

Enjeux des études structures pour projets photovoltaïques sur toitures

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

Contributeurs

- Rédaction :
 - Etienne Jouin (Association Centrales Villageoises)
 - Adrienne Pernot du Breuil (Energie Partagée)

- Relecture et contributions :

Jean-Eric de Rango (Asso. Centrales Villageoises),
Eric Bureau (Energie Partagée),
Noémie Poize (AURA-EE),

Xavier Paternault (EnergiCimes),
François Devers (CV des Collines Iséroises),
Jean-Michel Servant (CV du Pays d'Aigues)

AMÉLIORATION CONTINUE

Pour toutes questions merci de :

- contacter Eric : eric.bureau@energie-partagee.org
- ou de commenter le document partagé via [ce lien](#). Les auteurs seront directement informés de vos commentaires.

Dans le même document, vous pouvez contribuer grâce aux suggestions (modification directement dans le texte), afin d'améliorer le document en continu. Vous pouvez proposer :

- de nouvelles explications
- et vos propositions de mise à jour.

Vos contributions sont essentielles au réseau ! N'hésitez pas à participer !

/!\ Merci d'indiquer vos coordonnées dans les commentaires, avec à minima votre e-mail /!\

Crédits photos

L'ensemble des photos labellisées "Crédits : AIS" dans le document sont issues de AIS Ingénierie - Scop CABESTAN. La diffusion des photos dans ce document a été autorisée par leur auteur sur le principe de license libre (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/>). L'auteur des photos n'est pas responsable de leur utilisation au sein de ce document.

Table des matières

Contributeurs	1
AMÉLIORATION CONTINUE	1
Crédits photos	1
Table des matières	2
Introduction	5
I - Typologie des charpentes et caractéristiques	5
Eléments constitutifs d'une charpente	5
Typologie de charpentes	7
Les charpentes en bois	7
Les charpentes métalliques	9
II - Qu'est-ce qu'une étude de structures ?	10
Généralités	10
Réglementation	10
Cas général	10
Cas des ERP du 1er groupe et des immeubles de plus de 28 m	12
Car des ERP du 2nd groupe	12
Position des études structures dans la chronologie du projet	13
Enjeux des études selon le type de couverture et d'installation des panneaux	13
Schéma d'aide à la décision	15
Contenu de l'étude de structures	16
III - Les bonnes pratiques pour les collectifs citoyens	18
Identifier les cas défavorables	18
Consulter le bureau d'études et préparer son intervention	18
Au préalable	18
Le jour de la visite	19
Annexe : Modèle de cahier des charges pour l'étude de structures	20

Introduction

L'évolution du tarif d'achat de l'électricité photovoltaïque de 2017 encourage, pour des raisons économiques, les porteurs de projets photovoltaïques à s'intéresser prioritairement aux grandes toitures, souvent équipées de couvertures légères. En parallèle, le système d'installation en surimposition étant le plus économique, il devient aujourd'hui le plus courant. Face à ces évolutions, l'enjeu de la tenue des charpentes est devenu majeur pour les porteurs de projets photovoltaïques, qui doivent désormais régulièrement solliciter des études structures auprès de bureaux d'études spécialisés.

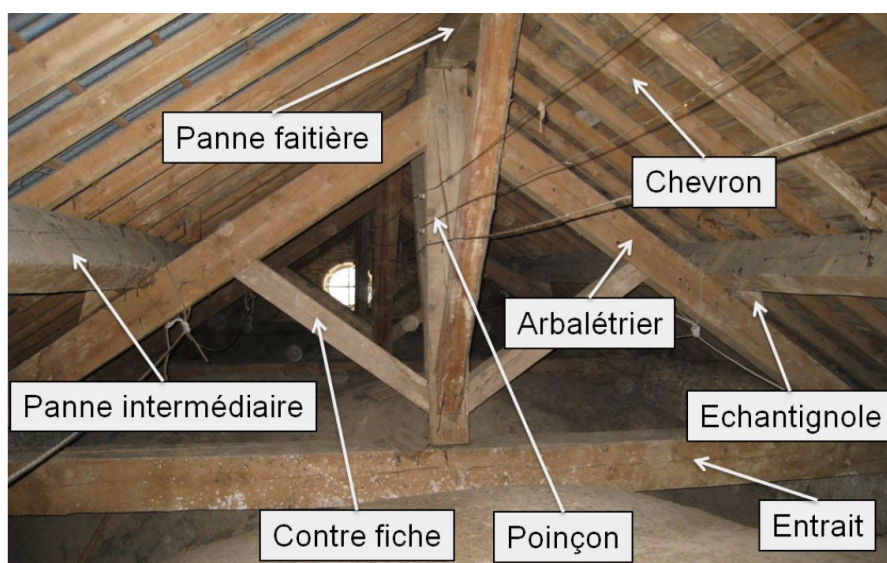
L'objectif de ce guide n'est en aucun cas de se substituer à ces études. Il vise au contraire à mieux cerner les enjeux et leur cadre réglementaire pour apprendre à communiquer avec son bureau d'études, bien préparer son intervention et optimiser au mieux leur coût.

I - Typologie des charpentes et caractéristiques

A. ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CHARPENTE

Avant toute chose, il est important de connaître les bons termes pour désigner les éléments constitutifs d'une charpente.

Une charpente dite « traditionnelle » est composée de plusieurs fermes, qui sont des montages triangulaires placés perpendiculairement aux murs. Une ferme est composée d'un entrait sur lequel sont assemblés les arbalétriers et le poinçon. Les arbalétriers suivent la pente du toit et sont fixés au poinçon, pièce centrale perpendiculaire à l'entrait. Deux contre-fiches maintiennent l'ensemble en étant assemblées obliquement dans le poinçon et l'arbalétrier.



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

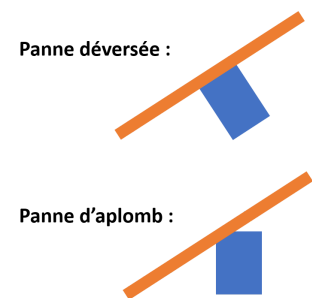
Les poinçons des différentes fermes sont assemblés à la panne faîtière (ou faîtage). Cette pièce est située au sommet de la charpente, à la jonction des deux pans du toit.

