

Rapport final, 4 juillet 2023

Observation des prix de marché photovoltaïque 2022

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 statistique des données	9
3.1	Origine des données	9
3.2	Caractéristiques des installations PV	10
4.	Analyse du coût spécifique	14
4.1	Prix des installations ajoutées	14
4.2	Prix des installations intégrées	18
4.3	Prix des installations en fonction du type d'onduleur.....	19
4.4	Prix des installations en fonction du type de toiture	20
4.5	Composition des coûts.....	21
4.6	Évolution dans le temps	24
5.	Facteurs influençant les coûts	25
6.	Conclusion	29
7.	Remerciements	30
8.	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].

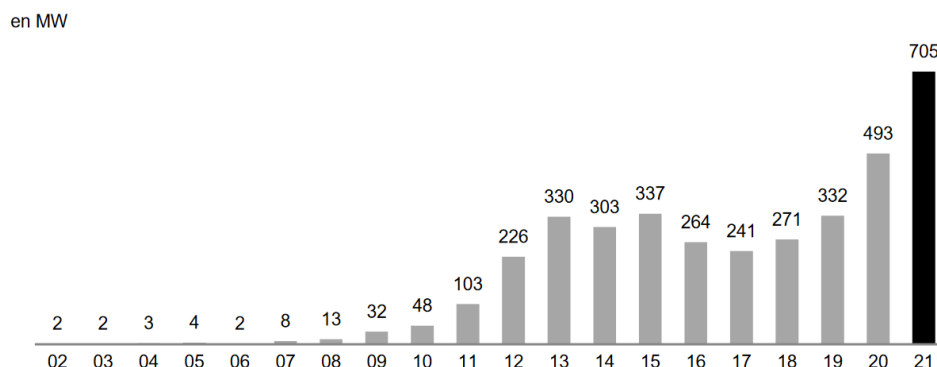


Figure 1 : Évolution des ventes annuelles de puissances PV en Suisse [1]. En 2022 le volume des ventes est estimé à 1000 MW.

Jusqu'en 2020 cette croissance du marché a eu pour conséquence une diminution des coûts des installations photovoltaïques. Le présent rapport analyse ces coûts pour l'année 2022, 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, 4'161 observations ont été compilées. L'étude se focalise en particulier sur les 3'953 observations d'installations ajoutées. Le coût spécifique (CHF/kW) de celles-ci illustré dans la Figure 2 décroît avec la puissance installée (kW).

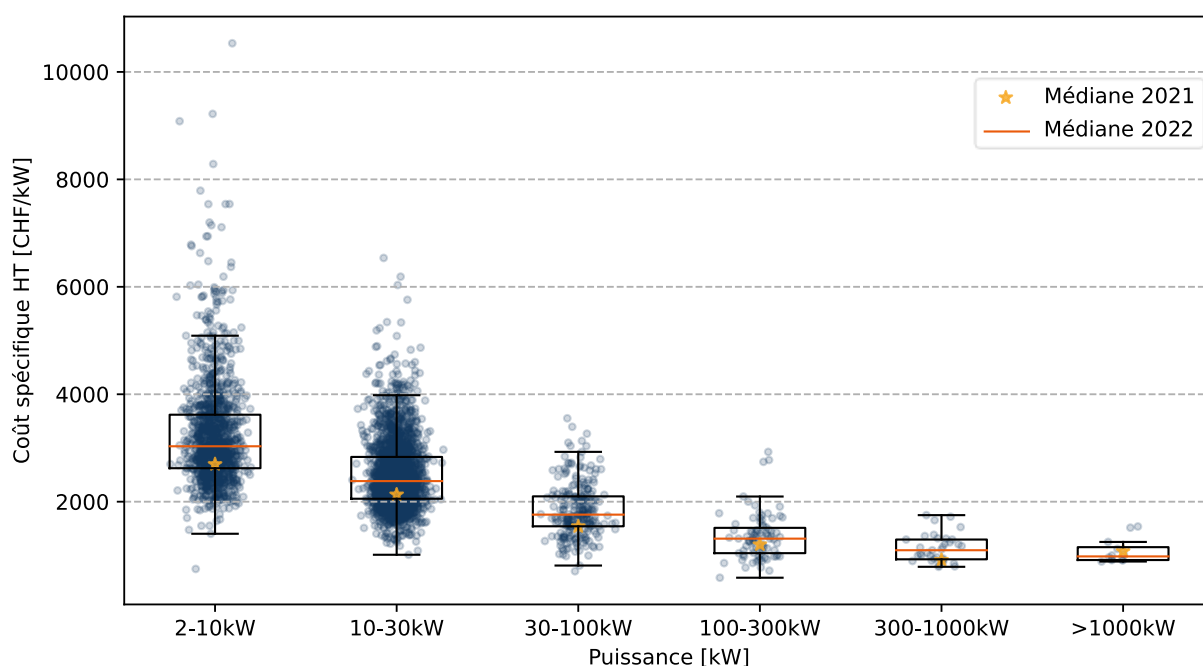


Figure 2 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées sous la forme de boxplot par plage de puissance. La barre orange indique la médiane du coût spécifique pour la plage et l'année 2022, l'étoile donne cette médiane pour l'année 2021. Les extrémités de la boîte correspondent aux quartiles 25% et 75%, indiquant que 50% des observations sont contenues dans cet intervalle.

La tendance d'une décroissance annuelle du coût spécifique observée jusqu'en 2020 s'est inversée en 2022. Le Tableau 1 montre que par rapport à l'année 2021, une installation chiffrée en 2022 s'est vendue en moyenne 12% plus cher.

Tableau 1 : Médianes des coûts spécifiques des installations ajoutées des 5 dernières années. Le tableau indique également la variation relative par rapport à l'année précédente.

Plage de puissance [kW]	Médiane coût spécifique [CHF/kW]					Variation par rapport à l'année précédente			
	2018	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	-1%	-8%	0%	12%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	-1%	-6%	3%	12%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	-8%	-4%	9%	15%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	-2%	-7%	6%	9%
300-1000	1016	990	919	913	1097	-3%	-7%	-1%	20%
>1000		777	819	1075	982		5%		-9%

L'étude montre que la composition des coûts est dépendante de la taille de l'installation photovoltaïque. En particulier la part des modules croît avec la puissance pour atteindre près de 35%. La part de la main-d'œuvre prend également une part significative, ensemble avec les modules, ils représentent 40-60% des coûts.

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 2022. 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 2022. Une partie des données a été récoltée par un sondage auprès d'installateurs (pour un total de **414** 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. **3'747** observations distinctes ont été reçues dans le cadre du service « check-devis-solaire » (appelé par la suite « CDS ») portant le total des observations reçues pour l'étude à **4'161**.

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 2 : Informations recueillies auprès des installateurs.

	CHAMPS	REPONSES POSSIBLES
INFORMATIONS ESSENTIELLES	Offre ou facture	Offre ou facture
	Date d'édition de l'offre ou de la facture	
	Puissance [kW]	
	Coût de l'installation [CHF HT]	
	Code postal	
INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES	Type d'installation	Intégré, Ajouté ou Façade
	Bâtiment neuf/existant	Neuf ou Existant
	Type de toiture	Plate avec graviers, Plate avec étanchéité nue, Plate végétalisée, Inclignée en tôle, Inclignée en tuiles, Autre
	Type d'onduleur	Onduleur de chaîne, Onduleur avec optimiseurs, Micro-onduleurs
	Monitoring inclus dans le coût de l'installation	Oui/Non
	Sécurité chantier incluse dans le coût de l'installation	Oui/Non
	Sécurité permanente incluse dans le coût de l'installation	Oui/Non
INFORMATIONS FACULTATIVES	Remarques	
	Coût des modules	
	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. Le rapport *Statistiques de l'énergie solaire* [1], donne la puissance installée en 2021 pour un ensemble de plages de puissance. Le rapport pour l'année 2022 n'étant pas encore publié, on fait ici l'hypothèse que la répartition reste similaire en 2022.

La Figure 3 montre que le jeu de données récoltées dans le cadre de l'observation des prix du marché est bien représentatif des installations réalisées. Seule la plus faible plage de puissance (0-4kW) présente une différence significative, cependant le reste de cette étude considère une première plage plus étendue (2-10kW).

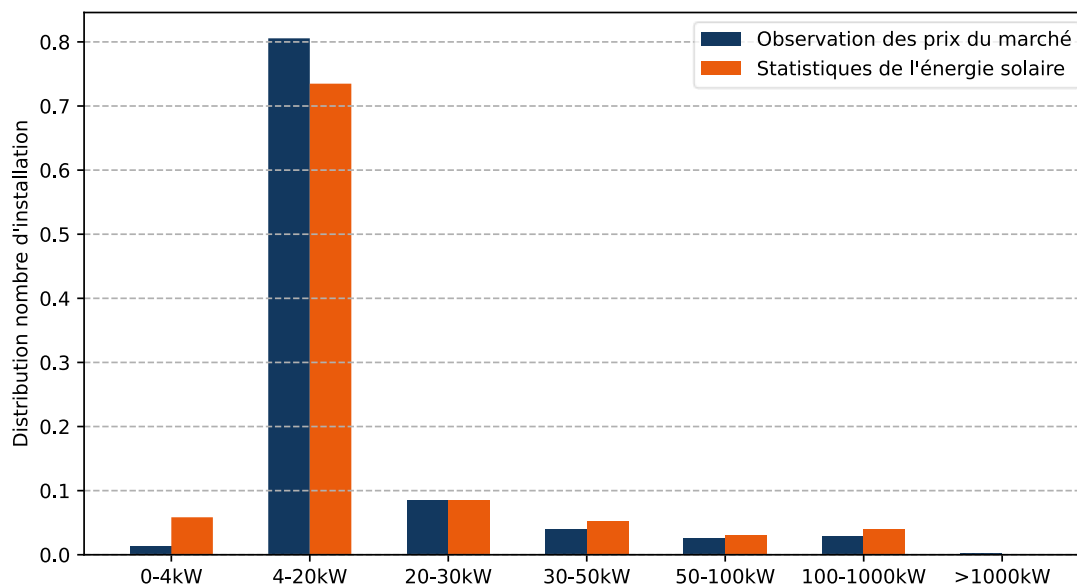


Figure 3 : Distribution du nombre d'installations photovoltaïques par plage de puissance [kW].

