

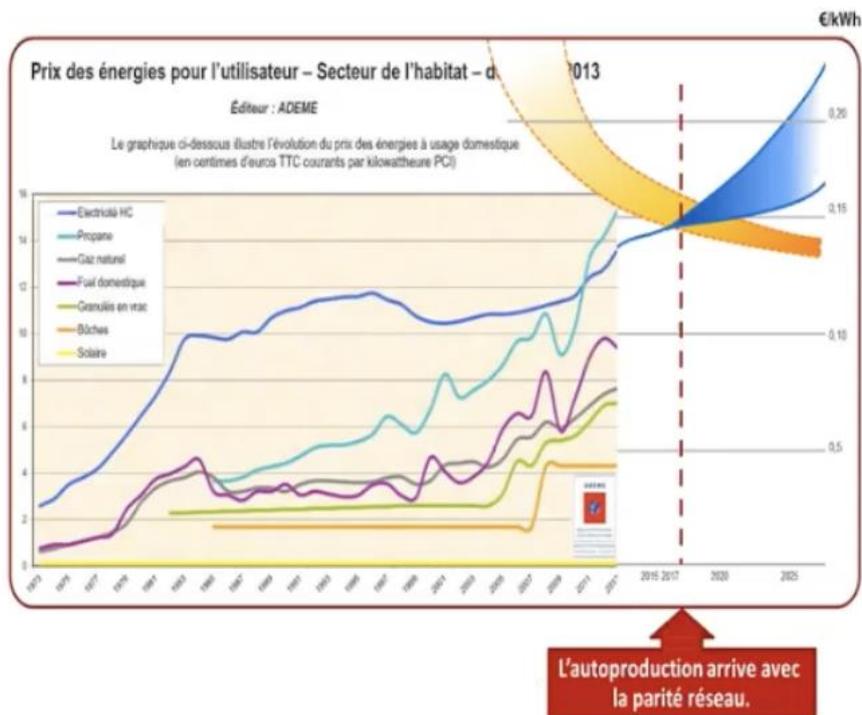
Olivier Verdeil : Optimisation de l'utilisation des toitures en Méditerranée, avec un focus porté sur les usages des toits dans la région

Bonjour à tous, je ferai un rapide état des lieux de l'énergie photovoltaïque, et plus particulièrement sur le sujet du jour : les toitures en Méditerranée. L'INES est composé du Pôle Recherche et Innovation, du Pôle Formation et Expertise dont je fais partie, et du Pôle Rayonnement et Communication. L'INES a pour mission d'aider la filière solaire à se développer durablement.



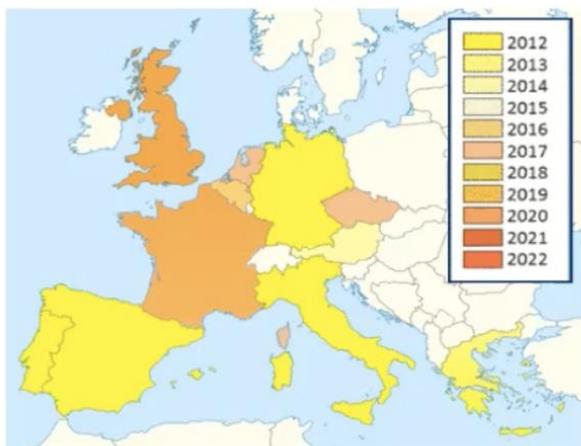
Le bâtiment à droite de la photographie, où je suis actuellement installé, possède une architecture intéressante. La solution de bioclimatisation permet au bâtiment d'Hélios d'être rafraîchi à l'aide entre-autre d'une toiture en V (solarisée), qui fait rentrer l'air frais de la nuit dans son patio, grâce à l'effet Venturi. Le bâtiment de gauche, équipé d'une plus grande qualité de panneaux solaires, est dédié à la recherche. Ma spécialisation n'est pas tant dans l'architecture du bâtiment que dans sa technicité photovoltaïque.

Pourquoi parle-t-on d'énergie sur les toits et ailleurs ? Dans le contexte politique actuel, petit rappel à la parité réseau en Europe et en Méditerranée où le coût des énergies augmente. Nous sommes à la croisée des temps où l'on produit des technologies efficaces et bon marché, notamment grâce à l'Asie, même si cela entraîne malheureusement certaines conséquences.

