d'impact, d'une enquête publique, et devront solliciter un permis de construire.

3.2 Les objectifs de production 2020

La production d'électricité renouvelable augmente en Europe, principalement grâce à l'éolien et au photovoltaïque (observatoire EurObserv'ER). Pour le photovoltaïque, le parc européen a connu une croissance de 55,6 % en 2007. Après avoir connu deux années de très forte croissance, le marché du solaire thermique s'est réduit en 2007. Pour l'éolien, les perspectives de croissance restent très favorables. Pour le photovoltaïque, l'observatoire mise sur un parc de 10.300 MWc fin 2010 : l'objectif du Livre blanc de 3.000 MW devrait être plus que triplé.

Le Parlement français a adopté le projet de loi "Grenelle Environnement 1". Le texte prévoit de porter à 23% la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie d'ici à 2020.

Bien que le PNR produise déjà 38% de sa consommation d'énergie sous forme renouvelable, le syndicat mixte du Parc a décidé d'augmenter sa production de 20% d'ici 2020, avec un objectif de 20 GWh/an pour l'énergie solaire thermique et de 13,5 GWh/an pour l'énergie solaire photovoltaïque.



5336 Surface de panneaux solaire photovoltaïque à atteindre par commune en 2020 (en m²)

- Périimètre du Parc
- Communes du Parc



Réalisation : Polytech Tours - Département Aménagement 2009 (J.LEBEAU, J.MANSONS, B.PONEL, S.RENAUD, Y.SHI)
Sources : © IGN licence BD CARTO® numéro2000 CUBA0228: PnrHL 2009

Figure 12 - Objectifs de production en surface installée (solaire photovoltaïque)

Pour proposer la répartition de production d'énergie par commune ci-dessus (Figure 13), il a été tenu compte de la population et de la surface de bâti de chaque commune. En effet, s'il y a plus d'habitations dans les zones urbaines denses, la surface de bâti par habitant est plus grande dans les zones agricoles.

$$\text{Objectif de production d'énergie photovoltaïque} = 13,5\text{GWh} * 1/2 * [(population\ de\ la\ commune / population\ totale) + (surface\ de\ bâti\ de\ la\ commune / surface\ de\ bâti\ totale)]$$

La surface de bâti est extraite de la base IGN© BD TOPO®. Les surfaces bâties se trouvant dans des périmètres de protection de 500 m ou dans des sites zonaux ont été exclues pour l'évaluation du potentiel de production photovoltaïque.

Le logiciel PVGIS² de la Commission Européenne a été utilisé pour calculer le rayonnement solaire moyen sur toiture avec orientation et inclinaison optimum, à partir de 12 villes regroupant 58% de la population du Parc. Il a permis également une simulation de la production énergétique photovoltaïque par m² : soit ici en moyenne 190 kWh/m² par an.

3.3 Potentiel de production

3.3.1 Potentiel au sol



RAYONNEMENT SOLAIRE ANNUEL RECU DANS LES ZONES EXPLOITABLES

Surfaces supérieures à 2 ha dont la pente est inférieure à 10 %
Rayonnement annuel reçu supérieur à 1100 kWh/m²

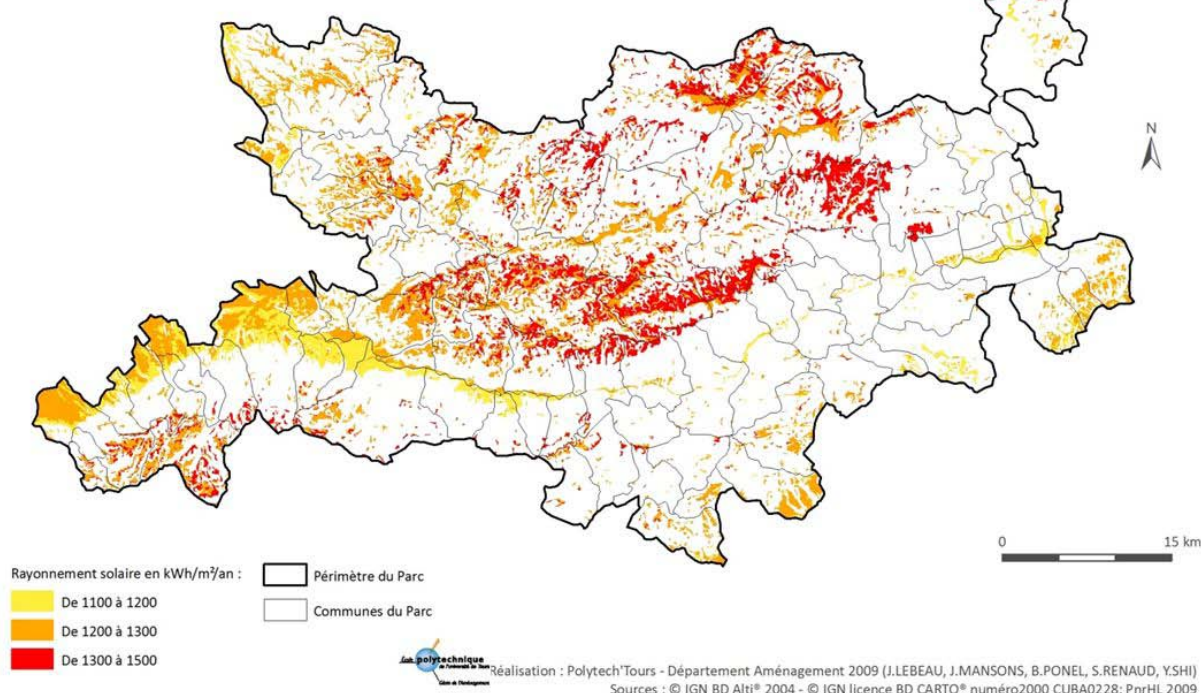


Figure 13 - Zones techniquement exploitables et rayonnement favorable

Le calcul de pente permet d'identifier les surfaces techniquement exploitables pour l'installation de centrales photovoltaïques au sol : pente inférieure à 10 %, et surface supérieure à 2ha. Sont représentées ici les surfaces techniquement exploitables pour lesquelles le rayonnement solaire reçu est supérieur à 1100 kWh/m²/an, les zones les plus favorables recevant entre 1300 et 1500 kWh/m²/an. La production électrique potentielle est supérieure à 36 000 GWh/an.

La centrale construite à Lunel (34) date de 2006 et constitue la première centrale photovoltaïque au sol installée en France. Elle s'étend sur 1,5 ha. La centrale de Narbonne (11) s'étend sur 21 ha. La tendance actuelle est plutôt de construire des centrales de taille importante.

Critères de décision pour une centrale au sol :

Aspects	Critères	Descriptions
Technique	Le rayonnement solaire global est-il suffisant pour que le projet soit rentable ?	Un rayonnement de 1000 kWh/m²/an est minimum pour l'installation de panneaux solaires (seuil de rentabilité financière). Voir carte.
	Les conditions climatiques sont-elles favorables ?	Les données climatiques sont disponibles auprès de Météo France ainsi que des associations climatologiques locales. Il est nécessaire de recueillir des données de température et d'ensoleillement spécifique au site.
	Les effets de masque ont-ils été pris en compte (végétation ou bâtiments environnants) ?	Les effets de masque doivent être contrôlés sur place afin de vérifier que les installations peuvent fonctionner de manière optimale. L'ombre sur les modules fait chuter le rendement des modules de manière significative.
	Quelle est l'orientation et l'inclinaison des modules ?	- les modules fonctionnent de manière optimale s'ils sont orientés Sud, voire Sud-est ou Sud-ouest ; - l'inclinaison des modules influe sur le rendement et la productivité des modules. Elle est optimale entre 25 et 30° par rapport à l'horizontale.
	Le projet est-il dans une zone techniquement exploitable ?	Voir description et carte
	Le site permet-il l'accès d'engins nécessaires à la mise en place et à l'entretien de la centrale ?	La surface réservée aux voies de circulation des engins pour la construction et l'entretien de la centrale au sol représente environ 2/3 de la surface totale de la zone d'implantation
Energétique	Quelle est la capacité d'accueil du réseau (charge disponible) ?	Les installations photovoltaïques sont des installations productrices d'électricité. Lors de cette production, il est nécessaire d'évacuer l'électricité produite par l'intermédiaire du réseau existant. Ce réseau a une capacité d'accueil limitée qui dépend : - du niveau de tension concerné ; - de la capacité de transit des lignes aériennes ou souterraines et des postes sources ; - de la préexistence d'autres installations de production et de leur fonctionnement simultané ou non ; Il est nécessaire de vérifier auprès du fournisseur d'électricité, principalement ERDF (Electricité Réseau Distribution France) ou RTE (Réseau de Transport d'Electricité), les capacités d'accueil du réseau pour l'installation photovoltaïque envisagée.
	La puissance installée est-elle inférieure ou supérieure à 5 MWc ?	- si la puissance installée est inférieure à 5 MWc , le raccordement peut se faire directement sur la ligne 20 000 volts la plus proche, sans passer par un poste source ; - si la puissance installée est supérieure à 5 MWc , le raccordement doit se faire obligatoirement par le poste source le plus proche.
	Quelle est la distance du poste source ou de la ligne de 20 000 volts la plus proche ?	Voir description et carte
Réglementaire	L'installation est-elle en accord avec les documents d'urbanisme ?	Les installations photovoltaïques sont soumises à la réglementation du code de l'urbanisme. Les règlements changent en fonction du zonage dans lequel se situe la construction. Les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) prévoient 4 zones différentes sur le territoire d'une commune. En fonction de ces zonages l'implantation de modules photovoltaïque aura différentes sensibilités.
	- réglementation Zone Urbaine (U)	Il s'agit des secteurs urbanisés. Les installations photovoltaïques ne sont pas limitées.
	- réglementation Zone A Urbaniser (AU)	Il s'agit des secteurs à caractère naturel de la commune destinés à être ouverts à l'urbanisation. Lors de cette urbanisation, la réglementation est similaire à la zone urbaine pour les installations photovoltaïques.
	- réglementation Zone Agricole (A)	Il s'agit des zones à protéger en raison du potentiel agronomique, biologique ou économique des terres agricoles. Seules les constructions ou installations nécessaires aux services publics et à l'exploitation agricole y sont autorisées. Les installations photovoltaïques ne pourront donc être installées que sur les constructions liées à l'activité agricole ou à un service public.
	- réglementation Zone Naturelle (N)	Il s'agit de secteurs à protéger en raison de la qualité des sites, des milieux naturels et des paysages. Les zones N sont des zones où les constructions sont interdites, sauf celles d'intérêt collectif. Les installations solaires photovoltaïques sont possibles sur des bâtiments déjà existants dans ces zones.
- zonage concerné par un site remarquable	Voir description et carte	
Risques	Le site est-il soumis à un risque d'inondation ?	Voir description et carte .
	Le site est-il soumis à un risque mouvements de terrain ?	Voir description et carte
	Le site est-il soumis à l'aléa retrait-gonflement des argiles ?	Voir description et carte
Sécurité des biens et des personnes	Une assurance a-t-elle été souscrite ?	Les conditions de souscription des contrats d'assurance doivent être prisent en compte. Les conditions de remboursement en cas de dommage, vol, incendie sont très pointues et conditionnent l'installation (exemples de conditions : matériels certifié CSTB, vidéo surveillance, clôture ...).
	Des mesures ont-elles été mises en place contre le vol et le vandalisme ?	Une protection contre le vol et le vandalisme doit être mise en place afin de respecter les contrats d'assurances (vidéo surveillance, gardien, ...).