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.

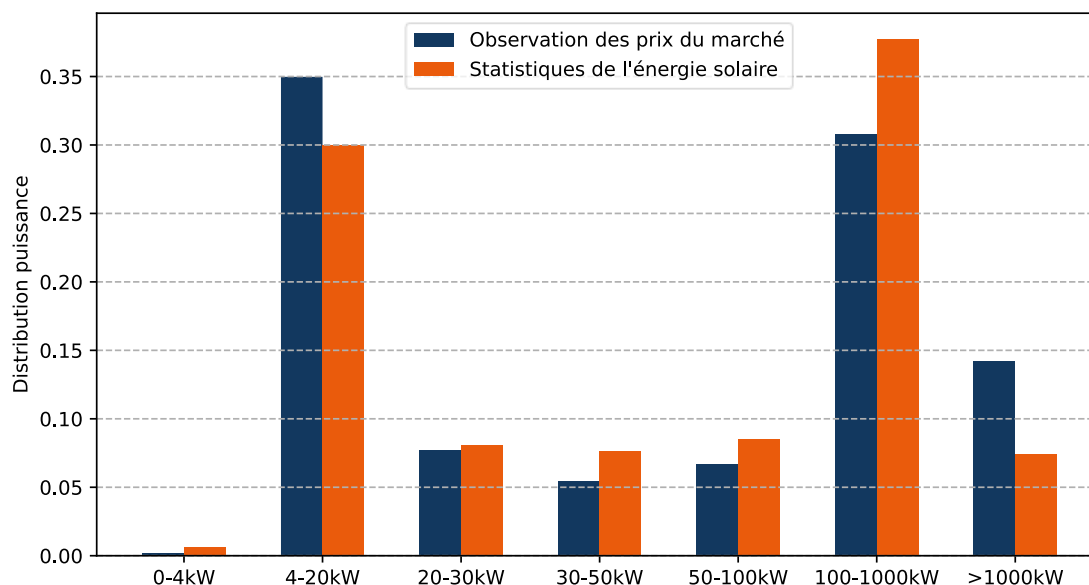


Figure 4 : Distribution de la puissance des installations photovoltaïques par plage de puissance [kW].

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 2022 ou sur des offres émises en 2022.
- 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 statistique des données

Ce chapitre présente l'origine des données et statistique sur les caractéristiques des données récoltées dans le cadre de cette étude.

3.1 Origine des données

Comme le montre la Figure 5, la majorité du set de données étudié provient du service CDS. Cependant les données provenant d'installateurs ayant répondu au sondage comportent davantage de détails que les données obtenues via par le CDS.

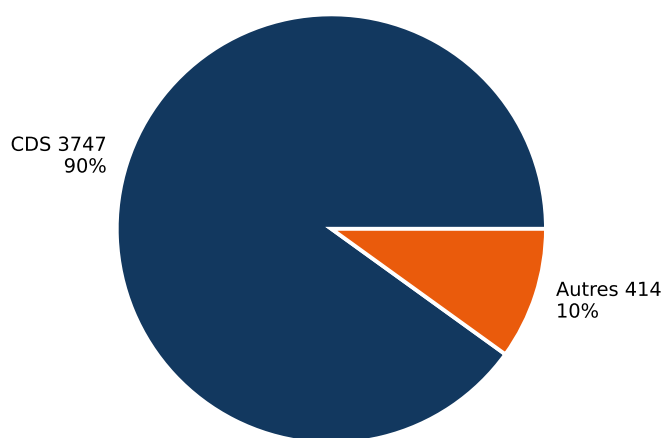


Figure 5 : Nombres et parts de données récoltées dans le cadre du CDS et auprès des installateurs et maîtres d'ouvrages (Autres).

La Figure 6 présente la répartition du nombre d'installations et de la puissance cumulée par plage de puissances. La plus grande installation, 1'656 kW, est classée dans la plage >1'000 kW.

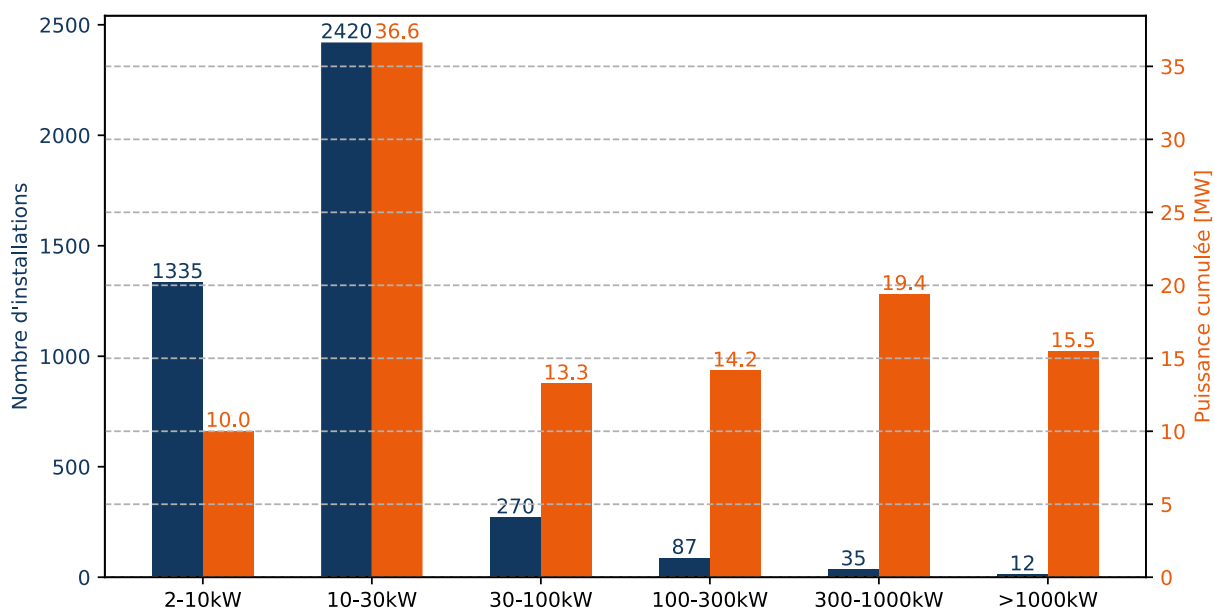


Figure 6 : Répartition des données recueillies pour l'étude par plage de puissance.

La Figure 7 montre le nombre d'observations par canton. On note une sous-représentation de la partie est et centrale de la Suisse.

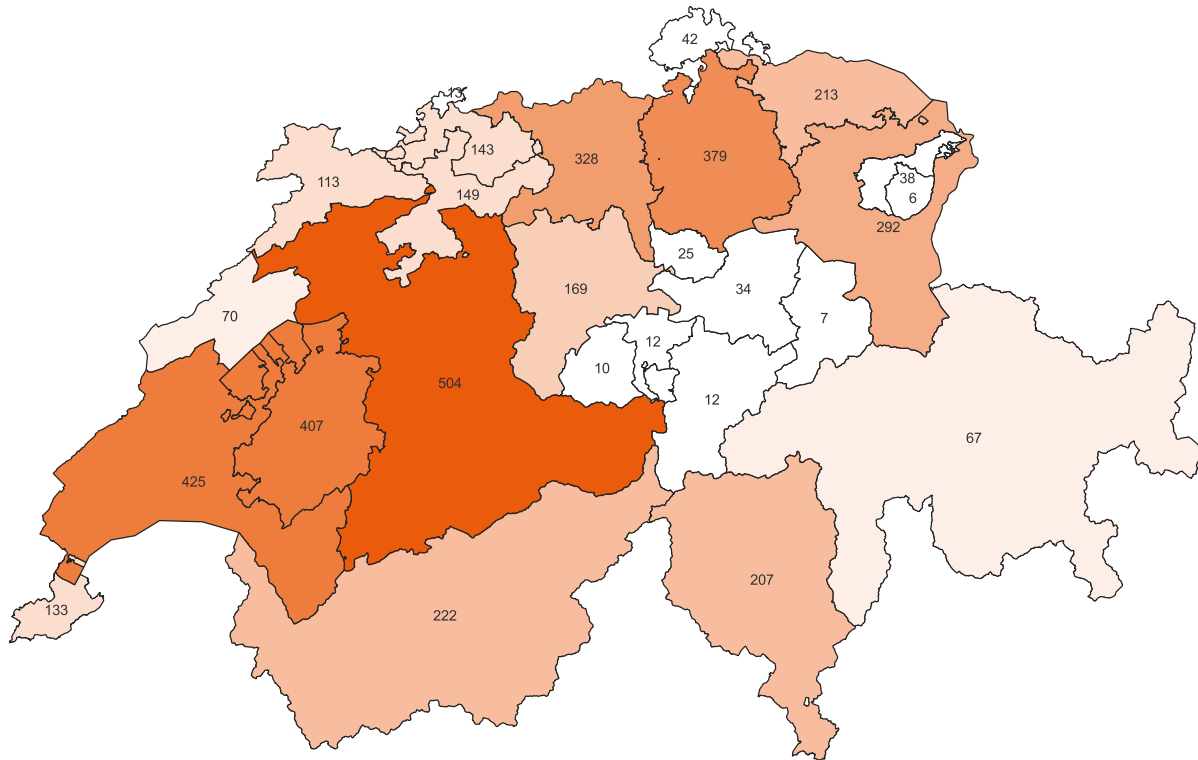


Figure 7 : Nombre d'observations par canton. La localisation est celle du site et pas celle de l'installateur ayant réalisé l'offre.

3.2 Caractéristiques des installations PV

Au minimum la puissance et le coût global sont renseignés pour chaque installation. Le Tableau 2 renseigne l'ensemble des caractéristiques pouvant être renseignées. Cette section présente la répartition de ces caractéristiques.

La Figure 8 montre que la plupart des données proviennent d'offre pour des installations en ajouté. La répartition entre le premier et le deuxième semestre est approximativement symétrique.

La Figure 9 montre que le coût de la sécurité de chantier est inclus dans la moitié des offres. À l'inverse le coût de la sécurité permanente est rarement inclus.

