Documentation utilisateur, octobre 2022

Simulation de systèmes d'énergie

avec le
Tachion Simulation Framework

suisseénergie

Sommaire

1 Description du système et des paramètres ... 3

1.1 Schéma PV : consommation, profil de consommation et optimisation solaire ... 6

1.1.1 Consommation propre ... 6

1.1.2 Consommation de courant ... 6

1.1.3 Option « optimisation solaire » ... 7

1.1.4 Profil de courant ... 7

1.2 Batteries ... 7

2 Explications concernant la simulation ... 8

2.1 Données météorologiques ... 8

2.2 Simulation des bâtiments et des installations techniques ... 9

2.3 Autres consommateurs d'énergie ... 10

2.3.1 Consommation d'eau chaude ... 10

2.3.2 Consommation électrique ... 11

2.4 Technique énergétique ... 12

2.5 Bilan énergétique ... 12

3 Rendement solaire et autres sources d'énergie ... 13

3.1 Photovoltaïque ... 13

3.2 Solaire thermique ... 13

3.3 Chauffage supplémentaire (chauffage non solaire) ... 14

4 Déroulement de la simulation ... 15

5 L'assistant Tachion ... 16

5.1 Conception manuelle et automatique ... 17

6 Documentation utilisateur « Calcul de rentabilité » ... 18

6.1 Principaux résultats dans le récapitulatif des résultats ... 18

6.2 Résultats de la rentabilité dans la boîte de dialogue « Calculateur de rendement » ... 19

6.3 Effets à long terme ... 23

6.4 Modèle de calcul pour les coûts d'investissement et les aides financières ... 23

6.5 Autres bases de calcul ... 25

6.6 Aspects fiscaux ... 25

7 Documentation utilisateur « données mensuelles » ... 26

7.1 Validation de la production ... 26

7.2 Téléchargement de données de production ... 27

7.3 Etalonnage de la simulation ... 27

Les deux premières pages de cette documentation présentent les différents systèmes solaires disponibles, ainsi que les paramètres d'entrée du calculateur solaire. La deuxième partie aborde de nombreuses informations de fond concernant la simulation : données météorologiques de base, phénomènes physiques pris en compte, degré de détail de la simulation, concepts de régulation mis en œuvre dans les systèmes et méthodologie d'analyse des résultats.

1 Description du système et des paramètres

Les installations solaires sont disponibles dans de nombreuses variantes de systèmes. Le calculateur solaire de SuisseEnergie se concentre sur les quatre principaux, que l'on retrouve dans près de 90% des installations solaires. Les schémas suivants présentent deux installations photovoltaïques et deux installations solaires thermiques pouvant être planifiées, simulées et analysées à l'aide du calculateur solaire.

Fig. 1 : Photovoltaïque : approvisionnement en électricité photovoltaïque avec consommation propre : l'électricité photovoltaïque peut être injectée dans le réseau local ou utilisée directement pour la consommation propre du ménage. (L'onduleur servant à convertir le courant continu photovoltaïque en courant alternatif est symbolisé dans le schéma par la puce au niveau du compteur.) On suppose une consommation électrique par personne et par jour de 2,5 kWh. L'électricité photovoltaïque est consommée principalement dans le ménage. Le surplus d'électricité est injecté dans le réseau ; en cas de production insuffisante, l'énergie est soutirée du réseau.

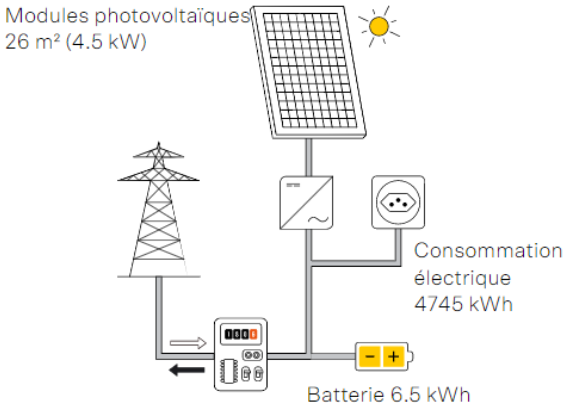
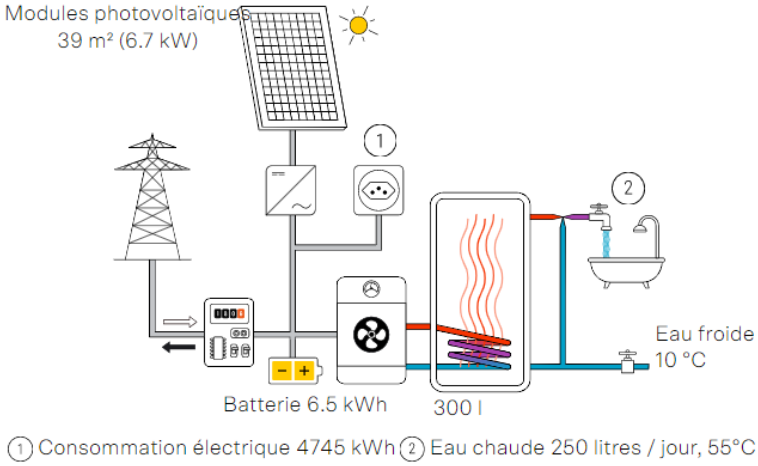


