

Les études structures



Webinaire – 19 septembre 2024

**Les études structures des bâtiments à solariser :
comment ça fonctionne ?**



- **Introduction**
 - Association des Centrales Villageoises et Energie Partagée
- **Présentation des études structures pour les projets citoyens**
 - **Ressources disponibles pour les collectifs citoyens**
 - **Contexte réglementaire**
 - **Assurances et photovoltaïque**
 - **Les enjeux des études structures**
 - **Bien préparer l'intervention du BE**
 - Morgane Besson – Association Centrales Villageoises
- **Retour d'expérience d'un porteur de projets et bonnes pratiques**
 - Lucile Renault – Centrales Villageoises VercorSoleil
 - Jean-François Cousin – Energie en Toit
- **Temps de questions/réponses**





- **Partenariat Association Centrales Villageoises – Energie Partagée**

- Depuis 2019, dans l'objectif de mener des travaux communs sur le sujet du photovoltaïque
- Déjà de nombreuses ressources communes réalisées : guide sur les ombrières, sur les bâtiments PV-ready, sur les contrôles réglementaires, étude juridique et guide sur l'autoconsommation individuelle, fiche sur la maintenance...

- **Adhésion simplifiée**

- Car il est possible d'être à la fois adhérent de l'Association Centrales Villageoises et d'Energie Partagée !
- Principe : ristourne sur les deux adhésions (- 30 % côté EP, - 15 % côté Asso CV) pour permettre de limiter le surcoût pour les sociétés citoyennes
- Plus d'infos [ici](#)



- Rédaction d'un guide sur les études structures : travail commun Energie Partagée – Centrales Villageoises en 2020, mis à jour en 2024



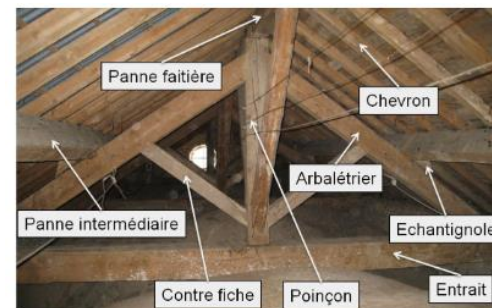
Ce guide n'a pas été rédigé par des professionnels du bâtiment.
Il n'a pas vocation à remplacer les études structures, mais à les accompagner !

Guide rédigé sur la base d'échanges avec des bureaux d'études spécialisés et des porteurs de projets citoyens



Enjeux des études structures pour projets photovoltaïques sur toitures

Guide d'accompagnement aux études structures à l'attention des porteurs de projets citoyens



Composition d'une ferme de charpente "traditionnelle". Crédits : AIS

Retrouvez le guide en suivant ces liens :

- Pour les adhérents Energie Partagée : [ici](#)
- Pour les adhérents Centrales Villageoises : [ici](#)

- **Qu'est-ce qu'une étude structure ?**

- Etude de la structure (charpente) d'un bâtiment
- Objectif : faire contrôler par un tiers la capacité d'une charpente à recevoir la surcharge des panneaux PV

- **Dans quels cas l'étude structures est-elle obligatoire ?**

- Un contrôle technique est obligatoire pour les :
 - ERP du 1^{er} groupe (catégories 1 à 4)
 - Immeubles dont le plancher bas du dernier niveau est > 28 m
- Le contrôle technique va notamment contenir une « attestation de solidité à froid » délivrée en fonction de l'étude structures réalisée par le BE spécialisé.

Instruit
par le
SDIS

- Le contrôle technique n'est pas obligatoire pour :

Etude
structures
conseillée

- ERP du 2nd groupe (catégorie 5) : le SDIS peut demander attestation de contrôle de solidité de l'ouvrage au Maître d'Ouvrage
→ **Il est alors fortement conseillé au porteur de projet de faire vérifier la solidité de la structure par un bureau d'études avant d'engager sa responsabilité.**
- Autres bâtiments : en cas de sinistre, la responsabilité est recherchée par les assurances et peut incriminer le MOA et surtout l'installateur (qui « accepte le support »).
→ **Il est prudent de réaliser une étude structures pour les grandes toitures ou celles où l'installateur et le MOA ont un doute.**

- **Cadre réglementaire en France : loi Spinetta (1978) et Code de la Construction et de l'Habitation**
 - Responsabilité ET obligation d'assurance décennale* pour tous les constructeurs
 - Pour les Maîtres d'Ouvrages : obligation d'assurance Dommage-Ouvrage* de leurs bâtiments (assurance «Relais»)
 - Définition des obligations de contrôle technique.