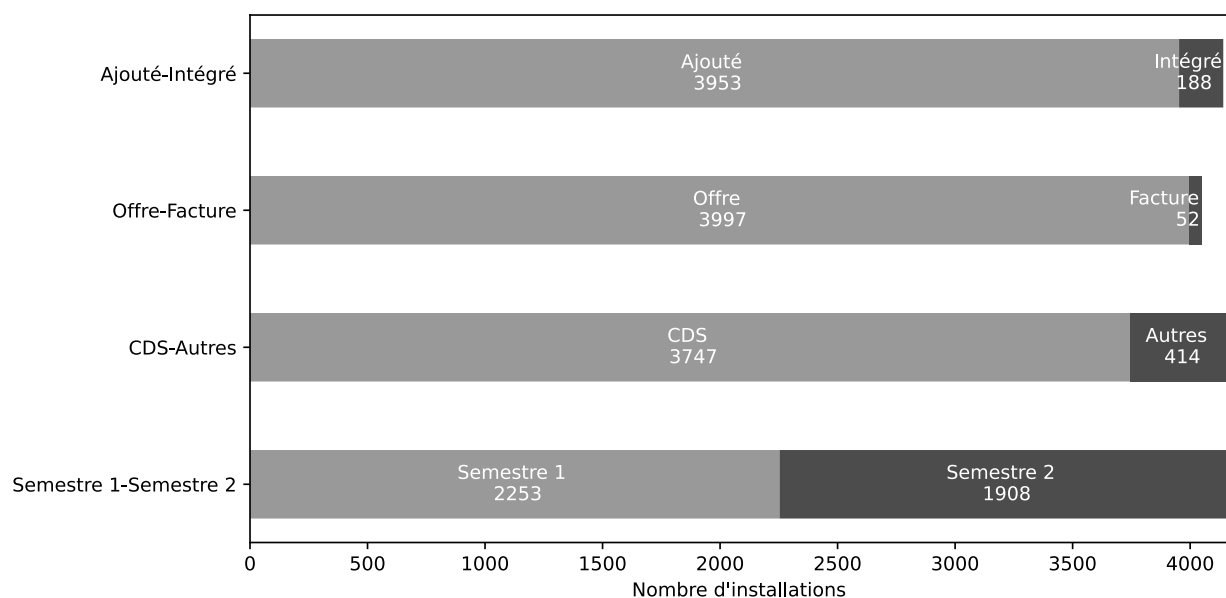


Figure 8 : Caractéristiques requises à renseigner pour chaque installation. La plupart des données reçues correspondent à des offres et à des installations ajoutées.

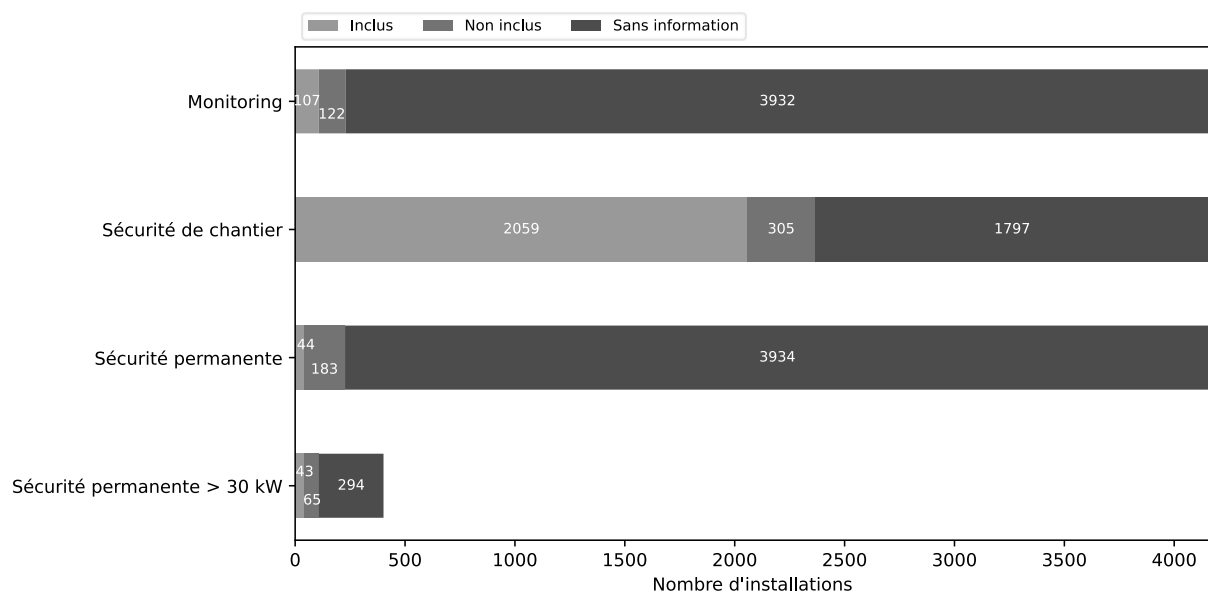


Figure 9 : Caractéristiques optionnelles qui indiquent si le monitoring, la sécurité de chantier, ou respectivement la sécurité permanente ont été inclus dans les prestations et les coûts des installations photovoltaïques étudiées. Les 3 premières lignes donnent l'information pour toutes les installations (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.

La répartition entre les micro-onduleurs, optimiseurs et onduleurs de chaîne correspond à celle de l'année précédente avec 3% pour les premiers, 34% pour les optimiseurs et 63% pour les onduleurs de chaîne.

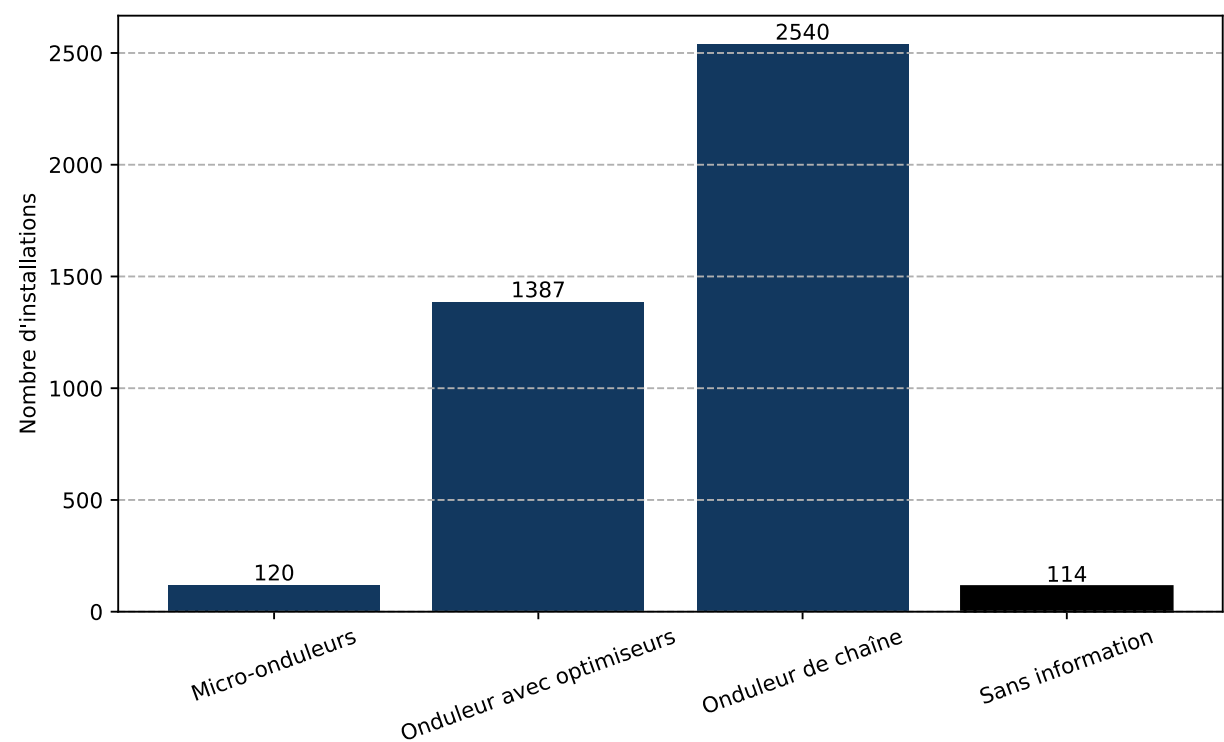


Figure 10 : Le type d'onduleur proposé ou installé a été renseigné pour 4'047 installations.

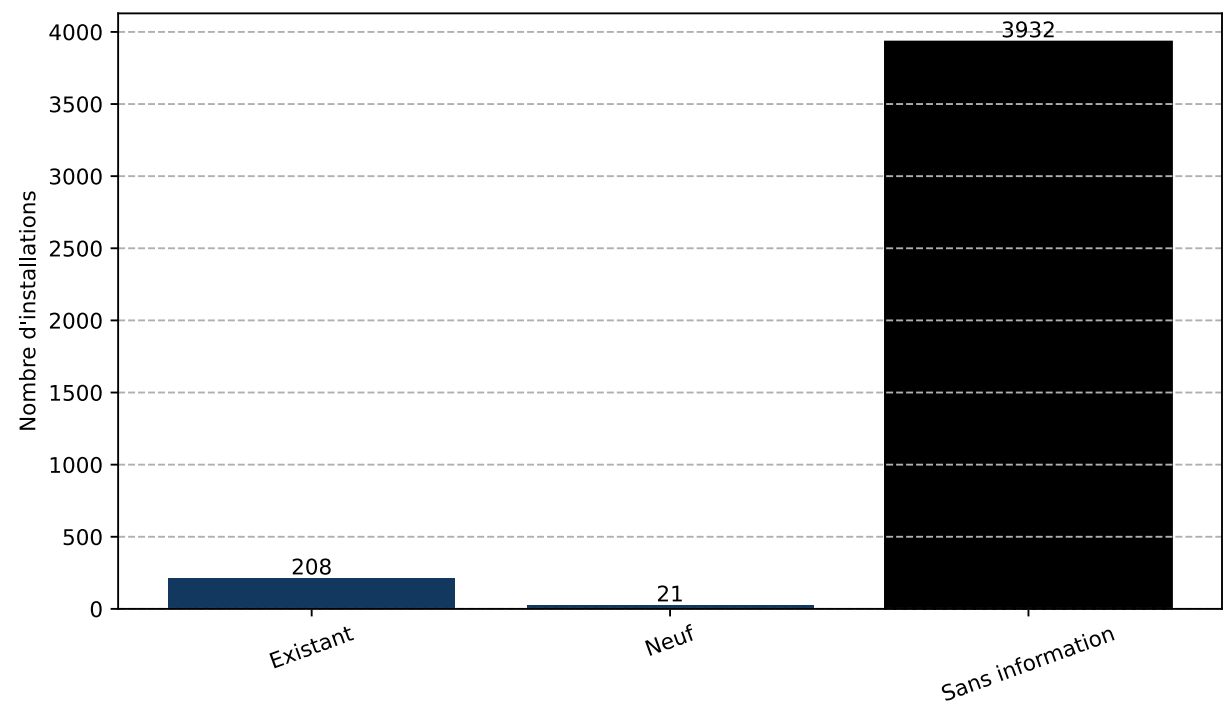


Figure 11 : Le type de bâtiment a été renseigné pour uniquement 229 installations, soit 5% de l'ensemble des données.

