

Graphes photovoltaïques

novembre 2011 - Juin 2020

Objectif

Le rendement réel d'une toiture solaire est intéressant à connaître, ne serait-ce que pour détecter les baisses liées aux salissures.

A raison d'une valeur toutes les 10 minutes, soit 6 valeurs à l'heure, 144 valeurs par jour, 4300 valeurs par mois, 50 000 valeurs par an, il est difficile d'appréhender les variations de l'énergie produite au cours du temps.

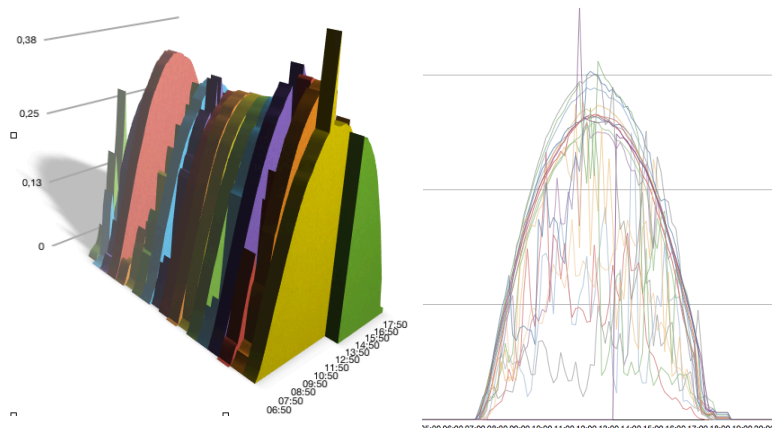
L'objectif est de voir d'un seul coup d'oeil les variations sur une journée et les comparer tout au long de l'année, puis d'une année sur l'autre.

Il s'agit donc de représenter visuellement l'énergie produite selon un graphe à 3 dimensions :

- 1 : la journée par tranche de 10 minutes
- 2 : l'année, jour par jour
- 3 : le nombre de kWh produits dans chaque tranche de 10 minutes

Les données sont prises en sorties de l'onduleur, en valeurs cumulées. Elles sont traduites en valeurs 10 minutes par simple soustraction entre valeurs successives.

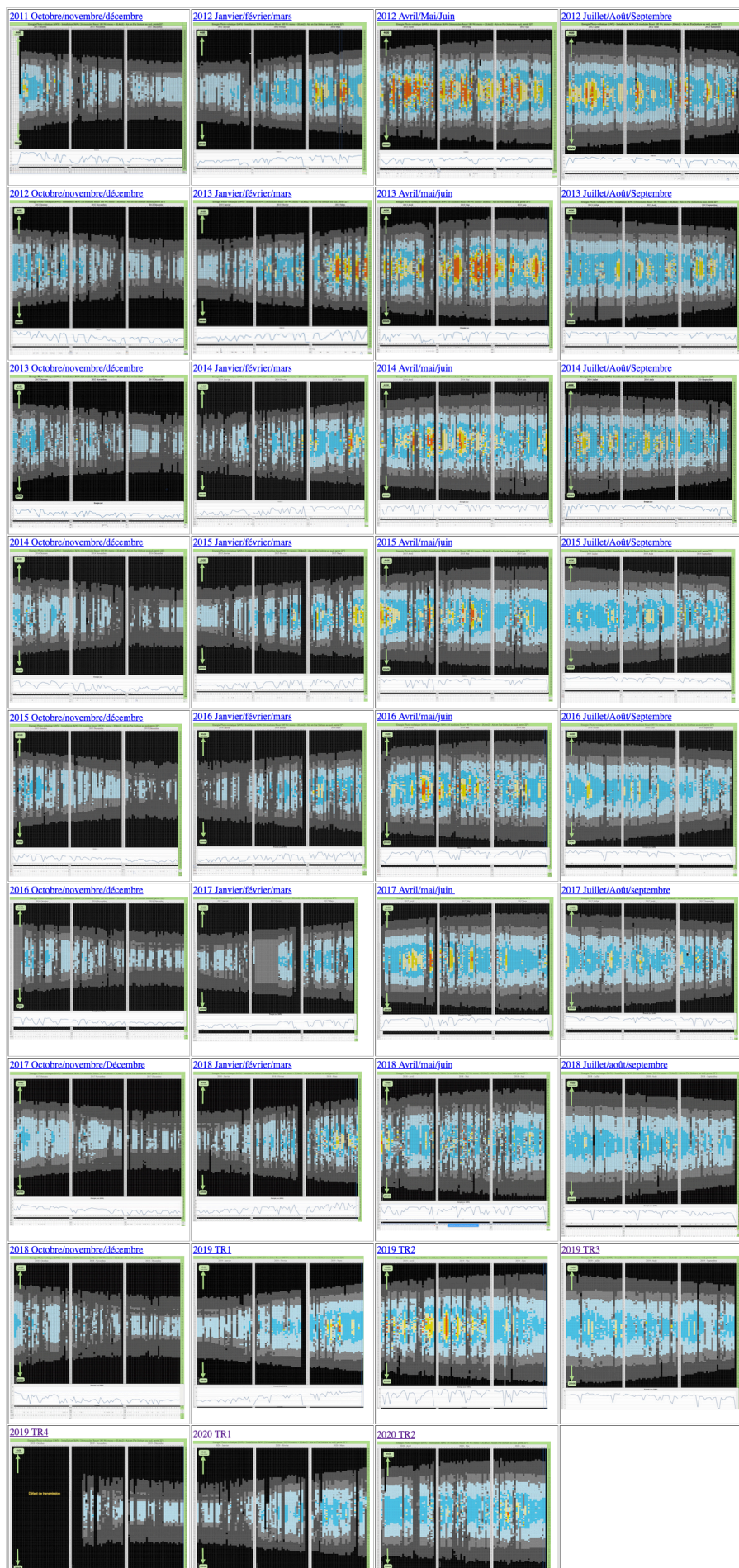
Les graphes en 3 dimensions selon 3 axes sont souvent proposés, mais la vue perspective qui en résulte se prête mal à une analyse fine.



Le [graphe proposé](#) est un graphe à plat, avec la 3ème dimension sous forme de couleurs apparentées aux couleurs de la journée :

- Noir : pour une production nulle (la nuit)
- Gris foncé : $P < 100W$ (exemple : lever ou coucher du soleil)
- Gris clair : $P < 200W$ (exemple : ciel de pluie)
- Bleu clair : $P < 300W$ (exemple : soleil à 30° de l'horizon)
- Bleu soutenu : $P < 350W$ (exemple : soleil légèrement voilé)
- Jaune clair : $P < 380W$ (exemple : soleil au zénith en février)
- Jaune soutenu : $P < 400W$
- Rouge : $P > 400W$ (exemple : soleil est au zénith en juin)

400 000 valeurs sur ce visuel, dont chacune est presque identifiable individuellement !!!!



Les seuils de couleur pourraient évoluer pour satisfaire une analyse très spécifique, par exemple pour étudier des corrélations avec la pluie. Cependant, les valeurs numériques apparaissent dans chaque cellule.