Fig. 2 : Photovoltaïque : approvisionnement en électricité photovoltaïque et en eau chaude sanitaire (ECS) : l'électricité photovoltaïque peut être injectée dans le réseau local ou utilisée dans le bâtiment pour la consommation électrique du ménage ou pour la production d'ECS (à l'aide d'une pompe à chaleur ou d'un thermoplongeur électrique), c.-à-d. pour la consommation propre. (L'onduleur servant à convertir le courant continu photovoltaïque en courant alternatif et la consommation électrique dans le ménage ne sont pas représentés dans le schéma.) On suppose une consommation d'électricité de 2,5 kWh par personne et par jour et, et une consommation d'eau chaude à 55°C de 50 litres. L'électricité photovoltaïque est consommée en priorité par le ménage, et en second lieu par la pompe à chaleur. Le surplus d'électricité est injecté dans le réseau ; en cas de production insuffisante, l'énergie est soutirée du réseau.



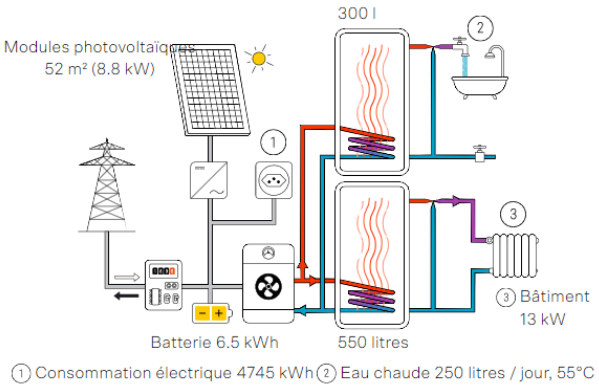


Fig. 3 : Photovoltaïque : approvisionnement en électricité, en eau chaude sanitaire (ECS) et en chauffage. Le courant solaire produit peut soit être injecté dans le réseau électrique local, soit être utilisé directement (consommation propre) pour l'alimentation du ménage en électricité, pour la production d'eau chaude (au moyen d'une pompe à chaleur ou d'un chauffage électrique) ou pour le chauffage du bâtiment. On suppose une consommation électrique de 2.5 kWh par personne et par jour et une consommation d'eau chaude de 50 litres à 55°C. L'électricité photovoltaïque est consommée en priorité par le ménage, en second lieu pour l'eau chaude, puis pour le chauffage du bâtiment. L'éventuel surplus de production servira à charger la batterie, le solde étant ensuite injecté dans le réseau électrique. Pour les besoins de consommation, l'électricité sera tout d'abord tirée de la batterie, en deuxième priorité du réseau électrique.

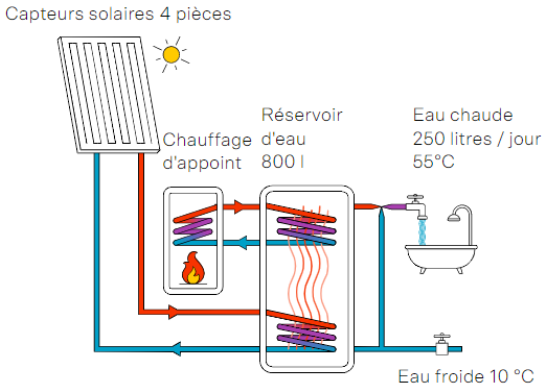


Fig. 4 : Solaire thermique : installation solaire de production d'ECS : le circuit solaire, qui fonctionne avec un mélange eau/glycol, chauffe le dispositif de stockage par le bas au moyen d'un échangeur à serpentin. (La pompe de circulation correspondante n'est pas représentée afin de simplifier le schéma.) Si la température dans la partie supérieure du dispositif de stockage est insuffisante, l'énergie manquante est fournie ultérieurement par un chauffage supplémentaire sélectionnable. On suppose une consommation d'eau chaude à 55°C de 50 litres par personne et par jour. Une vanne mélangeuse (protection contre les brûlures) au niveau de la sortie du dispositif de stockage garantit que l'eau entrant dans le réseau de distribution ne soit pas trop chaude.