Economique	Quelle technologie de cellules choisir ?	- si rayonnement direct constant, préférer les cellules au silicium cristallin avec un plus haut rendement ; - si rayonnement diffus majoritaire, préférer les cellules à couche-mince qui fonctionnent mieux dans ces conditions (couvert nuageux). Les modules en couche-mince possèdent un rendement inférieur au Silicium cristallin (7 % contre 15 % en moyenne), mais leur prix étant inférieur, leur installation sur de grandes surfaces peut permettre de pallier à cette insuffisance de rendement et d'obtenir une rentabilité financière plus intéressante avec cette technologie. Une étude de rentabilité devra être faite entre la surface et les coûts et rendements de la technologie utilisée.
	Quel est le coût d'acquisition du terrain ?	Le coût d'achat du terrain doit permettre un retour sur investissement acceptable.
	Le projet est-il de taille suffisante pour qu'il soit rentable ?	Les centrales au sol doivent être implantées sur de grandes surfaces pour qu'elles aient une rentabilité financière intéressante. La surface minimale pour un projet de centrale au sol est de 2 ha.
	Le propriétaire du champ solaire est-il un agriculteur ?	La nouvelle loi de finance pour 2008 permet aux agriculteurs de considérer leurs revenus issus de la production solaire photovoltaïque comme un revenu agricole, et ont ainsi la possibilité de ne pas créer de société nouvelle pour gérer leurs parcs photovoltaïques, sous 3 conditions cumulatives : - ne pas dépasser 100 000 € de recettes liées au photovoltaïque ; - les recettes solaire ne doivent pas dépasser 50 % des recettes agricoles ; - être soumis au régime réel d'imposition.
Environnemental	La centrale photovoltaïque est-elle au sein d'un espace agricole sensible ?	Voir description et carte. Les Chambres d'Agriculture peuvent donner des avis défavorables pour des projets situés dans des zones agricoles.
	La centrale est-elle située au sein d'un espace forestier ?	Voir description et carte.
	<i>Si oui ?</i>	- si le champ solaire est en partie sur un espace boisé alors une demande de défrichage doit être effectuée au près de la DDAF ou DDEA. - si l'espace défriché a bénéficié d'aides du Fond Forestier National (FFN) ou du budget de l'Etat, le propriétaire doit rembourser le montant des subventions obtenues. - si la surface coupée est supérieure à 25 ha, une étude d'impact est obligatoire. Au-dessous de ce seuil une notice d'impact doit être réalisée.
	Le propriétaire a-t-il bénéficié d'avantages fiscaux liés à la parcelle (amendement MONICHON, ISF) ?	Si oui, le remboursement des avantages cumulés est exigé.
	La centrale est-elle au sein d'une aire naturelle sensible ?	Voir description et carte .
	Le projet est-il au sein d'une trame verte ou bleu ?	Les trames vertes et bleues sont prises en compte dans les documents d'urbanisme. Les projets de centrales au sol doivent donc respecter les règlements spécifiques aux documents d'urbanisme et au Code de l'Urbanisme.
	La centrale au sol est-elle dans un des périmètres de protection des captages d'eau potable ?	Les terrains compris dans les Périmètres de Protection sont déclarés d'utilité publique. D'après l'article 10 du décret n° 2001/163/PM du 08 mai 2001 : - dans le Périmètre de Protection Immédiat (PPI), les seules opérations autorisées sont liées à l'entretien des installations de prélèvement d'eau, de la clôture obligatoire et au maintien de la couverture herbacée sans pâturage, avec fauche et évacuation de l'herbe ; - dans le Périmètre de Protection Rapproché (PPR), les activités, installations ou dépôts peuvent être réglementés ou interdits s'ils risquent de nuire à la qualité des eaux (épandage, labour, fertilisation) ; - dans un Périmètre de Protection Eloigné (PPE), des recommandations particulières peuvent être applicables. Les centrales au sol dans ces zonages doivent faire l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement détaillée ou d'une étude d'incidence sur l'eau (obligatoire si le projet est supérieurs à 20 ha). Les données concernant les périmètres de protection sont disponible auprès des DDASS.
Le recyclage des modules est-il pris en charge ?	Les modules photovoltaïques peuvent être recyclés. Il est nécessaire de vérifier si le constructeur assure le recyclage des modules et en particulier si les modules sont fabriqués par une industrie appartenant à l'association PV-CYCLE.	
Divers	La centrale au sol a-t-elle un impact sur son environnement proche ?	Les impacts socio-économiques sur l'habitat à proximité de la centrale au sol doivent être étudiés. L'implantation de centrales au sol peut également avoir des impacts négatifs sur la valeur des sols et des habitations.
	Quelle est la structure foncière du site concerné par l'implantation d'une centrale au sol ?	Une structure foncière trop complexe sur un site donné peut être un frein au développement d'un projet de centrale au sol. Le nombre de parcelles sur un site donné est disponible sur la base de données « BD Parcellaire » disponible au Parc naturel régional du Haut-Languedoc. Elle est aussi disponible au service des cadastres de la commune concernée. De la même façon, la liste des propriétaires est disponible au niveau du service cadastral des communes sur une demande écrite motivée. La demande peut être effectuée également auprès d'un géomètre ou d'un notaire habilité à obtenir l'information.
Paysager	Le projet est-il en covisibilité avec des sites remarquables ?	Voir description et carte.
	Le projet est-il en covisibilité avec des sites touristiques ?	Il est important de vérifier si le projet est en direct covisibilité avec un site touristique où, le cas échéant, l'impact visuel de l'installation solaire pourrait apporter une modification paysagère du site, voir une perte de la qualité paysagère du site.
	Une simulation paysagère a-t-elle été réalisée ?	Cette simulation peut être nécessaire dans le cas de zones protégées comme les ZPPAUP ou autour de sites ou zones classés et inscrits. Elle permet d'évaluer l'impact paysager que pourrait avoir l'installation solaire sur le paysage. Elle peut être réalisée par exemple à partir de photo-montages faits selon différents points de vue (panorama, route, chemin, site remarquable, ...).
	L'étude d'impact sur l'environnement prend-elle en compte le volet paysager ?	Si la centrale sur bâti dépasse un certain seuil financier (voir procédure administrative), elle doit être soumise à une étude d'impact. Pour s'assurer de la bonne insertion du projet dans la trame paysagère, vérifier que l'étude d'impact sur l'environnement comporte bien un volet paysager.
Démarche paysagère	Comment l'installation s'inscrit dans le site ?	Mise en place d'une stratégie (parti pris et enjeux). Voir les procédés mis en place dans la partie « Exemples d'intégration paysagère ».

3.3.2 Potentiel sur toitures

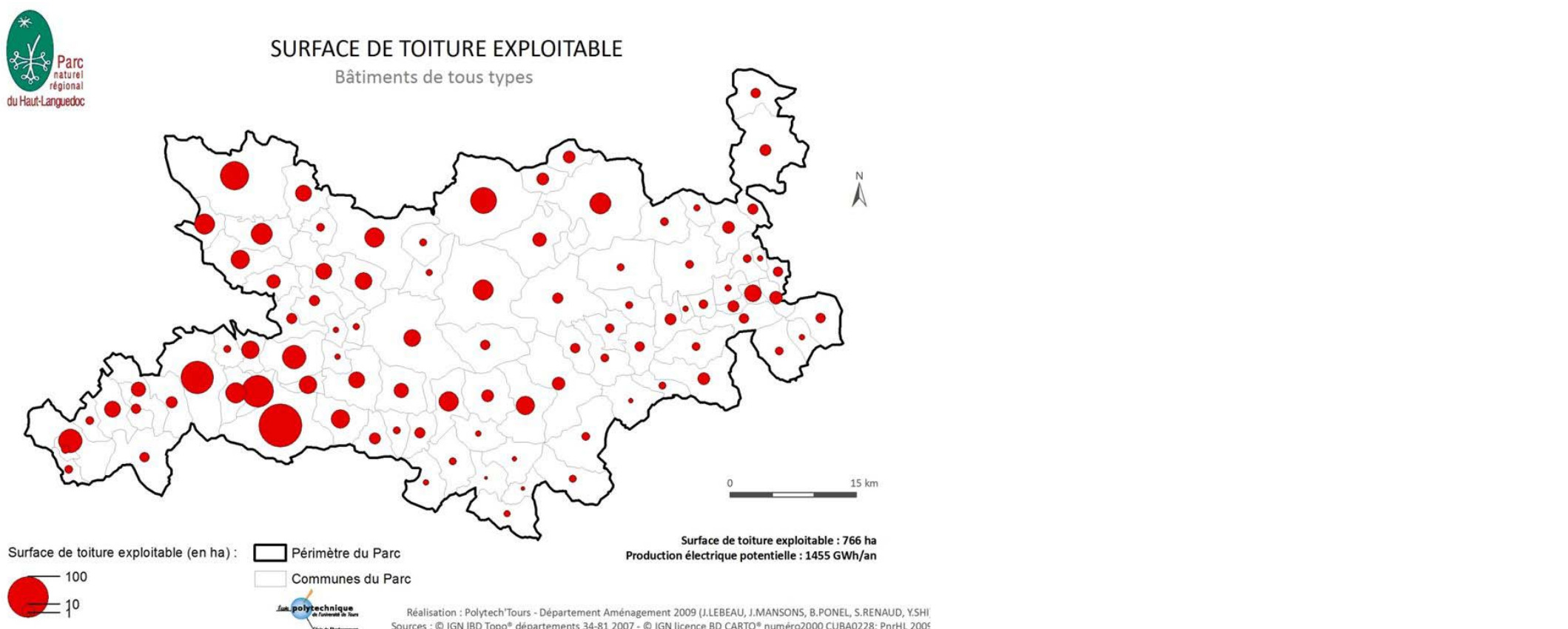


Figure 14 - Localisation et quantification du potentiel en toiture pour tous types de bâtiments (excluant sites inscrits, classés et périmètres de protection)

Le potentiel est évalué à environ 1450 GWh/an

Méthode d'évaluation :

Typologie de bâti	Ardoise et Lauze	Tuile canal	Mixte ardoise-tuile	Total
Surface de bâti (en ha)	210	730	190	1130
Inclinaison des pans de toit	50°	30°	40°	/
Surface de toiture (en ha)	327	843	248	1418
Coefficient d'exposition	0,46	0,46	0,46	/
Surface exploitable(en ha)	150	387	114	766

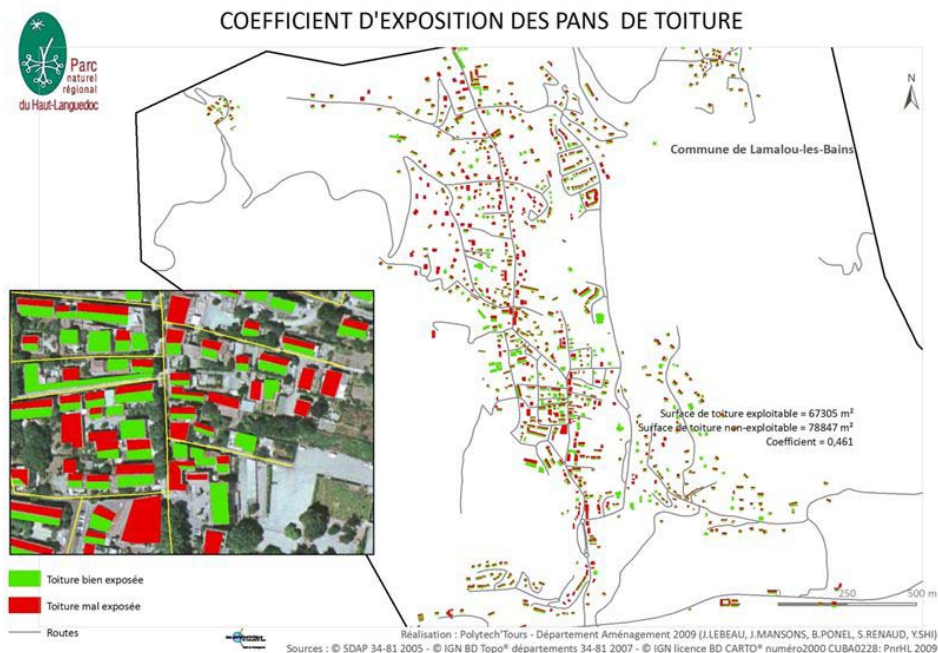


Figure 15 - Evaluation du coefficient d'exposition des toits

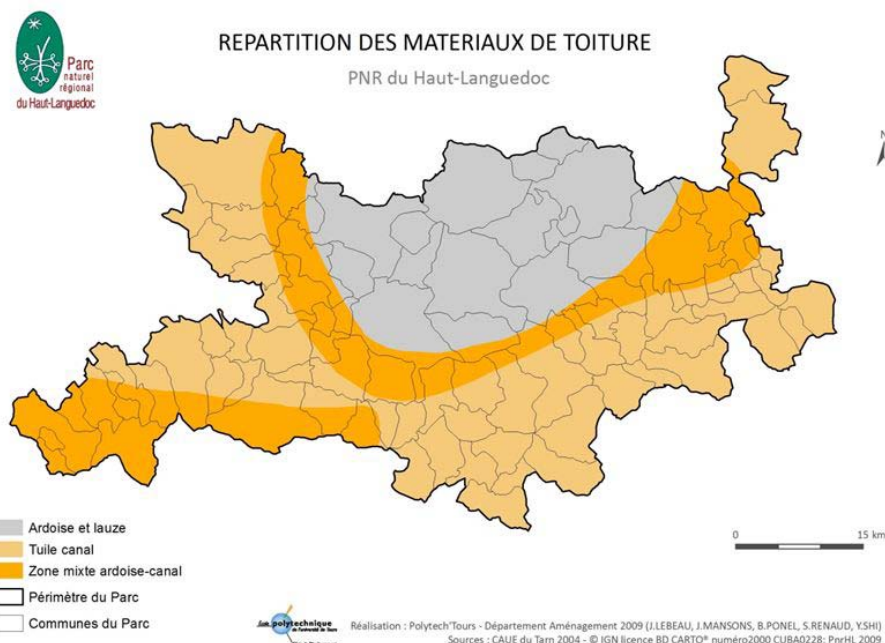


Figure 16 - Répartition des matériaux de toiture

Evaluation du coefficient d'exposition (pourcentage de la surface utilisable en toiture en tenant compte de l'exposition au soleil) :

Le calcul des coefficients a été réalisé en numérisant les toitures visibles sur les photographies aériennes de 3 villes et villages (5% de la population du parc) choisis pour les orientations différentes de leur trame viaire et en simplifiant la structure des toits à 1 ou 2 pans. Les valeurs obtenues étant peu différentes, la moyenne a été étendue à l'ensemble du bâti du parc.