Le graphe va de 4h du matin à minuit. En bas du graphe apparaît :

- la production totale de chaque jour, complétée par la production du mois et celle du trimestre.
- la pluviométrie (et la neige) issue du site
- <http://www.meteociel.fr/climatologie/villes.php?code=7654&mois=4&annee=2015>
- le nombre d'heures de soleil dans la journée, correspondant à une production supérieure à un seuil

Le graphe trimestriel est sous forme .pdf qui a l'avantage d'un zoom immédiat. En petit, le graphe peut être accolé aux autres graphes du reste de l'année. Les graphes annuels ainsi obtenus peuvent se superposer.

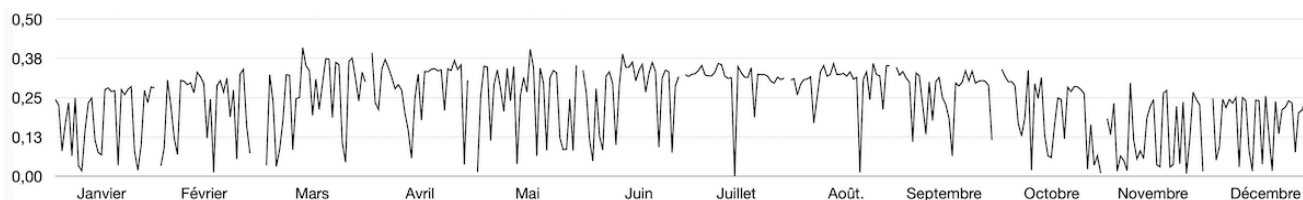
Les graphes seront complétés dans le futur au fur et à mesure de la production. Bien sûr les données sont disponibles par ailleurs en format .xls trimestriel pour satisfaire d'autres exigences statistiques.

Analyse

La durée quotidienne de production suit la durée du jour.

L'incidence du soleil a une forte influence. Il faut que le soleil soit environ à 30 degrés au-dessus de l'horizon sud-est pour que l'installation produise significativement. Une inclinaison plus importante de la toiture n'apporterait rien tant que le soleil est hors d'un grand quart sud. Symétriquement, la production cesse lorsque le soleil chute en-dessous de 30° au-dessus de l'horizon sud-ouest. Sur une journée ensoleillée, la production est ainsi quasi nulle 2 heures en début de journée et 2 heures en fin de journée.

Les nuages cassent la production même en plein jour, y compris les traînées blanches des avions. Il serait intéressant d'en faire un bilan précis dans les zones où croisent de nombreux avions de ligne. En première estimation, la perte due aux avions sur une journée ensoleillée est de 1 à 2%. La production sur un an (2018-kWh), chaque jour entre 12h40 et 12h50 montre que les nuages ont un énorme rôle.



La transparence de l'air (degré d'humidité, pollution, brumes,...) a une influence. Il faudrait corrélérer avec le degré d'humidité, les poussières et le vent (mistral,...).

En Provence, le ciel est rarement plombé par des nuages bas et sombres qui cassent la production, mais les journées sans nuages ne sont pas si fréquentes que cela.

La pluie un peu forte du 18 mars a lavé l'installation et le mistral des jours suivant a gardé l'atmosphère limpide.

La pluie faible du 23 mars a déposé des salissures sur l'installation. Il serait intéressant d'approfondir le rôle des pluies sales et leur résorption dans le temps (la rosée du matin contribue au nettoyage). En première estimation, ces salissures pourraient coûter 5% chaque jour.

En janvier, la production dure 5h avec un rendement d'environ 2/3 de la puissance sous atmosphère limpide. Le rendement reste très faible très longtemps en début et fin de journée alors qu'il fait en réalité plein jour. Les nuages font s'écrouler la production comme le montre le graphique complémentaire.

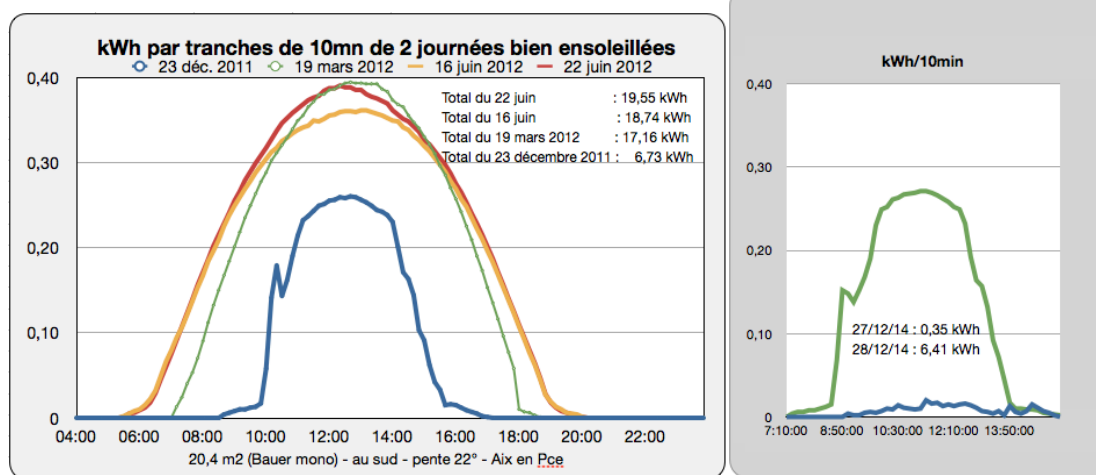
L'enseignement majeur est que les panneaux sont sensibles essentiellement au rayonnement direct du soleil. Le plein jour sans soleil ne produit pas.

A noter que la neige a occulté totalement le panneau jusqu'à midi le 31 janvier et presque totalement dans l'après midi.

Rendement maximal

Pour fixer les idées, en cherchant des journées bien ensoleillées, l'installation peut produire au mieux :

- 7 kWh au solstice d'hiver
- 17 kWh au début du printemps
- 21,4 kWh à mi-mai
- 18,7 kWh au solstice d'été par forte chaleur et salissures



Les nuages de décembre 2012 ont divisé la production possible par 1,4. Si aucun nuage n'était venu à troubler le ciel en décembre, la production du mois aurait dépassé les 230 kWh contre 160 kWh réellement produits. En novembre 2011, elle aurait dépassé les 300 kWh contre 187 dans la réalité.

Fin 2014, on trouve une journée toute nuageuse à 0,35 kWh suivie d'une journée très claire à 6,41 kWh

Sur la base des kWh/jour maxima théoriques respectivement de Janvier à décembre : 9;13;16;18;20;20;19;18;16;14;11;7,5 :

Sur une année sans aucun nuage, la production serait d'environ 5500 kWh contre 4400 kWh dans la réalité.

Le maximum obtenu est de 0,46 kWh sur 10mn, soit 2,76 kW en puissance instantanée, contre 2,96 kWc théorique, soit environ 15% de pertes.

