

Rapport final, 13 juin 2024

# Observation des prix de marché photovoltaïque 2023

**Auteurs**

Lionel Bloch, Planair SA

Yannick Sauter, Planair SA

La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.

La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.

# Contenu

<b>1.</b>	<b>Résumé de l'étude .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Méthodologie.....</b>	<b>5</b>
2.1	Sources des données .....	6
2.2	Cadre de l'étude.....	7
<b>3.</b>	<b>Analyse statistique des données .....</b>	<b>8</b>
3.1	Caractéristiques des installations PV .....	9
3.2	Représentativité du marché .....	12
<b>4.</b>	<b>Analyse du coût spécifique .....</b>	<b>14</b>
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.....	20
4.6	Évolution dans le temps.....	24
<b>5.</b>	<b>Facteurs influençant les coûts .....</b>	<b>25</b>
5.1	Cheminement des câbles .....	25
5.2	Type de toiture et surfaces disponibles .....	26
5.3	Contraintes architecturales (couleur, intégration) .....	26
5.4	Etat de la construction .....	26
5.5	Sécurité.....	27
5.6	Démarches administratives.....	27
5.7	Monitoring, performances et gestion de l'énergie .....	27
5.8	Raccordement / installations et sécurité électriques .....	27
5.9	Marché et concurrence .....	27
5.10	Marché public ou privé.....	28
5.11	Regroupements pour la consommation propre .....	28
5.12	Coûts internes de gestion de projet et planification externe.....	28
<b>6.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>29</b>
<b>7.</b>	<b>Remerciements .....</b>	<b>29</b>
<b>8.</b>	<b>Références.....</b>	<b>29</b>

# 1. Résumé de l'étude

Le marché photovoltaïque suisse est en plein essor depuis plusieurs années. La puissance photovoltaïque installée annuellement en Suisse croît rapidement comme le montre la Figure 1 .

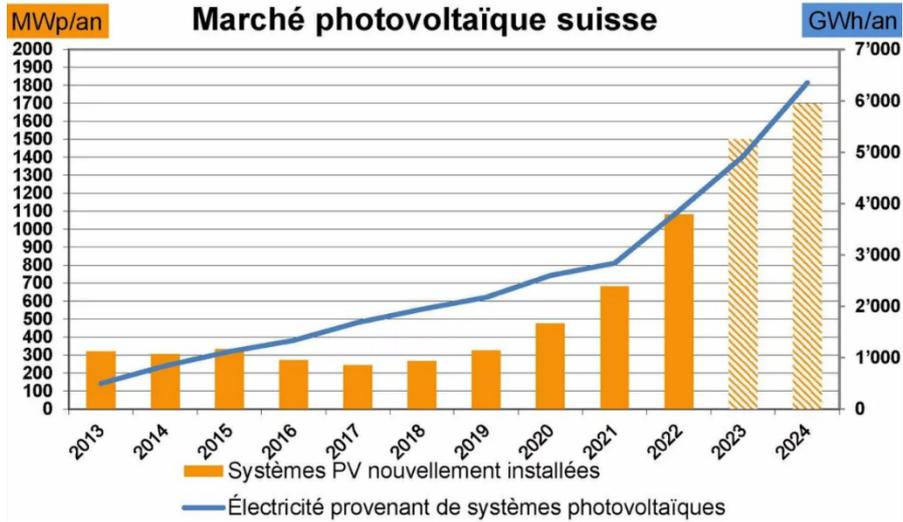


Figure 1 : Évolution du marché photovoltaïque suisse. En 2023, la capacité photovoltaïque ajoutée est estimée à 1500 MW, estimation Swissolar le 20.12.2023 [1]

Jusqu'en 2020 cette croissance du marché liée à une croissance mondiale du marché PV a eu pour conséquence une diminution des coûts des installations photovoltaïques. Le présent rapport analyse ces coûts pour l'année 2023, 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, 2'937 observations ont été compilées. L'étude se focalise en particulier sur les 2'788 installations réalisées en ajout sur toiture. La Figure 2 montre que le coût spécifique (CHF/kW) de celles-ci décroît avec la puissance installée (kW).

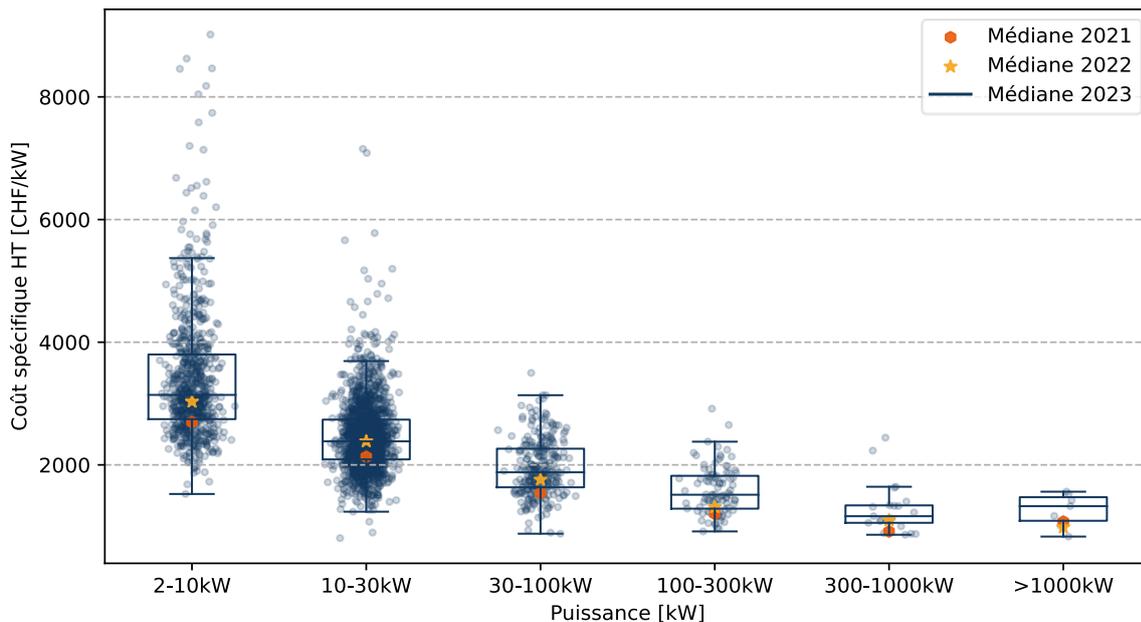


Figure 2 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées sur toiture des bâtiments par plage de puissance. La barre bleue indique la médiane du coût spécifique pour l'année 2023, l'étoile jaune et l'hexagone orange donnent ces médianes pour les années 2022 et 2021 respectivement. Les extrémités 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. Le Tableau 1 montre que par rapport à l'année 2022, une installation chiffrée en 2023 s'est vendue en moyenne 7% 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	2023	2019	2020	2021	2022	2023
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	3141	-1%	-8%	0%	12%	4%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	2384	-1%	-6%	3%	12%	0%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	1879	-8%	-4%	9%	15%	7%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	1513	-2%	-7%	6%	9%	15%
300-1000	1016	990	919	913	1097	1163	-3%	-7%	-1%	20%	6%
>1000		777	819	1075	982	1326		5%		-9%	

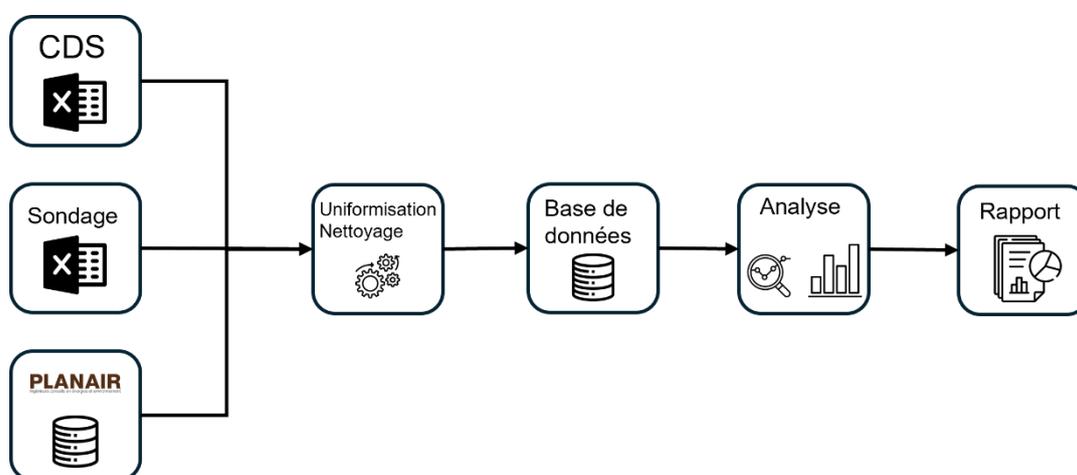
L'étude montre que la composition des coûts est dépendante de la taille de l'installation photovoltaïque. En particulier la part des modules croît avec la puissance pour atteindre près de 40%. La part de la main-d'œuvre prend également une part significative, ensemble avec les modules, ils représentent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

## 2. Méthodologie

Cette étude vise à déterminer le coût spécifique médian d'une installation photovoltaïque ajoutée en toiture et à identifier les caractéristiques influençant ce coût. Pour ce faire, des données d'offres et factures chiffrées en 2023 sont récoltées. Ces données proviennent de trois sources distinctes :

1. Check-devis-solaire (CDS) : outil web d'analyse d'offre proposé par SuisseEnergie
2. Sondage : un sondage est envoyé à de nombreux installateurs en Suisse
3. Planair : Une base de données interne composée à partir d'offres et de réalisations

Ces données sont uniformisées, les données invraisemblables sont filtrées et une base de données unique est constituée. À partir de cette dernière sont réalisées l'analyse des coûts et la génération des résultats pour le présent document.



## 2.1 Sources des données

Une grande partie des données provient des offres reçues dans le cadre du service « check-devis-solaire »<sup>1</sup> de SuisseEnergie (comparatif de devis solaires par des experts de SuisseEnergie). Ces données référencent principalement des installations dont la puissance est inférieure à 30kW. Les champs extraits pour chaque offre sont les suivants :

- Date l'offre
- Puissance de l'installation
- Coût total HT
- Code postal
- Type d'installation
- Rendement des modules
- Type d'onduleur
- Coût des modules
- Coût des onduleurs
- Coût de la structure
- Coût de la sécurité de chantier
- Coûts administratifs et planification

La deuxième source de données est le résultat d'un sondage réalisé auprès de nombreux installateurs. Pour chaque offre ou facture, les champs listés dans le Tableau 2 sont récoltés. 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
<b>INFORMATIONS ESSENTIELLES</b>	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	
<b>INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES</b>	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, Inclinée en tôle, Inclinée en tuiles, Autre
	Type d'onduleur	Onduleur de chaîne, Onduleur avec optimiseurs, Micro-onduleurs
	Monitoring inclus dans le coût de l'installation	Oui/Non
<b>INFORMATIONS FACULTATIVES</b>	Sécurité chantier incluse dans le coût de l'installation	Oui/Non
	Sécurité permanente incluse dans le coût de l'installation	Oui/Non
	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		

<sup>1</sup> <https://www.suisseenergie.ch/tools/check-devis-solaire/>

La troisième source de données est une base de données du bureau de planification Planair. Celle-ci est également constituée à partir d'offres ou factures d'installateurs et les champs renseignés sont identiques à ceux du sondage.