Passage de l'emprise du bâti à la surface de toiture :

Le bâti du Parc est caractérisé par deux tendances architecturales dominantes :

- les maisons couvertes avec des tuiles canal en terre cuite, dont les pans sont inclinés en moyenne de 30° ;
- les maisons à toiture en ardoise ou en lauze, dont les pans sont plus inclinés, de l'ordre de 50°.

$$\text{Surface totale de toiture} = \text{Surface totale de bâti} / \cos(\text{angle d'inclinaison de la toiture})$$

3.3.3 Potentiel sur bâtiments agricoles

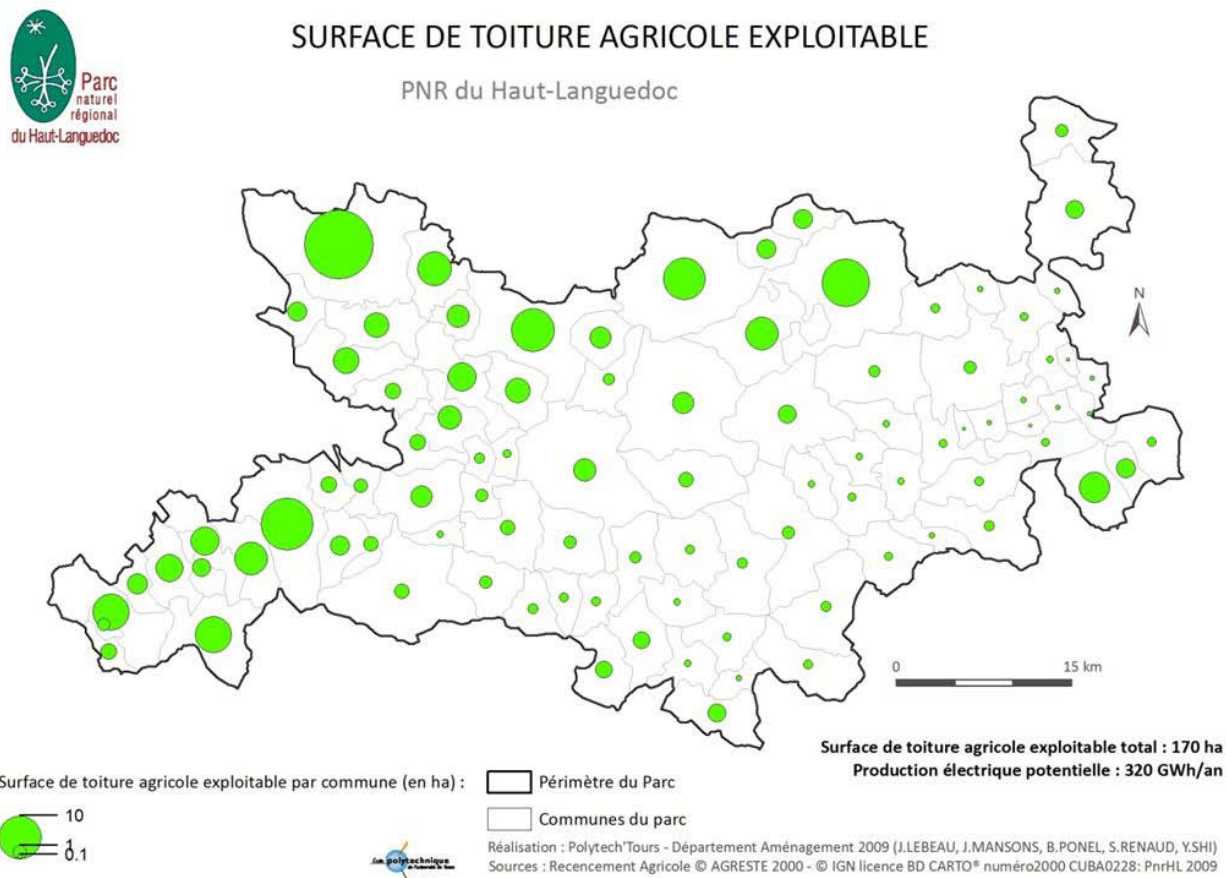


Figure 17 - Localisation et quantification du potentiel en toiture pour les bâtiments agricoles

L'agriculture étant une composante importante de l'économie des communes du Parc, le bâti agricole représente une surface utilisable non négligeable.

La carte est basée sur les données du Recensement Agricole de 2000 réalisé par Agreste, qui donne les chiffres correspondant aux surfaces de bâti agricole (bâtiments liés à l'exploitation, hangars, cours, aires extérieures de circulation des animaux) par canton, la Surface Agricole Utile (SAU) par cantons et la SAU par communes. Les données de surfaces de bâti agricole par canton ont été extrapolées par commune à l'aide du rapport entre la SAU d'une commune et la SAU de son canton.

Le potentiel obtenu porte sur les surfaces totales de bâti agricole liées à l'exploitation et ne représente pas spécifiquement les surfaces de hangars agricoles et est donc supérieur à la surface existante réellement exploitable au sein d'une exploitation agricole.

Potentiel évalué à environ 320 GWh/an

Critères de décision pour une centrale sur toiture :

Aspects	Critères	Descriptions
Technique	Le rayonnement solaire global est-il suffisant pour que le projet soit rentable ?	Un rayonnement de 1000 kWh/m²/an est minimum pour l'installation de panneaux solaires (seuil de rentabilité financière). Voir carte.
	Les conditions climatiques sont-elles favorables ?	Les données climatiques sont disponibles auprès de Météo France ainsi que des associations climatologiques locales. Il est nécessaire de recueillir des données de température et d'ensoleillement spécifique au site.

	Les effets de masque ont-ils été pris en compte (végétation ou bâtiments environnants) ?	Les effets de masque doivent être contrôlés sur place afin de vérifier que les installations peuvent fonctionner de manière optimale. L'ombre sur les modules fait chuter le rendement des modules de manière significative.
	Quelle est l'orientation et l'inclinaison des modules ?	- les modules fonctionnent de manière optimale s'ils sont orientés Sud, voire Sud-est ou Sud-ouest ; - l'inclinaison des modules influe sur le rendement et la productivité des modules. Elle est optimale entre 25 et 30° par rapport à l'horizontale.
	La toiture est-elle bien exposée ?	Les toitures ont souvent deux pans. Il est nécessaire de vérifier lequel est le mieux exposé pour recevoir une installation photovoltaïque. Les modules fonctionnent de manière optimale s'ils sont orientés plein Sud , voir Sud-est ou Sud-ouest.
	Quelle est la résistance mécanique de la toiture ?	- critère technique important. Les charpentes des toitures ne sont parfois pas étudiées pour recevoir une charge supplémentaire. Les modules photovoltaïques pèsent en moyenne 15 kg/m² . Toiture individuelle : Pour une installation d'une surface de 30 m², le poids appliqué supplémentaire sera de 450 kg. Centrale : Pour une installation d'une surface de 500 m², le poids appliqué supplémentaire sera de 7500 kg, ce qui n'est pas négligeable ; - dans le cas de constructions légères ou de structures ne permettant pas de surcharges, il existe des membranes d'étanchéités photovoltaïques (cf. Fiche technique) qui sont plus légères, de l'ordre de 4 kg/m². Elles sont parfaitement adaptées pour être installées sur des surfaces de toitures mal exposées et de faibles pentes (3 % minimum). L'inconvénient reste le rendement qui est moins élevé que des modules classiques.
	Faut-il modifier la structure de la toiture ?	Pour l'implantation de modules photovoltaïques intégrés en toiture, des modifications de la structure peuvent être à envisager, selon le type de technologie choisi. Ce facteur devra être pris en compte, en fonction du type de toiture, de la technologie et la faisabilité de la modification.
Energétique	Quelle est la capacité d'accueil du réseau (charge disponible) ?	Les installations photovoltaïques sont des installations productrices d'électricité. Lors de cette production, il est nécessaire d'évacuer l'électricité produite par l'intermédiaire du réseau existant. Ce réseau a une capacité d'accueil limite qui dépend : - du niveau de tension concerné ; - de la capacité de transit des lignes aériennes ou souterraines et des postes sources ; - de la préexistence d'autres installations de production et de leur fonctionnement simultané ou non ; Il est nécessaire de vérifier auprès du fournisseur d'électricité, principalement ERDF (Electricité Réseau Distribution France) ou RTE (Réseau de Transport d'Electricité), les capacités d'accueil du réseau pour l'installation photovoltaïque envisagée.
	La puissance installée est-elle inférieure ou supérieure à 5 MWc ?	- si la puissance installée est inférieure à 5 MWc , le raccordement peut se faire directement sur la ligne 20 000 volts la plus proche, sans passer par un poste source ; - si la puissance installée est supérieure à 5 MWc , le raccordement doit se faire obligatoirement par le poste source le plus proche.
	Quelle est la distance du poste source ou de la ligne de 20 000 volts la plus proche ?	Voir carte
Réglementaire	L'installation est-elle en accord avec les documents d'urbanisme ?	Les installations photovoltaïques sont soumises à la réglementation du code de l'urbanisme. Les règlements changent en fonction du zonage dans lequel se situe la construction. Les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) prévoient 4 zones différentes sur le territoire d'une commune. En fonction de ces zonages l'implantation de modules photovoltaïque aura différentes sensibilités.
	- réglementation Zone Urbaine (U)	Il s'agit des secteurs urbanisés. Les installations photovoltaïques ne sont pas limitées.
	- réglementation Zone A Urbaniser (AU)	Il s'agit des secteurs à caractère naturel de la commune destinés à être ouverts à l'urbanisation. Lors de cette urbanisation, la réglementation est similaire à la zone urbaine pour les installations photovoltaïques.
	- réglementation Zone Agricole (A)	Il s'agit des zones à protéger en raison du potentiel agronomique, biologique ou économique des terres agricoles. Seules les constructions ou installations nécessaires aux services publics et à l'exploitation agricole y sont autorisées. Les installations photovoltaïques ne pourront donc être installées que sur les constructions liées à l'activité agricole ou à un service public.
	- réglementation Zone Naturelle (N)	Il s'agit de secteurs à protéger en raison de la qualité des sites, des milieux naturels et des paysages. Les zones N sont des zones où les constructions sont interdites, sauf celles d'intérêt collectif. Les installations solaires photovoltaïques sont possibles sur des bâtiments déjà existants dans ces zones.
	- zonage concerné par un site remarquable	Voir carte
	- Article 11 du PLU	Il est nécessaire de vérifier si l'installation de modules photovoltaïques n'est pas en opposition avec l' article 11 du PLU, relatif aux aspects extérieurs des constructions. Si c'est le cas le permis de construire peut se voir refusé. Il est à noter que la mesure 4 du Grenelle Environnement énonce que les permis de construire ne pourront plus s'opposer à l'installation des modules photovoltaïques. Il s'agit donc d'une volonté de réformer, dans un futur proche, le Code de l'Urbanisme au niveau du photovoltaïque.
	Mesure du Grenelle Environnement	Les installations supérieures à 250 kWc feront l'objet d'une étude d'impact, d'une enquête publique, et devront solliciter un permis de construire.
Hangar agricole : Quelle est l'adéquation du hangar avec sa fonction agricole ?	La demande de création de hangars agricoles sera examinée en fonction de la notion de nécessité pour l'exploitation agricole (article 123-7 du Code de l'Urbanisme uniquement pour les POS et PLU) qui peut se traduire par les critères suivants : - vocation principale de la construction : l'usage prévu correspond-il à une réelle nécessité vis à vis de l'exploitant agricole ? (stockage, atelier, grange, ...) - dimension du projet : l'ambition du projet est-elle en adéquation avec la taille de l'exploitation ? - localisation de la construction : celle-ci est-elle adjacente aux bâtiments et habitations existants ?	
Etablissement Recevant du Public (ERP) : Sécurité et accessibilité des constructions.	L'ajout de modules photovoltaïques à des bâtiments existants ne demande, la plupart du temps, qu'à effectuer une déclaration préalable à la Mairie, au titre du Code de l'Urbanisme. S'agissant des ERP, ces travaux sont également soumis à une procédure spécifique d'autorisation au titre des réglementations relatives à la sécurité et l'accessibilité du Code de la Construction et de l'Habitation. Du fait des problèmes potentiels de sécurité liés aux câblages électriques (vérifier auprès du SDIS). Cette autorisation est délivrée par le Maire, autorité compétente en matière de sécurité, après avis émis par une commission de sécurité.	
Sécurité des biens	Une assurance a-t-elle été souscrite ?	Les conditions de souscription des contrats d'assurance doivent être prisent en compte. Les conditions de remboursement en cas de dommage, vol, incendie sont très pointues et conditionnent l'installation (exemples de conditions : matériels certifié CSTB, vidéo surveillance, ...).
	Des mesures ont-elles été mises en place contre le vol et le vandalisme ?	Une protection contre le vol et le vandalisme doit être mise en place afin de respecter les contrats d'assurances (vidéo surveillance, gardien, ...).
Economique	L'installation est-elle intégrée au bâti ?	Les installations « intégrées au bâti » sont éligibles à une prime supplémentaire de 25 c€/kWh au tarif d'achat de base de 30 c€/kWh. Cette prime particulièrement est applicable aux équipements qui correspondent à la liste exhaustive des fonctions techniques ou architecturales mentionnées « Critères d'éligibilité des équipements de production d'électricité photovoltaïque pour le bénéfice de la prime d'intégration au bâti » réalisés par la DGEMP - Dideme. Il est possible de se renseigner auprès de la DREAL (autorité compétente) pour savoir si l'installation photovoltaïque envisagée répond bien aux critères d'intégration au bâti.
	Quelle technologie de cellules choisir ?	- si rayonnement direct constant, préférer les cellules au silicium cristallin avec un plus haut rendement ; - si rayonnement diffus majoritaire, préférer les cellules à couche-mince qui fonctionnent mieux dans ces conditions (couvert nuageux). Les modules en couche-mince possèdent un rendement inférieur au Silicium cristallin (7 % contre 15 % en moyenne), mais leur prix étant inférieur, leur installation sur de grandes surfaces peut permettre de pallier à cette insuffisance de rendement et d'obtenir une rentabilité financière plus intéressante avec cette technologie. Une étude de rentabilité devra être faite entre la surface et les coûts et rendements de la technologie utilisée.
	Le projet peut-il bénéficier d'allègements fiscaux ?	- des aides peuvent être octroyées par l'ADEME ou des collectivités pour des installations photovoltaïques individuelles. Dans le cas d'installations photovoltaïques pour le collectif, des financements plus ou moins importants sont possibles selon que le projet soit une réponse ou non à un appel à projet, avec des plafonds de puissance ; - une personne physique qui investit dans son habitation principale, peut bénéficier d'un crédit d'impôt de 50 % sur le coût du matériel TTC solaire photovoltaïque (soit un remboursement par les services fiscaux de la moitié de l'investissement du matériel solaire). Il existe toutefois un plafond à ce crédit, qui varie en fonction de la situation du ménage ; - une TVA réduite à 5,5 % est applicable aux coûts du matériel et de l'installation, si l'habitation a plus de 2 ans et uniquement si l'installation, raccordée au réseau, est inférieure à 3 kWc (toute installation supérieure à 3 kWc étant entièrement facturée avec une TVA de 19,6 %).
	Le projet est-il de taille suffisante pour qu'il soit rentable ?	Les centrales sur bâtiment nécessitent de grandes surfaces de toiture pour avoir une bonne rentabilité. Les bâtiments concernés par ce type d'installation peuvent avoir des fonctions diverses : centres commerciaux, bâtiments publics, hangars agricoles, usines, ...

