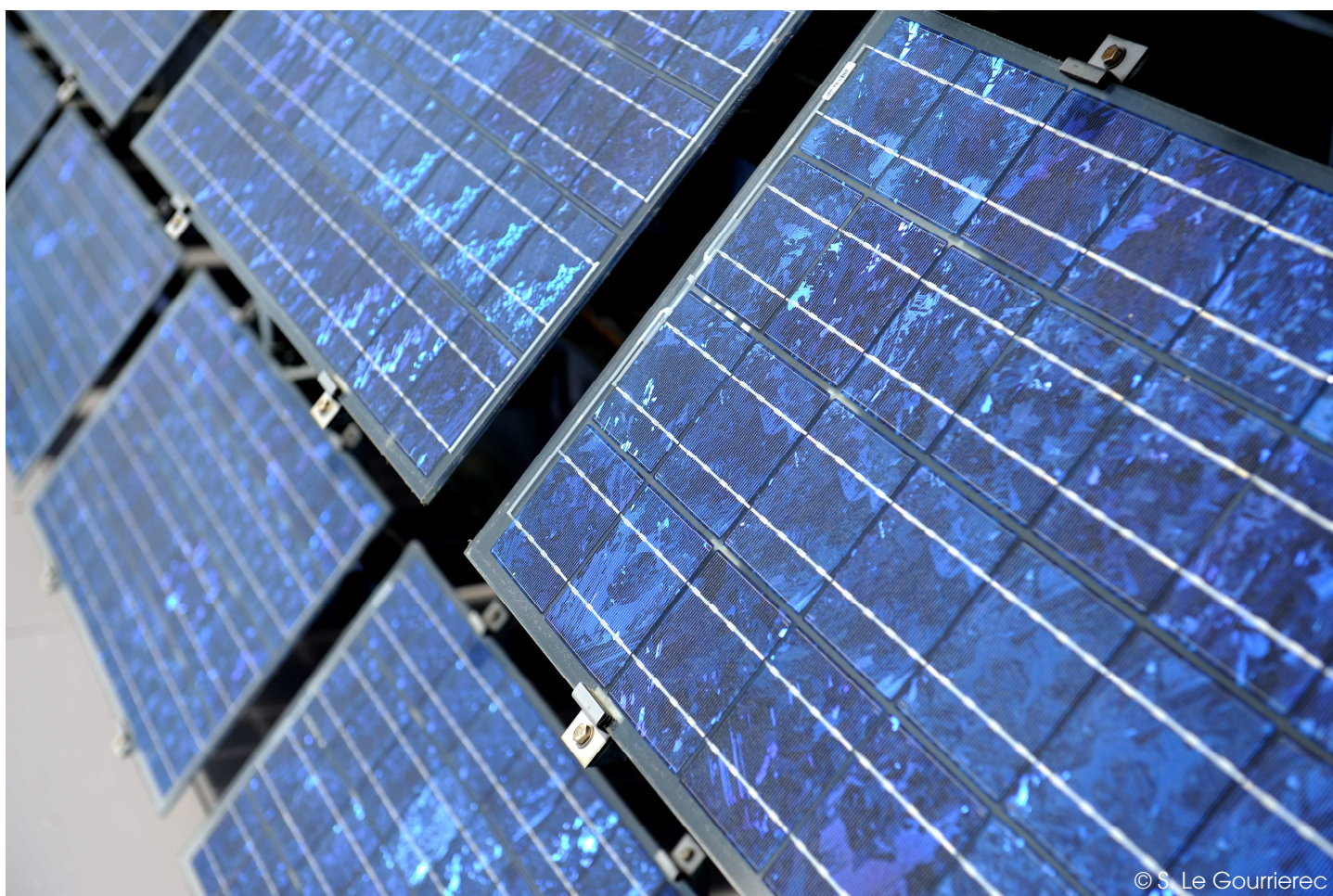




Le contexte du photovoltaïque et les enjeux de son développement sur les toitures de bâtiments publics dans le Morbihan



Juin 2011

SOMMAIRE

Introduction.....	2
Partie I : Aspects contextuels sur la filière photovoltaïque.....	3
1. Le photovoltaïque : une technologie en évolution.....	3
1.1 Principe de fonctionnement.....	3
1.2 Les différents types de modules photovoltaïques	4
1.4 Les installations	6
1.5 Coût du solaire photovoltaïque	6
2. Le développement du solaire photovoltaïque dans le monde et en France.....	8
2.1 L'Allemagne au premier rang mondial	8
2.2 Le cas espagnol	9
2.3 La situation en France	9
3. Cadre réglementaire.....	11
3.1 Installations de puissance inférieure à 100 kWc.....	11
3.2 Installations de puissance supérieure à 100 kWc.....	12
3.3 Aspects juridiques de l'implantation de panneaux photovoltaïque sur des bâtiments publics	12
4. Enjeux du solaire photovoltaïque dans le Morbihan.....	15
4.1 Lutte contre le réchauffement climatique.....	15
4.2 Vulnérabilité énergétique du département.....	16
4.3 Le photovoltaïque dans le Morbihan	16
5. Acceptabilité sociale du solaire	17
5.1 Perception générale de la filière en France.....	17
5.2 L'acceptabilité au niveau local.....	18
6. Exemples de réalisations.....	19
6.1 SED Haute Savoie.....	19
6.2 Logements sociaux à Montreuil-sous-Bois.....	20
6.3 Cité de la voile Eric Tabarly, Lorient	20
6.4 Lycée professionnel Paul Guérin, Niort.....	21
Partie II : Evaluation du potentiel de production sur les toitures des bâtiments publics dans le Morbihan..	22
1. Production énergétique d'une installation photovoltaïque.....	22
2. Méthode d'estimation du potentiel photovoltaïque sur les bâtiments publics du Morbihan.....	23
2.1 Calcul préliminaire	23
2.2 Sélection des bâtiments.....	23
2.3 Calcul de la surface utile.....	23
2.4 Calcul de la puissance de l'installation photovoltaïque	24
2.5 Estimation de l'irradiation	24
3. Résultats obtenus sur l'ensemble du département	26
Conclusion	27
Index des cartes, figures et tableaux	28
Bibliographie	28
Annexes	29

Introduction

L'énergie solaire est l'énergie la plus abondante sur terre. La quantité captée par la Terre pendant 1 heure pourrait ainsi suffire à la consommation énergétique mondiale annuelle (Poignant, 2009).

Il est aujourd'hui admis que cette énergie, inépuisable et non émettrice de gaz à effet de serre, devra jouer un rôle important dans le mix mondial énergétique pour atteindre les objectifs de lutte contre le réchauffement climatique (*International Energy Agency, 2010*).

En Bretagne, et plus largement en France, le double objectif de sécurisation des approvisionnements énergétiques et de lutte contre le changement climatique, place le développement des énergies renouvelables, et notamment du solaire, au premier plan de la politique énergétique.

Dans le cadre de son Agenda 21 et du défi relatif à l'Energie, le Conseil général du Morbihan souhaite évaluer le potentiel de développement des énergies renouvelables dans le département et notamment les possibilités de développement de projets photovoltaïques sur les toitures des logements sociaux et des bâtiments des collectivités territoriales.

Cette note, réalisée à la demande du Conseil général du Morbihan, a pour objet d'établir un état des lieux sur le contexte du solaire photovoltaïque en France et dans le département. Dans un second temps, elle propose un volet technique d'évaluation du potentiel de production dans le département. Cette évaluation a été réalisée à partir d'un travail mené par des étudiants de l'Université de Bretagne Sud (licence 2 Sciences et sciences pour l'ingénieur) sur le territoire de la Communauté de communes de Saint Jean Brevelay.

Une étude similaire pour les bâtiments agricoles est en outre menée par le Comité Départemental Energie Agriculture Ruralité (CDEAR) qui réunit des représentants du Conseil général, de la Chambre d'Agriculture, du Syndicat Départemental de l'Energie, de l'Etat (DDTM) et de l'Université de Bretagne Sud. L'ODEM a été invité à rejoindre le groupe de travail technique du CDEAR.

Partie I : Aspects contextuels sur la filière photovoltaïque.

1. Le photovoltaïque : une technologie en évolution

1.1 Principe de fonctionnement

L'effet photoélectrique a été mis en évidence pour la première fois par Antoine Becquerel et son fils, Alexandre, en 1839. Ils observent le comportement électrique d'électrodes plongées dans un liquide conducteur exposé à la lumière. Dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, Heinrich Rudolph Hertz a prolongé ces travaux (on parle également d'effet Hertz), mais c'est en 1905 que cette observation a finalement été expliquée par Albert Einstein (théorie des quanta de lumière) : lorsqu'on expose un matériau à de la lumière ou un rayonnement électromagnétique de fréquence suffisamment élevée, des électrons se trouvent libérés (cf. figure 1).

Ce phénomène est provoqué par l'absorption de l'énergie des photons lumineux lors de leur interaction avec le matériau.

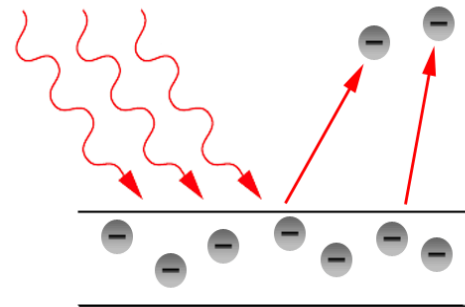


Figure 1 : L'absorption de l'énergie des photons lumineux (en rouge) provoque l'émission d'électrons (Poignant, 2009)

Dans une cellule photovoltaïque, on utilise un matériau semi-conducteur, tel que le silicium, qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante.

Un photon lumineux d'énergie suffisante peut donc provoquer la libération d'un électron, créant ainsi un « trou ». Normalement la paire électron – trou retrouve rapidement un équilibre et l'énergie apportée par le photon est dissipée sous forme de chaleur (le matériau chauffe au soleil).

Afin de recueillir un courant électrique, on contrôle la conductivité électrique des semi-conducteurs par une opération de « dopage » : le principe est d'empêcher la recombinaison « électron-trou » en forçant les paires à se séparer, créant ainsi une différence de potentiel à l'origine d'un courant électrique (comme dans une pile).

Pour cela, on met en contact 2 couches du semi-conducteur (cf. figure 2) :

- l'une ayant un excès d'électrons (appelée couche dopée « N »),
- l'autre ayant un déficit d'électrons (couche dopée « P »)

Il se crée entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P (formation d'une jonction N-P).

En fonctionnement, quand un photon heurte la matrice, créant un électron libre et un trou, sous l'effet de ce champ électrique ils partent chacun à l'opposé : les électrons s'accumulent dans la couche N (qui devient le pôle négatif), tandis que les trous s'accumulent dans la couche P (qui devient le pôle positif).

L'effet repose donc à la base sur les propriétés semi-conductrices du matériau : le « dopage » du semi-conducteur, qui permet d'en améliorer la conductivité, est réalisé en y introduisant des impuretés. Dans le cas du silicium, semi-conducteur le plus fréquemment utilisé, on introduit du phosphore dans la couche N et du bore dans la couche P.

Une alternative au dopage du semi-conducteur (appelé homojonction) est d'utiliser 2 semi-conducteurs différents. On parlera alors d'hétérojonction.