Le type de bâtiment (Figure 11) et le type de toiture (Figure 12) n'ont été détaillés que pour seulement 5% des installations. Cette faible proportion ne permet pas d'établir, sans une grande incertitude, les surcoûts liés à ces caractéristiques.

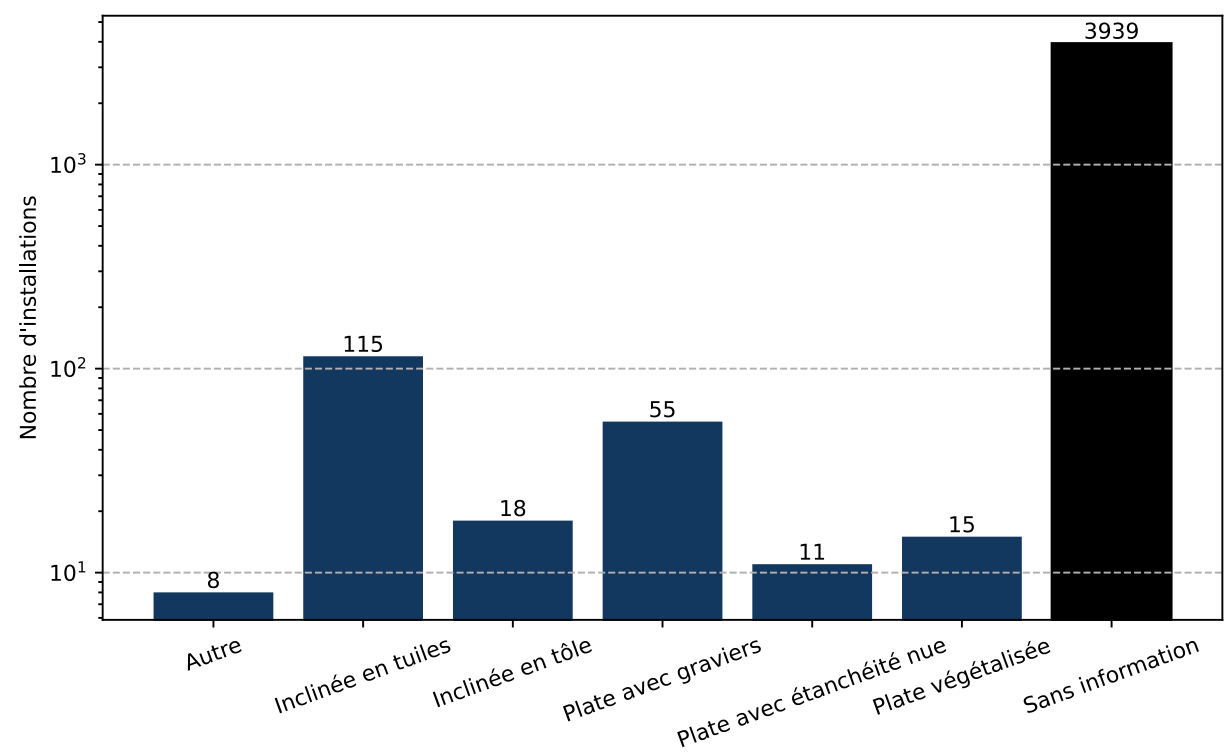


Figure 12 : Le type de toiture du bâtiment a été renseigné pour 222 installations, soit 5% de l'ensemble des données.

4. Analyse du coût spécifique

4.1 Prix des installations ajoutées

La Figure 13 montre le coût HT des installations ajoutées dont la puissance 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. La courbe orange est la régression linéaire par morceaux des données 2022 (Régression 2022). La courbe noire montre la régression obtenue avec les données 2021.

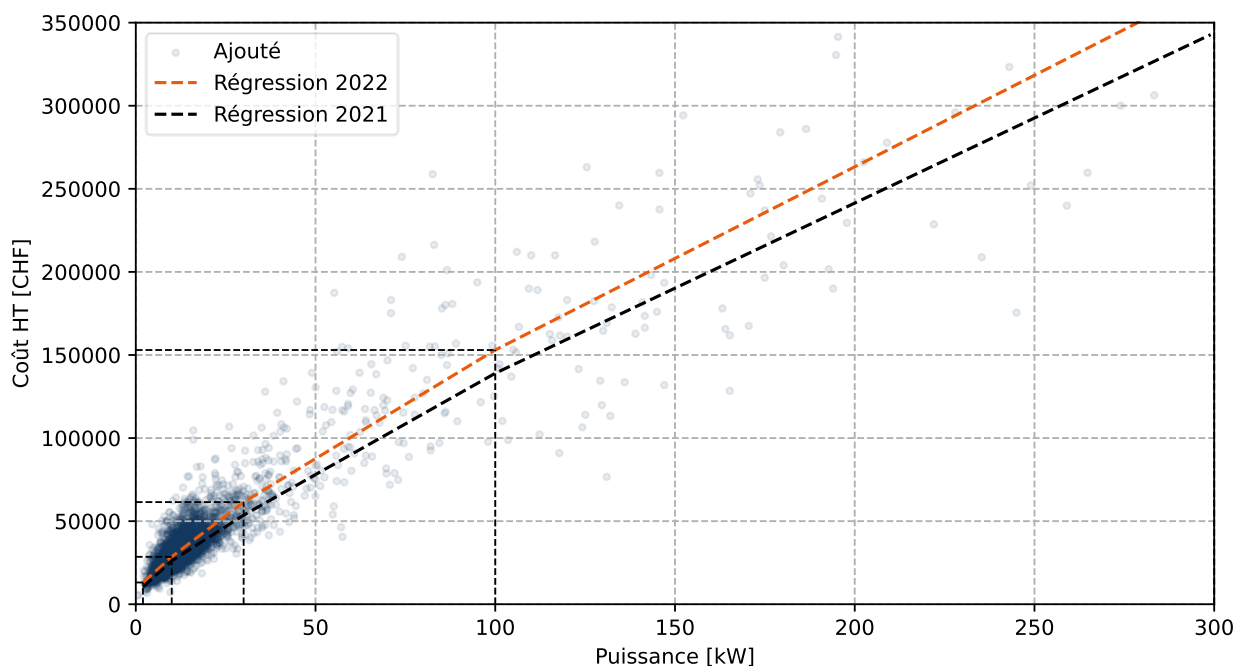


Figure 13 : Coût des installations ajoutées en 2022 sous les 300 kW. La courbe orange est une régression linéaire par morceaux de ces coûts. La courbe noire correspond à la régression donnée l'année précédente.

On observe que la croissance du coût avec la puissance n'est pas linéaire, il croît rapidement au début puis moins par la suite. Au d'autres termes, le coût spécifique, défini comme le rapport entre le coût global et la puissance de l'installation et exprimé en [CHF/kW] diminue avec la puissance. Cette décroissance est la conséquence d'économie de volume. Comme discuté plus loin en section 4.5, certaines parties du coût d'une installation sont fixes. C'est notamment le cas d'une partie des coûts administratifs qui sont les mêmes pour une installation de 10 ou 1000 kW.

Cet effet implique qu'une régression linéaire sur l'ensemble de la plage de puissance n'est pas envisageable, et c'est pourquoi la régression proposée est une régression linéaire par morceaux ou plage de puissance. 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 3.

Tableau 3 : Paramètres des régressions linéaires par morceaux des coûts des installations ajoutées en 2021 et 2022. 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. R2 est le coefficient de détermination de la régression mesurant la qualité de celle-ci.

Plage de puissance [kW]	Régression 2021				Régression 2022			
	a	b	R2	par	a	b	R2	par
	[CHF/kW]	[CHF]		plage	[CHF/kW]	[CHF]		plage
2-10	1970	6420	0.24		1930	9240	0.23	
10-30	1374	12382	0.35		1646	12072	0.38	
30-100	1221	16979	0.63		1307	22241	0.51	
100-300	1024	36606	0.53		1102	42753	0.43	

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

$$\text{Régression 2022 : coût HT [CHF]} = \min_k (a_k \cdot (\text{puissance [kW]}) + b_k)$$

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

$$=\text{MIN}(\{1930;1646;1307;1102\} \cdot A1 + \{9240;12072;22241;42753\}) \text{ avec } A1 \text{ la puissance en kW}$$

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.

La décroissance du coût spécifique est illustrée avec la Figure 14 dans laquelle l'échelle de puissance sur l'abscisse est logarithmique afin de permettre une visualisation de l'ensemble des données. Cette figure montre également les régressions pour les années 2021 et 2022. On remarque une augmentation significative du coût spécifique pour les installations de moins de 100 kW.

