

Rapport final, 15 juin 2020

Observation du marché photovoltaïque 2019

Auteurs

Yannick Sauter, Planair SA

Florent Jacqmin, Planair SA

**La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.
La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.**

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne

Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

Contenu

1	Résumé de l'étude.....	7
2	Recueil et origine des données	8
2.1	Méthodologie	8
2.1.1	Cadre de l'étude	8
2.2	Statistiques sur la répartition des données.....	10
2.3	Statistiques sur les caractéristiques des données reçues.....	12
3	Analyse des données.....	15
3.1	Ajouté – Intégré.....	16
3.2	Pertinence des sources CDS et AOG	17
3.3	Comparaisons diverses	18
3.3.1	Comparaison entre les offres et les factures :	18
3.3.2	Comparaison entre les bâtiments existants et les bâtiments neufs :	20
3.3.3	Comparaison si la sécurité de chantier est incluse ou non :.....	20
3.3.4	Comparaison des différents types d'onduleurs :	24
3.3.5	Comparaison des différents types de toiture :	25
3.3.6	Conclusion des diverses comparaisons	27
4	Résultats globaux	28
4.1	Courbe de référence	28
4.2	Répartition statistique du coût spécifique par tranches de puissance	30
4.3	Discussion.....	32
5	Répartition des coûts.....	33
5.1	Aperçu global	33
5.2	Aperçu détaillé	35
6	Evolution dans le temps	38
7	Coûts annexes et coûts réels	41
7.1	Coûts annexes	41
7.2	Impacts sur différents types de projet	43
7.3	Conclusion	45

8	Facteurs influençant les coûts	46
9	Conclusion	50
10	Remerciements	51

Table des illustrations

Figure 1 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon la source. CDS correspond aux offres reçues dans le cadre du check-devis-solaire, AOG correspond aux installations des appels d'offres groupés organisés par des planificateurs, et MO correspond aux données fournies par les Maîtres d'ouvrage directement.....	10
Figure 2 : Répartition des sources ayant répondu volontairement à l'étude.....	10
Figure 3 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon la plage de puissance.	11
Figure 4 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon le Canton où a lieu l'installation.	11
Figure 5 : Caractéristiques obligatoirement renseignées avec chaque donnée. La plupart des données reçues correspondent à des offres et à des installations ajoutées.....	12
Figure 6 : Caractéristiques optionnelles qui indiquent si le monitoring, la sécurité de chantier, ou respectivement la sécurité permanente, ont été inclus dans les prestations et les coûts des installations photovoltaïques étudiées. Les 3 premières lignes donnent l'information pour toutes les installations (ajoutées et intégrées, offres et factures, toutes les puissances). La 4 ^{ème} ligne précise si la sécurité permanente a été incluse dans les prestations uniquement pour les installations recueillies de plus de 30 kWp.....	12
Figure 7 : Le type d'onduleur(s) proposé ou installé a été renseigné pour 1'445 installations, soit 61.6% des données recueillies. Parmi celles-ci, on compte 48.4% d'onduleurs de chaîne, 38.7% d'optimiseurs et 12.9% de micro-onduleurs.	13
Figure 8 : Le type de bâtiment a été renseigné pour 442 installations, soit 18.8%, dans plus de 80% des cas renseignés l'installation a été réalisée ou prévue sur un bâtiment existant.....	13
Figure 9 : Le type de toiture du bâtiment a été renseigné pour 336 installations, soit 14.3%, dont 60% de toit incliné en tuiles.....	14
Figure 10 : Ensemble des 2'347 données recueillies pour l'étude d'observation du marché photovoltaïque 2019 avec le coût spécifique hors taxes en CHF/kWp répertorié pour chaque installation.....	15
Figure 11 : Ensemble des données, réduites sur la plage 0-100 kWp, avec la distinction entre les installations ajoutées et intégrées.....	16
Figure 12 : Comparaison des coûts des installations ajoutées selon leur source ; les données fournies par le service check-devis-solaire, celles fournies par les appels d'offres groupés, et celles fournies	

directement par des installateurs. Les trois courbes de tendance ont été obtenues avec l'outil Excel et l'option « puissance ».....	17
Figure 13 : Comparaison des coûts spécifiques entre les données provenant d'offres et celles provenant de factures. En haut plage de données 2-30 kWp, en bas >30 kWp. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.....	19
Figure 14 : Comparaison des coûts spécifiques entre les installations sur des bâtiments existants et des bâtiments neufs. Les losanges rouges creux correspondent à l'ensemble des installations ajoutées, mettant en évidence celles sans informations quant au type de bâtiment. En haut plage de données 2-30 kWp, en bas >30 kWp. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.....	22
Figure 15 : Comparaison des coûts spécifiques entre les installations pour lesquelles la sécurité de chantier est incluse et celles pour lesquelles elle ne l'est pas. Les losanges rouges creux correspondent à l'ensemble des installations ajoutées, mettant en évidence celles sans informations quant à la sécurité de chantier. En haut plage de données 2-30 kWp, en bas >30 kWp. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.	23
Figure 16 : Diagramme de Venn entre les installations sur de nouveaux bâtiments et celles sans sécurité de chantier.....	24
Figure 17 : Comparaison des coûts spécifiques des installations selon le type d'onduleur(s) proposé(s) (pour les offres) ou installé(s) (pour les factures). Les données pour les micro-onduleurs ne se situent que dans la plage des petites puissances. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.....	25
Figure 18 : Comparaison des coûts spécifiques des installations selon le type de toiture. Les données pour les toits inclinés en tuiles se situent presque exclusivement dans la plage des petites puissances, cette courbe de tendance n'a donc pas été représentée. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.....	26
Figure 19 : Coût spécifique hors taxes des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance avec la courbe de référence. Vue de l'ensemble de la plage de puissance.	29
Figure 20 : Coût spécifique hors taxes des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance avec la courbe de référence. Zoom sur la plage 2-30 kWp.....	30
Figure 21 : Répartition statistique du coût spécifique en CHF HT/kWp des installations photovoltaïques ajoutées pour chaque plage de puissance. La barre rouge au centre correspond à la médiane des données dans la plage de puissance respective. Les deux barres noires aux extrémités correspondent aux coûts spécifiques minimum (min) et maximum (max) pour chaque plage. Le carré central entourant la médiane correspond à l'écart interquartile, c'est-à-dire que 50% des données de la plage de puissance se trouvent à l'intérieur du carré. Pour finir, les croix correspondent aux médianes des données 2018 et montrent une forte constance temporelle des coûts.	31
Figure 22 : Répartition des coûts des installations photovoltaïques ajoutées, divisés en six catégories principales. Les valeurs correspondent aux moyennes des coûts spécifiques des catégories pour toutes les installations d'une plage de puissance où ce détail est connu.	34

Figure 23 : Répartition détaillée des coûts des installations photovoltaïques ajoutées, divisés en neuf catégories. Les valeurs correspondent aux moyennes des coûts spécifiques des catégories pour toutes les installations d'une plage de puissance où ce détail est connu.	37
Figure 24 : Evolution de la répartition statistique du coût spécifique en CHF HT/kWp des installations photovoltaïques ajoutées pour chaque plage de puissance. Cinq plages de puissance sont représentées, avec pour chaque plage les données 2018, 2019, semestre 1 de 2019 et semestre 2 de 2019. Les rectangles centraux colorés correspondent aux médianes. Les bouts des verticales donnent les coûts spécifiques maximums et minimums de chaque catégorie. Les traits intermédiaires plus fins correspondent aux premiers et aux troisièmes quartiles (25% et 75%).....	38
Figure 25 : Evolution de la répartition des coûts entre le semestre 1 et le semestre 2 2019 pour les plages de puissance 2-10 kWp et 10-30 kWp.	39
Figure 26 : Evolution entre le semestre 1 et le semestre 2 de 2019 du coût spécifique des installations photovoltaïques ajoutées. A gauche plage de données 2-30kWp, à droite >30 kWp. Les courbes de tendance de type "puissance" ont été obtenues par la fonction courbe de tendance d'Excel.	40
Figure 27 : Représentation graphique de l'impact des coûts annexes sur un projet de 200 kWp selon les 3 scénarios.	44

1 Résumé de l'étude

Le marché photovoltaïque en Suisse comme dans le monde est en plein essor depuis plusieurs années. Le nombre de nouvelles installations photovoltaïques et la puissance photovoltaïque installée cumulée en Suisse ont une croissance exponentielle dans le temps et ont suivi la décroissance des coûts des modules photovoltaïques. Il existe plusieurs études nationales sur le volume du marché suisse¹. Le présent rapport vise à compléter ces différentes études en analysant le marché suisse spécifiquement par rapport aux coûts des installations photovoltaïques et en analysant les coûts globaux en prenant en compte tous les paramètres nécessaires à une réalisation.

Cette étude est articulée en deux parties. Une première analyse les coûts des prestations fournies par l'installateur comprenant l'acquisition des équipements, la main-d'œuvre et jusqu'à la mise en service. Cette partie regroupe les chapitres 2 à 6 et est basée sur un grand nombre de données recueillies auprès d'installateurs, de planificateurs et de Maître d'ouvrage. La deuxième partie analyse les coûts non facturés par les installateurs afin d'évaluer le coût réel d'une centrale photovoltaïque porté par le Maître d'ouvrage. Basé sur des entretiens avec des Maîtres d'ouvrage, le chapitre 7 identifie ces coûts supplémentaires. Le chapitre 8 reprend qualitativement tous les facteurs influençant les coûts.

Concernant le coût des prestations de l'installateur, 2'347 données ont été recueillies dans le cadre de cette étude. Celle-ci s'est particulièrement focalisée sur les 2'126 données d'installations ajoutées. L'analyse des facteurs influençant les coûts ne montre aucun facteur plus impactant qu'un autre et toutes les données ont pu être conservées grâce au volume permettant de compenser statistiquement les différents facteurs. Il en ressort une tendance générale qui montre une très forte décroissance du coût spécifique (CHF/kWp) dans la plage de puissances très petites (<10 kWp) et une courbe très peu pentue dans la plage des grandes puissances (>100 kWp). L'analyse de la répartition des coûts montre une évolution de cette répartition par rapport à la puissance. Entre autres plus la puissance augmente plus la part du coût des modules devient importante et plus la part du coût de la main-d'œuvre diminue. Ensemble ces deux parts correspondent à environ 50% des coûts globaux, quelle que soit la puissance. La comparaison avec les données récoltées lors de l'observation du marché 2018 n'indique aucune évolution significative du coût spécifique montrant une stabilité du marché sur cette période. La médiane des coûts spécifiques par plage de puissance n'a pas changé entre 2018 et 2019 (Figure 21).

En plus des coûts directement liés aux prestations de l'installateur, les Maîtres d'ouvrage peuvent se retrouver face à un certain nombre de coûts annexes qui augmentent le coût global de l'installation. Parmi ces coûts supplémentaires se trouvent entre autres les coûts internes de gestion de projet, les coûts de planification externe, les coûts commerciaux, les coûts d'architecture et d'éventuelles études statiques ou d'étanchéité. Ces coûts sont particulièrement importants pour les installations de tailles moyenne et grande et peuvent augmenter de 5% à 50% le coût global de l'installation. Le coût réel d'un projet photovoltaïque n'est pas celui donné par la facture de l'installateur et une analyse complète doit prendre en compte ces coûts annexes. Des projets spéciaux amèneront encore d'autres surcoûts, comme par exemple les projets avec RCP ou qui demandent la construction de la structure porteuse (carport).

¹ Par exemple les recensements annuels du marché de l'énergie solaire réalisés par Swissolar pour le compte de l'Office fédéral de l'énergie OFEN ou les rapports de l'IEA PVPS (International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme).

2 Recueil et origine des données

Ce rapport présente l'analyse des données recueillies dans le cadre de l'étude du marché photovoltaïque 2019. Ces données concernent l'intégralité du coût des prestations de l'installateur pour une installation photovoltaïque clé en main. Elles sont la base des analyses et des discussions des chapitres 2 à 6.

2.1 Méthodologie

L'étude est basée sur des offres et des factures d'installations photovoltaïques chiffrées en 2019. Une partie des données a été récoltée par un sondage auprès d'installateurs, de planificateurs et de maîtres d'ouvrage (pour un total de 1'304 installations). Parmi ce nombre, 143 données proviennent de démarches d'encouragement à la réalisation d'installations photovoltaïques mise en œuvre par des communes. S'agissant de démarches regroupant plusieurs propriétaires dans un unique appel d'offres groupé, la source de ces données sera abrégée « AOG » pour la suite de l'étude. L'autre partie des données provient des offres reçues dans le cadre du service « check-devis-solaire » de SuisseEnergie (comparatif de devis solaires par des experts de SuisseEnergie) pour les installations de puissance inférieure à 30 kWp. 1'043 données distinctes ont été reçues dans le cadre du service « check-devis-solaire » (appelé par la suite « CDS ») portant le total des données reçues pour l'étude à 2'347.

Selon le recensement du marché de l'énergie solaire en 2018 réalisé par Swissolar², 13'916 installations photovoltaïques raccordées au réseau ont été réalisées en 2018. En considérant une croissance du nombre d'installations de 12% (identique à la croissance 2017-2018) et que seulement un tiers des offres sont réalisées, les données récoltées pour la présente étude couvriraient entre 5% et 10% du marché global 2019.

2.1.1 Cadre de l'étude

Les installations photovoltaïques retenues dans le cadre de l'étude correspondent aux caractéristiques présentées ci-dessous. Le coût total de chaque installation inclut les éléments suivants pour autant qu'ils aient fait partie des prestations fournies par l'installateur. Seules les prestations fournies par l'installateur sont prises en compte dans cette première partie de l'étude.

Cadre général :

- Les données sont basées sur des factures d'installations réalisées en 2019 ou sur des offres émises en 2019.
- L'étude concerne uniquement les installations photovoltaïques en toiture de bâtiments (existants ou neufs), les installations en façade ou les carports ne font pas partie de l'étude.
- Les prix ont été considérés hors taxes.

² Le recensement 2019 n'étant pas encore publié au moment de l'étude.

Prestations comprises dans le coût de l'installation photovoltaïque :

- Fourniture et pose des composants électriques depuis les panneaux jusqu'au disjoncteur de branchement (inclus) du bâtiment, y compris accessoires (goulottes et cheminements des câbles, coffrets).
- Fourniture et pose du système de fixation des modules, y compris lestage et fixations éventuelles à la toiture.
- Fourniture et pose du monitoring photovoltaïque.
- Honoraires de planification de l'installateur photovoltaïque, compris démarches administratives et dossiers d'exécution et d'exploitation.
- Fourniture et mise en œuvre des protections de chantier (sécurisation des chutes et accès toiture) et moyens de levage.
- Fourniture et mise en œuvre des équipements de sécurité permanente (lignes de vie, points d'ancrage, garde-corps).
- Pour les installations intégrées, lattage support des modules.

Prestations non comprises :

- Honoraires de planification autres que ceux de l'installateur : bureaux d'étude (planificateur PV, ingénierie statique, expertise étanchéité, architecte, maîtrise d'ouvrage, direction des travaux).
- Travaux de mise en œuvre d'un RCP : câblage, tableaux de comptage.
- Systèmes de stockage et leurs accessoires.
- Éléments de régulation pour le pilotage de la consommation : pilotage et régulation de consommateurs, par exemple pompe à chaleur ou électroménager.
- Travaux d'adaptation du bâtiment : rénovation de toiture, renforcement de structure, renforcement du réseau électrique, mise aux normes de tableaux électriques existants.
- Pour les installations intégrées, système de sous-construction de l'installation PV (écran de sous toiture, contre lattage) et ferblanterie autour du champ de modules.

2.2 Statistiques sur la répartition des données

Les données recueillies proviennent majoritairement d'installateurs avec une petite contribution de planificateurs et de Maîtres d'ouvrage (Figure 1 et Figure 2). Il y a une excellente répartition des données sur toute la plage de puissances de 2 kWp jusqu'à 1'440 kWp (Figure 3) en phase avec la répartition par puissance des installations réellement mises en service. Les données sont également bien réparties sur l'ensemble du territoire suisse (Figure 4).

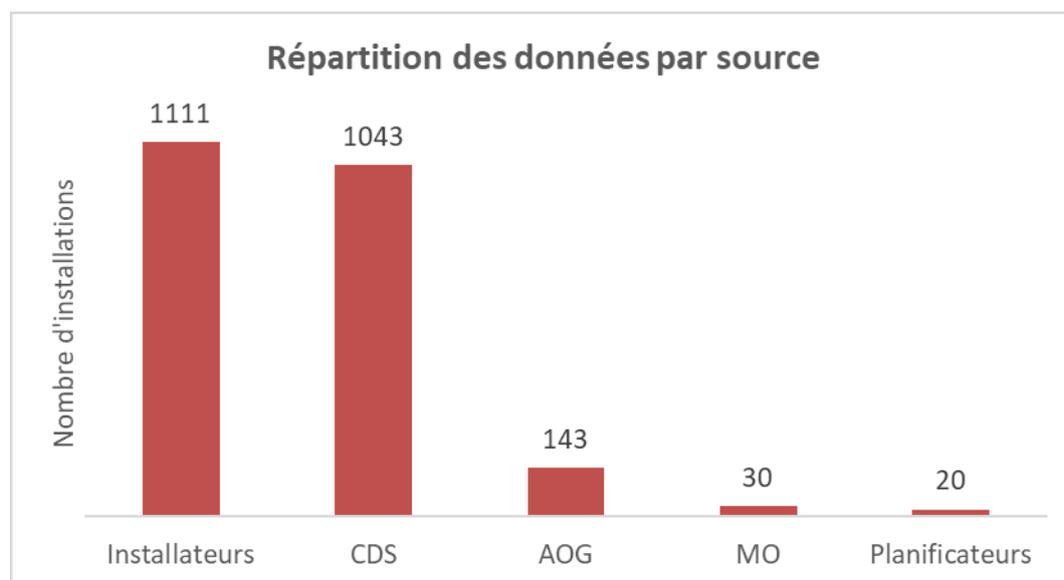


Figure 1 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon la source. CDS correspond aux offres reçues dans le cadre du check-devis-solaire, AOG correspond aux installations des appels d'offres groupés organisés par des planificateurs, et MO correspond aux données fournies par les Maîtres d'ouvrage directement.