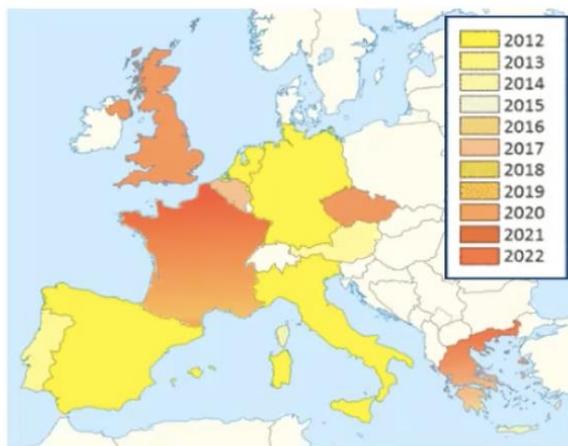


Le graphique ci-dessus indique le croisement des courbes économiques, entre le coût d'une énergie « conventionnelle » (électrique, pétrole, gaz, charbon, etc.) et le coût d'énergies renouvelables.

Secteur résidentiel



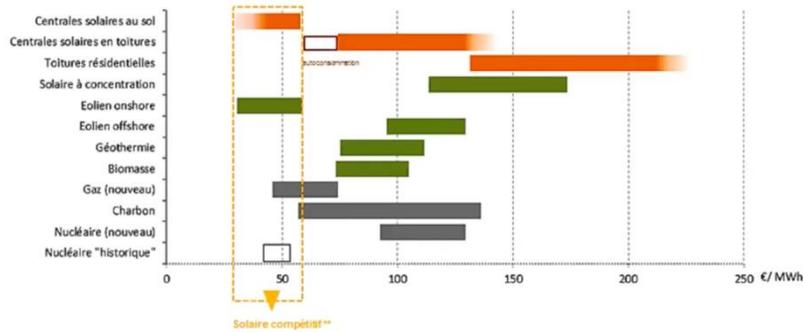
Secteur tertiaire



Ces deux cartes présentent les pays en avance, la date à laquelle ils ont atteint la parité réseau, c'est-à-dire à partir de quand l'énergie renouvelable devient plus intéressante économiquement que l'énergie conventionnelle du réseau. Toutefois, si l'Espagne, le Portugal et l'Italie sont bien pourvus grâce à leur rayonnement solaire naturel, il est à constater que l'Allemagne avait déjà atteint cette parité réseau dès 2012, malgré un ensoleillement moins favorable. Ça s'explique par le coût plus élevé de l'électricité et des choix politiques menés.

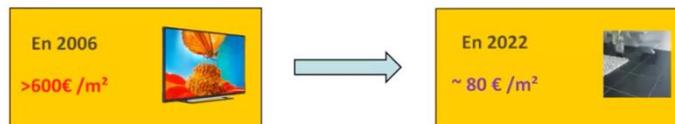
Aspects économiques : comparaison des coûts de production - monde

Levelized Cost Of Electricity* (Monde 2016)



Source : http://www.observatoire-energie-photovoltaïque.com/images/pdf/fts_indicateurs_2016t1_v2.pdf

© INES Plateforme Formation & Evaluation



L'installation solaire devient un investissement économique intéressant : aujourd'hui produites en masse, les installations ont un prix moindre. En 2006, le coût d'un module ramené au mètre carré était supérieur à 600€. On pouvait à l'époque choisir d'acheter un mètre carré de panneau solaire, ou un écran Télé plasma. En 2022, le coût d'un module ramené au mètre carré a quasiment été divisé par dix pour arriver à environ 80€/m². Aujourd'hui, cela correspond à choisir entre un mètre carré de carrelage ou de panneau solaire en grande surface de bricolage. Depuis 2016, les énergies solaires et éoliennes ont atteint des coûts compétitifs, bien inférieurs aux autres formes d'énergie. En France, c'est un peu tabou, nous avons tellement misé sur le nucléaire qu'il est encore délicat d'évoquer des solutions moins coûteuses.