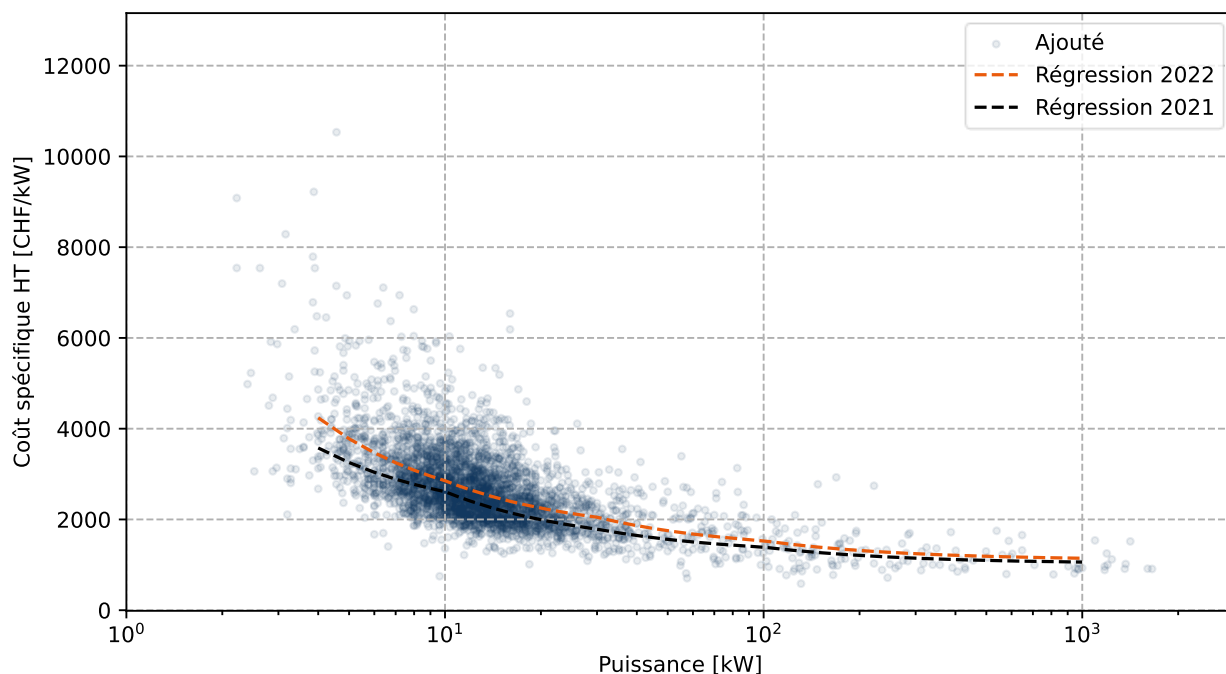


Figure 14 : Coût spécifique hors taxe des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance installée en échelle logarithmique. La courbe orange est la régression linéaire par morceaux du coût des installations ajoutées en 2022 exprimée ici en coût spécifique. La courbe noire donne la même régression pour le coût des installations ajoutées de l'année 2021.

La dépendance du coût spécifique avec la puissance peut également se voir en étudiant les médianes par plage de puissance. La Figure 15 montre cette représentation sous la forme de boxplot. Pour chaque plage de puissance, la "boîte" indique les quartiles 25 (Q1) et 75% (Q3), contenant par conséquent 50% des données. La longueur des T (whisker) est 1.5 fois la différence Q3-Q1. La barre orange est la médiane (Q2) des données 2022 et l'étoile la médiane pour l'année précédente.

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. À l'exception de la plage >1000kW, on remarque que les médianes 2022 (barres orange) sont toujours supérieures à celles obtenues en 2021 (étoiles). Une même tendance d'augmentation des coûts, mais moins marquée, avait déjà été observée l'année passée.

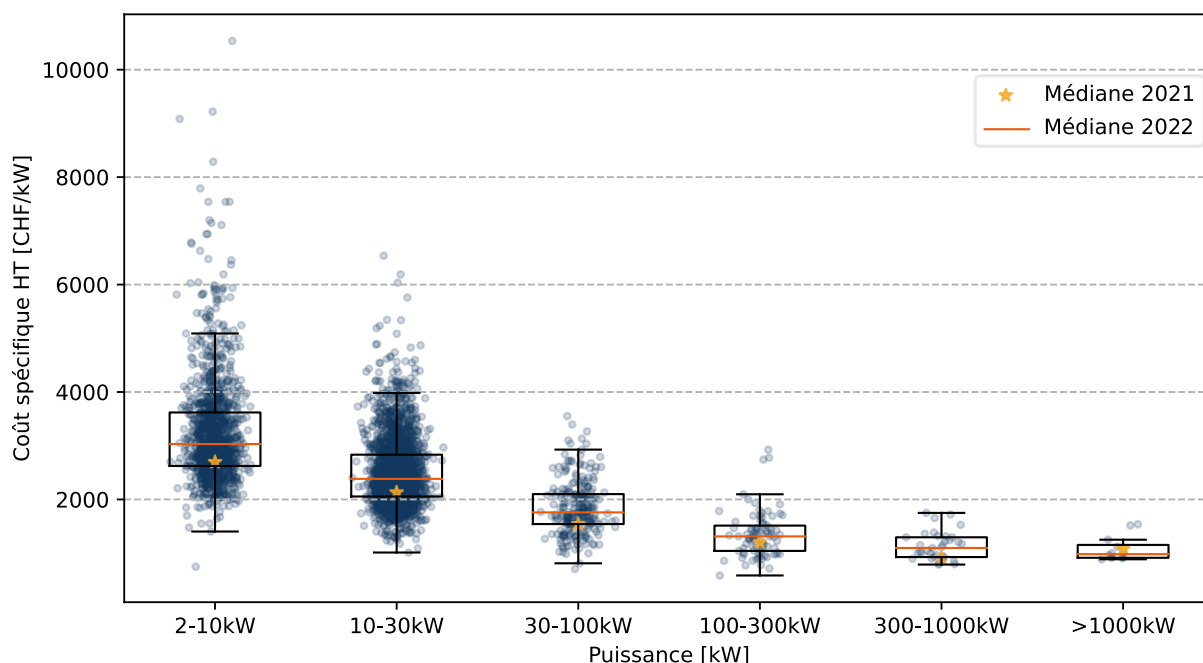


Figure 15 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées sous la forme de boxplot par plage de puissance. La barre orange indique la médiane du coût spécifique par la plage pour l'année 2022, l'étoile donne cette médiane pour l'année 2021. Les extrémités de la boîte correspondent aux quartiles 25% et 75%, indiquant que 50% des données sont contenues dans cet intervalle.

Globalement on retrouve la tendance d'une décroissance du coût spécifique. Le Tableau 4 donne les valeurs correspondantes à la figure précédente. On note que le coût spécifique médian décroît d'un facteur 3 entre les petites installations 3032 CHF/kW à 982 CHF/kW pour les très grandes installations.

Tableau 4 : 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	1253	748	2623	3032	3619	10533
10-30	2319	1012	2055	2384	2833	6537
30-100	246	706	1542	1759	2100	3552
100-300	86	585	1042	1312	1513	2927
300-1000	35	788	928	1097	1296	1750
>1000	12	886	914	982	1154	1538

4.2 Prix des installations intégrées

Les installations intégrées impliquent généralement un surcoût par rapport aux installations ajoutées. Ce surcoût est plus faible si l'installation est réalisée lors d'une rénovation nécessaire d'une toiture ou sur un bâtiment neuf. Malheureusement la quantité de données récoltées ne permet pas d'étudier ces effets. Cependant il est possible de comparer la médiane des coûts spécifiques par plage de puissance entre les installations ajoutées et intégrées. La Figure 16 illustre cette comparaison sous la forme d'un boxplot. On note que les coûts spécifiques des 181 installations intégrées sont supérieurs à ceux des installations ajoutées dans chaque plage de puissance.

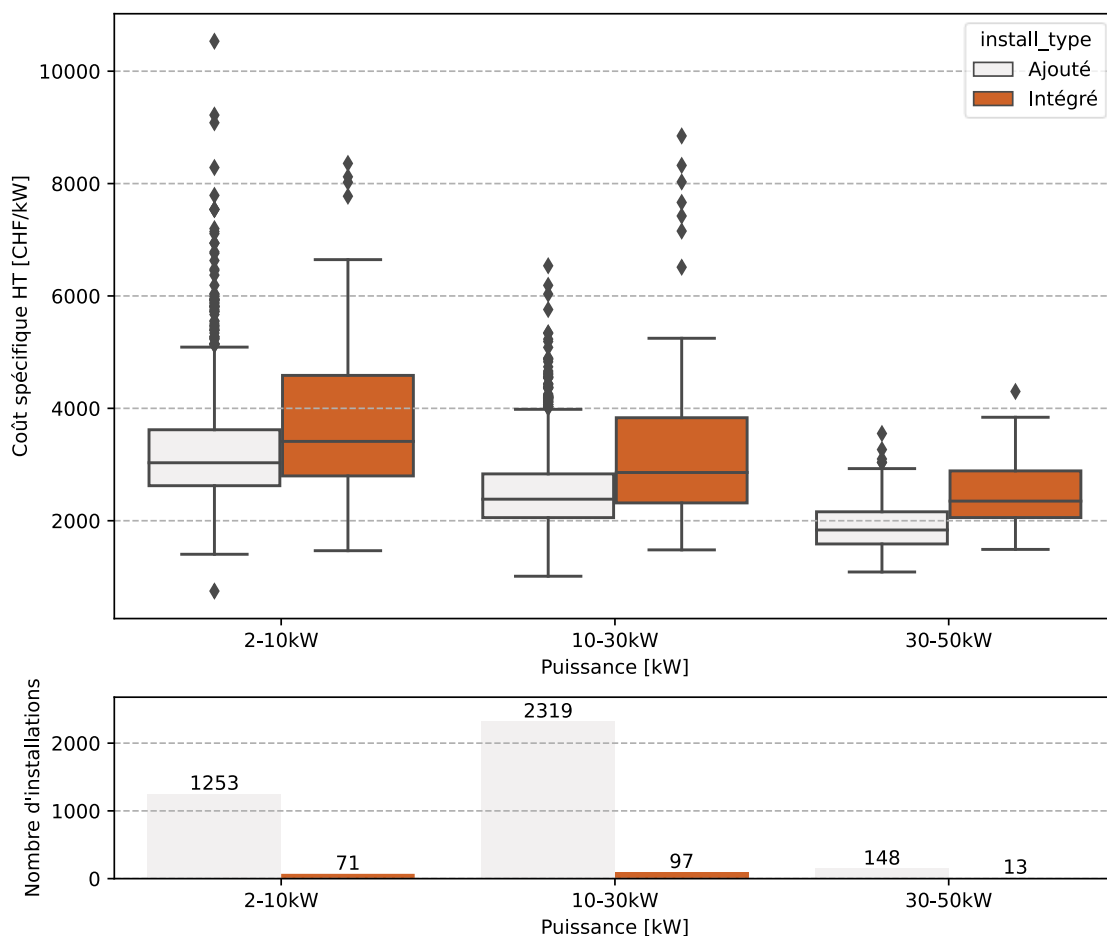


Figure 16 : Distribution du coût spécifique hors taxe des installations ajoutées et intégrées pour trois plages de puissance.