## **2.2 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.

### **Cadre général :**

- Les données sont basées sur des factures d'installations réalisées en 2023 ou sur des offres émises en 2023.
- 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 donne une vue d'ensemble des données récoltées et de leur représentativité vis-à-vis du marché suisse. Dans le cadre de cette étude, 2'937 observations ont été compilées dont 84% proviennent du service CDS.

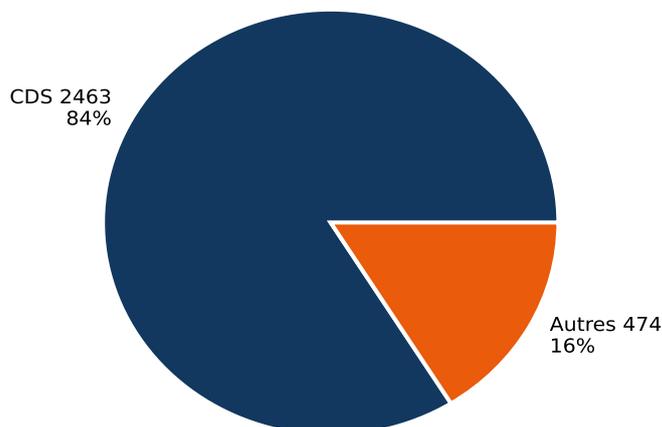


Figure 3 : Nombres et parts de données récoltées dans le cadre du CDS et auprès des installateurs et maîtres d'ouvrage (Autres).

La Figure 4 présente la répartition du nombre d'installations et de la puissance cumulée par plage de puissances. La puissance renseignée est la puissance DC donnée par le produit du nombre de modules et de leur puissance nominale (STC). Dans les données récoltées, les puissances des installations sont comprises entre 2 et 1'500 kW.

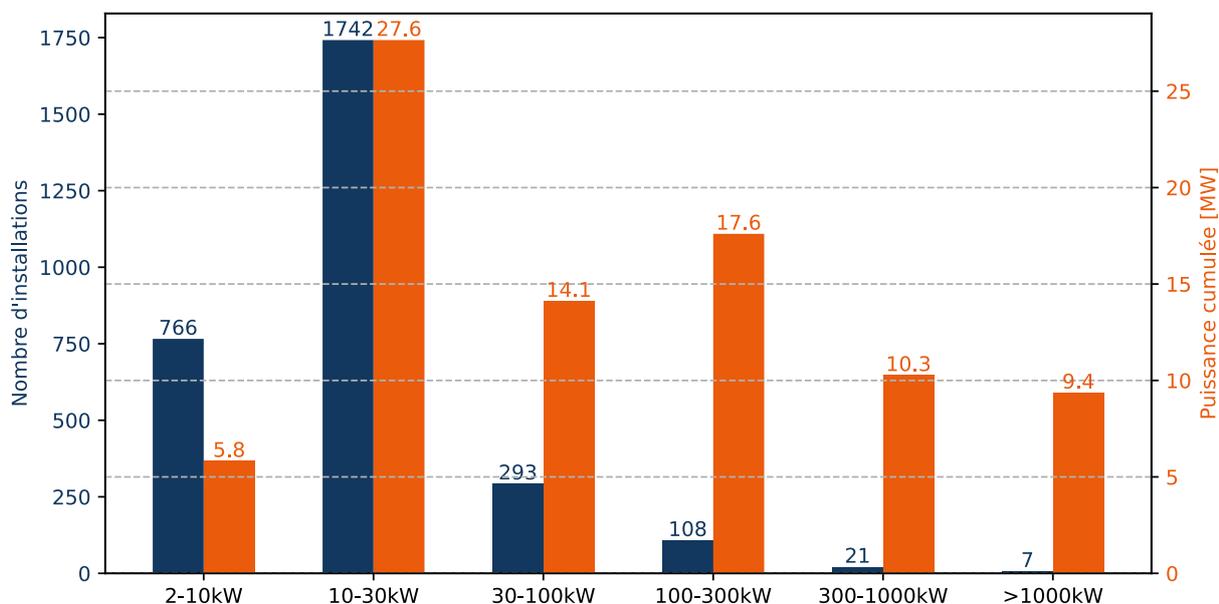


Figure 4 : Répartition des données recueillies pour l'étude par plage de puissance.

### 3.1 Caractéristiques des installations PV

La Figure 5 donne la répartition des informations essentielles indiquées dans le Tableau 2. Parmi les données récoltées, 95% sont des installations réalisées en ajouté. Le coût de ces installations est donné dans 90% des cas par une offre et dans 10% par une facture. Cette proportion de factures est un peu plus élevée que l'année précédente [1], cependant la répartition entre le premier et le second semestre est bien équilibrée.

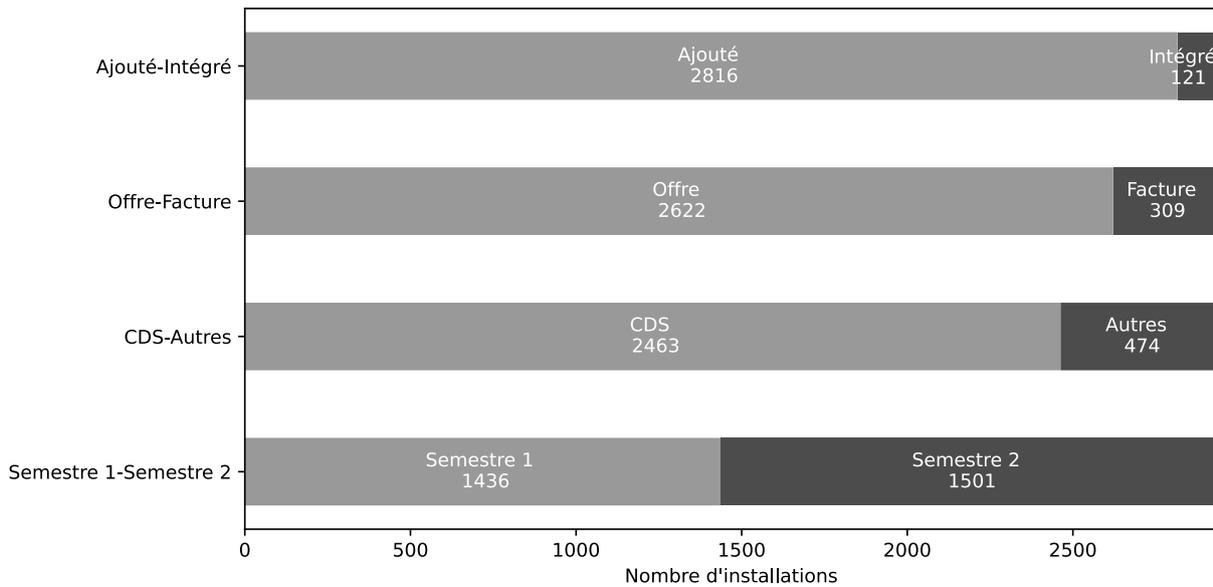


Figure 5 : Répartition des caractéristiques essentielles.

La Figure 6 montre que dans ~85% des cas, le monitoring et la sécurité de chantier sont inclus dans l'offre. Cependant une sécurité permanente n'est incluse que pour 24% des installations. Cette proportion augmente à 42% si l'on considère uniquement les installations de plus de 30 kW.

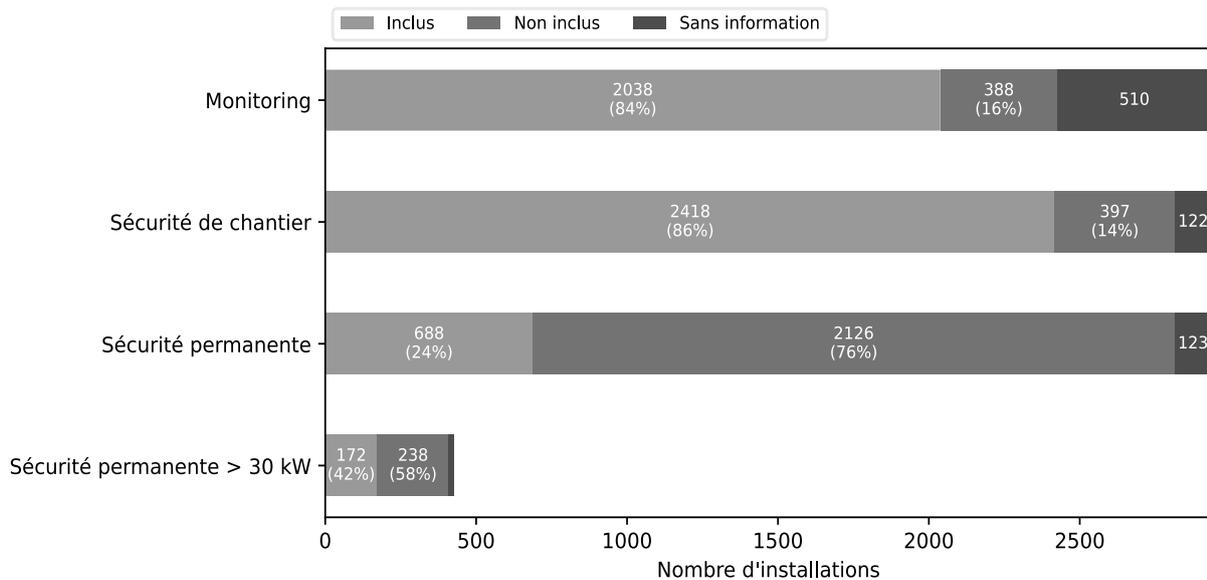


Figure 6 : Caractéristiques optionnelles qui indiquent si le monitoring, la sécurité de chantier ou la sécurité permanente ont été inclus dans les prestations et les coûts des installations photovoltaïques étudiées.

La répartition entre les micro-onduleurs, les onduleurs avec optimiseurs et les onduleurs de chaîne est proche de celle de l'année précédente avec 5% pour les premiers, 28% pour les seconds et 67% pour les onduleurs de chaîne. Les onduleurs sont catégorisés dans 'Onduleur avec optimiseurs' du moment qu'un optimiseur est présent. En effet, les onduleurs Huawei ou le système Tiko permettent une optimisation partielle. À noter que cette classification pour les données du CDS est réalisée à partir du nom et modèle de l'onduleur pouvant engendrer des erreurs. Un onduleur 'Huawei' sans information supplémentaire est classé comme 'Onduleur de chaîne'.