D'autres pannes sont posées horizontalement sur les arbalétriers, supportés par des échantignoles. Ces pannes relient les fermes et permettent de supporter le système de couverture. On qualifie de panne sablière la panne de pied de pente, qui est posée sur le mur extérieur du bâtiment.

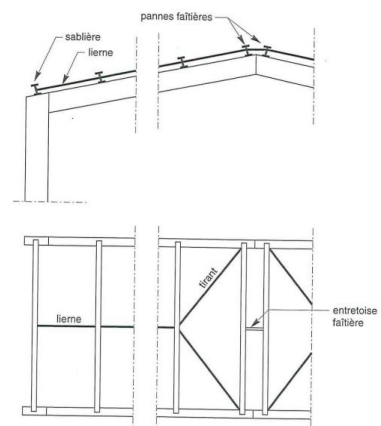
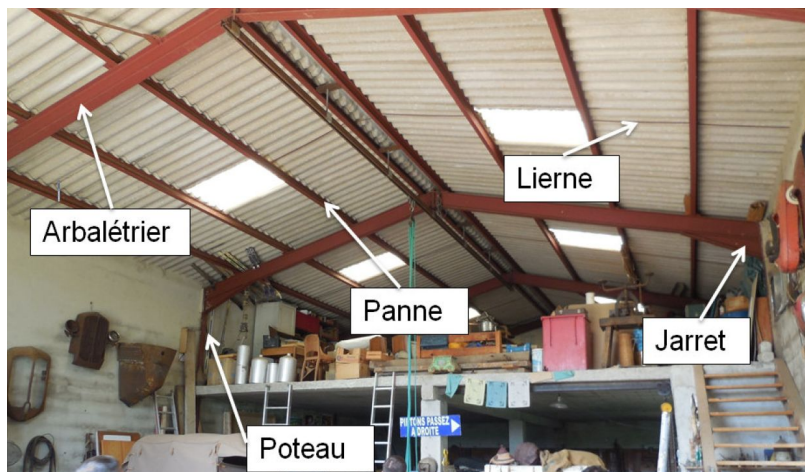
Les chevrons sont des pièces suivant la pente du toit qui relient la panne sablière à la panne faîtière. Ils sont disposés à intervalle régulier (en général tous les 40 à 60 cm) entre deux fermes.

Dans les charpentes traditionnelles en bois, les pannes peuvent être disposées soit à dévers (c'est-à-dire que le haut de la panne suit la pente du chevron) soit d'aplomb (c'est-à-dire que la panne est positionnée horizontalement). En fonction de leur positionnement, les chevrons doivent ou non être fixés sur les pannes :

- Si les pannes sont déversées, les chevrons doivent être fixés pour ne pas bouger sous l'action des charges verticales
- Si les pannes sont d'aplomb, les chevrons doivent être libre de leur mouvement pour éviter une déformation des pannes



La plupart des grandes charpentes métalliques (et certaines charpentes en bois) reposent quant à elles sur des portiques. Ceux-ci reposent sur des poteaux sur lesquels se concentrent les charges de la structure. Les pannes peuvent être assemblées par des liernes.



-Figure 144 -

Composition d'une charpente métallique. Crédits : AIS

B. TYPOLOGIE DE CHARPENTES

Les charpentes en bois

Charpentes anciennes

Ces charpentes sont souvent en bois massif, résineux, avec peu d'éléments métalliques. Elles offrent généralement l'avantage d'être assez massives et de pouvoir supporter les charges.

On peut néanmoins rencontrer différents types de problématiques sur ce type de charpente lors d'un projet PV :

- Hétérogénéité de la qualité mécanique du bois, ce qui entraîne des difficultés dans les calculs du BE
- Sous-dimensionnement des pannes vis-à-vis du critère de flèche admissible. Cela peut entraîner une déformation (banane) des pannes, or les panneaux PV sont rigides et ne pourront pas suivre la même déformation il y a donc un risque de casse des panneaux.
- Dégradation du bois au cours du temps, provoquée par exemple directement par des fuites d'eau, ou par des champignons ou des insectes ayant prospéré grâce à un environnement favorable (humide et chaud)



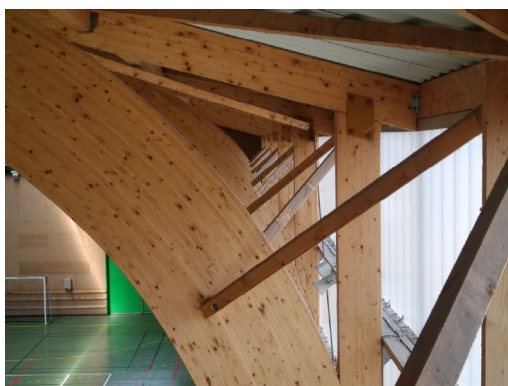
Exemples de dégradations sur des charpentes bois

Charpentes en lamellé-collé

Le bois lamellé-collé est apparu dans les années 1960. Ce matériau a l'avantage d'être très homogène, et permet d'envisager des structures de longue portée et cintrées.

Il présente cependant un risque de décollement des lames de bois : il convient d'être attentif à ce risque pour les structures anciennes.

D'autres exemples de structures en lamellé-collé :

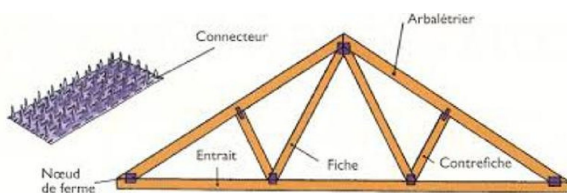


Exemples de charpentes en lamellé-collé. Crédits : AIS

Charpentes industrielles / fermettes

Ce type de charpente est relativement récent. Les fermettes sont un ensemble de fermes dont les sections sont faibles et assez uniformes, et où les assemblages sont réalisés avec des connecteur métalliques. Chaque fermette joue le rôle de chevron, l'espacement entre deux fermettes étant égal à celui entre deux chevrons d'une charpente traditionnelle. La stabilité est assurée par un jeu de contreventement, calculé et positionné en bureau d'étude. Cela a l'avantage d'être économique et relativement facile à mettre en œuvre. La charpente est optimisée à la charge attendue, si bien qu'une surcharge s'avère souvent difficilement admissible sur ce genre de charpente.