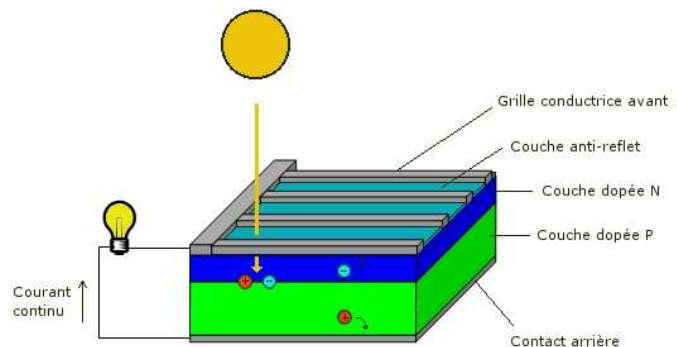


Figure 2 : Schéma d'une cellule photovoltaïque D'après Poignant, 2009 et www.cnrs.fr

Une cellule photovoltaïque est ainsi constituée de plusieurs couches superposées (du haut vers le bas, cf. figure 2) :

- une couche « anti-reflet » pour faciliter au maximum la pénétration des photons lumineux,
- une grille conductrice avant permettant la collecte des électrons,
- une couche dopée N,
- une couche dopée P,
- une couche conductrice arrière.

En branchant les contacts avant et arrière, la cellule fonctionne et délivre un courant électrique. Cependant, une cellule ne délivre qu'une faible puissance, de l'ordre de quelques Watts. Pour obtenir un générateur plus puissant on connecte les cellules en série.

Un ensemble de cellules encapsulé dans un verre transparent, afin de les protéger des intempéries, constitue un module photovoltaïque. La puissance d'un module s'exprime en « Watt crête » noté W_c . Elle correspond à la puissance électrique délivrée sous des conditions standardisées d'éclairement et de température (éclairage de 1000 W/m^2 à 25°C).

En pratique, la puissance d'un capteur installé sur un site varie en fonction de l'ensoleillement reçu par le capteur (qui dépend du jour, de l'heure, de la météo, de l'orientation du système, de sa température...), si bien que la puissance crête n'est jamais atteinte par le capteur.

L'énergie électrique distribuée par les modules photovoltaïque est en continu. Elle peut être transformée en courant alternatif grâce à des onduleurs et injectée sur le réseau ou utilisée directement.

(Sources : Poignant, 2009 ; Lincot, 2007 et sites internet CNRS et photovoltaïque.info)

1.2 Les différents types de modules photovoltaïques

A l'heure actuelle, il existe 3 générations de technologies photovoltaïques :

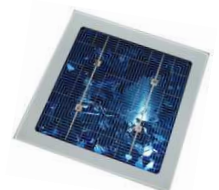
- le silicium cristallin : filière historique la plus répandue (80 à 90% du marché mondial),
- les « couches minces » : filière plus récente en fort développement,
- les polymères photovoltaïques et systèmes à concentration (technologies de demain).

Le silicium cristallin

Le silicium est produit à partir de sable et de quartz. Après purification, des lingots de silicium (obtenus par fusion) sont découpés en fines cellules qui seront traitées pour obtenir l'effet photovoltaïque. Ces cellules sont ensuite connectées en série puis encapsulées dans un vitrage.

On distingue (Poignant, 2009) :

- le silicium monocristallin : lors de sa phase de refroidissement, le silicium forme un cristal unique de grande pureté qui sera ensuite découpé en cellules. Il présente de bonnes performances sous un éclairage direct (15 à 18% de rendement) mais sa fabrication est coûteuse.
- Le silicium multicristallin ou polycristallin : formation de plusieurs cristaux lors de la phase de refroidissement. Il présente un rendement légèrement inférieur (12 à 15%) mais ses coûts de fabrication sont moins élevés.



¹ Correspond à l'énergie reçue en plein midi face au soleil (par temps clair) sous la latitude de l'Espagne (Lincot, 2007)

Les technologies « couches minces »

Il s'agit du dépôt de matériaux semi-conducteurs en fine couche sur un substrat (verre, métal, plastique...) ce qui permet de fabriquer des modules d'une surface plus importante et souvent de moindre coût.

Quatre filières sont aujourd'hui les plus courantes :

- Le silicium amorphe : historiquement la 1^{ère} filière « couche mince », il présente de moins bonnes qualités électroniques que le silicium cristallin mais un excellent coefficient d'absorption du spectre solaire. Les modules présentent donc des rendements faibles en plein soleil (environ 8%) qui décroissent légèrement à mesure de leur utilisation ce qui a longtemps pénalisé la filière. Cependant sa fabrication est peu coûteuse et ses propriétés optiques permettent une utilisation dans les régions nuageuses. En outre, son procédé de fabrication permet de le déposer sur de nombreux types de supports y compris des polymères flexibles autorisant ainsi des applications industrielles très variées (objets portables tels que les calculatrices, bâches de couverture...).



- Le tellure de cadmium (Cd-Te) : matériau peu coûteux à produire et d'une grande stabilité dans le temps. Cependant son rendement reste limité (16% maximum en laboratoire) et l'utilisation de cadmium, un élément toxique, entraîne des restrictions d'usage (pour les installations chez les particuliers notamment) et nécessite un recyclage des modules plus complexe.

- Le cuivre/indium/sélénium (CIS), le cuivre/indium/sélénium/gallium (CIGS) et le cuivre/indium/gallium/diselenide/disulfide (CIGSS) sont les filières présentant les rendements les plus élevés parmi les couches minces (environ 13% et jusqu'à 20% en laboratoire) à un coût qui reste moindre par rapport au silicium cristallin.



- L'arseniure de gallium dont les hauts rendements et le coût très élevé conduisent à un usage réservé au domaine spatial.

Tableau 1 : Rendements des principales technologies photovoltaïque

		Rendement en %	Surface en m ² par kWc	Coût (++++ : le plus cher)
Technologies cristallines	Silicium monocristallin	15 à 18 %	8	++++
	Silicium polycristallin	12 à 15%	10	+++
	Silicium en ruban	12 à 15%	10	+++
Technologies couches minces	Silicium amorphe	6 à 8%	16	+
	Tellure de cadmium	7 à 10%	12 à 16	++
	Cuivre/Indium/Selenium	11 à 13%	13	++

Degryse, 2011 (d'après HESPUL) et Charpin et Trink, 2011

Les filières de demain : polymères photovoltaïques et systèmes à concentration

Encore au stade de la recherche, certaines filières semblent néanmoins prometteuses (Lincot, 2007 et Poignant, 2009) :

- Les polymères organiques présentent des caractéristiques d'abondance, de coût et de mise en œuvre (matériaux souples tels que des fibres textiles, encres et peintures solaires...) particulièrement intéressantes. Cependant leur durée de vie et leur faible rendement (5% en laboratoire) limitent encore les applications industrielles.
- Les systèmes à concentration, destinés aux centrales photovoltaïques, visent à concentrer la lumière solaire sur des cellules de taille restreinte et à suivre la course du soleil pour bénéficier d'un ensoleillement maximal. Avec des cellules multijonction, ces systèmes pourraient atteindre des performances de 50% dans les zones à fort ensoleillement direct. En effet, dans les systèmes à 2 niveaux classiques, les pertes sont importantes car les photons d'énergie trop faible ne sont pas absorbés. En empilant des jonctions nécessitant des niveaux d'énergie décroissants, on limite les pertes et le rendement augmente. En concentrant la lumière, le rendement augmente encore. C'est ce qui est déjà réalisé avec des cellules triple jonction à base d'arséniure de gallium qui atteignent des rendements de près de 40% sous concentration (Lincot, 2007).

→ Annexe 1 : Article de D. Lincot sur les technologies du photovoltaïque

1.4 Les installations

On distingue 4 grandes catégories d'installations solaires photovoltaïques :

- Les centrales ou fermes solaires : installations au sol couvrant plusieurs hectares qui permettent d'atteindre des productions significatives. La centrale solaire de la communauté d'agglomération de la Narbonnaise, par exemple, couvre 23 ha de friche industrielle pour une puissance installée de 7MWc et une production annuelle moyenne correspondant à la consommation annuelle de plus de 4 200 habitants (www.narbonne.com/la-ferme-solaire-narbonne). Cependant les centrales solaires posent des questions en termes d'occupation foncière (concurrence avec des productions agricoles, espace naturel...) et de préservation des paysages.
- Les grandes toitures : installations sur des bâtiments d'usage collectif, publics ou privés : services, commerces ou administrations... Ils représentent d'importantes surfaces de toiture disponibles sans la contrainte de l'emprise au sol, cependant, ces toitures présentent souvent des pentes faibles ou nulles préjudiciables au rendement des modules photovoltaïques.
- Les installations non raccordées au réseau : pour l'électrification des sites isolés (alimentation de station météo, éclairage...)
- Les installations chez des particuliers, raccordées au réseau : en général de petites installations inférieures à 3kWc, l'électricité produite est revendue. Il existe 2 techniques d'équipement : la surimposition ou l'intégration à la toiture (cette dernière étant favorisée en France).

1.5 Coût du solaire photovoltaïque

En France, pour une habitation en site isolé, le coût d'une installation photovoltaïque est d'environ 10 à 25€/Wc installé (coût des batteries et investissements de sécurité inclus). La durée de vie des modules photovoltaïques étant d'environ 20 à 30 ans (EPL, 2009).

Pour une installation reliée au réseau, le coût se situe entre 5 et 7€/Wc selon les surfaces. Pour une installation individuelle, la surface installée est en général aux alentours de 20m² (2 kWc) soit un investissement moyen de 12 000€ (60% investissement panneaux, 15% onduleur et 25% pose).

Pour une installation plus importante, de quelques centaines de m², le coût est d'environ 3 à 6€/Wc (source : photovoltaïque.info).

L'énergie solaire photovoltaïque reste une source énergétique couteuse (cf. figure 3) qui nécessite un marché soutenu pour être rentable. Cependant, sous l'effet de l'augmentation des coûts de l'énergie liée notamment à la raréfaction des énergies fossiles et de la baisse des coûts de production du photovoltaïque (économies d'échelle, amélioration des rendements, sauts technologiques...), cette situation devrait s'améliorer dans les prochaines années.

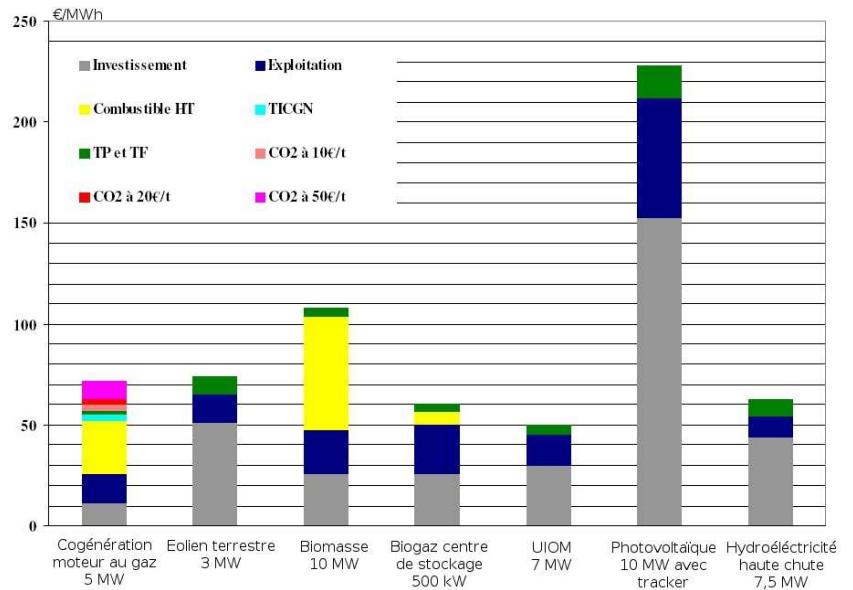


Figure 3 : Coûts moyens de production à l'horizon 2012 en €/MWh selon les hypothèses centrales². TP : Taxe professionnelle ; TF : Taxe foncière ; TICGN : Taxe intérieure de consommation sur le gaz naturel (MEEDAT, 2008)

Le secteur pourrait atteindre la parité réseau, c'est-à-dire le moment où le coût de production du kWh photovoltaïque sera inférieur ou égal au coût d'achat de l'électricité au détail (cf. figure 4) (European Photovoltaic Industry Association –EPIA- et Greenpeace, 2011).