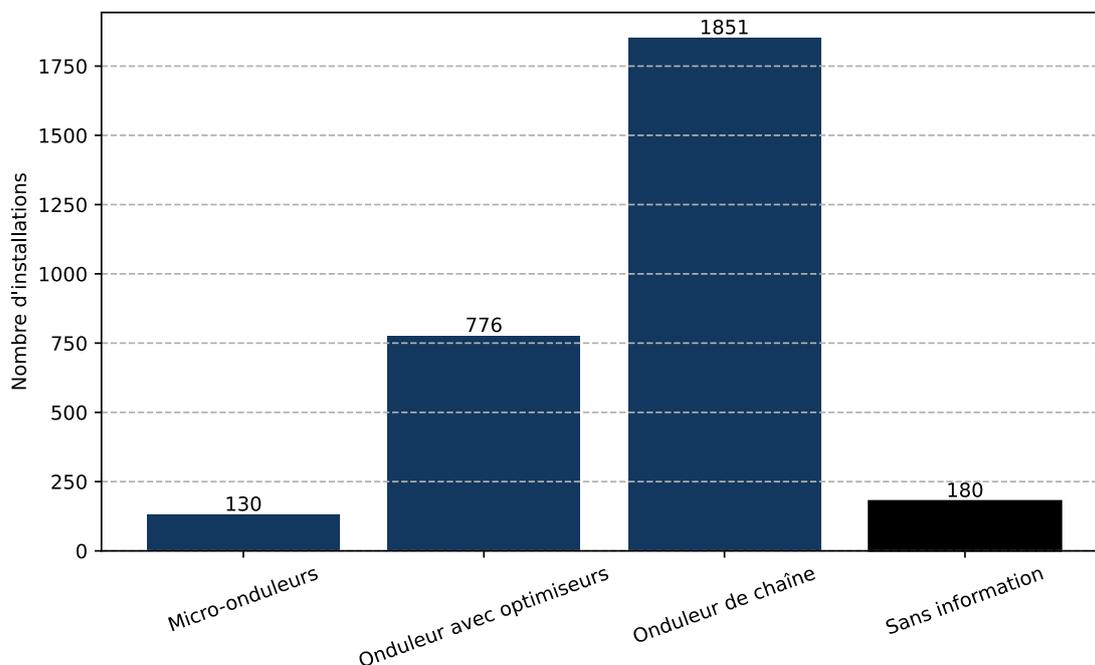


Figure 7 : Le type d'onduleur proposé ou installé a été renseigné pour 94% des installations.

Le type de toiture (Figure 8) a été renseigné pour seulement 10% des installations, car cette information n'est pas disponible dans les données provenant du CDS. Comme ce service est utilisé principalement par des particuliers pour l'évaluation d'offres pour des installations photovoltaïques de petites tailles, il est probable qu'une partie importante des toitures 'Sans information' soit des toitures inclinées en tuiles.

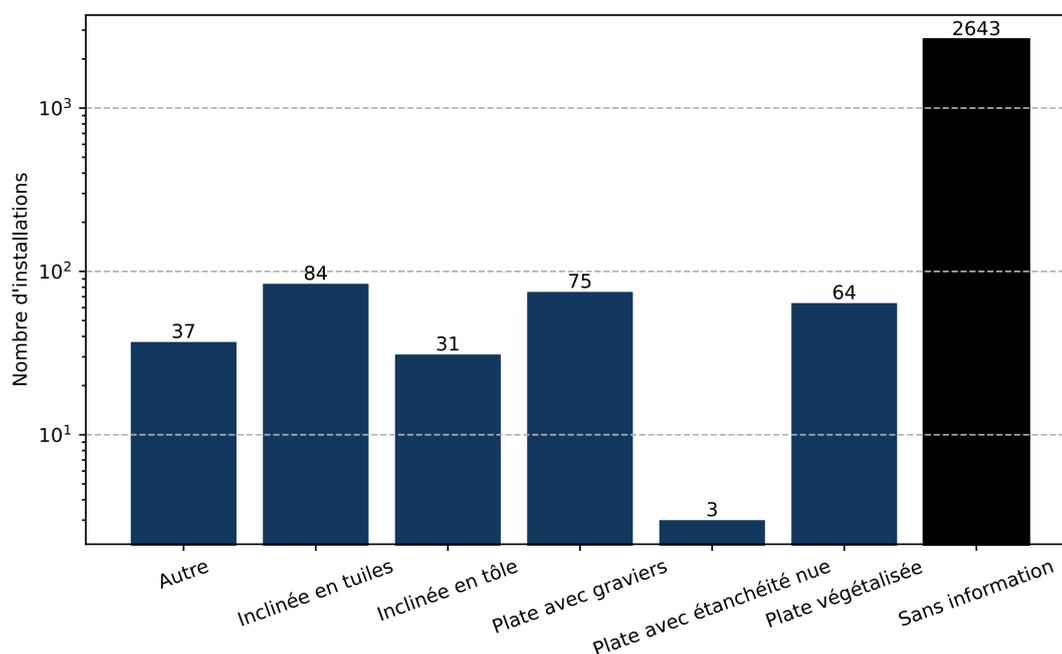


Figure 8 : Répartition du type de toiture dans les données récoltées.

La Figure 9 donne la répartition de l'origine des modules. Dans une grande proportion (81%), les modules ne sont pas fabriqués en Europe et proviennent principalement de Chine. Seul environ 1% des installations est réalisé avec des modules fabriqués en Suisse.

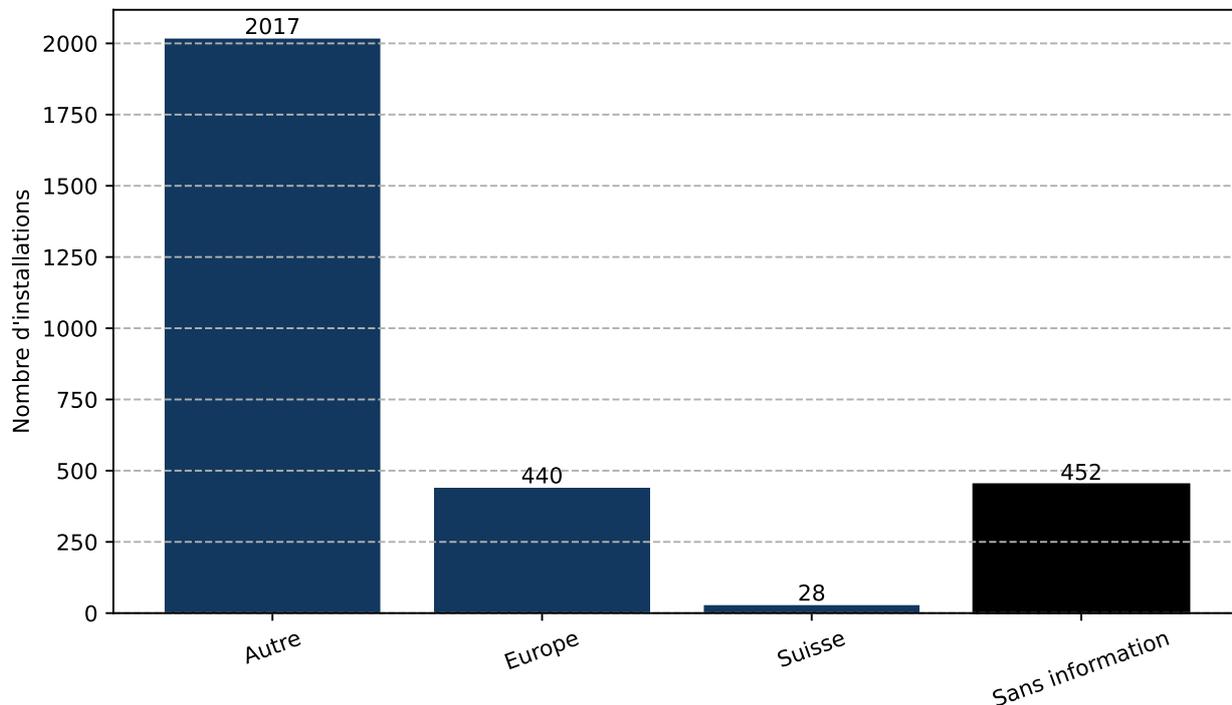


Figure 9 : Répartition de l'origine des modules. L'origine des modules classés sous 'Autre' n'a pas été évaluée, mais doit correspondre en grande partie à la Chine. La catégorie Europe n'inclut pas la catégorie suisse.

L'efficacité des modules choisis est connue pour 60% des installations référencées. La Figure 10 montre l'histogramme de cette efficacité, on notera que la médiane pour l'année 2023 se situe à 21.5%.

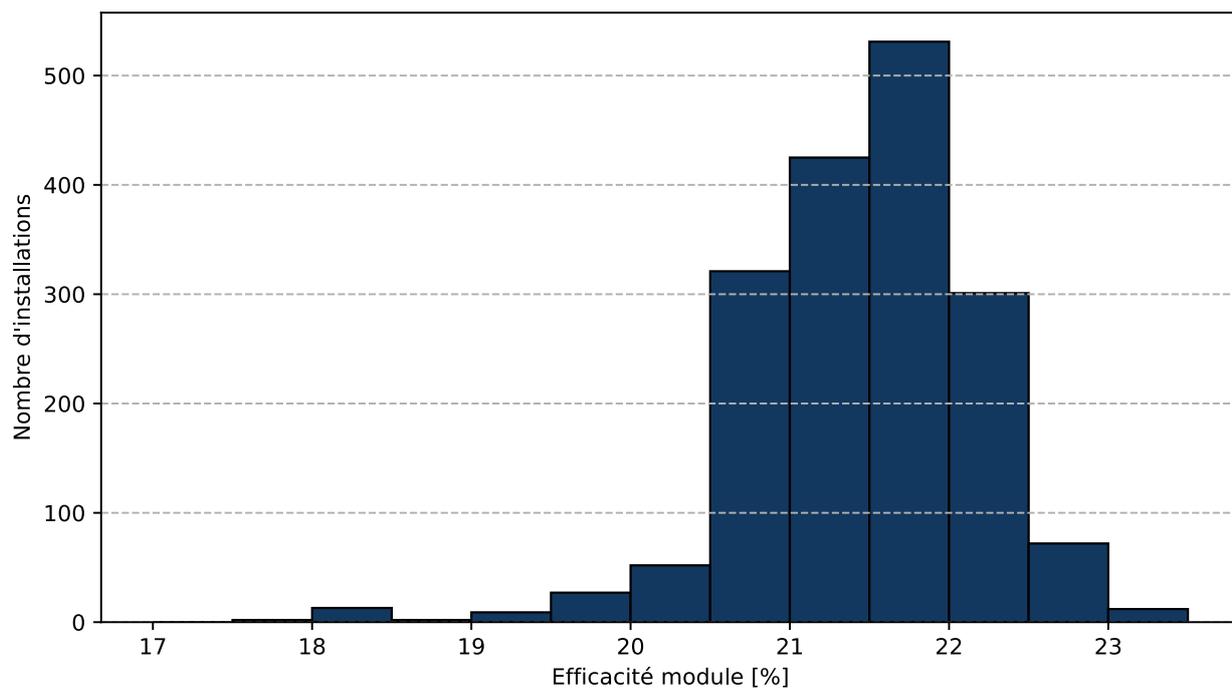


Figure 10 : Histogramme de l'efficacité des modules.