	Quel tarif d'achat d'électricité peut obtenir l'installation ?	Le tarif d'achat de l'électricité sur une installation de type centrale sur bâti dépend de l'équipement photovoltaïque installé. Il sera de 60,176 c€/kWh si la structure remplit au moins un des critères d'intégration au bâti (technologie de module monobloc). Si elle ne répond à aucun critère d'intégration au bâti le tarif d'achat sera de 32,823 c€/kWh.
	Mesure du Grenelle Environnement	- les installations supérieures à 250 kWc feront l'objet d'une étude d'impact, d'une enquête publique, et devront solliciter un permis de construire. - afin de favoriser le développement du photovoltaïque sur l'ensemble des bâtiments professionnels (supermarchés, bâtiments industriels et agricoles de grande taille, ...), il sera créé un tarif spécifique de 45 c€/kWh auquel seront automatiquement éligibles les installations respectant les critères d'intégration au bâti, sans limitation de surface. Pour les solutions les plus innovantes du point de vue de l'intégration au bâti et de la qualité architecturale et esthétique, et qui ne peuvent acquiescer une rentabilité économique au tarif 45 c€/kWh, le bénéfice d'un tarif d'intégration au bâti de 60,176 c€/kWh pourra être sollicité à titre dérogatoire.
Environnemental	Le recyclage des modules est-il pris en charge ?	Les modules photovoltaïques peuvent être recyclés. Il est nécessaire de vérifier si le constructeur assure le recyclage des modules et en particulier si les modules sont fabriqués par une industrie appartenant à l'association PV-CYCLE.
Paysager	Le projet est-il en covisibilité avec des sites remarquables ?	Voir carte
	Le projet est-il en covisibilité avec des sites touristiques ?	Il est important de vérifier si le projet est en direct covisibilité avec un site touristique où, le cas échéant, l'impact visuel de l'installation solaire pourrait apporter une modification paysagère du site, voir une perte de la qualité paysagère du site.
	Quel type de modules choisir ?	Voir description et carte N°10, qui renseigne sur les zones du Parc à dominante « tuile canal » ou à dominante « ardoise » et les zones mixtes. Il serait intéressant de pouvoir réaliser une intégration paysagère en accord avec l'esthétisme des matériaux de toiture environnants. Il existe plusieurs types de modules : - classiques : peuvent s'insérer dans le paysage grâce à une étude paysagère complète ; - tuiles solaires : bonne intégration sur une toiture de type tuile canal ; - ardoises solaires : bonne intégration sur une toiture de type ardoise ; - membranes d'étanchéité photovoltaïques : permettent de limiter le poids exercé sur la toiture. Il s'agit d'une membrane souple qui peut s'adapter à toutes les surfaces.
	Une simulation paysagère a-t-elle été réalisée ?	Cette simulation peut être nécessaire dans le cas de zones protégées comme les ZPPAUP ou autour de sites ou zones classés et inscrits. Elle permet d'évaluer l'impact paysager que pourrait avoir l'installation solaire sur le paysage. Elle peut être réalisée par exemple à partir de photo-montages faits selon différents points de vue (panorama, route, chemin, site remarquable, ...).
	L'étude d'impact sur l'environnement prend-elle en compte le volet paysager ?	Si la centrale sur bâti dépasse un certain seuil financier (voir procédure administrative), elle doit être soumise à une étude d'impact. Pour s'assurer de la bonne insertion du projet dans la trame paysagère, vérifier que l'étude d'impact sur l'environnement comporte bien un volet paysager.
	Quels sont les matériaux environnants l'installation ?	Les matériaux utilisés doivent correspondre aux matériaux utilisés sur le territoire et s'intégrer à la trame ou l'unité paysagère du site. Une logique d'intégration au milieu environnant doit être menée. Pour les matériaux de toiture par exemple, voir carte.
Démarche paysagère	Comment l'installation s'inscrit dans le site ?	Mise en place d'une stratégie (parti pris et enjeux). Voir les procédés mis en place dans la partie « Exemples d'intégration paysagère ».

3.3.4 Potentiel sur parking

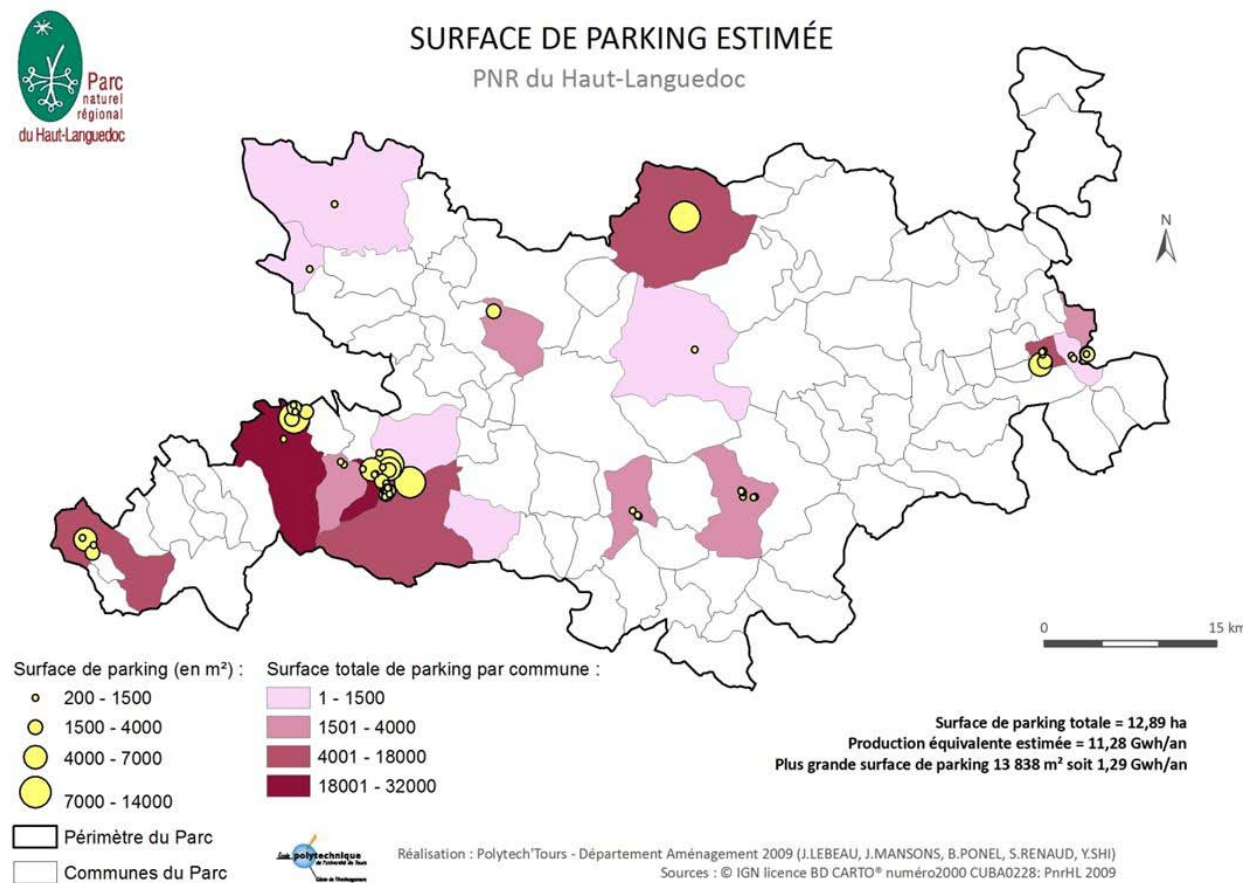


Figure 18 - Surface de parking et potentiel estimé

À défaut de connaître précisément les localisations et tailles des parkings sur le territoire du Parc Naturel Régional, les parkings ont été situés et vectorisés à partir de la BD ORTHO sur les 22 communes les plus peuplées. L'évaluation du potentiel correspondant prend comme référence les chiffres de production du parking du centre commercial Leclerc à Saint Aunès (34). Par contre, elle ne prend pas en compte les éventuels effets de masque.