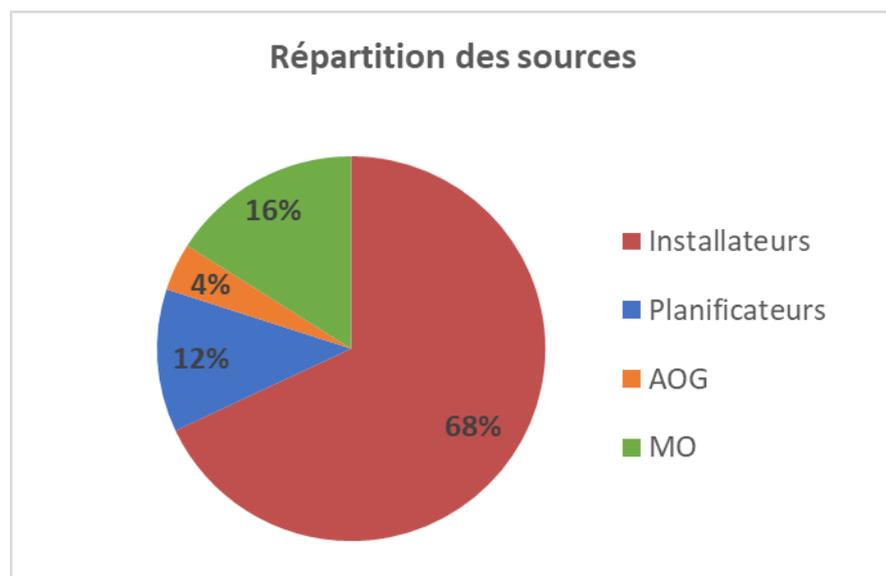


Figure 2 : Répartition des sources ayant répondu volontairement à l'étude.

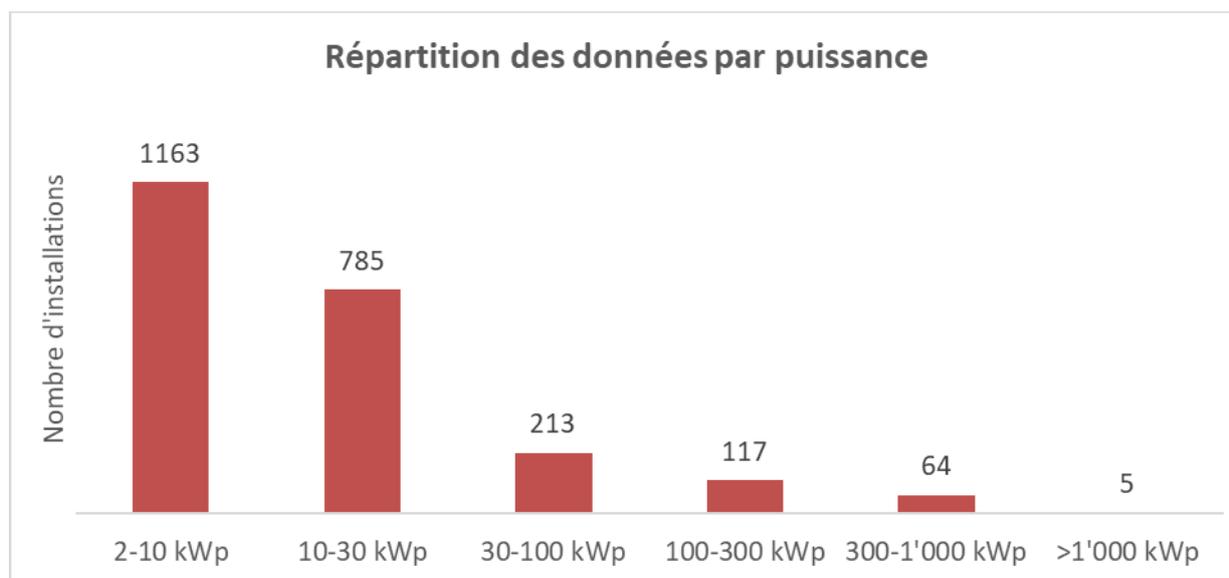


Figure 3 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon la plage de puissance.

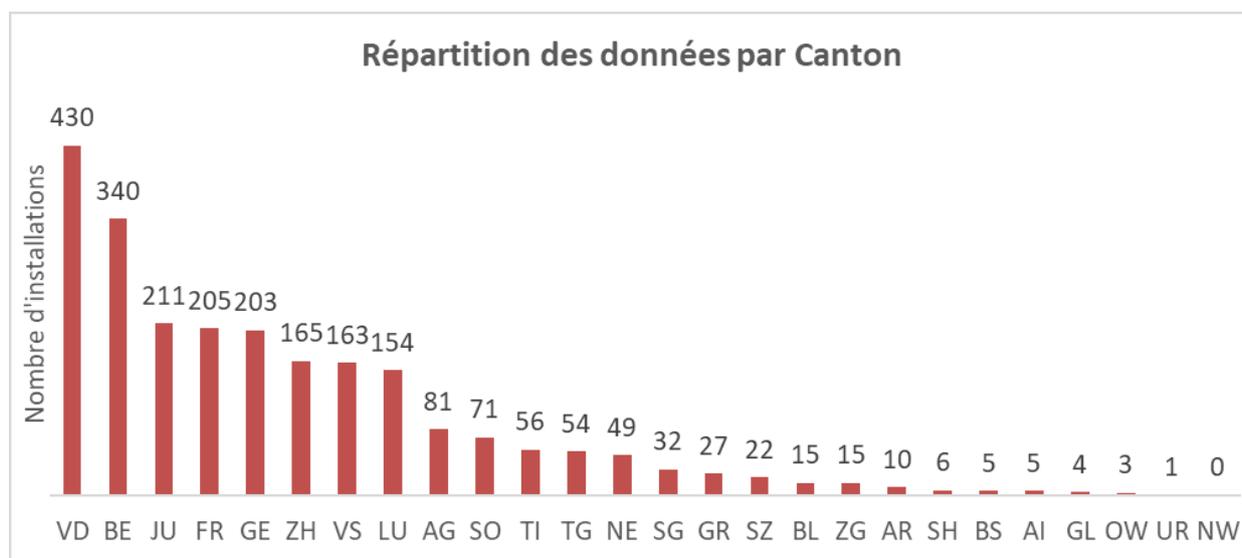


Figure 4 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon le Canton où a lieu l'installation.

2.3 Statistiques sur les caractéristiques des données reçues

Certaines données sur les installations devaient obligatoirement être fournies en même temps que leur coût global. Il s'agissait de distinguer les installations ajoutées des installations intégrées et de pouvoir suivre l'évolution entre le semestre 1 et 2. En plus, une série de caractéristiques pouvaient être fournies optionnellement. Ce paragraphe résume l'ensemble des caractéristiques des données recueillies.

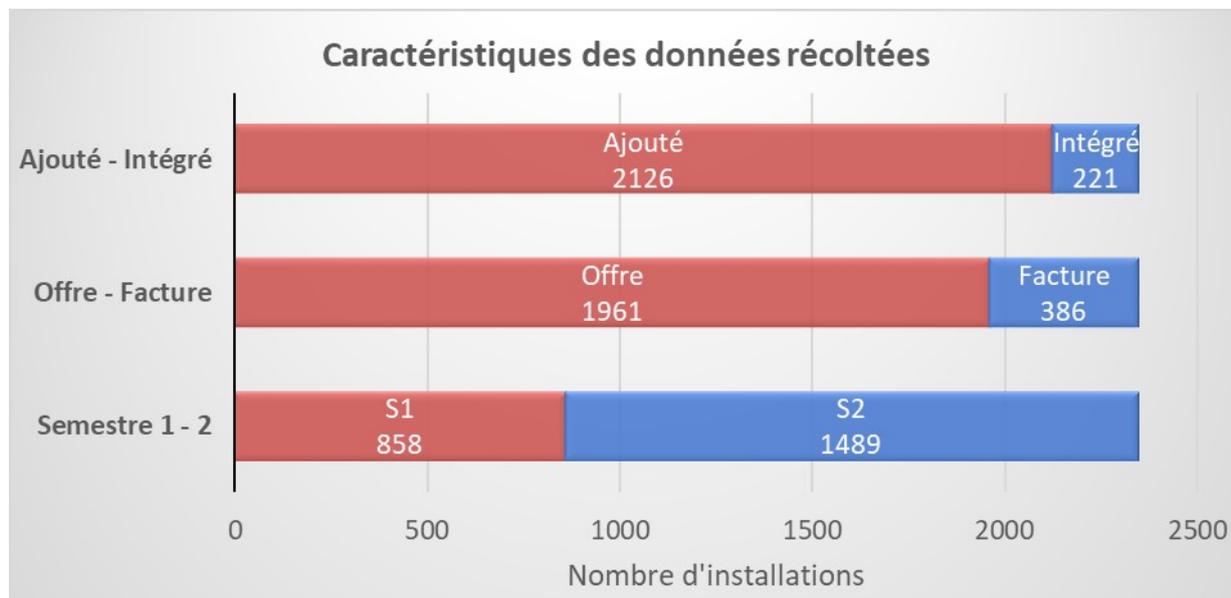


Figure 5 : Caractéristiques obligatoirement renseignées avec chaque donnée. La plupart des données reçues correspondent à des offres et à des installations ajoutées.

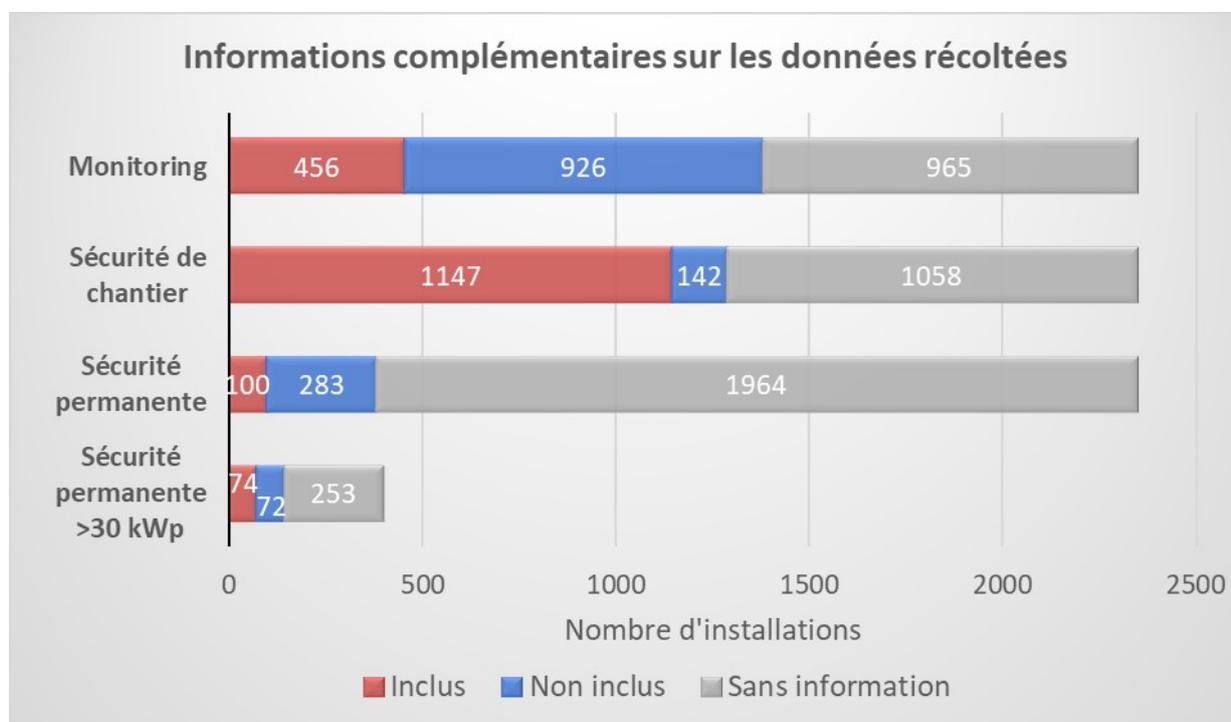


Figure 6 : Caractéristiques optionnelles qui indiquent si le monitoring, la sécurité de chantier, ou respectivement la sécurité permanente, ont été inclus dans les prestations et les coûts des installations photovoltaïques étudiées. Les 3 premières lignes donnent l'information pour toutes les installations (ajoutées et intégrées, offres et factures, toutes les puissances). La 4^{ème} ligne précise si la sécurité permanente a été incluse dans les prestations uniquement pour les installations recueillies de plus de 30 kWp.

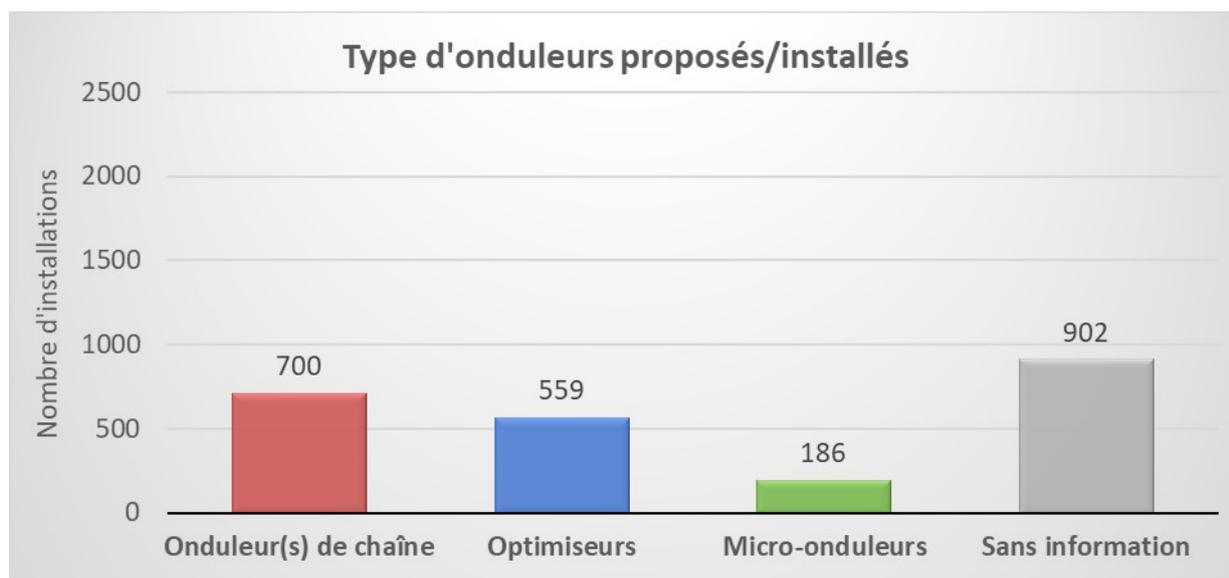


Figure 7 : Le type d'onduleur(s) proposé ou installé a été renseigné pour 1'445 installations, soit 61.6% des données recueillies. Parmi celles-ci, on compte 48.4% d'onduleurs de chaîne, 38.7% d'optimiseurs et 12.9% de micro-onduleurs.

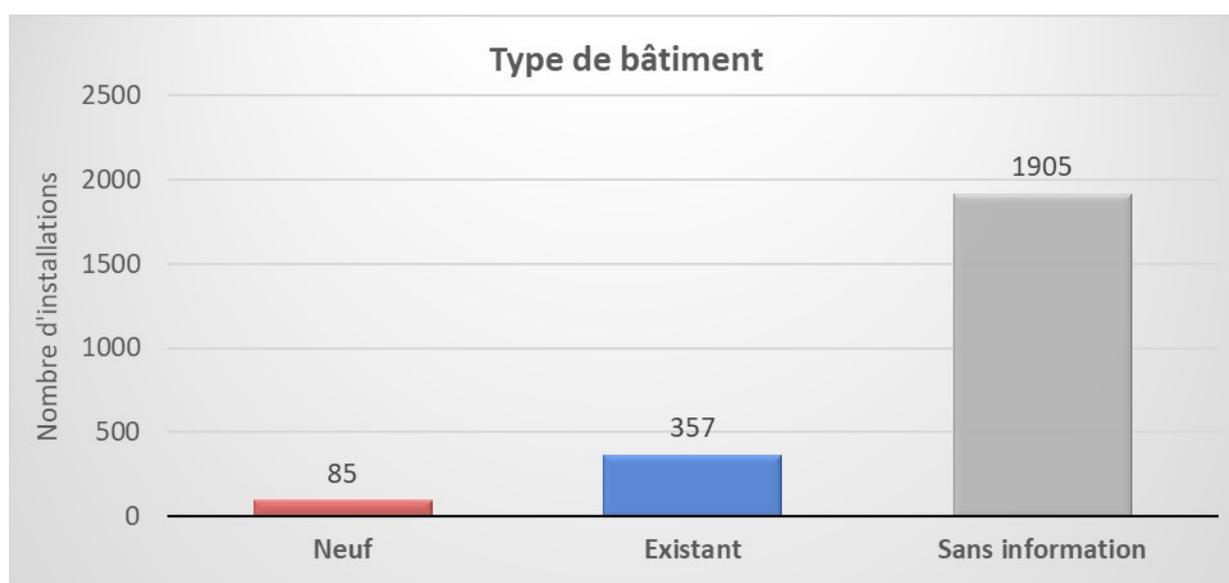


Figure 8 : Le type de bâtiment a été renseigné pour 442 installations, soit 18.8%, dans plus de 80% des cas renseignés l'installation a été réalisée ou prévue sur un bâtiment existant.

