

Rapport final, 1^{er} novembre 2022

Observation des prix de marché photovoltaïque 2021

Auteurs

Lionel Bloch, Planair SA

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.

Contenu

1.	Résumé de l'étude	4
2.	Recueil et origine des données	5
2.1	Méthodologie	5
2.2	Représentativité du marché	7
2.3	Cadre de l'étude.....	8
3.	Analyse des données	9
3.1	Statistiques sur l'origine des données	9
3.2	Statistiques sur les caractéristiques des données.....	10
3.3	Prix des installations ajoutées	13
3.4	Prix des installations intégrées	16
3.5	Prix des installations ajoutées sur bâtiments existants ou neufs	18
3.6	Prix des installations ajoutées avec ou sans sécurité de chantier	19
3.7	Prix des installations en fonction du type d'onduleur.....	19
3.8	Prix des installations en fonction du type de toiture	21
3.9	Décomposition des coûts.....	21
3.9.1	Aperçu global	21
3.9.2	Aperçu détaillé	23
3.10	Évolution dans le temps.....	26
4.	Facteurs influençant les coûts	27
5.	Conclusion	30
6.	Remerciements	30
7.	Références.....	30

1. Résumé de l'étude

Le marché photovoltaïque en Suisse est en plein essor depuis plusieurs années. La puissance photovoltaïque installée annuellement en Suisse croît rapidement comme le montre la Figure 1 reprise du dernier rapport des *Statistiques de l'énergie solaire* [1].

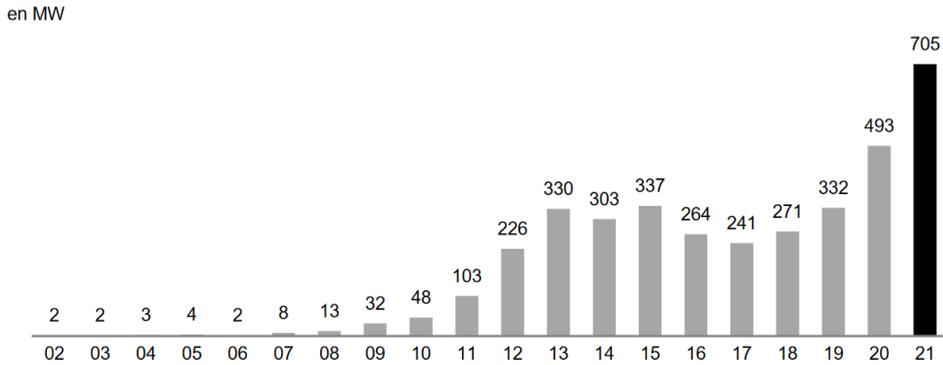


Figure 1 : Évolution des ventes annuelles de puissances PV en Suisse [1]

Jusqu'à présent cette croissance du marché a eu pour conséquence une décroissance des coûts des installations photovoltaïques. Le présent rapport analyse ces coûts pour l'année 2021, en identifiant les caractéristiques les plus significatives pour leurs évaluations (puissance, type d'installation, ...) ainsi qu'en étudiant leurs compositions (modules, main-d'œuvre, ...).

Dans le cadre de cette étude, 3'306 observations ont été recueillies. Les analyses ont été focalisées en particulier sur les 3'070 données d'installations ajoutées. Le coût spécifique (CHF/kW) de celles-ci illustré dans la Figure 2 décroît avec la puissance installée (kW), de manière notable jusqu'à 50 kW, en dessus de 50 kW la tendance est moins marquée.

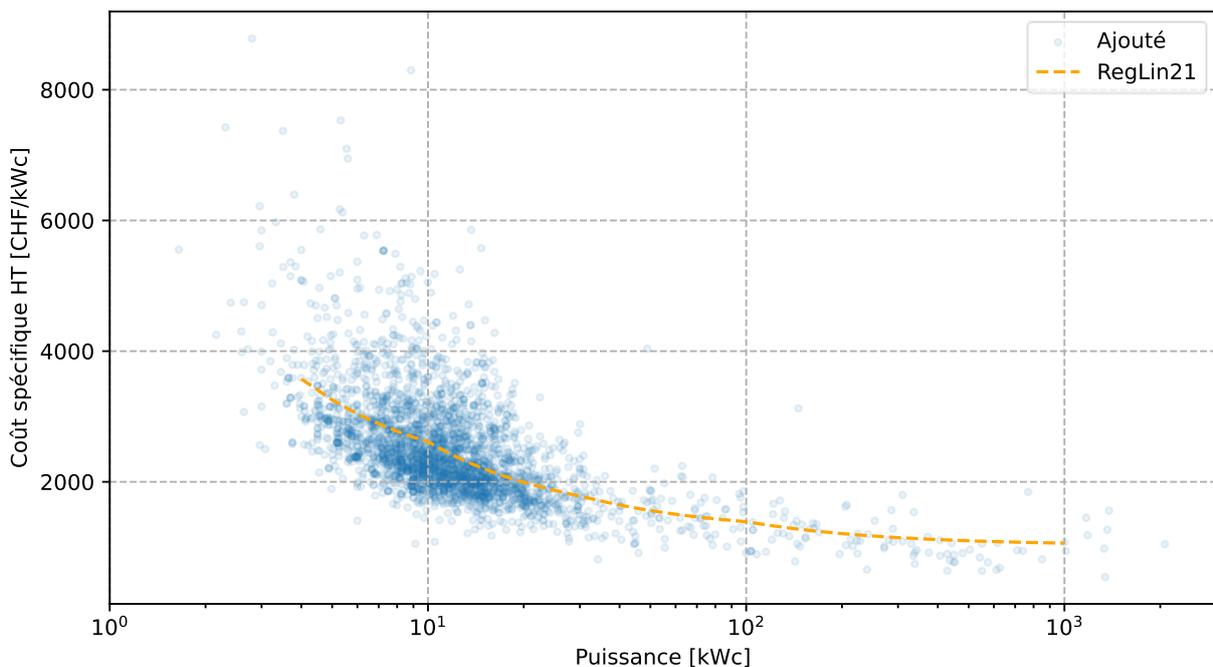


Figure 2 : Coût spécifique hors taxe des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance installée en échelle logarithmique. La courbe orange est la régression linéaire par tranches du coût des installations ajoutées, exprimée ici en coût spécifique.

La tendance d'une décroissance annuelle du coût spécifique observée ces dernières années ne se confirme pas pour la période 2020-2021. En effet, le Tableau 5 montre que la variation relative du coût spécifique entre 2020 et 2021 est soit nulle, soit positive suivant la plage de puissance, indiquant globalement une augmentation des coûts des installations photovoltaïques ajoutées.

L'analyse de la composition des coûts montre que cette composition est dépendante de la puissance (voir Figure 24 et Figure 26). En particulier la part des modules devient plus importante lorsque la puissance augmente pour atteindre un tiers des coûts totaux entre 100-300 kW. La deuxième composante, après les modules, sur même plage de puissance, est la part de la main-d'œuvre. Ensemble ils représentent plus de la moitié des coûts. Ces deux composantes dominant également pour les installations plus petites, mais ne représentent plus que 40% des coûts et sont suivis de près par les coûts des onduleurs et structures.

2. Recueil et origine des données

Ce rapport présente l'analyse des données recueillies dans le cadre de l'étude des prix de marché photovoltaïque 2021. Ces données concernent l'intégralité du coût des prestations de l'installateur pour une installation photovoltaïque clé en main.

2.1 Méthodologie

L'étude est basée sur des offres et des factures d'installations photovoltaïques chiffrées en 2021. Une partie des données a été récoltée par un sondage auprès d'installateurs (pour un total de **514** installations). 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 principalement de puissance inférieure à 30 kW. **2'792** 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 **3'306**.

L'ensemble des caractéristiques des installations dont les données ont été recueillies auprès des installateurs est détaillé dans le tableau ci-dessous. Le coût de l'installation est indiqué en hors taxe. Le coût spécifique est par la suite calculé comme le ratio entre ce coût et la puissance de l'installation (puissance nominale DC).

Tableau 1 : Informations recueillies auprès des installateurs.

INFORMATIONS ESSENTIELS	Offre ou facture	Offre ou facture
	Date d'édition de l'offre ou de la facture	
INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES	Puissance [kWp]	Intégré, Ajouté ou Façade
	Coût de l'installation [CHF HT]	
	Code postal	
	Type d'installation	
	Bâtiment neuf/existant	
	Type de toiture	
INFORMATIONS FACULTATIVES	Type d'onduleur	Neuf ou Existant Plate avec graviers, Plate avec étanchéité nue, Plate végétalisée, Inclinée en tôle, Inclinée en tuiles, Autre Onduleur de chaîne, Onduleur avec optimiseurs, Micro-onduleurs
	Monitoring inclus dans le coût de l'installation	
	Sécurité chantier incluse dans le coût de l'installation	
	Sécurité permanente incluse dans le coût de l'installation	
	Remarques	
INFORMATIONS FACULTATIVES	Coût des modules	Oui/Non Oui/Non Oui/Non
	Coût des onduleurs	
	Coût de la structure	
	Coût du matériel électrique	
	Coût de la sécurité-chantier	
	Coût de la sécurité permanente	
	Coûts de la main d'œuvre	
	Coûts administratifs et planification	
	Coûts logistique et transport	
	Coûts monitoring	
	Autres coûts	
TOTAL		

2.2 Représentativité du marché

Afin d'évaluer si les données récoltées dans le cadre de cette étude sont représentatives du marché suisse sur le plan de la répartition de la puissance installée, il est nécessaire de comparer cette répartition avec celle des installations réalisées durant la même année. Cette dernière est donnée dans le rapport *Statistiques de l'énergie solaire* [1], indiquant le nombre d'installations pour un ensemble de plages de puissance comme illustré dans la Figure 3. Cette figure montre que la part des installations dans la plage de puissance 4-20 kW est 10% supérieur dans le jeu de données récoltées dans le cadre de cette étude en comparaison à la part des installations réalisées. La surreprésentativité de cette plage implique une sous-représentativité des autres plages à l'exception de celle > 1000 kW. La Figure 4 montre cette même distribution, mais en termes de puissance et non de nombre. On observe la même tendance en termes de représentativité.

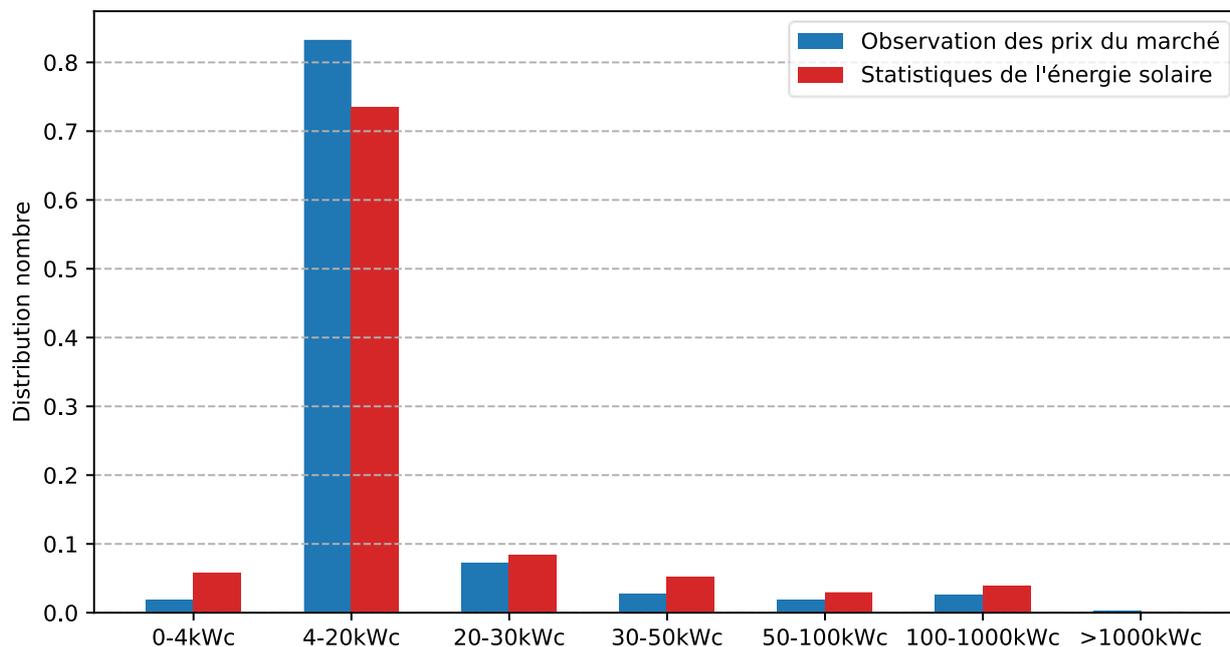


Figure 3 : Distribution du nombre d'installations photovoltaïques par plage de puissance crête [kW].