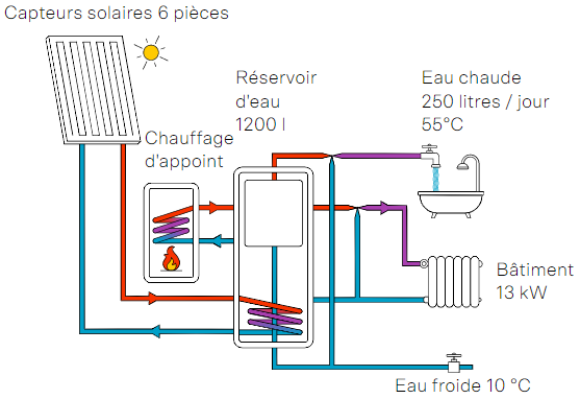


Fig. 5 : Solaire thermique : installation solaire de chauffage et de production d'ECS : le circuit solaire, qui fonctionne avec un mélange eau/glycol, chauffe le dispositif de stockage par le bas au moyen d'un échangeur à serpentin (la pompe de circulation correspondante n'est pas représentée afin de simplifier le schéma). Si la température dans la partie supérieure de l'accumulateur combiné est insuffisante, l'énergie manquante est fournie ultérieurement par un chauffage supplémentaire. L'énergie pour le bâtiment est prélevée au niveau de la partie centrale du dispositif de stockage, et l'eau chaude depuis un réservoir interne dans la partie supérieure du dispositif de stockage. On suppose une consommation d'eau chaude à 55°C de 50 litres par personne et par jour. Une vanne mélangeuse (protection contre les brûlures) au niveau de la sortie du dispositif de stockage garantit que l'eau entrant dans le réseau de distribution ne soit pas trop chaude. Une autre vanne mélangeuse règle la température aller dans le circuit de chauffage. En fonction du type de bâtiment, un chauffage par radiateurs ou un chauffage au sol est supposé et simulé.

Le tableau suivant montre et explique les paramètres de configuration du calculateur solaire :

Paramètre	**Description**
Code postal	Code postal suisse, servant à indiquer le nom de la localité
Technologie	Photovoltaïque ou solaire thermique
Mode de dimensionnement	Automatique (taille de l'installation déterminée par le nombre d'occupants, le choix du système, l'orientation et l'inclinaison) ou manuel (taille de l'installation définie par l'utilisateur)
Occupants dans le logement	Photovoltaïque : 1 à 100, solaire thermique : 1 à 20
Inclinaison du toit	0° à 90°, 0° correspondant à « horizontal » et 90° à « vertical » (façade)
Orientation du toit	-180° à +180°, 0° correspondant au sud, -90° à l'est, +90° à l'ouest et 180° au nord
Choix du système	Photovoltaïque : consommation propre ménage, consommation propre ménage + eau chaude (via une pompe à chaleur ou un thermoplongeur électrique) ou consommation propre ménage + eau chaude + chauffage. Solaire thermique : eau chaude uniquement ou eau chaude et chauffage avec accumulateur combiné.
Surface des modules	Toit et/ou façade avec respectivement 2 à 150 kW
Nombre de capteurs	1 à 20 modules (ce qui correspond à une surface brute de 2 à 40 m^2)
Capacité des dispositifs de stockage	Pour l'eau chaude : 400 à 2000 litres, accumulateur combiné : 1000 à 4000 litres
	Autres paramètres
Taux de rendement des modules	Taux de rendement des modules PV 13, 17, **19**, 20, 21, 23 % (dans des conditions standards)
Production d'ECS	Pour le type d'installation « ménage + eau chaude » : Pompe à chaleur air/eau ou chauffage électrique
Type de capteur	Tous les éléments figurant sur « listecapteurs.ch », c'est-à-dire tous les capteurs subventionnés en Suisse, peuvent être utilisés pour la simulation. Pour ce faire, il faut tout d'abord sélectionner un fabricant, puis un modèle de capteur de ce fabricant. Avec le réglage par défaut, on trouve la catégorie « Capteurs standards », avec à choix : capteurs plats ou capteurs tubulaires. Pour le calcul du prix, une distinction est faite uniquement entre les capteurs plats et les capteurs à tubes. Le « coût de l'installation clé en main » correspond à une valeur moyenne et peut au cas par cas s'écarter clairement du coût effectif d'une installation en particulier.
Système de chauffage existant	Chaudière à mazout/standard à gaz/à condensation/à pellets/à bûches, pompe à chaleur air-eau/eau glycolée-eau, chauffage électrique
Type de bâtiment	Année de construction : avant 1950, 1950 - 1979, 1980 - 1999, 2000 - 2019, ou standard de nouvelle construction, Minergie, Minergie-P
Surface habitable	100 à 1000 m^2 (resp. jusqu'à 5000 m2 dans le cas PV + chauffage), définit la taille du bâtiment (surface de référence énergétique)