En cas de projet sur ce type de charpente il convient de vérifier que l'ensemble de la structure est en bon état : si un élément est rompu ou déformé, l'équilibre global de la structure l'est aussi !



Exemples de fermettes. Crédits : AIS

Charpentes modernes en bois

D'autres types de charpentes en bois existent et ne peuvent être classées dans les catégories listées ci-dessus. En voici quelques illustrations.



Exemples de charpentes modernes en bois. Crédits : AIS

Les charpentes métalliques

Charpentes métalliques anciennes

Elles suivent le principe des fermettes. Elles peuvent être soudées, rivetées à chaud ou boulonnées.
Le risque pour ces charpentes est la déformation des pannes. Il convient de faire attention aux malfaçons.
Il est conseillé de se renseigner le plus possible sur la charpente : de quand date-elle ? Qui est intervenu ?



Exemples de charpentes métalliques anciennes. Crédits : AIS



Exemple de malfaçon sur une charpente métallique. Crédits : AIS

Les portiques métalliques

Ces charpentes sont plus modernes. Ce sont généralement des assemblages boulonnés.



Illustrations de poteaux de portiques métalliques. Exemple de malfaçon à droite : le poteau n'est pas boulonné à l'arbalétrier. Crédits : AIS

II - Qu'est-ce qu'une étude de structures ?

GÉNÉRALITÉS

L'objectif d'une étude de structures est de faire contrôler par un tiers la capacité d'une charpente à recevoir la surcharge des panneaux.

Cette vérification permet d'assurer la sécurité du public. Elle permet également de pouvoir justifier des précautions prises auprès des assurances en cas d'accident.

Dans certains cas, un contrôle technique est obligatoire, incluant généralement une étude de solidité à froid de la structure (cf. "[La réglementation](#)"). L'obligation de contrôle technique concerne les opérations de construction sur :

- Les Établissement Recevant du Public (ERP) de catégorie 1 à 4 (aussi dit de groupe 1),
- Les immeubles dont le plancher bas du dernier niveau est à plus de 28 mètres de haut (immeuble de plus de 28 m).

En dehors de ces cas, l'étude de structures n'est pas obligatoire. C'est l'installateur, en tant que personne de l'art, qui engage sa responsabilité sur le fait que la charpente peut supporter l'installation : en intervenant sur un toit, il « accepte le support ». Ce dernier pourrait décider de faire appel à un Bureau d'Étude pour se décharger de cette responsabilité. Par ailleurs, certains hébergeurs peuvent vous contraindre de passer par un Bureau d'Études tiers, pour se couvrir - notamment dans le cas des bâtiments publics où la sécurité du public dans le bâtiment est de la responsabilité de la collectivité.

RÉGLEMENTATION

Cas général

Hors des cas obligatoires évoqués, rien n'oblige réglementairement les porteurs de projet à solliciter une étude de structures.

Toutefois, elle permet de justifier des précautions prises auprès des assurances en cas d'accident, et principalement celles de l'installateur. En cas de sinistre, le rôle des assurances est incontournable car la responsabilité du sinistre est recherchée. Le paragraphe suivant rappelle le cadre des assurances vis à vis de ces enjeux de structure.

Les assurances liées aux problématiques de structures

En France, le secteur de la construction est encadré par la loi Spinetta de 1978. Elle impose notamment une responsabilité et une obligation d'assurance décennale pour tous les constructeurs (il s'agit ici des installateurs). Les Maîtres d'Ouvrage (ici les collectifs citoyens) doivent pour leur part assurer leurs bâtiments en [Domage Ouvrage](#). L'assurance dommage-ouvrage permet, en cas de sinistre, d'être remboursé rapidement de la totalité des travaux de réparation des dommages couverts par la garantie décennale du constructeur, sans attendre qu'intervienne une décision de justice. Elle est valable 10 ans, comme l'assurance du constructeur. Dans le cas du photovoltaïque, l'assurance Domage Ouvrage est nécessaire lorsque l'installation de la centrale PV entraîne des modifications sur le bâti. C'est donc le cas pour toutes les installations PV intégrées au bâti (intégration totale). Pour le surimposé, elle n'est obligatoire que pour les installations qui ont nécessité un renforcement de la structure.

Les critères d'étude des assurances

Que ce soit lors de la souscription par l'installateur ou lors d'un incident, les assurances analysent - entre autres - ces éléments en lien avec l'enjeu structure :

- Les compétences et expériences de l'installateur, notamment en tant que couvreur;
- Les aspects produits/procédés : d'une part, si les procédés utilisés ont fait l'objet d'évaluations techniques garantissant leur emploi dans des conditions de pose définies (Avis Techniques ou Enquête Technique Nouvelle) - et d'autre part, si les domaines d'emploi décrits dans ces évaluations ont été respectés par l'installateur. Il s'agit notamment de critères en lien avec la nature des charpentes (ex. ci-dessous). Plus d'info sur les ATEC et ETN sur Photovoltaïque.info

Rappels à l'installateur

Il est donc important de mentionner dans les documents contractuels avec l'installateur (cahier des charges, contrat, etc.) :

- La notion d'acceptation du support : que l'installateur engage sa responsabilité sur la capacité du support à être adapté à son ouvrage.
- Le respect des règles de l'art,
- Le respect des domaines d'emploi des avis techniques des procédés utilisés.