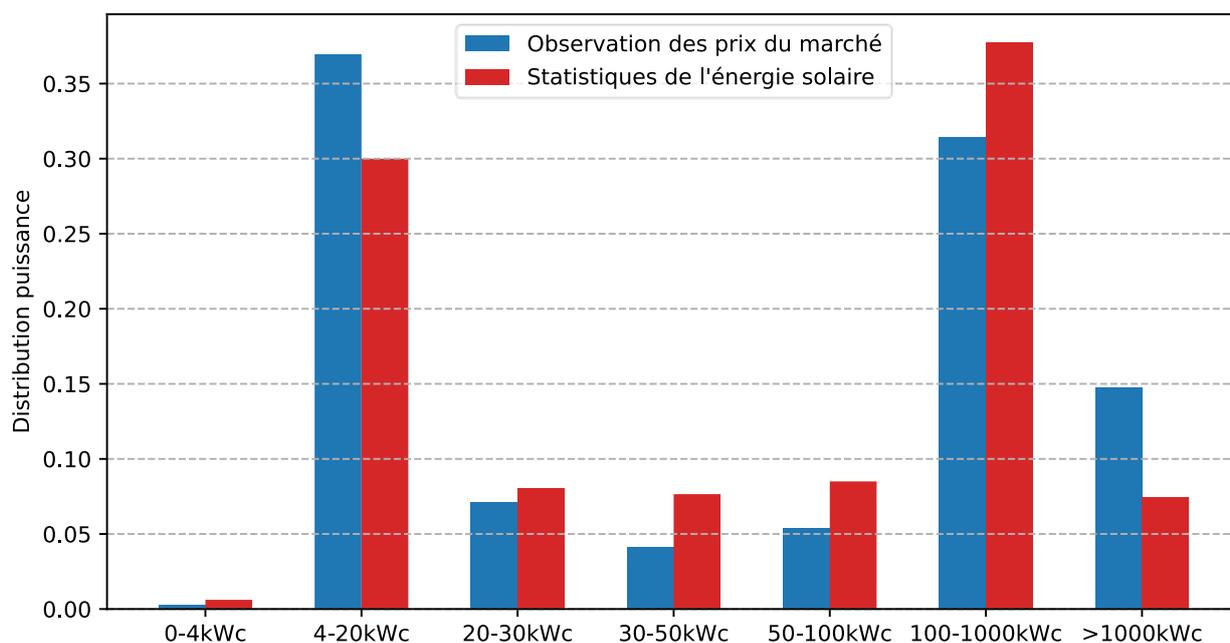


Figure 4 : Distribution de la puissance des installations photovoltaïques par plage de puissance [kW].

Il serait envisageable de filtrer une partie des données pour obtenir une meilleure représentativité, mais réduirait le nombre d'observations, impliquant une incertitude plus élevée sur les variables statistiques calculées par la suite. Par conséquent, comme la représentativité des données est jugée bonne, l'ensemble des données est conservé. Il faut également noter qu'il n'est pas possible d'évaluer la représentativité des données sur le plan des autres caractéristiques (type d'installation, type de toiture ...), car les distributions des installations réalisées pour ces catégories ne sont pas toutes disponibles.

Finalement les 3'306 données d'installations récoltées représentent 12,3% des 26'890 installations réalisées [1] en 2021.

2.3 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 2021 ou sur des offres émises en 2021.
- L'étude concerne uniquement les installations photovoltaïques en toiture de bâtiments (existants ou neufs).
- Les prix ont été considérés hors taxe.

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 (production et/ou consommation)
- Honoraires de planification de l'installateur photovoltaïque, y 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

3. Analyse des données

Ce chapitre présente l'analyse des données récoltées dans le cadre de cette étude. Les deux premières sections présentent l'origine des données et statistiques sur les caractéristiques. Les sections qui suivent présentent l'analyse des coûts et des caractéristiques impliquant un surcoût.

3.1 Statistiques sur l'origine des données

Les données recueillies proviennent d'installateurs : ceux ayant répondu au sondage et les données obtenues dans le cadre de CDS (Figure 5). La répartition du nombre d'installations et de la puissance cumulée par plage de puissances de 2 kW jusqu'à 2'068 kW est présentée en Figure 6. Les données sont réparties sur l'ensemble du territoire suisse selon la Figure 7.

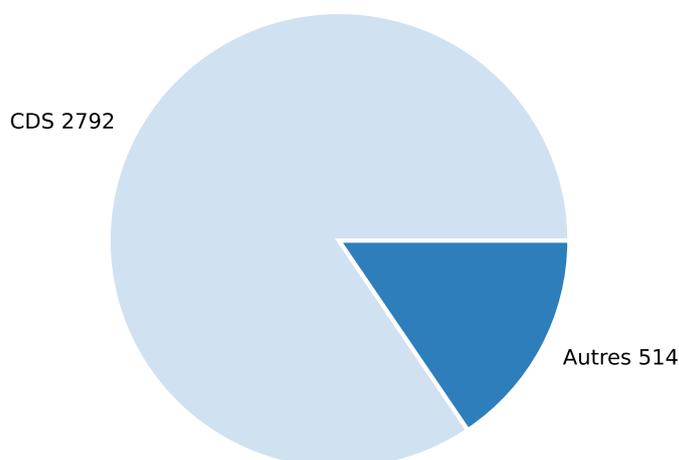


Figure 5 : Nombre de données récoltées dans le cadre du CDS et données récoltées auprès des installateurs (autres).

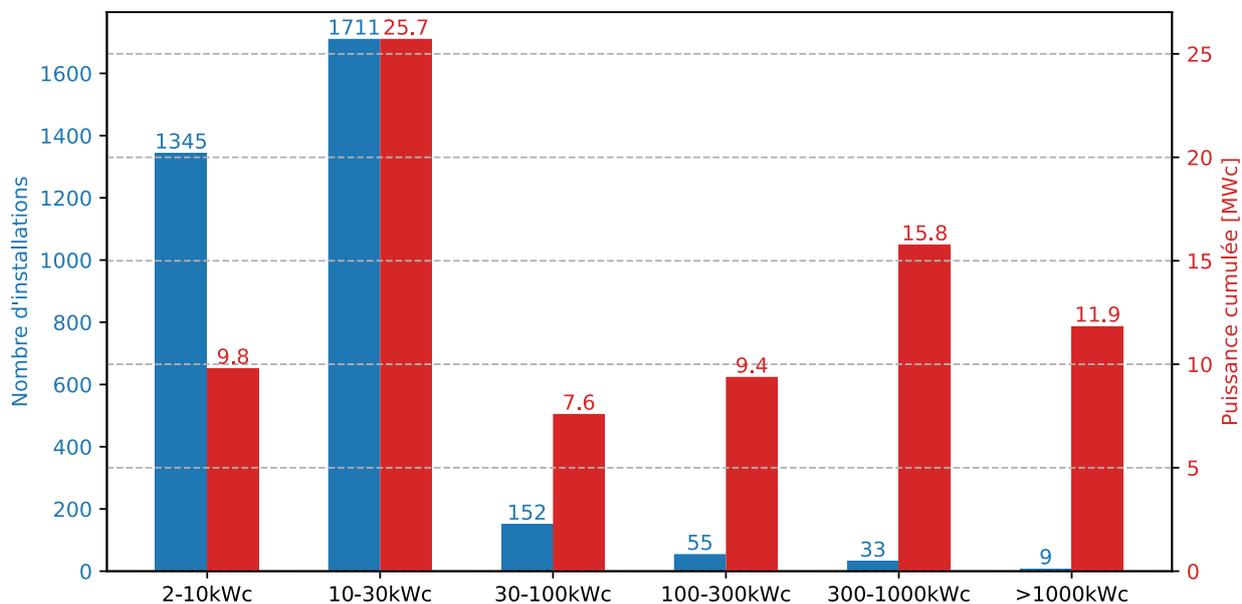


Figure 6 : Répartition des données recueillies pour l'étude par plage de puissance.

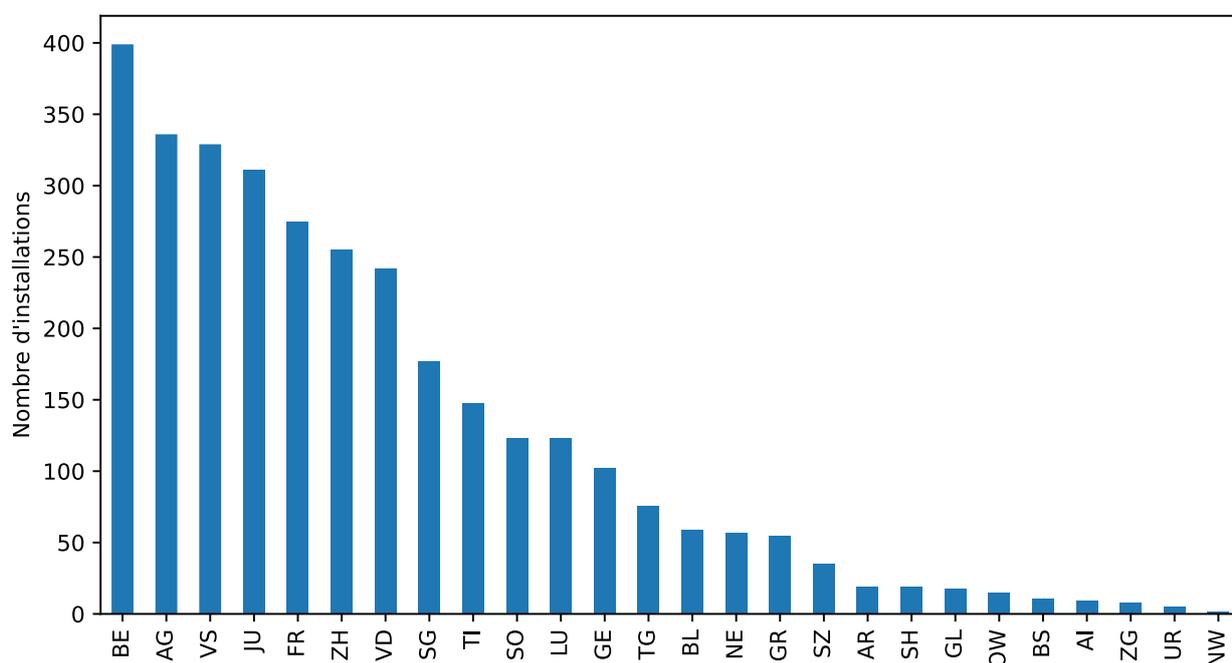


Figure 7 : Répartition des données recueillies pour l'étude selon le Canton du lieu d'installation.

3.2 Statistiques sur les caractéristiques des données

En plus de la puissance et du coût global, certaines données sur les installations étaient requises lors du sondage et du CDS. Il s'agissait de distinguer les installations ajoutées des installations intégrées et de pouvoir suivre l'évolution entre le semestre 1 et 2. Une série de caractéristiques pouvaient être également

fournies optionnellement. Ce paragraphe résume l'ensemble des caractéristiques des données recueillies sur toute la plage de puissance.