Table 1 : Vue d'ensemble des paramètres d'entrée sur l'interface utilisateur et dans la fenêtre « Autres paramètres ».

1.1 Schéma PV : consommation, profil de consommation et optimisation solaire

1.1.1 Consommation propre

Le courant solaire produit sera utilisé et comptabilisé selon les priorités suivantes :

a) Courant utilisé directement par le ménage
b) Courant pour la production d'eau chaude sanitaire
c) Courant pour le chauffage
d) Courant pour la recharge des batteries de stockage (pour autant qu'elles ne soient pas déjà complètement chargées)
e) Injection dans le réseau électrique

Dans le cas où un supplément de courant est nécessaire, il est obtenu selon les priorités suivantes :

f) Courant issu des batteries de stockage (pour autant que la charge soit suffisante)
g) Courant issu du réseau électrique

Pour le calcul de la consommation propre sont pris en compte les lettres a, b, c et f.
La charge et la décharge des batteries entraînent des pertes dans les convertisseurs et dans les batteries elles-mêmes. Ces pertes ne sont pas directement affichées, mais peuvent être déduites de la différence entre la production totale, l'électricité autoconsommée et l'électricité injectée dans le réseau.

1.1.2 Consommation de courant

Dans le calculateur solaire sont considérés trois types de consommation électrique :

Électricité du ménage	Consommation déterminée sur la base du nombre de personnes ou définie par le paramètre « électricité domestique par an » dans « autres paramètres ». Evolution temporelle selon le profil de consommation électrique (cf. 1.1.4).
Eau chaude sanitaire (ECS)	Consommation déterminée sur la base des besoins en ECS qui sont définis par le nombre de personnes. La simulation considère une chaudière électrique ou une pompe à chaleur avec des temps de déclenchement entre 1h00 et 7h00. Si l'option « optimisation solaire » (activée par défaut) est choisie, la chaudière peut être alimentée sans restriction en courant solaire.
Chauffage	La consommation est déterminée à partir du type de bâtiment choisi et de la surface de référence énergétique, avec des périodes bloquées de 12h00 à 14h00 pour l'électricité issue du réseau électrique. Si l'option « optimisation solaire » est choisie, le réservoir tampon peut être alimenté en dehors des heures bloquées à partir du courant solaire.

1.1.3 Option « optimisation solaire »

Cette option se trouve dans « Autres paramètres » et est disponible pour le schéma consommation électrique + eau chaude et pour le schéma consommation électrique + eau chaude + chauffage. Par défaut, cette option est active.

Si l'installation fonctionne en mode optimisation solaire, la part de consommation propre augmente: dans ce mode, le courant solaire (mais pas le courant issu du réseau) peut recharger la chaudière et/ou le réservoir tampon aussi pendant les heures bloquées.