### 3.2 Représentativité du marché

Afin d'obtenir des statistiques de prix qui soient représentatives du marché suisse, il est nécessaire que les données récoltées soient représentatives de ce marché. Il n'existe pour l'instant pas de statistique à l'échelle nationale sur la répartition du type d'onduleur ou de toitures. Ce qui est cependant disponible est la répartition des installations par plage de puissance. Le rapport *Statistiques de l'énergie solaire* [2], donne cette statistique pour l'année 2022. Le rapport pour l'année 2023 n'étant pas encore publié, on fait ici l'hypothèse que la répartition reste similaire en 2023.

La Figure 11 montre que les données récoltées dans le cadre de l'observation des prix du marché sont bien représentatives 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).

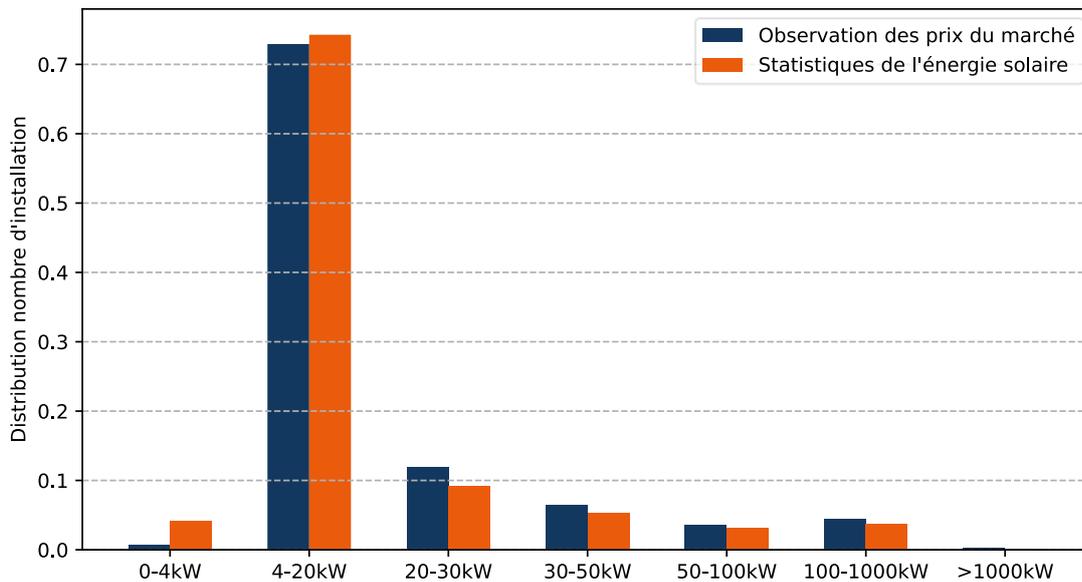


Figure 11 : Distribution du nombre d'installations photovoltaïques par plage de puissance [kW].

La Figure 12 montre cette même distribution, mais en termes de puissance et non de nombre. On observe la même tendance en termes de représentativité.

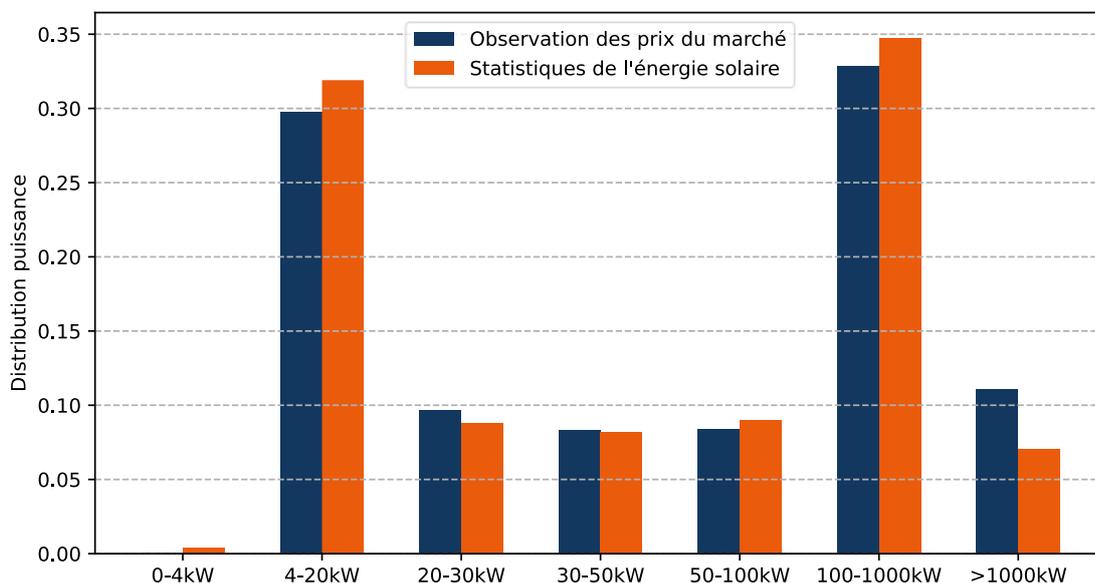


Figure 12 : Distribution de la puissance des installations photovoltaïques par plage de puissance [kW].

La Figure 13 montre le nombre d'observations par canton. On note une sous-représentation de la partie est et centrale de la Suisse.

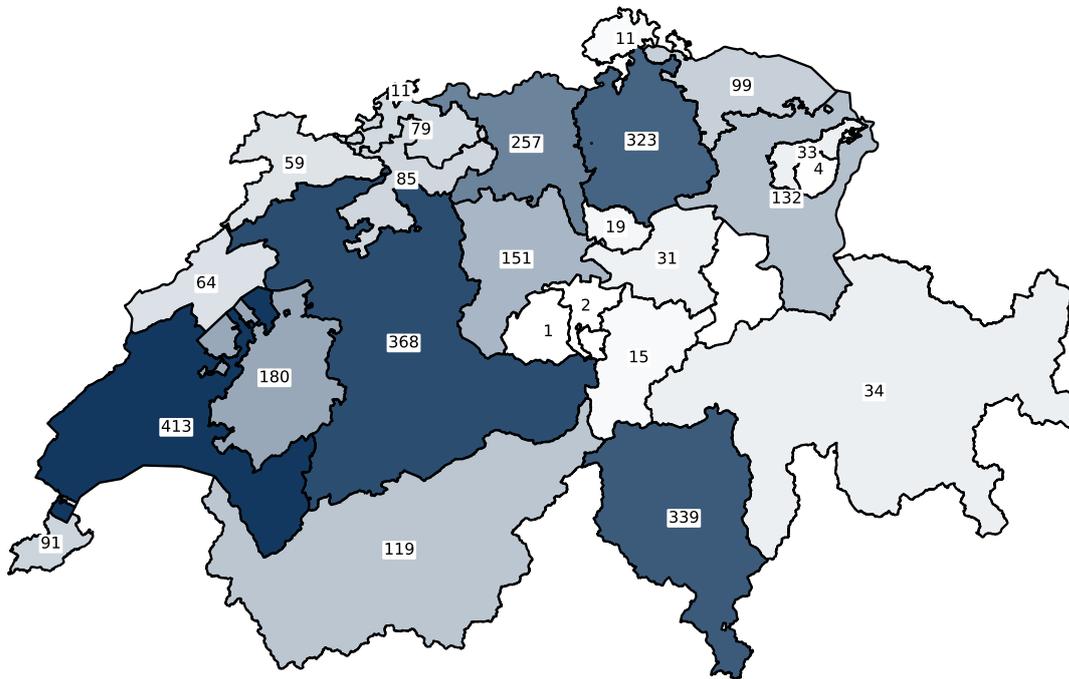


Figure 13 : Nombre d'observations par canton. La localisation est celle du site et pas celle de l'installateur ayant réalisé l'offre.

## 4. Analyse du coût spécifique

### 4.1 Prix des installations ajoutées

La Figure 14 montre le coût HT des installations ajoutées dont la puissance est inférieure à 300 kW. Comme le montrait déjà la Figure 4, une grande partie des données récoltées se situe en dessous de 30 kW. La courbe bleue donne la régression linéaire par morceaux des données 2023 (Régression 2023). Les deux autres courbes donnent les régressions pour les deux années précédentes.

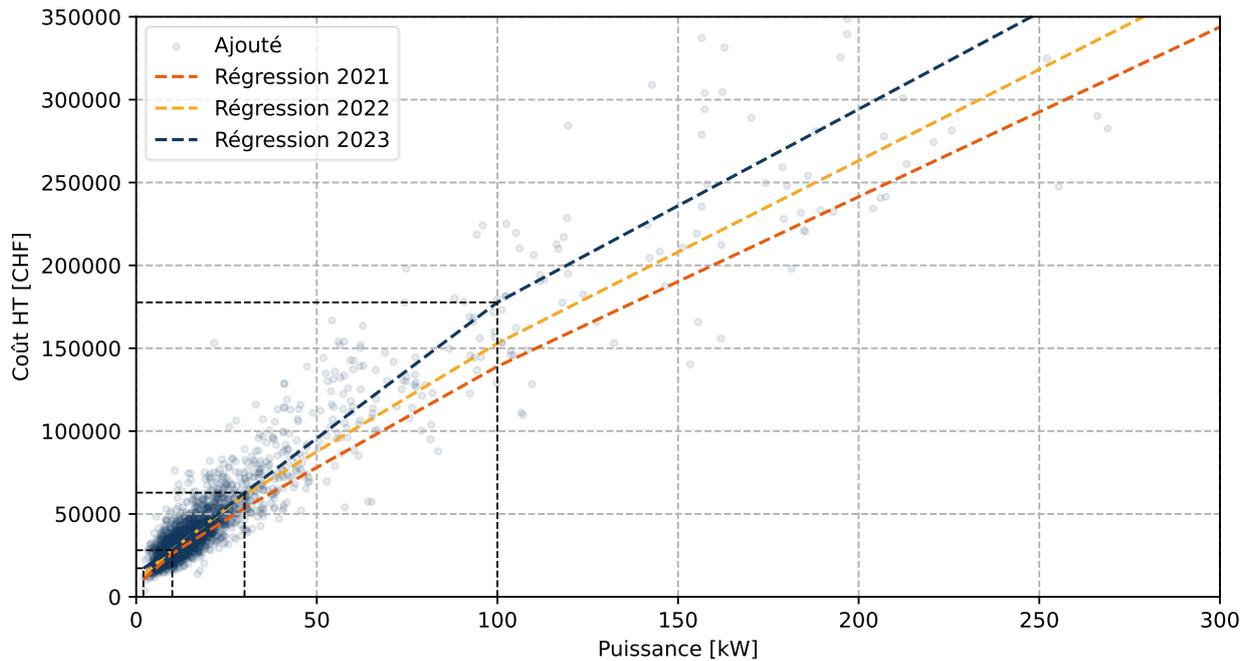


Figure 14 : Coût des installations ajoutées en 2023 sous les 300 kW. La courbe bleue est une régression linéaire par morceaux de ces coûts pour l'année 2023.