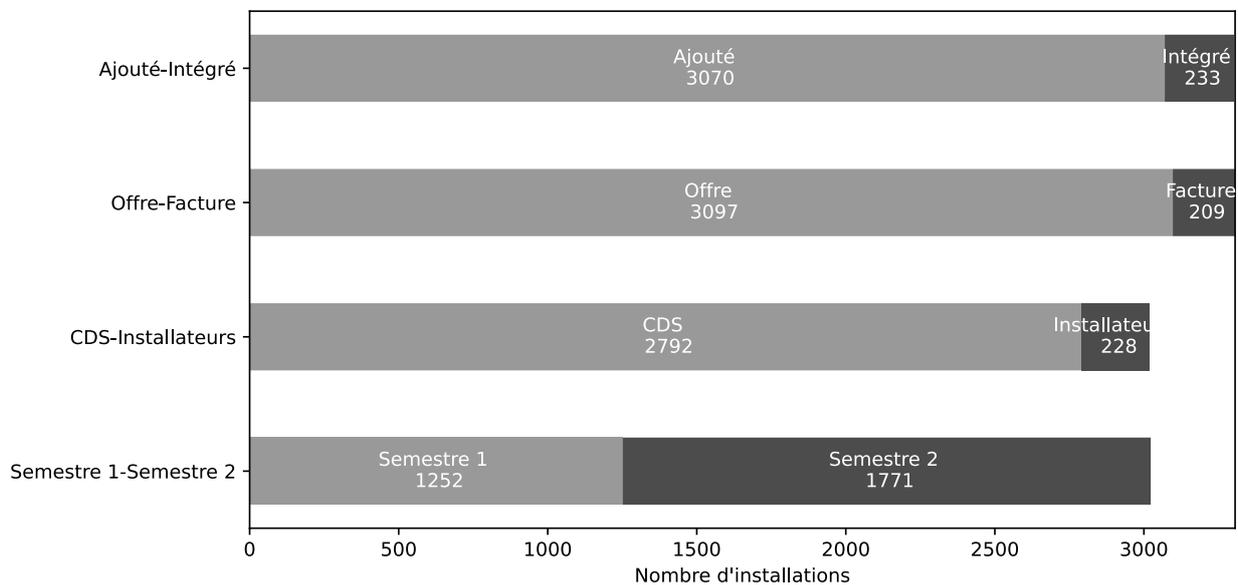


Figure 8 : Caractéristiques requises à renseigner pour chaque installation. La plupart des données reçues correspondent à des offres et à des installations ajoutées.

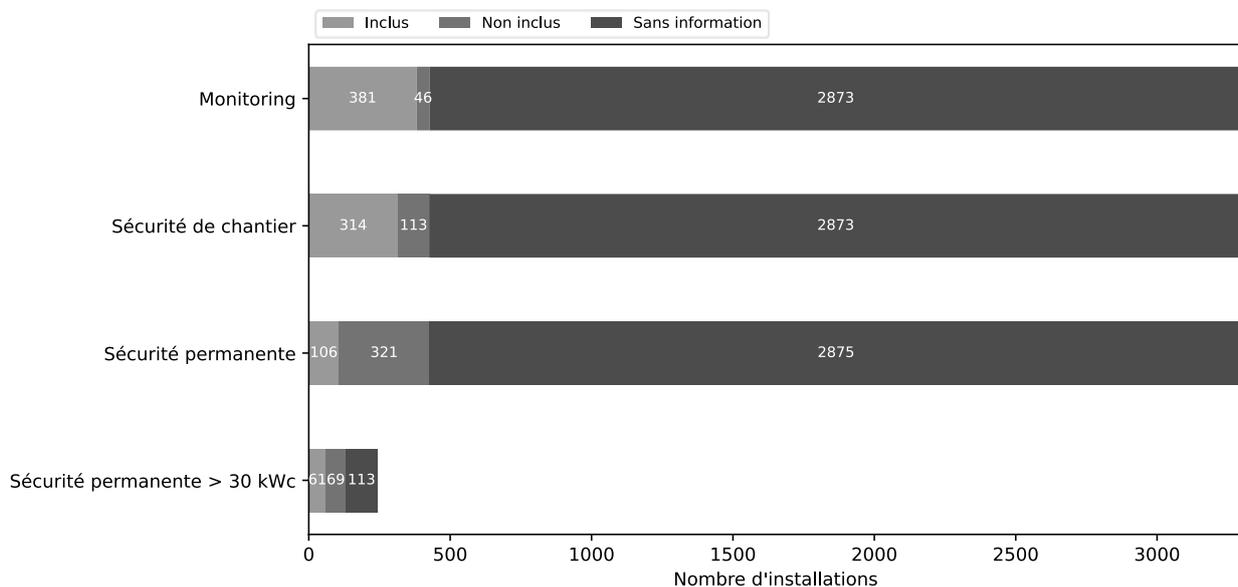


Figure 9 : Caractéristiques optionnelles qui indiquent si le monitoring, la sécurité de chantier, ou respectivement la sécurité permanente ont été inclus dans les prestations et les coûts des installations photovoltaïques étudiées. Les 3 premières lignes donnent l'information pour toutes les installations (ajoutées et intégrées, offres et factures, toutes les puissances). La 4ème ligne précise si la sécurité permanente a été incluse dans les prestations uniquement pour les installations recueillies de plus de 30 kW.

L'usage des micro-onduleurs est en baisse depuis plusieurs années et n'équipe plus que 2% des installations en 2021. La part des onduleurs de chaîne est en croissance et représente près de 62% des installations en 2021.

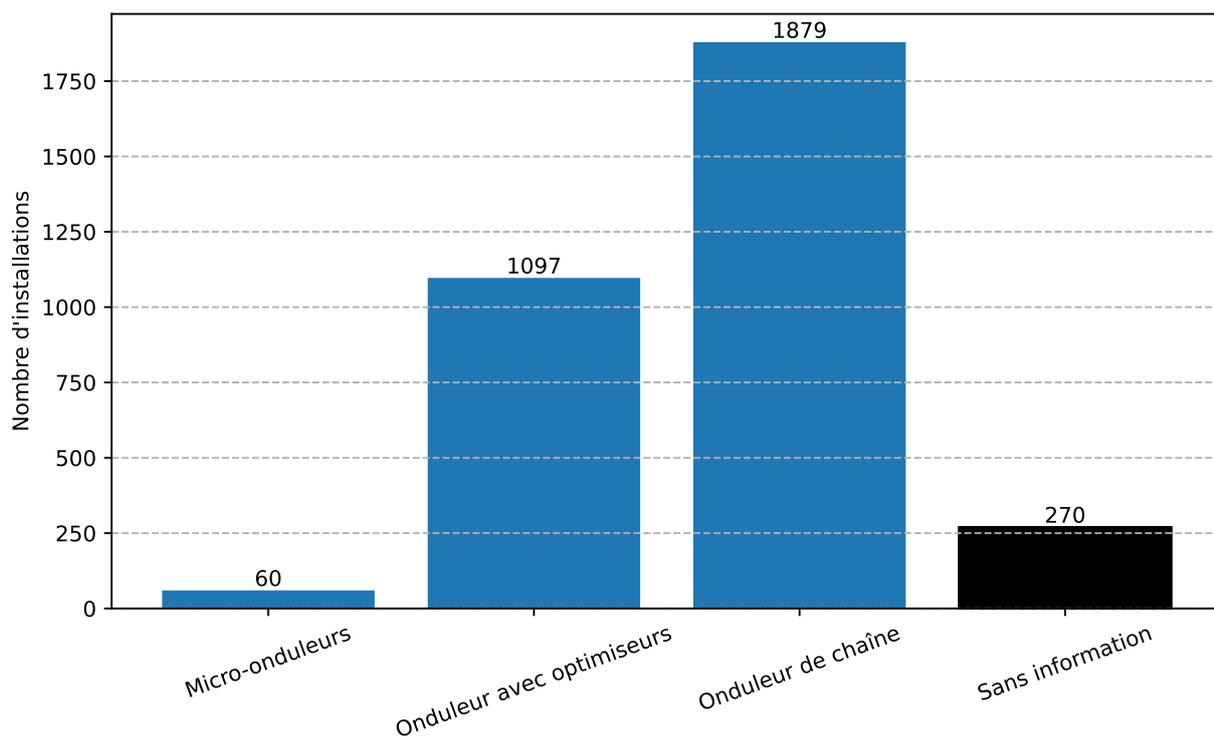


Figure 10 : Le type d'onduleur(s) proposé ou installé a été renseigné pour 3'036 installations, soit 92% des données recueillies. Parmi celles-ci, on compte 62% d'onduleurs de chaîne (53% pour 2020), 36% d'optimiseurs (43% pour 2020) et 2% de micro-onduleurs (4% pour 2020).

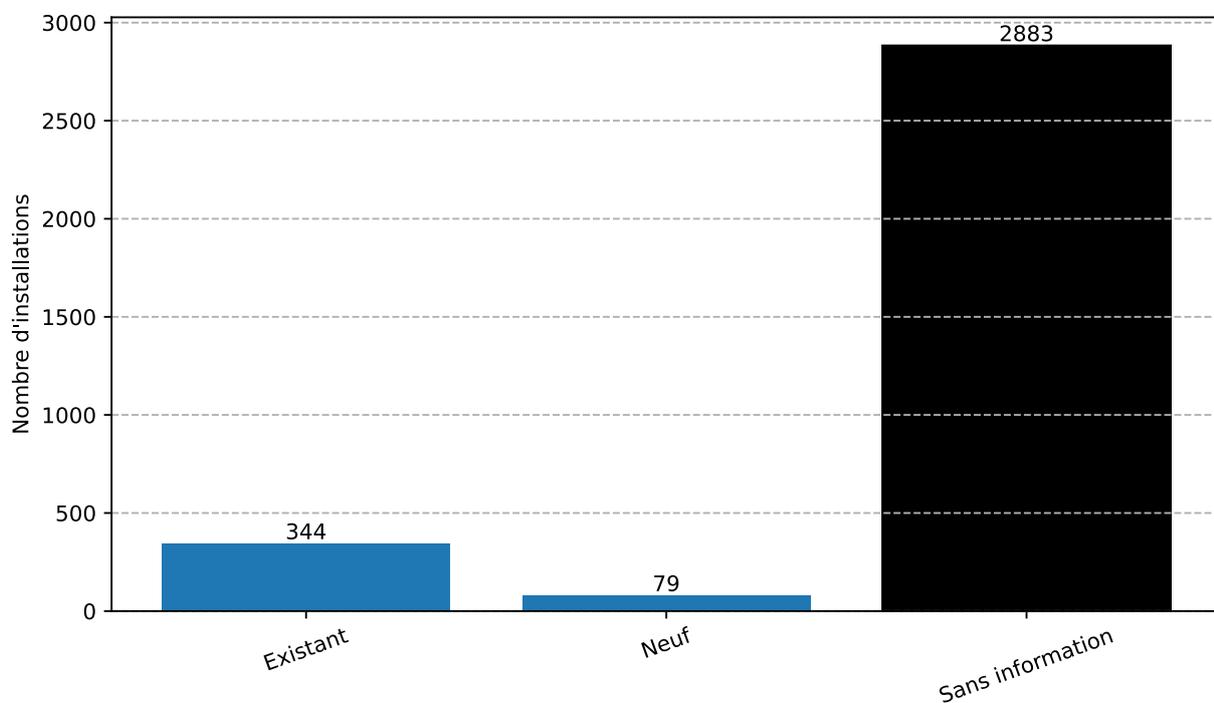


Figure 11 : Le type de bâtiment a été renseigné pour 423 installations, soit 13% de l'ensemble des données. Dans 81% des cas renseignés, l'installation a été réalisée ou prévue sur un bâtiment existant.

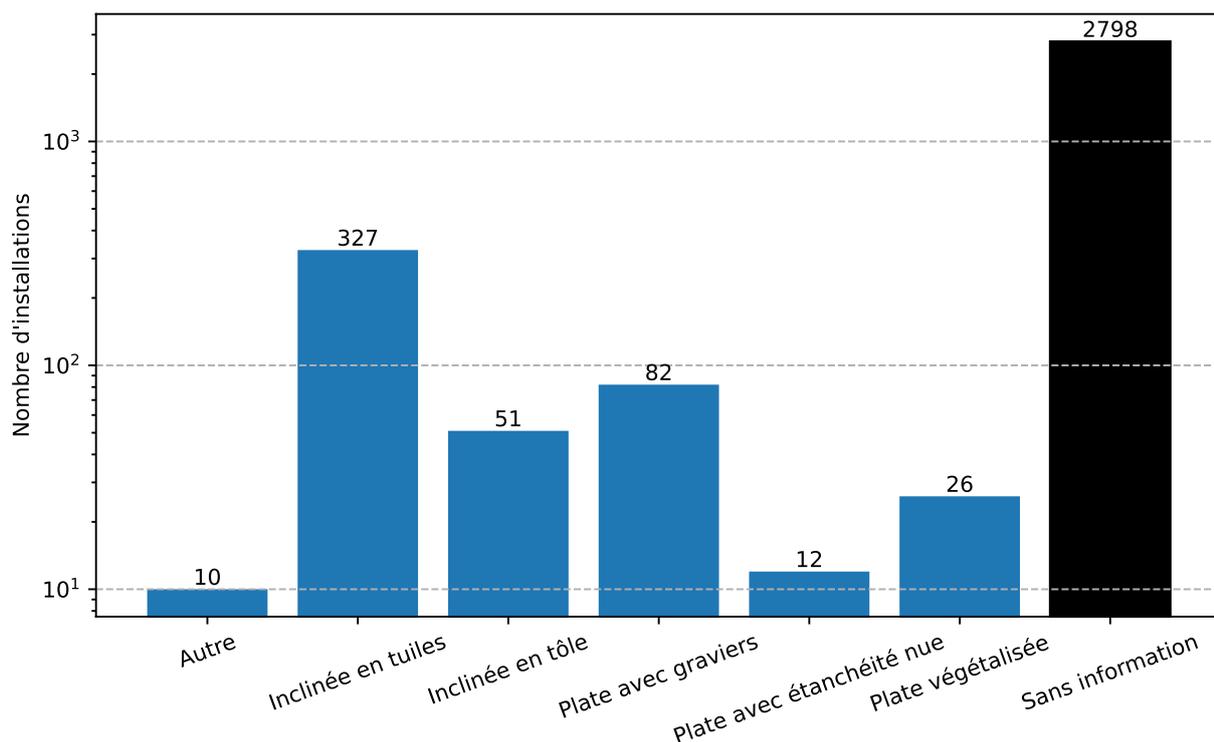


Figure 12 : Le type de toiture du bâtiment a été renseigné pour 508 installations, soit 15% de l'ensemble des données. 64% des installations ont été réalisées sur des toitures inclinées en tuiles et 16% sur des toits plats avec graviers.