Le surcoût de l'intégré par rapport à l'ajouté est donné comme la différence entre les médianes par plage de puissance. Les surcoûts reportés dans le Tableau 5 se situent entre 13 et 28%.

Tableau 5 : Médianes des coûts spécifiques des installations ajoutées et intégrées par plage de puissance

Plage de puissance [kW]	Médiane coût spécifique [CHF/kW]		Surcoût intégré [%]
	Ajouté	Intégré	
2-10	3032	3412	13%
10-30	2384	2858	20%
30-50	1835	2349	28%

4.3 Prix des installations en fonction du type d'onduleur

La Figure 17 permet la comparaison des coûts spécifiques des installations ajoutées en fonction du type d'onduleur. Le coût des installations avec micro-onduleurs semble toujours être un petit peu supérieur aux installations avec un autre type d'onduleur. Il faut cependant noter que le nombre d'observations pour ce type d'onduleur est faible résultant en une incertitude non négligeable.

La différence entre le coût spécifique d'une installation avec onduleur de chaîne avec ou sans optimiseur semble ici pratiquement nulle. Cette différence nulle n'implique pas que le prix de l'onduleur avec optimiseur est au même prix que l'onduleur sans optimiseur, mais seulement que l'éventuel surcoût est compensé.

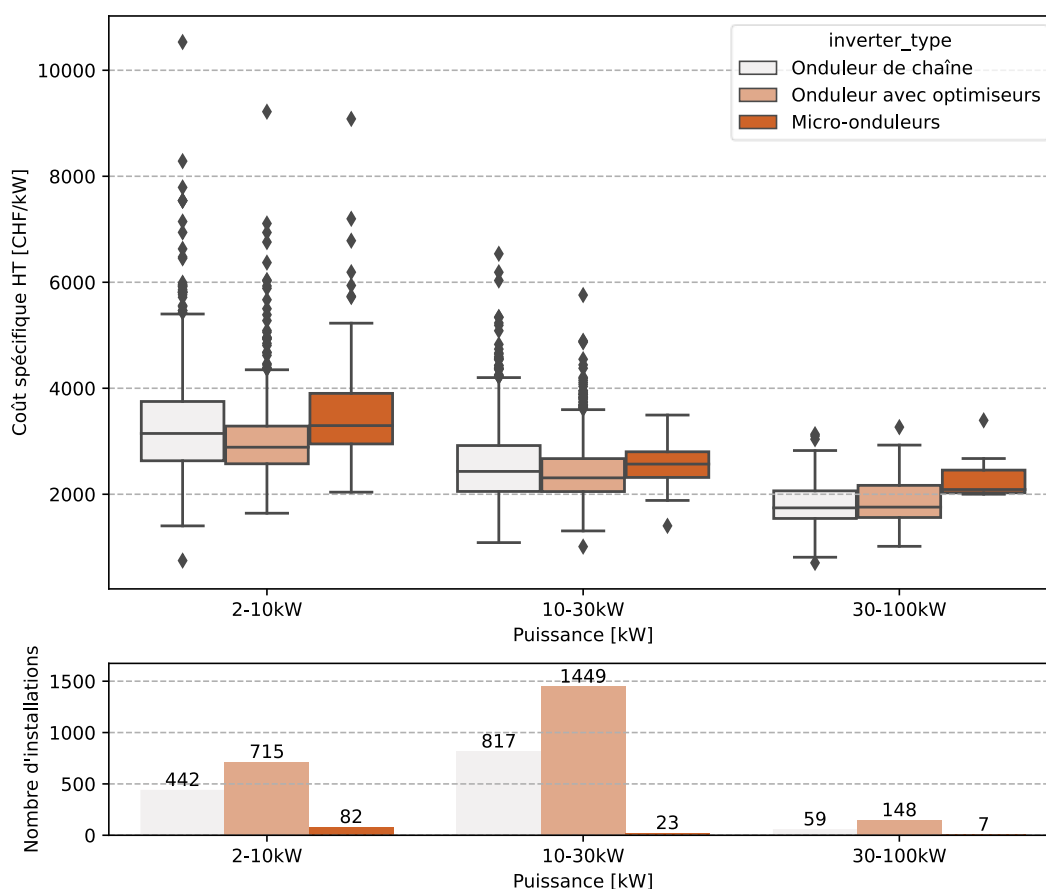


Figure 17 : Distribution du coût spécifique hors taxe pour les trois types d'onduleur et trois plages de puissance.

4.4 Prix des installations en fonction du type de toiture

Certains types de toiture peuvent impliquer des surcoûts, c'est généralement le cas des toitures végétalisées. La Figure 18 montre les coûts spécifiques des installations ajoutées par type de toiture et plage de puissance. Les 3 observations dans la plage 10-30kW d'installations avec toiture végétalisée indiquent un surcoût de près de 30%. On observe également une différence significative entre les toitures en tuiles et graviers dans les deux plages de 30 à 300kW. Les installations sur tuiles présentent comparativement un surcoût de 20 à 30%. La complexité technique des installations sur toiture plate avec étanchéité nue implique d'importants surcoûts comme on peut le constater dans la plage 100-300kW. Cette remarque mériterait cependant davantage d'observations pour la quantification de ce surcoût.

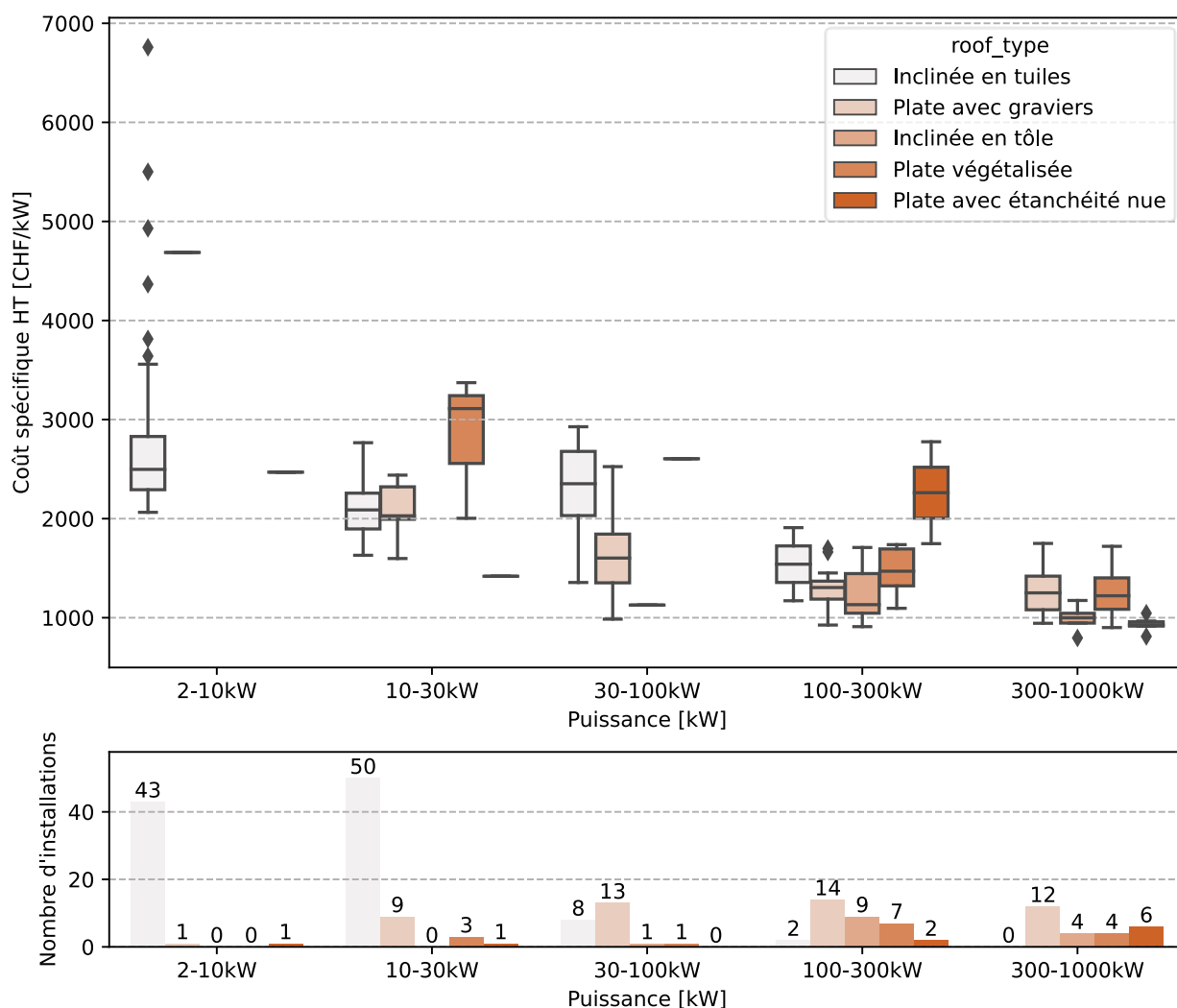


Figure 18 : Distribution du coût spécifique hors taxe pour les 5 types de toiture et plages de puissance.

4.5 Composition 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 reportées 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.

Cette analyse est réalisée sur l'ensemble des installations ajoutées dont la répartition par plage de puissance est donnée dans la Figure 19. La différence avec la Figure 6, est qu'ici uniquement les installations ajoutées sont considérées. Pour chaque plage de puissance, le coût spécifique des 8 catégories suivantes est calculé :

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

Ce coût est calculé comme la valeur médiane des coûts spécifiques de cette catégorie en excluant les valeurs nulles.