Critères de décision pour une centrale sur parking :

Aspects	Critères	Descriptions
Technique	Le rayonnement solaire global est-il suffisant pour que le projet soit rentable ?	Un rayonnement de 1000 kWh/m²/an est minimum pour l'installation de panneaux solaires (seuil de rentabilité financière)..
	Les conditions climatiques sont-elles favorables ?	Les données climatiques sont disponibles auprès de Météo France ainsi que des associations climatologiques locales. Il est nécessaire de recueillir des données de température et d'ensoleillement spécifique au site.
	Les effets de masque ont-ils été pris en compte (végétation ou bâtiments environnants) ?	Les effets de masque doivent être contrôlés sur place afin de vérifier que les installations peuvent fonctionner de manière optimale. L'ombre sur les modules fait chuter le rendement des modules de manière significative.
	Quelle est l'orientation et l'inclinaison des modules ?	- les modules fonctionnent de manière optimale s'ils sont orientés Sud, voire Sud-est ou Sud-ouest ; - l'inclinaison des modules influe sur le rendement et la productivité des modules. Elle est optimale entre 25 et 30° par rapport à l'horizontale.
	L'ombrière possède-elle des équipements annexes ?	L'ombrière peut, par exemple, bénéficier d'un système de récupération des eaux de pluie.
	Si le parking est déjà couvert, la résistance de la structure est-elle suffisante pour permettre l'installation de modules photovoltaïques ?	La structure du couvert doit faire l'objet d'une étude approfondie afin de déterminer la possibilité d'y intégrer des modules photovoltaïques.
Energétique	Quelle est la capacité d'accueil du réseau (charge disponible) ?	Les installations photovoltaïques sont des installations productrices d'électricité. Lors de cette production, il est nécessaire d'évacuer l'électricité produite par l'intermédiaire du réseau existant. Ce réseau a une capacité d'accueil limitée qui dépend : - du niveau de tension concerné ;

		<ul style="list-style-type: none"> - de la capacité de transit des lignes aériennes ou souterraines et des postes sources ; - de la préexistence d'autres installations de production et de leur fonctionnement simultané ou non ; <p>Il est nécessaire de vérifier auprès du fournisseur d'électricité, principalement ERDF (Electricité Réseau Distribution France) ou RTE (Réseau de Transport d'Electricité), les capacités d'accueil du réseau pour l'installation photovoltaïque envisagée.</p>
	La puissance installée est-elle inférieure ou supérieure à 5 MWc ?	<ul style="list-style-type: none"> - si la puissance installée est inférieure à 5 MWc, le raccordement peut se faire directement sur la ligne 20 000 volts la plus proche, sans passer par un poste source ; - si la puissance installée est supérieure à 5 MWc, le raccordement doit se faire obligatoirement par le poste source le plus proche.
	Quelle est la distance du poste source ou de la ligne de 20 000 volts la plus proche ?	Voir carte
Réglementaire	L'installation est-elle en accord avec les documents d'urbanisme ?	Les installations photovoltaïques sont soumises à la réglementation du code de l'urbanisme. Les règlements changent en fonction du zonage dans lequel se situe la construction. Les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) prévoient 4 zones différentes sur le territoire d'une commune. En fonction de ces zonages l'implantation de modules photovoltaïque aura différentes sensibilités.
	- réglementation Zone Urbaine (U)	Il s'agit des secteurs urbanisés. Les installations photovoltaïques ne sont pas limitées.
	- réglementation Zone A Urbaniser (AU)	Il s'agit des secteurs à caractère naturel de la commune destinés à être ouverts à l'urbanisation. Lors de cette urbanisation, la réglementation est similaire à la zone urbaine pour les installations photovoltaïques.
	- réglementation Zone Agricole (A)	Il s'agit des zones à protéger en raison du potentiel agronomique, biologique ou économique des terres agricoles. Seules les constructions ou installations nécessaires aux services publics et à l'exploitation agricole y sont autorisées. Les installations photovoltaïques ne pourront donc être installées que sur les constructions liées à l'activité agricole ou à un service public.
	- réglementation Zone Naturelle (N)	Il s'agit de secteurs à protéger en raison de la qualité des sites, des milieux naturels et des paysages. Les zones N sont des zones où les constructions sont interdites, sauf celles d'intérêt collectif. Les installations solaires photovoltaïques sont possibles sur des bâtiments déjà existants dans ces zones.
	- Article 11 du PLU	Il est nécessaire de vérifier si l'installation de modules photovoltaïques n'est pas en opposition avec l' article 11 du PLU, relatif aux aspects extérieurs des constructions. Si c'est le cas le permis de construire peut se voir refusé. Il est à noter que la mesure 4 du Grenelle Environnement énonce que les permis de construire ne pourront plus s'opposer à l'installation des modules photovoltaïques. Il s'agit donc d'une volonté de réformer, dans un futur proche, le Code de l'Urbanisme au niveau du photovoltaïque.
	- Article 12 du PLU	Il est nécessaire de vérifier si l'installation de modules photovoltaïques n'est pas en opposition avec l' article 12 du PLU, relatif au stationnement. Si c'est le cas le permis de construire peut se voir refusé.
	Mesure du Grenelle Environnement	<ul style="list-style-type: none"> - il est à noter que la mesure 4 du Grenelle Environnement énonce que les permis de construire ne pourront plus s'opposer à l'installation de modules photovoltaïques. Il s'agit donc d'une volonté de réformer, dans un futur proche, le code de l'urbanisme au niveau du photovoltaïque. - les installations supérieures à 250 kWc feront l'objet d'une étude d'impact, d'une enquête publique, et devront solliciter un permis de construire.
	- zonage concerné par un site remarquable	Voir carte
Risques	Le site est-il soumis à un risque d'inondation ?	Voir description et carte . En particulier, Certains PPRI peuvent interdire de couvrir des parkings situés en zone inondables.
	Le site est-il soumis à un risque mouvements de terrain ?	Voir description et carte
Sécurité des biens et des personnes	L'ombrière a-t-elle été dimensionnée pour les risques de collision ?	L'ombrière se situe sur une zone de circulation. Il faut prendre en compte lors de son dimensionnement le fait qu'elle puisse gêner la circulation.
	Le risque incendie de véhicules a-t-il été pris en compte ?	En cas d'incendie de véhicule sous l'ombrière, l'installation devra respecter un certain nombre de normes de sécurité liées au risque incendie.
	Une assurance a-t-elle été souscrite ?	Les conditions de souscription des contrats d'assurance doivent être présent en compte. Les conditions de remboursement en cas de dommage, vol, incendie sont très pointues et conditionnent l'installation (exemples de conditions : matériels certifié CSTB, vidéo surveillance, ...).
	Des mesures ont-elles été mises en place contre le vol et le vandalisme ?	Une protection contre le vol et le vandalisme doit être mise en place afin de respecter les contrats d'assurances (vidéo surveillance, gardien, ...).
Economique	Quelle technologie de cellules choisir ?	<ul style="list-style-type: none"> - si rayonnement direct constant, préférer les cellules au silicium cristallin avec un plus haut rendement ; - si rayonnement diffus majoritaire, préférer les cellules à couche-mince qui fonctionnent mieux dans ces conditions (couvert nuageux). <p>Les modules en couche-mince possèdent un rendement inférieur au Silicium cristallin (7 % contre 15 % en moyenne), mais leur prix étant inférieur, leur installation sur de grandes surfaces peut permettre de pallier à cette insuffisance de rendement et d'obtenir une rentabilité financière plus intéressante avec cette technologie. Une étude de rentabilité devra être faite entre la surface et les coûts et rendements de la technologie utilisée.</p>
	L'installation peut-elle avoir un impact sur la fréquentation du parking ?	L'implantation d'ombrière solaire peut avoir une influence sur la fréquentation du parking, due à l'image de marque qu'offre la technologie. Il pourrait être intéressant de vérifier que le parking puisse permettre un accueil plus important de véhicules.
	Quel tarif d'achat d'électricité peut obtenir l'installation ?	Le tarif d'achat de l'électricité sur une installation de type ombrière sur parking dépend de l'équipement photovoltaïque installé. Il sera de 45 c€/kWh si la structure remplit au moins un des critères d'intégration au bâti (technologie de module monobloc). Si elle ne répond à aucun critère d'intégration au bâti le tarif d'achat sera de 30 c€/kWh.
	Mesure du Grenelle Environnement	<ul style="list-style-type: none"> - les installations supérieures à 250 kWc feront l'objet d'une étude d'impact, d'une enquête publique, et devront solliciter un permis de construire. - afin de favoriser le développement du photovoltaïque sur l'ensemble des bâtiments professionnels (supermarchés, bâtiments industriels et agricoles de grande taille, ...), il sera créé un tarif spécifique de 45 c€/kWh auquel seront automatiquement éligibles les installations respectant les critères d'intégration au bâti, sans limitation de surface. Pour les solutions les plus innovantes du point de vue de l'intégration au bâti et de la qualité architecturale et esthétique, et qui ne peuvent acquérir une rentabilité économique au tarif 45 c€/kWh, le bénéfice d'un tarif d'intégration au bâti de 60,176 c€/kWh pourra être sollicité à titre dérogatoire.
Environnemental	Le recyclage des modules est-il pris en charge ?	Les modules photovoltaïques peuvent être recyclés. Il est nécessaire de vérifier si le constructeur assure le recyclage des modules et en particulier si les modules sont fabriqués par une industrie appartenant à l'association PV-CYCLE.
Paysager	Le projet est-il en covisibilité avec des sites remarquables ?	Voir description et carte
	Le projet est-il en covisibilité avec des sites touristiques ?	Il est important de vérifier si le projet est en direct covisibilité avec un site touristique où, le cas échéant, l'impact visuel de l'installation solaire pourrait apporter une modification paysagère du site, voir une perte de la qualité paysagère du site.
	Une simulation paysagère a-t-elle été réalisée ?	Cette simulation peut être nécessaire dans le cas de zones protégées comme les ZPPAUP ou autour de sites ou zones classés et inscrits. Elle permet d'évaluer l'impact paysager que pourrait avoir l'installation solaire sur le paysage. Elle peut être réalisée par exemple à partir de photo-montages faits selon différents points de vue (panorama, route, chemin, site remarquable, ...).
	L'étude d'impact sur l'environnement prend-elle en compte le volet paysager ?	Si la centrale sur bâti dépasse un certain seuil financier (voir procédure administrative), elle doit être soumise à une étude d'impact. Pour s'assurer de la bonne insertion du projet dans la trame paysagère, vérifier que l'étude d'impact sur l'environnement comporte bien un volet paysager.
Démarche paysagère	Comment l'installation s'inscrit dans le site ?	Mise en place d'une stratégie (parti pris et enjeux). Voir les procédés mis en place dans la partie « Exemples d'intégration paysagère ».

3.4 Analyse au niveau communal

Les cartes précédentes montrent une analyse de tout le territoire du Parc. Mais ce ne sont pas seulement des cartes, il s'agit d'un système d'information géographique qui permet d'aller à l'échelle de la commune pour un grand nombre d'informations. A partir du SIG ainsi structuré, le Parc pourra répondre aux demandes de ses élus en fournissant fiches techniques, fiches de critères et cartes.