1.1.4 Profil de courant

Pour l'évolution temporel de la consommation électrique, 4 profils de consommation sont proposés dans « Autres paramètres » :

Ménage	Profil standard par défaut, adapté à une maison individuelle ou un immeuble collectif
Commerce 5 jours	Profil d'une PME: 90% de la consommation électrique en journée de lundi à vendredi, 10% de la consommation électrique les autres jours/heures (consommation de courant « au repos »).
Commerce 6 jours	Comme pour « commerce 5 jours », avec le samedi
Commerce 7 jours	Consommation électrique 7 jours sur 7, 24h sur 24

Les profils de consommation des ménages et des commerces présentent les distributions temporelles suivantes :

	Profil ménage	**Commerce 5 jours**	**Commerce 6 jours**	**Commerce 7 jours**
Consommation le jour (jours de semaine)	7.9 %	11.6 %	11.4 %	9.5 %
Consommation le nuit (jours de semaine)	6.1 %	4.9 %	4.4 %	5.5 %
Consommation le jour (samedis)	8.9 %	5.3 %	11.8 %	9.1 %
Consommation la nuit (samedis)	6.6 %	4.1 %	3.3 %	3.7 %
Consommation le jour (dimanches)	8.4 %	4.2 %	2.9 %	8.3 %
Consommation la nuit (dimanches)	6.0 %	3.9 %	2.9 %	3.9 %

C'est-à-dire : Consommation le jour = 6h – 18h, Consommation la nuit = 18h – 6h. Les valeurs indiquent, quel pourcentage de la consommation hebdomadaire se trouve dans ces tranches horaires. De plus amples détails sur la simulation de la consommation électrique se trouvent au chapitre 2.3.2.

1.2 Batteries

Pour tous les schémas PV, l'option « Batterie » peut être activée, ce qui permet de différer la consommation propre dans le temps et ainsi de consommer le soir l'électricité solaire qui a été stockée durant la journée, par exemple. Le dimensionnement se fait automatiquement par l'assistant Tachion selon la règle suivante.

a) capacité utile des batteries de stockage en kWh = 50% de la consommation moyenne journalière de courant du ménage

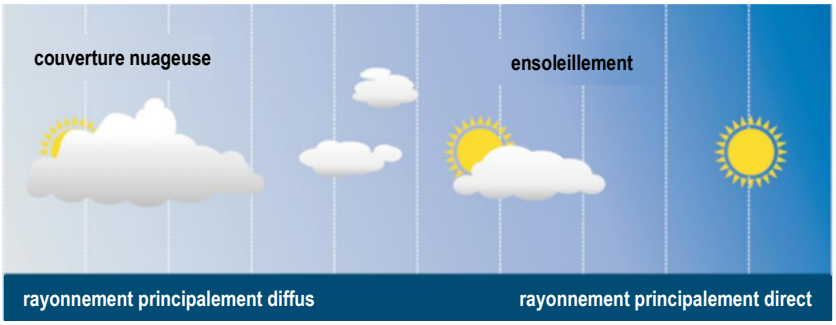
b) capacité utile des batteries de stockage = 1.5 x la puissance installée du champs PV

La capacité de stockage utilisée pour la simulation est ainsi la plus petite valeur entre a) et b).

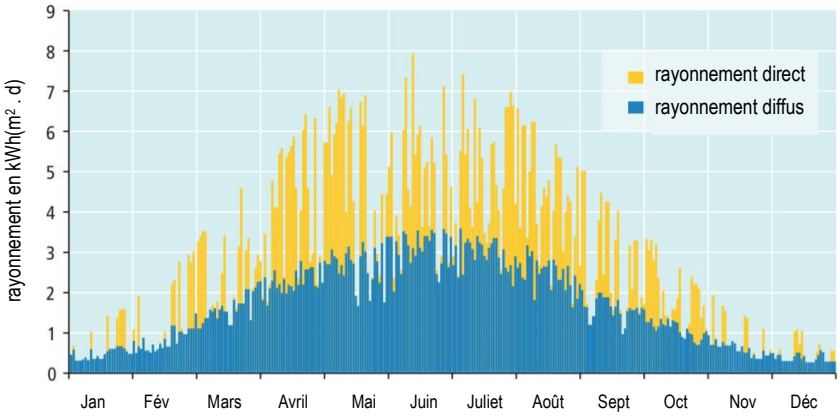
2 Explications concernant la simulation

La consommation d'énergie de bâtiments et de ménages dépend non seulement des appareils et des solutions énergétiques mis en place, mais aussi de différents facteurs externes tels que la météo et des facteurs internes comme le comportement des occupants. Ces deux facteurs d'influence ne sont prévisibles que de manière limitée et se caractérisent par un degré élevé de variabilité et de hasard. Cette interaction complexe de nombreux facteurs ne peut être modélisée qu'à l'aide de simulations temporelles extrêmement détaillées. Compte tenu de la périodicité de la météo d'une année, des prévisions à long terme pertinentes nécessitent la simulation d'une année complète. Le Tachion Simulation Engine parcourt généralement 100'000 unités de temps pour un calcul annuel et ne nécessite pour cela que quelques millisecondes.