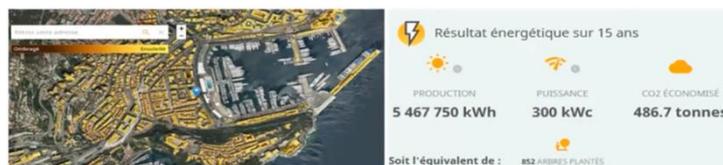
Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#!



https://autocalsol.ines-solaire.org/



http://www.cadastresolaire.mc/

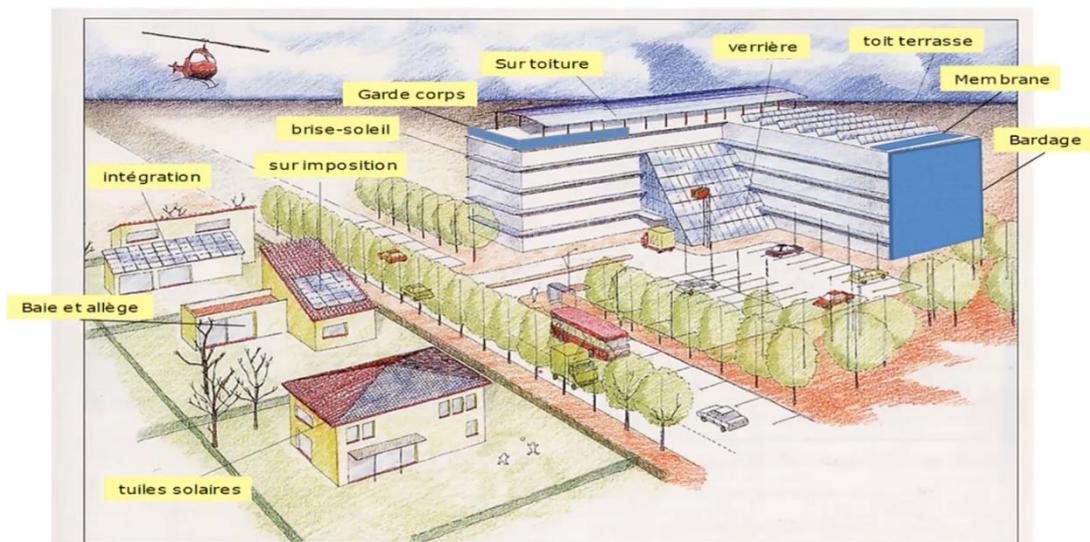
© INES Plateforme Formation & Evaluation

Afin de déployer l'énergie photovoltaïque (en particulier sur les toits), il est nécessaire de recourir à des outils d'aide à la décision. La commission européenne a développé un outil, auquel vos impôts ont contribué, et que vous pouvez vous-même utiliser : PVGIS. Il permet de géolocaliser le projet, que l'on soit au Portugal, en Sicile, au Maroc, en Tunisie ou ailleurs, afin de récupérer les données solaires à partir desquelles on va voir quel est le « productible »

qu'on va obtenir sur ce territoire en prenant en compte l'orientation de la toiture, son inclinaison, etc.