Le rapport de programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (MEEDAT, 2008) envisage ainsi des baisses de coûts de l'ordre de 25% pour le photovoltaïque à l'horizon 2020.

Certaines régions qui combinent un fort ensoleillement et un prix de l'électricité élevé ont d'ores et déjà atteint la parité réseau. C'est le cas notamment de la Californie, du Japon, d'Hawaï...

En Europe, elle devrait être atteinte entre 2010 et 2020 (Poignant, 2009).

La France, en raison de son engagement nucléaire, et donc d'un prix moins élevé du kWh, devrait être l'un des derniers pays européens à atteindre la parité réseau, après des Etats bénéficiant pourtant d'un taux d'ensoleillement moindre tels que l'Allemagne ou le Royaume Uni (Poignant, 2009).

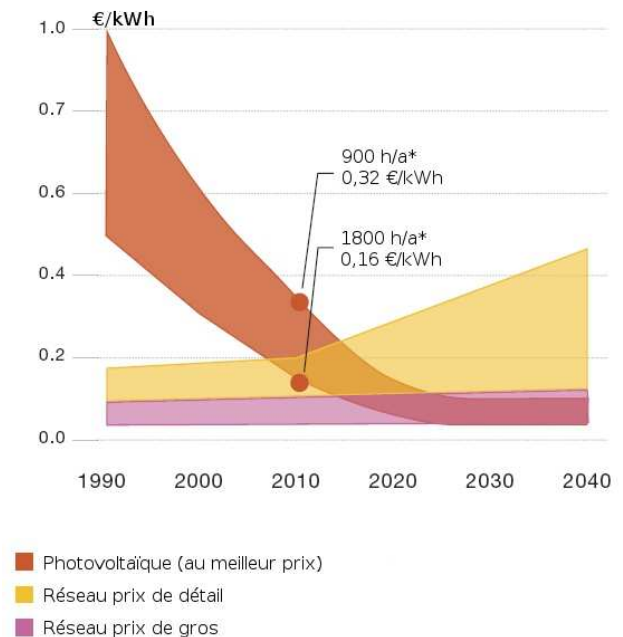


Figure 4 : Evolution prévisible des prix de l'électricité et du photovoltaïque en Europe (EPIA et Greenpeace, 2011)
*h/a : heures de soleil par an

² Hypothèses centrales : conditions spécifiques du site, ensoleillement, coût d'investissement, d'exploitation, prix des combustibles et du CO₂, taux d'actualisation fixé à 8%.

2. Le développement du solaire photovoltaïque dans le monde et en France

Depuis le début du 21^{ème} siècle, l'énergie photovoltaïque a connu un très fort développement mondial (environ 35% de croissance annuelle moyenne). En 2008, la capacité mondiale cumulée s'élevait à plus de 15 GWc, fin 2009, elle était de 23 GWc et les prévisions pour la fin 2010 dépassaient les 35 GWc (EPIA, cf. figure 5).

D'après l'*International Energy Agency* (IEA, 2010), le photovoltaïque pourrait fournir 11% de la production mondiale d'électricité d'ici 2050 (plus de 25% selon l'EPIA) et permettrait d'éviter l'émission de 2,3 Gtonnes de CO2 par an. Les principaux pays équipés sont l'Allemagne, l'Espagne, le Japon et les Etats-Unis qui représentent 80% de la capacité totale installée (dont environ 70% pour l'Europe) mais de nouveaux pays gagnent du terrain grâce à leurs politiques de soutien : Australie, France, Chine, Italie, Corée, Portugal... (IEA, 2010).

En Europe, la puissance installée cumulée s'élevait en 2009 à plus de 16 000 MWc. Avec près de 5 700 MWc supplémentaires installés en 2009 (12% de plus qu'en 2008), l'Europe reste le principal moteur de la croissance du secteur malgré la crise financière et le verrouillage du marché espagnol survenu en 2008 (Observ'ER, 2010).

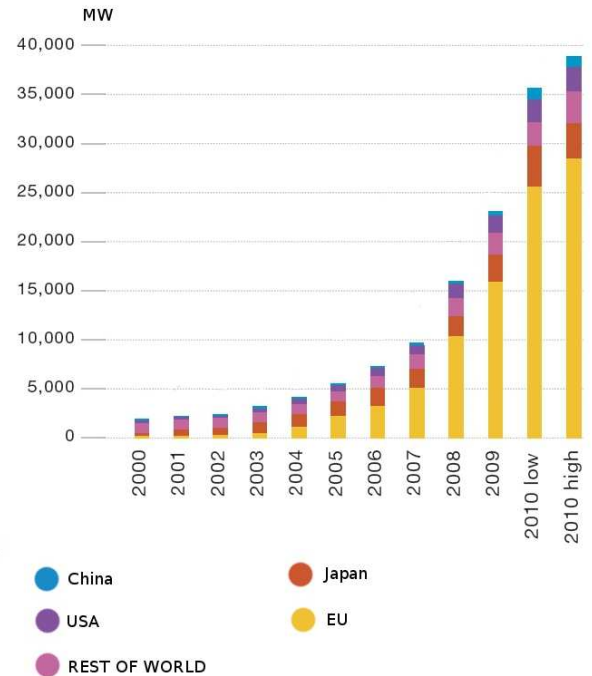


Figure 5 : Evolution de la capacité mondiale cumulée et hypothèses pour 2010 (EPIA et Greenpeace, 2011)

2.1 L'Allemagne au premier rang mondial

En Allemagne, après plusieurs années de croissance très forte, la puissance cumulée reliée au réseau s'élevait à 9 785 MWc en 2009, ce qui la place au 1^{er} rang mondial en terme de puissance installée. Avec 6,2 TWh produits en 2009, soit environ 7% de la production théorique maximale³, le photovoltaïque représentait 1% de l'approvisionnement énergétique du pays (Observ'ER, 2010).

Ce développement est dû à un engagement fort des pouvoirs publics et une adhésion complète de la population. Les entreprises allemandes ont pris la tête du marché et génèrent un chiffre d'affaire annuel de 5 milliards d'euros représentant plus de 40 000 emplois (Poignant, 2009).

Le cadre législatif allemand se caractérise par ;

- un accès prioritaire au réseau pour les énergies renouvelables,
- une garantie de l'achat de la totalité de l'électricité produite à des prix établis pour 20 ans,
- une révision annuelle des tarifs de rachat en fonction de la baisse des coûts de production,
- une répartition des coûts additionnels sur les consommateurs d'énergie et non sur les finances publiques.

L'Allemagne a également opéré un choix stratégique en faveur du solaire en allouant une part importante des financements publics à la recherche sur les énergies renouvelables et le photovoltaïque (40% du budget de recherche sur les énergies renouvelables en 2007).

Par ailleurs, le pays favorise les installations en habitat individuel (90% de la puissance installée) par rapport aux centrales solaires jugées consommatrices d'espace et dommageables d'un point de vue environnemental (Poignant, 2009).

³ Pour un éclaircissement de 1000 W/m² (conditions standardisées) et un fonctionnement 100% du temps.

2.2 Le cas espagnol

En Espagne, un tarif de rachat très avantageux a entraîné une croissance vertigineuse des installations entre 2005 et 2008 (cf. figure 6).

Le pays a ainsi vu se développer de vastes centrales solaires (95% de la puissance installée) dans les déserts d'Andalousie et d'Estrémadure.

La diminution trop tardive du tarif de rachat (en septembre 2008) n'a pas eu d'effet sur l'emballement du marché : avec une rentabilité financière annuelle de 12%, le secteur est devenu spéculatif et les installations se sont multipliées (2 670 MWc installées sur la seule année 2008).

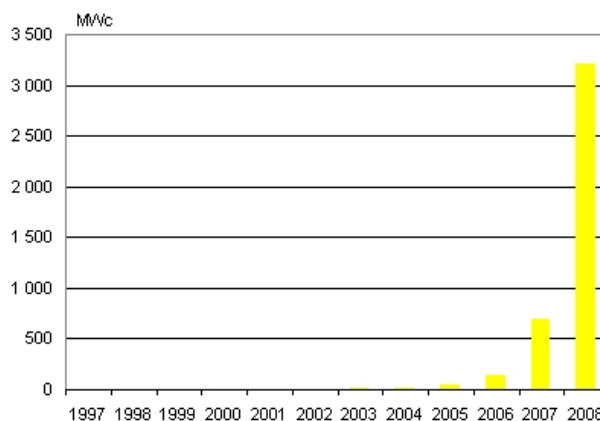


Figure 6 : Evolution de la capacité totale installée en Espagne (d'après Poignant, 2009)

Face à l'impact de ces équipements sur les finances publiques, aggravé par un prix de l'électricité conventionnelle relativement bas, l'Etat a réduit brutalement les tarifs d'achat en 2008, entraînant une grave crise économique pour le secteur et la fermeture de nombreuses entreprises (Poignant, 2009 et Observ'ER, 2010).



Centrale solaire dans le sud de l'Espagne

2.3 La situation en France

Peu développé jusqu'en 2006, le secteur du photovoltaïque français a connu une croissance quasi exponentielle ces dernières années (cf. figure 7). La mise en place d'un crédit d'impôt de 50% sur le prix des installations, d'un tarif d'achat avantageux, ainsi que les objectifs fixés par le Grenelle de l'environnement (1 100 MWc de puissance installée fin 2012 et 5 400 MWc fin 2020) ont en effet permis le décollage de la filière. Le niveau d'installation français reste cependant limité par rapport à d'autres pays européens en raison du choix fait de ne pas favoriser les installations au sol (Observ'ER, 2011).

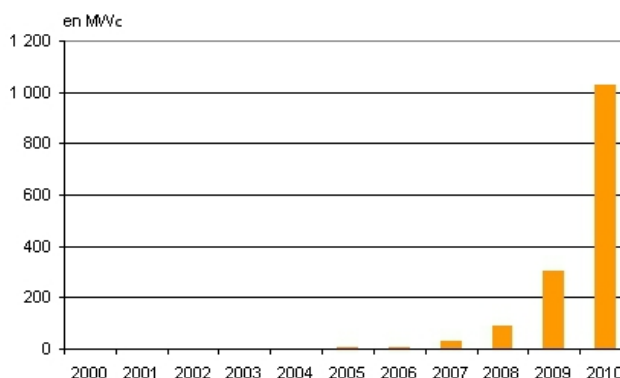


Figure 7 : Evolution de la capacité totale installée en France (source : SOeS)

Fin 2010, la puissance cumulée du parc français atteignait 1 025 MWc et les demandes de raccordement en attente dépassaient les 6 000 MWc.

Malgré des abaissements successifs des tarifs de rachat en janvier et septembre 2010 (cf. tableau 2), les demandes de raccordement ont continué.

Le financement reposant sur la contribution des consommateurs, le gouvernement français, craignant que le développement du photovoltaïque ne pèse trop sur le prix de l'électricité, a décidé en décembre 2010 de suspendre l'obligation d'achat pour les installations non résidentielles afin d'élaborer, en concertation avec les acteurs de la filière, un nouveau dispositif de soutien (décret n°2010-1510 du 9 décembre 2010).

