

A photograph of a modern building with a solar panel roof in a vineyard. The building has a light-colored wooden facade and a dark blue roof covered in solar panels. It is situated in a vineyard with rows of grapevines in the foreground. In the background, there is a lush green hillside under a clear blue sky. The text 'Solaires' is written in large white letters, and 'EN RÉGION PACA' is written in smaller white letters below it. At the bottom, there is a semi-transparent dark grey box containing the text 'INTÉGRATION ARCHITECTURALE DE PANNEAUX SOLAIRES EN SECTEUR PROTÉGÉ' in white capital letters.

# Solaires

## EN RÉGION PACA

INTÉGRATION ARCHITECTURALE DE PANNEAUX SOLAIRES  
EN SECTEUR PROTÉGÉ

## **Préface du préfet**

# **« Solaire en région PACA- Intégration architecturale de panneaux solaires en secteur protégé »**

---

La conciliation entre la sauvegarde du patrimoine et l'adaptation de la région aux changements climatiques constitue une question majeure pour la population comme pour les professionnels ou les élus locaux. En Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) 20% du territoire est protégé au titre du code l'environnement, du patrimoine ou de l'urbanisme. Les paysages, les sites historiques ou les bâtiments protégés sont souvent des éléments clés du patrimoine culturel d'une ville, d'un département et de la région. La conservation de ces ensembles remarquables, leur transmission aux générations futures participent du maintien de l'identité culturelle et historique du territoire. C'est pourquoi l'introduction des énergies solaires doit se faire avec précaution afin d'en minimiser l'impact sur l'intégrité architecturale et esthétique.

L'énergie solaire peut offrir une alternative durable aux sources d'énergie traditionnelles, contribuant ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à atténuer le changement climatique mais aussi à réduire la facture énergétique des ménages. La filière photovoltaïque connaît notamment un essor important chez les particuliers avec plus de 18 000 nouvelles installations raccordées au réseau au cours de l'année 2023 dans la région.

C'est pourquoi afin de mieux prendre en compte l'ancrage des projets dans chacun des territoires de la région, un groupe de travail composé de représentants de la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), la direction régionale des affaires culturelles (DRAC), le centre d'études et d'expertise sur les risques, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), l'agence de l'environnement et de maîtrise de l'énergie (ADEME), du parc national des Préalpes d'azur et du syndicat de l'énergie solaire renouvelable (ENERPLAN) s'est réuni au cours de l'année 2023 pour élaborer une doctrine commune aux services de l'État en région PACA.

Le guide « Solaire en région PACA- Intégration architecturale de panneaux solaires en secteur protégé » précise les instructions ministérielles pour nos territoires. Conçu sous forme de fiches-conseil, cette brochure à destination du grand public, des élus et professionnels, doit permettre d'orienter les porteurs de projet pour concilier la transition écologique avec la promotion de la qualité architecturale et paysagère selon leurs lieux d'implantation, centre ancien, immeubles de ville, lotissements, périphérie avec des recommandations pour les départements littoraux et pour les territoires alpins.

**Christophe Mirmand**, préfet de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur,  
préfet des Bouches-du-Rhône



# Mode d'emploi

La France s'est engagée dans la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015 et la Loi Énergie-Climat de 2019 à atteindre, d'ici 2030, une part de 33% d'énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie.

La loi relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables du 10 mars 2023 vise à diviser par deux le temps de déploiement des projets.

Aussi, en région PACA, un document de référence a été établi pour donner des préconisations claires sur les bonnes pratiques pour la mise en œuvre de capteurs solaires en secteur protégé et cohérentes avec la dimension patrimoniale du bâti et du paysage, .

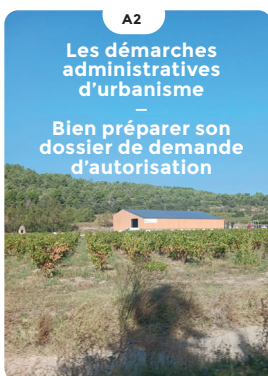
Conçu sous forme de fiches-conseil, ce guide à destination du grand public, des élus et professionnels, doit permettre d'accompagner les porteurs de projet pour concilier la transition écologique et énergétique avec la promotion de la qualité architecturale et paysagère.

Prenons soin de notre cadre de vie !

**ÉTAPE 1**  
Des fiches pour bien concevoir son projet technique

**ÉTAPE 2**  
Des fiches pour bien intégrer son projet dans le paysage

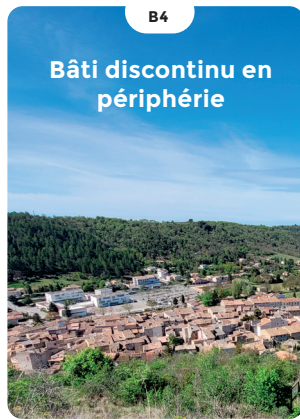
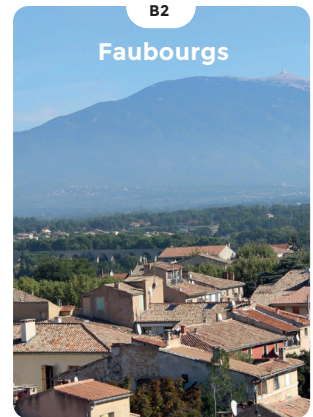
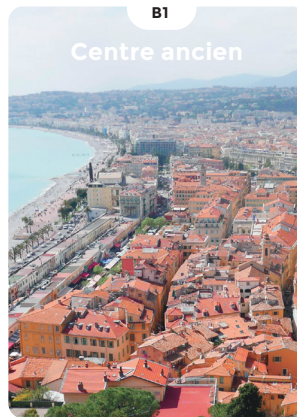
## FICHES ÉTAPE 1



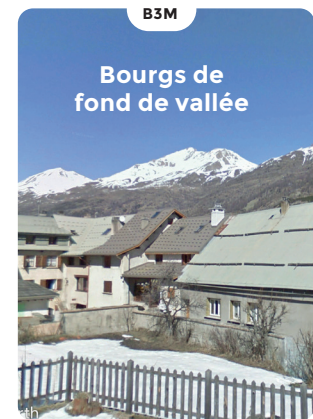
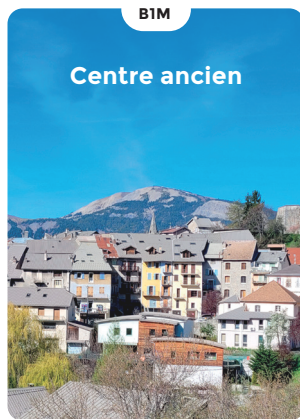


# FICHES ÉTAPE 2

Adapter son projet solaire à la situation  
Provence et Cote d'Azur



Adapter son projet solaire à la situation  
Des pré-Alpes aux Alpes







**FICHES ETAPE 1**  
**Bien concevoir son projet technique**



## Cadre réglementaire et protections patrimoniales

—  
Quelles démarches en secteur protégé ?