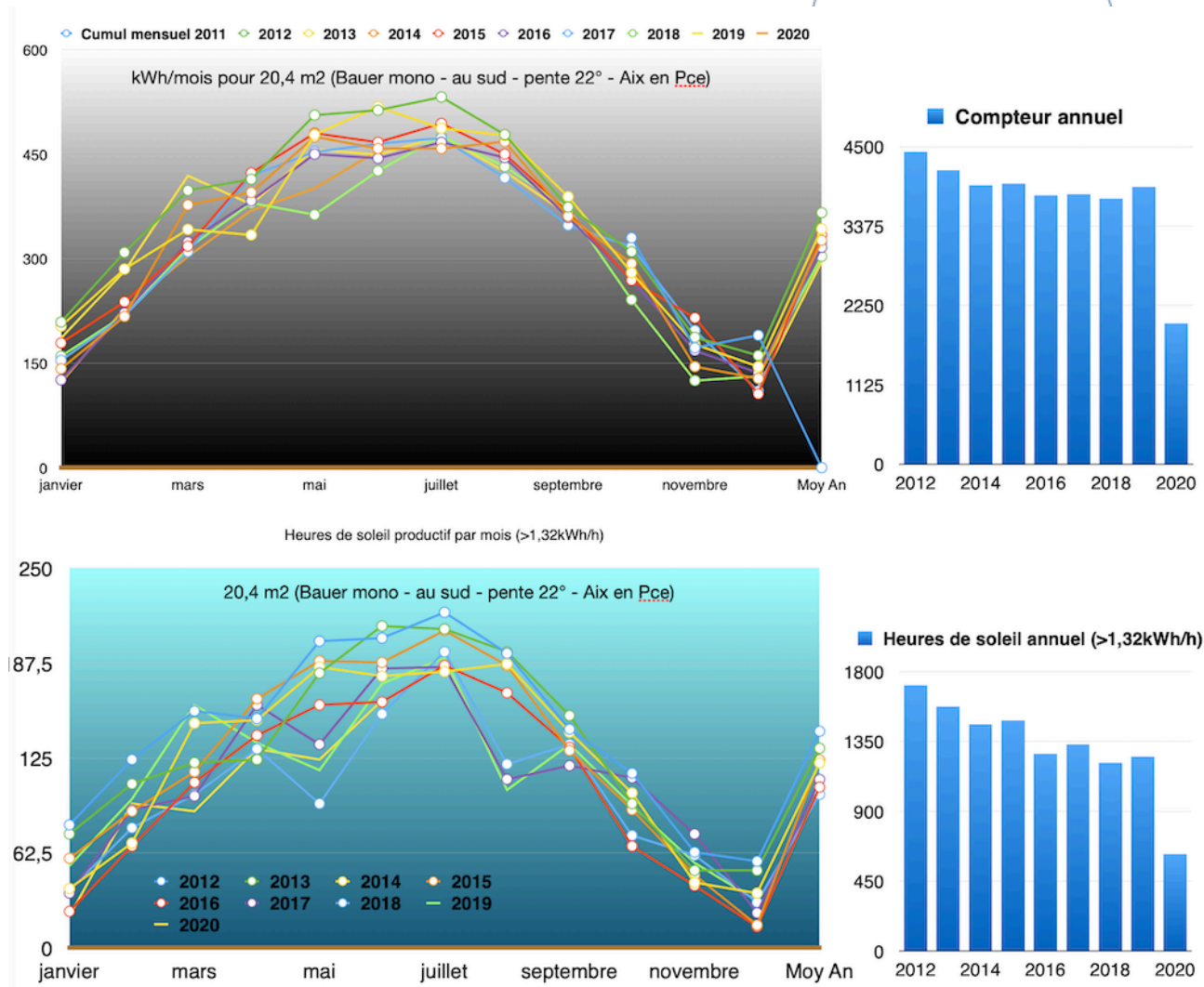
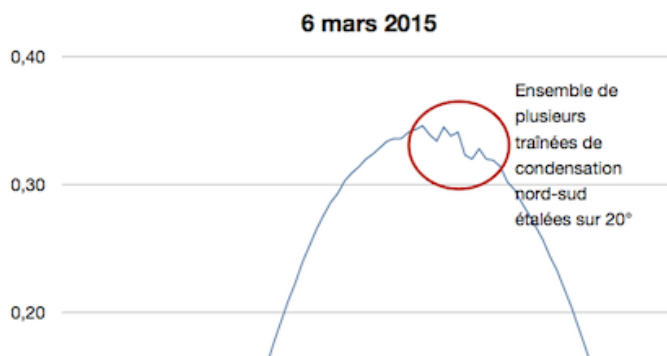
La température et les salissures peuvent faire chuter le rendement d'environ 15% au maximum du plein soleil. Les nuages provençaux font chuter la production d'environ 20%.

Le minimum d'une journée est de 0,35 kWh (20 fois moins qu'une belle journée d'hiver).

Les avions ont un impact mesurable (environ -5% pendant quelques minutes).

Variation sur l'année

Sur un an, la production suit l'évolution de la durée du jour, en y ajoutant les aléas nuageux (1600h de soleil par an en moyenne). En 2014, le mois de décembre a été perturbé, comme on peut le voir sur le graphique général où, par exemple, le 28, l'installation a produit moins de 0,35 kWh.



Globalement, la décroissance avec le temps est évidente, mais non linéaire. Il faudrait corrélérer la production avec :

- l'évolution de la couverture nuageuse, qui a une incidence importante sur la production (il faudrait un héliographe). A noter l'impact des traînées de condensation des avions (voir ci-dessus).

Une toiture solaire n'est pas un héliographe (qui donne la durée pendant laquelle le soleil produit des ombres distinctes). La durée d'ensoleillement est ici relative, choisie arbitrairement (sachant que les cellules sont essentiellement sensibles aux radiations solaires) comme étant la durée de la production supérieure à 220 Wh sur une tranche de 10 minutes. Cette procédure présente le défaut d'utiliser des données dont les facteurs de décroissance avec le temps ne sont pas connus. On voit que la décroissance des heures

de soleil suit assez bien la décroissance de la production. Donc, faute d'héliographe, pas de conclusion hâtive sur l'ennuage ou sur la production.

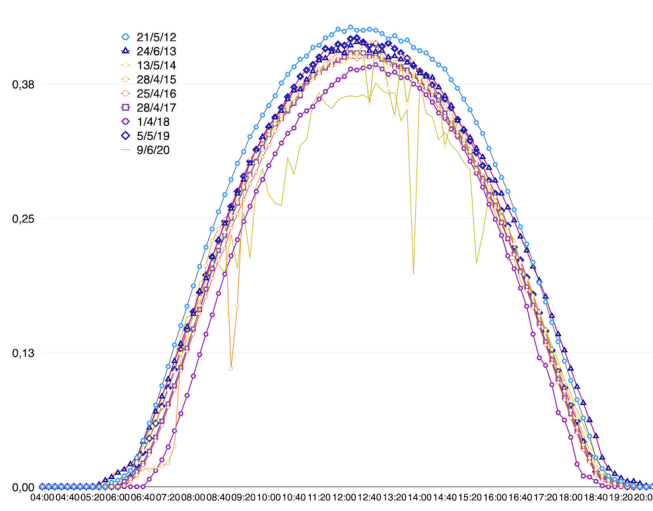
- la propreté des panneaux. La production s'améliore après de fortes pluies qui lavent autant le ciel que les panneaux.
- L'impact d'une petite ombre en hiver, due à des arbres qui ont grandi.
- L'évolution du rendement de l'onduleur (?)