Tableau 2 : Evolution des tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque en France métropolitaine
(en c€/kWh)

Type d'installation		2008	2009	Janvier 2010	Septembre 2010
Intégration au bâti (P < 250 kWc)	Usage principal d'habitation (P < 3kWc)	57,2	60,1	58	58
	Usage principal d'habitation (P > 3kWc)				51
	Bâtiment d'enseignement ou de santé				51
	Autres bâtiments			44	
Intégration simplifiée				42	37
Autres installations (toitures, terrasses, parcs au sol...)*		31,2	32,8	31,4	27,6 x R*

* Si P > 250 kWc, le tarif d'achat est modulé par un coefficient R défini en fonction du rayonnement annuel moyen dans chaque département. Pour le Morbihan R = 1,11.

Sources : ADEME, 2010 ; Charpin et Trink, 2011 ; www.photovoltaïque.info/

→ Annexe 2 : Bilan national des raccordements au 31 mars 2011.

Les notions d'intégration et intégration simplifiée au bâti

Un système photovoltaïque est considéré comme « intégré au bâti » dès lors qu'il est installé sur la toiture d'un bâtiment clos et assure la protection des personnes, animaux, bien et activités ainsi qu'une fonction d'étanchéité. Son absence retire au logis son caractère habitable (il n'assure plus une protection efficace face à l'extérieur). L'intégration au bâti présente des caractéristiques esthétiques, respectueuses des paysages et de l'architecture, qui lui donnent une meilleure acceptabilité sociale. Elle présente néanmoins un certain nombre de difficultés techniques de mise en œuvre qui influencent les coûts d'installation (Charpin et Trink, 2011).

Dans l'intégration simplifiée, le système photovoltaïque est installé sur la toiture d'un bâtiment (parallèlement à son plan) et remplace des éléments de la toiture assurant le clos et couvert ainsi que la fonction d'étanchéité⁴. Cette notion d'intégration simplifiée a été introduite en janvier 2010 (arrêté tarifaire du 12 janvier 2010) afin de favoriser l'installation de modules photovoltaïques sur les toitures des bâtiments professionnels pour lesquels des solutions intégrées n'étaient pas toujours possibles.

Ces techniques, encouragées en France par rapport à la surimposition, constituent une spécificité française qui a permis le développement d'un marché de niche et favorise l'innovation avec l'apparition de produits tels que les pare-soleils ou les tuiles photovoltaïques.

L'intégration au bâti est particulièrement adaptée au secteur de la construction neuve ou de la rénovation de toiture. Elle participe d'une vision à long terme dans la perspective du développement de bâtiment basse consommation ou à énergie positive (Poignant, 2009 et Charpin et Trink, 2011).

⁴ Pour plus de précisions sur les conditions d'intégration au bâti, consulter l'arrêté tarifaire du 4 mars 2011 ou le site internet www.developpement-durable.gouv.fr

3. Cadre réglementaire

A la suite du moratoire sur les autorisations de nouveaux projets de décembre 2010, le nouveau cadre réglementaire a été publié en mars 2011 (arrêté du 4 mars 2011 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil). Il prévoit une cible de nouveaux projets de 500 MWc par an pour les prochaines années.

Deux mécanismes entrent en jeu, en fonction de la puissance crête des installations :

- pour les installations de puissance inférieure à 100 kWc, le dispositif de soutien prévoit des tarifs d'achat ajustés trimestriellement, rendant les projections à plus ou moins longs termes difficiles,
- pour les installations de puissance supérieure à 100 kWc, le nouveau cadre réglementaire prévoit un système par appels d'offres dont les modalités seront fixées ultérieurement.

Par ailleurs, le texte prévoit un plafond de production au-delà duquel le tarif d'achat est de 5 c€/ kWh. Ce plafond est défini comme le produit de la puissance de l'installation par un volume d'heures de fonctionnement (1 500 heures en métropole continentale, 1 800 heures dans les autres cas et respectivement 2 200 et 2 600 heures pour les installations pivotantes).

3.1 Installations de puissance inférieure à 100 kWc

Les tarifs d'achat prévus pour les installations de puissance inférieure à 100 kWc (seuil équivalent à une surface de 1 000 m² de panneaux photovoltaïques) sont présentés dans le tableau 3.

A partir du 1^{er} juillet 2011, ces tarifs seront révisés chaque trimestre en fonction du nombre de projets déposés au cours de la période précédente :

- si le nombre de projets déposés est conforme à l'objectif de développement annuel, la baisse des tarifs d'achat sera de 2,6% (correspondant à la baisse prévue des coûts de production),
- si le nombre de projets déposés n'est pas conforme à l'objectif annuel, la baisse sera accentuée ou diminuée en fonction de l'écart par rapport à la cible trimestrielle.

Une fois le contrat d'achat signé, le tarif d'achat d'une installation n'est plus affecté par la dégressivité trimestrielle. Il est néanmoins revalorisé chaque année selon un coefficient dépendant de l'indice du coût horaire du travail révisé et de l'indice des prix à la production de l'industrie française.

Tableau 3 : Tarifs d'achats de l'électricité d'origine photovoltaïque en vigueur au 11 mars 2011 (installations de puissance inférieure à 100 kWc)

Type d'installations		Puissance	Tarif d'achat (en c€/ kWh) En vigueur jusqu'au 30/06/2011
Résidentiel	Intégration au bâti	0 – 9 kWc	46
		9 – 36 kWc	40,25
	Intégration simplifiée	0 – 36 kWc	30,35
		36 – 100 kWc	28,83
Bâtiment d'enseignement ou de santé	Intégration au bâti	0 – 9 kWc	40,6
		9 – 36 kWc	40,6
	Intégration simplifiée	0 – 36 kWc	30,35
		36 – 100 kWc	28,83
Autres bâtiments	Intégration au bâti	0 – 9 kWc	35,2
	Intégration simplifiée	0 – 36 kWc	30,35
		36 – 100 kWc	28,83
Tous types d'installations		0 – 100 kWc	12

Source : www.developpement-durable.gouv.fr

Le tarif d'achat applicable à une installation dépend de la date d'envoi du dossier de demande complète de raccordement au réseau public. Les nouveaux tarifs sont établis au cours du premier mois du trimestre après examen par la Commission de régulation de l'énergie des demandes de raccordement reçues lors du trimestre précédent.

Par ailleurs, l'arrêté tarifaire prévoit que pour les projets de puissance supérieure à 9 kWc, les capacités financières du porteur de projet devront être attestées par un organisme bancaire.

→ Voir Annexe 3 : Note technique sur les tarifs d'achat (arrêté du 4 mars 2011).

3.2 Installations de puissance supérieure à 100 kWc

Pour les installations de puissance comprise entre 100 et 250 kWc, un système d'appels d'offres simplifié va être mis en place dont le cahier des charges sera élaboré en concertation avec les acteurs de la filière. Les projets répondant au cahier des charges seront sélectionnés en fonction du critère de prix proposé par les candidats.

Pour les installations de puissance supérieure à 250 kWc, plusieurs critères rentreront en compte (prix mais aussi environnement, aspects innovants...). Les espaces à faible valeur concurrentielle, tels que les friches industrielles, seront privilégiés.

3.3 Aspects juridiques de l'implantation de panneaux photovoltaïque sur des bâtiments publics

Les collectivités territoriales peuvent jouer différents rôles dans le développement des énergies renouvelables : en amont des projets par leurs choix politiques mais également en tant qu'investisseur ou acteur de terrain et en facilitant les dynamiques locales.

Les communes ou leurs groupements peuvent également porter un projet de production d'énergies renouvelables au travers de la compétence de production et distribution d'électricité (article L2224-32 du Code général des collectivités territoriales). En outre, la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (loi Grenelle 2) a élargi cette compétence aux Départements et aux Régions.

L'implantation de modules photovoltaïques sur les toitures des bâtiments des collectivités territoriales et logements sociaux présente certains avantages :

- il existe un potentiel important de toitures et façades pouvant être équipées : par exemple, le département du Morbihan compte environ 8 130 bâtiments publics, soit une surface brute de près de 350ha⁵ et environ 30 000 logements locatifs sociaux (donnée 2005, Conseil général du Morbihan),
- ce sont des lieux de consommation énergétique,
- cela participe à l'exemplarité des collectivités,
- les bâtiments sont en général implantés dans des zones urbaines : les contraintes paysagères sont limitées, l'acceptation sociale est meilleure (cf. partie « Acceptabilité sociale du solaire»)..

Cas des collectivités territoriales :

Les différents cas de figure rencontrés confèrent sur le plan juridique des situations différentes à prendre en compte dans le montage du projet.

Une collectivité peut en effet exploiter directement une installation photovoltaïque ou en confier l'exploitation à un opérateur (une entreprise privée ou une société d'économie mixte par exemple).

⁵ A ce stade l'évaluation ne tient pas compte de la faisabilité technique

Lorsque l'exploitation est déléguée, la nature juridique de la convention conclue avec l'opérateur diffère selon les cas :

- Modules intégrés à la toiture :
 - ✓ Sur une dépendance du domaine public affectée à un service public et répondant aux conditions énoncées à l'article L.2111-1 du CGPPP (établissements scolaires, mairies, stades, terrains affectés aux services publics portuaires ou aéroportuaires...) les titres juridiques utilisables sont :
 - Lorsque la collectivité réalise les travaux et délègue l'exploitation :
 - passation d'une convention d'occupation du domaine public précaire, personnelle et non cessible (articles L.2122-1 s. CGPPP). En contrepartie, une redevance sera payée par l'opérateur. Au terme de la convention, les installations implantées sont soit cédées à titre gracieux au propriétaire public, soit démontées ou détruites aux frais de l'occupant du domaine public.
 - ou signature d'un bail emphytéotique administratif (BEA), envisageable puisque la collectivité propriétaire mène une opération d'intérêt général conforme aux objectifs des deux lois sur le Grenelle de l'environnement. Le BEA est conclu pour une durée de 18 à 99 ans et est constitutif de droits réels ce qui est plus sécurisant pour l'opérateur (droit de recourir au crédit-bail, hypothèque et autres garanties) (articles L.1311-2 s. CGCT).
 - Lorsque la collectivité délègue les travaux et l'exploitation de l'installation : les équipements photovoltaïques sont installés en contrepartie du droit d'exploiter. On entre alors dans le cadre d'une concession de travaux publics (au sens du droit communautaire) qui prendra alors la forme d'une convention à double objet : un marché public de travaux et une convention de mise à disposition (pouvant être un bail emphytéotique administratif ou une autorisation d'Occupation Temporaire constitutive de droits réels).
 - ✓ Sur une dépendance du domaine privé (modules intégrés) : la production d'énergie renouvelable n'est pas considérée comme constituant un service public puisque la production d'électricité n'est plus considérée, en France, comme un service public⁶. Les montages juridiques utilisables sont alors les mêmes que ceux utilisés par les personnes privées.
- Modules photovoltaïques non intégrés : la collectivité met à disposition une dépendance (un bâtiment existant ou un terrain). Elle peut alors passer avec l'opérateur une convention de mise à disposition de droit commun ou de concession domaniale (cf. convention d'occupation du domaine public ci-dessus) selon que la dépendance appartient au domaine privé ou public.