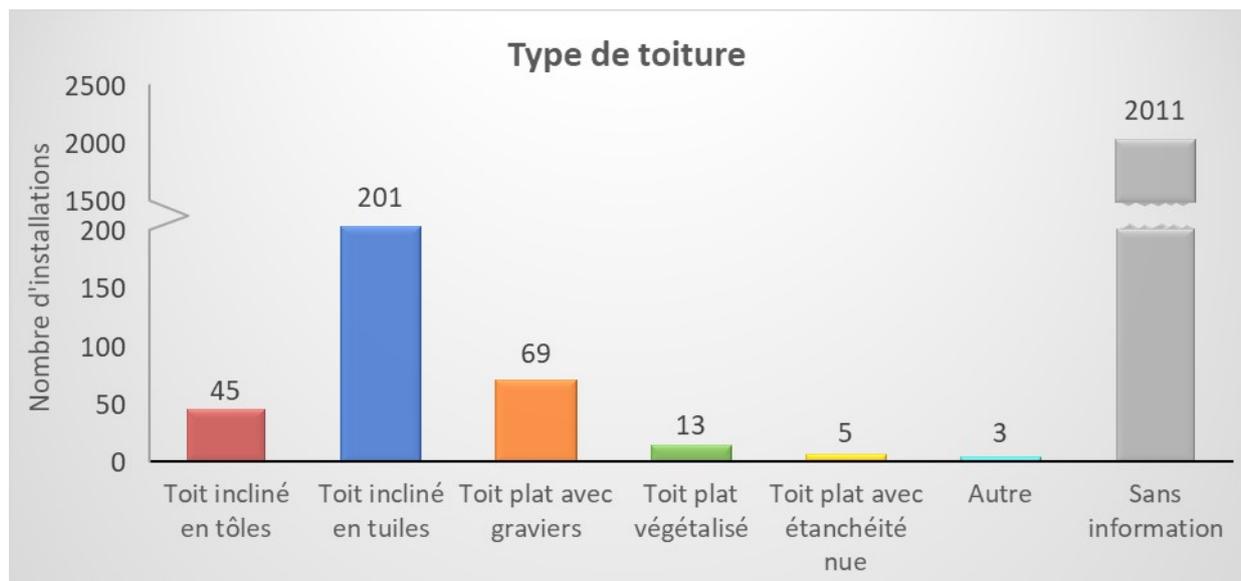


Figure 9 : Le type de toiture du bâtiment a été renseigné pour 336 installations, soit 14.3%, dont 60% de toit incliné en tuiles.

3 Analyse des données

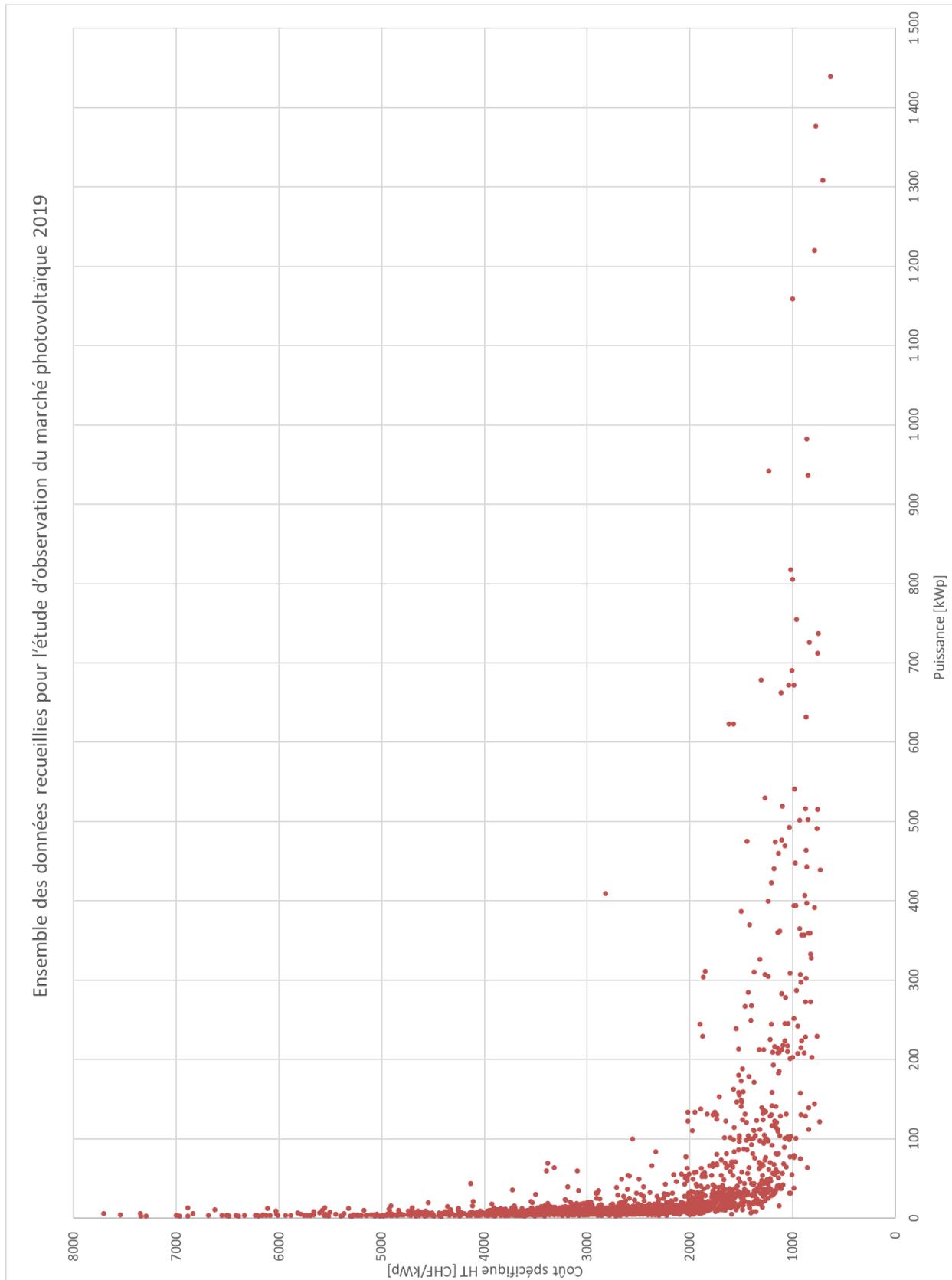


Figure 10 : Ensemble des 2'347 données recueillies pour l'étude d'observation du marché photovoltaïque 2019 avec le coût spécifique hors taxes en CHF/kWp répertorié pour chaque installation.

3.1 Ajouté – Intégré

La Figure 11 montre la distinction du coût spécifique entre les installations ajoutées et celles intégrées. La plage de puissance a été réduite à 0-100 kWp, car il n'y a qu'une seule installation intégrée en dehors de cette plage. Il s'agit de l'installation à 2'800 CHF/kWp pour 410 kWp visible à la Figure 10, car elle ressort clairement du nuage de points.

Les coûts des installations intégrées sont beaucoup plus dispersés que pour les ajoutées. Certaines ont en effet des coûts spécifiques inférieurs à la moyenne des coûts spécifiques des installations ajoutées. Mais globalement les installations intégrées sont logiquement plus chères que les installations ajoutées. Il est difficile d'analyser le coût des installations intégrées à cause du manque de contrôle ou d'uniformisation dans les prestations fournies par les installateurs. La répartition des tâches entre le couvreur et l'installateur photovoltaïque est plus flexible et les prestations varient d'un projet à un autre. Ceci se reflète dans la disparité des coûts des installations intégrées visible à la Figure 11.

Pour toute la suite de l'étude, les données des installations intégrées seront écartées et les analyses se concentreront uniquement sur les installations ajoutées, au nombre de 2'126.

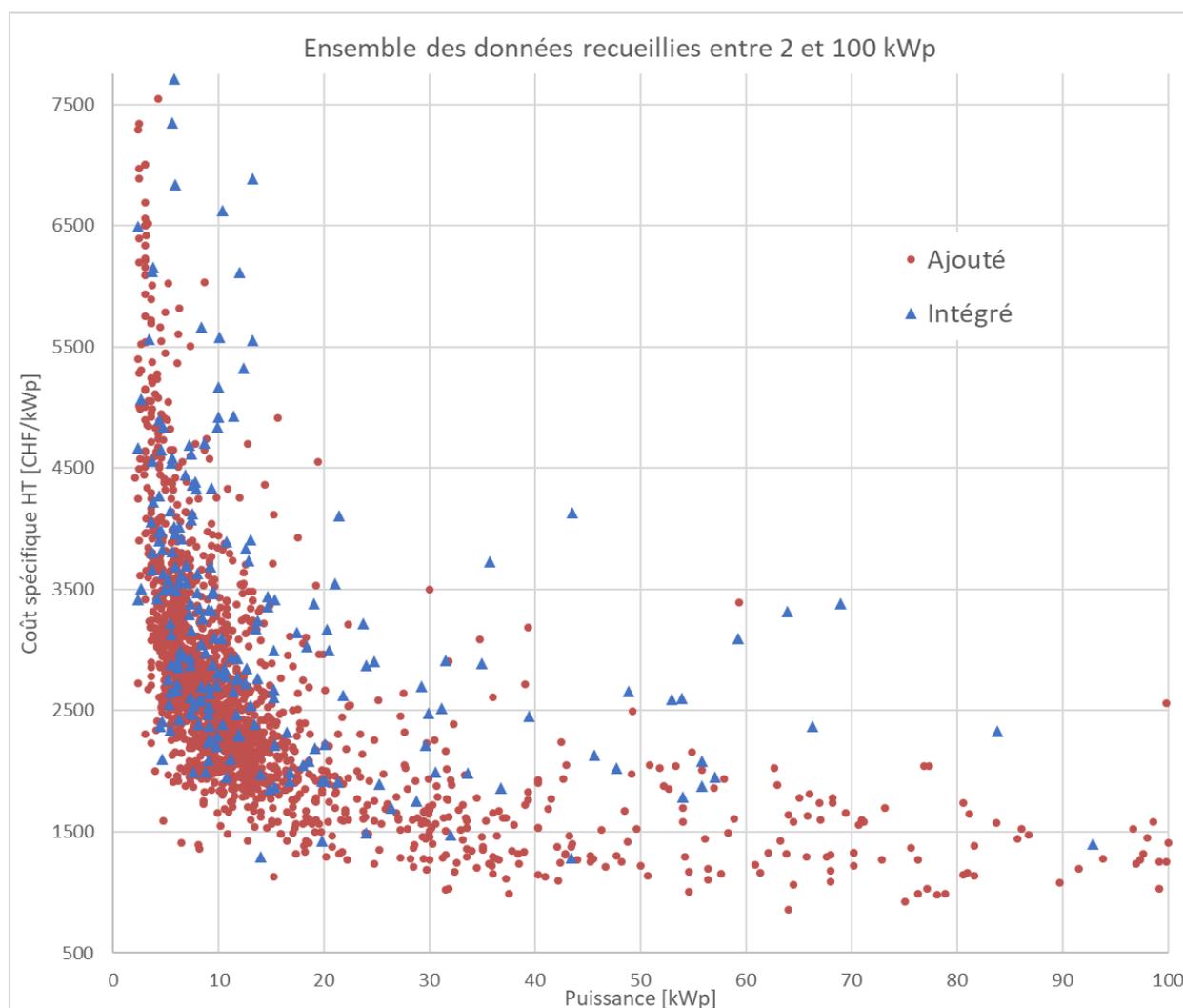


Figure 11 : Ensemble des données, réduites sur la plage 0-100 kWp, avec la distinction entre les installations ajoutées et intégrées.

3.2 Pertinence des sources CDS et AOG

Les données issues du check-devis-solaire (CDS) ne peuvent pas être maîtrisées et pourraient ne pas correspondre au cadre de l'étude (c'est-à-dire ni plus ni moins qu'aux prestations définies pour les installations photovoltaïques au chapitre 2.1).

Les données issues des appels d'offres groupés (AOG) ont la particularité de correspondre à un cadre défini par un bureau de planification, mettant en concurrence 3 installateurs au minimum, et surtout regroupant plusieurs petites installations pour créer un volume. Les éventuels rabais de volume explicites n'ont pas été considérés pour la présente étude. Toutefois la forte mise en concurrence et d'éventuels rabais de volume implicites entraînent un coût globalement plus bas pour ces installations.

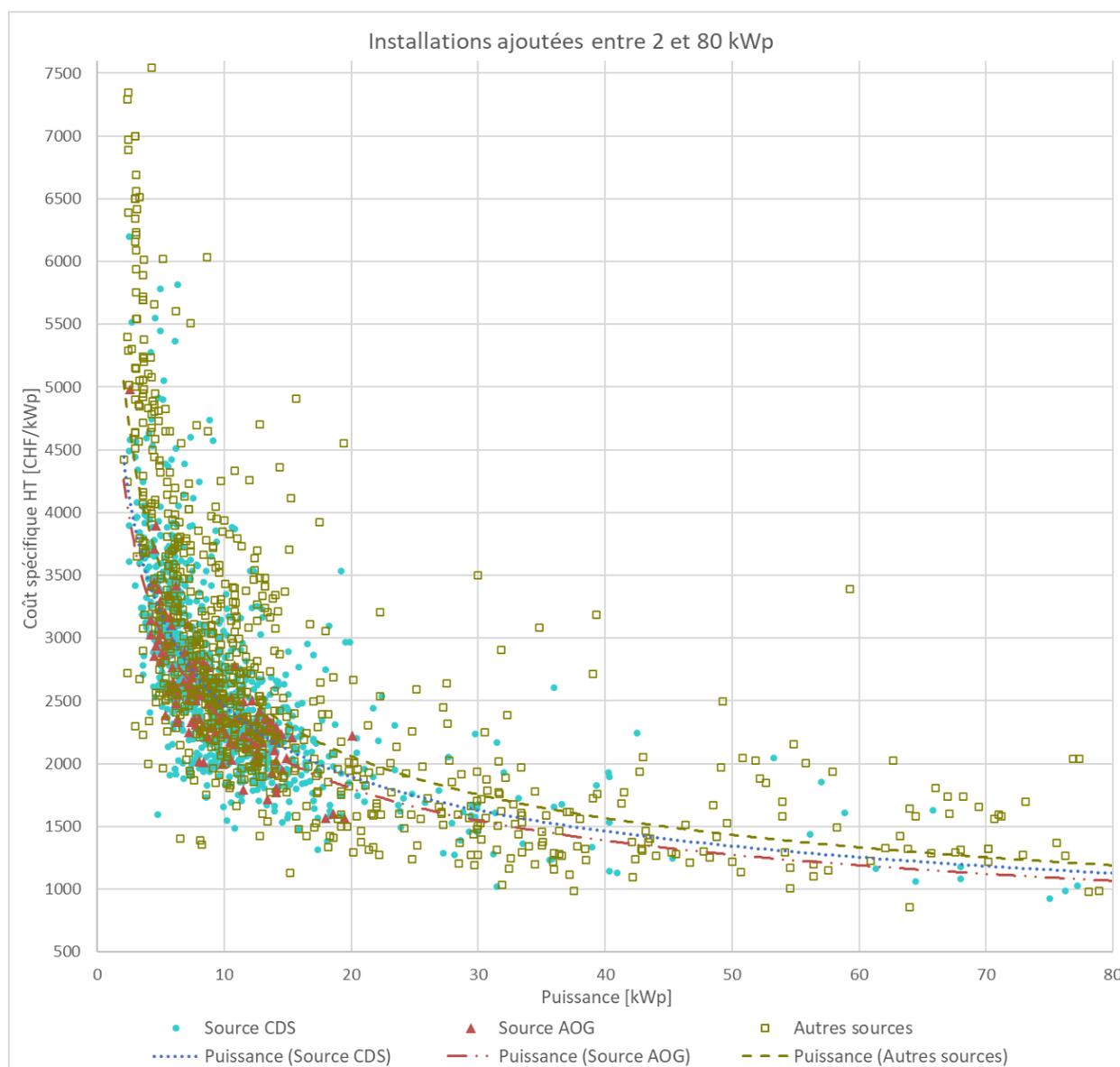


Figure 12 : Comparaison des coûts des installations ajoutées selon leur source ; les données fournies par le service check-devis-solaire, celles fournies par les appels d'offres groupés, et celles fournies directement par des installateurs. Les trois courbes de tendance ont été obtenues avec l'outil Excel et l'option « puissance ».

Les données de la source AOG se situent dans la plage 2-20 kWp et celles récoltées dans le cadre du CDS vont jusqu'à 80 kWp. Il y a 971 données issues du CDS, 134 des AOG et 809 d'autres sources.

La Figure 12 montre que les nuages de points des trois sources sont cohérents entre eux et forment un seul nuage de points communs qui regroupe toutes les sources. De plus, les données du CDS et des AOG se situent entièrement à l'intérieur du nuage de points formé par les données des autres sources. Les coûts spécifiques des autres sources sont en effet très éparpillés à l'inverse des données du CDS qui sont peu éparpillées autour de la courbe de tendance et des données des AOG qui sont encore plus regroupées au centre. Ces divers constats permettent de valider les différentes sources de données.

Les données issues des AOG sont les plus groupées, ceci s'explique par le cadre bien défini dans lequel elles s'inscrivent et généralement similaire d'une démarche à une autre.