Le graphique général permet aussi de repérer facilement une défaillance de l'installation, par exemple le 16 novembre 2011, où l'installation a été hors circuit, ou début février 2017 où les données fines ont été perdues, avec reconstitution modélisée.

Sur l'année, l'installation produit environ 4 MWh, soit un **facteur de charge de 16%**, en considérant l'installation à son maximum de 2,7 kWh par heure, 24h/24, soit 24 MWh.

D'une année sur l'autre, on note un écart de 18% en décembre et de 16% en mars. Les mois d'été sont 3 fois plus efficaces que les mois d'hiver.

Production du jour max de chaque année



Sur le dernier trimestre 2011, il apparaît que la production commence plus tard qu'elle ne finit plus tôt : 80 mn en moins le matin contre 70mn en moins le soir. Le même phénomène apparaît symétriquement au premier trimestre 2012. La lisière d'arbres provoque des ombres dissymétriques le matin et le soir. Ce rideau empêche l'analyse du rendement en fonction de la température de rayonnement solaire dont la couleur n'est pas la même le matin et le soir.

En 2014, janvier et février ont eu une mauvaise météo avec 1/3 d'énergie en moins. Décembre 2015 n'a guère eu de soleil. L'impact est moindre que si cela avait lieu en milieu d'année, comme au mois de juin, avec 10% en moins, avec probablement des panneaux trop poussiéreux - après une pluie, le rendement semble meilleur. La mesure des précipitations se fait par lecture d'un simple pluviomètre gradué, de façon peu rigoureuse. En 2015, les précipitations sont issues du site (données mensuelles pour Aix en Provence)

En 2017, certains arbres ont poussé et font de l'ombre les matins d'hiver. La baisse de rendement est sensible mais reste négligeable car la production est faible lorsque le soleil est bas. A suivre cependant.

<http://www.meteociel.fr/climatologie/villes.php?code=7654&mois=4&annee=2015>

Nota

La durée du jour sur une année est de 4453 heures (à Nice). Sur Janvier 2017, la durée du jour cumulée est de 288h. La durée cumulée pendant laquelle l'installation a produit plus de 1320 Wh/h est de 36 h, soit 1/8 de la durée du jour. Des cellules sensibles à tout le spectre UV-IR plus qu'aux seuls rayons directs du soleil devraient permettre une bien meilleure production.

Economie

L'installation 3kWc (2,96kWc, soit 20,4m² en réel) a été confiée après devis de 15640 € TTC à l'entreprise Geophoton (Aubagne) et payée comptant.

Le crédit d'impôt a été de 50%, versé sur le rôle de l'année d'installation.

La facture de la première année d'exploitation a été de 2038€ (4430 kWh), dont il faut retirer 60€ de location de compteur, payée au mois anniversaire de la mise en exploitation. Le contrat de rachat par EdF à 0,46€ du kWh est valable pour 20 ans, avec indexation sur l'inflation.

Sauf panne, l'installation devrait donc être amortie en moins de 4 ans (sans compter le coût d'une éventuelle remise en toiture de tuile en fin de vie du panneau si le propriétaire ne souhaite pas continuer la production avec un nouveau panneau). Belle aubaine, on n'en demandait pas tant. Attention cependant, car l'installation est optimisée : orientée au sud, sans ombre dans une région ensoleillée.

Parallèlement, la consommation EdF pour une maison récente (Qualifelec) , chauffage et eau chaude électriques, de 110m² sur 2 niveaux, habitée par un couple, et quelques enfants lors des vacances, est de 12500 kWh moyenne annuelle (1100€). Le photovoltaïque couvre environ le tiers des besoins énergétiques de la maison.

A noter qu'un voisin, équipé de façon similaire, a été démarché à domicile sur la base suivante : aucun frais d'installation et transfert de propriété au bout de 12 ans. Devinette : l'installation étant amortie en 4 ans, à qui profite les 8 années d'exploitation dont mon voisin ne verra pas le premier centime (soit environ 16000€). Belle aubaine pour le banquier qui est derrière tout cela.

Le mécanisme de promotion du photovoltaïque ne semble pourtant pas avoir eu un grand impact sur la filière (faillites...).

On s'attendrait plutôt à une aide orientée sur la recherche de panneau avec un meilleur rendement, y compris en l'absence de soleil et sur l'optimisation des procédés d'installation sur l'ancien et le neuf (avec la difficulté d'intégration architecturale dans un pays fiers de son patrimoine en ardoise ou en tuile). Si l'on reste très attaché aux toits à double pente, il faut penser à faire évoluer notre sens esthétique vers des toits à simple pente pour doubler la surface installée.

En particulier, on pourrait réfléchir à des toitures modulaires assurant la ventilation naturelle arrière des panneaux solaires en même temps que l'isolation (avec étanchéité et respiration) des combles et avec gouttières et outils de nettoyage faciles d'usage.

On peut aussi espérer que l'électricité continue puisse être stockée dans les maisons pour que le bon rendement estival serve à la forte consommation hivernale.

Concernant les panneaux orientables selon la course du soleil, le débat est ouvert : soit toute la toiture s'oriente d'un bloc, avec tous les problèmes mécaniques que poseraient une structure aussi lourde et d'une grande prise au vent ; soit la toiture est divisée en une mosaïque de panneaux écartés les uns des autres pour éviter les ombres portées. Dans ce cas, la surface utile est amputée au préjudice du rendement global. La toiture solaire à la poursuite du soleil est une fausse bonne solution.

Hypothèses

Potentialité d'une maison individuelle

En transformant la toiture à 2 pentes en une toiture à une pente, la surface solaire pourrait être d'environ 130m² si on prévoit une visière de 1mX10m et l'augmentation de la surface due à l'inclinaison du toit, soit 6 fois la surface solaire actuelle. En mettant des panneaux d'un rendement 1,5 fois plus élevé pour tenir compte des progrès technologiques, la maison pourrait produire environ 40 000 kWh annuels, largement plus que les 12500 kWh consommés par une maison individuelle normalement isolée (sans VMA double-flux, ni triple vitrage, ni combles, ni isolant externe, et sans renforcement d'isolation dans le vide sanitaire).

Cependant, notre cadre de vie fait que toiture solaire d'aujourd'hui restera pour longtemps ce qu'elle est : 22m², 12% de rendement, avec un coût qui doit tenir compte du remplacement tous les 20 ans et d'une maintenance qui peut être coûteuse, sans parler des pertes dues aux ombres et aux nuages.

L'idéal n'est pas humain, c'est là le défi. Le provençal restera encore longtemps attaché à ses toits de tuile à deux pentes et le breton à ses toits d'ardoise. Peut-être verra-t-on des cellules solaires sous forme de tuiles ou d'ardoises, sensible à tout le spectre lumineux et avec un rendement de 20%, multipliant par 4 la surface solaire utile d'une maison pour une production de 20 000 kWh annuelle.