**Concilier la transition écologique avec la promotion de la qualité architecturale et paysagère c'est important !  
L'installation de panneaux photovoltaïques modifie l'aspect des constructions et doit faire l'objet d'une déclaration préalable de travaux ou d'un permis de construire.**

**Les recommandations de ce guide ont vocation à s'appliquer sur l'ensemble du territoire de la région et en particulier au sein des espaces protégés pour leurs qualités patrimoniales et paysagères.**





## RÉCAPITULATIF DE LA RÉGLEMENTATION

L'implantation de panneaux solaires est soumise à une demande d'autorisation administrative. L'autorisation est délivrée par les autorités compétentes après dépôt d'une déclaration préalable ou d'un permis de construire. En effet, les capteurs solaires constituent une modification de l'état ou de l'aspect des constructions.

### UN PATRIMOINE A PROTÉGER

À l'échelle locale, la gestion des espaces protégés patrimoniaux et paysagers incombe aux services déconcentrés du ministère de la Culture (DRAC) et du ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires (DREAL). Ces deux directions régionales coopèrent régulièrement dans l'instruction des dossiers.

Les demandes liées aux installations photovoltaïques sont traitées par les architectes des Bâtiments de France (ABF) en activité dans les unités départementales d'architecture et du patrimoine (UDAP), au sein des DRAC et pour un nombre plus restreint de dossiers, par les inspecteurs des sites ou les chargés de mission paysage des DREAL.

Les UDAP interviennent dans le périmètre des sites patrimoniaux remarquables, les abords des monuments historiques et dans les sites inscrits. Les DREAL émettent des avis consultatifs sur les choix de conception des projets dans le cadre de l'étude d'impact rendue systématique pour tous les aménagements d'une puissance égale ou supérieure à 1 mégawatt crête (Mw<sub>c</sub>) et dans les sites classés.

À partir de ce cadre réglementaire, les trois ministres de la Culture, de la Transition écologique

et de la cohésion des territoires et de la Transition énergétique ont signé, le 9 décembre 2022, une instruction commune aux préfets de région pour renforcer la cohérence des avis .

Ce guide s'inscrit dans la continuité du "guide de l'insertion architecturale et paysagère des panneaux solaires" co-écrit par ces 3 ministères.

### RÉGLEMENTATION S'APPLIQUANT A L'INSTALLATION EN MODIFICATION DE L'ASPECT EXTÉRIEUR

Hors espace protégé	Déclaration préalable article R421.17 code de l'urbanisme
En espace protégé	Déclaration préalable avec avis des personnes compétentes articles L341-1 à L 321-1 code de l'Environnement, L621-1 à L633-1 code du patrimoine
	Demande de permis de construire avec avis des autorités compétentes si modification de bâtiment inscrit au titre des monuments historiques article R 421-16 du code de l'urbanisme

## ANTICIPER ET PRENDRE CONSEIL

Prendre conseil et appréhender les enjeux architecturaux et paysagers auprès de la mairie ou de la collectivité publique, autorité chargée des autorisations d'urbanisme, des services de l'État, lorsque le projet est situé dans un espace protégé :

- au titre du code du patrimoine (monuments historiques, abords de monuments historiques, sites patrimoniaux remarquables), l'UDAP peut apporter son conseil
- en site classé ou site inscrit, prendre contact avec l'inspecteur des sites en DREAL et avec l'UDAP
- dans un parc national ou réserve naturelle, prendre contact avec la DREAL
- au titre des documents d'urbanisme (art. L. 151-19 et L. 151-23 du code de l'urbanisme), se rapprocher de la commune

- des établissements publics et associations gestionnaires d'espaces protégés (parc naturel régional, parc national, réserve naturelle, Grand Site de France, etc.)
- des organismes conseil comme les CAUE

La configuration d'un projet doit assumer une ambition qualitative afin de limiter au mieux les impacts sur l'architecture, les ensembles bâtis et le paysage. Ce principe s'applique à l'ensemble du territoire, que le projet soit situé ou non en espace protégé, ou que le contexte soit un centre ancien, un faubourg, un espace péri-urbain, une zone pavillonnaire, un hameau, une exploitation agricole.

## PRINCIPE

Pour concilier développement du photovoltaïque et préservation du cadre de vie, assurons une bonne insertion des capteurs solaires ! Il est ainsi nécessaire de :

1. Élaborer un projet technique cohérent, dans le cadre d'une rénovation thermique globale
2. Élaborer un projet architectural adapté à la sensibilité patrimoniale d'un site, d'un bâtiment

Pour connaître les protections d'un site, voir l'atlas des patrimoines du ministère de la culture: <https://www.culture.gouv.fr/Regions/Drac-Provence-Alpes-Cote-d-Azur/Ressources/Atlas-des-patrimoines>



Puissance de l'installation	$P \leq 3 \text{ kWc}$	$3 \text{ kWc} \leq P$	$1 \text{ MWc} \leq P$
Hors espace protégé	Sans formalité si $H \leq 1.80 \text{ m}$ DP si $H \geq 1.80 \text{ m}$	DP	PC
En espace protégé	DP	PC	PC

## LE WATT CRÊTE

La puissance d'un panneau solaire correspond à sa capacité de production d'énergie. Elle s'exprime généralement pour  $1 \text{ m}^2$ . L'unité de la puissance d'un panneau est le watt-crête (Wc) ou le kilowatt-crête (kWc). Elle indique la puissance électrique maximale qu'un panneau peut fournir dans des conditions idéales (fort niveau d'ensoleillement, température de  $25^\circ\text{C}$ , inclinaison à  $30^\circ$ , absence d'ombre).