LACAUNE

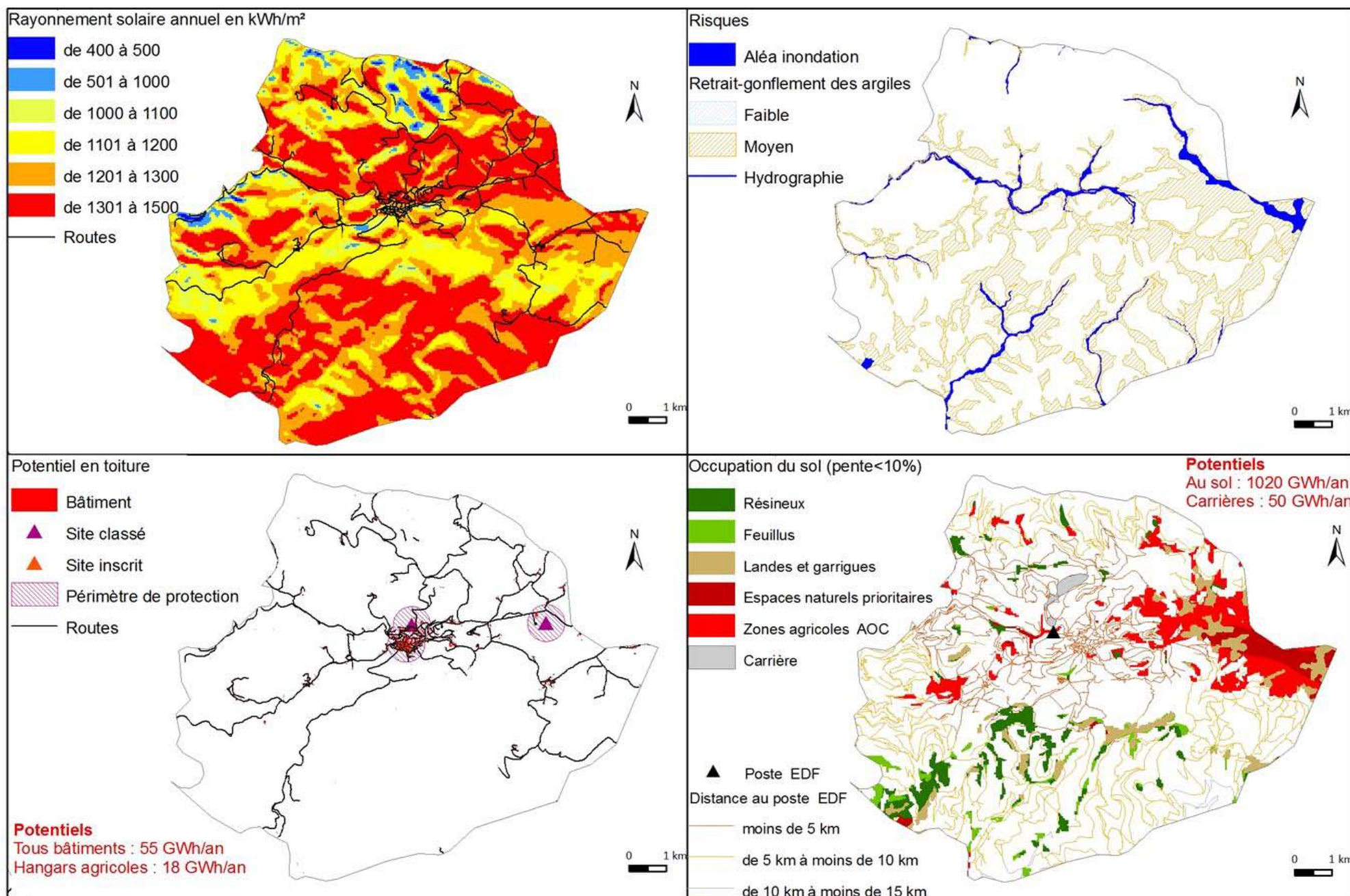


Figure 19 - Etude pour une commune

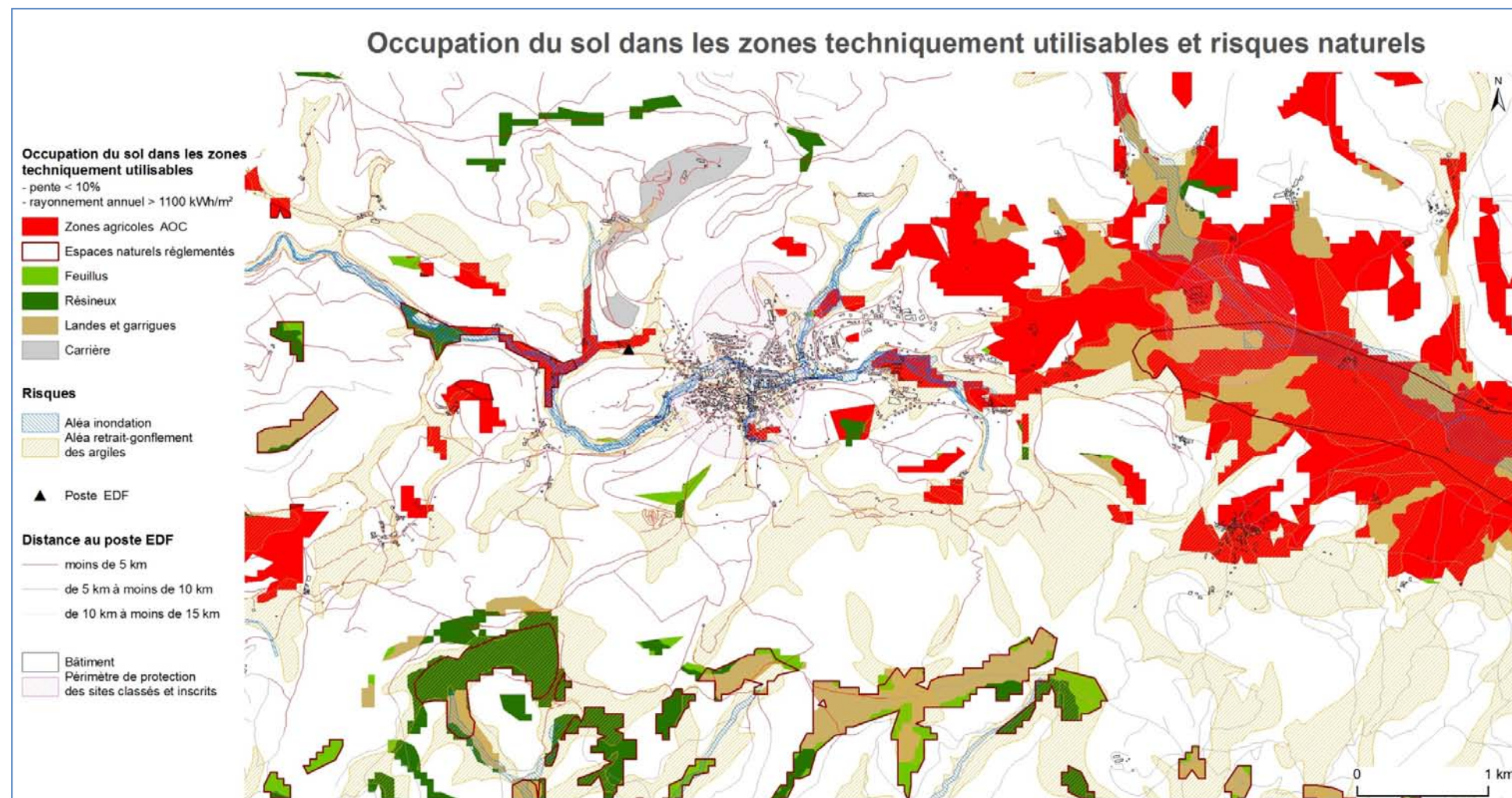


Figure 20 – Exemple de synthèse communale

Ces cartes doivent être complétées avec une couche cadastre et une couche Plan Local d'Urbanisme



ETUDE DE COVISIBILITE DANS LA COMMUNE D'ARFONS

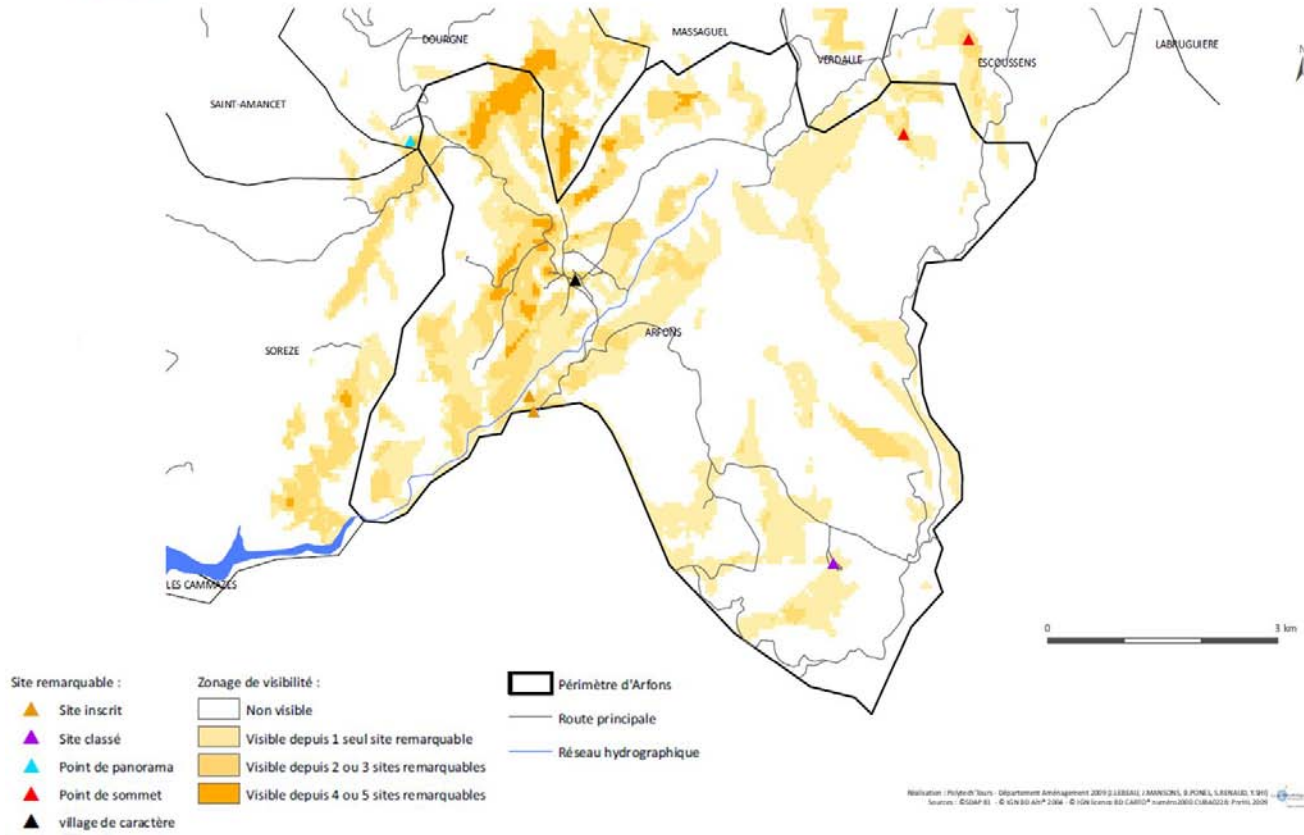


Figure 21 - Covicibilité

Les études de covisibilité permettent d'évaluer l'impact de nouveaux aménagements et construction sur le paysage. On cherche ici quelles sont les zones invisibles depuis les sites patrimoniaux. La covisibilité est calculée à partir des données de la BD ALTI. Seule la topographie des lieux est prise en compte. La carte présente donc une visibilité potentielle et non une visibilité réelle. La végétation pourrait être intégrée dans le modèle numérique de surface, ce qui augmenterait les zones non visibles sur cette carte. Par contre, le fait de considérer un seul point origine par site peut être une simplification excessive. L'analyse devra être affinée en prenant plusieurs points sur les sites zonaux.

4 Fiches techniques

Ces fiches présentent l'état de l'art en matière de cellules photovoltaïques.

Installation sur bâti

Module classique

Les modules classiques, de formes rectangulaires, sont les plus répandus. Leurs efficacités va dépendre des cellules qui les composent (mono ou multicristallin, couches minces).

Les modules classiques ont un rapport puissance/prix relativement plus intéressant que celui des autres technologies (tuiles solaires, modules semi-transparents, ...), mais leur intégration au bâti reste délicate à effectuer, surtout pour des bâtiments déjà construits.

La grande problématique des modules classiques est leur intégration dans le paysage (village de caractère, ...). Lorsqu'ils sont intégrés au bâti, leur impact paysager est moins important du fait de leur continuité avec le plan de la toiture. Leur intégration permet également le rachat de l'électricité produite au tarif, en 2009, de 60,176 c€/kWh (éligibilité à la prime d'intégration au bâti).



Modules au silicium monocristallin (gauche), multicristallin (milieu) et en couche-mince (droite) intégrés en toiture

Caractéristiques des installations

	Module classique monocristallin	Module classique multicristallin	Module classique couche-mince
Puissance	210 W _c	200 W _c	110 W _c
Surface	1300 x 1000 mm ²	1650 x 900 mm ²	1400 x 1100 mm ²
Épaisseur	46 mm	50 mm	35 mm
Puissance/m²	162 W _c /m ²	135 W _c /m ²	71 W _c /m ²
Rendement	16,2 %	13,5 %	7,1 %
Poids	21 kg	16 kg	20 kg
Avantages	Plus haut rendement. Couleurs sombres. Durée de vie de 30 ans. Fonctionnement optimal avec rayonnement direct.	Haut rendement. Coût plus abordable que monocristallin.	Fonctionne bien avec un rayonnement diffus et/ou une orientation non-optimale. Coût moins élevé. Baisse de rendement moins importante avec hausse de la température.
Inconvénients	Fonctionne mal avec le rayonnement diffus. Nécessite bonne orientation au soleil (Sud). Coût élevé. Module épais. Baisse de rendement avec hausse de la température.	Fonctionne mal avec le rayonnement diffus. Nécessite bonne orientation au soleil. Coût reste élevé. Module épais.	Rendement peu élevé. Présence de métaux lourds pour certaines technologies.