→ **Rôle prépondérant des assurances dans la construction en France !**

*Assurances valables 10 ans à compter de la date de réception du chantier → Importance du **PV de réception des ouvrages**





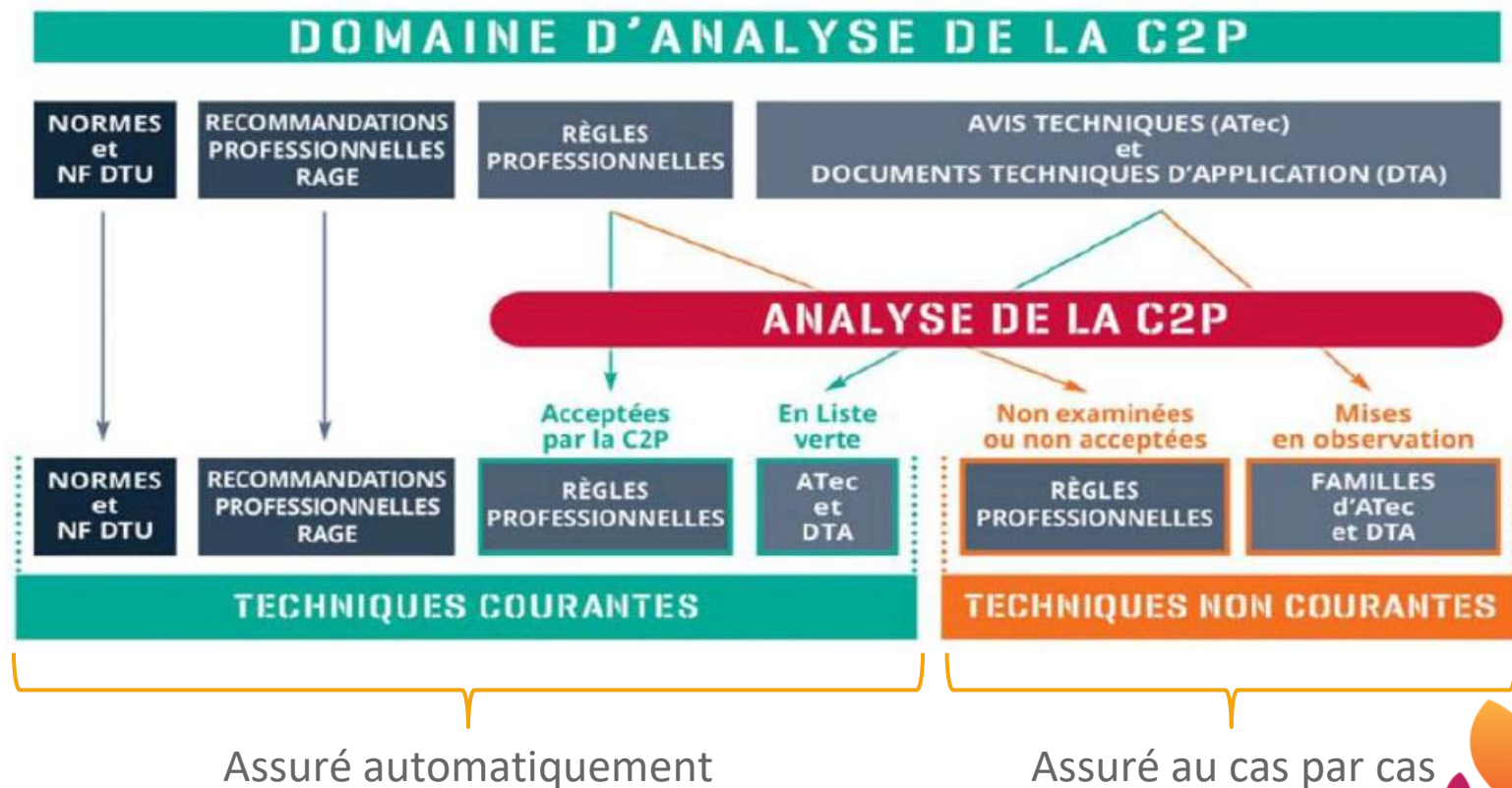
- **Les critères d'étude des assurances (1/3)**

- Compétences et expériences de l'installateur (notamment en tant que couvreur)
- Procédés utilisés :
 - Le matériel utilisé (modules, fixations...)
 - Les domaines d'emploi du matériel



- **Les critères d'étude des assurances (2/3)**

- Classification du matériel : réalisée par la Commission Prévention Produits (C2P) de l'Agence Qualité Construction (AQC)



• Les critères d'étude des assurances (3/3)

- Domaine d'emploi du matériel : spécifié dans la documentation technique (ATEC, ATE_x, ETN)

10 DOMAINE D'EMPLOI

Le domaine d'emploi du procédé est précisé dans le cahier des charges du demandeur et précisé comme suit dans la présente Enquête de Technique Nouvelle.