En multipliant par le nombre d'heures d'ensoleillement moyen d'une zone sur l'année, on calcule qu'en région PACA,  $1 \text{ kWc}$  produit en moyenne  $1400 \text{ kWh}$  par an.



## Les démarches administratives d'urbanisme

### Bien préparer son dossier de demande d'autorisation

Afin de répondre aux objectifs de préservation et de valorisation des paysages existants, l'insertion optimale des capteurs est attendue. Les dossiers d'urbanisme doivent être précis et complets. Ils doivent bien montrer l'impact visuel des capteurs dans l'environnement proche et lointain. Dans les espaces protégés, une attention particulière sera portée à leur impact visuel en fonction des spécificités du site. C'est l'occasion de bien réfléchir son projet !





## BIEN PRÉPARER SON DOSSIER DE DP OU PC .....

L'implantation de panneaux solaires est soumise à une demande d'autorisation administrative. Les dossiers d'urbanisme (DP\_déclaration préalable\_ et PC\_permis de construire\_) doivent être particulièrement clairs, précis et complets. Ils doivent permettre aux services instructeurs d'analyser : l'ordonnancement architectural et paysager, le rapport au support, l'adossement et l'aspect des capteurs.

Le contenu d'un dossier de déclaration préalable de travaux ou d'un permis de construire est précisé au sein des formulaires CERFA correspondants pour les projets sur "maison individuelle et/ou ses annexes" et les projets sur habitat collectif ou au sol soit "autre que portant sur une maison individuelle ou ses annexes".

### SOIGNER SON PROJET ET SON DOSSIER

Chaque projet photovoltaïque s'inscrit dans un cadre architectural et paysager. Il doit être conçu de façon à préserver les qualités du cadre de vie. Il doit limiter ses impacts sur l'architecture, les ensembles bâtis et le paysage.

Ainsi, au-delà de sa faisabilité technique et de sa performance, chaque projet est une recherche d'intégration harmonieuse dans les trames architecturales, urbaines et paysagères, dans un objectif de discrétion. Le contenu du dossier de DP ou de PC doit permettre d'apprécier ces éléments.

Le dossier devra s'attacher à rendre compte de l'état initial et de l'état projeté, ainsi que de son insertion à différentes échelles et selon différents points de vue. Cette démonstration devra s'appuyer sur les outils de représentation pertinents (cartes, plans, coupes, dessins, schémas, bloc-diagramme, photomontages, etc.).

1. Soignez la présentation pour que les services instructeurs puissent véritablement évaluer l'avant et l'après projet.
2. Fournissez bien l'ensemble des documents demandés
3. Précisez bien les éléments du projet (voir fiche A6) :
  - rapport au support (sur-imposition ou intégration)
  - ordonnancement (forme et agencement)
  - adossement (place la moins visible depuis l'espace public et/ou le grand paysage)
  - Aspect (couleur, matière, nature des bordures)



## PRINCIPE

Afin de répondre aux objectifs de préservation et de valorisation du patrimoine et des paysages existants, l'insertion optimale des capteurs est recherchée en jouant sur :

1. leur implantation (en étudiant notamment des possibilités moins voyantes que les toits)
2. leurs formes et dimensions
3. leurs couleurs et finitions
4. les supports et détails de mise en oeuvre

L'impact visuel du projet sera apprécié différemment selon la position qu'il occupe dans un contexte paysager ou urbain bien déterminé.



## RÉCAPITULATIF DES PIÈCES RÉGLEMENTAIRES D'UNE DP

DP1	Plan de situation	Pour se repérer dans la commune
DP2	Plan de masse	Parcelle du projet et parcelles limitrophes avec côtes en plan et en altimétrie voir <a href="http://www.cadastre.gouv.fr">www.cadastre.gouv.fr</a> indiquer le nord !
DP3	Coupe générale sur le terrain avec constructions	Les vues de face du bâti montrent aussi les toits; les documents sont à l'échelle, au 1/100ème par exemple; les côtes, pentes des toits et capteurs, sens d'implantation sont précisés ;
DP4	Façades et plan de toiture	
DP5	Représentation de l'aspect extérieur	
DP6	Représentation de l'insertion du projet dans l'environnement	Il s'agit d'une insertion graphique dans une photo de loin permettant de voir l'impact paysager (ce n'est pas un extrait vu du ciel de google earth)
DP7	Photos de près	Points de vue à repérer en plan masse
DP8	Photos de loin	Points de vue à repérer en plan masse
DP11	En secteur protégé Notice matériaux et modalités d'exécution	Préciser les éléments qualitatifs du projet : modèle de capteurs, finition, teinte, type de pose....

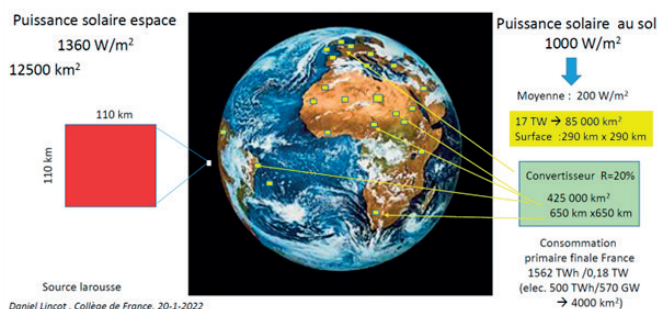


## EXEMPLE D'INSERTION DANS L'ENVIRONNEMENT

### CONSOMMATION D'ÉNERGIE MONDIALE

La recherche avance ! Avec le rendement actuel moyen des panneaux (20 %), pour subvenir au besoin de l'humanité, qui consomme 17TW d'énergie, il faudrait un équivalent d'un carré photovoltaïque de 650 X 650 km ...à répartir sur la planète, au plus près des habitants !