On observe que la dépendance du coût avec la puissance n'est pas linéaire, il croît rapidement au début puis moins par la suite. En 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 réduction du coût spécifique est la conséquence de la présence de coûts fixes, notamment les coûts administratifs et logistiques.

Cet effet implique qu'une régression linéaire sur l'ensemble de la plage de puissance n'est pas adaptée, et c'est pourquoi une régression linéaire par plage de puissance est réalisée. 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.

En comparant les régressions, on observe pour 2023 une augmentation des coûts des installations photovoltaïques ajoutées en toiture des bâtiments.

Tableau 3 : Paramètres des régressions linéaires par morceaux des coûts des installations ajoutées en 2021, 2022 et 2023. R2 est le coefficient de détermination de la régression mesurant la qualité de celle-ci.

Plage de puissance [kW]	Régression 2021			Régression 2022			Régression 2023		
	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2 par plage	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2 par plage	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2 par plage
2-10	1970	6420	0.24	1930	9240	0.23	1358	14511	0.15
10-30	1374	12382	0.35	1646	12072	0.38	1737	10722	0.46
30-100	1221	16979	0.63	1307	22241	0.51	1640	13630	0.62
100-300	1024	36606	0.53	1102	42753	0.43	1166	61092	0.46

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

$$\text{Régression 2023 : coût HT [CHF]} = \min_k (a_k \cdot (\text{puissance [kW]}) + b_k)$$

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 :

$$=\text{MIN}(\{1737;1640;1166\} * A1 + \{10722;13630;61092\}) \text{ avec } A1 \text{ la puissance en kW supérieure à } 10\text{kW}$$

Cette régression donne donc un coût variable ( $a$ ) et un coût fixe ( $b$ ) pour chaque plage de puissance.

Le coefficient de détermination R2 est une métrique statistique de la qualité d'une régression linéaire. Il est exprimé sur une échelle de 0 à 1 ou 1 indique une adéquation parfaite entre les données et la régression. On note que ce coefficient pour la plage 2-10 kW en 2023 (0.15) est particulièrement faible et que la part variable n'est pas strictement décroissante avec la plage de puissance suivante. Pour cette raison, ce coefficient a été omis de la formule suggérée ci-dessus.

Pour les deux plages suivantes 10-30 et 30-100 kW, on observe en 2023 en comparaison avec 2022, une augmentation de la part variable et une réduction de la part fixe. Enfin pour la dernière plage entre 100-300 kW, on note une augmentation autant de la part fixe que variable. Cette évolution des coûts est analysée plus en détail dans la section 4.6.

En dessus de 300 kW, les 28 observations ne permettent pas une régression valide.

La décroissance du coût spécifique est illustrée avec la Figure 15 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, 2022 et 2023.

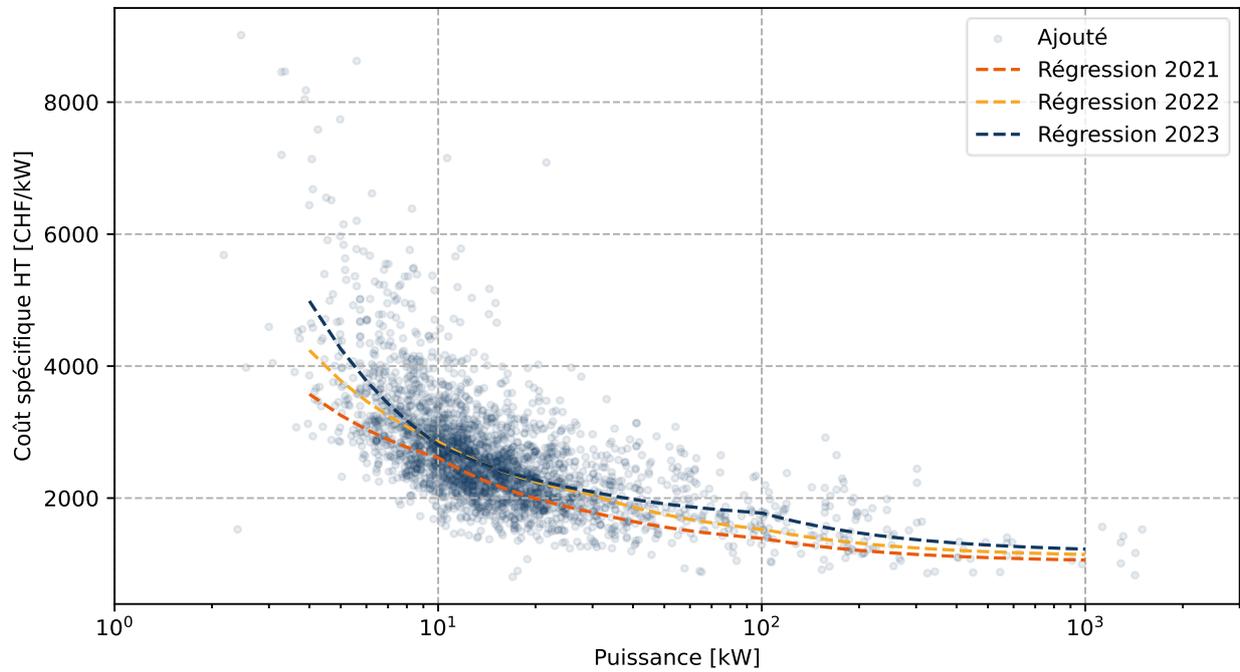


Figure 15 : Coût spécifique hors taxe des installations photovoltaïques ajoutées en fonction de la puissance installée en échelle logarithmique. La courbe bleue est la régression linéaire par morceaux du coût des installations ajoutées en 2023 exprimée ici en coût spécifique.

La dépendance du coût spécifique avec la puissance peut également s'étudier en calculant les médianes par plage de puissance. La Figure 16 indique, sous la forme d'un box plot, la distribution des coûts spécifiques par plage de puissance. Pour chaque plage, la "boîte" indique les quartiles 25 (Q1) et 75% (Q3), contenant par conséquent 50% des données. La barre bleue horizontale est la médiane (Q2) des données 2023. Les étoiles et hexagones donnent les médianes pour les années précédentes.

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 10-30 kW, on remarque que les médianes 2023 sont toujours supérieures à celles obtenues en 2022 et 2021.

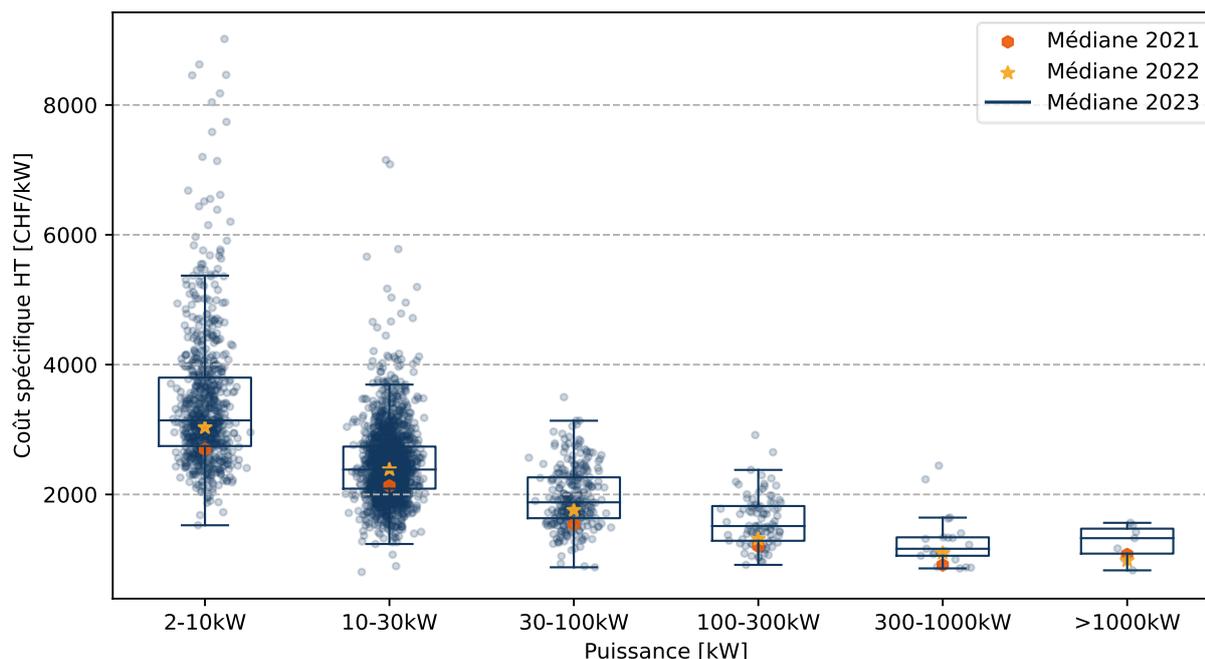


Figure 16 : Coût spécifique hors taxe des installations ajoutées sous la forme d'un box plot par plage de puissance. La barre bleue indique les médianes du coût spécifique pour l'année 2023.

Le Tableau 4 donne les valeurs correspondantes à la figure précédente.

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'installations	Coût spécifique [CHF/kW]				
		Min	25%	Médiane	75%	Max
2-10	730	1525	2746	3141	3800	9016
10-30	1659	805	2089	2384	2738	7152
30-100	275	878	1635	1879	2264	3499
100-300	96	915	1286	1513	1822	2916
300-1000	21	861	1055	1163	1340	2444
>1000	7	831	1088	1326	1473	1563

## 4.2 Prix des installations intégrées

Les installations intégrées impliquent généralement un surcoût par rapport aux installations ajoutées. La Figure 17 montre la comparaison des coûts entre ces deux types d'installation sous la forme d'un box plot. On note que les médianes des coûts spécifiques des 108 installations intégrées sont supérieures à celles des installations ajoutées dans chaque plage de puissance.