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

Exemple : ETN SingleRail K2 Systems

-
- sur toitures inclinées de bâtiment neuf ou existant,
 - autour d'éventuelles pénétrations de toiture (*cheminées, sorties de toiture, fenêtres de toit...*) à condition que :
 - le champ photovoltaïque soit interrompu en respectant une distance des modules à la pénétration de 500 mm minimum (*espace libre du bord de la costière au bord du module photovoltaïque*),
 - les pénétrations soient traitées en stricte conformité avec le Document Technique d'Application des mêmes panneaux sandwich que ceux utilisés pour le procédé,
 - sur charpente dont les pannes métalliques disposent des caractéristiques minimales suivantes :
 - largeur de l'appui : 70 mm minimum dans le cas d'un bâtiment en zone de vent 3 site exposé ou zone de vent 4 (*dans le cas d'un dimensionnement selon les NV65 modifiées*) ou en régions de vent 1-II, 2-II, 3-IIIa et 4-IIIb (*dans le cas d'un dimensionnement selon les règles Eurocode*), 60 mm minimum dans les autres cas,
 - épaisseur de l'appui : entre 1,5 mm et 12 mm.
 - sur charpente dont les pannes bois disposent des caractéristiques minimales suivantes :
 - largeur de l'appui : 82 mm minimum dans le cas d'un bâtiment en zone de vent 3 site exposé ou zone de vent 4 (*dans le cas d'un dimensionnement selon les NV65 modifiées*) ou en régions de vent 1-II, 2-II, 3-IIIa et 4-IIIb (*dans le cas d'un dimensionnement selon les règles Eurocode*), 70 mm minimum dans les autres cas,
 - hauteur de l'appui : 80 mm minimum.
 - sur profils métalliques incorporés et ancrés dans le béton ou la maçonnerie disposant des caractéristiques minimales suivantes :
 - largeur de l'appui : 70 mm minimum,
 - épaisseur minimale de 2,5 mm.

Exemple ATEC Dome Solar (Kogysun i+)

Cas des ERP du 1er groupe et des immeubles de plus de 28 m

Les **Établissements Reçevant du Public (ERP)** du groupe 1 ainsi que les immeubles dont le plancher bas du dernier niveau est à plus de 28 mètres de haut sont soumis à une obligation de contrôle technique ([article R111-38 du Code de la construction et de l'habitation](#)) dont le contenu et l'étendue dépendent des volontés du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) local. Par exemple, le SDIS impose généralement d'effectuer une attestation de solidité à froid de la structure (déf. solidité "à froid" signifie "hors incendie").

Le contrôle technique fait suite à l'étude de structure réalisée par un bureau d'étude spécialisé.

L'attestation de solidité à froid ne fait en effet pas partie du rapport du bureau d'études : il s'agit d'une attestation délivrée par un bureau de contrôle agréé qui va confirmer que l'étude du bureau d'étude structure a été menée dans les règles de l'art en conformité avec la réglementation en vigueur. Le rôle du bureau de contrôle n'est pas de juger de l'état général de la structure, mais de vérifier que les modifications apportées prévues n'augmentent pas les risques pour le public.

Ce sont deux étapes différentes qui ne peuvent pas être réalisées par le même organisme. Pour éviter toute ambiguïté ultérieure avec le bureau de contrôle agréé, il vaut mieux préciser dans le cahier des charges du bureau d'études structures que l'étude de structure demandée devra être conforme aux exigences de vérification de la solidité à froid par un bureau de contrôle agréé.

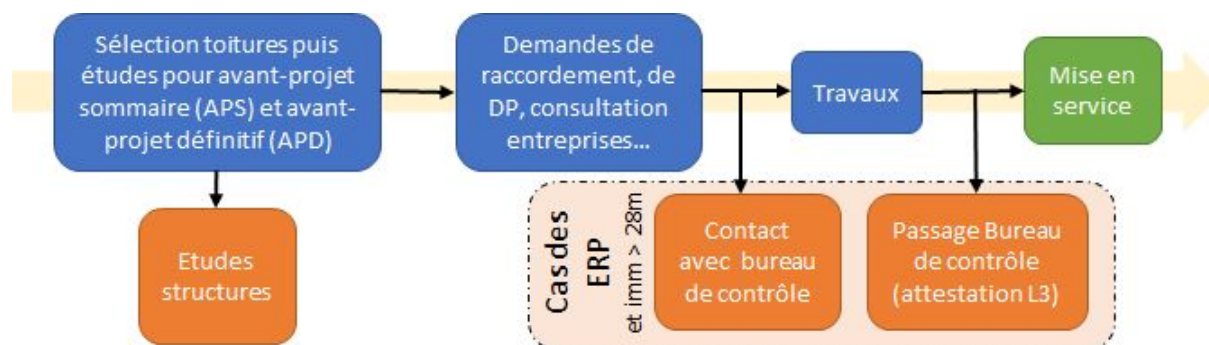
Réglementairement, sur les ERP du 1er groupe, le SDIS demandera également un Rapport de Vérifications Réglementaires Après Travaux (RVRAT) qui est un document qui certifie que tous les travaux de mise en place de l'installation PV ont été effectués conformément aux règlements du code de l'urbanisme en vigueur. L'attestation de Solidité à froid fera donc parti généralement du bouquet de vérifications à demander au bureau de contrôle (RVRAT, Solidité L3 et Électrique).

Cas des ERP du 2nd groupe

Pour les ERP de 5^e catégorie (aussi dit de groupe 2), accueillant moins de 300 personnes (commerces, petites écoles...), le contrôle technique par un bureau de contrôle n'est pas obligatoire. Le SDIS peut cependant imposer au porteur de projet de signer une attestation de contrôle de solidité de l'ouvrage. C'est donc in fine le porteur de projet qui devra engager sa responsabilité (en tant que Maître d'ouvrage) conjointement avec l'installateur (en tant que personne de l'art) sur le fait que la charpente peut supporter l'installation. Il est alors fortement conseillé au porteur de projet de faire vérifier la solidité de la structure par un bureau d'étude avant d'engager sa responsabilité.

POSITION DES ÉTUDES STRUCTURES DANS LA CHRONOLOGIE DU PROJET

La position des études de structures dans la chronologie d'un projet photovoltaïque est présentée dans le schéma ci-dessous :



Les études structures par un bureau d'étude spécialisée ont lieu durant la phase d'études de faisabilité du projet, et avant d'engager les démarches d'urbanisme et les demandes de raccordement. C'est également durant cette phase qu'il convient de prendre contact avec le SDIS local pour les projets concernant les ERP.

Le bureau de contrôle agréé doit être contacté avant les travaux afin qu'il indique s'il a des desiderata particuliers sur des points à contrôler pendant les travaux. Il intervient ensuite à l'issue des travaux pour sa mission de vérification - comportant l'attestation de solidité à froid - préalable à la mise en service de l'installation.