Trois courbes ont été ajoutées à la Figure 12 pour indiquer les tendances. Elles ont été obtenues grâce à l'outil d'Excel « *Courbe de tendance – option courbe de puissance* ». La courbe AOG se trouve environ 10% sous la courbe des autres sources, reflétant la forte concurrence et le volume engendré par la démarche. La courbe CDS se trouve entre les deux autres courbes, proche de celle des AOG vers 2 kWp, mais légèrement au-dessus de celle des autres sources à 30 kWp. Comme le check-devis-solaire est un service qui compare 3 offres, il est possible que les particuliers ayant utilisé ce service aient plus fait appel à la concurrence et que cela explique la petite différence avec les données provenant directement des installateurs.

De manière globale, toutes les sources sont cohérentes et toutes les données ont été conservées pour la suite de l'étude.

3.3 Comparaisons diverses

3.3.1 Comparaison entre les offres et les factures :

La Figure 13 montre la comparaison entre les offres et les factures. Pour les petites installations, les factures recueillies sont environ 10% moins chères que les offres. Cela s'équilibre autour de 3% pour les grandes installations. Les prix sur factures devraient logiquement refléter un surcoût dû à d'éventuelles plus-values. Au contraire la moyenne des offres est gonflée par toutes les offres trop élevées qui ne sont à priori pas sélectionnées par les clients. La conclusion sur ces données recueillies est que les éventuelles plus-values ne compensent pas la portion des offres trop élevées. C'est un bon indicateur de stabilité entre offres et factures.



Figure 13 : Comparaison des coûts spécifiques entre les données provenant d'offres et celles provenant de factures. En haut page de données 2-30 kWp, en bas >30 kWp. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.

3.3.2 Comparaison entre les bâtiments existants et les bâtiments neufs :

La Figure 14 montre la comparaison entre les installations sur des bâtiments existants et celles sur des bâtiments neufs. En dessous de 15 kWp, toutes les données qui contiennent l'information du type de bâtiment se situent sous la courbe de l'ensemble des données. Cela s'explique par une mauvaise représentation statistique. Au-delà de 15 kWp, la courbe des bâtiments existants suit parfaitement la courbe de l'ensemble des données. Ce constat confirme que pratiquement toutes les données recueillies proviennent d'installations sur des bâtiments existants et valide la cohérence des données. Cependant, sur tous les prix d'installations pour des bâtiments neufs, seuls une dizaine se situent au-dessus de la courbe de l'ensemble des données. Les installations sur les bâtiments neufs sont environ 10 à 14% moins chères. Cela reflète les synergies qui peuvent être créées entre les différents métiers de construction et les différents travaux pour des bâtiments neufs. La sécurité de chantier par exemple peut être déjà mise en place et ne pas être incluse dans les prestations photovoltaïques, tout comme certains coûts de câblage et de raccordements électriques.

3.3.3 Comparaison si la sécurité de chantier est incluse ou non :

La Figure 15 montre la comparaison entre le prix des installations photovoltaïques sans la sécurité de chantier incluse dans les prestations avec celles comprenant la sécurité de chantier et celles sans informations. Sur l'ensemble des données pour lesquelles l'information est connue, 91% (1'094 sur 1'196) l'ont dans leurs prestations (ceci n'est pas visible à la Figure 6, car elle inclut également les installations intégrées). Cela semble être également le cas pour les données sans informations étant donné que les deux courbes de tendance (avec sécurité de chantier et tous les points) sont très proches. Concernant les installations sans sécurité de chantier (au nombre de 102), bien que concernant seulement 5% de l'ensemble des données, elles apparaissent 4 à 6% moins chères que l'ensemble des données pour les moyennes et grandes puissances, et plutôt 10 à 14% moins chères pour les puissances inférieures à 15 kWp.



Figure 14 : Comparaison des coûts spécifiques entre les installations sur des bâtiments existants et des bâtiments neufs. Les losanges rouges creux correspondent à l'ensemble des installations ajoutées, mettant en évidence celles sans informations quant au type de bâtiment. En haut plage de données 2-30 kWp, en bas >30 kWp. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.



Figure 15 : Comparaison des coûts spécifiques entre les installations pour lesquelles la sécurité de chantier est incluse et celles pour lesquelles elle ne l'est pas. Les losanges rouges creux correspondent à l'ensemble des installations ajoutées, mettant en évidence celles sans informations quant à la sécurité de chantier. En haut plage de données 2-30 kWp, en bas >30 kWp. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.

Les installations <30 kWp sur de nouveaux bâtiments sont fortement corrélées aux installations sans sécurité de chantier comme le montre la Figure 16 et leurs courbes de tendances sont identiques (Figure 14 et Figure 15). En revanche pour les puissances >30 kWp la corrélation est plus petite et leurs courbes de tendances sont différentes avec des prix globalement plus bas pour les installations sur des bâtiments neufs. Cela indique l'existence de facteurs supplémentaires qui réduisent les coûts des installations sur de nouveaux bâtiments autres que l'absence de sécurité de chantier. Ces facteurs qui prennent le dessus sur la réduction des coûts sont typiquement ceux propres aux grandes installations, par exemple une coordination pour la pose du gravier, la sécurité permanente non comprise dans la prestation photovoltaïque ou encore une conception architecturale intégrant une installation photovoltaïque (gaines techniques et cheminement des câbles anticipés).

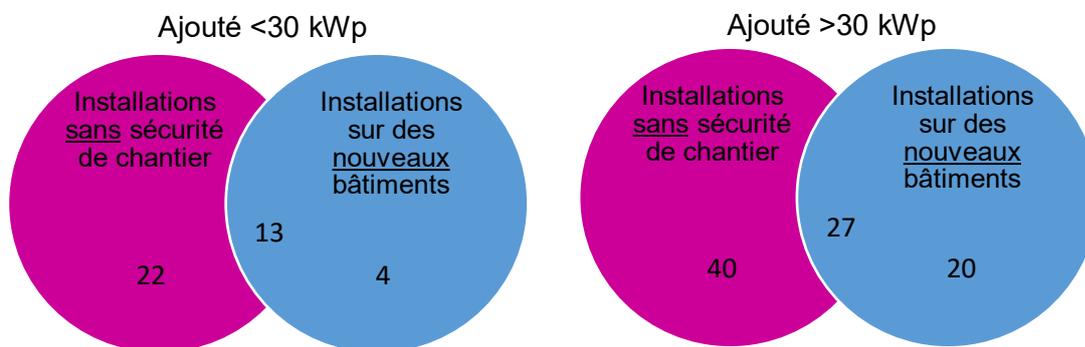


Figure 16 : Diagramme de Venn entre les installations sur de nouveaux bâtiments et celles sans sécurité de chantier.

3.3.4 Comparaison des différents types d'onduleurs :

La Figure 17 montre la comparaison entre le prix des installations photovoltaïques selon le type d'onduleur(s) proposé(s) pour les offres ou installé(s) pour les factures. Pour les micro-onduleurs il y a 165 données dont une seule à 35 kWp, toutes les autres se situent uniquement dans la plage 2-20 kWp. Pour les optimiseurs il y a 527 données dans la plage 2-110 kWp. Il y avait dans les données recueillies une installation à 360 kWp avec des optimiseurs, mais elle était trop isolée pour en tirer des conclusions. Les données pour des installations avec onduleur(s) de chaîne couvrent toute la plage de puissances, et dans la plage 2-110 kWp de la Figure 17 cela correspond à 561 données.

Par rapport aux données recueillies dans le cadre de cette étude, les installations avec micro-onduleurs sont 15% à 25 % plus chères que les autres. Hormis quelques exceptions, la Figure 17 montre clairement une différence de coût spécifique entre les installations avec micro-onduleurs et les autres.

Entre les coûts spécifiques des installations avec optimiseurs et celles avec onduleur(s) de chaîne, il n'y a pratiquement aucune différence. Les deux nuages de points pour les petites installations sont exactement au même endroit sur le graphique, avec peut-être quelques données supplémentaires au-dessus du nuage de point pour les optimiseurs. En observant les courbes de tendance finement nous pouvons apercevoir une légère différence de 1% à 4% plus cher pour les installations avec optimiseurs pour les puissances <20 kWp. Toutefois la tendance s'inverse au-delà de 40 kWp, mais les données sont trop peu nombreuses pour tirer des conclusions. Globalement l'étude ne montre aucune différence de prix significative entre les installations avec optimiseurs et celles avec onduleur(s) de chaîne.

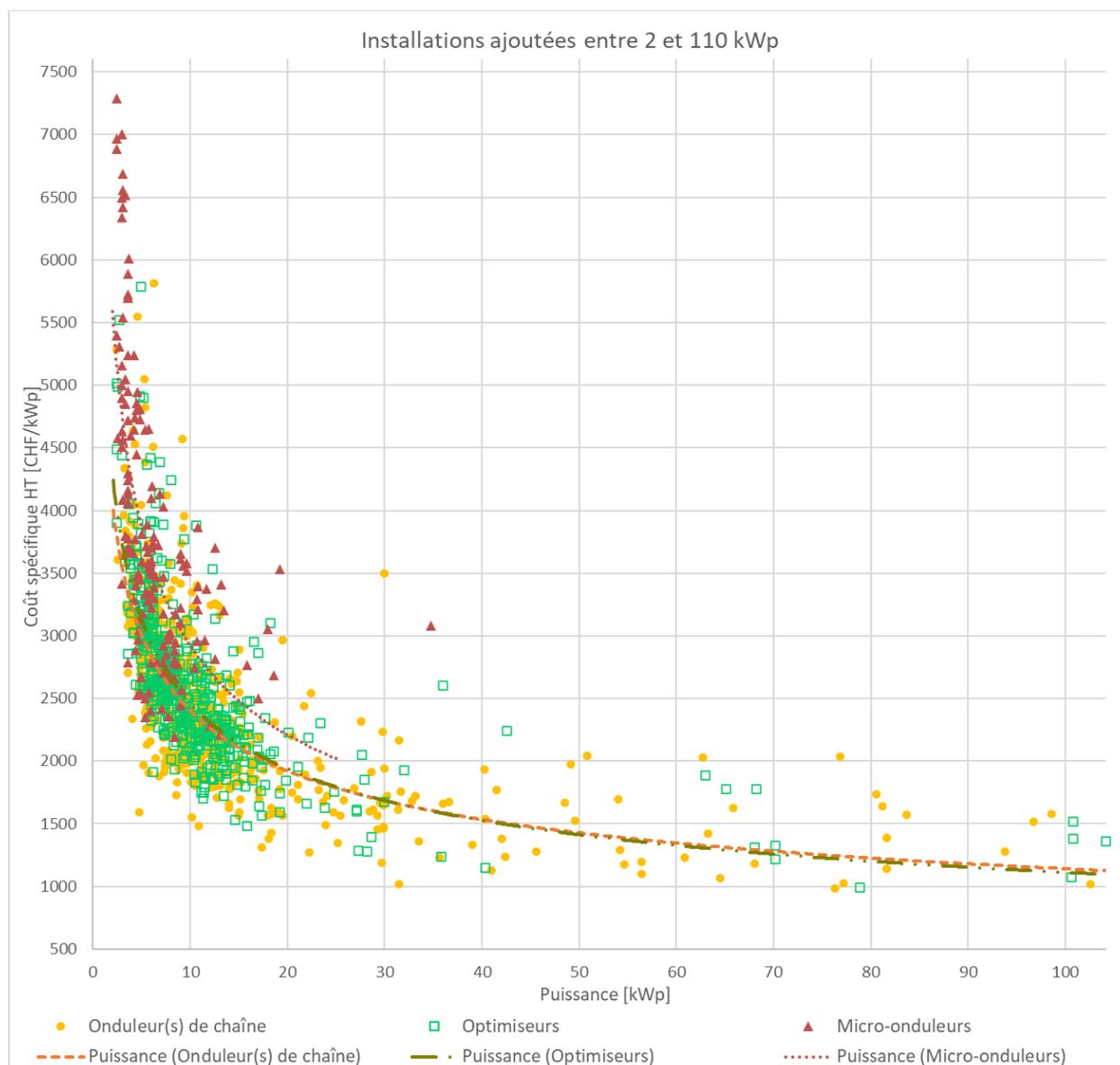


Figure 17 : Comparaison des coûts spécifiques des installations selon le type d'onduleur(s) proposé(s) (pour les offres) ou installé(s) (pour les factures). Les données pour les micro-onduleurs ne se situent que dans la plage des petites puissances. Courbes de tendance "puissance" selon Excel

3.3.5 Comparaison des différents types de toiture :

La Figure 18 montre la comparaison entre le prix des installations photovoltaïques selon le type de toiture. Par manque de données suffisantes (voir Figure 9) seule la plage 30-800 kWp donne des résultats pertinents pour trois types de toiture. Il s'agit des toits inclinés en tôles, des toits plats avec graviers et des toits plats végétalisés, qui sont logiquement les plus représentés dans cette plage de puissance. La Figure 18 montre comme tendance une nette distinction entre les différents types de toiture. Les installations sur des toits inclinés en tôles tendent à être 10% à 15% moins chères, les installations sur des toits plats végétalisés 10% à 15% plus chères, et les installations sur des toits plats avec graviers se situent au milieu. Il s'agit toutefois de tendance puisque les données restent peu nombreuses.

Une fine observation des données sur les toits végétalisés semble indiquer qu'il s'agit d'installations photovoltaïques posées par-dessus la végétalisation, sans soufflage puis rajout de celle-ci qui auraient encore augmenté les coûts.

Concernant les toits inclinés en tuiles, les données se situent presque exclusivement dans la plage 2-15 kWp, ce qui correspond principalement aux installations sur des villas. Dans cette même plage de puissance, seules quelques données de toit plat avec graviers ont été recueillies. Comme il s'agit principalement d'installations pour de la petite industrie ou des petits commerces, beaucoup trop d'autres paramètres entrent en compte pour comparer les coûts aux installations sur les toits en tuiles des villas. Il ne semble toutefois pas y avoir de grosses différences au niveau du prix global.

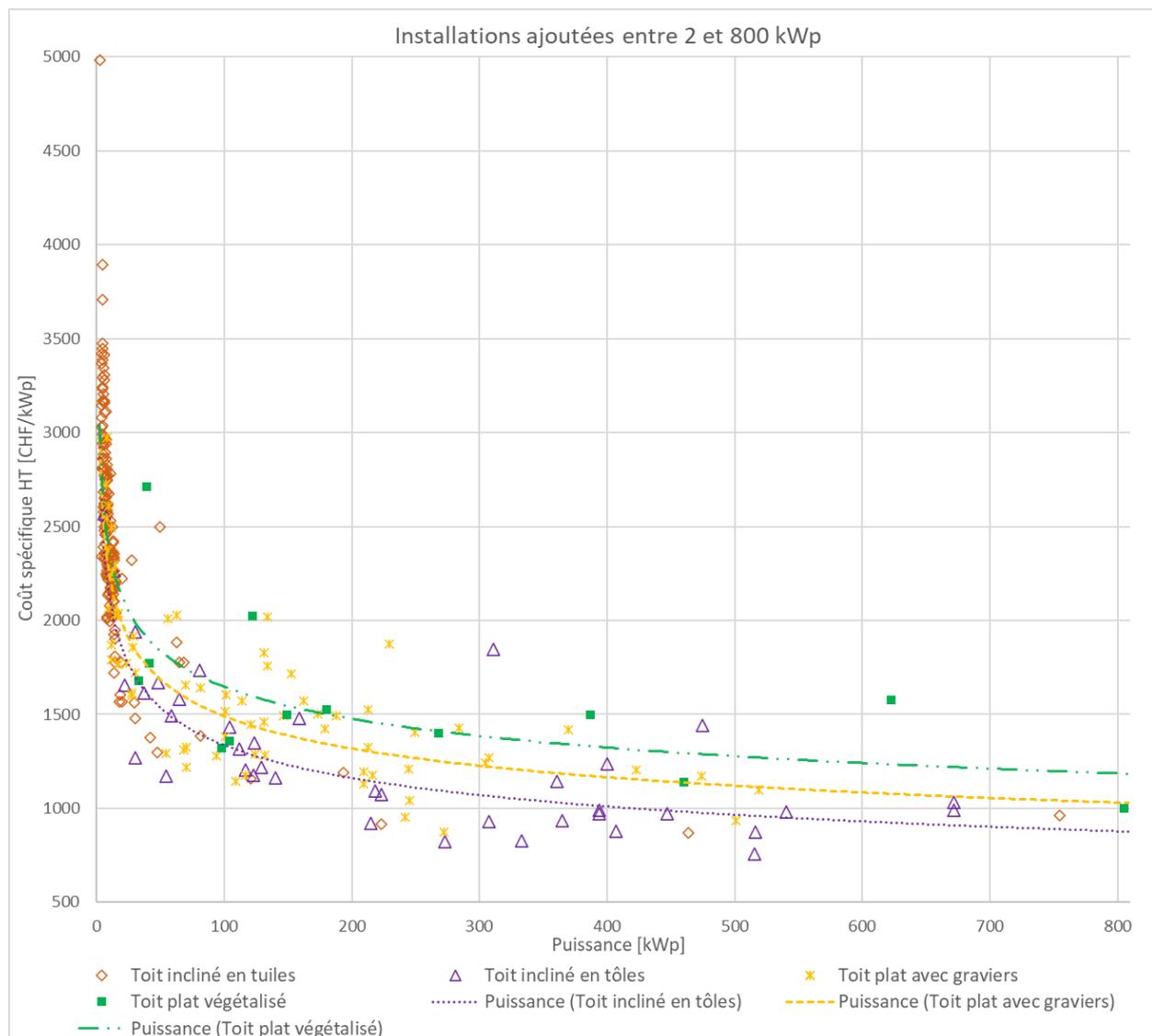


Figure 18 : Comparaison des coûts spécifiques des installations selon le type de toiture. Les données pour les toits inclinés en tuiles se situent presque exclusivement dans la plage des petites puissances, cette courbe de tendance n'a donc pas été représentée. Courbes de tendance "puissance" selon Excel.