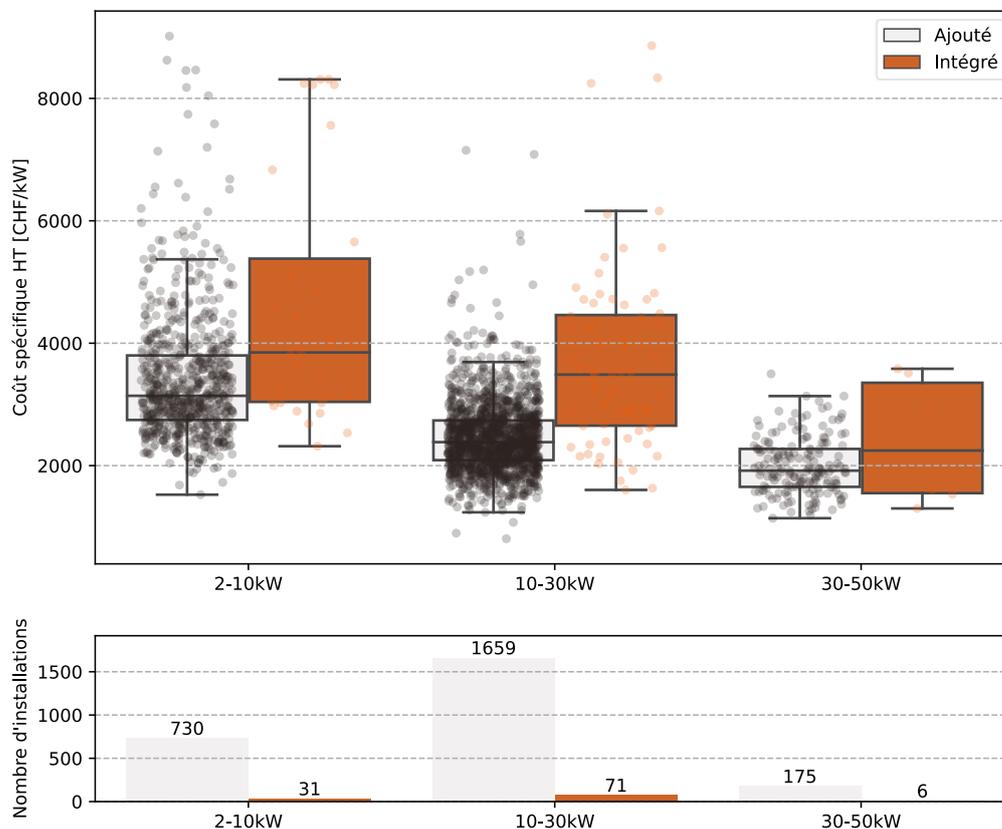


Figure 17 : Figure du haut : distribution du coût spécifique hors taxe des installations ajoutées et intégrées pour trois plages de puissance. Figure du bas : nombre d'installations correspondantes.

Le coût du système de sous-construction de l'installation PV (écran de sous toiture, contre lattage) et ferblanterie autour du champ de modules n'est pas compris dans le coût des installations intégrées. 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 17 et 46%. La plage 30-50 kW comporte uniquement 6 installations intégrées donc l'incertitude sur le surcoût est élevée pour cette plage.

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

Plage de puissance [kW]	Médiane coût spécifique [CHF/kW]		
	Ajouté	Intégré	Surcoût intégré
2-10	3141	3849	23%
10-30	2384	3487	46%
30-50	1918	2246	17%

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. Entre 2 et 30 kW, le surcoût intégré est plus élevé que celui constaté l'année précédente. Il s'explique par une augmentation plus marquée des coûts de fournitures (modules, structure et onduleur) pour les installations intégrées que celles ajoutées.

### 4.3 Prix des installations en fonction du type d'onduleur

La Figure 18 permet la comparaison des coûts spécifiques des installations ajoutées en fonction du type d'onduleur. On n'observe pas de tendance significative dans les deux plages 2-10 et 10-30 kW. La plage 10-30 kW montre un possible surcoût des micro-onduleurs par rapport aux autres technologies, avec une médiane 9% plus haute que celle des onduleurs de chaîne. La différence des médianes entre les installations avec onduleur de chaîne ou avec optimiseurs est dans la marge d'erreur et ne permet pas de tirer de conclusion.

Une tendance est cependant visible entre 30-100 kW avec la présence d'un surcoût pour les onduleurs avec optimiseurs de 9% en comparaison aux onduleurs de chaîne. Un surcoût est également visible pour les micro-onduleurs, mais cette plage comportant uniquement 4 installations avec des micro-onduleurs, le coût spécifique pour ce type d'onduleur comporte une importante incertitude.

Il est difficile d'expliquer l'absence de tendance pour les installations de moins de 30 kW. Précisons qu'une différence insignifiante au niveau du coût spécifique de l'installation n'implique pas que les coûts des différents types d'onduleur soient identiques. Les onduleurs de chaîne prennent part au coût de l'installation photovoltaïque plutôt en tant que coût fixe, alors que les deux autres technologies plutôt en tant que coûts variables car ceux-ci nécessitent un élément électronique par module installé. Cette étude montre que le surcoût attendu des onduleurs avec optimiseurs et des micro-onduleurs semble en réalité compensé dans le coût global des installations inférieures à 30 kW. Au-delà de 30 kW la part variable des deux dernières technologies prend plus de poids et cela se traduit par un surcoût au niveau du coût global de l'installation.

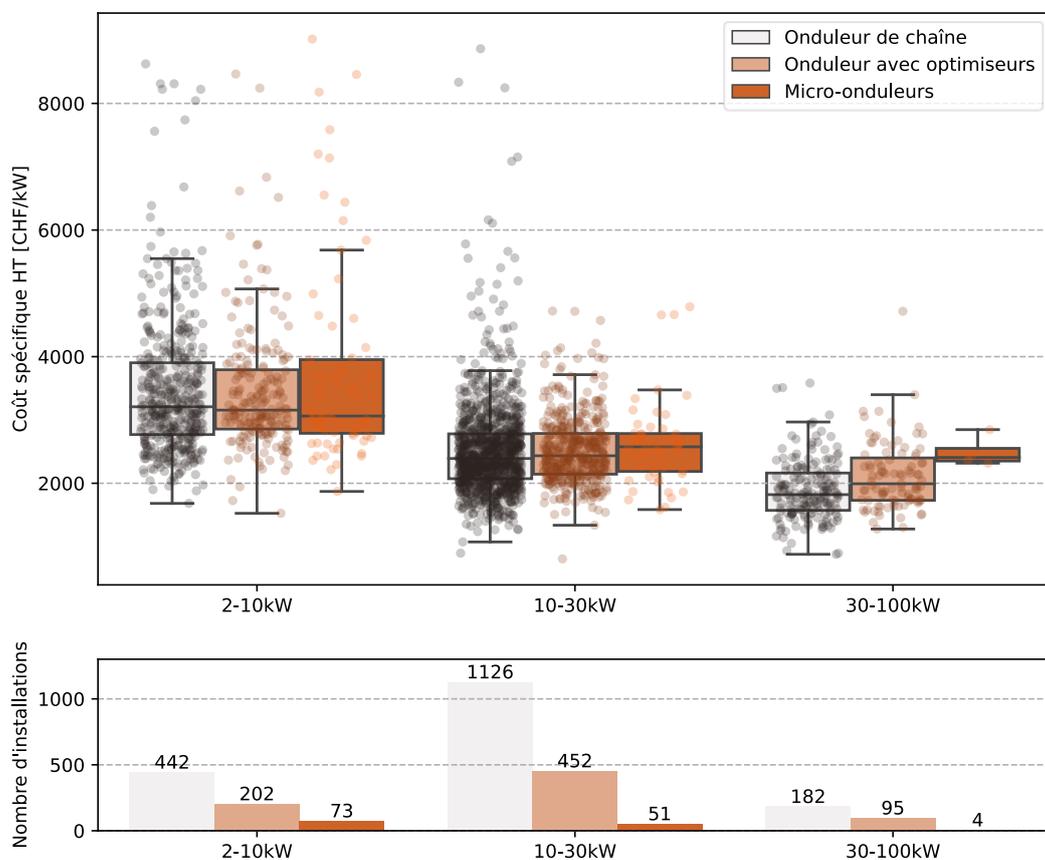


Figure 18 : Figure du haut : distribution du coût spécifique hors taxe pour les trois types d'onduleur et trois plages de puissance. Figure du bas : nombre d'installations correspondantes.

#### 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 19 montre les coûts spécifiques des installations ajoutées par type de toiture et plage de puissance. Évidemment la répartition des types de toitures est fortement corrélée avec la puissance. Les installations de moins de 30 kW sont majoritairement réalisées sur tuiles alors qu'en-dessus ce sont les toitures plates en graviers qui dominent. On notera que :

- < 10 kW pas suffisamment de données pour l'interprétation
- 10-30 kW peu de différence expliquée par la part importante des coûts fixes
- 30-300 kW tendance : tôle < graviers < végétalisée < tuiles
- > 300 kW pas suffisamment de données pour l'interprétation

Dans la plage 30-300 kW, on notera que le coût spécifique des installations réalisées sur tôle est 10% inférieur à celui de la médiane des installations ajoutées de cette plage. Les installations sur toiture en tuiles et végétalisée présentent un surcoût d'environ 20%. La rentabilité des installations sur toiture végétalisée est actuellement pénalisée par trois facteurs. Un surcoût à l'investissement d'environ 20%, des frais de maintenance environ 30% plus élevés [3] et une densité de puissance plus faible. La nécessité d'ajouter des voies de passage pour la maintenance réduit la capacité installable impliquant un coût spécifique plus élevé.

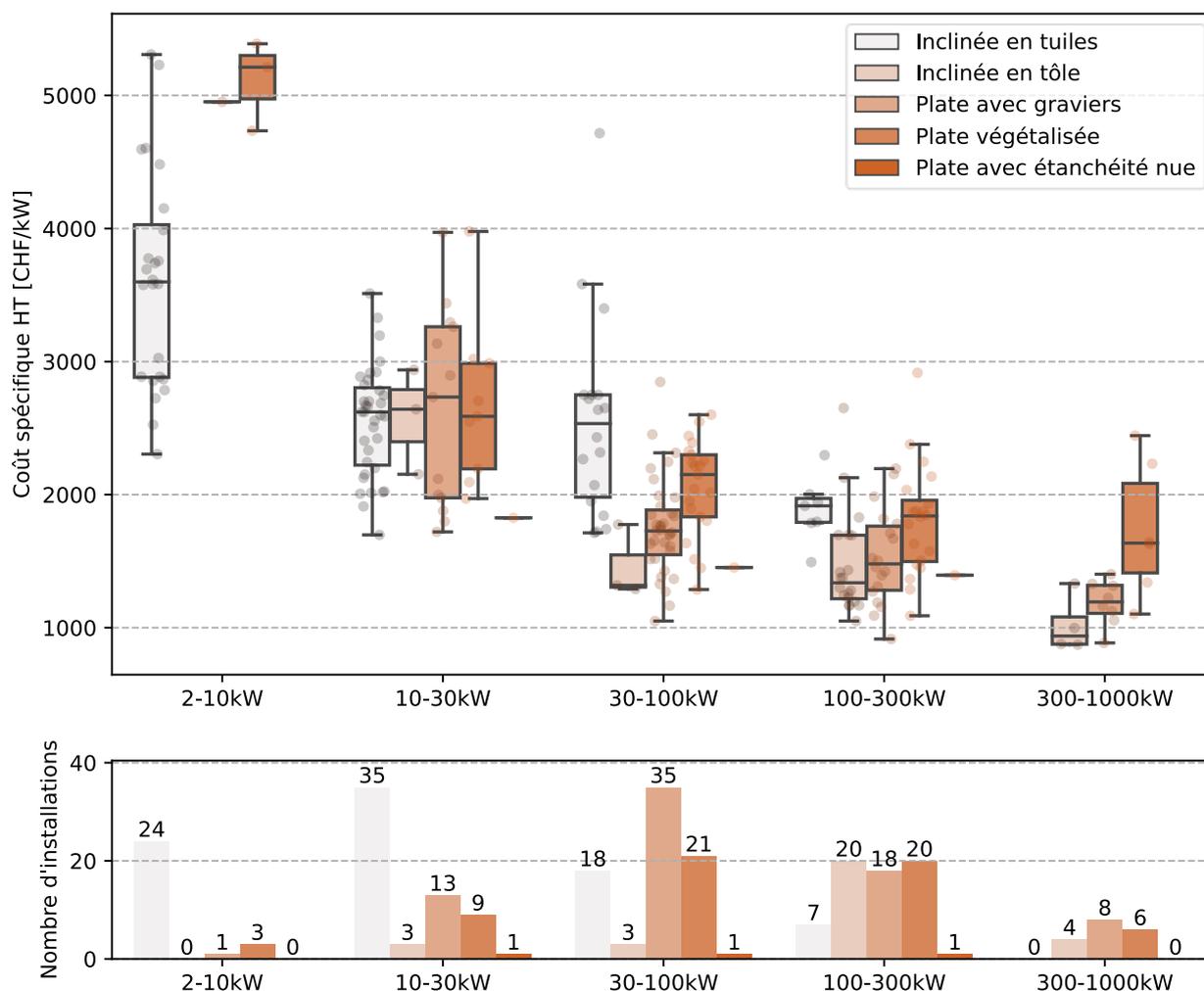


Figure 19 : Figure du haut : distribution du coût spécifique hors taxe pour les 5 types de toiture et plages de puissance. Figure du bas : nombre d'installations correspondantes.