ENJEUX DES ÉTUDES SELON LE TYPE DE COUVERTURE ET D'INSTALLATION DES PANNEAUX

Cette partie vous permet de juger du niveau de l'enjeu que représente la structure dans votre projet et de la nécessité de réaliser une étude de structure. Elle n'a pas vocation à se substituer à l'avis d'un professionnel. Nous rappelons que malgré l'absence constatée d'enjeux, les cas obligatoires évoqués ci-dessous s'appliquent.

Ordres de grandeur

Les enjeux des études structures dépendent largement du type de couverture et de la technique d'intégration des panneaux photovoltaïques à la toiture. Selon les situations, l'intégration des panneaux photovoltaïques peut entraîner la charge ou la décharge de la structure, dans des proportions très variables comme on le détaille plus bas.

Connaître les ordres de grandeur des charges subies par la toiture permet donc de se faire une première idée sur les enjeux. Voici quelques ordres de grandeur des masses surfaciques des panneaux PV et de différentes couvertures :

	Panneaux PV	Tuiles	Ardoises	Bacs aciers	Fibro-ciments	Étanchéité (toits plats)	Lestage PV (toits plats)
Masse surfacique*	15 - 25 kg/m ² (selon système d'intégration)	50 kg/m ²	30 kg/m ²	8 kg/m ²	17 kg/m ²	25 kg/m ²	> 50 kg/m ²

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

Intégration Au Bâti (IAB)

Pour les systèmes d'intégration au bâti (intégration totale), la charge subie par la toiture a généralement tendance à ne pas trop augmenter, voire à diminuer. C'est notamment le cas pour l'intégration de modules sur une couverture tuiles : on va décharger un matériau lourd ($\approx 50 \text{ kg/m}^2$) pour le remplacer par un bien plus léger ($\approx 15 - 20 \text{ kg/m}^2$). La capacité de la charpente à supporter la charge des panneaux ne fait donc dans ce cas aucun doute ! L'état de la charpente mérite toutefois d'être vérifié et il convient de s'assurer que l'allègement des charges n'entraîne pas une dissymétrie des charges problématique pour la charpente.



Exemple d'installation en IAB. Crédits : AIS

Intégration Simplifiée au Bâti (ISB)

Pour les systèmes en intégration simplifiée au bâti (ISB) la décharge ou surcharge du toit dépend de la couverture existante initialement : si elle était particulièrement lourde on retrouve un cas comparable à celui décrit pour l'IAB, sinon on peut augmenter légèrement les charges pesant sur la charpente.

Surimposition

Les installations en surimposition induisent toutes des charges supplémentaires sur la charpente. Selon la charge existante, la charge supplémentaire est plus ou moins importante proportionnellement, comme en témoignent les exemples ci-dessous :

- Installation sur une couverture tuile : la charge passe de ≈ 50 à $\approx 65 \text{ kg/m}^2$ (+ 30%)
- Installation sur une couverture en fibrociment : la charge passe de ≈ 17 à $\approx 32 \text{ kg/m}^2$ (+88%)

La capacité de la charpente à supporter ces surcharges doit être vérifiée par un bureau d'études spécialisé, et ce d'autant plus lorsque la charge supplémentaire est proportionnellement importante.

Cas des toits plats

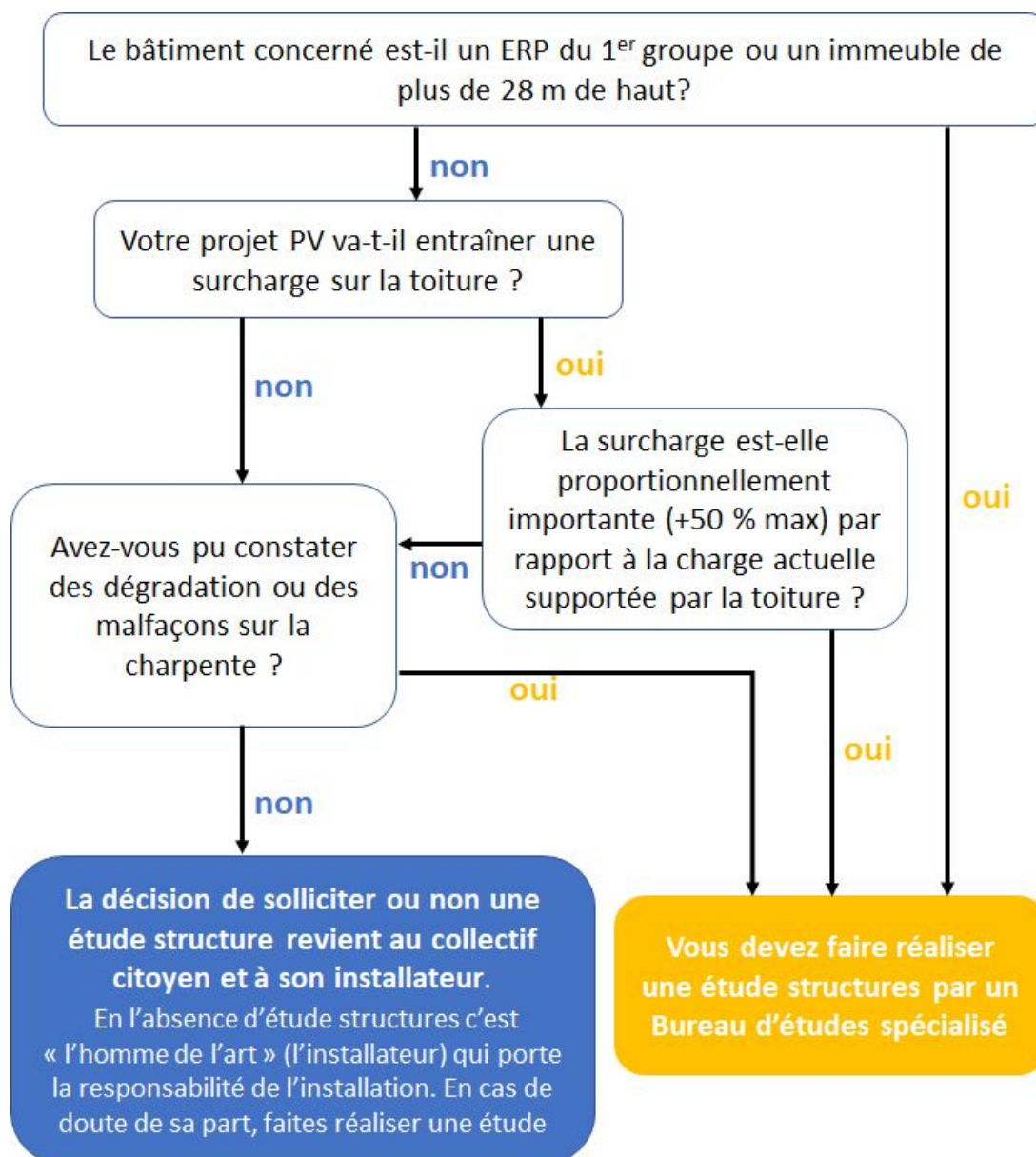
L'intégration de panneaux PV sur un toit plat peut se faire de plusieurs manières, le plus fréquemment via un système d'accroche thermo-soudé à l'étanchéité, ou via un système lesté. Dans les deux cas, et d'autant plus dans le cas du lestage, une surcharge est générée sur la charpente. L'intervention d'un bureau d'études s'avère donc nécessaire.