Source : Habitat éco intelligent, Doo solaire, Soiairebis



Modules au silicium monocristallin (haut), multicristallin (milieu) et en couche-mince (bas)

Réalisation : PolytechTours - Département Aménagement 2009 (J. LEBEAU, J. MANSONS, B. PONEL, S. RENAUD, Y. SHI)

Ardoise photovoltaïque

Les toitures en ardoises sont caractéristiques du patrimoine de certaines de nos régions. La technologie des ardoises photovoltaïques se prête particulièrement bien à l'intégration du photovoltaïque sur ces toitures.

Les modules type « ardoise » présentent plusieurs avantages :

- Ils s'installent facilement en se posant directement sur les tasseaux comme une ardoise classique ;
- Ils n'ont pratiquement pas de surépaisseur par rapport aux ardoises du toit ;
- L'intégration au toit se fait avec une esthétique recherchée grâce aux cellules noires sur fond et cadre noir.

Les ardoises photovoltaïques peuvent être intégrées sur des toitures en ardoise déjà existantes, pour des pentes allant de 30 à 70°. Toutefois, les modules s'intègrent sur des ardoises à dimensions spécifiques (un module remplace environ quatre tuiles en ardoise).



Ardoises photovoltaïques

Caractéristiques de l'installation

	Ardoise au silicium monocristallin
Puissance	52 W _c
Surface	1210 x 310 mm ²
Épaisseur	14 mm
Puissance/m²	140 W _c /m ²
Rendement	14 %
Poids/m²	14 kg/m ²

Source : Solarcentury, Eternit (tuiles Solesia)

Installation sur bâti

Tuile photovoltaïque (1/2)

Différentes entreprises spécialisées dans le solaire photovoltaïque développent de nouvelles technologies qui répondent au mieux à la problématique de l'intégration des modules au bâti, et notamment sur les toitures.

Les tuiles solaires permettent d'intégrer de façon très efficace des capteurs solaires en toiture grâce à l'intégration de cellules photovoltaïques dans différents types de tuiles.

Cette intégration permet ainsi la production d'électricité tout en préservant le paysage dans les villes et villages. En effet elles s'intègrent en toiture de façon harmonieuse et sans différence de niveau remarquable.



Caractéristiques des installations

	Tuile photovoltaïque au silicium monocristallin	Tuile photovoltaïque au silicium multicristallin
Puissance	85 W _c	36 W _c
Surface	1778 x 355 mm ²	1530 x 450 mm ²
Puissance/m²	140 W _c /m ²	132 W _c /m ²
Rendement	14 %	13,2 %
Poids	11 kg	8,5 kg

Source : Imerys terre cuite, Eternit (tuiles Solesia)



Illustrations de tuiles photovoltaïques au silicium monocristallin (haut) et multicristallin (bas)

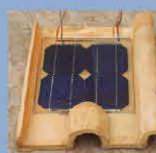
Réalisation : PolytechTours - Département Aménagement 2009 (J. LEBEAU, J. MANSONS, B. PONEL, S. RENAUD, Y. SHI)

Tuile photovoltaïque (2/2)

Des innovations sont en cours de développement dans les tuiles solaires, avec notamment un nouveau type de tuile proposé par une société italienne. Elle propose des tuiles en terre cuite qui intègrent des cellules photovoltaïques.

L'aspect et la forme des tuiles traditionnelles sont conservés. L'impact visuel est ainsi moins important en comparaison à des installations utilisant des technologies de tuiles solaires traditionnelles sur ce type de toiture.

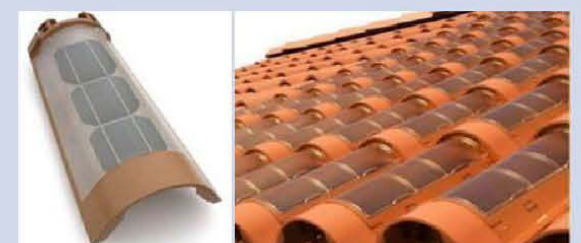
Ces tuiles photovoltaïques en terre cuite, gardent leur aspect visuel traditionnel tout en produisant de l'électricité. Elles peuvent être facilement développées sur des constructions urbaines de zones historiques ou de protection du patrimoine.



Intégration des cellules photovoltaïques dans les tuiles moulées



Impact visuel des tuiles solaires (tuile plate)



Projet de développement de la tuile photovoltaïque (tuile canal)

Source : Fornace Fonti S.R.L.

Installation sur bâti

Membrane d'étanchéité photovoltaïque

Les membranes d'étanchéités photovoltaïques sont des panneaux solaires souples qui assurent à la fois l'étanchéité du bâtiment et le rôle de générateur d'électricité photovoltaïque.

Du fait de leur flexibilité, elles peuvent aisément s'intégrer dans l'architecture d'un bâtiment. En effet, l'absence de verre et de cadre permet une adaptation sur toutes formes de toitures (plate, cintrée, ...).

De la même façon, avec un poids de 4 kg/m², l'installation de ce produit est rendu possible sur des constructions légères mais aussi dans le cas de structures existantes ne permettant pas de surcharges. Ce produit constitue donc une alternative intéressante pour les structures qui ne pourraient pas accueillir des modules classiques du fait de certaines contraintes techniques ou mécaniques.

Sa technologie est à base de silicium amorphe et possède un rendement électrique de l'ordre de 5 %. Elle est parfaitement adaptée pour être installée sur des surfaces de toitures mal exposées et de faibles pentes (3 % minimum).



Illustration de membrane d'étanchéité photovoltaïque



Toitures-terrasses recouvertes de membranes d'étanchéité photovoltaïques

Caractéristiques de l'installation	
	Membrane d'étanchéité couche-mince
Puissance	544 W _c
Surface	5800 x 2000 mm ²
Epaisseur	2 mm
Puissance/m ²	46 W _c /m ²
Rendement	4,6 %
Poids/m ²	4 kg/m ²

Source : Evoxion® Solar d'Alwittra, DRIRE Alsace

Véranda, garage ou dépendance

Différentes structures annexes aux logements individuels tels que les vérandas, les garages ou les dépendances (hangars, abris, ...) peuvent représenter des surfaces d'accueil pour l'installation de modules photovoltaïques.

En particulier, dans cette recherche d'économie d'espace pour l'implantation de modules, certains projets ont permis d'aboutir à la création d'abris voitures solaires, également appelés « ombrières ».



« Ombrière » photovoltaïque



Véranda photovoltaïque à modules semi-transparents au silicium en couche-mince



Hangar photovoltaïque à modules au silicium multicristallin

Source : Abrisolaire®, Habitat éco intelligent, BÂTI dépôt

Installation sur bâti

Module semi-transparent

Les modules semi-transparents permettent d'intégrer la production d'énergie solaire au bâti dès sa conception et peuvent être intégrés en toiture de la même façon que les modules classiques.

Ils peuvent être dimensionnés sur mesure et leur transparence peut être modulable de 1 à 50 % en jouant sur l'espacement entre les cellules.

Ces caractéristiques offrent donc la possibilité de donner un certain niveau d'esthétisme à des bâtiments ayant besoin de beaucoup de lumière naturelle ou qui veulent être architecturalement remarquables, tout en produisant de l'électricité. Ils peuvent ainsi être de véritables équipements structurants du bâti.

L'avantage de ces modules est de pouvoir laisser passer plus ou moins de lumière naturelle (donner plus ou moins d'ombre).



Modules semi-transparents au silicium cristallin (haut) et en couche-mince (bas)



Toitures semi-transparentes au silicium cristallin (gauche) et en couche-mince (droite)

Caractéristiques des installations		
	Module semi-transparent silicium cristallin	Module semi-transparent couche-mince
Puissance	150 W _c	60 W _c
Surface	1585 x 805 mm ²	980 x 950 mm ²
Surface de cellules	1,275 m ²	1,2 m ²
Puissance/m ²	90 W _c /m ²	50 W _c /m ²
Epaisseur	9 mm	14 mm
Transmission lumière visible	10 à 50 %	1 à 10 %
Rendement	12 %	5 %
Poids	16,8 kg	37 kg

Source : Issol S.A., Documentation technique MSK (MCT solaire)

Verrière photovoltaïque

Les modules semi-transparents peuvent être utilisés pour la mise en place de verrières solaires, en se substituant à des parois vitrées conçues à cet effet.

En plus de permettre la production d'électricité, ces modules peuvent également jouer un rôle architectural de mise en valeur d'un édifice, tout en remplissant une fonction de protection des biens et personnes contre les intempéries.



Verrières photovoltaïques à modules semi-transparents au silicium cristallin



Verrière photovoltaïque à modules semi-transparents au silicium en couche-mince

Caractéristiques de l'installation	
	Verrière à modules opaque au silicium en couche-mince
Surface	32 m ²
Puissance/m ²	44 W _c /m ²
Rendement	(contre 130 W _c /m ² pour toiture cristalline opaque)
Poids du module	30 kg

Source : PhotovoliGlass® de MSK (MCT solaire), Guide intégration DGEMP, Habitat éco intelligent

Installation sur bâti

Bardage photovoltaïque

Les bardages correspondent aux équipements fixés mécaniquement par l'intermédiaire d'une ossature secondaire solidaire soit d'une paroi support (bardage rattaché), soit de l'ossature de la construction.

L'installation est possible dans le cas d'un bâtiment dont l'une des façades est orientée au Sud. Dans ce cas, le bardage solaire, constitué de modules photovoltaïques, peut remplacer le bardage classique, tout en s'accompagnant d'une certaine recherche esthétique ou architecturale particulière (en jouant sur l'apparence noire ou bleutée des modules).

Les modules photovoltaïques utilisés en façade, produisent de l'énergie et mettent à profit des espaces habituellement non utilisés. Ils peuvent s'adapter à tous les types de bâtiments.

Dans le cas du bardage à redents, les panneaux sont tournés vers le soleil. Les panneaux peuvent ainsi produire jusqu'à 30 % d'énergie supplémentaire. Même si la surface de couverture est moins importante, cette solution reste la plus rentable pour les bâtiments disposant d'une grande surface exploitable.



Bardage solaire vertical (haut) ou à redents (bas)



Bardage solaire en modules au silicium multicristallin (façade bleue)



Bardage solaire en modules au silicium en couche-mince (façade noire et bleue)

Source : Guide intégration DGFMP, Solarcentury, Habitat éco intelligent

Mur-rideau photovoltaïque

Le mur-rideau est une façade légère constituée d'une ou de plusieurs parois, ne participant pas à la stabilité de l'édifice.

Des cellules photovoltaïques peuvent être intégrées dans ces murs-rideaux, grâce à la technologie des cellules semi-transparentes.

Assurant ainsi les fonctions de maîtrise de l'éclairage et de production d'électricité, ces murs-rideaux solaires peuvent également contribuer à la qualité architecturale d'un bâtiment.

Une orientation plein Sud de la façade est à privilégier.



Murs-rideaux en modules au silicium multicristallin



Murs-rideaux en modules au silicium en couche-mince

Caractéristiques des modules au silicium en couche-mince

Modules			
Transparence	10 %	5 %	1 %
Puissance/m ²	44 W _c /m ²	50 W _c /m ²	55 W _c /m ²
Rendement	4,4 %	5 %	5,5 %

Source : Habitat éco intelligent, Documentation technique MSK (MCT solaire)

Installation sur bâti

Brise-soleil photovoltaïque

Les brise-soleil sont des installations fixes ou mobiles ayant pour but de protéger les parois et les ouvertures d'un bâtiment des rayonnements solaires directs.

Ils peuvent bénéficier de la prime d'intégration au bâti si leur implantation est mise en avant des baies vitrées.

Les caractéristiques techniques (puissance et rendement) des modules de brise-soleil sont similaires à celles des modules classiques (mono ou multicristallin, couche-mince) et semi-transparentes.



Brise-soleil à modules classiques au silicium monocristallin (gauche) et multicristallin (droite)



Brise-soleil à modules semi-transparentes au silicium monocristallin

Source : Valeco Eole, ACS énergie solaire, Habitat éco intelligent

Garde-corps photovoltaïque

Les garde-corps de fenêtre, de balcon ou de terrasse sont des ouvrages à hauteur d'appui qui ont pour rôle de protéger contre les risques de chute.

Ils peuvent aussi produire de l'électricité. En effet, les différentes technologies de modules photovoltaïques peuvent être intégrées dans ces garde-corps.

Les caractéristiques techniques (puissance et rendement) des modules sur garde-corps sont similaires à celles des modules classiques (mono ou multicristallin, couche-mince) et semi-transparentes.

De la même façon, l'intégration de cellules photovoltaïques est possible sur des allèges.