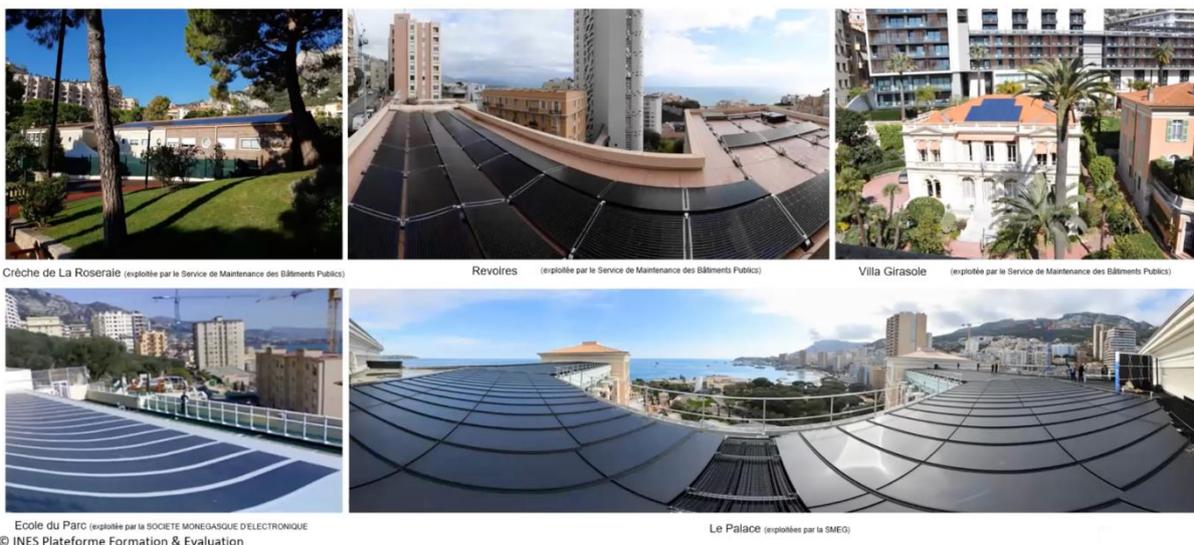
L'INES a développé son propre outil, AutoCalSol, qui dispose d'une version gratuite et d'une version payante pour les professionnels avec une licence à 200€. Il récupère les bases de données des gisements solaires issus de PVGIS auxquels s'ajoute notre base de calculs afin d'y intégrer le profil de consommation et d'en déduire la part d'autoconsommée et autoproduite. Un troisième outil : les cadastres solaires. Vous trouverez sur l'illustration ci-dessus l'exemple de Monaco ; toutefois cet outil permet surtout de vérifier le potentiel d'équipements solaires de la localisation, afin de placer, de manière raisonnée bien sûr, des installations compatibles avec les activités qu'il peut y avoir sur ces surfaces. Ces outils sont précieux : ils permettent de chiffrer économiquement la rentabilité (ou non) d'un projet et/ou sa faisabilité.

Bien entendu, mettre du solaire sur les toits ne se fait pas tout seul. Il est vrai que les incitations économiques et financières peuvent faciliter cette prise de décision pour faire de l'autoconsommation, pour faire de la vente de surplus ou de l'injection réseau. Nous avons besoin du soutien des gouvernements, comme ce fut le cas à Monaco et en France grâce à des subventions. Mais chaque pays décide ou non d'enclencher ce genre de d'accompagnements financiers.



© INES Plateforme Formation & Evaluation

L'installation solaire peut prendre plusieurs formes. Sur les toits sous forme de tuiles photovoltaïques, sous forme de membranes souples, sous forme de châssis, etc. Certains aspects sont plus esthétiques que d'autres. Il est impératif de sécuriser l'accès aux toitures, ces installations nécessitent donc des garde-corps, ce qui peut amener à la conception de produits à double usage : sécurisation technique des habitants et production d'énergie. On sécurise tout en produisant, cela a plusieurs avantages. On peut faire du bardage, de la verrière, du brise-soleil... Pour lutter contre la montée en température du bâtiment en période de canicule, l'INES a rapidement compris l'intérêt des brise-soleil pour refroidir les bureaux. Le solaire peut par ailleurs être intégré au vitrage.



Voici quelques exemples de réalisations concrètes en Méditerranée. J'ai récemment animé une formation pour les citoyens monégasques, où l'on m'a demandé de parler de ces projets présentés ci-dessus. On y voit plusieurs utilisations des toitures, bien qu'elles soient ici essentiellement des toitures techniques. N'étant pas des toitures mixtes, tout est mis sur le photovoltaïque puisque ces espaces ne sont pas réservés à d'autres usages. Ces bâtiments posent la problématique du milieu urbain dense, et des ombrages en particulier.