Mise en œuvre en France métropolitaine :

- Procédé réservé aux couvertures visées par les DTU stipulés au §9 ci-avant
- Utilisation pour les types de bâtiments suivants : bâtiments d'habitation (collectifs ou individuels), bâtiments industriels, tertiaire ou agricoles
- Pose en mode portrait ou en mode paysage avec le montage spécifique (voir § mise en œuvre)
- Mise en œuvre en toitures neuves de bâtiments neufs ou existants exclusivement **sur charpentes bois** (bois de classe C24 minimum)
- Atmosphère extérieure rurale non polluée, industrielle normale, sévère ou marine
- A plus de 3 km du bord de mer
- Sur bâtiments isolés ou non, en toiture froide exclusivement



Vérifier que le matériel est en adéquation avec la charpente et que toutes les spécifications sont respectées par l'installateur

Rappel de l'objectif : faire contrôler par un tiers la capacité d'une charpente à recevoir la surcharge des panneaux PV

• Une charpente est dimensionnée par supporter des :

Charges permanentes

- Éléments porteurs
- Couverture
- Isolant



- Installations PV



Charges variables

- Charges d'exploitation et maintenance
- Charges climatiques* :
 - ☐ Vent (*Dépend de la région géographique et de la situation du bâtiment (ville, campagne, montagne...)*)
 - ☐ Neige (*Dépend de la région géographique et de l'altitude*)

*Définies dans les EUROCODE

Les enjeux des études structures

- Quelques ordres de grandeurs :

**Ces chiffres sont des ordres de grandeur et doivent donc être utilisés avec prudence*

Charges permanentes	Panneaux PV	Tuiles	Ardoises	Bacs aciers	Fibro-ciments	Étanchéité (toits plats)	Lestage PV (toits plats)
Masse surfacique *	12 - 20 kg/m ² (selon système d'intégration)	50 kg/m ²	35 kg/m ²	8 kg/m ²	17 kg/m ²	25 kg/m ²	> 50 kg/m ²

Charges climatiques	Charges de neige	Charges de vent
Masse surfacique *	≈ 40 à 100 daN/m ² en plaine jusqu'à > 1000 daN/m ² en montagne	≈ 40 à 140 daN/m ²

→ Panneaux PV en surimposition : entraînent une surcharge relative importante sur les couvertures légères.

→ Panneaux PV intégrés au bâti : peuvent conduire à un déchargement de la toiture.

→ Les enjeux dépendent donc de la localisation, du type de couverture et du type d'intégration.

*Approximation : 1 daN/m² ≈ 1 kg/m²

Déroulé et contenu des études structures



Préparation préalable

Se poser les bonnes questions, transmettre les bonnes infos et bien préparer la visite : étape clé pour le porteur de projet

Visite sur site

Examen visuel et relevés des cotes par le BE, accompagné sur site par le collectif citoyen

Calculs

Calcul de la tenue des charpentes selon les normes Eurocode
→ Etats limites ultimes (ELU) et états limites de service (ELS)

Rapport

Conclusion sur la possibilité d'intégrer le PV et détails des calculs.

Préconisations de renforcements le cas échéant*

Renforcements



Le suivi des renforcements et leur validation ne fait pas partie de la mission initiale du BE, sauf accord spécifique.

Acteurs impliqués :