Garde-corps photovoltaïques de fenêtre au silicium en couche-mince (haut gauche), de toiture-terrasse au silicium monocristallin (bas gauche) et sur balcon au silicium multicristallin (droite)

Source : Danialu (Baria® photovoltaïque), S comme Solaire, Habitat éco intelligent

Installation sur toiture

Centrale sur bâtiment

Les grandes surfaces de bâtiments (stades, entrepôts, supermarchés, hangars, logements collectifs, hôpitaux, gares, universités, ...) peuvent être des supports capables d'accueillir des centrales photovoltaïques.

En effet l'installation de modules sur ce type de structure de grandes envergures peut constituer des centrales photovoltaïques sur bâtiment et permettent de préserver des espaces naturels ou agricoles.

Afin de favoriser le développement du photovoltaïque sur ces bâtiments possédant de grandes surfaces, il sera créé, dans le cadre des mesures du Grenelle Environnement, un tarif spécifique de 45 c€/kWh auquel seront automatiquement éligibles les installations respectant les critères d'intégration au bâti, sans limitation de surface. Pour les solutions les plus innovantes du point de vue de l'intégration au bâti et de la qualité architecturale et esthétique, et qui ne peuvent acquiescer une rentabilité économique au tarif 45 c€/kWh, le bénéfice d'un tarif d'intégration au bâti de 60,176 c€/kWh (tarif en 2009) pourra être sollicité à titre dérogatoire.



Modules photovoltaïques en toiture d'une exploitation agricole à Salles-Curan (12) (gauche) et en toiture d'un complexe sportif à Challes-les-Eaux (73) (droite)

Caractéristiques des installations		
	Installation de Salles-Curan (12)	Installation de Challes-les-Eaux (73)
Nombre de modules installés	1118	1127
Puissance installée	185 kW _c	203 kW _c
Superficie de l'installation	1450 m ²	1520 m ²
Production annuelle	240 MWh/an	215,2 MWh/an
Rendement des modules	12,8 %	13,5 %

Source : Mecotech, Edisun Power

Centrale sur parking

Ombrière de parking photovoltaïque

Les parkings de grandes surfaces commerciales ou d'entreprises constituent des zones exploitables pour y développer des centrales photovoltaïques. La technologie des « ombrières » permet la couverture de ces surfaces et permet ainsi d'économiser des espaces naturels ou agricoles.

Ce concept présente ainsi le double avantage de profiter des surfaces de parking pour produire de l'énergie renouvelable, tout en protégeant les véhicules du soleil et des intempéries.



Ombrières sur parking du centre commercial E. Leclerc de Saint-Aunès près de Montpellier (34)

Caractéristiques de l'installation	
Surface de modules	8045 m ²
Nombre de module installés	5472
Nombre de rangées	12
Puissance totale	1149,2 kW _c
Production annuelle	1,42 GWh/an
Rendement des modules	14,3 %

Source : SUNVIE Solar Technology Solution

Centrale au sol

Centrale au sol fixe

L'implantation de centrales photovoltaïques au sol se fait sur des surfaces de un à plusieurs hectares, pour des puissances installées de plusieurs Mégawatts crêtes. Les coûts d'installation sont onéreux ; on compte en moyenne 1 million d'euros par hectares de terrain utilisé. Ces installations bénéficient en 2009 d'un tarif d'achat de l'électricité de 32,823 c€/kWh (non éligible à la prime d'intégration au bâti).

En France, l'installation d'une centrale photovoltaïque de 1 MW_c nécessite environ 3 ha de surface de terrain utile. La surface des modules sur ces 3 ha représentant 1 ha d'emprise au sol (facteur 3 entre l'emprise au sol des modules et la surface de terrain utile).

Les centrales au sol nécessitent également l'implantation d'abris pour les onduleurs et les transformateurs (shelters).

Les rangées de panneaux sont espacées les unes par rapport aux autres de manière optimale afin d'éviter les ombres portées. Ces espaces servent également de chemins d'accès pour la maintenance et l'entretien de l'installation.

Dans le cas des centrales photovoltaïques au sol fixes, les modules sont montés sur des cadres orientés de façon optimale au Sud et inclinés suivant un angle d'environ 60° pour des modules au silicium cristallin, afin de capter un maximum de rayonnement direct. Pour des modules à couches-minces, l'angle varie entre 25 et 30°, en vue de capter un maximum de rayonnement direct, mais également diffus et réfléchi.



Illustrations de centrales au sol fixes à Lunel (34) (haut) et à Narbonne (11) (bas)



Vues globales de centrales au sol fixes à Lunel (34) (gauche) et à Narbonne (11) (droite)

Caractéristiques des installations		
	Centrale au sol de Lunel (34)	Centrale au sol de Narbonne (11)
Nombre de modules installés	6732	95000
Superficie du terrain	1,5 ha	21 ha
Puissance installée	504,9 kW _c	7000 kW _c
Production annuelle	605,9 MWh/an	9175 MWh/an
Rendement des modules	9 %	9 %

Source : Valeco Eoie, EDF EN

Centrale au sol sur axe

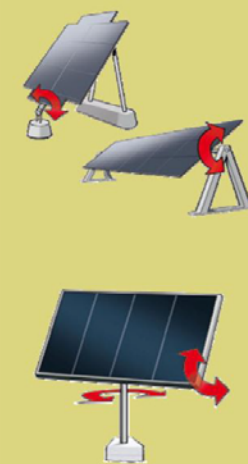
Les centrales sur axe permettent aux modules de suivre la trajectoire du soleil selon un ou deux axes afin de toujours les garder perpendiculaires aux rayons du soleil. Ce type d'installation permet d'obtenir des rendements nettement supérieurs aux systèmes fixes, mais nécessite une maintenance plus importante.

En moyenne, le coût d'un suiveur solaire ou tracker (fondation non comprise) est de 0,65 €/W_c pour un système un axe et le double pour un système deux axes. En comparaison, le coût d'un système fixe est de 0,30 €/W_c.

Pour une même puissance installée, un système un axe coûte approximativement 5 % plus cher qu'une structure fixe (sans surcharge dans les coûts annexes), tandis que l'énergie livrée par la structure un axe est 20 % supérieure.

Les trackers deux axes présentent un profit de 30 % d'énergie mais supposent un coût additionnel de 20 % par rapport à une installation fixe (surcharge dans les coûts annexes et surface supplémentaire).

L'installation de 1 MW_c nécessite en moyenne 3,5 ha de terrain pour des trackers un axe (emprise au sol des panneaux légèrement supérieure à un système fixe), tandis que 4,5 à 6 ha sont nécessaires pour des trackers deux axes (emprise deux fois plus importante).



Illustrations de trackers un axe (haut) et deux axes (bas)



Centrale au sol sur deux axes de Bordeaux-Montesquieu à Martillac (33)

Caractéristiques de l'installation	
	Centrale au sol sur axe à Martillac (33)
Nombre de modules installés	504 (126 trackers)
Surface de module par tracker	6 m ²
Rendement des modules	13,2 %
Superficie du terrain	3500 m ²
Puissance installée	100 kW _c
Production annuelle	135,5 MWh/an
Gain moyen de la capacité de production énergétique	30 %
Résistance au vent	100 km/h (en fonctionnement) 200 km/h (en position de sécurité)

Source : Solar tracking, ExoSun, SolarTrans

5 Compositions paysagères

Dans ces compositions, Julie FRAISSE nous montre que ce ne sont pas tant les matières qui font les paysages, que la perception des rythmes et des textures. Ainsi, le paysage peut être préservé sans être muséifié.

5.1 La Salvetat sur Agout

Dans le village de La Salvetat sur Agout, les façades ouest sont protégées par un essentage en ardoise



Ardoises anciennes



Ardoises neuves



Ardoises photovoltaïques



Panneaux photovoltaïques



Photo d'une partie du village

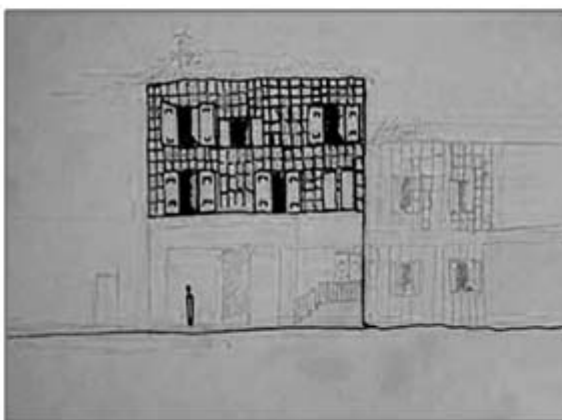


Schéma : Essentage (bardage)



Photomontage : ardoises et panneaux photovoltaïques

Le village

Figure 22 - De l'essentage en ardoise à l'essentage photovoltaïque

5.2 Berlou

Le village viticole de Berlou possède un paysage de vignes et de terrasses.



Schémas : des textures aux rythmes



Photomontage : champ de vignes et champ solaire

Figure 23 - Trames de vignobles et de panneaux photovoltaïques au sol



Photomontage : un champ de panneaux solaires en terrasse

5.3 Sorèze

Comment intégrer des panneaux solaires en toiture dans un village dans un site classé.

Pour préserver la vue de près comme la vue d'ensemble, il ne faut pas poser quelques cellules photovoltaïques sur quelques toits, mais si possible avoir une démarche concertée pour l'ensemble des pans de toiture orientés au sud.



Tuile solaire plate



Tuile solaire type canal



"Echantillonnage " à proscrire



Simulation : unité visuelle avec la même technologie sur l'ensemble des toitures

Figure 24 - Préserver l'unité visuelle du village

6 Limites et conclusion

Suite à donner à l'étude :

La méthodologie et l'étude ont été développées par 5 élèves-ingénieur en 3 mois. Le service SIG du Parc prend maintenant la relève.

Il reste d'autres sites à analyser : les carrières, dont la localisation est réalisée, mais la topographie et les ombrages restent à étudier, les friches industrielles et les décharges à répertorier.

Il est prévu de réaliser un atlas communal pour les élus des communes du Parc. Enfin, cadastre et PLU permettront de compléter l'analyse spatiale.

Les limitations :

Dans le cas très favorable du Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc, il y a 3 ordres de grandeur de différence entre les objectifs et les potentiels bruts, respectivement 13 GWh/an et 38 000 GWh/an, ce qui laisse une grande marge au niveau des choix des décideurs. La méthode utilisée ici comporte de nombreuses approximations, adaptées au cas de ce PNR, mais dont l'impact doit être évalué pour une éventuelle transposition à un autre territoire.

La précision des bases de données référentielles induit des incertitudes sur la localisation des zones exploitables, les algorithmes et les paramètres choisis influent sur le résultat : calcul de pente et d'ensoleillement à partir de la BD ALTI. Cependant, ces incertitudes existent aux limites des zones et non à l'intérieur. Selon les dates d'acquisition des données de la BD TOPO, il peut être préférable d'utiliser un cadastre vectoriel régulièrement mis à jour pour les surfaces de bâti

La précision de la base CORINE Land Cover pour l'occupation du sol est celle de la BD CARTO. Il est nécessaire de préciser les zonages retenus à l'aide d'un PLU

Les méthodes d'évaluation sont approximatives :

- L'utilisation de photos aériennes pour reconnaître les parkings devrait être croisée avec des informations de terrain sur quelques communes pour évaluer l'exhaustivité de la méthode.
- L'évaluation du potentiel en toiture comporte plusieurs coefficients évalués à partir des particularités architecturales du territoire et de photos aériennes, et fondés sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.
- Les calculs de covisibilité devront être affinés au cas par cas

Les évolutions techniques dans le domaine des cellules photovoltaïques sont rapides, dans le sens d'une amélioration des rendements, et d'un accroissement des champs d'application. De nouvelles sociétés se créent. Les fiches techniques seront donc à mettre à jour.

Conclusion :

Sur le territoire du Parc, l'agriculture et la viticulture sont confrontées à des difficultés économiques. La possibilité d'un revenu lié à la vente d'électricité suscite des tensions autour de l'utilisation de l'espace agricole. L'étude complète comporte des préconisations élaborées par le groupe de stagiaires. Les analyses produites à partir du SIG ont bien constitué une aide à la décision, mais elles n'ont pas fourni LA décision unique qui n'existe pas.

L'information géographique permet d'objectiver en partie la connaissance du territoire, mais en aucun cas, les cartes et l'analyse spatiale ne peuvent se substituer aux choix stratégiques des élus et à la responsabilité de décision des services de l'Etat.



Figure 25 - Moutons entretenant la centrale de Lunel

¹ Cabinet du Secrétaire d'Etat chargé de l'aménagement du territoire, communiqué de presse, www.developpement-durable.gouv.fr, avril 2009.

² <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>