Concrètement, les toitures inclinées à plus de 20 degrés, orientées au sud, situées à moins de 45° de latitude, ne subissant aucune ombre et pouvant accueillir un panneau de 3kWc sont peu nombreuses. Il faut exclure les parties de toitures inclinées au nord, les maisons de villages, les maisons en fond de vallée, les pavillons regardant des grands arbres, les constructions avec des étages incomplets, les régions à faible ensoleillement.

Positif	Négatif
<i>En France, un grand toit solaire à simple pente pourrait - idéalement - couvrir les besoins énergétique d'une famille chez elle et lors de ses déplacements en véhicule électrique.</i>	<i>En France, les toitures éligibles au photovoltaïque sont en très faible nombre. Seule une révolution urbaine et rurale pourrait conduire à une autosuffisance énergétique de tous les habitants en France.</i>

Consommation des transports individuels :

Si une voiture électrique consomme [25kWh à l'heure](#) (équivalent à environ 3l au 100km), et qu'une famille utilise 2 voitures pendant 1h chaque jour (1 heure de domicile-travail aller-retour pour l'une et 1 heure de déplacements divers pour l'autre), elle consommera 50kWh chaque jour, soit moins de 20 000 kWh dans l'année, hors les déplacements à longue distance, en nombre limité et qui relèvent d'une autre problématique.

A noter que pour un véhicule thermique, 1/3 seulement de l'énergie consommée sert à l'avancement (un autre tiers s'en va dans les gaz d'échappement et le dernier tiers dans l'eau du radiateur).

On peut imaginer qu'une paire de véhicules électriques rechargés directement ou indirectement par le soleil (panneaux solaires et batterie interne à haut rendement charge-décharge), consommera annuellement 15 000 kWh, 25 000 kWh en admettant un bon peu de pertes.

Si l'une des voitures est un scooter électrique qui consomme en gros 6 fois moins qu'une voiture, l'énergie consommée en transport sera inférieure à 10 000 kWh

Si c'est un vélo électrique, utilisé une heure par jour, à 200Wh, soit en plus de la santé, 72 kWh par an, l'énergie totale consommée dans la maison et dans ses transports par un foyer sera de l'ordre de 25 000 kWh, largement moins que les 40 000 kWh potentiellement productibles sur le toit d'une maison.

Conclusions (en 2013!)

Il s'agit là d'un calcul théorique, réfutable sans doute point par point. Mais on peut demander au sceptique de regarder le problème dans sa globalité et non dans chaque détail. Une toiture solaire pourrait couvrir les besoins en énergie de vie et de transports d'une famille, aux conditions suivantes :

- une toiture à une seule pente totalement solaire
- moins de 2 heures de transport par jour en voiture électrique pour l'ensemble de la famille
- une gestion complexe du système de production-distribution sur une grande échelle géographique.

Le calcul reste à faire pour des petits immeubles, dont l'isolation obéit à d'autres règles et dont les habitants ont un rapport différents à leurs transports. Les appartements mutualisent l'isolation thermique et les déplacements sont (devraient !) être essentiellement de proximité ou en transport en commun.

L'affirmation péremptoire de l'utopie du solaire n'est que péremptoire¹. Que le photovoltaïque soit en 2014 une technologie inadaptée est tout à fait juste. L'empreinte carbone, les déchets et la coûteuse intermittence de l'énergie produite par les toitures solaires sont à souligner. Mais dans tous les domaines technologiques qui fonctionnent aujourd'hui, il y a eu des périodes de tâtonnements. A l'époque du premier véhicule à vapeur, personne n'aurait pu imaginer le trafic automobile d'aujourd'hui ; à l'époque de la première bombe nucléaire, qui aurait pu imaginer que 70% de l'électricité française serait produite par la fusion de l'atome. Hubble n'aurait pas existé sans la découverte du laser...

Il reste donc de gros progrès à faire, technologiques et sociaux pour que le soleil couvre nos besoins énergétiques sans effets pervers. La [transition énergétique](#) est à l'ordre du jour.

Sans parler de tous les efforts que l'on peut réaliser sur le cadre de vie : rapprocher le travail du domicile ; remettre les commerces dans les quartiers ; utiliser le vélo ou le vélo électrique de façon habituelle.

Sans parler des autres sources d'énergie solaire :

- l'éolien qui vient du vent, lui-même produit par l'action du soleil qui réchauffe certaines masses d'air plus que certaines autres. On peut encore rester sceptique face à la dégradation environnementale des parcs éoliens actuels et face à l'irrégularité des vents qui nécessite des adaptations technologiques complexes pour le stockage et la mise en réseau.
- l'hydraulien marin qui vient aussi du soleil avec les marées, les courants, le différentiel de température entre fond et surface ou avec le vent qui produit la houle (ou les tempêtes). La mer reste un milieu hostile à l'électricité, dont on sait de mieux en mieux se prémunir. Reste à maîtriser l'acheminement sur de longues distances, de préférence sans pylônes disgracieux et sans rayonnements électromagnétiques dont on a pas encore évalué la nocivité.
- L'hydraulien fluvial avec les barrages anti-écologiques (Chine...) et menaçants (guerres, vieillissement,...). [Les centrales au fil de l'eau](#) proposent un compromis. Une [alternative au barrage](#) serait d'immerger une ou plusieurs conduites au fond des fleuves
- la biomasse, autre forme d'énergie solaire, mais qui ne doit pas concurrencer la production de nourriture, autre source d'énergie solaire bien plus essentielle à l'homme que les kWh.

¹ On connaît l'argumentaire : tous les foyers n'auront pas 120m² de toiture au sud ; tous les travailleurs seront toujours à 10km de leur foyer et aucun n'aura de vélo électrique ; les rendements solaires ne dépasseront jamais 15% et le stockage de l'énergie aura toujours un rendement de 30% seulement...

Les pessimistes ne seront jamais de bons futurologues. Les optimistes peuvent espérer changer nos styles et nos cadres de vie et nos chercheurs peuvent trouver des solutions... qui sont autant d'emplois et de façon de faire croître le PIB...

- les micro-algues productrices d'huiles ou d'hydrogène, autre piste à surveiller.

Enfin, le stockage domestique de l'électricité sera peut-être résolu un jour. Sur ce point, la technologie est en retard. Les critiques sur les coûts cachés de l'intermittence sont fondées. En attendant, il faut compter avec le réseau de distribution existant qui reçoit l'énergie solaire non consommée sur place et fournit l'énergie quand le soleil est absent, le tout sans grande perte (a priori. Le calcul du rendement de ce système est délicat, car on en identifie difficilement les paramètres). Le solaire thermique (eau chaude) est une partie de solution mais insuffisante face à notre dépendance croissante à l'électricité.

L'énergie nucléaire reste pour l'instant incontournable, mais ses contraintes génèrent des coûts en constante ré-évaluation. Même les prometteuses [centrales au thorium](#) ne pourront se passer du toxique plutonium nécessaire à leur amorçage.

Quant au débat sur le réchauffement climatique, les [climato-sceptiques](#) font un contrepoids important au GIEC. Qui manipule qui ? Entre convictions et incertitudes, il n'y a pas à choisir son camp. La science n'est pas la guerre. La dignité de la science est qu'elle se fasse avec conscience - Merci Rabelais -

Au-delà du débat, aidons la technologie à minimiser les gaspillages et la pollution et à donner à chaque homme - du nord au sud - une digne place au soleil.