3.3 Prix des installations ajoutées

La Figure 13 montre le coût HT des installations ajoutées dont la puissance indiquée est inférieure à 300 kW. Comme le montrait déjà la Figure 6, une grande partie des données récoltées se situe en dessous de 30 kW.

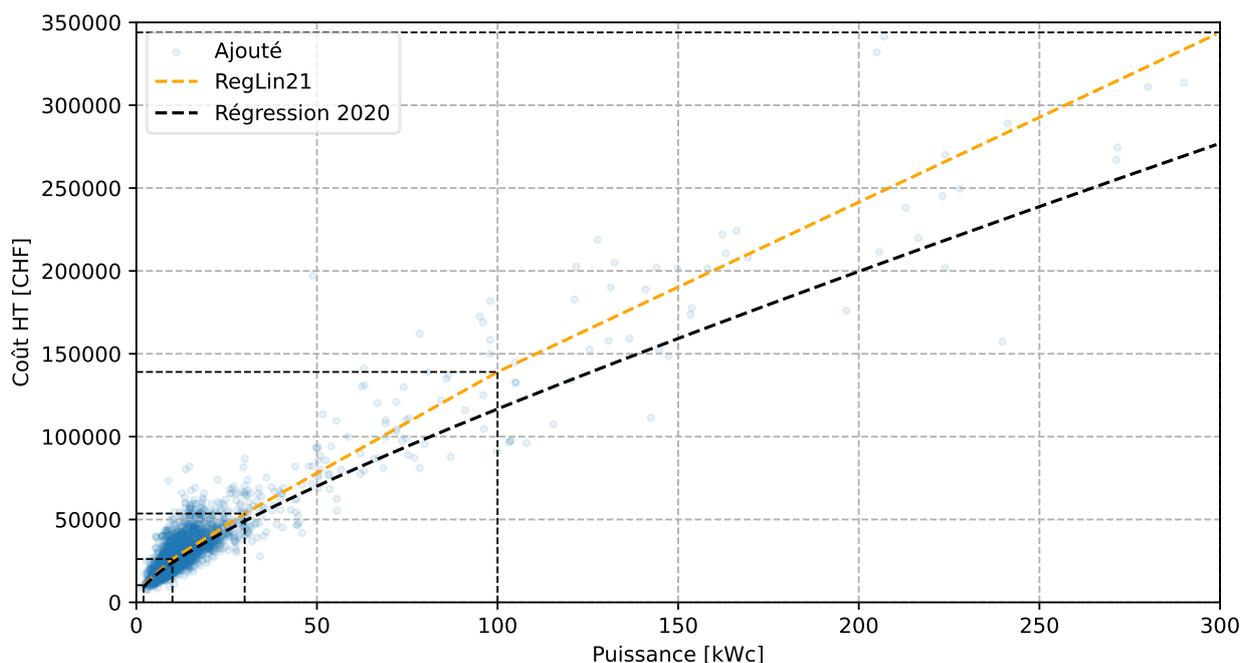


Figure 13 : Coût des installations ajoutées en 2021 sous les 300 kW. La courbe orange est une régression linéaire par tranches de ces coûts. La courbe noire correspond à la régression donnée l'année précédente.

Afin de visualiser correctement à la fois cette haute densité de points à faible puissance et les données dont la puissance est supérieure à 1000 kW, une échelle de puissance sur l'abscisse logarithmique doit être choisie. C'est ce que montre la Figure 14, avec en ordonnée le coût spécifique au lieu du coût.

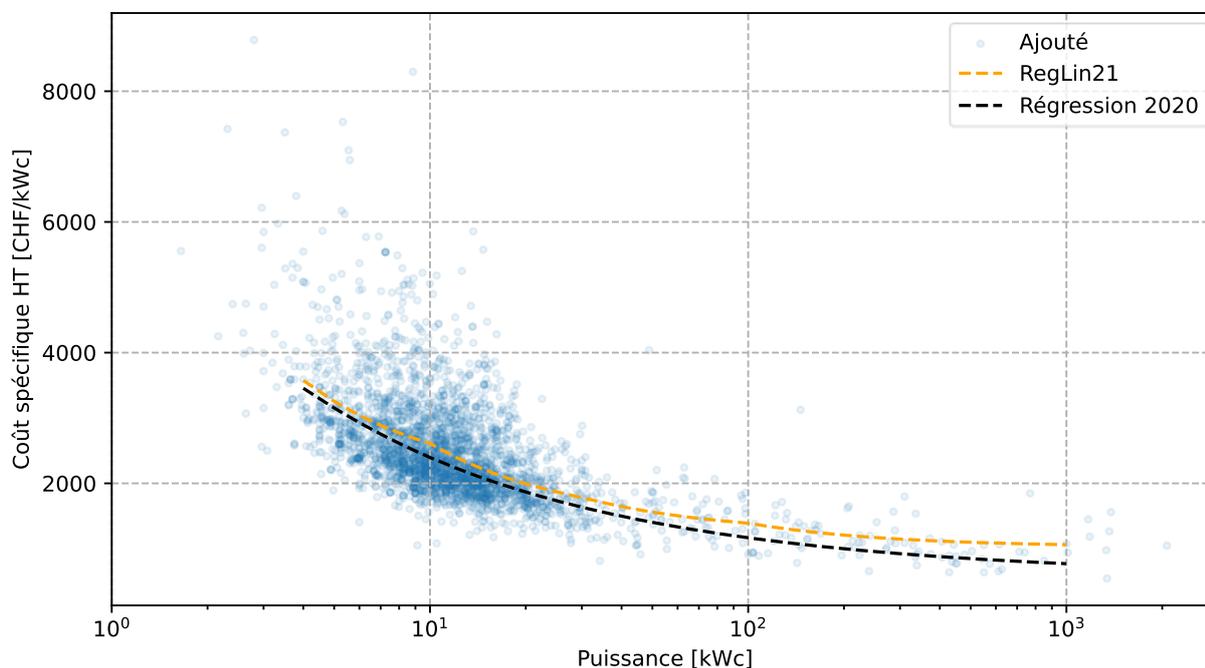


Figure 14 : Coût spécifique hors taxe des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance installée en échelle logarithmique. La courbe orange est la régression linéaire par tranches du coût des installations ajoutées en 2021 exprimée ici en coût spécifique. La courbe noire donne la régression non linéaire des installations ajoutées de l'année 2020.

La Figure 14 montre deux régressions, celle pour 2020 et celle pour 2021. La tendance 2020 avait été obtenue avec une régression basée sur l'équation (1) avec x la puissance en kW et y le coût spécifique hors taxe en CHF/kW avec une pondération corrélée avec la densité de points par plage de puissance.

$$y = \frac{5523}{x^{0.4862}} + 156.2 \cdot e^{-0.2321 \cdot x} + 578.4 \quad (1)$$

Cette approche a été reproduite avec les données de l'année 2021, mais il est apparu que le coefficient de détermination R^2 de cette régression n'est pas meilleur qu'une régression linéaire. Cette régression linéaire n'est cependant pas réalisée sur le coût spécifique, mais sur le coût brut hors taxe en CHF. Cette approche a l'avantage de donner une régression dont les paramètres sont interprétables contrairement à ceux de l'équation (1). Comme la régression est réalisée sur le coût et non sur le coût spécifique, il n'est pas nécessaire d'inclure une pondération pour compenser la distribution non uniforme des données.

Pour tenir compte de la non-linéarité de la dépendance du coût sur la puissance, la régression linéaire est réalisée par tranches. Cette régression minimise l'erreur sur le coût avec une fonction affine pour chaque plage de puissance tout en assurant la continuité de la fonction aux bornes de ces plages. Les coefficients de la régression linéaire par morceaux sont donnés dans le Tableau 2. Le coefficient de détermination de cette régression est de $R^2 = 0.92$ sur la plage 0-300 kW, le manque de données ne permet la régression linéaire par tranches sur les plages supérieures.

Tableau 2 : Paramètres de la régression linéaire par morceaux (RegLin21) des coûts des installations ajoutées. Dans chaque plage de puissance une fonction affine est donnée par $y = a \cdot x + b$ avec x la puissance en kW et y le coût en CHF hors taxe.

Plage de puissance [kW]	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2 par plage
2-10	1970	6420	0.24
10-30	1374	12382	0.35
30-100	1221	16979	0.63
100-300	1024	36606	0.53

L'approximation linéaire par morceaux du coût d'une installation photovoltaïque ajoutée peut donc s'exprimer par :

$$\text{RegLin21 : coût HT [CHF]} = \min_k (a_k \cdot (\text{puissance [kW]}) + b_k) \quad (2)$$

Si le lecteur est intéressé par une implémentation Excel de cette régression, il peut utiliser la fonction suivante pour obtenir le coût en CHF :

$$=\text{MIN}(\{1970;1374;1221;1024\} * A1 + \{6420;12382;16979;36606\}) \text{ avec } A1 \text{ la puissance en kW}$$

Cette régression donne donc un coût variable (a) et un coût fixe (b) pour chaque plage de puissance. La part variable est strictement décroissante au contraire de la partie fixe qui est strictement croissante.

Une autre manière d'étudier la corrélation du coût spécifique avec la puissance de l'installation est de regarder la médiane de sa valeur pour chaque plage de puissance, c'est ce qu'illustre la Figure 15. Comme on pouvait déjà l'observer dans la figure précédente, la variance du coût spécifique est très importante dans les deux premières plages de puissance. Les médianes ne sont par conséquent que peu représentatives pour ces plages. On remarque cependant que les médianes 2021 (barres orange) sont égales ou supérieures à celles obtenues en 2020 (étoiles), montrant que la tendance des années précédentes d'une réduction du coût des installations photovoltaïques s'est inversée pour la période 2020-2021.