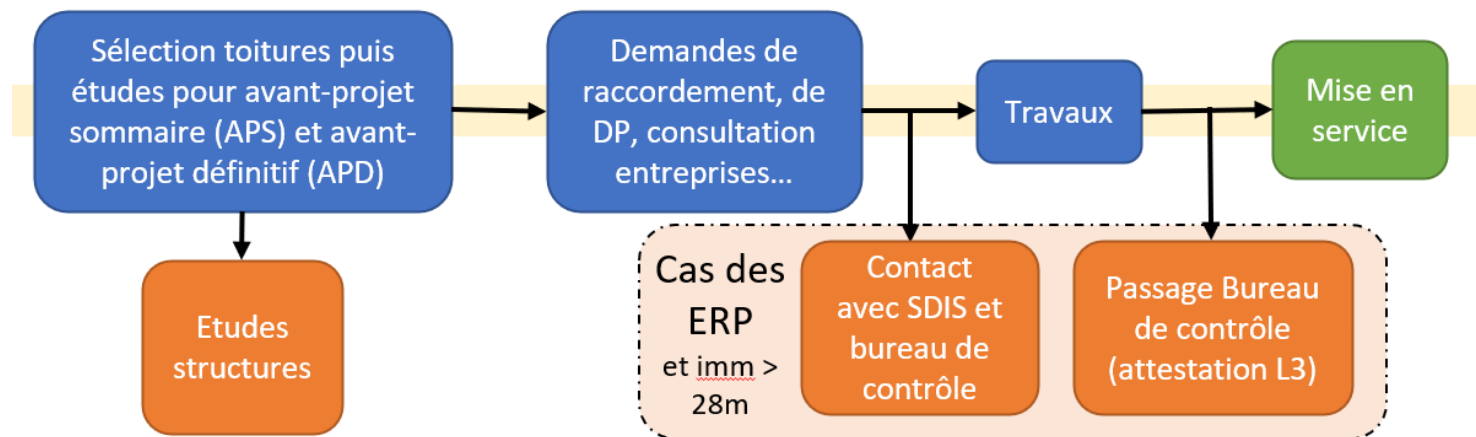
Collectif citoyen

BE structures

Charpentier

**Prendre garde à inclure la mission dans le cahier des charges*

• Quand solliciter l'étude ?



• Préparer l'intervention du BE :

- Fournir un maximum d'informations :
 - Données sur la structure (informations, photos...)
 - Plans (DOE, plans d'évacuation...)
 - Accessibilité de la charpente (présence ou non de faux plafond, nécessité d'une échelle/nacelle...)
- Bien planifier la visite sur site

Retour d'expérience d'un porteur de projets et bonnes pratiques



• Témoignage de Lucile Renault, Centrales Villageoises VercorSoleiL

- Hangar, Saint Martin en Vercors (26)

SYNTHESE

Remarques et préconisations particulières.	• L'ensemble des éléments de charpente relevés <u>ne sont pas</u> justifiés aux Eurocodes pour une intégration simplifiée au bâti (ISB) de 25kg/m² notamment au niveau des pannes (flèches excessives) et des jambes de forces des portiques. <u>Des travaux de renforcement sont donc à prévoir.</u> • Lors de la visite, un rapide examen visuel montre des traces d'humidification partielles indiquant des fuites probables de la couverture en bac acier. Cette couverture semble être d'origine d'après le propriétaire du hangar. Un remplacement de la couverture est à prévoir avant toute installation supplémentaire en toiture, afin d'assurer l'étanchéité lors de l'exploitation de la toiture dans les années à venir, et préserver la structure bois. • De plus, les pieds de portiques présentent d'important signe de pourrissement, au niveau de leur appui sur la structure béton. Ce pourrissement est dû à une mauvaise protection des pieds de poteaux et/ou également à un enfermement de ceux-ci dans un empochement béton, accélérant le processus de dégradation en cas de fuites d'eau en pied. Le traitement de ce point nous semble urgent pour assurer la pérennité du bâti.	
Installation photovoltaïque	• Puissance • Type de pose • Poids maximum (système <u>d'étanchéité</u> + panneaux)	< 100 kWc Surimposition 15 kg/m²
Vérification ELU/ELS	• Pannes • Portiques	Non Justifiées Non Justifiés



Retour d'expérience d'un porteur de projets et bonnes pratiques



• Témoignage de Lucile Renault, Centrales Villageoises VercorSoleil

Préconisations de travaux

Renforcement de la structure par ajout d'une pièce de bois de section 27 x 80 mm
Sur toute la longueur de la panne / Pan sud
Fixation de l'assemblage avec des clous striés 70 mm en quinconces tous les 40 cm
Environ 130 pièces à moiser

Renforcement de 2 jambes de forces (Cause destruction accidentelle)
Par ajout d'une pièce de bois moisée → Section 200 x 50 mm sur 6 ml
Fixation par vis 6*100 en quiconque tous les 40 cm

Renforcement de la totalité des jambes de force du Pan Nord
Par ajout d'une fourrure, elle fixera par la face avant les 2 parties descendantes de la jambe de force
→ Section fourrure : 27 x 250 mm



Reprise de la croix de Saint André
Avec 2 chevrons (Section 60*80)
Emplacement à définir lors d'une réunion