Optimisation du stockage d'énergie domestique (2017)

Un ménage en maison individuelle confortable en surface et bien isolée consomme environ 2000€, soit 20 MWh (1,7 tep)

Si l'on se base sur le site gouvernemental :

http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Chiffres_et_statistiques/2015/chiffres-stats645-conso-energetiques-des-menages2012-juin2015.pdf

Un chauffage électrique consomme environ 3 fois plus d'équivalent pétrole qu'un chauffage à l'énergie primaire et la consommation moyenne annuelle est de 300 kWh/m²/an d'énergie primaire.

Une maison de 100m² consomme 20 MWh par an, plutôt l'hiver que l'été, alors qu'une toiture solaire produit 2 à 4 MWh par an.

Le chauffage représente environ 57% en maison individuelle et 42% en immeuble collectif. On suppose que la climatisation estivale n'est pas prise en compte. La qualité de l'isolation joue jusqu'à un certain point, car il faut prendre en compte les échanges d'air anti-moississures et de renouvellement, soit environ 200 m³ d'air par heure, soit environ 2 MWh par an (sauf erreur de ma part).²

Les panneaux hybrides, photovoltaïques/thermiques sont une direction de recherche puisque le rendement global du panneau est augmenté et que la chaleur peut être stockée plus facilement que l'électricité. Le site Wikipedia sur le [Stockage de l'énergie](#) présente la grande diversité des systèmes de stockage.

En l'absence totale de réseau EdF, l'habitation doit être autonome en énergie. Si la production d'énergie est intermittente, le stockage doit assurer la consommation sans production ainsi que la consommation lorsque la production instantanée est inférieure à la consommation instantanée.

En production photovoltaïque, la production d'un jour ensoleillé au solstice d'hiver est environ le tiers de celle du solstice d'été. En moyenne, en tenant compte d'une météo défavorable, la production des 3 mois pauvres est le tiers des 3 mois riches.

Exemple : une maison autonome consomme 24 MWh par an soit 2MWh par mois. Si la maison produit 24MWh par an, soit environ 3Mwh par mois d'été et 1MWh par mois d'hiver, en fin d'hiver, le déficit de

² Il semblerait que l'aéro-voltaïque, qui récupère la chaleur induite par les panneaux, puisse remplacer une partie de l'énergie de chauffage habituelle

production sera de 3MWh. Avec un rendement charge/décharge d'environ 66%, il faut un accumulateur d'environ 4,5MWh, soit 4,5 tonnes si le système de stockage à une énergie massique de 1kWh/kg. (optimisme dans l'innovation : volant d'inertie, batterie au graphène, chaleur inertielle,...).

Pour produire 24MWh par an, il faut 200 m² de panneau (rendement à 15%)

Comparaisons "à la louche"

	Puissance (MW)	Facteur de charge %	Energie annuelle (MWh)
Nucléaire classique	1000	75	1 000 000
EPR	1500		1 500 000
Petites centrales	100		100 000
Grande éolienne	3	25	3 000
Eolienne	0,3	25	300
Hectare photo	1,6	15	2 000
Consommation	6 kWh/jour/personne		2 MWh/an/personne

En production éolienne, le calcul tient compte du « cumul venteux³ » local et de la capacité de l'éolienne à produire par vent faible. « L'acceptabilité » d'une éolienne au côté d'une habitation individuelle est faible

En production [hydrolienne de rivière](#), le calcul tient compte du débit de captation qui peut varier fortement selon les saisons.

En production marémotrice, la capacité de stockage doit assurer l'étalement et la production en basses eaux, par exemple en créant un bassin de retenue. (permis de construire)

En production houlomotrice, le calcul tient compte du « cumul houleux » local et de la capacité du générateur à fonctionner avec du clapot.

La production électrique à partir de la biomasse avec respect de l'environnement...

A ce jour, l'autonomie en énergie d'une habitation individuelle sans raccordement au réseau EdF ne semble envisageable que dans les habitations très isolées. Par contre, un stockage pour quelques jours (quelques kWh) serait utile pour garder de l'énergie en cas de rupture d'alimentation EdF et de délestage lors des pics de consommation. Les batteries des véhicules électriques qui sont souvent à l'arrêt dans la journée sont aussi un moyen de régulation.

A l'échelle d'un quartier, le stockage nécessaire à l'autonomie est trop important. Par contre, le réseau EdF peut être transformé, avec suppression de nombreuses lignes à très haute tension, au profit de lignes à moyenne et basse tension dont on peut souhaiter l'enterrage. Les supra-conducteurs devraient, à terme, avec un impact important sur l'architecture de la distribution EdF (par exemple, une liaison directe par supraconducteur entre le Sahara, la Corse et la France est-elle utopique ?). De même la maîtrise des mini-centrales au thorium

Dans tous les cas, une zone de stockage devrait être réservée lors de la construction ou de la réhabilitation des habitations et bureaux.

³ voir page 5 de http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Meteo/Graphes_meteo/Notice_Graphes_meteo.pdf

Proposition de tableau de bord

L'onduleur Sunny Boy possède une liaison Bluetooth qui permet au boîtier externe Sunny Beam d'afficher un tableau de bord sur un petit écran à cristaux liquides et qui permet à un PC sous Windows d'afficher des données avec l'application Sunny Explorer. Cette application ne tourne pas sur Mac

Informatiquement, ce système est daté.

En 2017, on s'attendrait à ce que l'onduleur soit interrogeable depuis un navigateur Internet ou depuis un ordiphone (smartphone). Ceci implique que le propriétaire de l'installation soit équipé d'un réseau WiFi et que SMA installe un module WiFi et offre à ses clients un Serveur Internet, à l'instar, par exemple, de NetAtmo qui permet aux propriétaires d'une station météo de publier leur données en temps réel sur Internet, pour consultation privée ou publique.

L'onduleur est paramétrable (installation, modification, maintenance) par tout possesseur du code d'accès.