Comparaison ressource solaire / consommation Humanité (17 TW)





## Vers une rénovation énergétique globale

Inscrire son projet solaire dans une démarche globale de sobriété

Consommer moins d'énergie et gagner en confort thermique  
c'est possible !

Rien ne sert de recourir aux énergies renouvelables si nous gaspillons de l'électricité et en consommons toujours plus. C'est pourquoi il est important d'avoir une démarche globale de réhabilitation thermique. Elle doit être adaptée à chaque type de bâtiment et à ses usages.





## UNE DÉMARCHE GLOBALE DE SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE .....

### ISOLER CORRECTEMENT SON LOGEMENT

**Le chauffage représente le principal poste de consommation devant les usages spécifiques de l'électricité, alors commençons par bien isoler les logements !**

**Avec 30 millions de résidences principales et 7,7 millions de résidences secondaires ou vacantes, le secteur résidentiel représente, en 2021, 64 % des émissions directes de GES (gaz à effet de serre).**

**Au-delà de la réduction des émissions de GES, la baisse des consommations est également essentielle pour sécuriser notre approvisionnement énergétique et permettre, à plus long terme, l'atteinte de la neutralité carbone.**

**C'est pourquoi la France s'est engagée dans la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte de 2015, la Loi Énergie-Climat adoptée en 2019, et la Loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, dite loi AER visant à l'horizon 2030 d'accroître la part des énergies renouvelables à 40 % de la production totale d'électricité.**

Mais attention, on n'aborde pas sa rénovation énergétique de la même manière suivant l'époque de construction d'un bâtiment. Le parc de logements en France se divise en trois grandes catégories :

- le bâti ancien, datant d'avant 1948 ;
- les logements construits pendant les 30 Glorieuses ;
- les logements construits à partir des premières réglementations thermiques mises en place en 1974 suite au premier choc pétrolier de 1973.

Le bâti d'avant 1948, dit bâti ancien, diffère du bâti moderne par ses matériaux, sa grande inertie procurée par ses parois épaisses, souvent composées de matériaux perméables à la vapeur d'eau, sa ventilation naturelle et sa conception optimisée en fonction de l'orientation. Ces éléments lui permettent d'afficher des consommations d'énergie nettement inférieures aux bâtiments construits pendant la période des Trente Glorieuses et de procurer un meilleur confort d'été que dans les autres types de bâti. Les rénovations doivent tirer parti de ces caractéristiques bioclimatiques et les travaux d'isolation ne doivent pas perturber le fonctionnement hygrothermique du bâti ancien. Afin d'éviter des risques de pathologie, adressez-vous à des spécialistes du bâti ancien ! Consultez :

- la plateforme Ademe <https://france-renov.gouv.fr/> qui propose des conseils en amélioration énergétique.
- la plateforme CAUE13 <https://www.caue13.fr/fiches-conseils-centre-ancien>



## PRINCIPE

Une bonne stratégie de rénovation énergétique est d'aborder son projet de manière globale. La sobriété, l'efficacité et les énergies renouvelables constituent les trois piliers d'une démarche cohérente :

- on maîtrise d'abord les besoins en énergie
- on améliore l'efficacité énergétique et les performances techniques
- on étudie ensuite les possibilités de recours aux énergies renouvelables

## CHOISIR LA BONNE ÉNERGIE

En fonction de la situation de son bâtiment, on peut évaluer la pertinence du recours aux énergies renouvelables :

De quelle place ou espace dispose-t-on pour intégrer des systèmes techniques ? Quel est le meilleur système en fonction des ressources locales ? Peut-on intégrer discrètement dans le paysage ces objets ? Comment ne pas perturber l'harmonie et la composition d'une façade ?

Il s'agit donc, en fonction de la situation de son logement, de déterminer s'il est plus judicieux d'avoir recours à des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques, des systèmes de chauffage au bois ou à biomasse, à un raccordement à des réseaux de chauffage ou de refroidissement collectifs, à des pompes à chaleur.

## ADOPTER DES ÉCOGESTES

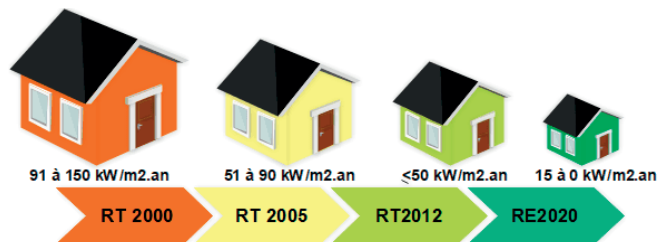
Choisir des appareils électroménagers économes est judicieux. Mais nous pouvons aussi changer nos habitudes. Les usages mobiliers sont loin d'être anecdotiques : dans le résidentiel, on peut les estimer à environ 20 % de la consommation d'énergie finale. Ce qui en fait le 2ème poste de consommation après le chauffage, assez nettement devant l'eau chaude sanitaire et l'éclairage.

Nous pouvons être plus sobres dans nos usages, en débranchant nos chargeurs de téléphone, en lavant son linge à 30 °C, en éteignant la lumière en sortant d'une pièce, en adaptant la température de consigne d'un local à son usage (en chauffant une pièce de sommeil à 17 ou 18°).

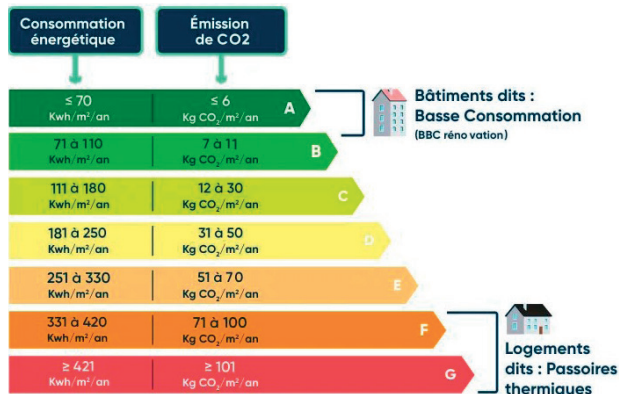
## RÈGLEMENTATIONS THERMIQUES

Pour les bâtiments existants, il existe trois réglementations thermiques en vigueur : une dite par élément, pour les bâtiments de moins de 1 000 m<sup>2</sup> ou de plus de 1 000 m<sup>2</sup> (sous certaines conditions), une dite globale, pour les bâtiments de plus de 1 000 m<sup>2</sup> et une dite travaux embarqués, à l'occasion de travaux importants de rénovation des bâtiments.