Retour d'expérience d'un porteur de projets et bonnes pratiques



- Témoignage de Lucile Renault, Centrales Villageoises VercorSoleiL
 - Hangar agricole, La Chapelle en Vercors (26)

5 CONCLUSION ET PRECONISATIONS

Les éléments de la charpente ont été vérifiés en l'état actuel pour une charge supplémentaire due à l'installation de panneaux photovoltaïques (15 kg/m^2) :

- Les pannes **ne peuvent pas reprendre** en l'état actuel une charge supplémentaire due à l'installation de panneaux photovoltaïques (15 kg/m^2) : la résistance des sections à l'ELU est trop juste au niveau des appuis car seul la planche de 3 cm d'épaisseur assure la continuité, les déformations à l'ELS ne passe pas pour une charge de vent à l'Eurocode en raison de la flèche trop importante suivant son axe faible.
- Les portiques **ne peuvent pas reprendre** en l'état actuel une charge supplémentaire due à l'installation de panneaux photovoltaïques (15 kg/m^2) : la résistance des sections à l'ELU est trop importante avec les charges de vent à l'Eurocode. Les poteaux subissent un flambement et une flexion importante. Les déformations à l'ELS ne passent pas pour une charge de vent à l'Eurocode car le déplacement des poteaux est trop important.

Les vérifications effectuées dans le cadre de cette étude **ne permettent pas** de justifier aux états limites ultimes et de service la structure pour une surcharge en panneaux photovoltaïques de 15 kg/m^2 sans préconisation de travaux.

La structure actuel est juste au calcul actuellement, notamment les déformations à l'ELS pour des charges climatiques de vent (période de retour de 50 ans). Certaines hypothèses de calcul sont difficiles à prendre en compte sur un bâtiment existant, et certaines ne sont pas prises en compte par les Eurocodes, comme la couverture qui, dans la réalité, joue un rôle de diaphragme important pour le maintien de la structure.

• Témoignage de Lucile Renault, Centrales Villageoises VercorSoleiL

5.1 PRECONISATION DE TRAVAUX

Nous préconisons pour la pose de panneaux photovoltaïques (15 kg/m^2) de reprendre certains éléments de la charpente.

5.1.1 REPRISE DES PANNES

L'ajout des panneaux photovoltaïques engendre également une augmentation de la flèche d'une panne selon son axe fort et des contraintes. Il est préconisé de venir augmenter son inertie au niveau des appuis car les pannes sont continues. Lorsque les pannes sont continues, les contraintes sur appuis sont plus importantes qu'en travée. Or, sur appuis seul une planche de 18cm de hauteur par 3 cm d'épaisseur vient reprendre les efforts.

Pour assurer la continuité des pannes, nous préconisons donc de **rajouter une pièce de bois clouée ou vissée** en symétrie de la planche existante de l'autre côté.

Pour définir et réaliser ces travaux, la maîtrise d'ouvrage devra s'appuyer sur une maîtrise d'œuvre compétente et faire réaliser des études d'exécutions adaptées au renforcements préconisés.

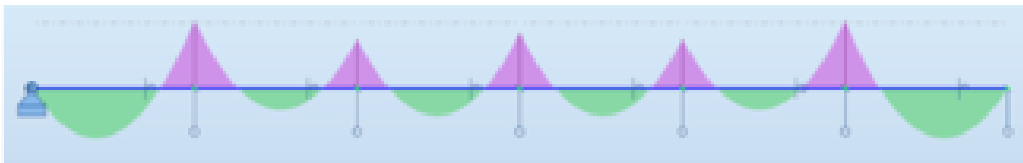


Diagramme des moments des pannes

Préconisations de travaux

- Reprise des pannes
- Reprise des poteaux



Renfort de la section d'une panne

• Témoignage de Lucile Renault, Centrales Villageoises VercorSoleil

5.1.2 REPRISE DES POTEAUX

Les poteaux des portiques sont fortement sollicités en flexion et particulièrement sous l'action horizontale de vent en façade. En effet, la jambe de force transmet un effort horizontal important à mi-hauteur du poteau ce qui génère un moment important comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous. De plus, en partie haute des poteaux, la section se réduit à 7.5cm d'épaisseur ce qui ne suffit pas non plus pour reprendre les efforts actuels.

Les poteaux ne sont pas justifiables en l'état et nous recommandons fortement de les reprendre par **moilage sur l'ensemble de leur hauteur**, y compris la partie haute, plus fine.