2.1 Données météorologiques



Des informations météorologiques fiables (« données météo ») sont une condition sine qua non pour une simulation énergétique pertinente d'un bâtiment. Tachion utilise pour cela Meteonorm, une norme reconnue pour les données météo. Une année de référence est définie sur une période de mesure de 15 ans pour représenter la moyenne de la période de mesure en termes d'ensoleillement mensuel et de températures extérieures. En même temps, la météo possède la variabilité typique pour le site sélectionné ; autrement dit, les variations météorologiques au fil des heures, des jours et des semaines sont conformes à la réalité. En fonction de la « plage de fréquence » de l'évolution des conditions météorologiques, un système énergétique avec certaines « fréquences de consommation » et capacités de stockage réagit différemment. Les caractéristiques météorologiques suivantes sont aussi toutes physiquement liées les unes aux autres : ensoleillement, température de l'air, humidité ambiante, vitesse du vent, couverture nuageuse et albédo de surface. Les taux de rendement des systèmes solaires, pompes à chaleur, bâtiments ou les périodes d'éclairage dans les bâtiments dépendent également de ces données météorologiques et doivent être pris en compte de manière cohérente dans la simulation.



Lorsqu'il s'agit de la simulation avec des données mesurées (voir aussi à ce sujet les explications dans le paragraphe « Données mensuelles »), l'interrelation des données météo est déjà garantie par la « météo réelle ». Et les consommations d'énergie peuvent également être reproduites avec une grande précision. Les données météo correspondantes proviennent de Mé-

téoSuisse et ont une résolution temporelle d'une heure et une résolution spatiale de 2 x 2 km. L'heure précise du lever et du coucher du soleil est calculée sur la base de l'horizon aux coordonnées exactes du site et de la hauteur du bâtiment, et la position du soleil est prise en compte par paliers d'une minute. L'ombrage local effectif d'un bâtiment peut ainsi également être pris en compte.

2.2 Simulation des bâtiments et des installations techniques

Près de deux tiers de la consommation d'énergie des bâtiments résidentiels existants est utilisée pour le chauffage. À la différence de la consommation d'électricité domestique et d'eau chaude, la consommation d'énergie de chauffage dépend très directement de nombreux facteurs environnementaux : ensoleillement, température extérieure, vitesse du vent, etc. Tous ces facteurs d'influence ainsi que l'inertie thermique du bâtiment doivent être pris en compte pour une reproduction réaliste. Le Tachion Simulation Engine reproduit l'échange thermique via l'enveloppe du bâtiment, la ventilation et l'infiltration, les rejets de chaleur de sources de chaleur internes et les gains passifs dus à l'ensoleillement (voir le tableau 2). Ces derniers fournissent, pour les habitations anciennes, près de 30% de l'énergie de chauffage utile et jusqu'à 80% pour les maisons passives Les installations techniques du bâtiment limitant l'ensoleillement (par ex. stores) ou y étant particulièrement sensibles (par ex. thermostat) sont représentées en conséquence de manière détaillée en fonction du type de bâtiment. De l'habitation ancienne à la maison passive, les besoins en énergie précis pour le chauffage sont ainsi calculés en détail et de façon dynamique. La méthode de simulation ainsi que les modèles de rayonnement affinés sont conformes à la norme suisse SIA 380/1 relative aux bâtiments.
Dans le cadre de la simulation de bâtiment, les aspects suivants sont notamment pris en compte :

Paramètre	**Description**
Géométrie du bâtiment	Longueur, largeur, hauteur, toit à deux pans, orientation du bâtiment, mesures de l'enveloppe du bâtiment, surface de référence énergétique, proportion de combles et de caves chauffés, pourcentage de fenêtres nord/est/sud/ouest
Transmission thermique	Murs, toits, fenêtres, portes et sols
Gains passifs	Rayonnement direct et diffus, coefficient g et facteur d'angle d'incidence des fenêtres, profondeur d'encastrement, stores thermorégulés avec capteur de vent
Ventilation	Ventilation contrôlée manuelle ou automatique (avec récupération de chaleur), infiltration, refroidissement en cas de chaleur excessive (l'été)
Inertie thermique	Capacités thermiques du bâtiment, du chauffage au sol ou bien des radiateurs, des fondations et des principaux composants de l'installation
Charges internes	Personnes présentes, appareils, éclairage, chaleur résiduelle de l'ECS
Température de confort	Déterminée à partir de la température de l'air et de la température de surface
Transmission de chaleur au bâtiment	Radiateurs, chauffage au sol ou chauffage à air
Courbe de chauffage	Température nominale/limite/aller/retour, indice de puissance thermique, thermostat, réglage adaptatif automatique de la courbe de chauffage
Température de consigne	Jour / nuit, diminution éventuelle pendant la nuit