Les réglementations thermiques (RT) qui se sont succédé depuis 1974 et aujourd'hui la réglementation environnementale (RE2020), visent à réduire au maximum les dépenses énergétiques des logements neufs.



Les logements sont classés en fonction de leur performance énergétique. Le diagnostic se nomme DPE. La loi Climat et résilience (article 160) interdit progressivement la location des passoires thermiques : G en 2025, F en 2028, E en 2034.



## AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE

En France, l'autoconsommation collective repose sur le principe de la répartition de la production entre un ou plusieurs consommateurs proches physiquement.

L'autoconsommation collective (ACC), est un moteur d'accélération des énergies renouvelables. Contrairement à l'autoconsommation individuelle (ACI), l'ACC n'est pas circonscrite à l'échelle d'un site unique. Les consommateurs peuvent bénéficier de cette énergie produite localement sans avoir à poser sur leur toiture des panneaux solaires.

Un guide pratique à destination des collectivités territoriales consacré à l'ACC est disponible auprès de l'ADEME.

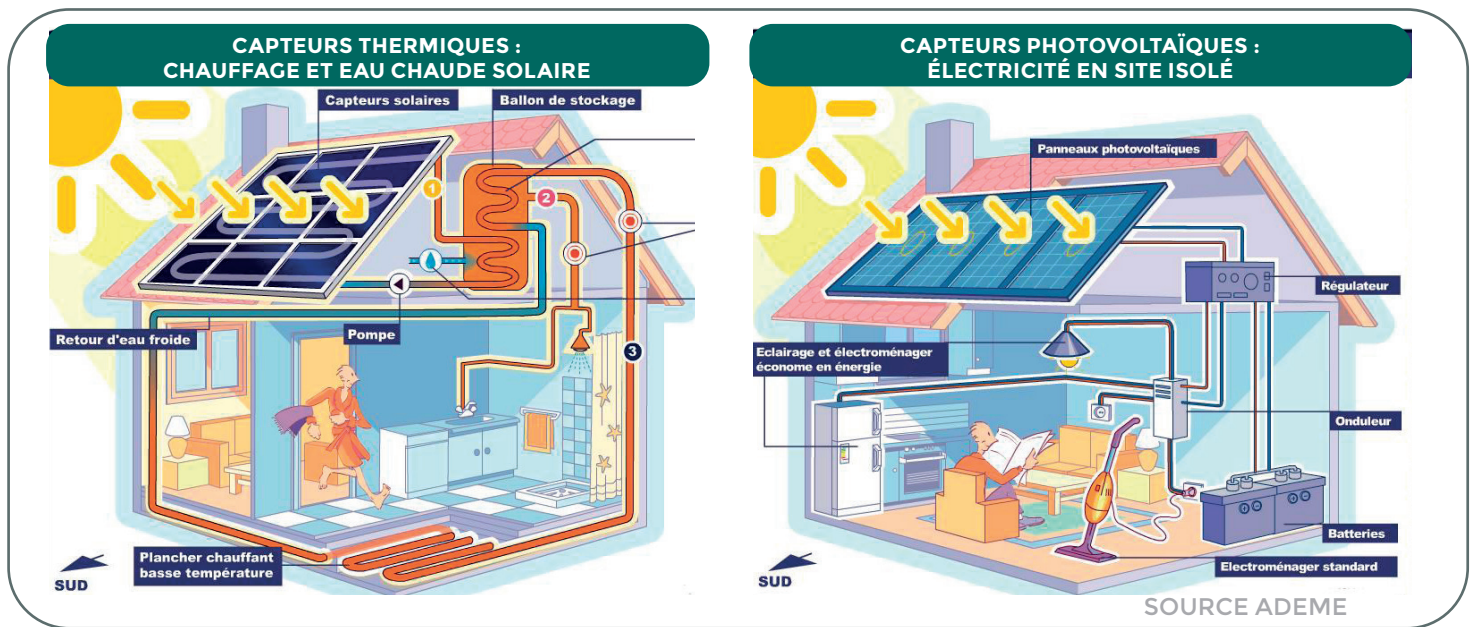


## Cellules photovoltaïques et systèmes

—  
La transformation de l'énergie solaire & installation

Utiliser une énergie verte c'est possible !  
Pour bien choisir ses panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques, il est utile de comprendre la technologie à l'œuvre pour faire des choix éclairés





## TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE & INSTALLATION

La conversion du rayonnement solaire en chaleur et en électricité est au cœur de la transition vers des systèmes énergétiques soutenable.

Mais comment ça marche ?

Comment mettre en place un système performant ?

Un projet réussi est un projet bien anticipé !

### CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES

Le capteur solaire thermique permet de produire de l'eau chaude grâce à l'énergie solaire. Il absorbe le rayonnement solaire pour le transformer, grâce à un liquide caloporteur, en énergie thermique.

### CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES

La cellule photovoltaïque permet de produire de l'électricité à partir de l'énergie de la lumière solaire. Les photons de la lumière solaire transfèrent leur énergie aux électrons du matériau semi-conducteur. Ceux-ci se mettent en mouvement et créent un courant électrique collecté par une grille métallique très fine. Un panneau assemble entre 60 et 72 cellules.

### REPÈRES DE SURFACE

- environ 20 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques, c'est une installation de 3kWc, soit la consommation standard d'électricité pour une maison
- 4m<sup>2</sup> couvrent les besoins d'un foyer de 4 personnes en eau chaude

### PANNEAUX SOLAIRES COMBINÉS

Ils associent les deux technologies.