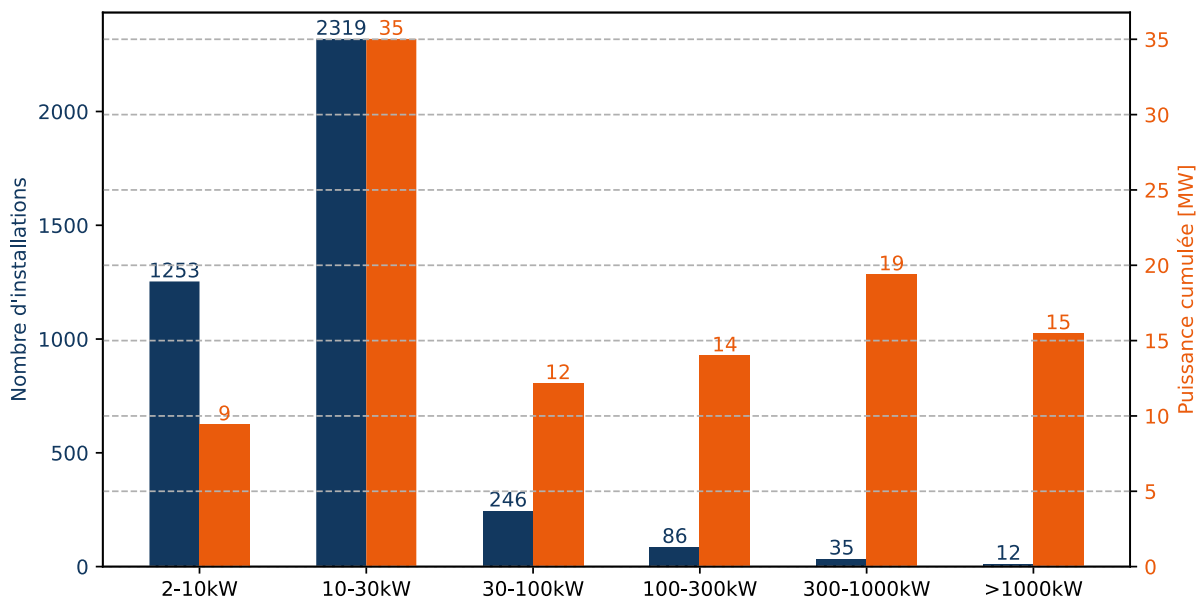


Figure 19 : Nombre et puissance cumulée des installations ajoutées par plage de puissance.

La Figure 20 montre la corrélation entre le coût pour chacune des catégories avec la taille de l'installation. On note une corrélation linéaire claire pour les modules, onduleurs, structure, matériel électrique et main-d'œuvre. Le chiffrage de la sécurité de chantier et sécurité permanente ne semble pas toujours corrélé à la taille de l'installation. Les coûts d'administratifs et de planification semble être parfois corrélés à la puissance et parfois être défini au forfait.

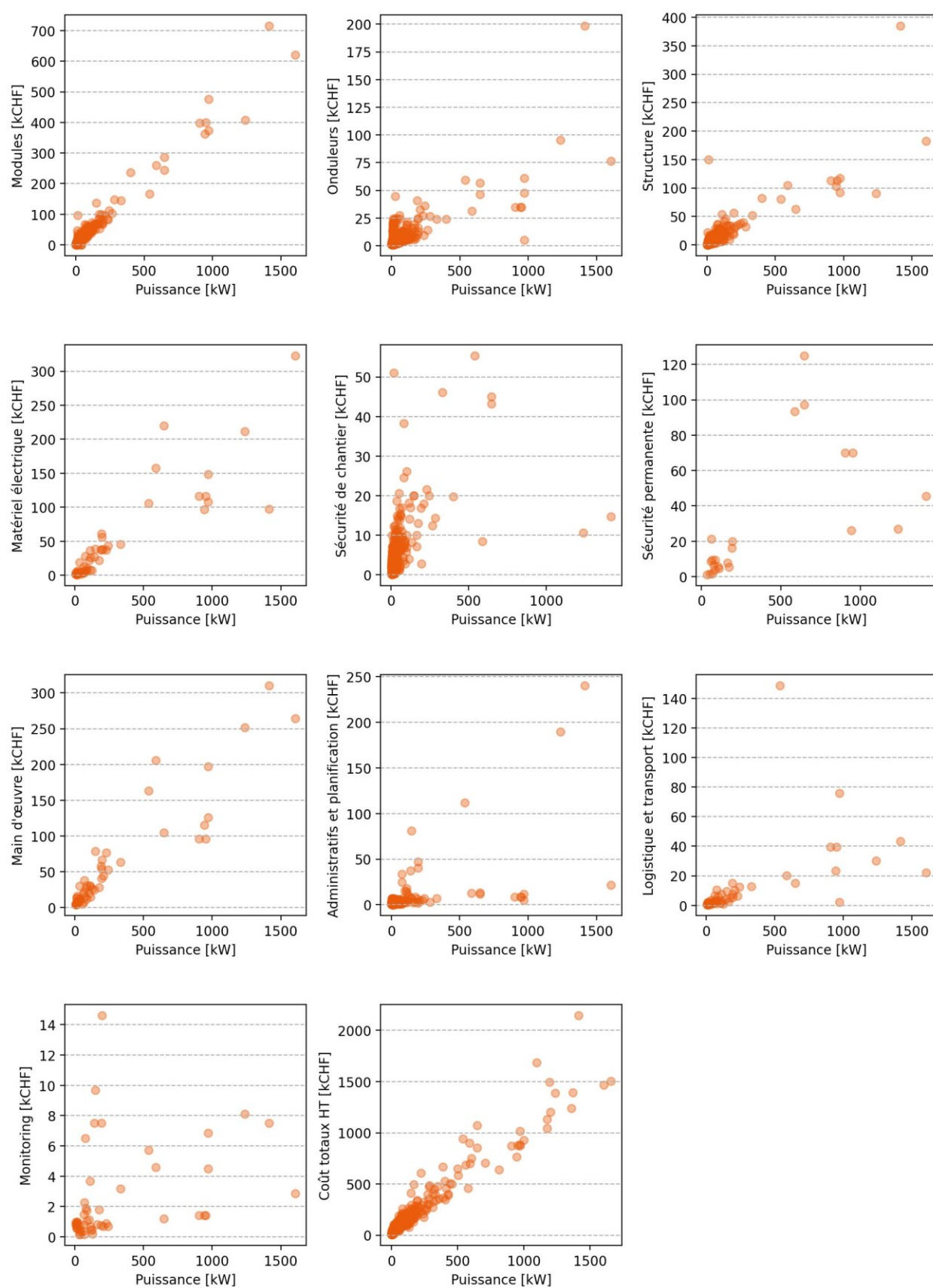


Figure 20 : Coûts par catégorie en fonction de la taille de l'installation ajoutée.

La décomposition des coûts est présentée dans la Figure 21. Pour chaque plage de puissance et catégorie est donnée la médiane du coût spécifique [CHF/kW], le pourcentage par rapport à la médiane du coût spécifique de la plage (Tableau 4) et en parenthèses le nombre de points sur laquelle la médiane a été calculée. À noter qu'aucune valeur n'est donnée pour le coût de la sécurité sur les deux premières plages de puissance. Cette approche permet d'utiliser toutes les données à disposition et ainsi réduire l'incertitude sur la médiane du coût spécifique par catégorie. Le coût spécifique de la catégorie "Autres" est calculé comme la différence entre la médiane du coût spécifique de la plage de puissance et la somme des médianes des coûts spécifiques catégorisés (1-8). À noter qu'en raison du faible nombre d'observations pour les installations > 300 kW, cette différence est négative. Par conséquent les médianes des coûts spécifiques catégorisés ont été normalisées de sorte que la somme corresponde à la médiane de la plage. Il faut s'attendre à une grande incertitude pour les valeurs données pour les deux plages > 300 kW.

On observe que la part des modules croît de manière significative avec la puissance de 17% pour les petites installations à près de 35% pour les grandes. Le coût du matériel électrique suit une tendance similaire. À l'inverse la part des onduleurs est décroissante. Les parts de la structure et main-d'œuvre sont quant à eux relativement homogènes sur l'ensemble des plages de puissance.