Table 2 : Facteurs liés à la géométrie, à la domotique et aux installations techniques du bâtiment qui sont pris en compte entre autres dans la simulation du bâtiment.

L'utilisateur définit lui-même son bâtiment sur la base du type de bâtiment et de la surface de référence énergétique (SRE). Lorsque la SRE n'est pas expressément indiquée, elle est recalculée sur la base de données statistiques. Tous les autres paramètres relatifs au bâtiment sont également reconstitués sur la base des normes en vigueur, de données empiriques, de bases de données et d'études de plausibilité techniques. Un minimum de questions techniques permet ainsi d'obtenir une reconstitution s'approchant au mieux de la réalité et de garantir une fiabilité élevée de la simulation.

2.3 Autres consommateurs d'énergie

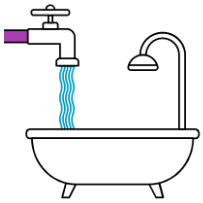
La production d'ECS et l'électricité domestique constituent d'autres consommateurs d'énergie dans le bâtiment. La consommation d'eau chaude varie fortement tout au long de la journée : des pics de consommation surviennent matin, midi et soir, tandis que la consommation reste modérée durant la journée jusqu'au soir. L'approvisionnement en eau chaude s'effectuant via un réservoir d'eau (chauffe-eau), le chauffage après utilisation peut être différé. Les installations d'eau chaude dans les immeubles locatifs impliquent généralement une circulation d'eau chaude. Les déperditions de chaleur qui en résultent ainsi que le mélange du réservoir perturbent le volume et l'heure du réchauffement de l'eau. Tous ces éléments sont pris en compte dans Tachion pour une simulation la plus réaliste possible.

2.3.1 Consommation d'eau chaude

Lors de la simulation d'eau chaude, les aspects suivants sont notamment pris en compte :

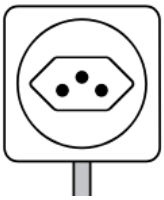
Paramètre	Description
Profil de consommation	Quantité et variation temporelle de la consommation d'eau durant la journée
Hydraulique du système	Configuration du système en fonction des consommateurs, du volume de consommation et du type de chauffage supplémentaire
Capacité des dispositifs de stockage, isolation	En fonction du système et de l'utilisation des dispositifs de stockage, ils sont dimensionnés et isolés conformément à la norme SIA 384/385 et aux dimensions courantes sur le marché.
Position du serpentin et des raccords	La position et la taille de l'échangeur à serpentin et des raccords directs du dispositif de stockage, ainsi que la position des capteurs marche/arrêt sont dimensionnées
Circulation	La longueur du réseau de circulation, la conduite, l'isolation et les temps de validation sont dimensionnés et fixés en fonction de la taille de l'objet
Déperditions de chaleur	Pertes au niveau du dispositif de stockage, des raccords, de la circulation et du débit
Phénomènes thermodynamiques	Conduction thermique verticale dans la paroi du dispositif de stockage et la stratification de l'eau, convection libre unilatérale au niveau des serpentins, thermocirculation dans les tuyaux

Table 3 : Facteurs liés à la géométrie et à l'installation de chauffage qui sont pris en compte dans le cadre de la simulation de l'eau chaude.



Dans l'installation d'ECS comme dans le circuit de chauffage, un réglage de l'installation est essentiel pour une mise à disposition fonctionnelle de l'énergie de chauffage. Dans la pratique, le technicien en chauffage effectue une comparaison hydraulique et un réglage de la courbe de chauffage. Lors de la simulation, cela s'effectue par le biais d'un assistant On-Site.