**CAPTEURS THERMIQUES TUBES SOUS VIDE**  
intégration délicate



**CAPTEURS THERMIQUES AVEC PLAN VITRE**



**CELLULES POLYCRISTALLINES**  
bleu foncé, non uniforme



**CELLULES MONOCRISTALLINES**  
couleur foncée uniforme



**COUCHE MINCE SILICIUM AMORPHE**  
couleur grise ou marron



## PRINCIPE

Avez-vous besoin de produire de la chaleur ou de l'électricité verte ? Dans quelle quantité ? Analysez bien vos besoins! Il existe des panneaux solaires thermiques, des panneaux photovoltaïques et des panneaux combinés hybrides.

Si vous produisez de l'électricité, allez-vous l'utiliser ou la valoriser ?

4 solutions sont possibles

- 100% injection dans le réseau en revente
- Autoconsommation avec injection du surplus
- 100% autoconsommation individuelle avec stockage éventuel
- 100% autoconsommation collective

## RETOURS D'EXPÉRIENCE EN AUTOCONSOMMATION

Pour en savoir plus, voir le dossier AQC/ Envirobot <https://www.photovoltaique.info/fr>

### Raccordement

Attention, les délais de raccordements peuvent aller de plusieurs mois à un an. Il est important de lancer les démarches administratives dès l'obtention de l'autorisation d'urbanisme.

Le gestionnaire de réseau prend en charge jusqu'à 60% du coût du raccordement pour toute installation <500kWc.

### Place de l'onduleur

Les onduleurs permettent la transformation du courant électrique continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif, en courant domestique. Il faut choisir son emplacement avec soin, selon plusieurs critères. Il doit être proche des panneaux solaires, à moins de 10 mètres, pour éviter la déperdition d'énergie et avoir une efficacité optimale. Il doit être placé dans un endroit frais et propre avec peu d'ensoleillement et d'humidité, facile d'accès pour faciliter son entretien. Il doit être dans un local ventilé pour ne pas risquer de surchauffe et à distance des pièces de vie pour éviter le bruit.

Il existe aussi des micro-onduleurs intégrés aux panneaux.

### Maintenance-suivi des performances

Il est aussi important d'avoir un outil de pilotage et de contrôle de la production afin de détecter tout problème technique. N'oubliez pas aussi que l'encrassement des panneaux (poussières...) peut entraîner une baisse de performance de 5 à 10 %. La solution recommandée est d'avoir un contrat de maintenance.

## IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Contrairement à ce que l'on pense parfois, les capteurs ne contiennent pas de terres rares. Le silicium est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène. Il est extrait principalement sous forme de quartz puis transformé en silicium "métal" par électrometallurgie. Le principal impact environnemental du photovoltaïque est dû à la fabrication (et surtout au mix énergétique du pays d'origine) ainsi qu'au transport. Enfin, aujourd'hui, plus de 90 % des modules photovoltaïques (durée de vie de 25 ans en moyenne) sont recyclables. Selon l'ADEME, on considère donc qu'il faut entre une et trois années pour amortir sa fabrication.



## L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

La découverte de l'effet photovoltaïque date de 1839, lorsque le physicien Edmond Becquerel découvre la possibilité de produire de l'électricité grâce à la lumière et les matériaux semi-conducteurs. Après 1913, naissent les premières cellules photovoltaïques.

Le premier véritable panneau solaire, avec un rendement de 6 %, est développé en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell. La recherche spatiale s'empare du sujet afin d'équiper ses satellites. La recherche progresse jusqu'à obtenir un rendement de 9%. En 1958, les premières cellules voyagent à bord du satellite Vanguard 1.

La recherche continue et l'usage domestique des panneaux solaires se développe davantage d'année en année. Les rendements augmentent...et les coûts diminuent.



## Comprendre les critères d'insertion dans le site

—  
Expliciter le rapport au bâti

**La technologie photovoltaïque évolue pour mieux s'adapter au bâtiment et s'intégrer plus harmonieusement à l'enveloppe du bâtiment ! Plusieurs solutions existent : trouver la meilleure dans votre situation !**





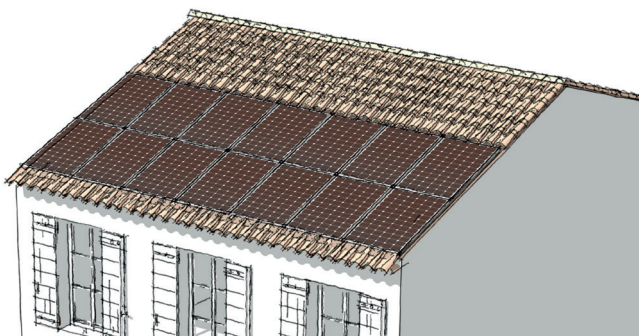


## PRÉCISER LE RAPPORT AU BÂTI

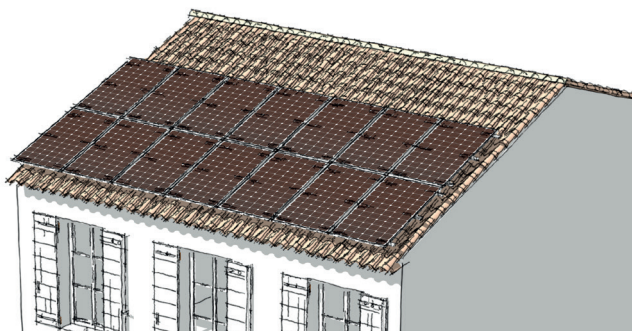
Quel que soit le contexte, la pose de panneaux solaires doit être réfléchie pour s'intégrer au mieux, dans un objectif de discrétion.

Il est important d'avoir une insertion soignée des panneaux, de ne pas affecter la qualité du bâti en ajoutant un objet technique de manière inopportune.

### CAPTEURS EN POSE INTÉGRÉE



### CAPTEURS EN SUR-IMPOSITION



## 1. TYPE DE POSE-RAPPORT AU SUPPORT

Deux grandes options se présentent :

1. Les capteurs sont installés en pose intégrée (affleurante), c'est-à-dire encastrés à la place d'éléments existants dans le bâti.