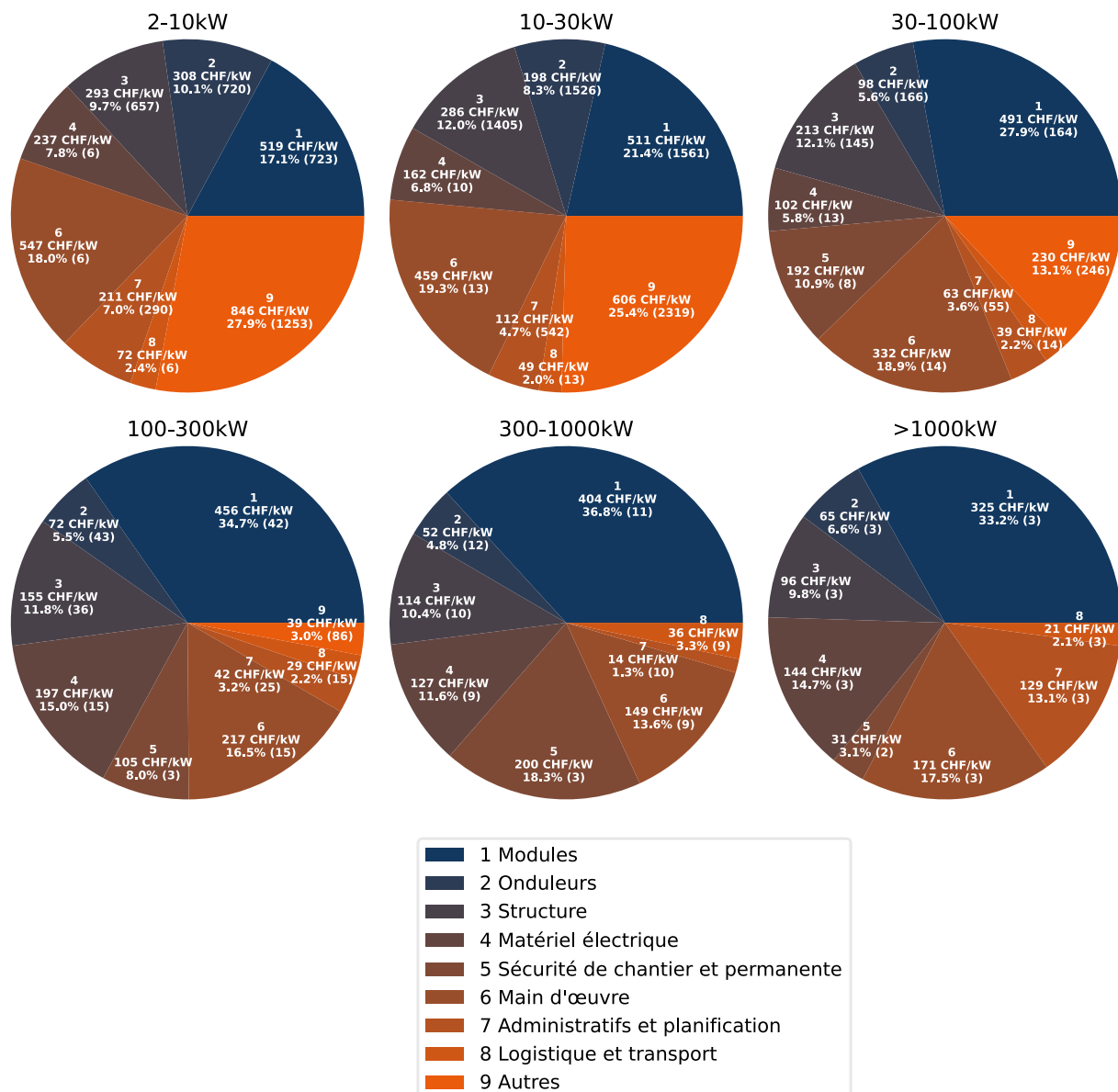


Figure 21 : Décomposition des coûts des installations ajoutées en 9 catégories

4.6 Évolution dans le temps

L'analyse suivante évalue l'évolution des coûts entre 2018 et 2022. La Figure 22 donne l'évolution des coûts spécifiques des installations photovoltaïques ajoutées sous la forme des quartiles et extremums pour les 5 années et 5 plages de puissance. On remarque que l'année 2022 rompt la tendance décroissante observée sur les 3 premières années avec des coûts spécifiques supérieurs à ceux de l'année précédente. Cette observation s'explique par les difficultés d'approvisionnement suite à la pandémie de COVID, la croissance de la demande et l'inflation.

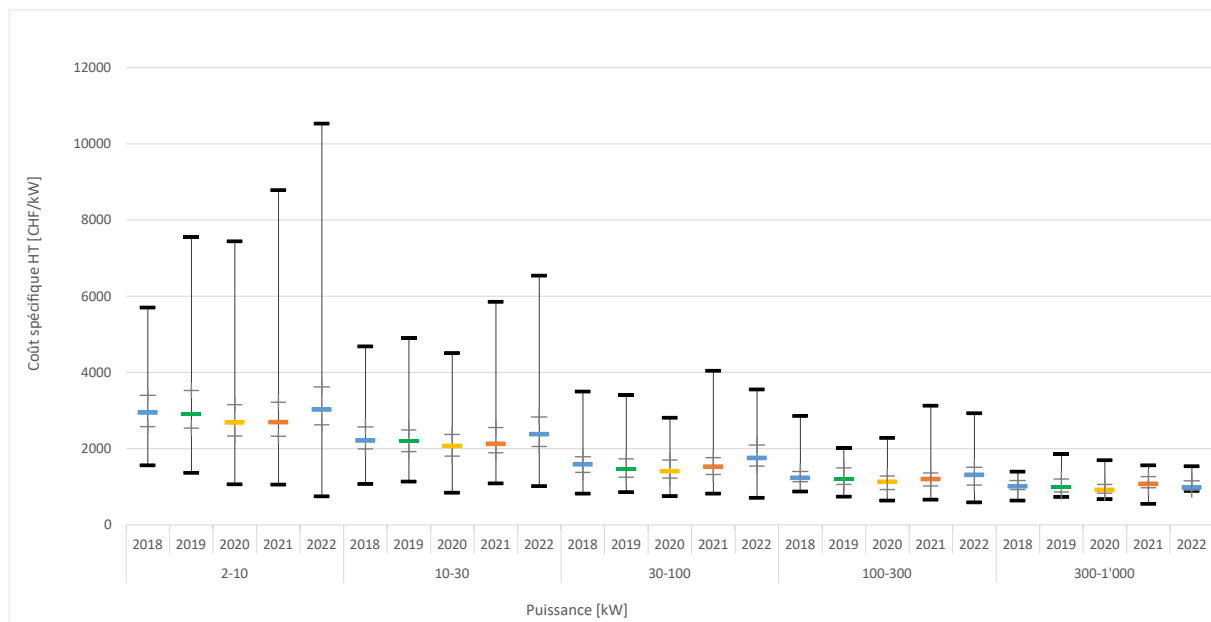


Figure 22 : Évolution de la répartition statistique du coût spécifique en CHF HT/kW des installations photovoltaïques ajoutées pour chaque plage de puissance. Cinq plages de puissance sont représentées, avec pour chaque plage les données 2018, 2019, 2020, 2021 et 2022. Les traits centraux colorés correspondent 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 6 : Médianes des coûts spécifiques des installations ajoutées des 5 dernières années. Le tableau indique également la variation relative par rapport à l'année précédente.

Plage de puissance [kW]	Médiane coût spécifique [CHF/kW]					Variation par rapport à l'année précédente			
	2018	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	-1%	-8%	0%	12%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	-1%	-6%	3%	12%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	-8%	-4%	9%	15%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	-2%	-7%	6%	9%
300-1000	1016	990	919	913	1097	-3%	-7%	-1%	20%
>1000		777	819	1075	982		5%		-9%

5. Facteurs influençant les coûts

Dans le chapitre précédent, une courbe de référence (Régression 2022) a été établie sur la base de l'ensemble des coûts des installations ajoutées. Dans la pratique le coût d'une installation dépend de nombreux facteurs techniques dont l'impact financier n'est pas toujours quantifiable de manière statistique. Le type d'installation (ajouté ou intégré), le type d'onduleur et le type de toiture sont les facteurs pour lesquels la corrélation avec le coût spécifique a pu être quantifiée. Ce chapitre a pour objectif d'expliquer de manière qualitative comment certains facteurs peuvent mener à une plus-value ou moins-value par rapport à la courbe de référence.

Cheminement des câbles

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, modules de couleur, des tuiles solaires, 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 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 ajouter 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. La disparité au niveau cantonal dans les formulaires et traitements du devoir d'annonce peut se refléter sur les coûts. Au niveau communal, l'interprétation de la LAT peut accroître ou réduire la part des demandes nécessitant un permis de construire. De manière générale, on s'attend à ce que la part du coût des démarches administratives diminue notamment grâce à la mise en place de plateforme pour le traitement administratif tel que ElektroForm solar.

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.

Coûts internes de gestion de projet et planification externe

Les coûts présentés se basent principalement sur des offres d'installateurs n'incluant par conséquent pas les coûts de gestion du projet en interne ou ceux d'une planification externe. Ces deux coûts sont liés, car une planification externe permet de réduire les coûts internes de gestion. On s'attend à ce que pour les petites installations (<100kW), la gestion et planification se fasse davantage en interne. Le coût de celles-ci est rarement quantifié. Pour les grandes installations (>100kW), la planification externe peut représenter un surcoût non négligeable.

6. Conclusion

L'étude a analysé 4'161 données de coûts d'installations photovoltaïques recueillies principalement auprès d'installateurs. Avec une focalisation particulière sur les 3'953 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 décomposition des coûts a permis d'établir la médiane du coût spécifique par catégorie pour l'ensemble des plages de puissance. Les parts les plus importantes sont celles du coût de la main-d'œuvre et des modules. Pour les grandes installations, la part des modules est deux fois plus importante que sur les petites installations.

La comparaison avec les données récoltées avec celles des années précédentes a montré que la décroissance des coûts spécifiques s'est interrompue en 2021 et inversée en 2022. Par rapport à l'année 2021, une installation chiffrée en 2022 s'est vendue en moyenne 12% plus cher.

Cette croissance ne se renouvèlera peut-être pas en 2023 en raison d'une quantité anormale de modules stockés en Europe (expédition de l'ordre de 80 GW pour un marché "normal" de 40 à 50 GW). La Figure 23 montre que le coût spécifique des modules a chuté de près de 25% sur le premier semestre 2023.

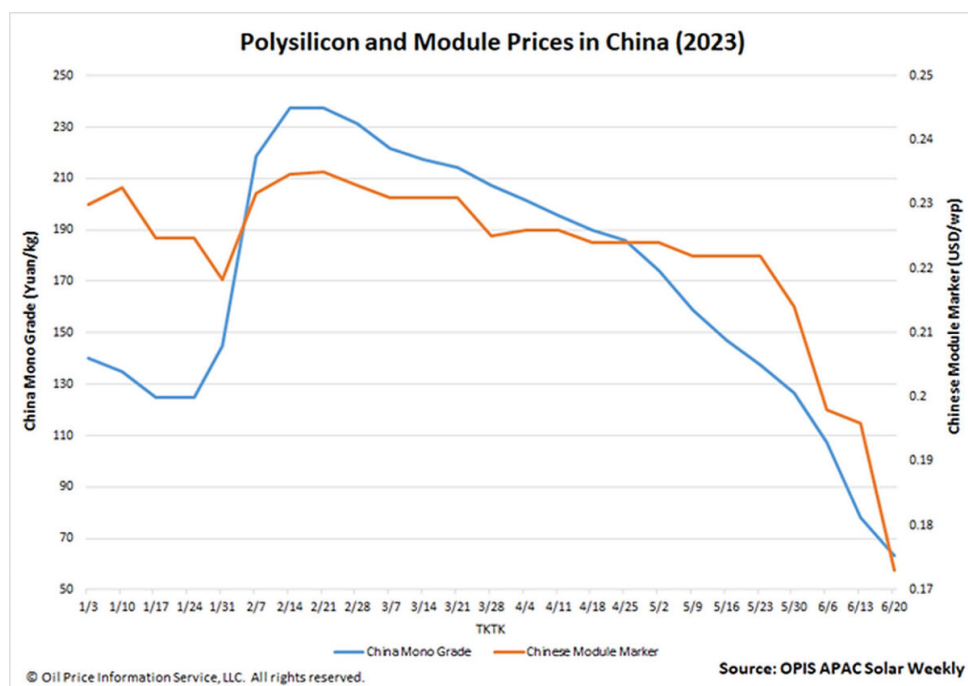


Figure 23 : Réduction de 25% du coût spécifique des modules observée sur le premier semestre 2023.

Source : <https://www.pv-magazine.com/2023/06/23/china-solar-module-prices-keep-diving/>

7. 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.

8. Références

- [1] Thomas Hostettler et Andreas Hekler, « Statistiques de l'énergie solaire - Année de référence 2021 », OFEN, juill. 2022.