Concernant le choix du titulaire, si la personne publique accorde un titre juridique à un opérateur économique qui réalise l'installation pour la satisfaction de ses propres besoins ou son activité, l'objet principal du contrat est le transfert immobilier de la collectivité à l'opérateur économique ; l'attribution de ce titre n'a pas alors à être précédée de mesures de publicité et de mise en concurrence (CE section, 3 décembre 2010, Ville de Paris et autres, req 338272). Pour autant, le droit de la concurrence est toujours applicable, interdisant les abus de position dominante et les ententes. La meilleure parade consiste donc à organiser des procédures concurrentielles.

Au contraire, s'il s'agit de répondre aux besoins de la collectivité (construction d'une unité de production d'énergie exploitée ensuite pour son compte ou qu'elle louera, bénéficie de l'énergie produite et récupération de la propriété des installations au terme du contrat), l'objet du contrat est une commande publique et non seulement l'occupation privative d'une dépendance domaniale ; les mesures de publicité et de mise en concurrence sont alors obligatoires (Terneyre, 2011).

⁶ Des exceptions existent notamment pour les ouvrages de plus de 40 MW si leur production est destinée de façon permanente aux réseaux de transports ou de distribution de l'électricité (loi n°2000-108 du 10 février 2000 modifiée).

Concernant les autorisations d'urbanisme, différentes possibilités existent :

- Sur une construction nouvelle: il n'y a pas de dissociation entre l'installation de panneaux intégrés à l'immeuble et le reste de la construction concernant la demande d'autorisation (permis de construire).
- S'agissant d'un immeuble existant, le régime juridique de la déclaration préalable s'applique en raison de la modification de l'aspect extérieur du bâtiment (article R. 421-17 Code de l'Urbanisme). Dans un périmètre protégé (monuments historiques, sites inscrits et classés, secteurs sauvegardés et zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager), l'accord de l'architecte des bâtiments de France devra également être obtenu (R. 423-50s. Code de l'Urbanisme).
- Pour les ouvrages au sol dont la puissance est inférieure à 3 kWc et dont la hauteur maximum au dessus du sol peut dépasser 1,80 m ainsi que ceux dont la puissance est comprise entre 3 kWc et 250 kWc, quelle que soit leur hauteur, la déclaration préalable est suffisante (article R 421-9 Code de l'Urbanisme).

Les Sociétés d'Economie Mixte (SEM) :

Dans le cadre de projets territoriaux de production d'énergie renouvelable, la SEM semble être un mode d'intervention privilégié par les collectivités territoriales. En effet, elle présente un certain nombre de qualités (EPL, 2009) :

- aucune autorisation préalable n'est nécessaire pour sa création,
- elle permet d'appliquer les règles de droit privé,
- elle permet la réalisation d'un partenariat public-privé qui peut aller jusqu'à la parité,
- le développement de plusieurs activités est possible,
- elle est strictement contrôlée par les collectivités territoriales.

Les SEM d'aménagement ou immobilières peuvent ainsi procéder à l'installation de panneaux photovoltaïques dans le cadre de leurs activités de construction ou de rénovation de bâtiments. L'activité de vente d'électricité doit cependant être complémentaire avec les activités principales de la SEM et doit rester accessoire (EPL, 2009).

Comme pour les collectivités territoriales, les SEM peuvent faire intervenir un opérateur l'installation et/ou l'exploitation des panneaux photovoltaïques. Elles peuvent également se positionner en tant qu'opérateur pour intervenir sur un bien appartenant au domaine public (EPL, 2009).

Cas des bailleurs sociaux, de droit public ou de droit privé :

Les offices publics de l'habitat, en tant qu'établissements publics à caractère industriel et commercial (EPIC) peuvent également exploiter une installation de production d'électricité d'origine solaire.

Ces dernières années, dans un contexte de tarifs d'achat avantageux et de fortes sollicitations de diversification du bouquet énergétique, les expériences de mise en place de panneaux photovoltaïques sur des logements sociaux se sont ainsi multipliées. Souvent à l'occasion de travaux de réfection de toiture mais également sur des bâtiments neufs (source : Union sociale pour l'habitat).

Pour les Offices publics de l'habitat, le principe de spécialité s'applique et limite donc le développement de leurs activités. Néanmoins, la fourniture d'énergie aux logements ou la diminution des charges locatives due à l'installation des panneaux photovoltaïques permettent de considérer que l'objet de l'EPIC est respecté. Quoiqu'il en soit, la diversification de l'objet de l'EPIC constituerait une valorisation du domaine de l'Office public d'habitat (à noter : les logements sont des dépendances du domaine privé de ces offices, mais les immeubles, constituant des ouvrages publics, sont donc intangibles).

Les mêmes montages juridiques que pour les collectivités territoriales sont alors possibles.

Pour les opérateurs privés (statut de société anonyme de l'habitat), le droit privé s'applique, au même titre que pour les particuliers.

Contraintes :

L'implantation d'une installation photovoltaïque nécessite par ailleurs de prendre en compte un certain nombre de contraintes et enjeux :

- ✓ contraintes en matière d'urbanisme : compatibilité avec les règles et documents existants (SCOT, PLU, RNU...),
- ✓ respect des servitudes d'utilité publique et administratives,
- ✓ respect des prescriptions de la loi Littoral pour les communes concernées,
- ✓ régime fiscal applicable (assujettissement à la TVA, taxe sur le foncier bâti, impôt sur les sociétés, contribution économique territoriale...),
- ✓ les relations de voisinage peuvent être à l'origine de contentieux (fondés sur les troubles de voisinage),
- ✓ prise en compte des risques naturels (tempêtes, inondations, incendies...) et mesures de sécurité correspondantes (système de coupure d'urgence, accessibilité aux installations techniques des toitures...).

4. Enjeux du solaire photovoltaïque dans le Morbihan

4.1 Lutte contre le réchauffement climatique

Face au constat des risques liés au réchauffement climatique, l'Etat français s'est fixé des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). La mise en œuvre du Grenelle de l'environnement vise ainsi à les diminuer de 22% entre 2005 et 2020 avec des actions dans tous les secteurs économiques (résidentiel, tertiaire, industrie, agriculture, sylviculture, transports, énergie...).

Les collectivités territoriales jouent également un rôle important dans la lutte contre le réchauffement climatique de par leur patrimoine, leurs activités directes ainsi que les effets induits par leurs actions. Depuis 2004, elles sont donc incitées à prendre en compte la lutte contre le changement climatique, notamment au travers des contrats de projet Etat – Région.

De nouvelles mesures, issues du Grenelle de l'environnement viennent renforcer leur rôle :

- intégration de la lutte contre le changement climatique et la maîtrise de l'énergie dans les objectifs des collectivités territoriales ainsi que dans les documents de planification,
- amélioration des performances énergétiques et de réduction des émissions de GES dans les territoires présentant des enjeux nationaux,
- création du schéma régional air – climat – énergie afin d'assurer la cohérence des actions menées par les collectivités avec les objectifs nationaux,
- généralisation des plans climat énergie territoriaux aux collectivités de plus de 50 000 habitants,
- généralisation des tarifs d'achat de l'électricité renouvelable à toutes les collectivités territoriales.

En 2005, le Morbihan a été à l'origine de l'émission d'environ 6 millions de tonnes équivalent CO₂ (cf. figure 8) hors UTCF⁷ (utilisation des terres, leurs changements et la forêt). Les principaux contributeurs sont le transport de voyageurs, l'agriculture (hors UTCF) et le résidentiel-tertiaire.

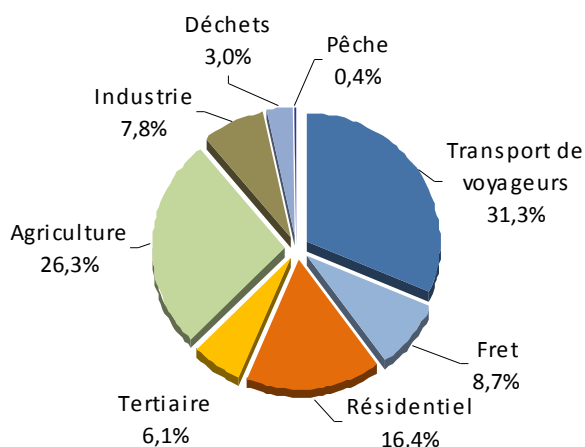


Figure 8 : Répartition des émissions totales dans le Morbihan en 2005 (en teq CO₂) Source : Ener'GES

⁷ Couvre la récolte et l'accroissement forestier, la conversion des forêts (défrichement) et des prairies ainsi que la composition des sols en carbone. Peut être à la fois un puits et une source d'émission de gaz à effet de serre.

4.2 Vulnérabilité énergétique du département

En 2009, la consommation énergétique finale du Morbihan s'est élevée à 1 525 kilotonnes équivalent pétrole (kTEP), répartie en :

- 27% d'électricité
- 15% de gaz naturel
- 52% de produits pétroliers
- 5% bois
- environ 1% autres énergies (charbon, chaleur réseau, biogaz, ...)

Avec une production d'énergie d'environ 92 kTEP en 2009, le département a couvert seulement 6% de ses besoins énergétiques.

Il est donc fortement dépendant de ses approvisionnements extérieurs. De plus, en raison de sa situation géographique péninsulaire, le réseau de transport de la Bretagne est fortement sollicité.

Un risque de rupture de distribution électrique lors des pics de consommation n'est pas à exclure (Observatoire de l'énergie et des gaz à effet de serre en Bretagne).

L'agenda 21 du Département identifie l'énergie comme un défi majeur de sa politique de développement durable. Trois leviers d'action sont identifiés :

- sécuriser l'approvisionnement énergétique,
- maîtriser la demande,
- promouvoir les énergies renouvelables.

Parmi ces dernières, l'énergie solaire photovoltaïque présente un certain nombre de qualités :

- l'énergie du soleil, sur laquelle repose le photovoltaïque, est gratuite et illimitée,
- en fonctionnement, le photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives ou polluantes,
- les systèmes photovoltaïques demandent peu d'entretien et ont une durée de vie longue (environ 30 ans),
- les modules sont recyclables et le silicium (principal composant des modules) est un matériau abondant sur terre et non toxique,
- les modules peuvent être intégrés de manière esthétique aux bâtiments, ils impactent peu le paysage,
- le photovoltaïque fournit de l'énergie aux zones rurales les plus isolées...

Le développement du solaire photovoltaïque dans le Morbihan pourrait donc contribuer à diminuer sa dépendance énergétique et sécuriser son approvisionnement tout en participant à la lutte contre le réchauffement climatique.

4.3 Le photovoltaïque dans le Morbihan

Comme au plan national, le photovoltaïque a connu un très fort développement ces dernières années dans le Morbihan (cf. figure 9). La puissance installée raccordée au réseau atteignait ainsi 11,9 MWc au 31 décembre 2010 (donnée SoeS provisoires) soit 1 812 installations. Les installations de puissance inférieure ou égale à 4 kWc représentaient environ 34% des installations.