Un effet de continuité du plan de toiture est intéressant lorsqu'il y a une cohérence des teintes des panneaux et du support.

Ce dispositif doit être conforme au DTU.

2. Les capteurs sont détachés du plan de toiture, ils sont en surimposition

L'installation est réversible et préserve le bâti.

## 2. ORDONNANCEMENT-FORME

Le projet doit prioriser les emplacements discrets et s'inscrit dans les lignes du bâtiment avec des formes générales simples et rectangulaires ; bannir les effets de pastillage, d'encadrement et d'escalier.

1. C'est une toiture solaire intégrale, d'une rive à l'autre, de l'égout au faîtage, sans effet d'encadrement.

2. C'est une toiture partielle avec des panneaux regroupés sans effet d'escalier ni de pastillage dans le pan de toiture.

3. L'intégration des panneaux est pensée comme partie prenante de l'architecture de l'édifice ; par analogie avec des éléments architecturaux (vérandas, marquise, auvents, brise-soleil...) ; les panneaux peuvent aussi être en façade et participer à sa composition.





## PRINCIPE

Il convient de déterminer la meilleure option pour

1. Le type de pose
2. La forme d'ensemble des panneaux
3. Le positionnement sur le bâti
4. La couleur et l'aspect

### 3. ADOSSEMENT-POSITION SUR LE BÂTI

Le projet doit respecter les lignes de force de l'architecture et du paysage

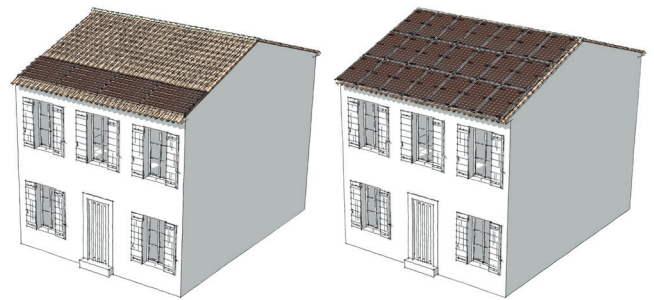
1. Les panneaux s'inscrivent sur des constructions annexes, dépendances, toitures secondaires, au sol, aux endroits les moins visibles depuis le grand paysage et depuis la rue, en accroche sur l'existant.
2. Les panneaux sont discrètement intégrés dans le projet de construction neuve.

### 4. ASPECT-COULEURS ET FINITIONS

L'insertion du projet est favorisée par la teinte et par la texture des modules photovoltaïques.  
Pour s'incorporer à la texture du bâtiment, il faut s'intéresser à 2 aspects :

1. Nuancer la couleur en fonction des teintes locales traditionnelles et choisir des capteurs aux finitions mates
2. Éviter les cadres d'une teinte différente de celle des panneaux, choisir des panneaux monochromes et uniformes

### IMPLANTATION PAR PANS ENTIERS OU BANDES



### IMPLANTATION SUR ANNEXES



### IMPLANTATION AU SOL





## Choisir ses capteurs

—  
Les différents modèles, couleurs, matières, motifs

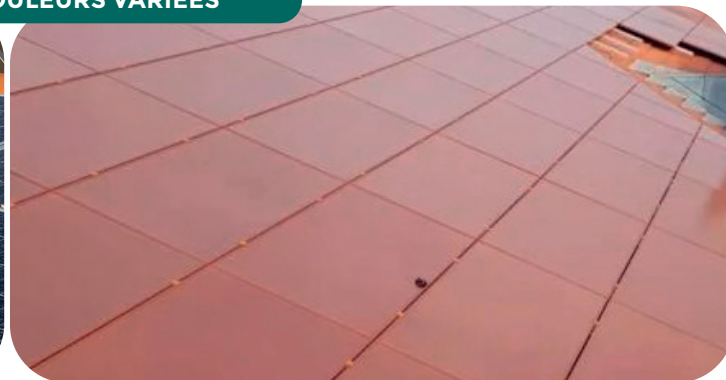
**La technologie photovoltaïque évolue pour mieux s'adapter au bâtiment et s'intégrer plus harmonieusement à l'enveloppe du bâtiment ! Choisissez les bons capteurs !**







MODULES DE COULEURS VARIÉES



## CHOISIR DES CAPTEURS SOLAIRES ADAPTÉS.....

L'aspect des capteurs est déterminant pour permettre une bonne intégration dans le paysage ;

En fonction de l'impact visuel de votre projet dans le paysage et depuis l'espace public et de la qualité architecturale et patrimoniale des lieux, choisissez les bons capteurs.

### CHOIX DE L'INSTALLATEUR

Il est recommandé de faire appel à un professionnel qualifié, grâce à la mention RGE (Reconnu garant de l'environnement) et aux certifications Qualibat, Qualit'ENR, Qualisol.

### LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES

Pour bien choisir ses panneaux solaires, il faut distinguer les trois grandes familles de cellules solaires :

1. Les cellules au silicium cristallin, pour lesquelles l'élément actif est le silicium dopé dans la masse. Cette technologie représente 90 % des parts de marché du fait de sa robustesse et de ses performances (rendement modules allant de 12 à 20 % pour une durée de vie de 30 ans environ) ; on a des cellules monocristallines ou polycristallines.
2. Les cellules à base de couches minces qui ont en commun le procédé de dépôt du matériau semi-conducteur à faible épaisseur sur des substrats variés et donnant un aspect uni, produisant des modules de rendement légèrement inférieur (de 7 à 13 %). Ces produits ont l'avantage d'un faible poids et sont plutôt destinés aux grandes toitures existantes, sur des entrepôts par exemple.
3. Les cellules à base de photovoltaïque organique, segment sur lequel la recherche s'intensifie dans la perspective de produire des cellules à très bas coût pour des applications nouvelles. Leur principe de fonctionnement est basé sur les cellules à colorant de Michaël Grätzel (1991) avec des variations sur le type de matériaux utilisés : les cellules organiques : 2001 (OPV), les Cellules Pérovskites hybrides : 2009. Les cellules dites tandem (silicium+pérovskite) sont en cours de développement avec un objectif d'atteindre un rendement de 30 % en 2030.