## 4.5 Composition des coûts

L'objectif de ce chapitre est d'analyser la composition des coûts des installations photovoltaïques ajoutées. 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 fourniture 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 20. En comparaison avec la Figure 4, seules les installations ajoutées sont représentées. 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
- Coût de la main-d'œuvre
- Coûts administratifs et de planification pour l'installateur
- 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.

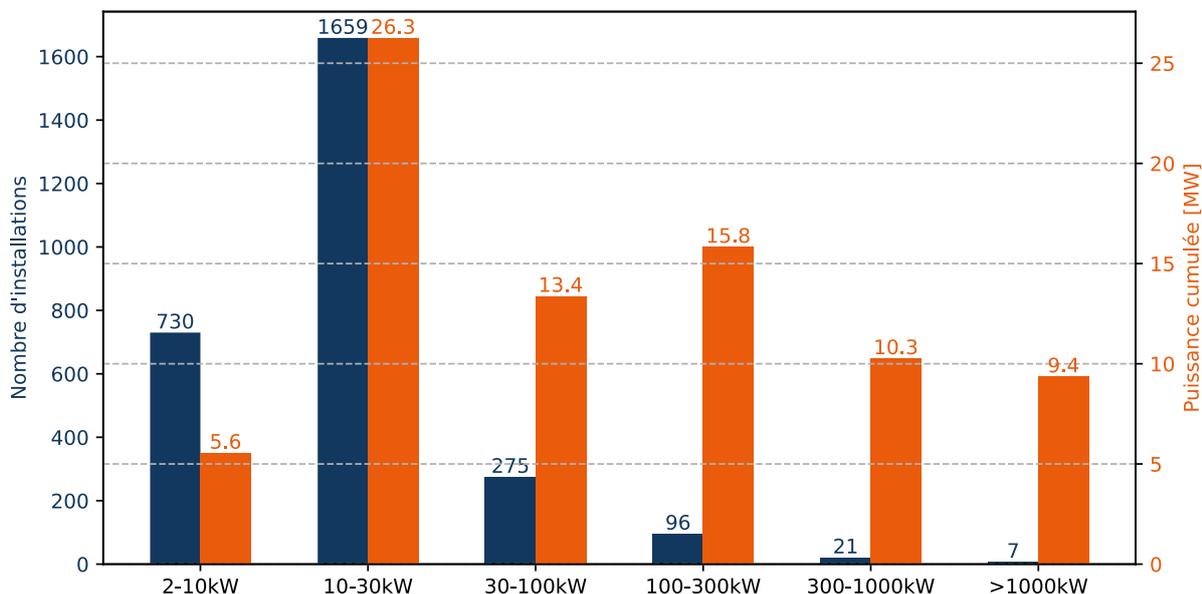


Figure 20 : Nombre et puissance cumulée des installations ajoutées par plage de puissance.

La Figure 21 montre la corrélation entre le coût pour chacune des catégories avec la taille de l'installation. On note une corrélation linéaire claire uniquement pour les modules. Les onduleurs, structure, matériel électrique et main-d'œuvre semble également composés d'une part variable mais la dispersion est plus importante. Le chiffrage de la sécurité de chantier, sécurité permanente et logistique 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 de manière forfaitaire.

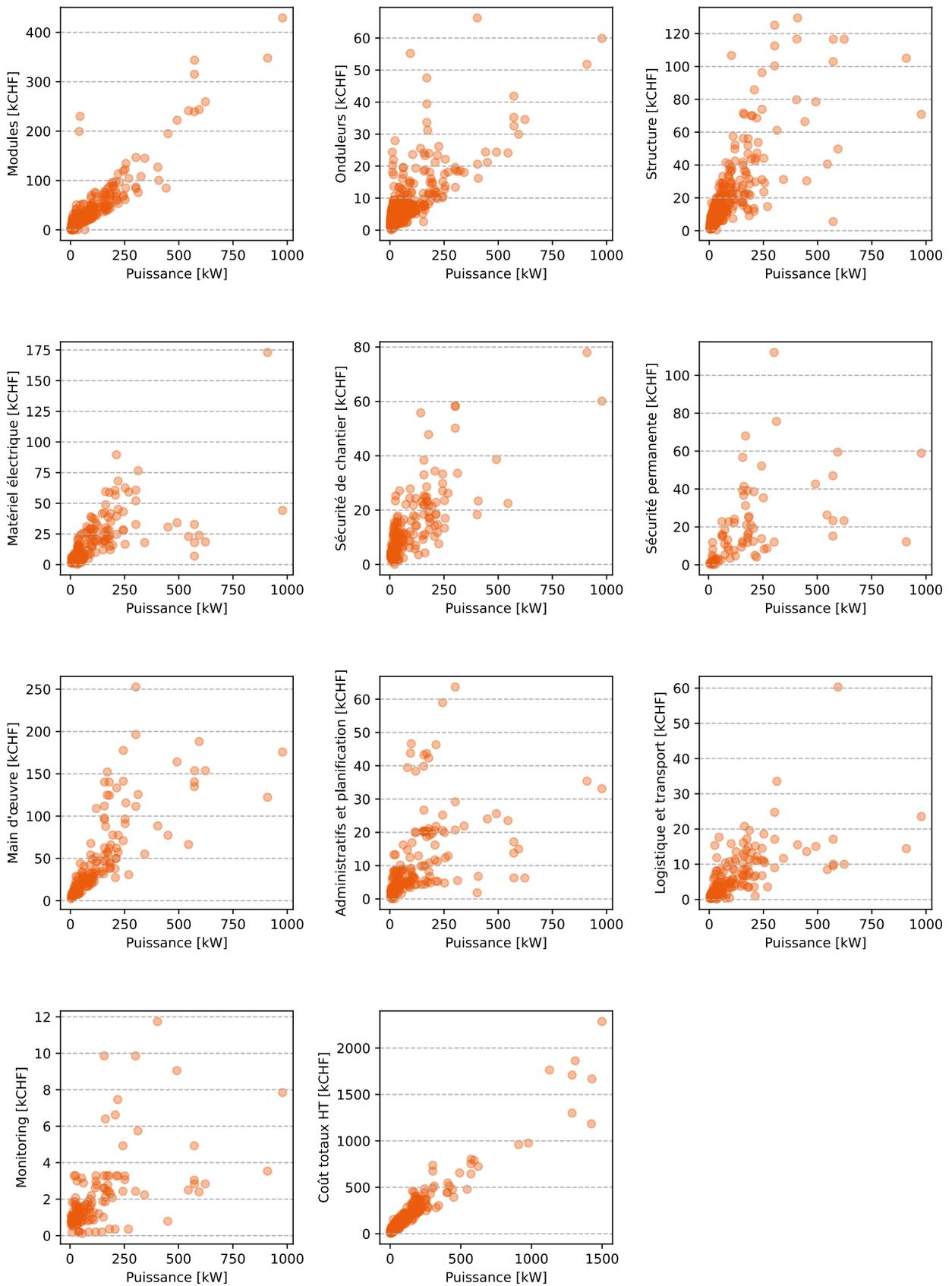


Figure 21 : Coûts par catégorie en fonction de la taille de l'installation ajoutée.

La décomposition des coûts est présentée dans la Figure 22. Pour chaque plage de puissance et catégorie sont donnés 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. 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 à 8). À noter que dans la plage 2-10 kW, la somme des médianes est égale à 3505 CHF/kW alors que la médiane du coût spécifique total pour cette plage se situe à 3141 CHF/kW. Cette différence de 10% peut s'expliquer par le fait qu'au moins 15% des installations dans cette plage n'incluent pas de sécurité de chantier.

On observe que la part des modules croît de manière significative avec la puissance de 16% pour les petites installations à près de 35% pour les grandes. À l'inverse la part des onduleurs est décroît de 12% à 5%. Les parts de la structure et main-d'œuvre sont quant à eux relativement homogènes sur l'ensemble des plages de puissance.