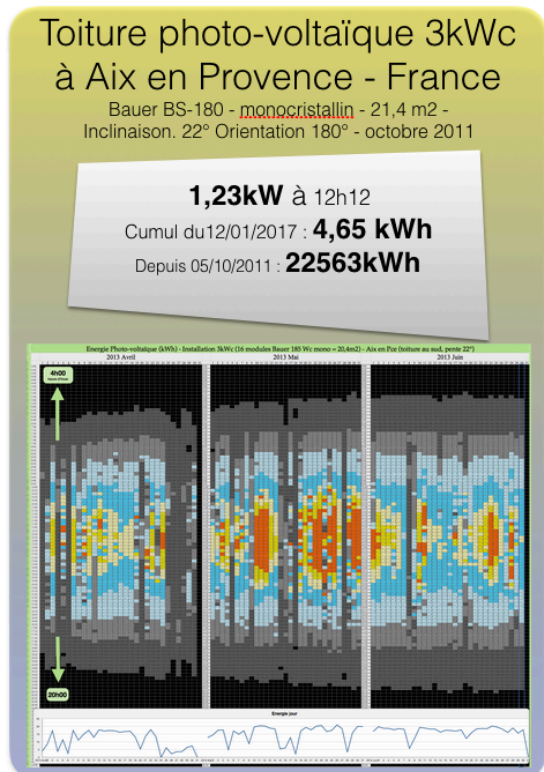
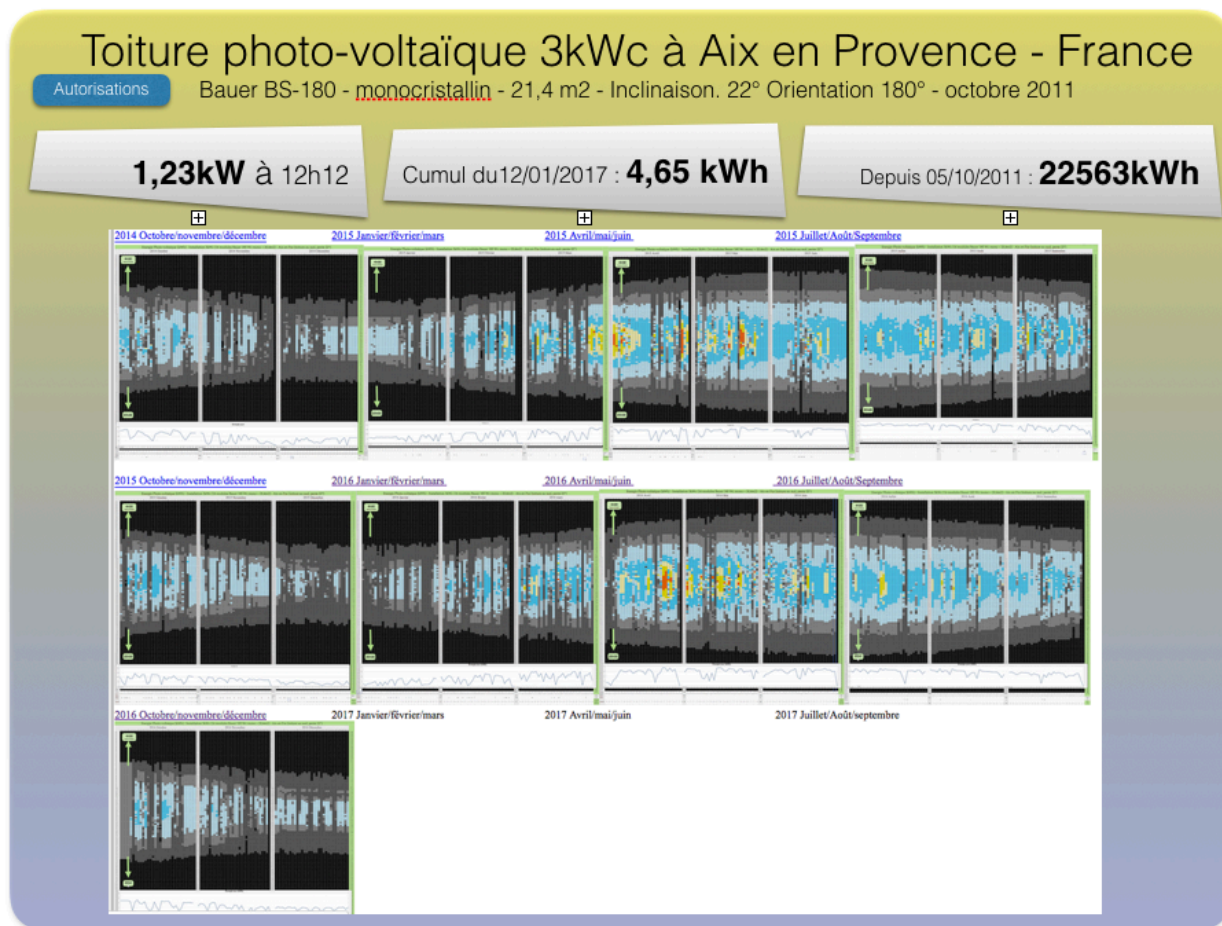
Le tableau de bord complet proposé sur le navigateur Internet est une page Web permet de connaître :

- les paramètres de l'installation :
 - la date de l'installation,
 - la position géographique (Pays/Ville uniquement),
 - l'orientation en site et en azimut,
 - la surface, le type de cellule,
 - le modèle des panneaux,
 - la surface et la puissance crête
 - une photo grand angle du paysage devant le panneau (afin d'avoir des éléments sur les ombres qui peuvent atteindre le panneau)
 - L'horodate de la dernière ré-initialisation
 - Le niveau d'accès aux données (identifiants des accédants et de l'administrateur, données restreintes ou données complètes)
- Les données de fonctionnement :
 - L'horodate courante
 - La puissance instantanée au moment de l'interrogation
 - La production depuis minuit
 - La production totale depuis l'installation
- Les données statistiques de base :
 - Le graphe des 48 dernières données 10mn
 - Le graphe des 48 dernières données horaires
 - Le graphe des 48 derniers jours
 - Le graphe des 48 derniers mois
 - Le graphe des dernières années
 - Un accès aux données fines, en consultation ou en téléchargement

Le tableau de bord simplifié, compatible ordiphone (smartphone) est une page Web affichant :

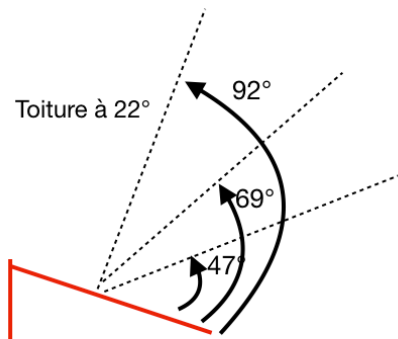
- La ville
- La puissance crête
- La puissance instantanée
- Le graphe de la production depuis minuit
- L'accès aux graphes de données statistiques (si autorisation)

Les maquettes ci-dessous illustrent les propositions sur ordinateur et sur ordiphone (smartphone)

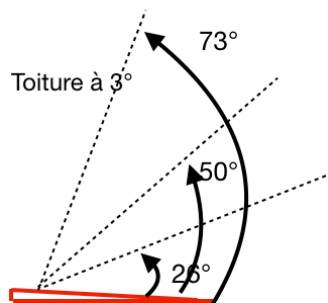


Pente de la toiture

A la latitude de 45°, la production optimale sur l'année serait obtenue avec une toiture inclinée à 34°. Une production optimisée pour l'hiver le serait pour une toiture inclinée à environ 45°. Le rendement selon l'incidence des rayons solaires sur le panneau est : $R = \sin \beta \times 100$ (à confirmer par les fabricants de panneaux)



Rendement, soleil au zénith, à Marseille
 au 21 juin. : 99,9%
 au 21 septembre ; 93%, 92% réels
 au 21 décembre : 70%, 73% réels