ARDOISES ET TUILES SOLAIRES



BI-VERRE SEMI-TRANSPARENT



## COULEURS ET RENDEMENTS

Les panneaux monocristallins (gris, noir, bleu avec teinte homogène) disposent du rendement le plus important actuellement, autour de 20 %.

Les panneaux polycristallins (bleu, teinte non homogène) s'utilisent peu en toiture, car ils ont des rendements de 10 %.

Les panneaux colorés présentent un surcoût, mais permettent de se mettre en harmonie avec les teintes d'une toiture ; en effet, ils nécessitent de positionner un «back sheet», ou de colorer le verre.

Les tuiles et ardoises solaires ont un rendement autour de 10% pour des coûts d'investissements supérieurs ; ils s'intègrent facilement dans le paysage lointain.

### RENDEMENT EN FONCTION DE L'ORIENTATION ET DE LA PENTE DES TOITS

	0°	30°	60°	90°
Est	93%	90%	78%	55%
Sud-Est	93%	96%	88%	66%
Sud	93%	100%	91%	68%
Sud-Ouest	93%	96%	88%	66%
Ouest	93%	90%	78%	55%

On note que les installations à plat ont un bon rendement.

## PRINCIPE

L'impact visuel du projet sera apprécié différemment selon la position qu'il occupe dans un contexte paysager ou urbain bien déterminé.

## CONTRAINTES TECHNIQUES

Les panneaux vont créer une surcharge sur votre toiture. Vérifiez qu'elle peut accepter la surcharge de poids créée.

La charge de pression (neige) et dépression (vent) doit aussi être prise en compte. Elle se mesure en pascal (Pa).

Respecter les recommandations techniques des fabricants avec des dispositifs d'accroche adaptés pour ne pas créer de problème d'étanchéité dans la toiture.

Respecter les règles permettant d'assurer la sécurité incendie qui dépendent des SDIS et du type de bâti.

## ET LA NEIGE ?

Est-il nécessaire de déneiger les systèmes photovoltaïques ? La perte de puissance liée à une installation photovoltaïque recouverte de neige en hiver n'est que d'environ 5 à 8% pour les sites situés autour de 1000 mètres d'altitude et d'environ 1 à 4% en dessous de 1000 mètres d'altitude. En hiver, le photovoltaïque produit environ un tiers de la puissance totale de l'installation. Pour le rendement annuel, un toit solaire couvert de neige n'a donc que peu d'importance.



## Lexique

---

### Auvent :

petit toit incliné au-dessus d'une porte ou d'une fenêtre.

### Brise-soleil :

protections solaires requises pour protéger les façades et baies vitrées du rayonnement solaire, et améliorer le confort.

### Cellule photovoltaïque :

élément photovoltaïque de base, générant de l'électricité en courant continu lorsqu'il est soumis au rayonnement solaire.

### Co-visibilité :

on parle de co-visibilité lorsqu'un immeuble, bâti ou non bâti, est visible depuis un immeuble protégé au titre des monuments historiques ou en même temps que lui.

### Installation photovoltaïque :

ensemble constitué du procédé photovoltaïque ainsi que de tous les équipements mécaniques et électriques nécessaires au bon fonctionnement et à la sécurité de l'unité de production d'énergie électrique.

### Module photovoltaïque (appelé « panneau photovoltaïque ») :

terme générique désignant un assemblage (cadré ou non) de cellules photovoltaïques interconnectées, complètement protégées de l'environnement par un polymère thermoplastique et mécaniquement renforcées par un produit verrier en face avant et par des polymères ou des produits verriers en face arrière. Un cadre (généralement métallique) peut également être présent.

### Pose intégrée :

les capteurs sont posés en remplacement des éléments de toiture, ils assurent l'étanchéité. Ils entrent dans le cadre d'une garantie décennale.

### Pose surimposée :

principe de réalisation d'une installation photovoltaïque à l'aide d'un procédé installé sur un support et n'assurant ni la fonction de couverture, ni celle de parement extérieur.

### PSMV :

plan de sauvegarde et de mise en valeur.

### PVAP :

plan de valorisation de l'architecture et du patrimoine.

Le PSMV et le PVAP remplacent les règlements des aires de valorisation de l'architecture et du patrimoine (AVAP) et des zones de protection du patrimoine architectural urbain et paysager (ZPPAUP).

### SPR :

site patrimonial remarquable.

### SSC :

système solaire combiné (eau chaude sanitaire + chauffage).



## EN SECTEUR PROTÉGÉ

En secteur protégé, les principes d'implantation peuvent être complétés en fonction d'enjeux patrimoniaux spécifiques

1. Dans un ensemble urbain protégé au titre du code du patrimoine ou de l'environnement, le principe de précaution prévaut : un projet qui ferait porter un risque au patrimoine urbain, paysager, architectural, peut être écarté dans l'attente des évolutions qui verront apparaître de nouveaux produits solaires adaptés à la préservation du patrimoine bâti

2. Dans le cas d'un bâtiment protégé, dont la composition architecturale ou la matérialité pourrait être altérée par la présence d'un dispositif solaire, le projet peut être refusé

3. Un architecte/un maître d'œuvre peut vous accompagner dans vos démarches réglementaires

## POUR VOUS RENSEIGNER

LES UDAP

LES CAUE

L'ADEME, Agence de la transition écologique

ENERPLAN, Asso. professionnelle de l'énergie solaire

## SITES INTERNET PRATIQUES

Sur les servitudes d'urbanisme et les espaces protégés (Géoportail et Atlas des patrimoines) :

<http://atlas.patrimoines.culture.fr/atlas/>

Sur les aides ADEME :

[agirpourlatransition.ademe.fr](http://agirpourlatransition.ademe.fr)

Sur la filière du photovoltaïque :

<https://www.photovoltaique.info/fr/>



Ces fiches-conseil ont été réalisées par l'agence KP architectes-urbanistes

avec le groupe de travail :  
DRAC PACA, DREAL, CEREMA, ADEME, ENERPLAN

Pilotage DRAC PACA  
Tous droits de reproduction réservés