3.3.6 Conclusion des diverses comparaisons

De nombreux facteurs influencent le prix des installations photovoltaïques vers le haut ou vers le bas. Il serait fastidieux de s'aventurer dans une analyse détaillée des coûts pour chaque combinaison différente des facteurs d'influence et rien ne garantit que cela apporte des conclusions pertinentes. Il faut aussi considérer le nombre d'informations manquantes et la probabilité d'erreurs dans certaines données recueillies qui ne pouvaient être vérifiées. En fin de compte, la décision a été prise de conserver toutes les données pour créer un volume permettant aux écarts de se compenser statistiquement.

Pour la suite de l'étude, aucune donnée particulière n'a été écartée (hormis les installations intégrées) et toutes les caractéristiques suivantes avec leur influence font partie du volume des données utilisées pour l'analyse des prix du marché. Cela fait un total de 2'126 données incluant :

- Les offres non réalisées, avec la tendance à augmenter les prix.
- Les installations sur des bâtiments neufs, avec la tendance à diminuer les prix.
- Les installations sans sécurité de chantier, avec la tendance à diminuer les prix.
- Les installations avec une sécurité permanente, avec la tendance à augmenter les prix.
- Les installations avec du monitoring, avec la tendance à augmenter les prix.
- Les données des AOG, avec la tendance à diminuer les prix.
- Les installations avec des micro-onduleurs, avec la tendance à augmenter les prix.
- Les installations sur des toits inclinés en tôles, avec la tendance à diminuer les prix, et celles sur des toits plats végétalisés, avec la tendance à augmenter les prix.
- De même, tous les autres paramètres, les différents types d'onduleurs et de toitures ont été conservés et mélangés à la masse.

4 Résultats globaux

4.1 Courbe de référence

La Figure 19 et la Figure 20 présentent le coût spécifique hors taxes en fonction de la puissance des 2'126 installations ajoutées pour lesquelles les données ont été recueillies et analysées pour l'étude. Les points obtenus ont permis de déterminer une courbe de tendance de l'évolution du coût spécifique en fonction de la puissance.

Cette courbe de référence a été obtenue en utilisant la fonction `lsqcurvefit` de Matlab³ qui permet de résoudre des problèmes non linéaires d'ajustement des courbes selon la méthode des moindres carrés. En testant plusieurs courbes de puissance et d'exponentielle, la meilleure représentation a pu être obtenue avec une combinaison des deux. La fonction puissance (négative) permet de décrire la très rapide décroissance du coût spécifique pour les petites installations tout en ralentissant la pente pour les installations de tailles moyennes. La fonction exponentielle permet de décrire l'évolution du coût spécifique pour les grandes installations avec une pente plus lente, mais sans qu'elle ne s'aplatisse trop.

Comme les données ne sont pas uniformément réparties sur toute la plage de puissance, une pondération a dû être attribuée pour que toutes les données aient le même poids dans l'ajustement de la courbe. Pour ce faire, nous avons ajouté un poids spécifique à chaque plage de puissance afin que la densité des données soit identique entre toutes les plages. Les poids attribués aux données sont les suivants :

0-30 kWp	30-100 kWp	100-300 kWp	>300 kWp	, pour une densité de 58.5 données par kWp.
1	22	100	1032	

La fonction finale obtenue est la suivante (arrondie à 3 chiffres significatifs) :

$$y = \frac{8120}{x^{0.766}} + 1140 \cdot e^{-2.99 \cdot 10^{-4} \cdot x}$$

Où

x est la puissance en kW_p ,

y est le coût spécifique en $CHF HT/kW_p$.

³ MATLAB version 9.2.0.556344 (R2017a), The Mathworks, Inc., 2017.

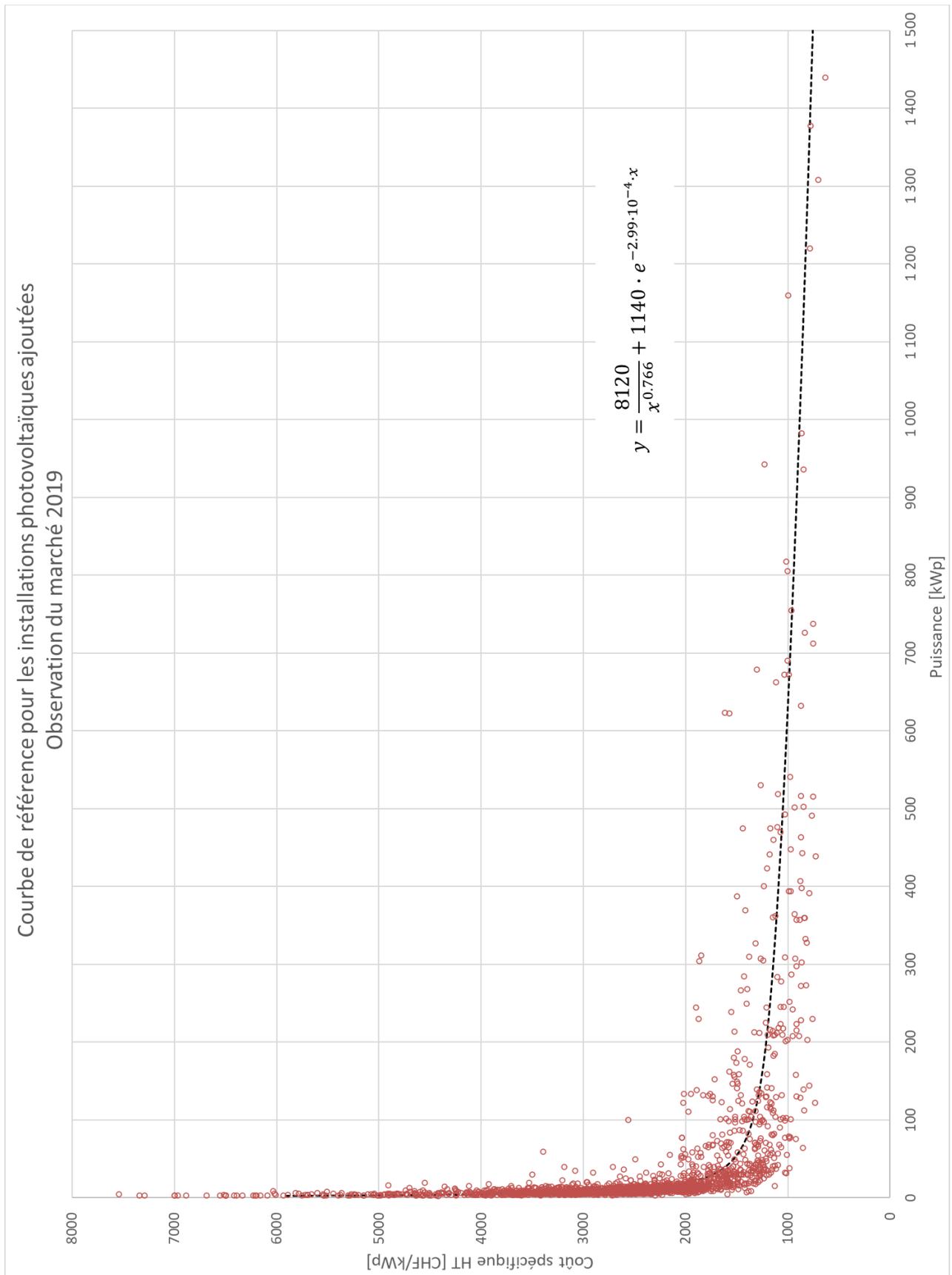


Figure 19 : Coût spécifique hors taxes des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance avec la courbe de référence. Vue de l'ensemble de la plage de puissance.

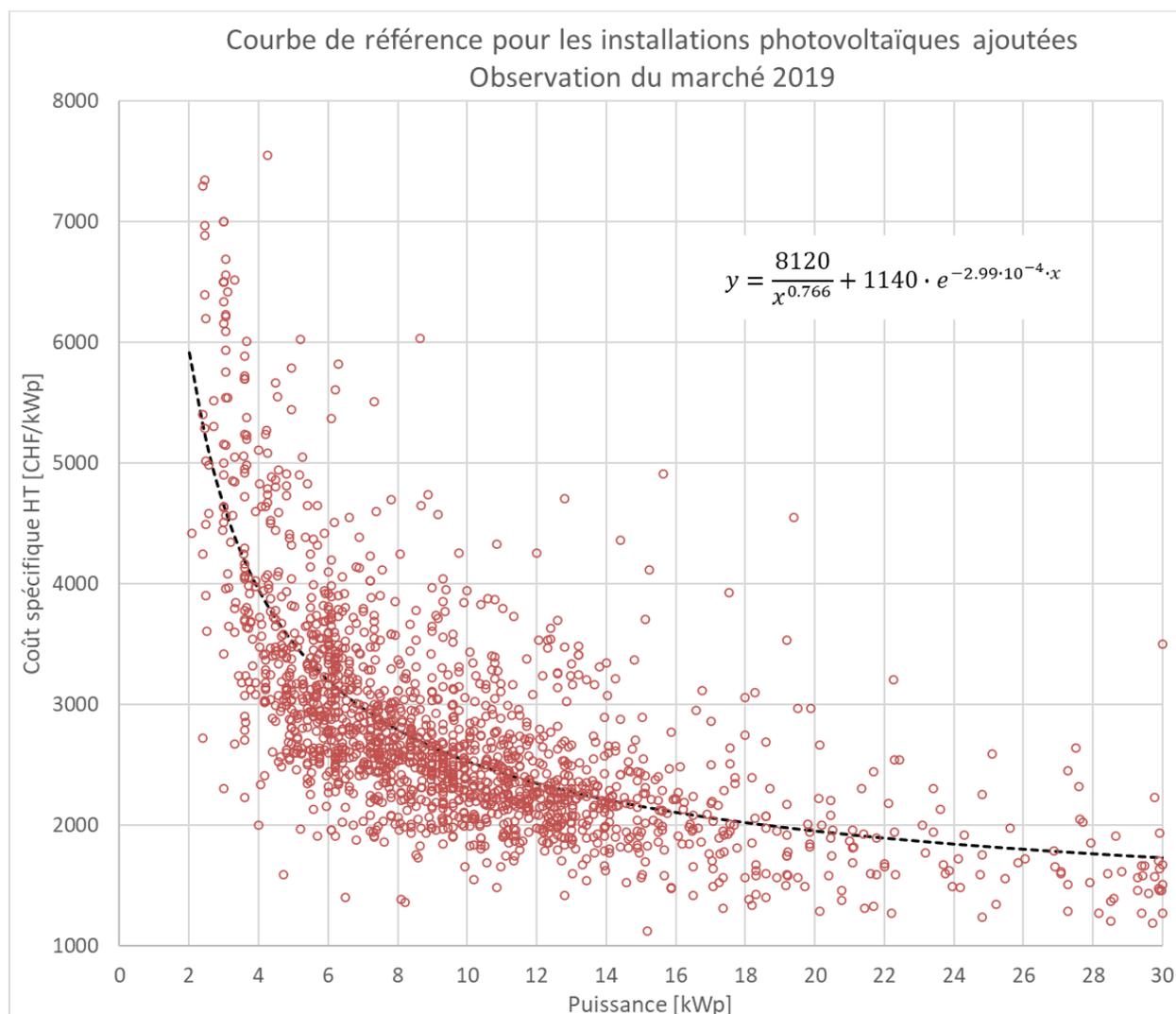


Figure 20 : Coût spécifique hors taxes des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance avec la courbe de référence. Zoom sur la plage 2-30 kWp.

4.2 Répartition statistique du coût spécifique par tranches de puissance

Le Tableau 1 et la Figure 21 présentent les résultats statistiques de l'étude sous forme de répartition statistique du coût spécifique pour différentes plages de puissance.

Sept différentes grandeurs ont été calculées et les cinq dernières sont illustrées à la Figure 21 :

- Le coût spécifique moyen correspond à la moyenne des coûts spécifiques de toutes les installations dans la plage de puissance concernée.
- Le coût moyen du kWp correspond à la somme des coûts des installations divisée par la somme des puissances installées dans une même plage puissance.
- Le min correspond au coût spécifique le plus bas dans la tranche de puissance.
- Le 25% correspond au premier quartile, soit le coût spécifique pour lequel 25% des installations ont un prix inférieur et 75% ont un prix plus élevé dans la tranche de puissance.

- La médiane correspond au coût spécifique pour lequel 50% des installations sont moins chères et 50% sont plus chères.
- Le 75% correspond au troisième quartile, soit le coût spécifique pour lequel 75% des installations ont un prix inférieur et 25% ont un prix plus élevé dans la tranche de puissance.
- Le max correspond au coût spécifique le plus élevé dans la tranche de puissance.

Plage de puissance [kW _p]	Nb d'installations	Coût spécifique moyen [CHF HT/kW _p]	Coût moyen du kWp	Min	25%	Médiane	75%	Max
2-10	1'043	3'158	2'985	1'359	2'538	2'914	3'528	7'545
10-30	711	2'256	2'184	1'129	1'920	2'201	2'493	4'910
30-100	187	1'542	1'512	855	1'254	1'466	1'737	3'394
100-300	117	1'283	1'254	737	1'064	1'217	1'496	2'022
300-1'000	63	1'060	1'045	730	865	990	1'206	1'868
>1'000	5	780	772	633	670	777	893	1'001

Tableau 1 : Caractéristiques statistiques des installations photovoltaïques ajoutées de l'étude. Le paramètre analysé est le coût spécifique en CHF HT/kWp et les caractéristiques statistiques ont été calculées pour six plages de puissance indépendantes.

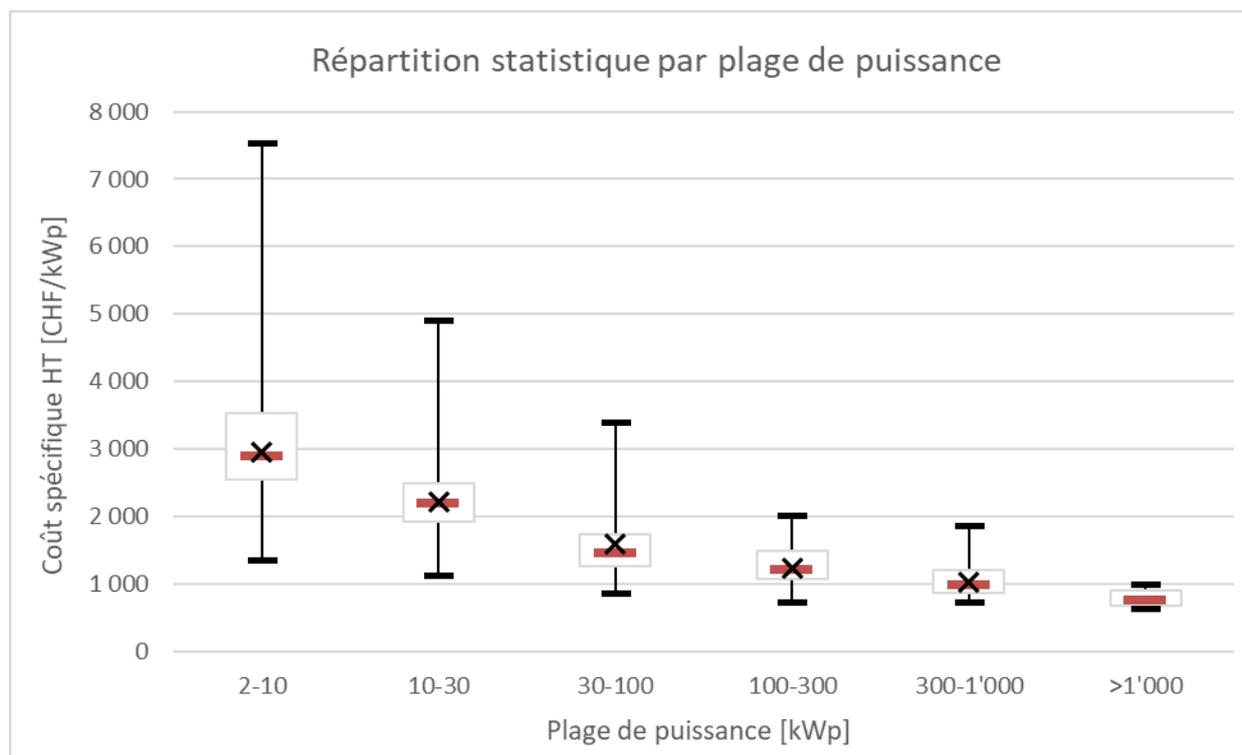


Figure 21 : Répartition statistique du coût spécifique en CHF HT/kWp des installations photovoltaïques ajoutées pour chaque plage de puissance. La barre rouge au centre correspond à la médiane des données dans la plage de puissance respective. Les deux barres noires aux extrémités correspondent aux coûts spécifiques minimum (min) et maximum (max) pour chaque plage. Le carré central entourant la médiane correspond à l'écart interquartile, c'est-à-dire que 50% des données de la plage de puissance se trouvent à l'intérieur du carré. Pour finir, les croix correspondent aux médianes des données 2018 et montrent une forte constance temporelle des coûts.

4.3 Discussion

La fonction `lsqcurvefit` a eu une bonne convergence vers une solution représentative des données comme le montrent la Figure 19 et la Figure 20. L'analyse de la courbe de référence montre une très forte décroissance du coût spécifique pour les très petites installations et une courbe presque plate pour les grandes installations avec une décroissance de seulement $0.000299 \text{ kW}_p^{-1}$. Le coût spécifique passe de 6'000 CHF/kWp à 2'500 CHF/kWp en seulement 8 unités de puissance dans l'intervalle 2-10 kWp. La décroissance diminue considérablement dès 10 kWp, pour passer juste sous la barre des 2'000 CHF/kWp à 20 kWp. Dès 50 kWp (1'500 CHF/kWp), la courbe atteint déjà son plateau et la barre des 1'000 CHF/kWp n'est dépassée qu'à 640 kWp.