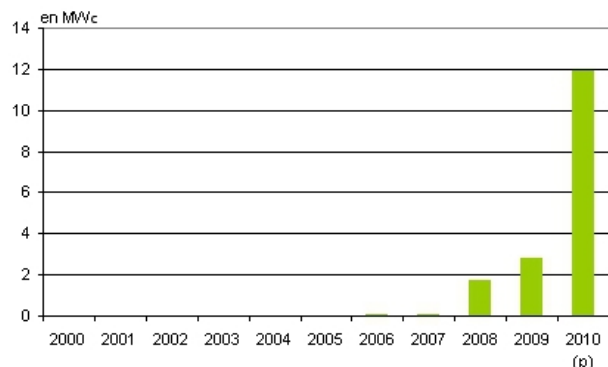
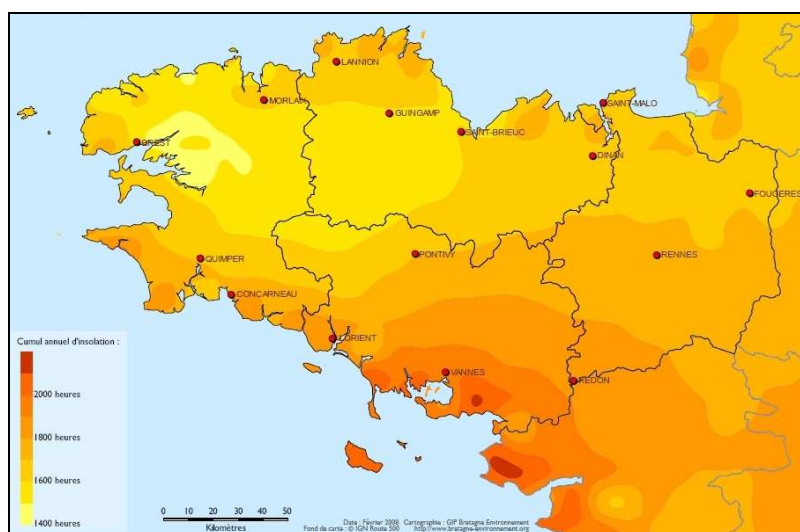


Figure 9 : Puissance raccordée au réseau en photovoltaïque dans le Morbihan (Observatoire de l'énergie et des gaz à effet de serre en Bretagne et SoeS)

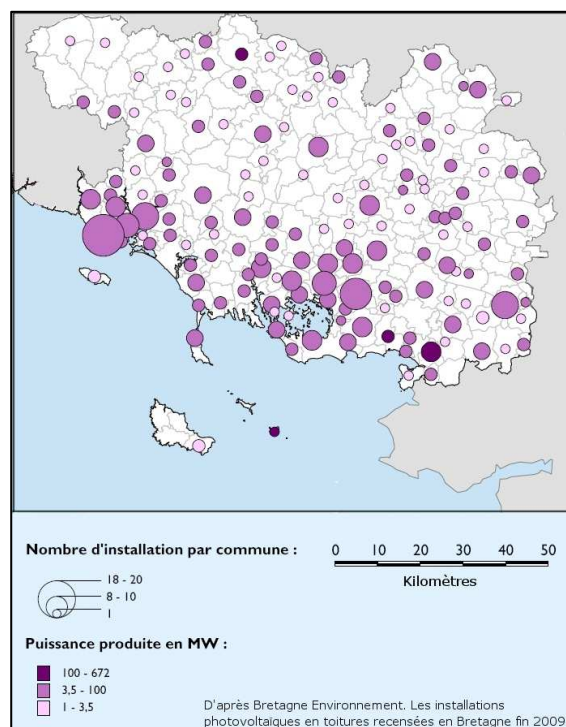
En 2009, la production énergétique photovoltaïque s’est élevée à 1,59 GWh soit 0,8% de la production électrique du département, l’éolien représentant 94% de la production électrique (Observatoire de l’énergie et des gaz à effet de serre en Bretagne).

Avec un rayonnement solaire reçu d’environ 1 200 kWh/m² horizontal par an (Join Research Center, Commission Européenne), le Morbihan se situe légèrement en dessous de la moyenne française (1400 kWh/m² par an) mais il présente des contrastes importants en terme de durée d’ensoleillement (cf. carte 1).

L’essentiel des installations photovoltaïques se situent sur la frange littorale du département (cf. carte 2). Il s’agit en effet de la partie du département où l’ensoleillement est le plus important avec en moyenne 1 900 heures par an (ce qui est légèrement supérieur au pays Basque par exemple). L’ensoleillement diminue vers l’ouest (1750 heures par an à Lorient) et vers l’intérieur des terres (ODEM, 2010).



Carte 1 : Insolation annuelle en Bretagne (moyenne sur la période 1997-2006).
Source : Bretagne environnement



Carte 2 : Les installations photovoltaïques sur toiture recensées dans le Morbihan fin 2009. Source : Bretagne Environnement d’après ErDF et DREAL

5. Acceptabilité sociale du solaire

5.1 Perception générale de la filière en France

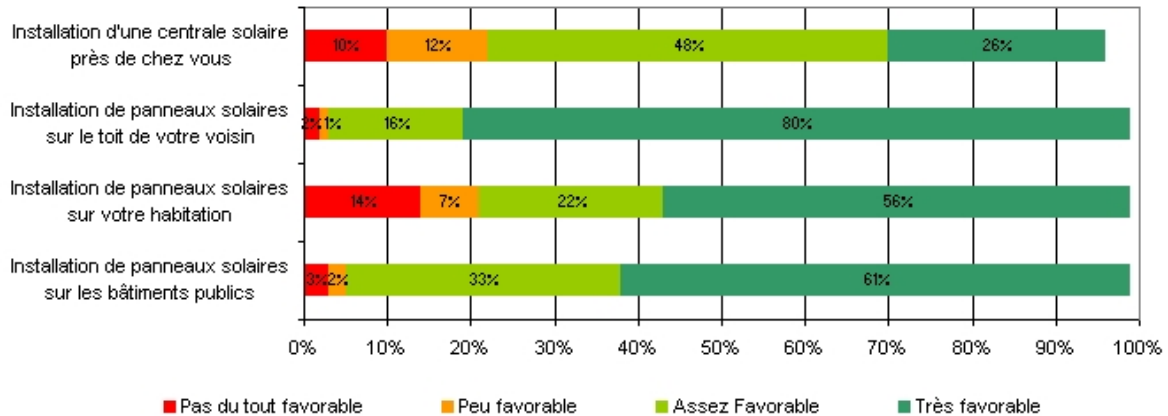
Selon le dernier sondage ADEME « Les français et les énergies renouvelables » réalisé en 2010, les français sont globalement favorables au développement des énergies renouvelables (97% d’avis favorables). On observe cependant une diminution de la proportion des personnes « tout à fait favorables » depuis 2004 (Gaspard, 2011).

L’énergie solaire (photovoltaïque et thermique) est quant à elle l’énergie que les français souhaitent voir se développer en priorité.

Elle bénéficie d’une excellente image et est perçue comme l’énergie la plus respectueuse de l’environnement, la moins dangereuse, la plus moderne et permettant de lutter contre l’effet de serre. Cependant elle est jugée moins performante que l’énergie nucléaire.

La perception des énergies renouvelables en général, et du solaire en particulier, est différente selon les groupes sociaux : les personnes de 65 ans et plus sont ainsi moins nombreuses à être « très favorables » à la fois aux panneaux solaires en général, aux panneaux solaires chez eux, chez les voisins et aux parcs solaires. Cette tendance est à prendre en compte dans un contexte de vieillissement de la population (Gaspard, 2011).

De manière générale, les français sont favorables à l’implantation de panneaux solaires, notamment sur les bâtiments publics (cf. figure 10). Ils le sont moins concernant l’implantation des parcs solaires.



L'écart par rapport à 100% provient du taux de réponses « ne sait pas »

Figure 10 : Perception du solaire chez les français selon les types et lieux d’installation (d’après Gaspard, 2011)

Les principales raisons de refus invoquées quant à l’installation de panneaux solaire au domicile sont le coût et la rentabilité, les aspects esthétiques et la nécessité de réaliser des travaux.

5.2 L’acceptabilité au niveau local

Bien que l’image des énergies renouvelables soit très positive dans la population, il existe une grande différence de perception lorsque les personnes sont confrontées à un projet d’aménagement local. Ainsi le nombre de conflits locaux autour de l’implantation d’infrastructures, notamment énergétiques, augmente depuis les 30 dernières années (Gaspard, 2011) :

- crise de confiance dans la capacité des institutions à gérer les risques,
- intervention de nouveaux acteurs : associations de protection de l’environnement, des consommateurs, du cadre de vie...
- multiplication des conflits d’usage liés à l’expansion urbaine,
- vieillissement de la population,
- changement des mentalités quant aux progrès techniques,
- insuffisance de débat public national qui se répercute au niveau local.

On distingue 4 grandes familles de revendications de la part des opposants aux projets d’infrastructures (Gaspard, 2011):

- conflit substantiel : lié à la nature même du projet, aux choix politiques,
- conflit fondé sur les incertitudes ; risques pour la santé, l’environnement, risque de dévaluation foncière...
- conflit structurel de remise en cause de l’action publique : légitimité des décideurs, des experts, représentation démocratique...
- conflit de procédure : absence de concertation, de transparence, non considération de l’avis du public...

Les projets solaires font, pour l’instant, peu l’objet de réactions de rejet et d’opposition locale. Cependant, le développement de centrales solaires au sol commence à susciter des mouvements d’opposition en raison notamment de la consommation d’espace et de l’impact visuel sur les paysages (Gaspard, 2011).

6. Exemples de réalisations

6.1 SED Haute Savoie

SED Haute Savoie est une société d'économie mixte créée en 1958 qui accompagne les projets de développement et les opérations d'aménagement des collectivités territoriales et des investisseurs privés. Ses principaux actionnaires sont le Conseil général de Haute Savoie (59,29% du capital), les collectivités de Haute Savoie, la Caisse des dépôts et consignations, la Chambre de Commerce et de l'Industrie de Haute Savoie, plusieurs banques, des constructeurs sociaux...

Ses activités couvrent la définition des enjeux et des stratégies territoriales jusqu'à la réalisation de zones d'activités, de quartiers de ville, d'infrastructures de transports ou encore d'équipements publics.

Fin 2008, SED Haute Savoie a créé 2 filiales spécialisées dans les énergies renouvelables :

- Chaleur des Alpes : tiers investisseur dans le domaine des réseaux de chaleur à énergie non fossile,
- Solaire des Alpes : tiers investisseur vis-à-vis des maîtres d'ouvrage publics ou privés (à l'exception des particuliers) pour l'implantation de capteurs solaires photovoltaïques en toiture des bâtiments.

Exemples de réalisations :

- Gymnase d'Alby sur Chéran :

Financement d'une toiture photovoltaïque à l'occasion de la rénovation de la toiture du gymnase du collège d'Alby sur Chéran en 2010 :

- 520 m² équipés de modules polycristallins pour une puissance de 74 kWc,
- production annuelle attendue de 74 000 kWh soit l'équivalent de la consommation du collège,
- financement de la totalité de l'installation par Solaire des Alpes pour un montant de 348 k€HT,
- passation d'une convention d'autorisation d'occupation du domaine public entre la Communauté de communes du pays d'Alby et Solaire des Alpes avec versement d'un loyer annuel équivalent à 5% des recettes EDF.



- Immeuble à Saint Julien en Genevois :

Construction par SED Haute Savoie d'un immeuble abritant des bureaux (notamment la trésorerie générale et la maison pour l'emploi et la formation) et des logements.

La toiture de l'immeuble est équipée de panneaux photovoltaïques exploités par Solaire des Alpes (Carbonnier, 2010) :

- puissance installée : 29 kWc
- production annuelle attendue : 27 434 kWh



Plus d'informations :

www.sedhs.com

6.2 Logements sociaux à Montreuil-sous-Bois

Equipped with photovoltaic panels, a 4-story building with 11 apartments and a 6-association office platform (CLER (Comité de Liaison des Energies Renouvelables)), at the origin of the project. The operation was realized by the public office of HLM of the city of Montreuil-sous-Bois in the framework of a Greenpeace campaign « Branchez vous solaire ». Put into service in April 2002.