Le Grimaldi Forum devient le plus important producteur d'électricité photovoltaïque de Monaco



- ⇒ Nombre de modules : 1500
- ⇒ Surface : 2500m²
- ⇒ Puissance totale : 526kWc
- ⇒ Inauguration: 20 septembre 2019
- ⇒ Production annuelle 640 000 kWh
(équivalent à 170 foyers de la Principauté)
- ⇒ Technologie de module « haut rendement »
(Sunpower X22-360-com)

<https://www.smeg.mc/fr/environnement/nos-actions-developpement-durable/photovoltaïques>

Le Grimaldi Forum de Monaco est un bel exemple de réalisation solaire, ayant opté pour une stratégie clairement énergétique. Comment contribuer à faire des économies d'énergie sur les gros bâtiments énergivores par l'implantation de systèmes photovoltaïques ? Des exemples divers et variés couvrent la Méditerranée, à l'instar de l'Italie :

Cette installation photovoltaïque de 220 kW (2008), est un exemple d'intégration du photovoltaïque en site protégé !



La toiture photovoltaïque de l'auditorium vue depuis la coupole de basilique Saint-Pierre (Rome)

© INES Plateforme Formation & Evaluation

<http://www.photovoltaique.info/Photovoltaique-et-patrimoine.html>

L'un des reproches récurrents fait à l'énergie photovoltaïque est le coût qui serait trop élevé, sauf qu'il n'est plus recevable aujourd'hui. Certains critiquent également l'aspect peu esthétique des installations, mais cela se discute aussi. On peut tout à fait installer des panneaux photovoltaïques dans des lieux touristiques et historiques sensibles, mais pour cela, nous avons besoin des architectes, et surtout qu'ils se forment aux technologies. L'INES y contribue à sa manière. Nous ne travaillons pas les uns contre les autres, mais nous devons travailler ensemble.



Panneaux souples et ultralégers d'HELIAITEK (fabriqués en Allemagne)



Solution en bardage

© INES Plateforme Formation & Evaluation



La centrale photovoltaïque du marché Saint-Charles de Perpignan est équipée de grandes tuiles PV SUNSTYLE (fabriquées en France à Châtelleraut/Poitiers)

Il existe de multiples solutions pour une meilleure acceptation des installations photovoltaïques. Voici quelques produits innovants très intéressants d'un point de vue technique, comme la solution ultralégère d'HELIAITEK, production allemande, qui permet d'intégrer en façade de la membrane souple, donc des technologies organiques aux colorations modifiables. Existente aussi les solutions de bardage : quand la toiture n'est pas accessible ou ne permet pas une surcharge importante, il est possible de poser les panneaux photovoltaïques en façade. Il existe également des produits intégrés à la toiture, comme l'exemple d'un des bâtiments de la ville méditerranéenne de Perpignan.



Tuiles photovoltaïques « invisibles » de DYAQUA (fabriquées en Italie) !



Panneaux photovoltaïques blancs ou colorés de SOLAXESS (Fabriqués en Suisse)



Ensemble de tuiles photovoltaïques colorées d'EDILIANS (fabriquées en France) !

© INES Plateforme Formation & Evaluation

<https://3s-solarplus.ch>



L'entreprise Suisse SOLAXESS, spécialisée dans la coloration des panneaux photovoltaïques, peut aujourd'hui créer des panneaux blancs qui s'intègrent parfaitement dans tout le pourtour de la Méditerranée. La Grèce avait par ailleurs choisi de manière ingénieuse de peindre en blanc les façades et les toits des maisons, pour des raisons esthétiques mais avant tout pour des raisons climatiques.