Malgré une tendance générale claire, les données restent très dispersées. Par exemple en considérant une bande de +/- 20% autour de la courbe de référence, seuls 60% à 70% des données selon la plage de puissance sont comprises dans cet intervalle. Ce constat est également visible à la Figure 21 puisqu'elle montre que 50% des données se situent à l'extérieur des carrés. Cela reflète principalement le grand nombre de paramètres qui influencent le coût d'une installation photovoltaïque. Le chapitre 3.3 présente plusieurs exemples d'influence des paramètres sur le coût spécifique des installations. Cette dispersion des coûts peut s'expliquer aussi par de grandes différences d'un chantier à un autre, avec certaines complexités qui peuvent apparaître ou non. La marge des installateurs peut également jouer un rôle, avec potentiellement une certaine disparité entre eux ou la volonté sur certains chantiers de gagner le marché malgré une marge infime et sur d'autres chantiers la liberté de bénéficier d'une marge plus confortable.

5 Répartition des coûts

Une analyse de répartition des coûts a été réalisée sur les installations photovoltaïques ajoutées pour lesquelles le détail des coûts était connu, soit 460 installations. Cette analyse s'intéresse à la part des coûts des différents composants dans le coût global du système. Les données ont été divisées dans les mêmes plages de puissance qu'au chapitre 4.2, car les différences sont grandes selon la taille de l'installation photovoltaïque.

5.1 Aperçu global

Dans une première analyse, le coût global a été réparti en 6 catégories permettant d'inclure les données du CDS, pour lesquelles seuls ces détails sont connus. Il s'agit :

- Du coût des modules,
- Du coût des onduleurs,
- Du coût de la structure,
- Du coût de la sécurité de chantier,
- Des coûts administratifs et de planification,
- Des autres coûts.

L'analyse comprend les nombres suivants de données par plage de puissance :

2-10 kWp	10-30 kWp	30-100 kWp	100-300 kWp	300-1000 kWp	>1000 kWp
202	185	28	26	18	1

Les résultats sont présentés à la Figure 22. Celle-ci montre clairement l'augmentation de la proportion du coût des modules relativement au coût global de l'installation en fonction de la puissance ; plus l'installation est grande, plus les modules prennent une part importante du coût global, allant de 19% à 35% du coût global.

La proportion du coût des onduleurs reste très stable, toujours autour de 9%, sauf pour la plage 2-10 kWp. Ce constat indique que le coût spécifique des onduleurs diminue proportionnellement au coût spécifique global.

Tous les autres coûts décroissent proportionnellement au coût global au fur et à mesure que l'installation photovoltaïque augmente en taille. Le coût de la sécurité de chantier est la catégorie qui décroît le plus fortement, de 9% à 4% du coût global.

Le coût spécifique de la structure reste stable pour les installations en dessous de 30 kWp, soit 270-300 CHF/kWp (son pourcentage augmente donc entre les deux premières plages). Ce résultat montre que pour les petites installations le coût de la structure reste proportionnel à la puissance et n'est pas réduit avec de plus grandes tailles. Au-delà de 30 kWp, le pourcentage du coût spécifique de la structure reste très stable jusqu'à 100 kWp, à 12%, puis décroît lentement jusqu'à 8%.

Les coûts administratifs et de planification sont très constants, toujours entre 6% et 8% du coût global. Cela montre que ces coûts ne sont pas du tout une constante fixe et sont au contraire proportionnels au coût global. Ce résultat est à considérer prudemment, car les moyennes des coûts spécifiques pour les plages de puissance 2-10 kWp et 10-30 kWp sont largement dominées par les données du CDS. Il est donc possible que le service CDS ne prenne pas en compte dans les coûts administratifs et planification certaines prestations qui sont considérées dans les autres données. Par contre nous notons, indépendamment des données CDS, une augmentation des coûts administratifs et de planification entre

la plage de puissance 30-100 kWp et la plage 100-300 kWp (ils passent de 86 à 93 CHF/kWp). De toutes les catégories et toutes les plages de puissance, c'est la seule donnée où un coût spécifique augmente avec la puissance. Il semble qu'entre les plages 30-100 kWp et 100-300 kWp se trouve une limite où, au-delà, la planification prend une plus grande importance et engendre des coûts supplémentaires.

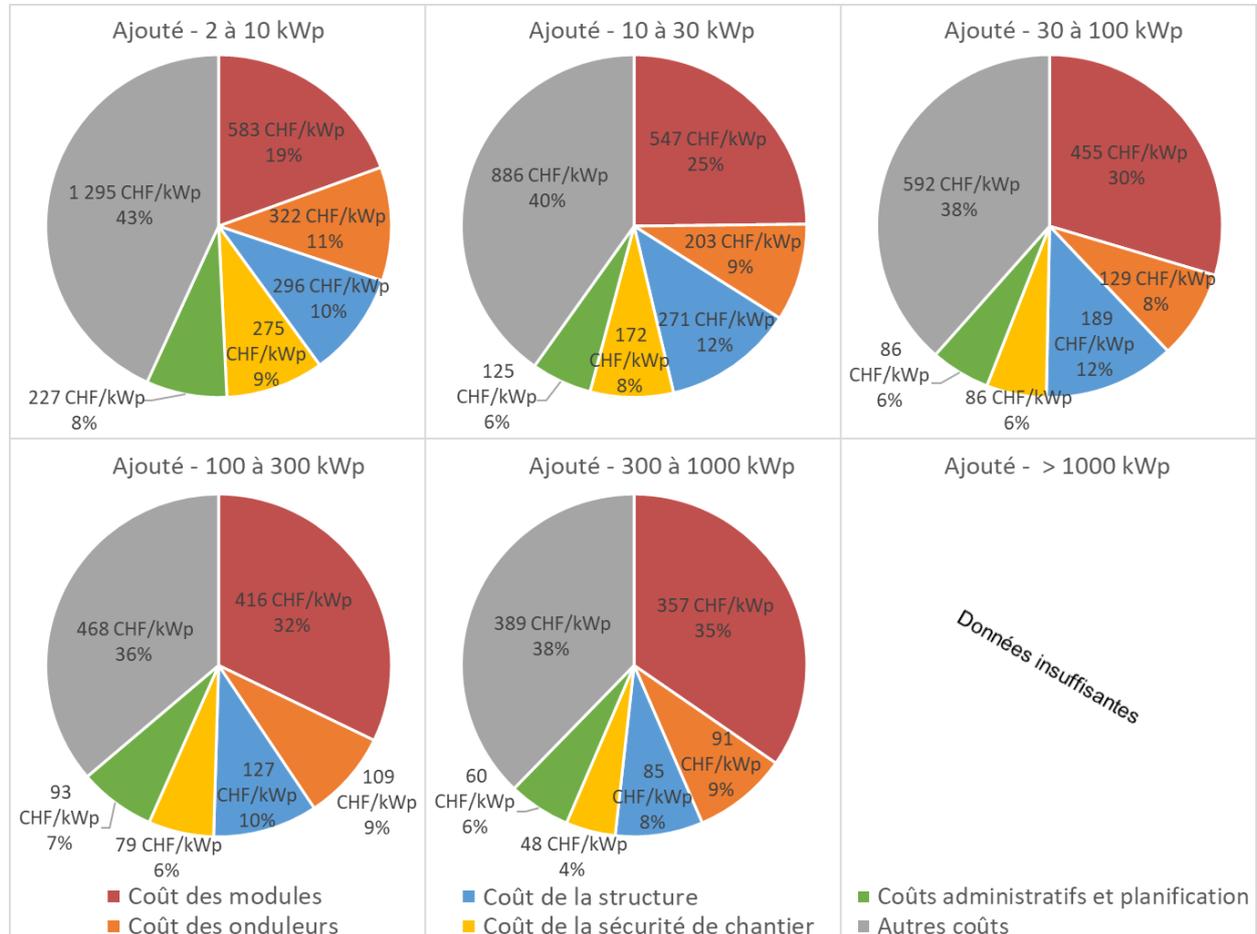


Figure 22 : Répartition des coûts des installations photovoltaïques ajoutées, divisés en six catégories principales. Les valeurs correspondent aux moyennes des coûts spécifiques des catégories pour toutes les installations d'une plage de puissance où ce détail est connu.

5.2 Aperçu détaillé

Avec les données du chapitre précédent, la part des « autres coûts » non définis est grande et ne permet pas une analyse complète des coûts. Ce chapitre se concentre sur 71 installations photovoltaïques ajoutées pour lesquelles un détail complet a pu être fourni. Ces données ont été recueillies lors d'entretiens approfondis avec certains installateurs. Dans cette analyse le coût global a été réparti en 9 catégories en identifiant dans les « autres coûts » les coûts de la main-d'œuvre, du matériel électrique et de la logistique et du transport. Les coûts de la sécurité permanente ont également été identifiés, mais regroupés avec les coûts de la sécurité de chantier.

Les 9 catégories sont donc les suivantes :

- Coût des modules,
- Coût des onduleurs,
- Coût de la structure,
- Coût de la sécurité de chantier et permanente
- Coûts administratifs et de planification
- Coût de la main d'œuvre,
- Coût du matériel électrique,
- Coûts de la logistique et du transport,
- Autres coûts.

L'analyse comprend les nombres suivants de données par plage de puissance :

2-10 kWp	10-30 kWp	30-100 kWp	100-300 kWp	300-1000 kWp	>1000 kWp
16	18	3	18	15	1

La Figure 23 montre une répartition détaillée des coûts des installations photovoltaïques. Les données sont toutefois moins fiables compte tenu d'une plus petite quantité de données. Cependant, elles sont exemptes des données du CDS et respectent une certaine homogénéité basée sur les critères définis pour l'étude. On note ainsi quelques divergences avec la Figure 22, particulièrement sur les plages 2-10 kWp et 10-30 kWp.

Une première comparaison entre les Figure 22 et Figure 23 a été réalisée. Le coût des modules et son évolution ne changent pas. L'évolution du coût de la structure est également similaire, bien que les valeurs et les pourcentages soient légèrement différents. Cela confirme que le coût de la structure relativement au coût global augmente avec la puissance pour les petites installations, reste stable pour les tailles moyennes, et décroît uniquement à partir de 100 kWp. Par contre le coût des onduleurs et les coûts administratifs et de planification pour cette sélection détaillée montrent un profil différent à la sélection comprenant les données du CDS. Au niveau des petites installations, ces coûts sont plus élevés indiquant que les données du CDS les tirent vers le bas. Pour les coûts administratifs et de planification, cela peut facilement s'expliquer avec des prestations qui ne sont pas comptabilisées dans cette catégorie par le service CDS, mais qui le sont dans cette étude (voir chapitre 5.1). Au niveau des onduleurs, la définition semble évidente et il est plus difficile d'expliquer la différence. Il est possible que le coût des optimiseurs ait été omis dans certains cas. Avec cette nouvelle analyse, le pourcentage du coût des onduleurs par rapport au coût global est décroissant à l'inverse d'être stables dans l'analyse précédente. Cela semble plus cohérent et montre que les onduleurs ont moins d'impact sur le coût global pour les grandes installations que pour les petites, mais l'impact est stable entre les moyennes et les grandes installations. Avec des coûts administratifs et de planification plus élevés au niveau des petites installations, son pourcentage par rapport au coût global montre une décroissance plus prononcée. Ces coûts auraient donc

bien un impact plus prononcé pour les toutes petites installations. Au-delà de 10 kWp toutefois, l'impact financier ne décroît pas de manière significative.

Le coût de la sécurité a logiquement augmenté puisque la sécurité permanente y a été ajoutée. Cela a uniquement un impact pour les grandes installations. En analysant le détail, il semble que le coût spécifique de sécurité permanente (et pas juste son pourcentage au coût global) augmente avec la taille de l'installation. Mais avec le faible nombre de données, il n'est pas possible d'affirmer ce résultat.

Cette analyse a permis de détailler le poste « autres coûts » du chapitre 5.1. Le coût de la main-d'œuvre est la part la plus élevée. Pour les petites installations, il s'agit de la catégorie la plus importante avec un quart du coût global. Le coût de la main-d'œuvre a un impact de plus en plus faible sur le coût global à mesure que la taille de l'installation augmente. Les autres catégories sont le coût du matériel électrique et les coûts de la logistique et du transport. Le premier a un impact sur le coût global qui augmente avec la taille de l'installation. Il s'agit de la seule catégorie avec le coût des modules qui présente ce comportement. Les coûts de la logistique et du transport ont un impact très faible et qui n'évolue pas. Finalement la catégorie « autres coûts » restants a pu être réduite au minimum et consiste majoritairement en coûts de monitoring.

En résumé, on constate que le coût des modules et le coût de la main-d'œuvre sont les facteurs les plus influents sur le prix. Ensemble ils totalisent la moitié des coûts. La main-d'œuvre donne les plus grandes économies d'échelle. Le coût des modules et celui du matériel électrique sont les seuls qui ont un impact sur le prix global qui augmente avec la puissance.

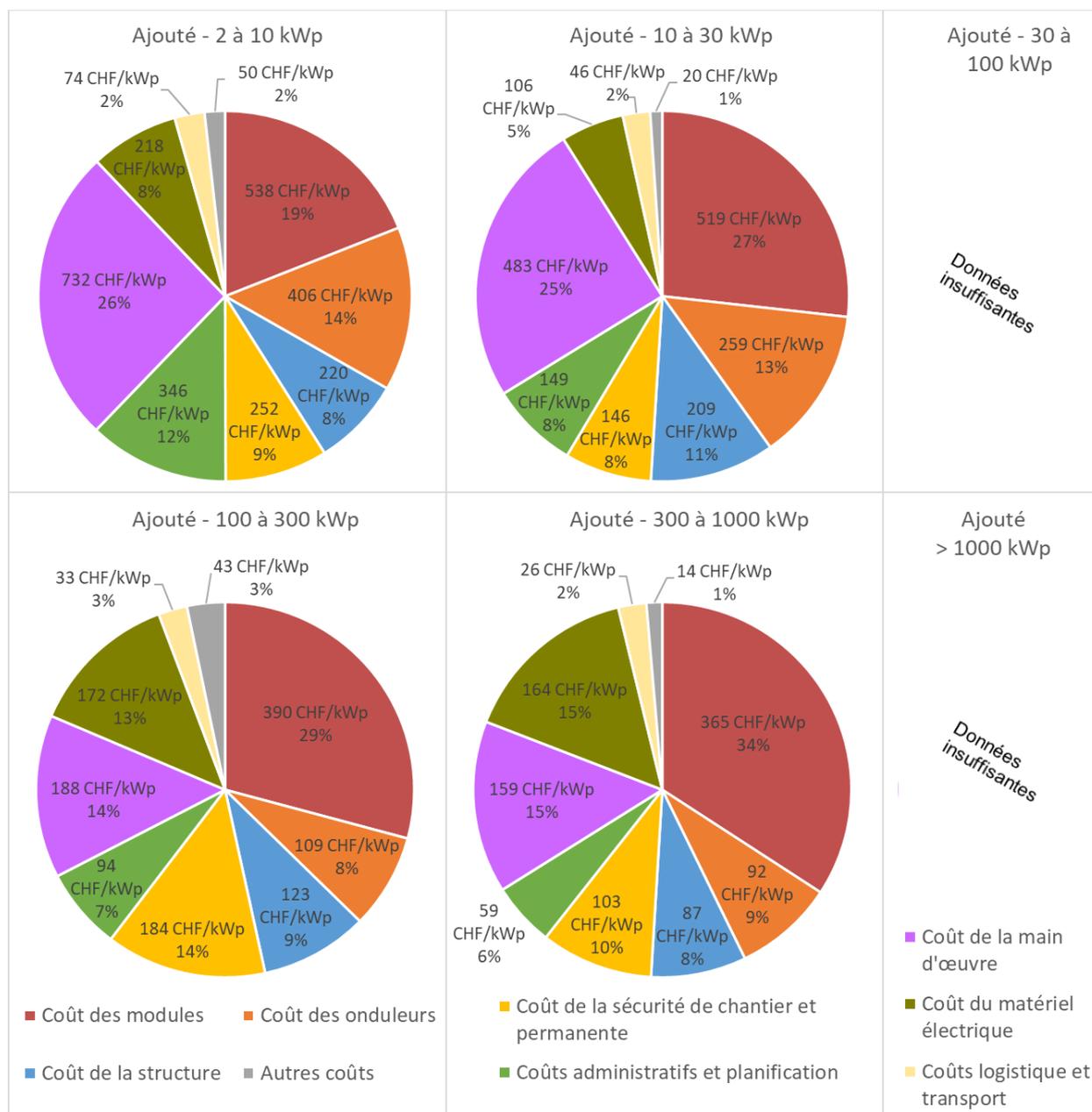


Figure 23 : Répartition détaillée des coûts des installations photovoltaïques ajoutées, divisés en neuf catégories. Les valeurs correspondent aux moyennes des coûts spécifiques des catégories pour toutes les installations d'une plage de puissance où ce détail est connu.

6 Evolution dans le temps

Pour chaque donnée recueillie, la date d'établissement de l'offre ou de la facture a été fournie. L'analyse suivante évalue l'évolution des coûts entre 2018 et 2019 et entre les semestres 1 et 2 de 2019.