Pour définir et réaliser ces travaux, la maîtrise d'ouvrage devra s'appuyer sur une maîtrise d'œuvre compétente et faire réaliser des études d'exécutions adaptées aux renforcements préconisés.

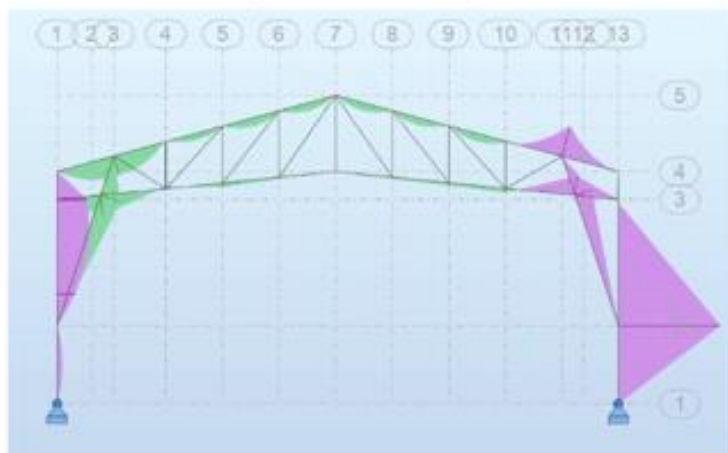


Diagramme des moments dans un portique soumis à un vent en façade



Partie haute du poteau en 7,5x25^{cm}

5.2 VERIFICATION DES ASSEMBLAGES ET DE L'ETAT SANITAIRE

Préalablement ou en phase préparation de chantier, par sondages ou par découverte complète ou ponctuelle, vérification par l'entreprise, sous contrôle de la maîtrise d'œuvre, de la conformité des éléments de toiture mis à jour avec les hypothèses de la présente étude, et de l'état sanitaire des bois de charpente et assemblages. Outre ce travail de contrôle et vérifications, un poste pour renfort ou remplacement de pièces et d'assemblage est donc à provisionner.

• Témoignage de Jean-François Cousin, Energie en Toit

- Projet du centre technique de Juvignac (34)

Projet initial

Puissance : **36 kWc**

Nombre de modules : **92**

Surface Couverte : **200 m²**

Productible : **1200 kWh/kWc**

Production prévisionnelle : **43,2 MWh/an**

Investissement : **58 000 € HT** soit **1,6 €HT/Wc**

Tarif d'achat : **0,1121 €/kWh**

Chiffre d'affaires : **4 800 €/an**

Pose : surimposition sur toiture tuiles



• Témoignage de Jean-François Cousin, Energie en Toit

Juin 2021 : diagnostic structure de la toiture

Conclusions :

- Les poutres en BA sont aptes à supporter la charge des capteurs PV.
- En flexion combinée, les pannes posées « à dévers » nécessitent l'ajout d'entretoises afin de bloquer leur flambement (risque de glissement de la toiture)
- La commune accepte de prendre à sa charge le renforcement préconisé.



• Témoignage de Jean-François Cousin, Energie en Toit

Mars 2022 : la toiture est mise à disposition de la SAS EMC2

Juillet 2022 : ouverture du chantier

→ L'entreprise K'Hélios commence à détuiler et constate l'absence de chevrons nécessaires à la fixation des structures supports de type K2 sur la principale pente de toit (pente ouest) et la partie haute d'une autre pente de toit (pente est).

→ Il est décidé en urgence d'équiper deux petites pentes de toit (est et ouest) soumises à des masques et de réduire la puissance de la centrale.



• Témoignage de Jean-François Cousin, Energie en Toit

Projet réalisé

Puissance : **32,4 kWc**

Nombre de modules : **83**

Surface Couverte : **180 m²**

Productible : **1110 kWh/kWc**

Production prévisionnelle : **36 000 kWh/an**

Investissement : **51 000 € HT** soit **1,57 €HT/Wc**

Tarif d'achat : **0,1121 €/kWh**

Chiffre d'affaires : **4 100 €/an**

Pose : surimposition sur toiture tuiles



• Questions / Réponses

Prise en compte des xylophages dans les études ?

→ Non, il n'y a pas de paramètre ou de coefficients de calcul qui correspondent à ces phénomènes. Ces questions-là sont de l'ordre d'une analyse de l'état sanitaire des bois. On peut seulement prendre des précautions en choisissant une classe de résistance de bois faible (C18 ou moins) si on le juge nécessaire mais rien d'imposé normativement a priori.