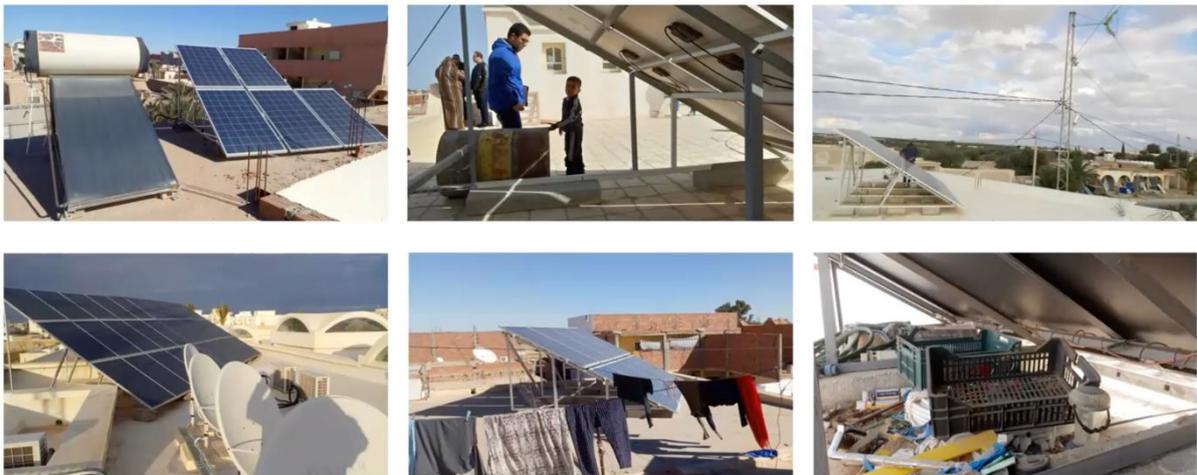
Vouloir colorer les modules photovoltaïques équivaut à rajouter une paire de lunettes teintées, qui a comme inconvénient de provoquer une perte de performance. Mais c'est le compromis à faire entre installer des panneaux photovoltaïques dans des quartiers où cela ne serait pas accepté et choisir de colorer les panneaux (qui sont forcément moins performants que des modules non colorés). Des producteurs italiens produisent des tuiles solaires « invisibles », par ailleurs présentées en formation à l'INES, qui intègrent des cellules photovoltaïques dans les matériaux, avant d'être recouvertes d'une texture brique. Les anti-photovoltaïques qui détestent la couleur bleue peuvent désormais être rassurés ! On peut donc imaginer solariser aussi les toitures traditionnelles, typiques de la Méditerranée, avec néanmoins toujours la même contrainte : plus la technologie est dissimulée, moins elle est performante.



© INES Plateforme Formation & Evaluation

Continuons notre tour d'horizon méditerranéen. Voici des photographies de projets au Maghreb, (Maroc, Algérie, Tunisie). Nous verrons d'abord la mise en œuvre des toitures photovoltaïques avant d'aborder le souci de compatibilité avec les activités qu'il y a sur les toits, longuement évoquées plus tôt.

On peut voir sur les images ci-dessous la concurrence / de surface disponible, de deux formes d'énergie : le solaire thermique (pour produire de l'eau chaude) et le solaire photovoltaïque (pour produire de l'électricité). Les deux sont complémentaires et intéressantes, mais lors de surface limitée, elles se retrouvent parfois en concurrence d'espace ou risquant de faire de l'ombre entre elles. Sur la photo inférieure gauche, l'installateur a dû faire preuve de talent et de créativité structurelle pour pouvoir rehausser la structure photovoltaïque à cause de l'acrotère du muret qui a entraîné un gros problème d'ombrage. Evoquons aussi la question de l'esthétique, de la résistance aux intempéries et au vent car plus on s'élève, plus grand est le risque que cela soit arraché... voilà les défis techniques encore à résoudre sur ces territoires. La photo centrale montre un choix de conception, celui de mettre les panneaux à plat à cause du même souci causé par les acrotères. Il arrive qu'une installation un peu excessive déborde des surfaces disponibles, comme le mauvais exemple de la photo inférieure droite, bien que la structure initiale n'était déjà pas très belle et créait des prises au vent importantes, ce qui ne manquera pas d'entraîner des problèmes techniques sur les modules.



©INES Plateforme Formation & Evaluation

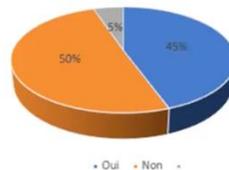
Mes différentes interventions lors d'audits d'installations m'ont montré que la gestion de l'espace sur toiture peut devenir conflictuel. La photo supérieure gauche montre, à côté des installations solaires, des barres en fer qui dépassent, car au Maghreb, de génération en génération, la maison s'agrandit en même temps que la famille. Cette toiture est donc provisoire, dans cinq ans, elle aura peut-être été augmentée en hauteur d'un étage. Les barres en fer sont donc laissées afin de pouvoir développer la toiture au fur et à mesure, engendrant une contrainte supplémentaire à prendre en compte, à laquelle s'ajoute celle de l'activité humaine. En effet, les populations se retrouvent sur les toits, entraînant parfois des dommages aux installations comme ce mignon petit garçon de la photo centrale (haut) qui décollait ingénument les étiquettes des installations, ce qui empêchait de lire les informations techniques des panneaux. La mise en œuvre d'un dialogue avec les utilisateurs permet de faciliter les échanges et de mieux faire comprendre les contraintes des installations

techniques : dans cette optique, l'utilisateur doit toujours être informé des conséquences, d'éventuelles modifications d'usage de l'installation ou de l'équipement.