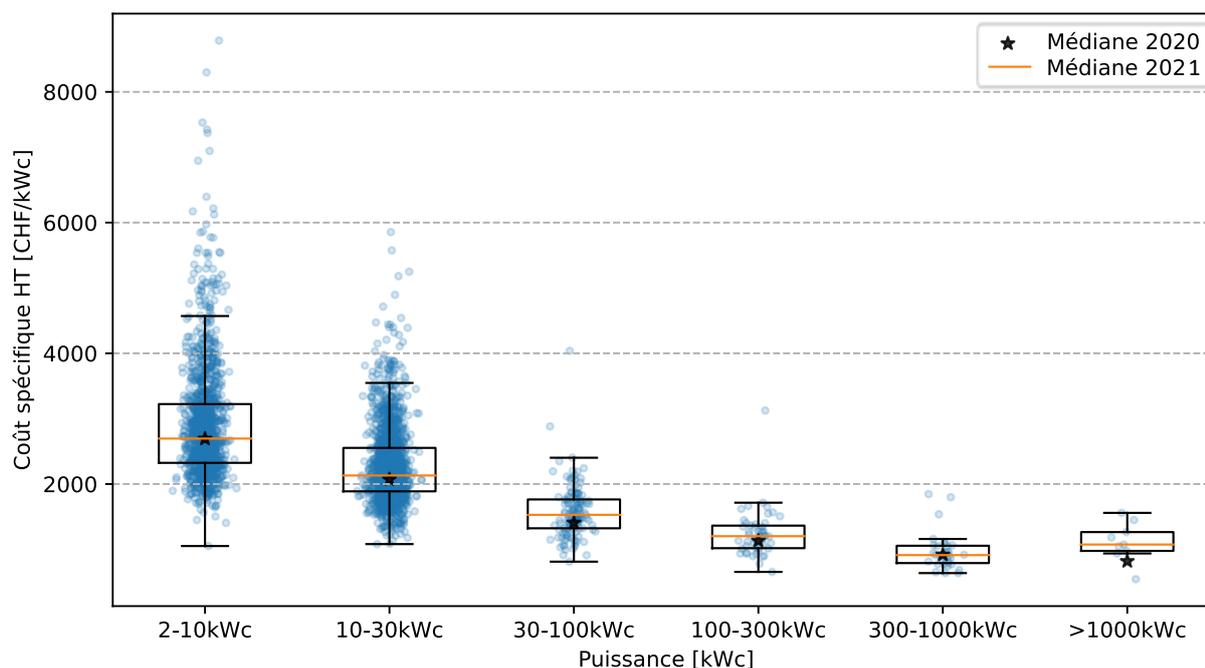


Figure 15 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées sous la forme de boxplot par plage de puissance. La barre orange indique la médiane du coût spécifique pour la plage et l'année 2021, l'étoile donne cette médiane pour l'année 2020. Les extrémités de la boîte correspondent aux centiles 25% et 75%, indiquant que 50% des données sont contenues dans cet intervalle.

Globalement on retrouve la tendance d'une décroissance du coût spécifique avec la puissance de l'installation, à l'exception du coût pour la plage de puissance supérieure à 1000 kW. Cette irrégularité s'explique par le peu d'observations disponibles dans cette plage ne permettant donc pas de conclure sur une tendance des coûts pour les très grandes installations. On notera que le coût spécifique médian des grandes installations, plage de 300-1000 kW, est de 913 CHF/kW soit 3 fois inférieur à celui des petites installations (2696 CHF/kW).

Tableau 3 : Caractéristiques statistiques des installations ajoutées. Le tableau donne les centiles 0, 25, 50, 75, 100 du coût spécifique pour chaque plage de puissance.

Plage de puissance [kW]	Nb d'installation	Coût spécifique [CHF/kW]				
		Min	25%	Médiane	75%	Max
2-10	1265	1051	2324	2696	3223	8785
10-30	1585	1081	1888	2131	2553	5855
30-100	128	812	1323	1529	1764	4038
100-300	50	656	1019	1202	1364	3124
300-1000	32	638	791	913	1056	1846
>1000	9	544	977	1075	1265	1559

3.4 Prix des installations intégrées

L'ensemble des coûts spécifiques pour les installations ajoutées et intégrées sont reportés dans la Figure 16. Les installations intégrées se concentrent sur la plage de puissance entre 4 kW et 50 kW. Leurs coûts spécifiques sont plus dispersés que ceux des installations ajoutées. Le coefficient de détermination de la

régression linéaire par morceaux des installations intégrées est de 0.62 indiquant que la régression ne permet pas l'interprétation des observations.

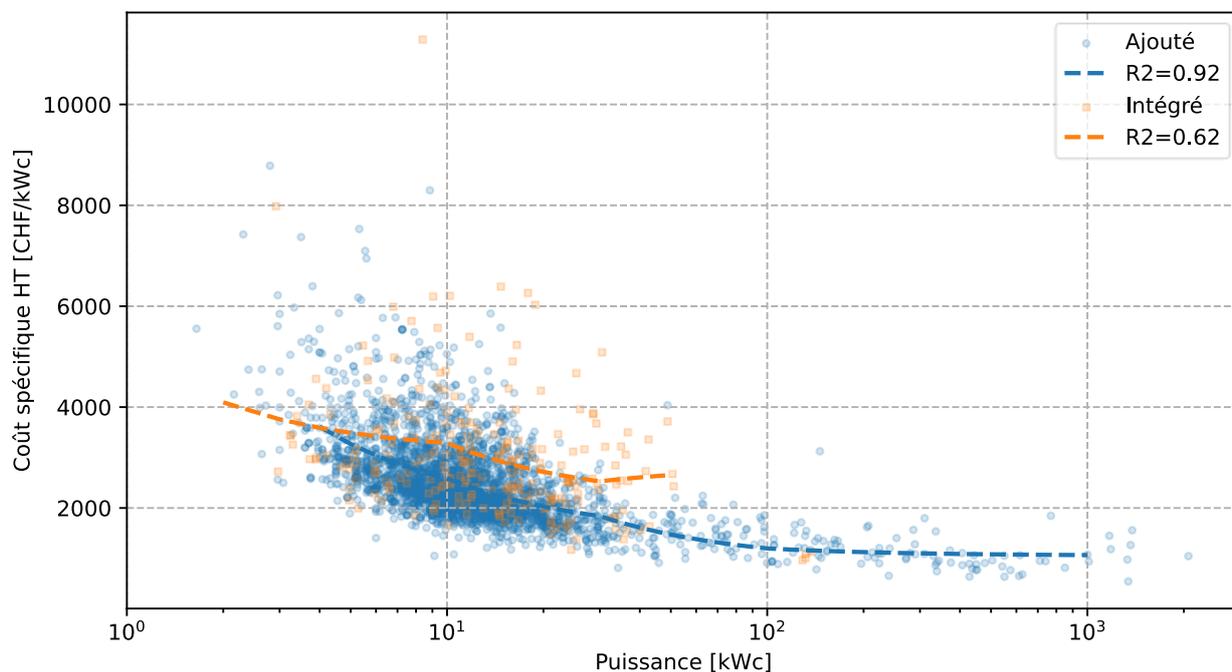


Figure 16 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées et intégrées avec régressions linéaires.

Pour vérifier l'écart de prix entre les installations ajoutées et les installations intégrées, la Figure 17, montre la distribution des coûts spécifiques par plage de puissance. On observe que les médianes des installations intégrées sont toutes supérieures à celle des installations ajoutées. Les différences entre les médianes ont été reportées dans le Tableau 4. L'augmentation de la différence de 13% à 63% avec la puissance peut s'expliquer par le fait que la part des coûts matériels augmente avec la puissance et les coûts du matériel des installations intégrées sont supérieurs à ceux des installations ajoutées.

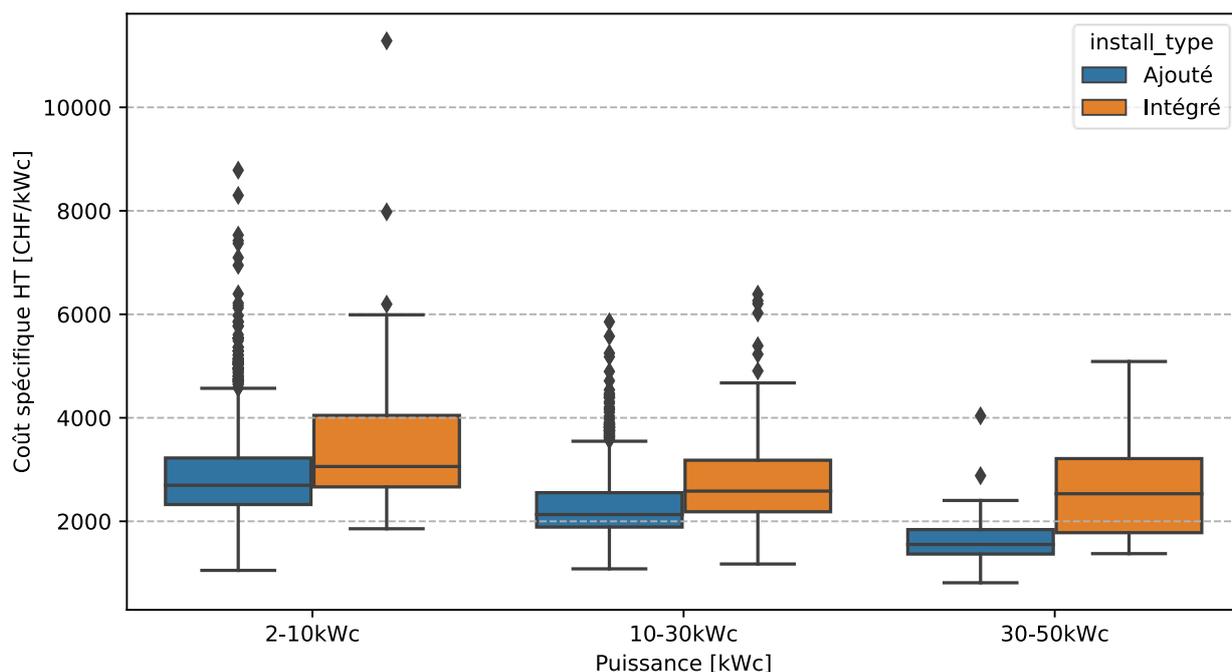


Figure 17 : Distribution du coût spécifique hors taxe des installations ajoutées et intégrées pour trois plages de puissance.

Tableau 4 : Médianes des coûts spécifiques des installations ajoutées et intégrées par plage de puissance.

	Coût spécifique médiane HT [CHF/kW]		Surcoût intégré [%]
	Ajouté	Intégré	
2-10kW	2696	3059	13%
10-30kW	2131	2583	21%
30-50kW	1553	2533	63%

3.5 Prix des installations ajoutées sur bâtiments existants ou neufs

La Figure 18 permet de comparer les coûts spécifiques des installations ajoutées sur bâtiments existants ou neufs. Le manque de données ne permet pas de tirer de conclusion, mais il semblerait que les installations ajoutées sur bâtiments neufs présentent un surcoût, du moins en dessus de 50 kW. Cette tendance s'oppose à celle observée en 2020, mais pourrait s'expliquer par le fait qu'un plus grand nombre d'acteurs sont impliqués lors d'une installation sur bâtiment neuf impliquant des contraintes organisationnelles supplémentaires et par conséquent un surcoût. Cette tendance sera à vérifier avec les données 2022.

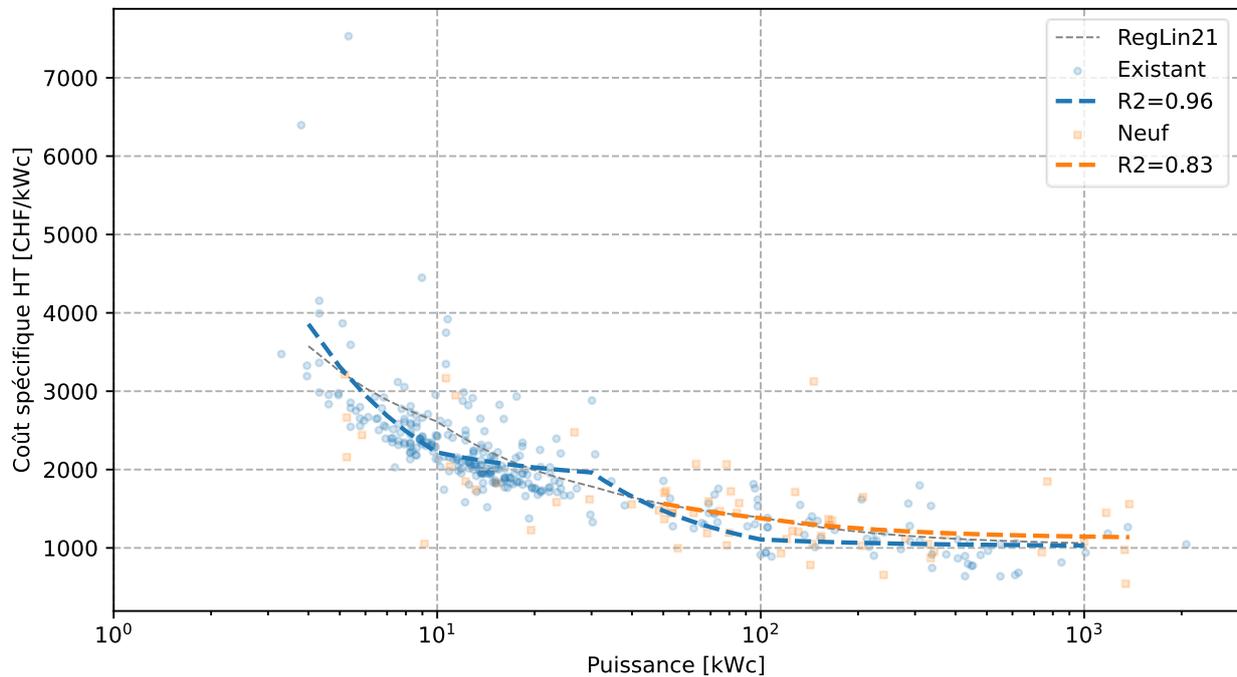


Figure 18 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées sur bâtiments existants ou neufs avec régressions linéaires.