Exemple de système lesté. Crédits : AIS

SCHÉMA D'AIDE À LA DÉCISION

Le diagramme de flux vous aidera à vous poser les bonnes questions pour savoir si l'étude de structure est indispensable pour votre projet.



CONTENU DE L'ÉTUDE DE STRUCTURES

Préalable et méthodologie

Les informations à fournir au bureau d'études avant son intervention seront détaillées dans le chapitre suivant. Une fois sollicité, le bureau d'études a besoin d'une visite sur site lui permettant de constater les caractéristiques de chaque toiture et charpente, et de prendre des mesures pour ses futurs calculs. Le bureau d'étude reconduit ensuite ses observations sur un modèle numérique de calcul.

L'étude de structure est un calcul théorique. Même si le Bureau d'Etudes donne son avis sur l'état de la charpente, il ne peut pas en vérifier toutes les parties. Ainsi, il est important que le collectif citoyen signale au bureau d'étude toute dégradation ou malfaçon qu'il aurait pu observer sur la charpente.

Contenu des calculs

Les calculs réalisés par les bureaux d'études sont conduits dans le respect des règlements Eurocode. Les logiciels utilisés par les Bureaux d'Études intègrent ces normes de calcul.

Les éléments suivants sont calculés dans l'étude (liste non exhaustive !) :

- Calcul des charges permanentes :
 - o Poids propre des éléments porteurs (charpente)
 - o Isolants
 - o Couverture
 - o Modules photovoltaïques
 - o Trappes de désenfumage
 - o Lanterneaux
 - o ...
- Calcul des charges climatiques, dont l'objectif est d'assurer la tenue de la charpente en cas d'événement climatique extrême (fortes chutes de neige, tempêtes...).
 - o Les charges de neige sont calculées prenant en compte l'altitude du bâtiment, sa localisation (département) et son inclinaison.
 - o Les charges de vent sont calculées prenant en compte une vitesse de référence à 10m du sol et un coefficient de rugosité fonction de la situation du bâtiment (milieu dégagé ou non)
- Etude de la conformité du dimensionnement des éléments de la charpente (pannes, chevrons) et des assemblages par rapport aux charges calculées : calcul des états limites ultimes (ELU). Autrement dit, le bureau d'études vérifie que la structure ne va pas casser.
- Contrôle des flèches : calcul des états limites de service (ELS). Autrement dit, le bureau d'études vérifie que la structure ne va pas se déformer.

Résultats :

- Pour les ELU : l'avis est de type binaire (positif ou négatif).
- Pour les ELS : l'avis peut être plus nuancé. En cas d'indicateur défavorable sur les ELS, il convient d'en discuter avec le bureau d'études avant de trancher. Cela dépend d'autres caractéristiques du bâtiment et du type d'intégration envisagé.

Rendu

Le rapport du bureau d'études contient entre autres :

- Les conclusions sur la possibilité d'intégrer une installation PV sur la toiture
- Les éventuelles préconisations en cas de réponse nuancée (investigations complémentaires à prévoir, renforcements nécessaires...)
- Le détail des calculs, qui sont malheureusement difficilement lisibles pour les non-spécialistes

Limites des études et responsabilité

En cas de réponse nuancée, le bureau d'études peut (ou doit, selon le cahier des charges initial) préconiser des investigations complémentaires ou des travaux de renforcement.

Attention, si vous effectuez des travaux de renforcement de la toiture suite à la préconisation du bureau d'études, ce dernier n'a aucune responsabilité vis à vis de ces travaux à moins que vous ne lui confiez une nouvelle mission dédiée.

Certains bureaux d'études peuvent en effet accepter de mettre à jour leur rapport initial suite à la réalisation des travaux dans lequel ils valident la capacité du "nouveau" bâtiment à accueillir la centrale PV (sur la base de photos des travaux ou par visite sur site). De manière générale il convient de clarifier ces conditions dès le début avec votre bureau d'études, en prévoyant par exemple des options dans le devis.

Coût

« Quel est le coût d'une étude de structure ? » Il n'y a pas de réponse précise à cette question puisqu'elle dépend de nombreux facteurs. Lors du cycle de formation organisé par l'Association des Centrales Villageoises sur ce sujet en 2020, le formateur répondait « entre 1 000 et 10 000 € ».

En effet cela dépend notamment :

- Du nombre de toitures concernées par l'étude (si une même journée de visite concerne toutes les toitures de la grappe, le prix unitaire de l'étude diminue mécaniquement)
- Du degré d'accessibilité et de visibilité de la charpente.
- De la collecte en amont des plans détaillés du bâtiment
- De l'envoi au BE, avant l'étude de photos prises judicieusement par le collectif
- Du degré de préparation des visites : est-ce le collectif citoyen ou le bureau d'études qui contacte les propriétaires et organise la journée ?
- De la location nécessaire de matériel pour la visite (ex : nacelle ou échafaudage). Si en tant que collectif citoyen vous avez possibilité d'avoir une solution à moindre coût (ex : emprunt du matériel de la collectivité), cela peut réduire des coûts.
- ...