Points forts du projet :

- production d'électricité dans une zone très urbanisée,
- réduction des charges locatives et sensibilisation des citoyens
- partenariat entre associations, organismes public et collectivités locales

Données techniques :

- 220 m² de capteurs installés pour une puissance de 22 kWc,
- production annuelle estimée à 20 MWh,
- coût global de l'opération de 152,7 k€ avec des aides de l'Europe, de l'ADEME, de la Région Ile de France, du Conseil général Seine-Saint-Denis et de Greenpeace à hauteur d'environ 85% du montant.

Plus d'informations :

Projet « Toit bleu » : www.cler.org

6.3 Cité de la voile Eric Tabarly, Lorient

The Cité de la Voile Éric Tabarly is a place dedicated to the discovery of sailing, born from a partnership between Cap l'Orient agglomération and the association Eric Tabarly.

The building housing the Cité de la voile was designed according to a high quality environmental approach and features 150 m² of photovoltaic panels which cover about 10% of the building's electricity needs (excluding stage equipment).

The management of the Cité has been entrusted to the SELLOR, a mixed economy company of which Cap l'Orient is the majority shareholder.



6.4 Lycée professionnel Paul Guérin, Niort

La centrale photovoltaïque du lycée Paul Guérin est la première unité de production mise en service par la Société Coopérative d'Intérêt Collectif Poitou-Charentes Energies Renouvelables. Cette SCIC, créée en 2008 par la Région Poitou-Charentes, EDF et la Caisse des Dépôts et Consignations a pour objectif d'accélérer le développement de la production régionale d'énergies renouvelables dans les collectivités, les entreprises et les associations en prenant à sa charge le développement, le financement, la réalisation et l'exploitation des projets. Elle agit en tant que tiers investisseur sur des bâtiments dont elle n'est pas propriétaire.

Caractéristiques de la centrale :

- 1560 m² de panneaux photovoltaïques monocristallins,
- puissance installée de 193,05 kWc,
- production attendue de 200 000 kWh/an
- orientation + 33° /Sud
- montage juridique : convention d'occupation temporaire de 20 ans
- mise en service : avril 2010



Partie II : Evaluation du potentiel de production sur les toitures des bâtiments publics dans le Morbihan

L'évaluation du potentiel de production d'électricité a été réalisée à partir d'un travail mené par des étudiants en licence 2 PCSI de l'Université de Bretagne Sud sur le photovoltaïque.

L'étude portait sur la simulation de la production électrique d'installations photovoltaïques sur les toitures de bâtiments publics et agricoles de la zone test de la Communauté de communes de Saint Jean Brevelay. Elle a été réalisée à partir de données sur les bâtiments fournies par le Conseil général du Morbihan (cf. paragraphe 2.1) et la Chambre d'Agriculture du Morbihan. Les simulations de production ont été réalisées avec des logiciels libres d'accès (RETScreen et TECSOL).

Etant donné le grand nombre de bâtiments publics, la même méthodologie n'a pas pu être employée pour l'évaluation du potentiel de production à l'échelle du département. Cependant, certaines hypothèses et coefficients pondérateurs utilisés dans la présente étude, issus du travail mené par les étudiants, ont été appliqués à l'ensemble du département.

1. Production énergétique d'une installation photovoltaïque

L'énergie produite par une installation photovoltaïque est décrite par l'équation suivante (photovoltaïque.info) :

$$E = Irr \times \eta_{sys} \times S_u$$

E : Energie électrique produite par le système pendant 1 an (en kWh)

Irr : Irradiation solaire reçue par les modules (en kWh/m² pendant 1 an)

S_u : Surface de l'installation photovoltaïque (Surface utile)

η_{sys} : Rendement global du système

Le rendement global du système inclus les pertes liées à ses composants, depuis les modules photovoltaïques jusqu'au point de raccordement au réseau. Il peut être exprimé de la manière suivante :

$$\eta_{sys} = \eta_m \times \eta_c \text{ et } \eta_m = \frac{P_{unitaire}}{G \times S_m}$$

η_m : Rendement des modules dans des conditions standard (1000 W/m² à 25°C)

η_c : Rendement des autres composants de l'installation (intégrateur, onduleur, câbles...); en général il est compris entre 0,7 et 0,8 pour des installations classiques

$P_{unitaire}$: Puissance crête d'un module (en Wc)

G : Valeur standard d'éclairement : $G = 1000 \text{ W/m}^2$

S_m : Surface d'un module photovoltaïque (en m²).

La puissance crête d'une installation (P_i) peut être calculée de la manière suivante :

$$P_i = \frac{P_{unitaire}}{S_m} \times S_u$$

En synthétisant les équations, on obtient alors : $E = Irr \times P_i \times \eta_c$

Avec P_i exprimé en kWc.

La production photovoltaïque dépend donc de 3 composantes : l'irradiation reçue, la puissance crête de l'installation et le rendement des composants du système également appelé ratio de performance.

2. Méthode d'estimation du potentiel photovoltaïque sur les bâtiments publics du Morbihan

2.1 Calcul préliminaire

Les données géographiques concernant les bâtiments publics (ensemble des propriétés des collectivités territoriales et des bailleurs sociaux) sont issues du croisement de la BD topo pays version 2 de l'IGN et du parcellaire DGi.

Elles ont été fournies par le service informatique du Conseil général du Morbihan. Ce travail a été réalisé à l'aide du logiciel SIG Arcgis-Arcmap 9.2.

Le calcul des Azimuth s'est fait à partir de l'outil "Polygon Diameter Azimuth Tool".

La surface projetée au sol du bâtiment ainsi que le centroïde (coordonnées X,Y Lambert II étendue) de chaque bâtiment ont été calculés directement sous le SIG. L'ensemble des données attributaires a été exporté dans un tableur (excel). Les calculs de potentiel (Cf. ci-après) sont ensuite réalisés sur ce fichier.

2.2 Sélection des bâtiments

Un premier tri est réalisé pour tout le département en fonction de l'orientation des bâtiments : on retient les bâtiments orientés sud-est à sud-ouest, c'est-à-dire dont l'azimut du faitage est compris entre 45° et 135° et 225° et 315° (Cf. figure 11).

Sont ensuite exclus les bâtiments de nature suivante :

- chapelles, églises
- forts, blockhaus,
- châteaux, tours, donjons,
- moulins.

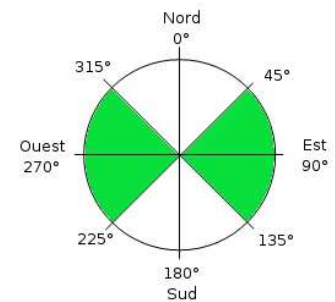


Figure 11 : Azimuts retenus pour l'étude (en vert)

Au final 4 374 bâtiments sont retenus pour le département (sur 8 127 au total).

2.3 Calcul de la surface utile

La surface utile S_u est la surface que l'on considère disponible pour l'implantation de panneaux photovoltaïques. L'étude menée sur la zone test de la Communauté de communes de Saint Jean Brevelay a permis de fixer les hypothèses suivantes :

- incertitude de 10% sur la nature des toitures (nombre de pans)
- les 90% restants ont deux pans
- pente de toiture moyenne de 45°

On connaît la surface au sol des bâtiments (S) :

$$S_{toiture} = \frac{S}{\ell} \times \frac{\ell}{2 \times \cos \hat{A}} = \frac{S}{2} \times 1,414 \quad \text{avec } \hat{A} = 45^\circ$$

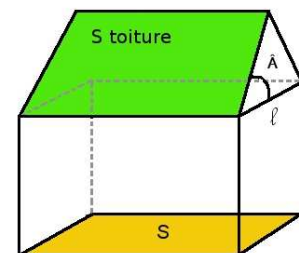


Figure 12 : Schéma d'un bâtiment

On a alors : $S_u = S_{toiture} \times 0,90$

Par ailleurs, on considère que 90% de la toiture est utilisable pour l'installation de panneaux photovoltaïques. On a donc finalement : $S_u = S_{toiture} \times 0,81$

2.4 Calcul de la puissance de l'installation photovoltaïque

On obtient la puissance crête de l'installation (P_i) à partir des 2 formules suivantes :

$$P_i = S_u \times \frac{P_{unitaire}}{S_m} \quad \text{ou} \quad P_i = S_u \times \eta_m$$

$P_{unitaire}$ est la puissance unitaire d'un module (en Wc)

S_m est la surface d'un module (en m²)

η_m est le rendement du module en % (alors P_i en kWc)

$$\eta_m = \frac{P_{unitaire}}{G \times S_m}$$

G est la valeur standard d'éclairement à 25°C : 1000 W/m²

Les valeurs de $P_{unitaire}$ et η_m ont été calculées dans le cadre du travail mené à l'UBS, à partir de données constructeurs. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Puissance unitaire et rendements de quelques technologies photovoltaïques

	Surface d'un module (m ²)	Puissance unitaire (en Wc)	Puissance par m ² (Wc/m ²)	Rendement η_m
Monocristallin générique	1,5	217	144,7	14,47%
Monocristallin haut (type Sanyo)	1,26	215	170,6	17,06%
Polycristallin générique	1,5	172	114,7	11,47%
Polycristallin haut (type Tenesol)	1,643	240	146,1	14,61%
Amorphe moyen	1,43	90	62,9	6,29%

2.5 Estimation de l'irradiation

L'irradiation reçue par les panneaux photovoltaïques peut être calculée de la manière suivante :

$$Irr = F \times I_h$$

I_h est l'irradiation moyenne reçue à l'horizontal (en kWh/m² par an)

F est un facteur de correction lié à l'inclinaison et l'orientation des panneaux.

Estimation de l'irradiation moyenne à l'horizontal

Les données d'irradiation utilisées ici sont issues du Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) de la Commission Européenne.

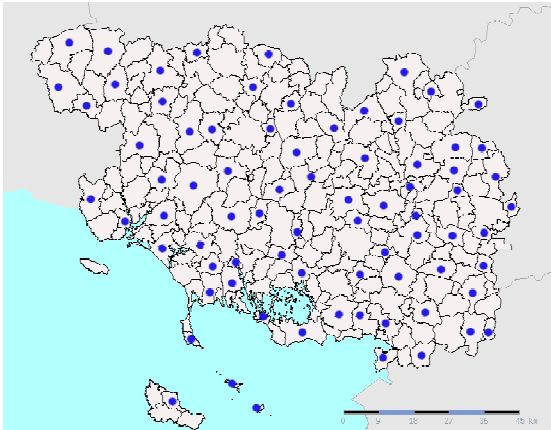
Cette base de données fournit des valeurs d'irradiation à l'horizontal calculées à partir :

- de relevés de stations météorologiques au sol (566 stations pour le continent européen),
- de données satellitaires.

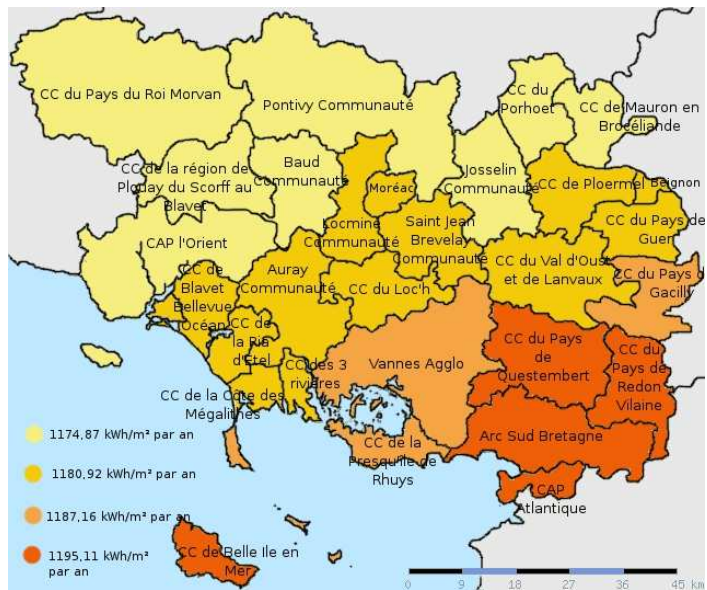
La précision (X,Y) des projections géographiques de la base de données est estimée à +/-1000m pour le continent européen.