3.6 Prix des installations ajoutées avec ou sans sécurité de chantier

La Figure 19 permet de comparer les coûts spécifiques des installations pour lesquelles il a été indiqué si la sécurité de chantier est incluse ou pas. Le manque de données ne permet pas d'en tirer des régressions et une quantification, mais il semble que comme attendu, les installations sans sécurité de chantier présentent un coût spécifique inférieur à celles avec une sécurité de chantier incluse.

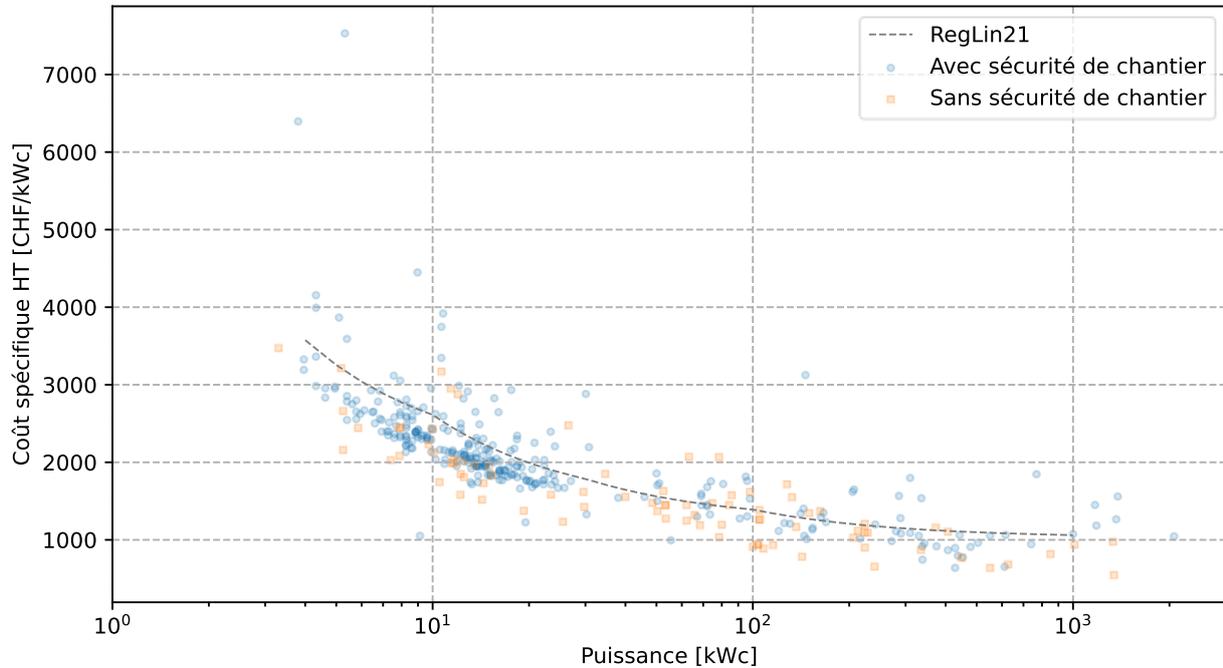


Figure 19 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées avec ou sans sécurité de chantier incluse.

3.7 Prix des installations en fonction du type d'onduleur

La Figure 20 permet la comparaison des coûts spécifiques des installations ajoutées en fonction du type d'onduleur. Le nombre d'observations avec micro-onduleurs ne permet pas une interprétation des résultats. En ce qui concerne les onduleurs avec optimiseurs, la régression a été réalisée jusqu'à 100 kW, car le nombre d'observations en dessus n'est pas suffisant. La comparaison des régressions des installations avec optimiseurs ou onduleur de chaîne ne permet pas de conclure sur une différence significative entre les deux types d'onduleurs. Une méthode alternative pour étudier cette différence est de regarder les médianes des coûts spécifiques par plages de puissance et par type d'onduleur. C'est ce que montre la Figure 21. On observe que les différences des médianes pour les 3 plages de puissance sont très faibles avec une faible tendance montrant un coût spécifique plus faible pour les installations avec optimiseurs. Cette différence n'est pas quantifiable, car probablement inférieure à l'incertitude inhérente à l'approche de cette étude.

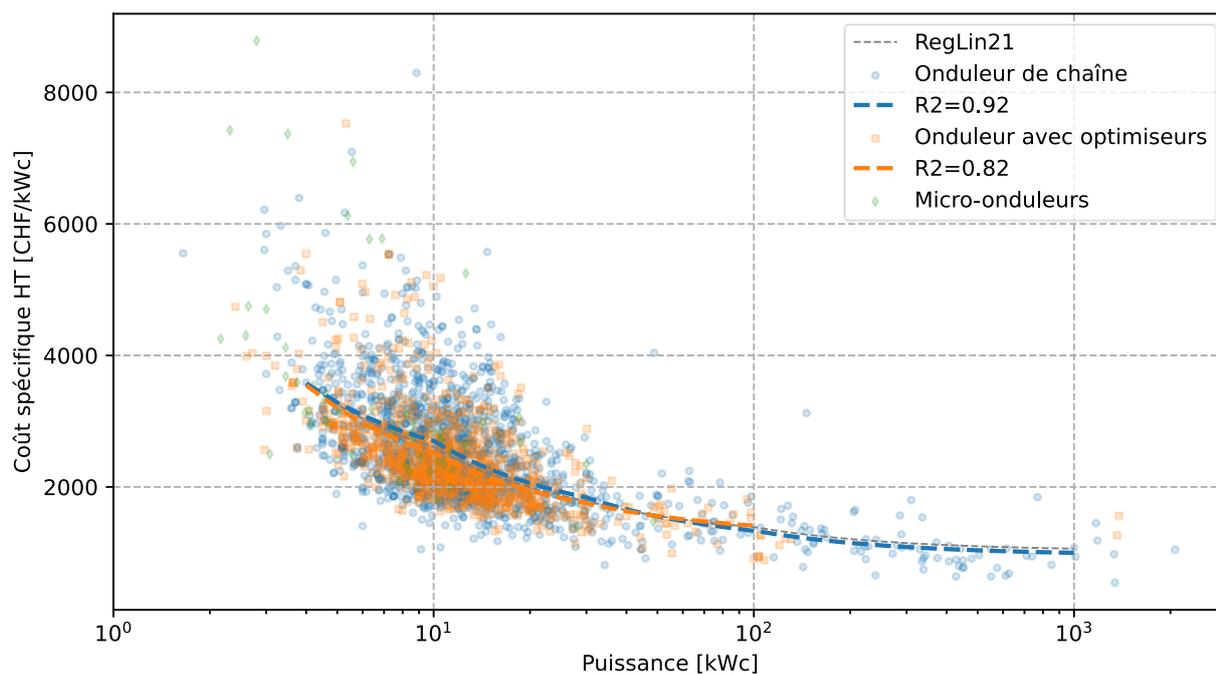


Figure 20 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées pour chaque type d'onduleur.

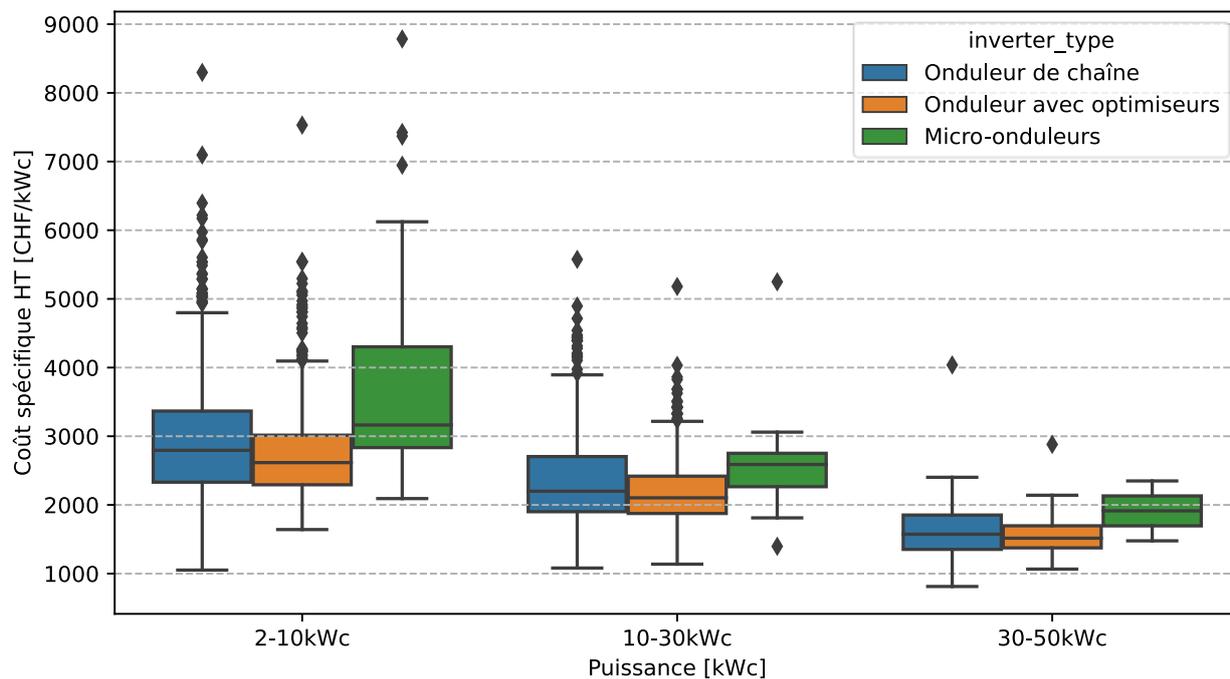


Figure 21 : Distribution du coût spécifique hors taxe pour les trois types d'onduleur et trois plages de puissance.

3.8 Prix des installations en fonction du type de toiture

La Figure 22 montre le coût spécifique des installations en fonction du type de toiture pour les trois types de toiture présentant le plus d'observations. Malgré les 460 observations, les répartitions en puissance ne sont pas suffisamment uniformes pour établir une comparaison. En effet, les installations inclinées en tuiles sont principalement des installations de moins de 30 kW alors que le peu d'observations pour les installations plates avec gravier et inclinées en tôle est réparti sur l'ensemble de la plage de puissance.

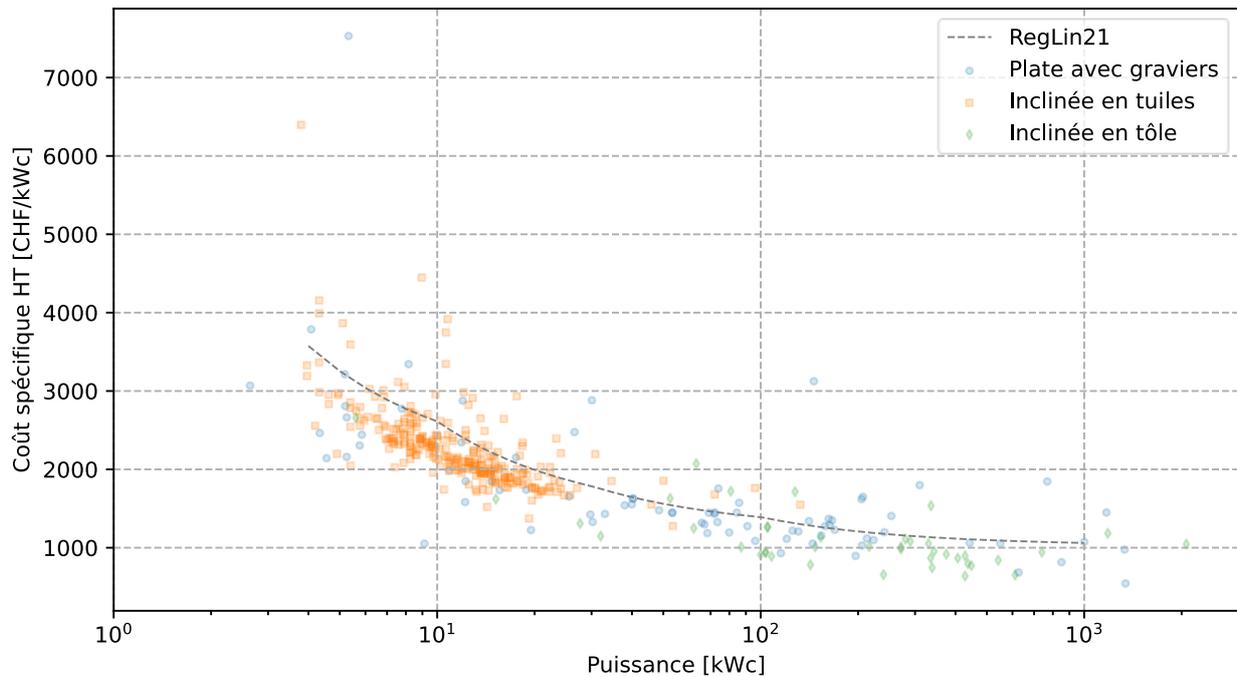


Figure 22 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées pour chaque type de toiture.