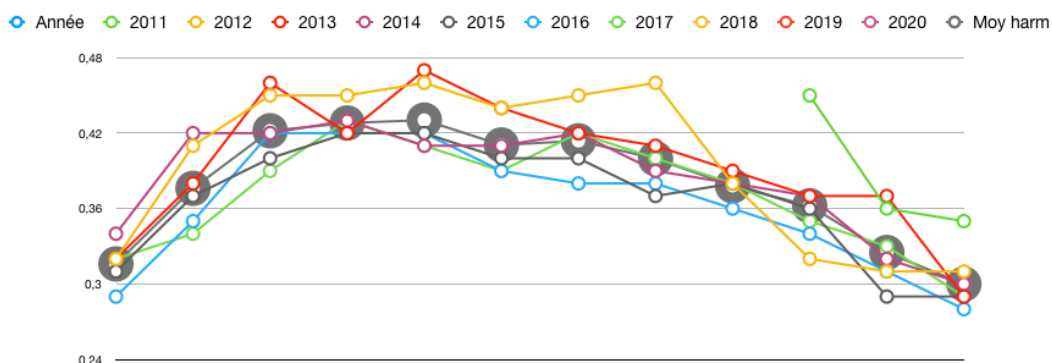


Rendement, soleil au zénith, à Marseille
 au 21 juin. : 95%
 au 21 septembre ; 76%
 au 21 décembre : 43%

A partir de la production réelle, la production maximale par tranche de 10 mn pour chaque mois correspond à peu près à la production lorsque le soleil est au zénith. Pour un panneau incliné à 22° le soleil frappe avec une incidence de 92° au 21 juin, à 69° au 21 mars et au 21 septembre et à 47° au 21 décembre. Le rapport entre mars-septembre/juin est de 93% et celui de décembre/juin est de 73%.

Avec une toiture inclinée à 3°, le rendement au zénith de juin serait à peu près équivalent à celui de mars d'une toiture à 22° (95%). Pour le mois de mars, le rendement du toit à 3° serait équivalent au mois de décembre (76%).

Productions de la tranche de 10mn la plus rentable pour chaque mois													
Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	octobre	nov.	déc.	
2011										0,45	0,36	0,35	
2012	0,32	0,41	0,45	0,45	0,46	0,44	0,45	0,46	0,38	0,32	0,31	0,31	
2013	0,32	0,38	0,46	0,42	0,47	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,37	0,29	
2014	0,34	0,42	0,42	0,43	0,41	0,41	0,42	0,39	0,38	0,37	0,32	0,30	
2015	0,31	0,37	0,40	0,42	0,42	0,40	0,40	0,37	0,38	0,36	0,29	0,29	
2016	0,29	0,35	0,42	0,42	0,42	0,39	0,38	0,38	0,36	0,34	0,31	0,28	
2017	0,32	0,34	0,39	0,43	0,41	0,39	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,29	
2018													
2019													0,63575
2020													% septem
Moy harm	0,32	0,38	0,42	0,43	0,43	0,41	0,41	0,40	0,38	0,36	0,33	0,30	73



La hauteur du soleil à 43,5° de latitude, selon l'heure et le mois de l'année, est donnée dans ce tableau (avec une précision de l'ordre du degré)

Hauteur soleil	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
5h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6h	0	0	0	7	13	15	13	7	0	0	0	0
7h	0	3	12	14	24	27	24	14	12	3	0	0
8h	6	13	22	30	35	43	35	30	22	13	6	4
9h	15	22	31	40	42	48	42	40	31	22	15	11
10h	21	28	39	44	51	58	51	44	39	28	21	18
11h	25	34	44	56	64	67	64	56	44	34	25	22
12h	27	36	47	58	67	70	67	58	47	36	27	24
13h	25	34	44	56	64	67	64	56	44	34	25	22
14h	21	28	39	44	51	58	51	44	39	28	21	18
15h	15	22	31	40	42	48	42	40	31	22	15	11
16h	6	13	22	30	35	43	35	30	22	13	6	4
17h	0	3	12	14	24	27	24	14	12	3	0	0
18h	0	0	0	7	13	15	13	7	0	0	0	0
19h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

L'incidence du soleil sur le panneau, heure par heure, s'obtient en corrigeant ces valeurs avec la pente de la toiture.

Le rendement heure par heure s'obtient en appliquant la formule $R = \sin \beta \times 100$.

Pour une toiture inclinée au sud à 22° :

Production 22°	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre	
Production horaire max (kWh)						2,30							
Nb jour du mois	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
5h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6h	0,00	0,00	0,00	1,12	1,32	1,38	1,32	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	
7h	0,00	0,97	1,29	1,35	1,65	1,74	1,65	1,35	1,29	0,97	0,00	0,00	
8h	1,08	1,32	1,60	1,81	1,93	2,08	1,93	1,81	1,60	1,32	1,08	1,01	
9h	1,38	1,60	1,84	2,03	2,07	2,16	2,07	2,03	1,84	1,60	1,38	1,25	
10h	1,57	1,76	2,01	2,10	2,20	2,27	2,20	2,10	2,01	1,76	1,57	1,48	
11h	1,68	1,91	2,10	2,25	2,29	2,30	2,29	2,25	2,10	1,91	1,68	1,60	
12h	1,74	1,95	2,15	2,27	2,30	2,30	2,30	2,27	2,15	1,95	1,74	1,65	
13h	1,68	1,91	2,10	2,25	2,29	2,30	2,29	2,25	2,10	1,91	1,68	1,60	
14h	1,57	1,76	2,01	2,10	2,20	2,27	2,20	2,10	2,01	1,76	1,57	1,48	
15h	1,38	1,60	1,84	2,03	2,07	2,16	2,07	2,03	1,84	1,60	1,38	1,25	
16h	1,08	1,32	1,60	1,81	1,93	2,08	1,93	1,81	1,60	1,32	1,08	1,01	
17h	0,00	0,97	1,29	1,35	1,65	1,74	1,65	1,35	1,29	0,97	0,00	0,00	
18h	0,00	0,00	0,00	1,12	1,32	1,38	1,32	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	
19h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
kWh Jour	13,17	17,07	19,81	23,59	25,23	26,16	25,23	23,59	19,81	17,07	13,17	12,33	Total an
kWh Mois	408,12	477,84	614,24	707,62	782,04	784,79	782,04	731,20	594,43	529,04	394,96	382,19	7188,51

Pour des journées idylliques, pour une production horaire max virtuelle en juin (2,30kWh), la production virtuelle annuelle serait de 7188kWh, contre 4000 kWh en valeurs réelles mesurées. La différence s'explique si l'on prend en compte la production moyenne à midi en juin et la météo.

Le même calcul appliqué sur la même toiture inclinée à 3° au sud aboutit à une production virtuelle de 3903kWh, soit 30% de moins qu'une toiture à 22°. Et à 45° : 6877kWh, soit près de la moitié !

Information accessoire

Par ailleurs - sans lien direct avec l'installation solaire - il s'avère que les gouttières alu, profilées et découpées sur place par l'installateur, sont moins chères (installation comprise) et moins laides que le PVC.

1116€ TTC installé, pour 2 gouttières de 10,50m, 2 gouttières de 3m, 1 descente de 6m et 3 descentes de 3m,

soit : 27m horizontal et 15m vertical.