De manière générale, il est possible de réduire les coûts en préparant au mieux l'intervention du bureau d'études : plus on lui fournira des informations pertinentes et plus les modalités pratiques seront prises en charge par le collectif citoyen, moins le bureau d'études aura d'incertitudes sur le temps qu'il devra dédier à l'opération (l'incertitude coûte cher dans un devis !). Les bonnes pratiques de préparation de l'intervention du bureau d'études sont décrites dans le chapitre III.

III - Les bonnes pratiques pour les collectifs citoyens

IDENTIFIER LES CAS DÉFAVORABLES

La sollicitation d'une étude de structures ayant un coût non négligeable pour le collectif citoyen, il convient d'avoir préalablement bien vérifié tous les autres critères de sélection de la toiture pour un projet PV. Retrouvez l'ensemble de ces critères sur le guide de sélection des toitures disponible [ici](#).

Par ailleurs vous pouvez éliminer certaines toitures à cause de l'enjeu structures grâce à ces « premiers filtres » :

- Présence de malfaçons ou d'état d'usure importantes sur la charpente (ex : parties manquantes sur fermette, pièces déformées, flèche importante visible lors de la pré-visite de sélection de la toiture ...)
- Prise d'information sur les charpentes récentes : comment ont-elles été dimensionnées ? Bon à savoir : les charpentes récentes des bâtiments agricoles et industriels sont souvent très optimisées et donc peu adaptées à des surcharges.
- Charpente non homogène (par exemple si le bâtiment a été construit en plusieurs temps et a donc une charpente composée de plusieurs parties en matériaux différents).
- Pour les toitures agricoles, observation poussée de la condition des supports (mur, poteaux, etc.) de la charpente qui peuvent être abîmées par les animaux ou leurs déjections, même si la charpente en elle-même est en bon état.

Vous pouvez aussi mobiliser des bénévoles ayant travaillé dans le bâtiment, ils auront l'oeil !

Notons néanmoins qu'il est rare de pouvoir se positionner catégoriquement sur la capacité d'une structure sans mener les calculs. Un bureau d'études interrogé dans le cadre de la rédaction de ce guide nous indiquait avoir donné un avis négatif avant calcul seulement 4 ou 5 fois sur 200 toitures étudiées.

CONSULTER LE BUREAU D'ÉTUDES ET PRÉPARER SON INTERVENTION

Comme mentionné précédemment, bien préparer l'intervention du Bureau d'études lui permet de mieux comprendre la portée de son intervention et de lui fournir des informations précieuses qui lui feront gagner du temps.

Au préalable

Dans le cas des bâtiments nécessitant un contrôle technique, il est pertinent de solliciter son SDIS pour connaître ses exigences sur le sujet.

Pour préparer l'intervention du Bureau d'Etudes, vous pouvez préalablement répondre à ces questions sur la structure, et lui transmettre les réponses au sein du cahier des charges :

1) Informations sur le bâtiment :

- Quelle est son année de construction ?
- Qui est son propriétaire ?
- Est-ce un bâtiment public ? Si oui, est-ce un ERP ? De quelle catégorie ?
- Pouvez-vous avoir accès à des plans du bâtiment ?
- Quelles sont les dimensions du bâtiment ?

2) Informations sur l'installation PV envisagée :

- Quelle est le type de pose PV souhaitée : IAB / ISB / Surimposition ?
- Quelle est la surface et l'implantation de panneaux PV souhaitée ?
- Quelle surcharge le système PV engendrerait-il sur la toiture ?

3) Informations sur la toiture :

- Quel est le type de couverture ?
- Quelle est la pente de la toiture ?
- La toiture a-t-elle subi des travaux de rénovation ? Si oui, quand et de quelle nature ?

4) Informations sur la structure :

- Quel est le matériau de structure ? (préciser autant que possible : par exemple si c'est du bois, est-ce du bois brut ou du lamellé-collé ?)
- Quel est le type de structure ? (préciser autant que possible : ferme latine, fermette, portique, ...)
- Mesurer la portée approximative des éléments de la structure : Chevrons, Pannes, fermes/portiques...
- Indiquez d'autres détails de description de la toiture
- Pouvez-vous avoir accès à des plans de la toiture ? (point important, à anticiper pour laisser le temps au propriétaire de vous les fournir)

5) Informations sur l'accessibilité de la charpente :

- La toiture est-elle facilement accessible depuis l'extérieur ? (facilement accessible = par une échelle). Pensez pratique : le terrain est-il plat ?
- La toiture est-elle facilement accessible depuis l'intérieur du bâtiment ? S'il y a des combles, sont-ils accessibles ?
- L'accès à la charpente nécessite-t-elle du matériel ? (nacelle, échafaudage...) Si oui, avez-vous des solutions pour emprunter ce type de matériel ?

Pour illustrer vos propos, il est également conseillé de communiquer des photos au bureau d'études :

- Les zones à équiper de panneaux PV depuis l'extérieur du bâtiment
- La charpente concernée depuis l'intérieur du bâtiment
- Les points singuliers qui ont attiré votre attention

N'hésitez pas à communiquer tout plan au bureau d'études qui pourrait lui être utile. L'idéal est de se procurer le DOE (document d'Ouvrage Exécuté), qui doit être réalisé pour tous les bâtiments publics neufs. Mais parfois, un simple plan d'évacuation du bâtiment peut donner des informations utiles au bureau d'études.

Un modèle de cahier des charges pour les études structures est présenté en Annexe.

Le jour de la visite

Pour optimiser les coûts du bureau d'études (temps passé et frais de déplacement), il convient de bien organiser cette journée et ne pas perdre de temps :

- Faire un circuit de visites avec des horaires pour optimiser le nombre de visites dans la journée ;
- Anticiper la récupération des clés, les autorisations auprès des propriétaires, la disponibilité d'échelles si besoin...