3.9 Décomposition des coûts

L'objectif de cette analyse est de décomposer le coût des installations photovoltaïques ajoutées par catégories. Cette analyse repose sur l'hypothèse que les marges sont réparties de manière uniforme et pas seulement ajoutées sur une catégorie. En effet il n'est pas improbable qu'un installateur choisisse de placer davantage sa marge sur la partie main-d'œuvre que sur la partie module ou l'inverse. Ce biais est probable et ne peut ici pas être quantifié.

L'analyse est réalisée deux fois, une première avec un set de 6 catégories permettant d'inclure un nombre d'observations élevé et en particulier celle du CDS, puis une seconde fois avec 9 catégories sur un jeu de données plus restreint. Dans les deux analyses, la décomposition des coûts est étudiée par plage de puissance présentant suffisamment d'observations.

3.9.1 Aperçu global

Dans une première analyse, le coût global a été réparti dans les 6 catégories suivantes :

- Coût des modules
- Coût des onduleurs
- Coût de la structure
- Coût de la sécurité de chantier
- Coûts administratifs et de planification
- Autres coûts

Ce choix permet d'inclure les données du CDS et regroupe 859 observations.

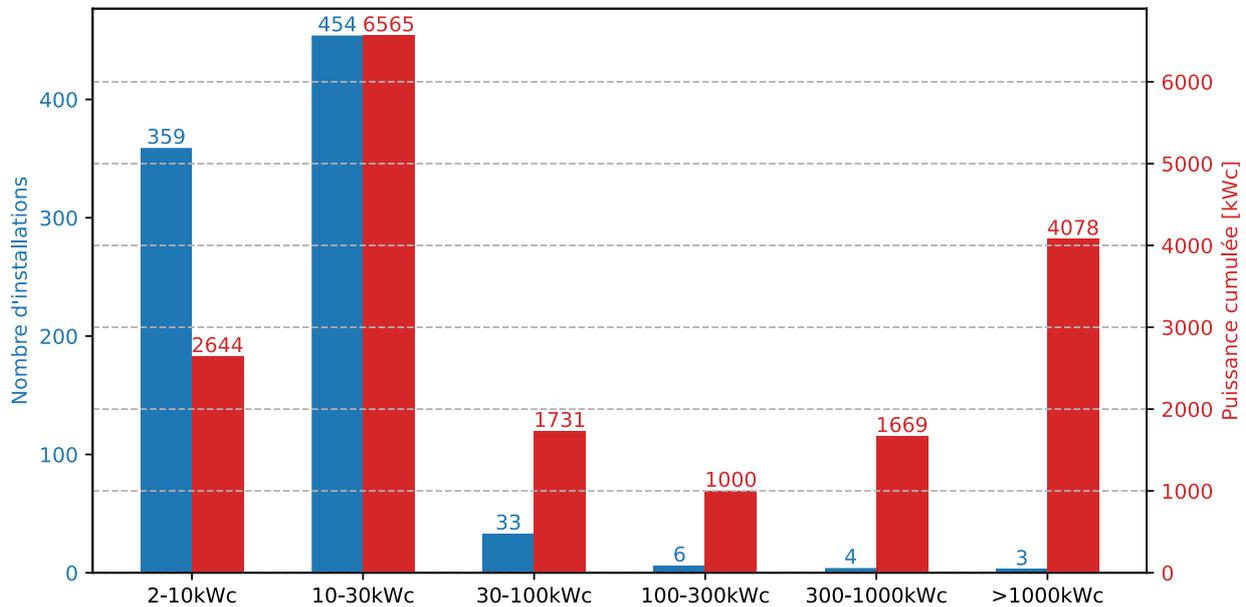


Figure 23 : Nombre et puissance des installations par plage de puissance ayant au minimum les coûts des 5 premières catégories renseignés.

Les installations conservées sont les installations ajoutées pour lesquelles les 5 premières catégories sont renseignées et non nulles, les autres coûts sont simplement calculés comme le coût total moins la somme des 5 catégories. Le nombre d'observations valides par plage de puissance est donné par la Figure 23. En raison du faible nombre d'observations en dessus de 100 kW, la décomposition des coûts n'a pas été possible sur les plages supérieures à 100 kW.

La décomposition des coûts présentée dans la Figure 24 montre que la part des modules augmente de 16% à 27% entre la première et la troisième plage de puissance. Cette observation coïncide avec celle réalisée sur les prix 2020 et s'explique par le fait que les parts des coûts fixes diminuent avec la puissance. La part des onduleurs quant à elle décroît légèrement de 11% à 9%, en termes de coût spécifique cela représente une réduction supérieure à un facteur 2. On n'observe pas de tendance significative pour les coûts de la structure et sécurité de chantier. La part des coûts administratifs et planification décroît avec la taille de l'installation ce qui s'explique par le fait qu'une partie de ces coûts sont fixes et ne dépendant pas de la taille de l'installation.

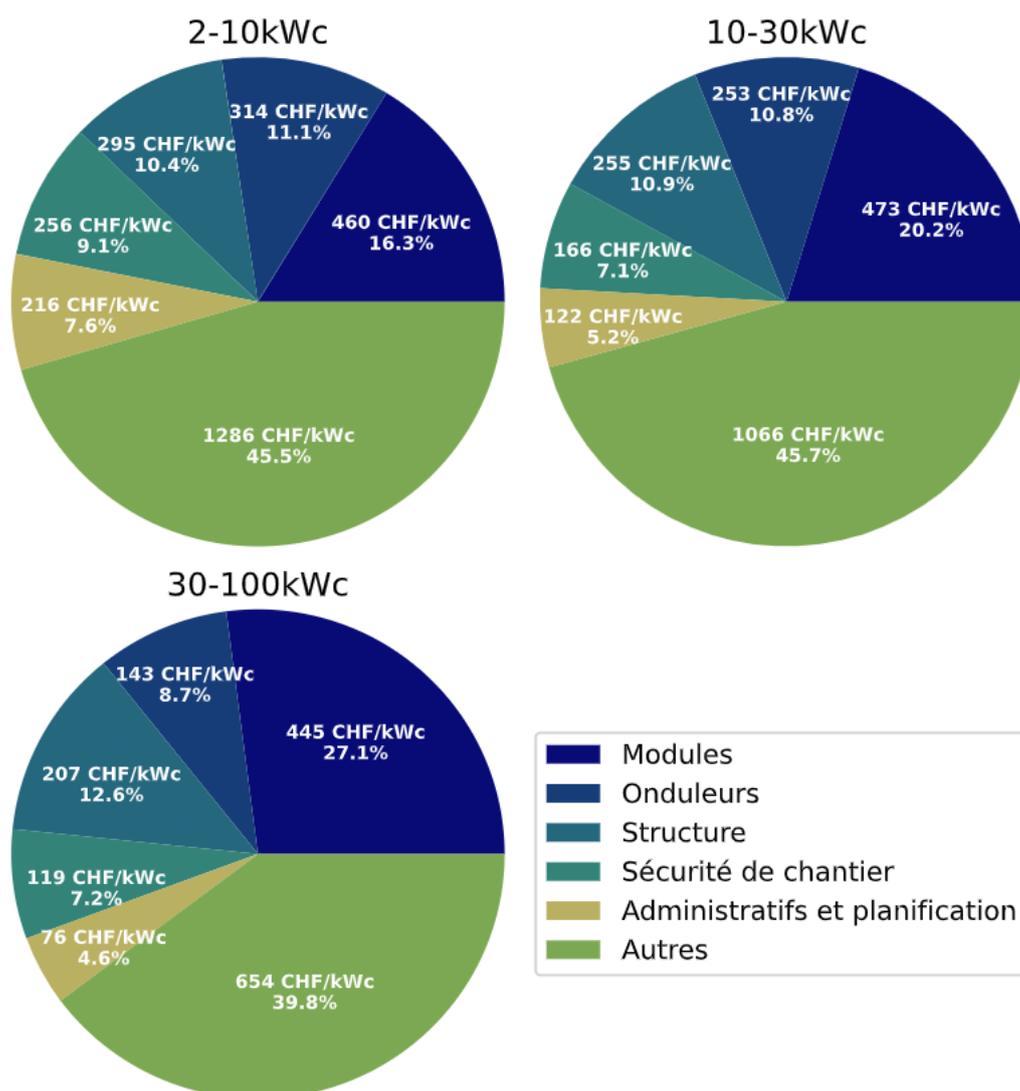


Figure 24 : Décomposition des coûts des installations ajoutées en 6 catégories pour les 3 premières plages de puissance. Les valeurs correspondent aux moyennes des coûts spécifiques des catégories pour toutes les installations d'une plage de puissance où ce détail est connu.

3.9.2 Aperçu détaillé

Avec les données du chapitre précédent, la part « Autres » des coûts est grande et ne permet pas une analyse complète des coûts. Le présent chapitre se concentre désormais sur 79 installations photovoltaïques ajoutées pour lesquelles un détail complet a pu être fourni. Dans cette analyse le coût global a été réparti en 9 catégories en identifiant dans « 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 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
- Coût de la logistique et du transport
- Autres coûts

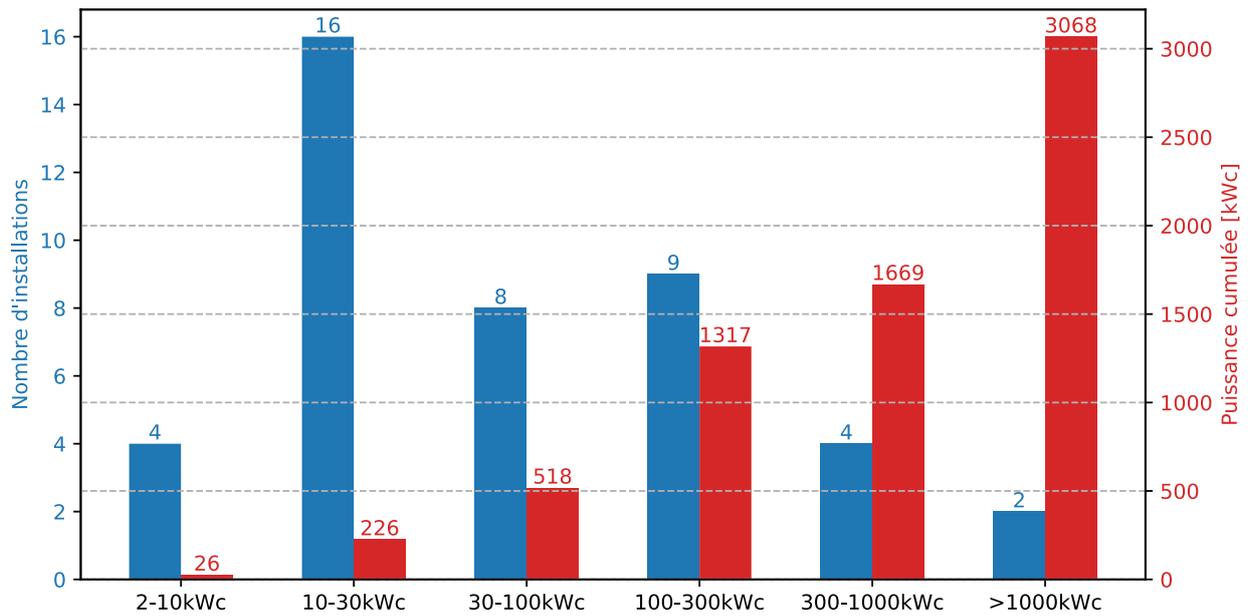


Figure 25 : Nombre et puissance des installations par plage de puissance pour lesquels la composition des coûts est connue.