A partir des données d'irradiations de 79 points répartis sur l'ensemble du département (Cf. carte 3), quatre zones d'irradiation moyenne ont été définies (Cf. carte 4) :

- zone 1 : $I_h = 1\,175 \text{ kWh/m}^2$ par an
- zone 2 : $I_h = 1\,181 \text{ kWh/m}^2$ par an
- zone 3 : $I_h = 1\,187 \text{ kWh/m}^2$ par an
- zone 4 : $I_h = 1\,195 \text{ kWh/m}^2$ par an



Carte 3 : Localisation des valeurs d'irradiation relevées dans le Morbihan



Carte 4 : Valeurs moyennes d'irradiation à l'horizontale dans le Morbihan

Facteur de correction lié à l'orientation et l'inclinaison des bâtiments

En France, la production maximale est obtenue pour des panneaux solaires orientés au sud et une inclinaison de 30° par rapport à l'horizontale. F est alors égal à 1.

Cependant pour des orientations allant du sud-est au sud-ouest et une inclinaison comprise entre 20 et 60° par rapport à l'horizontale, la production énergétique reste acceptable. Un facteur de correction F doit alors être appliqué à la formule de calcul de l'énergie produite.

Pour plus d'informations : www.photovoltaique.info/fr

Un ombrage sur l'installation (arbre, bâtiment, relief naturel...) peut également avoir des conséquences sur le rendement de l'installation. Ce facteur n'est pas pris en compte dans la présente étude, en effet il nécessite une analyse approfondie de l'implantation des bâtiments au cas par cas (relevé de masques).

Dans le cadre du travail mené par les étudiants, des valeurs de F ont été calculées sur la zone test de la Communauté de communes de Saint Jean Brevelay pour chaque bâtiment.

Une moyenne pondérée en fonction de la surface des bâtiments a ensuite été calculée puis appliquée à l'ensemble des bâtiments du département.

$$F_{\text{moy}} = 0,96$$

3. Résultats obtenus sur l'ensemble du département

A partir des formules et hypothèses présentées précédemment, il a été possible de calculer une puissance installée et une production d'énergie potentielle pour chacun des 4 374 bâtiments publics retenus.

La majorité des bâtiments dispose d'une surface de toiture permettant des installations comprises entre 9 et 36 kWc, soit des installations de relative petite taille. Celles-ci sont toutefois favorisées par rapport aux plus grandes installations (puissance supérieure à 36 kWc) qui bénéficient d'un tarif de rachat moindre.

En fonction de la technologie de panneaux solaires utilisée on obtient les estimations suivantes pour l'équipement de l'ensemble des bâtiments sélectionnés :

Tableau 5 : Puissances installées et production énergétique potentielle sur le département

	Puissance installée totale Pi (MWc)	Electricité produite E (GWh)	Pourcentage de la consommation électrique* du département
Monocristallin générique	140	128	2,6%
Monocristallin haut (type Sanyo)	160	144	2,9%
Polycristallin générique	118	107	2,1%
Polycristallin haut (type Tenesol)	140	130	2,6%
Amorphe moyen	71	65	1,4%

* Donnée de consommation d'électricité finale pour l'année 2009 (Observatoire de l'énergie et des gaz à effet de serre en Bretagne)

L'équipement de l'ensemble des bâtiments publics retenus dans l'étude permettrait donc la production d'environ 115 GWh d'électricité par an, soit environ 2% de la consommation finale d'électricité du Morbihan en 2009.

Pour des installations en polycristallin générique (technologie la plus courante), cela représente un investissement compris entre 312 et 488 millions d'euros⁸ (hors taxes) pour une recette annuelle d'environ 32 millions d'euros (au tarif de rachat en vigueur au 1^{er} juin 2011), soit un retour sur investissement entre 10 et 15 ans.

→ Voir Annexe 4 : Résultats détaillés par types de panneaux photovoltaïques

Afin d'obtenir ces résultats, un certain nombre d'hypothèses simplificatrices ont été prises sur la base du travail réalisé sur la zone test de la Communauté de communes de Saint Jean Brevelay. Compte tenu des incertitudes, parfois très élevées, sur la nature des bâtiments (surface, nombre de pans de la toiture), leur exposition (orientation, inclinaison de la toiture, présence de « masques »...), et les données d'irradiation utilisées, **il faut considérer que ces résultats surestiment le potentiel réel d'implantation de panneaux photovoltaïques sur les toitures des bâtiments publics dans le département.**

Ils constituent néanmoins une première approche intéressante dans le cadre de la réflexion menée par le Département sur le développement des énergies renouvelables.

⁸ Coût d'investissement compris entre 2,7 et 4,2 €/HT/Wc. Source : www.photovoltaique.info (mai 2011)

Conclusion

La sécurisation de l’approvisionnement électrique du Morbihan passe par 3 types d’actions :

- la maîtrise des consommations,
- le développement des énergies renouvelables,
- le renforcement du réseau de transport de l’électricité.

Le développement du photovoltaïque sur les toitures des bâtiments publics, même si sa production ne représente qu’une faible part des consommations énergétiques du département, pourrait contribuer à diminuer la vulnérabilité énergétique du département en luttant contre les pics de consommation, coûteux, polluants et sources de problèmes d’acheminement de l’électricité en Bretagne.

L’énergie photovoltaïque étant intermittente, il serait nécessaire de développer en parallèle des systèmes de gestion « intelligente » de l’électricité permettant son stockage et son injection sur le réseau au moment des pics de consommation. Ce besoin d’évolution des réseaux va être renforcé par la hausse des consommations et l’émergence de nouvelles technologies telle que la voiture électrique par exemple.

Ainsi, le Pacte électrique breton, signé le 14 décembre 2010, en complément des objectifs de développement des énergies renouvelables et de maîtrise des consommations, s’engage également sur la recherche et le développement de réseaux intelligents et du stockage de l’énergie.

A l’échelle d’un bâtiment et associé à des mesures de maîtrise des consommations, le photovoltaïque contribuera à l’optimisation des consommations et à la baisse des coûts. Néanmoins, dans un contexte national de diminution des tarifs d’achat, son développement devrait plutôt être envisagé comme un moyen de production d’énergie locale que comme une réelle source de revenus.

Index des cartes, figures et tableaux

Carte 1 : Insolation annuelle en Bretagne (moyenne sur la période 1997-2006)	17
Carte 2 : Les installations photovoltaïques sur toiture recensées dans le Morbihan fin 2009.....	17
Carte 3 : Localisation des valeurs d'irradiation relevées dans le Morbihan	25
Carte 4 : Valeurs moyennes d'irradiation à l'horizontale dans le Morbihan.....	25
Figure 1 : L'absorption de l'énergie des photons lumineux (en rouge) provoque l'émission d'électrons.....	3
Figure 2 : Schéma d'une cellule photovoltaïque	3
Figure 3 : Coûts moyens de production à l'horizon 2012 en €/MWh selon les hypothèses centrales	7
Figure 4 : Evolution prévisible des prix de l'électricité et du photovoltaïque en Europe	7
Figure 5 : Evolution de la capacité mondiale cumulée et hypothèses pour 2010	8
Figure 6 : Evolution de la capacité totale installée en Espagne.....	9
Figure 7 : Evolution de la capacité totale installée en France	9
Figure 8 : Répartition des émissions totales dans le Morbihan en 2005	15
Figure 9 : Puissance raccordée au réseau en photovoltaïque dans le Morbihan.....	16
Figure 10 : Perception du solaire chez les français selon les types et lieux d'installation	18
Figure 11 : Azimuts retenus	23
Figure 12 : Schéma d'un bâtiment	23
Tableau 1 : Rendements des principales technologies photovoltaïque	5
Tableau 2 : Evolution des tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque en France métropolitaine	10
Tableau 3 : Tarifs d'achats de l'électricité d'origine photovoltaïque en vigueur au 11 mars 2011	11
Tableau 4 : Puissance unitaire et rendements de quelques technologies photovoltaïques	24
Tableau 5 : Puissances installées et production énergétique potentielle sur le département	26

Bibliographie

ADEME, 2010

Guide d'aide au montage de projets photovoltaïques portés par les entreprises et les exploitants agricoles. 15 p.

Carbonnier, 2010

Le développement du photovoltaïque. Compétence Haute Savoie n°23. Conseil général de Haute Savoie. 16p.

Charpin et Trink (coord.), 2011

Rapport de la concertation avec les acteurs concernés par le développement de la filière photovoltaïque. 58 p.

Degryse (coord.), 2011

Installations photovoltaïques au sol : guide de l'étude d'impact. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. 141 p.

European Photovoltaic Industry Association et Greenpeace, 2011

Solar generation 6 : solar photovoltaic electricity empowering the world. EPIA. 100 p.

Fédération des Entreprises Publiques Locales, 2009

Guide de recommandations : Les EPL et le photovoltaïque : modalités d'intervention des collectivités territoriales. 31 p.

Gaspard, 2011

Le photovoltaïque et l'éolien : perceptions et conflits locaux. *In* Réunion d'information et d'échange « Photovoltaïque et éolien : avenir ou à venir ? » Association Technique Energie et Environnement, 19 avril 2011. Ecole des Mines de Nantes.

International Energy Agency, 2010

Technology roadmap. Solar photovoltaic energy. IEA. 48 p.

Lincot, 2007

La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. *Découverte* n°344-345. Janvier-Février 2007. pp. 47-65.

MEEDAT, 2008

Rapport au Parlement : programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité. 132 p.

Observ'ER, 2010

10^{ème} Bilan EurObserv'ER : Etat des énergies renouvelables en Europe. 203 p.

ODEM, 2010

Atlas de l'environnement du Morbihan. Edition 2010. 300 p.

Poignant, 2009

Rapport d'information sur l'énergie photovoltaïque. Commission des affaires économiques de l'Assemblée Nationale. 119 p.

Poize, 2010

Développement du photovoltaïque sur les bâtiments des collectivités : quels montages juridiques ? Actes de la journée technique CoTITA centre-est et CNFPT Rhône-Alpes, 6 mai 2010 Lyon.

Terneyre, 2011

Domaines publics et énergies renouvelables. *Environnement* n°2, février 2011, dossier 3.

Sites internet :

www.photovoltaique.info/

www.developpement-durable.gouv.fr

www.energies-renouvelables.org

www.epia.org

www.iea.org

www.cnrs.fr

www.narbonne.com

www.hespul.org

www.raee.org

www.cler.org

www.sedhs.com

www.sellor.com

www.citevoile-tabarly.com

Annexes

Annexe 1 : Article de D. Lincot sur les technologies du photovoltaïque

Annexe 2 : Bilan national des raccordements au 31 mars 2011

Annexe 3 : Note technique sur les tarifs d'achat (photovoltaique.info)

Annexe 4 : Résultats détaillés par type de panneaux photovoltaïques