Annexe : Modèle de cahier des charges pour l'étude de structures

ETUDES STRUCTURES EN VUE DE LA POSE DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES CAHIER DES CHARGES

Maîtrise d'ouvrage : XXXXX

SAS ou SCIC/SAS XXXXX

Siège social : XXXXX

Contact mail : XXXXX

Contact tel : XXXXX

1. CONTEXTE

La société XXXXX est une société locale à gouvernance citoyenne qui porte des projets en faveur de la transition énergétique.

La société XXXXX porte un projet photovoltaïque qui concerne l'équipement de XXXXX toitures photovoltaïques.

La présente consultation a pour objectif la réalisation de diagnostics structurels des charpentes concernées par le projet photovoltaïque.

2. PERIMETRE D'ETUDE

L'étude concerne XXXXX bâtiments répartis sur XXXXX communes.

N° bâtiment	Nom bâtiment	Nature (Privé / Public ERP / Public non ERP)	Commune	Surface PV estimée	Type d'intégration envisagée
1	Ex : Mairie	Public ERP catégorie 4	Le Village	200	Surimposé
2	Ex : Dupont	Privé	La Ville	60	Intégré
3	Etc.				

Chaque bâtiment est plus amplement décrit dans l'Annexe 1. La localisation des différents bâtiments est par ailleurs fournie en Annexe 2.

3. MISSION DEMANDÉE

Le bureau d'étude :

- Effectuera une visite de chaque bâtiment avec examen approfondi et relevés des éléments visibles et accessibles
- Examinera les pièces transmises (plans, rapports, etc.)

- Effectuera une étude structurelle au regard des éléments transmis et recueillis sur site, en se basant sur les réglementations et codes de calcul en vigueur
- Fournira un rapport de diagnostic synthétisant les résultats des études en précisant si besoin les renforcements à envisager
- En option (selon les pratiques des BEs consultés) : En cas de travaux de renforcement, fournira un rapport de diagnostic mis à jour à la suite des travaux

Pour les bâtiment ERP, l'étude de structure devra être conforme aux exigences de vérification de la solidité à froid du bureau de contrôle agréé.

4. MODALITES DE REPONSE

L'offre devra être présentée de manière claire et détaillée. Le candidat fournira notamment :

- la méthode de travail envisagée, les outils et ressources mobilisés pour la réalisation des études
- les étapes prévues et délais associés, les contraintes de disponibilités
- les noms, qualités et CV des personnes qui seront en charge de la mission
- les références acquises sur des prestations de nature similaire
- les assurances et habilitations afférentes à la mission

Le prix pourra être détaillé par bâtiment ou forfaitaire sur l'ensemble du lot confié.

Le prestataire n'est pas autorisé à sous-traiter la mission.

5. MODALITES DE REGLEMENT

La présente prestation sera réglée suivant l'échéancier suivant :

- versement de **xx** % du montant à la signature du bon de commande
- versement du solde du montant à au rendu des rapports finaux

6. CALENDRIER

Les visites de sites pourront s'effectuer entre le **xxx** et le **xxx**. Le maître d'ouvrage s'engage à organiser le parcours de visite du prestataire en prenant contact à l'avance avec les propriétaires des bâtiments pour prévoir les créneaux les plus adaptés. Les visites pourront ainsi être regroupées sur **1 / 2** journées.

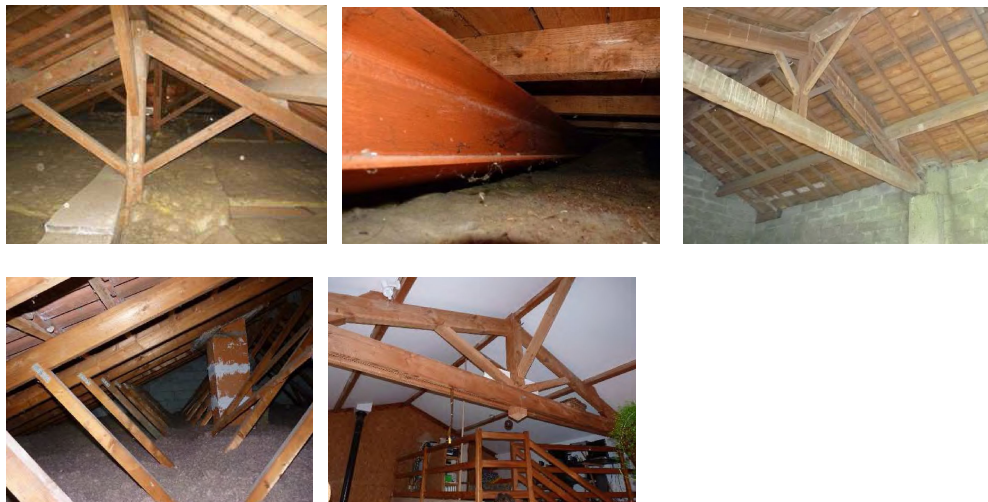
Les études devront être achevées pour le **xxx**.

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES BATIMENTS

1. Bâtiment n°1 : Mairie de Le Village

- Date de construction du bâtiment : *xxx*
- Description succincte du type de charpente : *exemple charpente bois traditionnelle (ferme latine) en épicéa – préciser si travaux récents de rénovation*
- Type de couverture : *exemple tuiles en terre cuite / bac acier / etc.*
- Pente du toit : *xxx*
- Dimension du pan de toit concerné : *xxxx*
- Plans disponibles : *oui / non + lien éventuel de téléchargement*
- Accessibilité et visibilité de la charpente : *exemple : pas visible du fait de faux-plafonds / accessible par les combles etc.*
- Dimensionnement de la charpente : *relevé éventuel des portées des principaux éléments de la charpente (espacement entre les pannes, les portiques, les chevrons... ; taille des pannes...)*
- Commentaires particuliers : *un diagnostic termite a été réalisé en XXX et est joint au dossier*
- Lien de téléchargement des photos du bâtiment : *xxxx*

Exemples :



ANNEXE 2 : PLAN D'ENSEMBLE DES BÂTIMENTS À ÉTUDIER

Plan du territoire localisant les différents bâtiments dans les communes