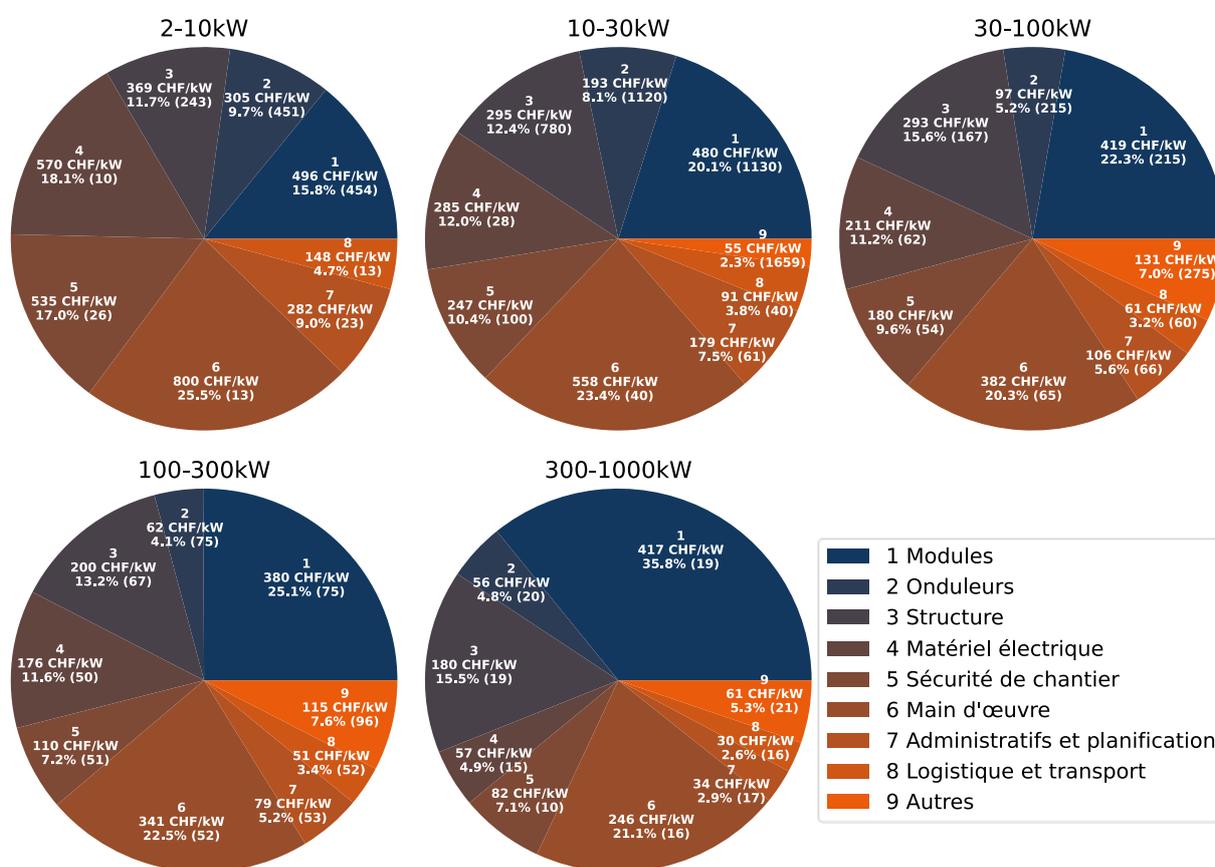


Figure 22 : Décomposition des coûts des installations ajoutées en 9 catégories

#### 4.6 Évolution dans le temps

Cette section analyse l'évolution des coûts entre 2018 et 2023. Le Tableau 6 donne pour chaque année et chaque plage de puissance la médiane des coûts spécifiques pour les installations photovoltaïques en ajouté. La partie droite du tableau donne la variation relative par rapport à l'année précédente. On remarque que l'augmentation des coûts observée en 2022 s'est renouvelée en 2023, cependant moins marquée. Par rapport à l'année 2022, une installation chiffrée en 2023 s'est vendue en moyenne 7% plus cher.

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	2023	2019	2020	2021	2022	2023
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	3141	-1%	-8%	0%	12%	4%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	2384	-1%	-6%	3%	12%	0%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	1879	-8%	-4%	9%	15%	7%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	1513	-2%	-7%	6%	9%	15%
300-1000	1016	990	919	913	1097	1163	-3%	-7%	-1%	20%	6%
>1000		777	819	1075	982	1326		5%		-9%	

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette augmentation des coûts :

- La forte croissance de la demande (~+40% de la capacité installée) a généré une forte surcharge des installateurs photovoltaïque. Cette baisse de la concurrence implique globalement une pression plus faible sur le chiffrage des offres.
- Durant l'année 2023, « le renchérissement annuel moyen a atteint +2.1% »<sup>2</sup> contribuant à l'augmentation des coûts des installations photovoltaïques. Cet effet pourrait expliquer une partie de l'augmentation des coûts de main-d'œuvre reportée à la
- .
- La forte augmentation du coût de l'aluminium<sup>3</sup> en particulier durant l'année 2022 a conduit à une augmentation des coûts des structures. Cet effet est visible dans l'évolution de la composition des coûts illustrée dans la
- , où le coût spécifique médian correspondant a augmenté de 155 à 200 CHF/kW.
- Dans la plage 100-300 kW, présentant l'augmentation la plus marquée, la proportion d'installation sur toiture végétalisée a augmenté de 20% à 30%. Ces installations présentent un surcoût contribuant à augmenter la médiane de cette plage de puissance.
- Comme le montre la Figure 24, l'index des prix des modules a fortement chuté durant l'année 2023, mais cette chute ne s'est pas complètement reportée sur le chiffrage des offres en raison d'important stock de modules. À l'échelle mondiale à la fin 2023, le stock de modules atteignait 150 GW correspondant à 4 mois de stock basé sur la capacité installée durant l'année (407 GW) [4].

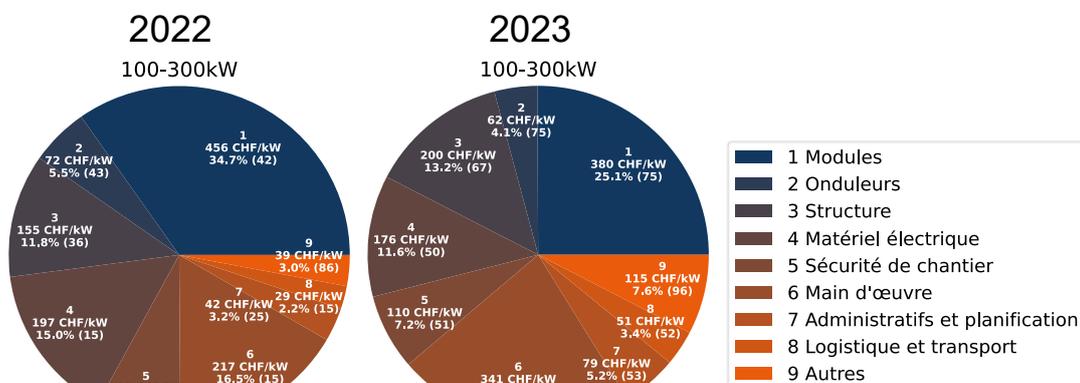


Figure 23 : Comparaison de la composition des coûts pour la plage 100-300 kW. La médiane du coût pour cette plage a augmenté de 1312 à 1513 CHF/kW entre 2022 et 2023.

<sup>2</sup> <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home.gnpdetail.2024-0006.html>

<sup>3</sup> <https://www.spqglobal.com/spdji/en/indices/commodities/sp-gsci-aluminum/#overview>

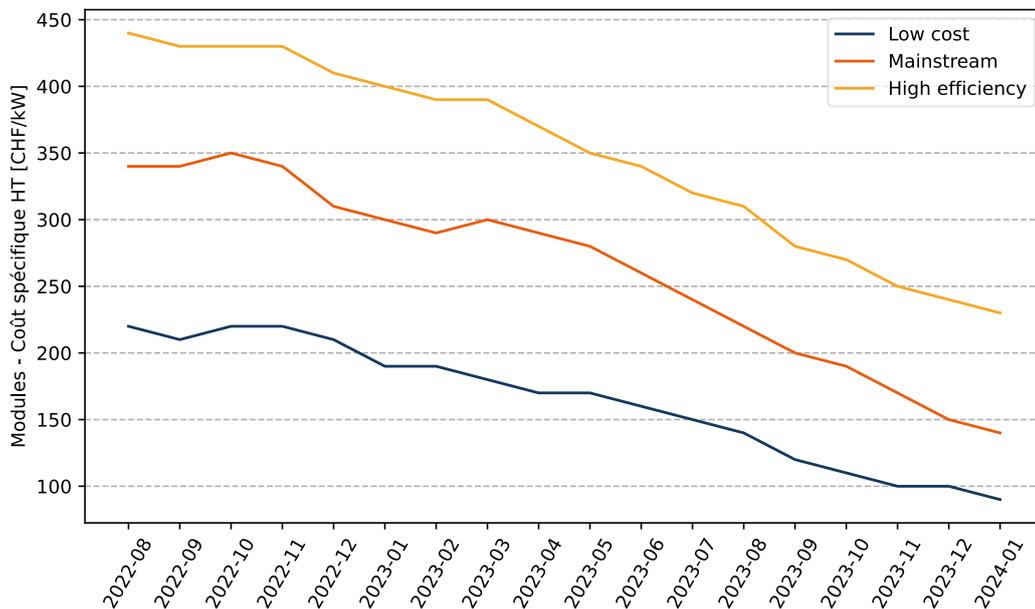


Figure 24 : Index des coûts spécifiques des modules donné par <https://www.pvxchange.com/Price-Index>

## 5. Facteurs influençant les coûts

Dans le chapitre précédent, une courbe de référence (Régression 2023) 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.

### 5.1 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.

## 5.2 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 présentent plusieurs surcoûts. Pour permettre l'entretien, des espaces entre les rangées sont nécessaires et les structures doivent être surélevées, impliquant une capacité plus faible et un coût spécifique plus élevé. De plus l'entretien sur de ce type de toiture implique des surcoûts de maintenance.

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.

## 5.3 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.

## 5.4 Etat de la construction

Les installations photovoltaïques sont souvent réalisées sur des toitures existantes, cependant il est parfois nécessaire d'effectuer une rénovation de la toiture au préalable, notamment si un renfort statique est requis. Dans le cas d'une rénovation ou de la réalisation sur un bâtiment neuf, les facteurs suivants peuvent influencer les coûts :

- Des coûts de coordination avec les autres corps d'état doivent être pris en compte.
- Des coûts de direction de travaux 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).

## 5.5 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.

Il existe de nombreuses variantes envisageables pour la sécurité permanente, notamment une sécurisation avec points d'ancrage lestés par le gravier, lignes de vie fixées sur la structure du bâtiment ou encore des garde-corps. Le coût de cette sécurité dépend fortement du choix réalisé. La présence de coupoles nécessitant la mise en place d'une protection collective permanente peut également engendrer des surcoûts importants.

## 5.6 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.

## 5.7 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. Pour ce faire un datalogger, des dispositifs de mesure et domotique sont nécessaires.

## 5.8 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.

## 5.9 Marché et concurrence

L'état du marché constitue un réel facteur influençant les coûts. Une concurrence accrue entre installateurs entraîne une contrainte sur les marges bénéficiaires des entreprises. A l'inverse une surcharge de celles-ci peut entraîner une augmentation des coûts.

### **5.10 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.

### **5.11 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.

### **5.12 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 de l'ordre de 5% à 10%.

## 6. Conclusion

L'étude a analysé 2'937 données de coûts d'installations photovoltaïques recueillies principalement auprès d'installateurs. Avec une focalisation particulière sur les 2'788 données d'installations ajoutées sur des toitures de bâtiments, 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 montre que la décroissance des coûts spécifiques s'est interrompue en 2021 et inversée en 2022. Par rapport à l'année 2022, une installation chiffrée en 2023 s'est vendue en moyenne 7% plus cher.

## 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] Lionel Bloch, Yannick Sauter, et Florent Jacqmin, « Observation des prix de marché photovoltaïque 2022 », juill. 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/11449>
- [2] Thomas Hostettler et Andreas Hekler, « Statistiques de l'énergie solaire - Année de référence 2022 », OFEN, juill. 2023.
- [3] Rui Pereira et Markus Kohler, « Comment organiser l'exploitation et l'entretien ? », présenté à Congrès photovoltaïque 2024, Lausanne, 22 mars 2024. Consulté le: 8 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.swissolar.ch/fr/congres-photovoltaique/programme>
- [4] Gaëtan Masson, « Snapshot of Global PV Markets 2024 », 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2024/>