Il y a beaucoup de choses sur les toits, des câbles électriques, des pylônes, souvent des branchements pour le raccordement électrique des maisons, des paraboles satellites, les groupes de climatisation, du linge, des céréales et du poisson qui sèchent, des chaises longues, des hamacs... Au Maghreb, il n'est pas rare de voir que les toitures servent également à entasser des matelas, des caisses, et tout ce que l'on ne veut pas voir à l'intérieur, comme un débarras ou une sorte de grenier. Cela peut entraîner des conflits d'usage avec les installations solaires, lesquelles ne doivent absolument pas être « agressées » sur la surface arrière des modules, au risque de potentielles électrocutions si ses membranes sont perforées. Il faut dès lors être très attentif à la manière de concilier les usages, libérer de la place pour de la production d'énergie tout en respectant l'activité initialement en place.



Nettoyage régulier des modules

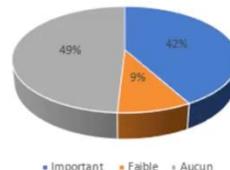


• Oui • Non •

Statistiques issues de la campagne de plus de 130 audits PV sur tout le territoire Tunisien en 2017

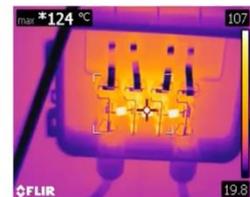


Présence masque



• Important • Faible • Aucun

Statistiques issues de la campagne de plus de 130 audits PV sur tout le territoire Tunisien en 2017



©INES Plateforme Formation & Evaluation

Le retour d'expérience met en lumière les problèmes liés à l'entretien des toitures et de l'ombrage à prendre en compte.

Finalement, l'énergie solaire photovoltaïque est une ressource gratuite et qui possède un énorme potentiel réparti sur toute notre planète. Les modules sont devenus moins chers qu'un smartphone ! À sa grande souplesse de production et à la fiabilité du matériel -recyclé à 95%- s'ajoute l'avantage de pouvoir décentraliser la production, permettant de devenir partiellement -voire totalement- autonome, l'autonomie étant dans le contexte géopolitique mondial actuel un enjeu crucial.

Un projet photovoltaïque réussi passe :

- par un technico-commercial compétent, capable de prendre en compte les besoins de son client, tout en l'orientant sur les meilleures solutions administratives, techniques et économiques ;
- par un installateur suffisamment formé et expérimenté pour réaliser un dimensionnement et une mise en œuvre conforme et irréprochable ;

- mais aussi par un utilisateur final bien sensibilisé au bon fonctionnement de son installation.

Pierre Massis : Merci Olivier. Effectivement, l'espace en toiture-terrasse est un sujet de négociation, cet espace n'est pas illimité et l'installation doit être raisonnée, compatible et discrète. L'installation de garde-corps photovoltaïques, notamment dans des villes en réhabilitation, peut être un sujet très intéressant.

Charles André : Existe-t-il des dispositifs de pergolas photovoltaïques ? J'imagine que cela pourrait être une bonne solution pour procurer à la fois usage et confort, notamment au vu du soleil.

Olivier Verdeil : On a fait de la télépathie, j'y pensais justement pendant ta présentation. La pergola, que je n'ai pas évoquée, est effectivement une solution existante qui permet ce mix d'activité. L'agri-photovoltaïque permet, par la surélévation du photovoltaïque, d'installer une serre en dessous ou d'autres activités. En termes de coût, cela ne modifie pas grand-chose, il s'agit simplement d'une surélévation de la structure porteuse. L'enjeu technique est plutôt le non-arrachement de la structure sur les emprises au vent.

Pierre Massis : Le sujet de l'emprise au sol (de la terrasse) sera justement abordé par les oratrices de Merci Raymond, problème qui peut être réglé par une nouvelle couche.