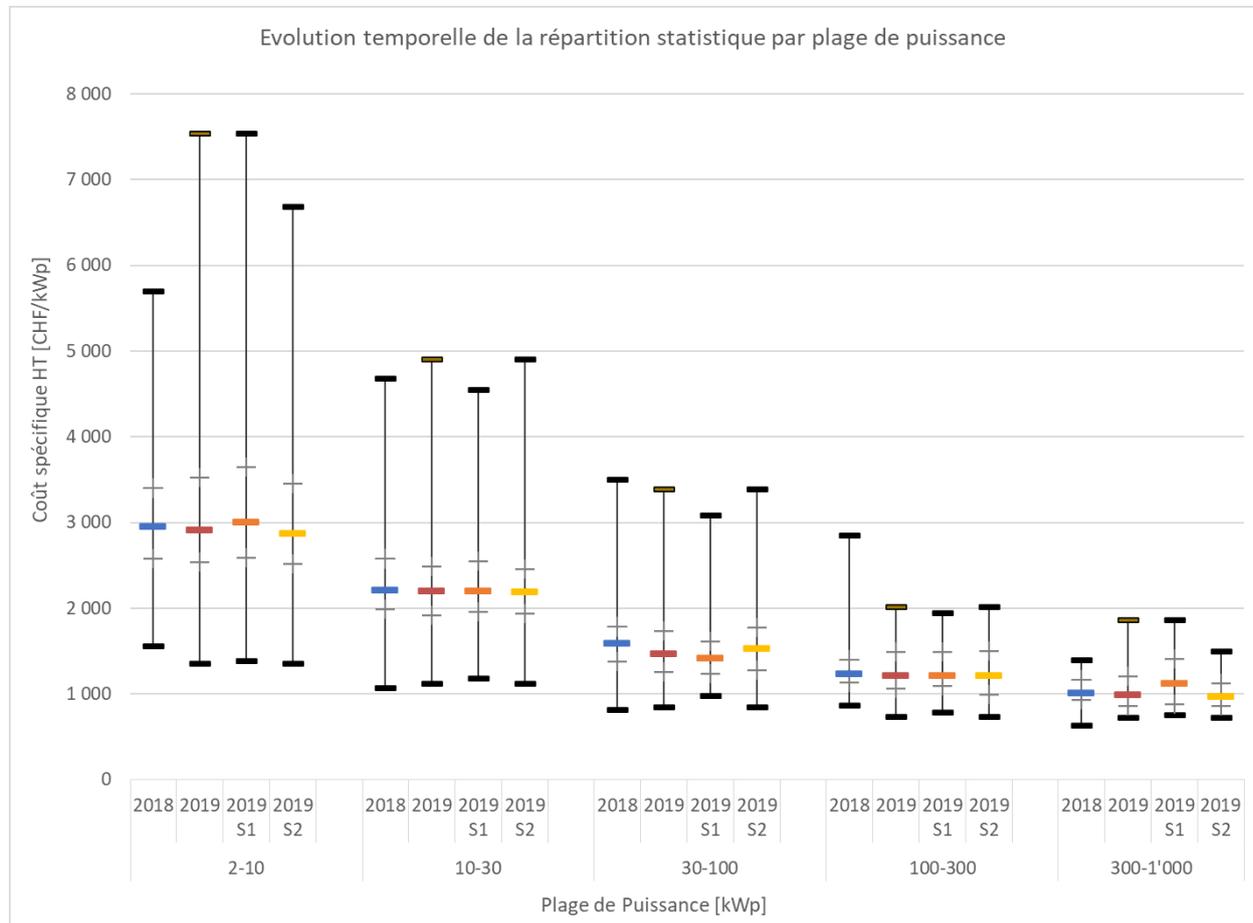


Figure 24 : Evolution de la répartition statistique du coût spécifique en CHF HT/kWp des installations photovoltaïques ajoutées pour chaque plage de puissance. Cinq plages de puissance sont représentées, avec pour chaque plage les données 2018, 2019, semestre 1 de 2019 et semestre 2 de 2019. Les rectangles centraux colorés correspondent aux médianes. Les bouts des verticales donnent les coûts spécifiques maximums et minimums de chaque catégorie. Les traits intermédiaires plus fins correspondent aux premiers et aux troisièmes quartiles (25% et 75%).

Les Figure 24, Figure 25 et Figure 26 mettent en évidence sous différentes manières l'évolution temporelle du coût spécifique des installations photovoltaïques ajoutées analysées pour l'étude. Les valeurs représentées à la Figure 25 sont basées sur les mêmes critères et la même analyse qu'au chapitre 5.1. Les données du CDS font donc partie de cette analyse. La Figure 24 reprend les mêmes caractéristiques statistiques que celles présentées au chapitre 4.2. A la Figure 26, même si les deux courbes semblent diverger au-delà de 200 kWp, la raison est en réalité le manque de données pour les très grandes installations qui perturbent l'ajustement des courbes de puissance.

Toutes les analyses donnent le même résultat ; on ne peut pas observer d'évolution significative du coût spécifique. Que cela soit entre 2018 et 2019 ou entre les deux semestres 2019, le prix des installations photovoltaïques ajoutées n'a pas évolué.

En conclusion le marché est stable et démontre en ce sens une bonne maturité avec notamment une répartition des coûts presque identique entre les deux semestres.

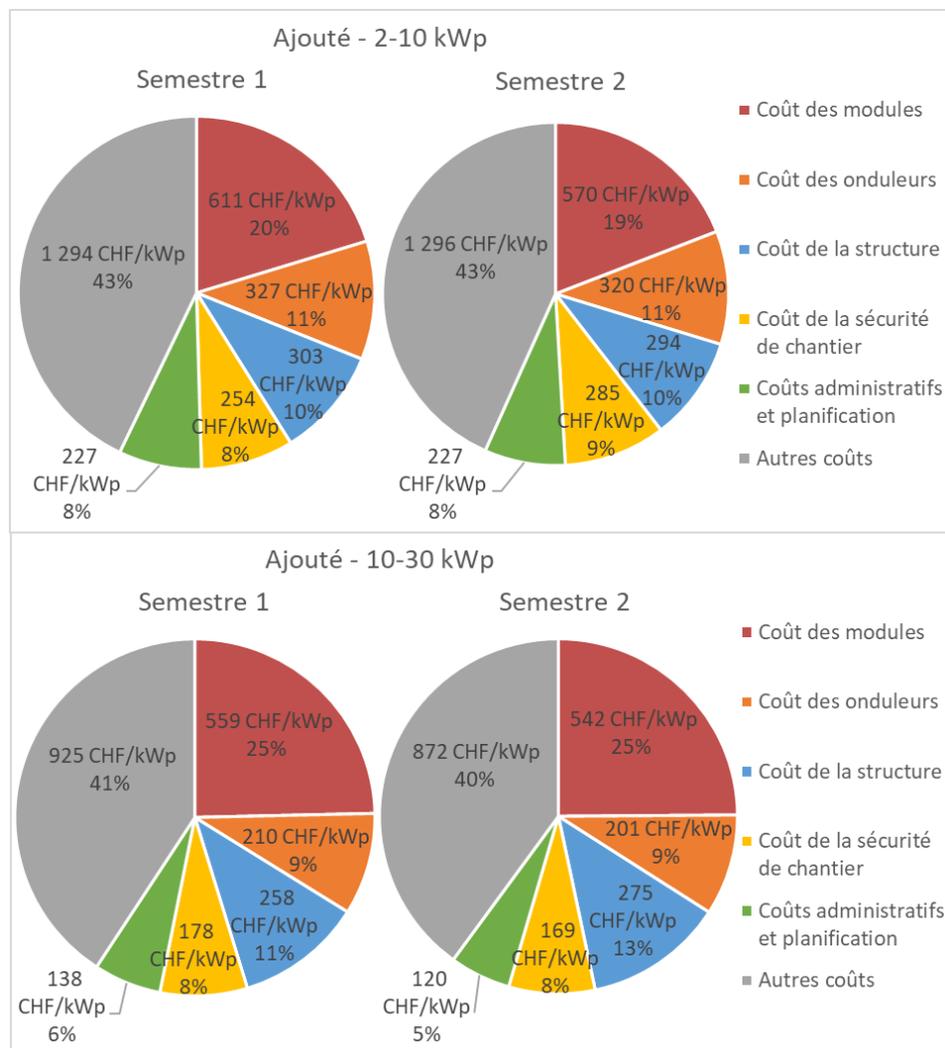


Figure 25 : Evolution de la répartition des coûts entre le semestre 1 et le semestre 2 2019 pour les plages de puissance 2-10 kWp et 10-30 kWp.



Figure 26 : Evolution entre le semestre 1 et le semestre 2 de 2019 du coût spécifique des installations photovoltaïques ajoutées. A gauche plage de données 2-30kWp, à droite >30 kWp. Les courbes de tendance de type "puissance" ont été obtenues par la fonction "courbe de tendance d'Excel".

7 Coûts annexes et coûts réels

L'enquête principale porte sur les coûts de fourniture et pose d'une installation photovoltaïque selon la définition fournie au chapitre 2.1. Ces coûts correspondent uniquement aux prestations facturées par l'installateur. L'objectif du présent chapitre est de quantifier les coûts annexes, non identifiés sur la facture de l'installateur, mais portés par la Maîtrise d'ouvrage. Pour atteindre cet objectif, des entretiens ont été menés avec 5 Maîtres d'ouvrage. Afin d'obtenir des données objectives, le nom des clients et projets ne paraissent pas dans le présent document.

Une description succincte des entreprises figure ci-dessous :

- Entité n°1 : exploitant de réseau avec activité de Maîtrise d'ouvrage photovoltaïque ; proposition de contracting énergétique auprès de ses clients.
- Entité n°2 : exploitant de réseau avec activité de Maîtrise d'ouvrage photovoltaïque ; proposition de contracting énergétique auprès de ses clients.
- Entité n°3 : propriétaire foncier d'envergure à l'échelle fédérale, développant un parc photovoltaïque sur ses bâtiments neufs ou en rénovation.
- Entité n°4 : commune romande de moins de 2'000 habitants.
- Entité n°5 : privé propriétaire d'une villa multifamiliale.

7.1 Coûts annexes

Coûts commerciaux

Les Maîtres d'ouvrage qui ne réalisent pas les projets sur leurs bâtiments portent des coûts commerciaux dont l'objectif est la signature de contrats de fourniture d'énergie et contrat de servitude, permettant la construction et l'exploitation de la centrale.

- Entité n°1 : les coûts commerciaux sont répercutés sur le prix de vente de l'énergie à hauteur de 0.6 cts/kWh. Rapportés à l'investissement, ils représentent un montant de 120- 150 CHF/kWp.
- Entité n°2 : les coûts commerciaux représentent les salaires de chargés d'affaires de l'unité Maîtrise d'ouvrage. Les équivalents temps pleins, rapportés à la puissance photovoltaïque installée dans l'année, représentent un coût de 50 CHF/kWp environ.
- Entité n°3 : les réalisations sont effectuées sur ses propres bâtiments, aucun coût commercial n'est imputé.
- Entité n°4 : les réalisations sont effectuées sur ses propres bâtiments, aucun coût commercial n'est imputé.
- Entité n°5 : les réalisations sont effectuées sur ses propres bâtiments, aucun coût commercial n'est imputé.

Coûts internes de gestion de projet

Les entreprises n°1 et 2 ne font appel à des entreprises de planification externes que ponctuellement, et assurent la gestion de projets à l'interne (chargés d'affaires). Ces coûts représentent 50-200 CHF/kWp selon les projets et les entreprises, et comprennent la planification de l'ouvrage (maîtrise d'œuvre). Les coûts de maîtrise d'ouvrage représentent 50-100 CHF/kWp, les coûts de planification 0-130 CHF/kWp.

L'entreprise n°3 fait appel à un planificateur externe. Les coûts internes de gestion de projet sont ainsi fortement réduits et ne représentent que 1.5% du montant de l'investissement, soit de l'ordre de 15 CHF/kWp.

La commune (entreprise n°4) fait appel à un planificateur externe. Les coûts internes de gestion de projet représentent 7% du montant de l'investissement, soit environ 10 CHF/kWp.

L'entité n°5 est privée et assume la Maîtrise d'ouvrage sur son temps libre.

Planification externe

Les coûts de planification externe varient fortement en fonction des prestations assurées et de la puissance installée. Pour des planifications complètes, les prix se situent :

- Pour des installations d'une puissance <50 kWp, 200-500 CHF/kWp.
- Pour des installations d'une puissance 50-100 kWp, 120- 250 CHF/kWp.
- Pour des installations d'une puissance 100-300 kWp, 60-150 CHF/kWp.
- Pour des installations d'une puissance >300 kWp, 40-80 CHF/kWp.

Des prestations de planification partielle peuvent être assurées par des bureaux d'ingénieurs pour des Maîtres d'ouvrage maîtrisant déjà les installations photovoltaïques. Elles ont souvent pour objectif d'apporter des ressources complémentaires et un gain de temps, et peuvent concerner les différentes phases SIA de la planification. Leur montant est très variable et se situe dans la fourchette 10-60 CHF/kWp.

L'entité n°5 assume une rénovation lourde de sa villa, et fait donc appel à un bureau d'architectes et d'ingénieurs pour la planification électrique, mais pilote la planification photovoltaïque sans prestataire externe. Le surcoût engendré en termes d'honoraires sur l'ingénierie est de 1'000 CHF.

Architecture

Lorsque l'installation est construite sur un bâtiment neuf ou en rénovation faisant appel à un architecte, des surcoûts d'architecture peuvent être appliqués en phase de conception et lors de la direction des travaux. Selon l'ampleur du projet, ces coûts peuvent aller de 0 à 15% du montant total de l'ouvrage.

Autres coûts

Les autres coûts associés à la gestion de projet sont listés ci-dessous :

- Frais de notaire : pour la création des servitudes notamment : 1'000-3'000 CHF par projet.
- Mise en place de la mesure (compteur) pour le contracting, ces coûts pouvant être importants dans le cadre de Regroupement pour la consommation propre notamment.

- Etudes d'ingénierie ;
 - Etude statique : ces coûts varient fortement selon les bâtiments, l'existence de données disponibles et l'étendue de l'étude de l'ingénieur : 500-10'000 CHF.
 - Expertise d'étanchéité : s'il n'est pas prévu de rénover l'étanchéité avant la construction de la centrale, une expertise d'étanchéité de 500- 3'000 CHF peut être nécessaire.

Sources de surcoût

Voici quelques situations qui peuvent encore amener un surcoût à l'installation photovoltaïque :

- Création d'un RCP : la création d'un RCP entraîne des surcoûts de planification et de mise en œuvre du dispositif de comptage, ainsi que des coûts administratifs et contractuels.
- Installation photovoltaïque sur un abri pour véhicules (carport).
- Bâtiment neuf : les coûts de construction sont réduits (comme analysé au chapitre 3.3 et visible à la Figure 14), mais les coûts de planification sont plus importants (coordination avec les autres corps d'état, perte d'autonomie dans la conception).

7.2 Impacts sur différents types de projet

L'impact sur 3 cas concrets a été étudié ci-dessous. La puissance de la centrale est de 200 kWp pour un coût de construction hors taxe de 240'000 CHF.

Cas 1 :

- Peu de frais d'ingénierie de la construction (étanchéité neuve, marge statique connue et confortable).
- Maîtrise d'ouvrage allégée et ingénierie confiée à un planificateur.
- Bâtiment construit, pas d'autres corps d'état sur le projet.
- Maître d'ouvrage propriétaire du bâtiment (pas de frais commerciaux ni de frais de notaire).

Cas 2 :

- Frais d'ingénierie sensiblement plus importants (marge statique connue et confortable, expertise étanchéité nécessaire).
- Solution de contracting énergétique : maîtrise d'ouvrage plus importante, frais commerciaux et frais de notaire.
- Participation légère aux frais d'architecture (rénovation lourde de bâtiment).

Cas 3 :

- Frais d'ingénierie importants : étude statique complexe, expertise étanchéité.
- Contracting énergétique : frais de maîtrise d'ouvrage importants, frais de notaire.

- Bâtiment en construction avec deux Maîtres d'ouvrage (bâtiment et photovoltaïque) : coûts d'architecture et de Maîtrise d'œuvre importants.

Ces différents cas sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Coûts en CHF HT	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Facture installateur	240 000	240 000	240 000
Frais commerciaux	-	10 000	30 000
Etudes statiques / étanchéité	1 000	3 000	13 000
Maîtrise d'ouvrage	3 000	6 000	20 000
Maîtrise d'œuvre	10 000	20 000	25 000
Architecture	-	12 000	30 000
Frais de notaire	-	1 000	3 000
Total	254 000	292 000	361 000

Le coût global du projet varie donc fortement suivant les différentes configurations. Dans l'exemple ci-dessus, l'ensemble des coûts annexes engendre un surcoût variant de 5% à 50% suivant les cas, illustré également à la Figure 27.