Le nombre d'observations par plage de puissance est donné par la Figure 25. En raison du faible nombre d'observations en dessous de 10 kW et en dessus de 300 kW, la décomposition des coûts n'a été réalisée que dans les trois plages restantes.

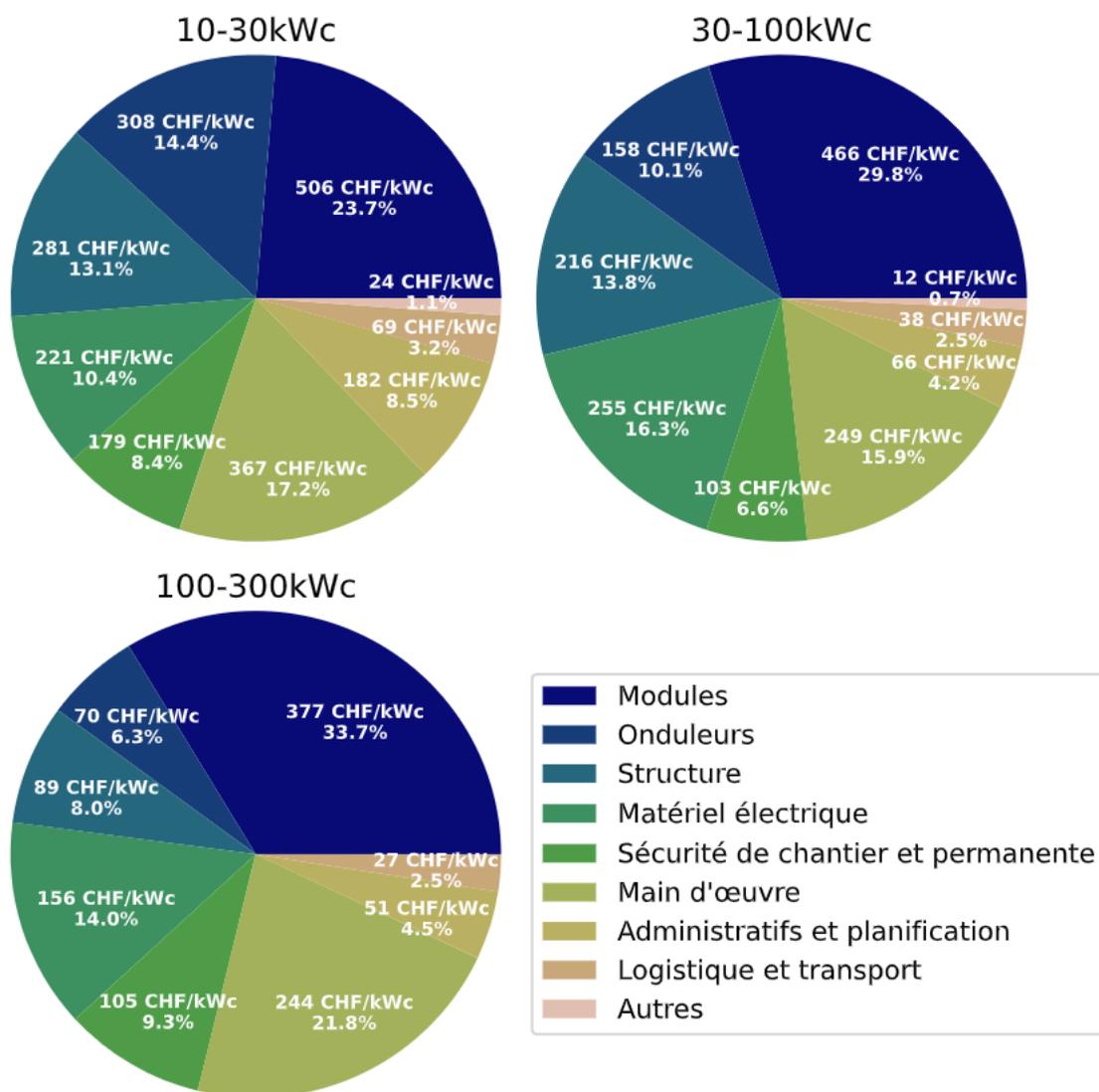


Figure 26 : Décomposition détaillée des coûts des installations ajoutées en 9 catégories pour les 3 premières plages de puissance. Les valeurs correspondent aux moyennes des coûts spécifiques des catégories pour toutes les installations d'une plage de puissance où ce détail est connu.

La Figure 26 montre la décomposition détaillée des coûts des installations photovoltaïques ajoutées. 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.

En comparant Figure 24 et Figure 26 on remarque que la part des modules est 2% plus élevée dans la décomposition détaillée, mais on retrouve la même tendance avec une augmentation de cette part qui atteint le tiers des coûts dans la plage 100-300 kW. On retrouve également la tendance de décroissance de la part des onduleurs qui ne représente plus que 6% des coûts dans la plage 100-300 kW. Les parts de la structure dans les plages entre 10 et 100 kW sont proches entre les deux décompositions. On observe une réduction de la part de la structure dans la plage de puissance la plus élevée, la part diminue de 13% à 8%. Les tendances pour les parts du matériel électrique, sécurité et main-d'œuvre ne sont pas claires, mais on observe globalement une tendance croissante en comparant la plage 10-30 kW avec la plage 100-300 kW.

Les coûts administratifs et de planification ne sont pas linéairement corrélés avec la taille de l'installation menant à une décroissance de leur part de 8.5% à 4.5% de la première à la troisième plage de puissance.

Cette analyse plus détaillée a permis de décomposer la catégorie « Autres » du chapitre précédent. C'est le coût de la main-d'œuvre qui compose en grande partie la part de cette catégorie. Elle représente plus de 20% des coûts totaux pour les grandes installations. Finalement la catégorie « Autres » 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.

3.10 Évolution dans le temps

L'analyse suivante évalue l'évolution des coûts entre 2018 et 2021. La Figure 27 donne l'évolution des coûts spécifiques des installations photovoltaïques ajoutées sous la forme des quartiles et extremums pour les 4 années et 5 plages de puissance. On remarque l'année 2021 rompt la tendance décroissante observée sur les 3 premières années avec des coûts spécifiques égaux voir supérieurs à ceux de l'année précédente. Cette observation s'explique par les difficultés d'approvisionnement suite à la pandémie de COVID et la croissance de la demande.

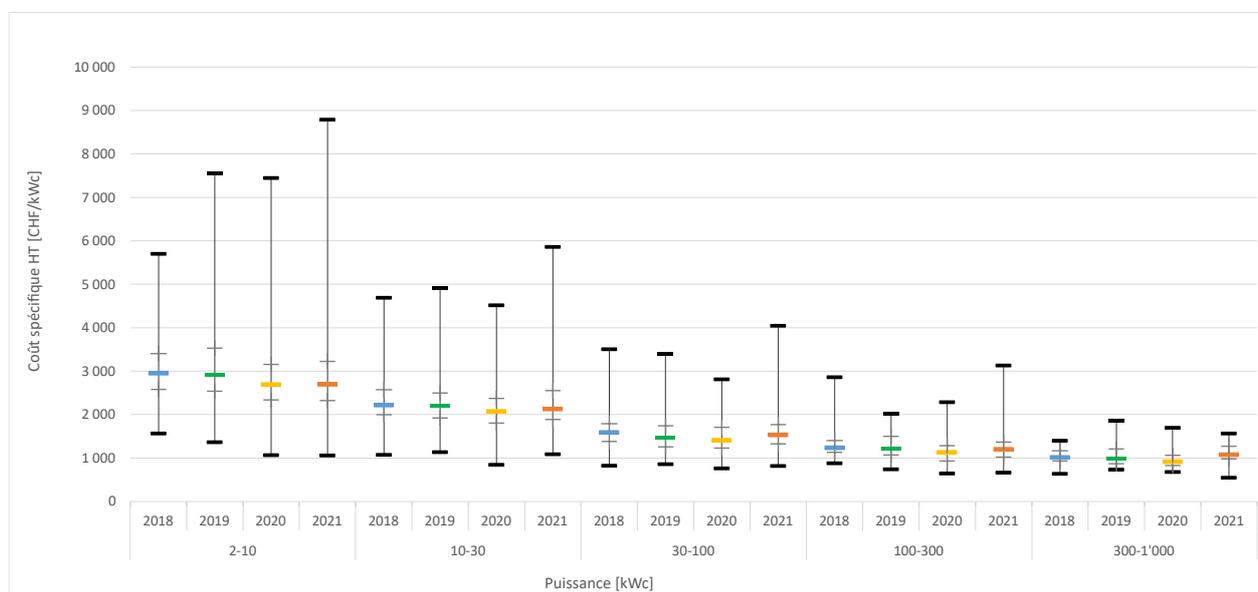


Figure 27 : Évolution de la répartition statistique du coût spécifique en CHF HT/kW des installations photovoltaïques ajoutées pour chaque plage de puissance. Cinq plages de puissance sont représentées, avec pour chaque plage les données 2018, 2019, 2020 et 2021. Les traits centraux colorés correspondent aux médianes. Les extrémités 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%).

Tableau 5 : Médianes des coûts spécifiques des installations ajoutées des 4 dernières années. Le tableau indique également la variation relative par rapport à l'année précédente.

Médiane coût spécifique [CHF/kW]							
Plage de puissance [kW]	2018	2019	2019 var	2020	2020 var	2021	2021 var
2-10	2 953	2 914	-1%	2 692	-8%	2696	0%
10-30	2 214	2 201	-1%	2 071	-6%	2131	3%
30-100	1 589	1 466	-8%	1 407	-4%	1529	9%
100-300	1 236	1 217	-2%	1 132	-7%	1202	6%
300-1000	1 016	990	-3%	919	-7%	913	-1%
>1000		777		819	5%	1075	

4. Facteurs influençant les coûts

Ce chapitre reprend les conclusions du rapport sur l'observation du marché 2020 avec une actualisation au regard d'évolutions apparues sur l'année 2021. 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 régulière des coûts du matériel photovoltaïque ces dernières années, 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 généralement 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.
- La généralisation 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.
- De plus en plus de toitures sont végétalisées : les installations sur ce type de toiture sont relativement plus onéreuses et présentent également un risque sur la maintenance (nécessité d'entretenir le toit afin de contenir la végétation).

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. Les modules à cadre et tedlar noirs deviennent progressivement la norme sur les installations résidentielles, du fait du moindre impact du coût d'approvisionnement des modules.

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 de rénovation, ces coûts peuvent être mutualisés, voire pris en charge par une autre entreprise ou la direction des travaux.

La sécurité permanente (accès et sécurisation des bords de toit) 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. Elles peuvent donc refléter des surcoûts pour certains types d'installations, par exemple lorsqu'un permis de construire est nécessaire. Le contrôle de réception des installations génère également un surcoût pour l'installateur, qui est reporté sur la facture du Maître d'ouvrage. En comparaison avec d'autres pays (p.ex. Belgique, Australie), les démarches administratives représentent une part très importante dans le budget d'un projet.

Monitoring, performances et gestion de l'énergie

La nécessité de maximiser la consommation propre incite au monitoring de la production et 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.

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

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

Elle permet 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 2020 et 2021, les facteurs présentés ci-dessus n'ont pas ou peu influencé les coûts des installations photovoltaïques. 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 modules 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.

5. Conclusion

L'étude a analysé 3'306 données de coûts d'installations photovoltaïques selon les prestations de l'installateur recueillies principalement auprès d'installateurs. Avec une focalisation particulière sur les 3'070 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 des caractéristiques des installations sur le coût spécifique.

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 et de la main-d'œuvre devient importante. Ensemble ces deux parts sont les facteurs les plus influents sur le prix.

La comparaison avec les données récoltées lors de l'observation du marché 2020 a indiqué, que contrairement à la tendance observée ces dernières années, une augmentation des prix sur la plupart des plages de puissance considérées.

Cette observation du marché photovoltaïque a permis une analyse complète autant qualitative que quantitative sur les coûts des installations photovoltaïques en Suisse en 2021. 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. Cela pourrait permettre de réaliser une régression des coûts avec pour variables l'ensemble des caractéristiques et pas seulement une régression par caractéristique qui ignore les corrélations entre les variables.

6. 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 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.

7. Références

- [1] Thomas Hostettler and Andreas Hekler, 'Statistiques de l'énergie solaire - Année de référence 2021', OFEN, Jul. 2022.