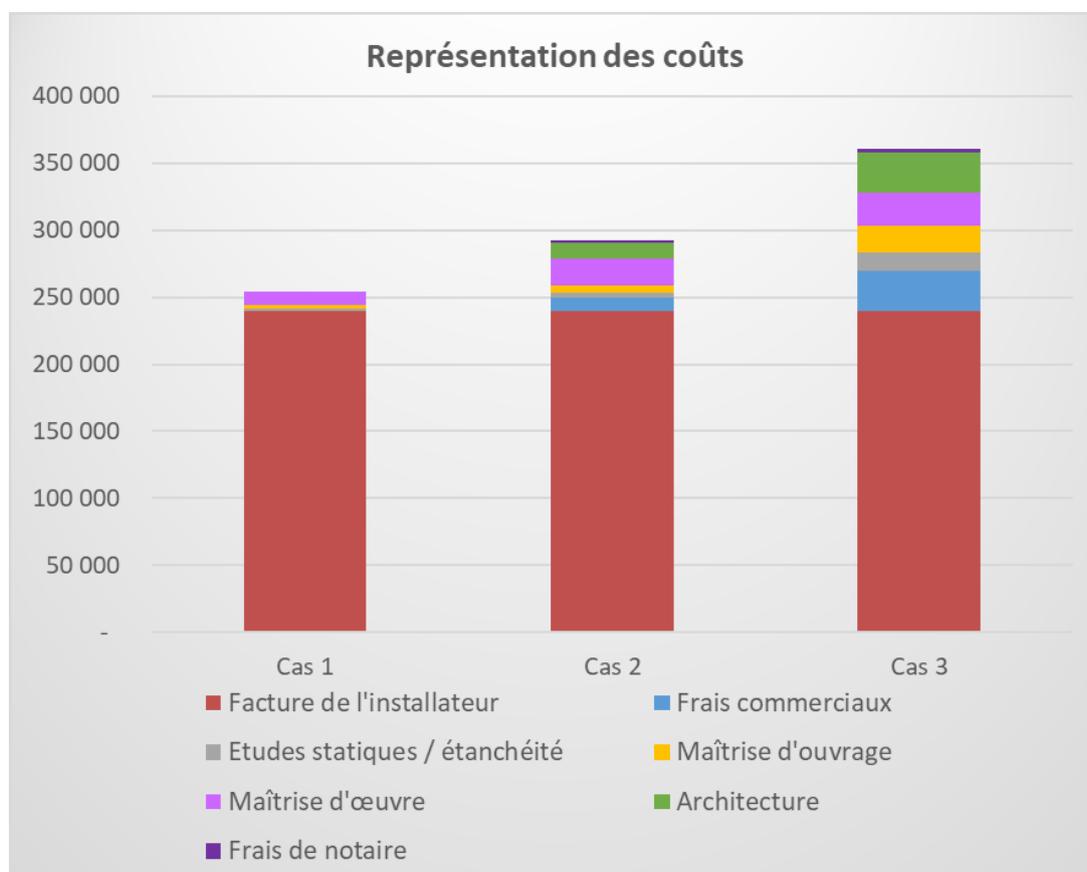


Figure 27 : Représentation graphique de l'impact des coûts annexes sur un projet de 200 kWp selon les 3 scénarios.

7.3 Conclusion

Ces données révèlent l'état global d'un projet dans un environnement professionnel, pour des installations de moyenne à forte puissance. Les petites installations ne sont généralement très peu voire aucunement influencées par les coûts listés dans ce chapitre. En effet pour un propriétaire privé de villa, lorsque le bâtiment est déjà construit, les études de statique ou d'étanchéité sont très rarement nécessaires, la Maîtrise d'ouvrage est gratuite et le propriétaire ne fait généralement pas appel à un planificateur. La facture de l'installateur est donc souvent le seul coût porté par le Maître d'ouvrage.

Pour les installations de taille moyenne et grande en revanche il est très rare que le Maître d'ouvrage ne porte que le coût facturé par l'installateur. On remarque avec l'exemple du Cas 1 ci-dessus que même dans une situation très simple le Maître d'ouvrage se retrouve à devoir payer 6% supplémentaires à la facture de l'installateur. Dans cet exemple cela correspond à 70 CHF/kWp.

Pour toutes ces installations, le coût réel d'un projet photovoltaïque n'est donc pas celui donné par la facture de l'installateur et analysé dans les chapitres précédents. Il faut ajouter des coûts annexes variant de 5% à 50% des coûts de l'installateur. Une analyse complète doit prendre en compte ces coûts.

Le modèle qui décrirait le mieux le coût complet d'une installation photovoltaïque ajoutée est le suivant :

$$y = \left(\frac{8120}{x^{0.766}} + 1140 \cdot e^{-2.99 \cdot 10^{-4} \cdot x} \right) \cdot (1 + a)$$

Où a est un pourcentage compris en 0% et 50% qui prend en compte les coûts annexes.

Le surcoût a dépend de nombreux paramètres et pour l'estimer nous référons à l'analyse du chapitre 7.2 et au détail de chapitre 7.1.

8 Facteurs influençant les coûts

Ce chapitre reprend les conclusions du rapport sur l'observation du marché 2018 avec une actualisation au regard d'évolutions apparues sur l'année 2019. Il a pour objectif d'identifier les facteurs techniques influençant les coûts. Bien que non exhaustif, il permet d'observer l'impact des caractéristiques du bâtiment pouvant mener à un projet plus ou moins onéreux.

Cheminement des câbles

Avec la baisse des coûts du matériel photovoltaïque, le cheminement des câbles prend une part plus importante dans le prix des installations, en termes de matériel, mais surtout de main-d'œuvre.

En toiture, il n'existe pas d'exigences de canalisation pour les câbles cheminant sous les modules. Au contraire, les câbles en dehors du champ de modules doivent être protégés contre les agressions extérieures. Les longueurs de câblage en toiture hors champ de modules (par exemple pour rejoindre la façade, un col de cygne ou relier deux champs entre eux) sont donc un facteur d'influence important.

Dans le bâtiment, le nombre de percements, de canalisations disponibles, de traversées de pièces non techniques sont des facteurs d'influence. Également, des longueurs importantes peuvent entraîner des exigences supplémentaires en termes de protection foudre, et la traversée d'espaces présentant un danger d'incendie entraîne des exigences sur le type de canalisations employées.

En cas de raccordement en dehors du bâtiment, une éventuelle fouille entraîne un surcoût qui peut rapidement devenir considérable.

Type de toiture et surfaces disponibles

Il existe une différence de prix importante selon le type de toiture :

- Les toitures inclinées en tôle métallique trapézoïdale permettent d'obtenir les meilleurs prix sur les installations, lorsque l'installation peut être fixée directement sur la tôle. Le système de fixation est léger et composé de peu d'éléments, donc bon marché. Le temps de pose est également réduit.
- Les installations sur d'autres types de toitures inclinées (tuiles, tôle ondulée) ou sur tôle métallique trapézoïdale fixées dans la charpente sont un peu plus onéreuses : le temps de pose est plus important, et la structure contient plus de pièces et matériaux.
- Pour les installations sur toitures plates, d'autres facteurs entrent en ligne de compte. La présence de gravier en toiture permet le lestage des modules, mais entraîne également des contraintes de préparation de la toiture (nécessité de poser les structures sous les graviers. Ainsi, une installation coordonnée (à la construction ou à la rénovation) permet de placer les structures avant le gravier, de lester avec le gravier et donc de minimiser les coûts. Dans le cas contraire, un soufflage du gravier, ou la fourniture et pose de palettes de lestage peuvent engendrer des coûts de matériel, mais surtout de main-d'œuvre plus élevée.
- Le développement des procédés à double orientation permet des économies sur le projet : la structure de montage est moins onéreuse, et une plus forte puissance permet de générer des économies d'échelle. La production rapportée à la puissance installée est cependant légèrement inférieure.

La configuration de la toiture, ainsi que les éléments techniques qui y sont présents (groupes de ventilation, cheminée, etc.), impactent fortement le coût :

- Un calepinage en plusieurs zones a un impact sur la quantité de câblage et de canalisation, sur le coût de la structure de montage, ainsi que sur la quantité de lestage nécessaire.
- Une toiture ou des champs de forme rectangulaire et de taille importante sont donc plus propices à une installation moins onéreuse.
- Avec l'évolution des exigences et des labellisations en termes de performance énergétique, de plus en plus d'équipements techniques sont présents en toiture. Ces équipements complexifient les calepinages et réduisent la surface disponible. Les installations sur les bâtiments Minergie par exemple sont donc relativement plus coûteuses.

Contraintes architecturales (couleur, intégration)

Selon les exigences architecturales associées au bâtiment (souhaits particuliers du propriétaire, projet par un architecte, contraintes des autorités, zones classées, volonté d'exemplarité), du matériel spécifique peut être employé, comme des modules à cadre et tedlar noir, des systèmes de fixation plus discrets, ou encore une mise en œuvre plus complexe (cheminement des câbles invisible, calepinage spécifique). Le niveau d'exigence peut entraîner des surcoûts importants.

Etat de la construction

Les installations photovoltaïques peuvent être mises en œuvre seules, en cas de rénovation de toiture ou sur un bâtiment neuf. Les impacts sur les coûts peuvent être nombreux :

- Des coûts de coordination avec les autres corps d'état doivent être pris en compte.
- Des coûts d'architecture et de direction de chantier peuvent également être appliqués.
- Une bonne coordination peut réduire de manière importante les coûts de préparation du chantier.
- Certains coûts peuvent être mutualisés avec les autres entreprises (sécurité de chantier notamment).

Sécurité

La configuration du bâtiment et du calepinage peut impacter les coûts de sécurité de chantier (bâtiment particulièrement élevé, nécessité d'échafaudage). Également, en cas de construction ou rénovation, ces coûts peuvent être mutualisés, voire pris en charge par une autre entreprise ou la direction des travaux.

La sécurité permanente peut également refléter des coûts considérables. Même si celle-ci ne sert pas que pour l'exploitation photovoltaïque, elle est souvent identifiée au budget de cette dernière. Elle constitue pourtant une réelle plus-value pour le bâtiment.

Le choix de la sécurisation permanente a un impact important : une sécurisation avec points d'ancrage lestés par le gravier est significativement moins chère qu'une sécurisation avec ligne de vie fixée sur la structure du bâtiment. La seconde solution constitue cependant une option apportant une meilleure sécurité. Les lignes de vie fixées sur la structure de support photovoltaïque sont moins onéreuses que

celles fixées dans le bâtiment, mais ont une durée de vie associée à l'installation photovoltaïque, alors que la ligne de vie fixée dans le bâtiment peut perdurer après la période d'exploitation.

Démarches administratives

Certaines démarches ne sont pas applicables à tous les chantiers. La demande d'approbation des plans par l'Esti ne concerne que les installations supérieures à 30kVA, et la plupart des installations sont exemptées de permis de construire. Ces démarches reflètent donc des surcoûts pour certains types d'installation.

Depuis 2018, un contrôle de réception est nécessaire pour les installations de moins de 30 kVA. Ce contrôle génère un surcoût pour l'installateur qui est reporté sur la facture du Maître d'ouvrage. En comparaison avec d'autres pays (Belgique, Australie), l'administratif constitue une part très importante dans le budget d'un projet.

Monitoring, performances et gestion de l'énergie

La nécessité d'autoconsommer au maximum l'énergie produite induit l'opportunité de monitorer la production et la consommation. Concrètement, un datalogger ou un onduleur communicant sont mis en œuvre, ainsi qu'un dispositif de mesure au point d'injection. Ces dispositifs permettent au consommateur d'adapter ses habitudes pour optimiser la consommation propre. Ils génèrent un surcoût sur le projet.

De plus en plus de projets intègrent également le pilotage d'une pompe à chaleur, ou de mobilité électrique. Un datalogger, des dispositifs de mesure ainsi que du matériel smart pour les équipements sont nécessaires.

Enfin, la possibilité d'optimiser sa production, notamment en cas d'ombrage, grâce à des micro-onduleurs ou des optimiseurs de puissance génèrent un coût sensiblement plus élevé de projet.

Raccordement / installations et sécurité électriques

En cas de tableaux électriques existants suffisamment dimensionnés, le raccordement de l'installation en consommation propre ne présente pas une part importante de l'investissement global. Cependant, le coût peut vite augmenter si une nouvelle armoire doit être posée, si le local électrique n'est pas suffisamment dimensionné ou si le câble d'introduction doit être remplacé. Ces coûts peuvent représenter jusqu'à 30% du budget global de l'opération.

En fonction du type de bâtiment, des contraintes en termes de sécurité incendie peuvent également être appliquées. Un local coupe-feu peut être demandé pour les onduleurs, des dispositifs de coupure d'urgence pour faciliter l'intervention des sapeurs-pompiers, des organes supplémentaires de coupure et sectionnement.

Marché et concurrence

L'état du marché constitue un réel facteur influençant les coûts. Un marché dynamique permet de réduire les coûts commerciaux, avec une quantité plus importante de prospects ciblés. Cependant, la concurrence accrue entre installateurs entraîne une contrainte sur les marges bénéficiaires des entreprises.

Marché public ou privé

Dans le cas d'un marché public, les coûts peuvent être plus élevés que pour un marché privé. Les lois sur les marchés publics impliquent la complétude d'un certain nombre de pièces administratives pour l'installateur, et la constitution d'un dossier de soumission pour le Maître d'ouvrage, qui mandate dans la plupart des cas un planificateur externe. Une installation réalisée au travers d'un marché public peut sensiblement être plus onéreuse.

Regroupements pour la consommation propre

Avec la parution de l'ordonnance révisée sur l'énergie début 2018, de plus en plus d'installations sont raccordées en Regroupements pour la Consommation Propre (RCP). Il en résulte des projets dont les coûts sont plus élevés, au niveau de l'installation et de la gestion. La modification de tableaux existants, la fourniture et la pose de compteurs privés ainsi que le déplacement de la limite de propriété réseau / installation intérieure entraînent des surcoûts d'installation. La gestion administrative pour la création du regroupement, l'obtention de différents accords (propriétaires, locataires, gestionnaire de réseau), la communication et le choix du prestataire de service génèrent également des coûts de gestion de projet pour le Maître d'ouvrage

NIBT 2020 (non applicable pour 2019)

La NIBT 2020, qui n'était pas applicable en 2019 n'apporte pas d'évolutions majeures en termes de contraintes sur l'installation électrique pour les installations photovoltaïques.

Elle permettra d'alléger la protection contre la foudre dans le cas où le bâtiment n'est pas équipé de paratonnerre. L'installation de parasurtenseurs n'est désormais plus obligatoire, sous certaines conditions (type et longueur des canalisations). Il en résulte un allègement des coûts, notamment pour les villas rarement équipées de paratonnerre, avec une possibilité accrue de ne pas installer de coffret de protection côté courant continu.

Conclusion sur les facteurs influençant le coût

Entre les années 2018 et 2019, il n'existe pas ou peu de facteurs ayant influencé les coûts des installations photovoltaïques. C'est pourquoi le marché est resté relativement stable entre ces deux périodes. Les entretiens menés avec les installateurs font état d'un marché plus dynamique, mais sur lequel persiste une forte tension sur les prix et les marges.

La plupart des facteurs exposés ci-dessus ne sont pas nouveaux. Ils dépendent des caractéristiques du bâtiment et de l'état de la technique. Cependant, la baisse des coûts du matériel, et notamment des panneaux photovoltaïques, donne un impact beaucoup plus important aux sources de surcoût. Ainsi, la réduction de la marge d'incertitude sur le coût des installations, associée à la standardisation des techniques et l'expertise accrue des installateurs est plus que compensée par ces facteurs d'influence.

9 Conclusion

L'étude a analysé 2'347 données de coûts d'installations photovoltaïques selon les prestations de l'installateur recueillies auprès d'installateurs, de planificateurs et de Maîtres d'ouvrage. Avec une focalisation, particulièrement sur les 2'126 données d'installations ajoutées, l'étude a permis de déterminer des coûts spécifiques médians par plage de puissance et une courbe de référence générale et continue. Une analyse a été menée montrant l'influence de plusieurs facteurs sur les coûts. Il est également ressorti qu'aucun facteur n'est significativement plus impactant qu'un autre et que le volume des données permet de compenser statistiquement les différents facteurs.

L'analyse de la répartition des coûts a montré une évolution de cette répartition par rapport à la puissance. Entre autres plus la puissance augmente plus la part du coût des modules devient importante et plus la part du coût de la main-d'œuvre diminue. Ensemble ces deux parts correspondent à environ 50% des coûts globaux, quelle que soit la puissance.

La comparaison avec les données récoltées lors de l'observation du marché 2018 n'a indiqué aucune évolution significative du coût spécifique montrant une stabilité du marché sur cette période. La médiane des coûts spécifiques par plage de puissance n'a pas changé entre 2018 et 2019.

En plus des coûts directement liés aux prestations de l'installateur, les Maîtres d'ouvrage peuvent se retrouver face à un certain nombre de coûts annexes qui augmentent le coût global de l'installation. L'étude a montré que ces coûts sont particulièrement importants pour les installations de tailles moyenne et grande et peuvent augmenter de 5% à 50% le coût global de l'installation. Le coût réel d'un projet photovoltaïque n'est pas celui donné par la facture de l'installateur et une analyse complète doit prendre en compte ces coûts annexes. Des projets avec RCP ou sur carport amèneront encore d'autres surcoûts.

Cette observation du marché photovoltaïque a permis une analyse complète autant qualitative que quantitative sur les coûts des installations photovoltaïques en Suisse en 2019. Pour permettre d'accroître la richesse de l'analyse dans les années futures, il sera important d'avoir autant de données et surtout plus de détails sur les installations. Certains facteurs n'ont en effet pas pu être analysés complètement par manque de données avec les informations correspondantes. Il sera important d'avoir également un maximum de données avec la répartition des coûts connues. Une richesse ultime à l'analyse serait de pouvoir recueillir suffisamment de données avec la connaissance des coûts annexes afin d'intégrer ceux-ci dans l'analyse globale et d'en tirer une courbe de référence et des données statistiques des coûts réels des projets photovoltaïques pour les Maîtres d'ouvrage.

10 Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les entreprises et les personnes qui nous ont aidées à recueillir les données. Il s'agit notamment de tous les installateurs, planificateurs et maîtres d'ouvrage qui ont participé indirectement à ce rapport grâce aux données fournies. En particulier, ce rapport n'aurait pas pu avoir lieu sans ceux qui ont pris le temps de détailler les caractéristiques de chaque installation photovoltaïque et ceux qui nous ont envoyé le détail des coûts des installations.

Nous remercions également les Maîtres d'ouvrage qui ont pris le temps d'identifier avec nous les coûts globaux des installations photovoltaïques en analysant les coûts annexes supplémentaires aux coûts de l'installateur.

Nous remercions aussi le MER Dr Olivier Sauter, Ing. Phys. EPFL, pour sa contribution à l'élaboration du programme d'ajustement des courbes pour obtenir la courbe de référence.