2.3.2 Consommation électrique



Le stockage de l'électricité coûtant beaucoup plus cher que celui de la chaleur, la simultanéité de la production et de la consommation d'électricité constitue un facteur déterminant pour l'établissement du bilan énergétique. Actuellement, aucune batterie n'est utilisée dans les calculateurs solaires de SuisseEnergie/Swissolar, ce qui correspond en règle générale aux installations solaires actuelles. Lorsque l'utilisation de l'électricité photovoltaïque pour le ménage ou la production d'ECS s'avère impossible, elle doit être réinjectée dans le réseau à un prix relativement bas. La consommation électrique dans le ménage peut varier rapidement : Les appareils peuvent être rapidement allumés et éteints ou varier en termes de puissance. Par ailleurs, la mise en veille, les appareils de refroidissement ou encore les installations techniques du bâtiment peuvent entraîner des consommations électriques constantes et intermittentes. La consommation électrique varie de façon horaire (voir moins), journalière, hebdomadaire et saisonnière suivant des profils spécifiques (voir le tableau 3). Outre le volume de consommation, le type d'occupants (par ex. une famille avec des enfants, un couple exerçant une activité professionnelle, des retraités, une colocation ou des personnes seules) a un impact conséquent sur la part de consommation propre d'électricité photovoltaïque. Au cours de sa durée de vie, une installation solaire de 30 à 40 ans connaît généralement un mélange hétérogène de types d'occupants. Tachion tient compte de ce facteur en générant un profil mixte pour la simulation, qui convient parfaitement pour une prévision à long terme. Le rendement des modules solaires, en légère baisse au fil des ans (« dégradation »), est également simulé. En ce qui concerne la simulation de la consommation électrique domestique, les aspects suivants sont notamment pris en compte :

Paramètre	**Description**
Nombre d'occupants	Définit la quantité et la fréquence des approvisionnements en électricité au cours de la journée. Une augmentation du nombre d'occupants garantit un profil de consommation électrique plus homogène.
Consommateurs de courant ménage	Compris dans la consommation : appareils dans la cuisine et la salle de bains, éclairage, appareils électroniques, pertes en veille, part d'électricité liée à la domotique. Non compris : générateurs de chaleur électriques (pompe à chaleur, thermoplongeur), consommation électrique à usage professionnel, mobilité électrique.
Profils journaliers	Les profils journaliers utilisés représentent la consommation électrique moyenne de la population. Lors de l'établissement du profil, cette valeur a l'importance d'une « probabilité pour un approvisionnement en électricité ».
Cycle hebdomadaire	Profils journaliers spécifiques pour les jours de semaine / le samedi / le dimanche
Cycle annuel	Profils journaliers spécifiques pour l'hiver / l'intersaison / l'été et les volumes de consommation variables au fil de l'année.
Résolution du temps	La gestion des batteries et l'utilisation thermique du courant (p.ex. la charge de la chaudière) sont modélisés le continuum temporel, c'est-à-dire en fonction des temps exacts de charge ou de décharge requis. Les profils de charge sont simulés avec une résolution au quart-d'heure.
Profiles « commerce »	En lieu et place du profil « ménage », il est possible de choisir un profil « commerce » sur 5, 6 ou 7 jours. Il s'agit ici de profils hebdomadaires statiques qui se répète de manière cyclique sur toute l'année. La consommation est mise à l'échelle de sorte à obtenir le total annuel souhaité.

Table 4 : Établissement du profil de consommation pris en compte pour la simulation de l'électricité domestique.

Les profils de courant établis par le générateur Tachion présentent un comportement stochastique (aléatoire)[1] sur une courte échelle de temps, les évolutions hebdomadaires et mensuelles correspondent aux données de consommation statistiques. En combinaison avec un générateur électrique de chaleur, l'électricité photovoltaïque disponible est utilisée en priorité pour le ménage et en deuxième lieu pour la production d'ECS. Par ailleurs, un dispositif de blocage peut être activé en journée (par ex. au niveau du chauffe-eau) pour la charge solaire, le régulateur Tachion étant configuré de manière à ce qu'aucune hausse excessive de température n'ait lieu dans le dispositif de stockage. Ces réglages sont conformes à la pratique courante.

2.4 Technique énergétique

La technique énergétique englobe l'ensemble des composants et éléments utilisés pour la transformation, la transmission, le stockage et la distribution d'énergie (sous forme de courant ou de chaleur). Les systèmes conventionnels nécessitent des dispositifs de stockage plus ou moins importants en fonction de la disponibilité temporelle de sources d'énergie (par ex. des pompes à chaleur fonctionnant la nuit avec du courant à bas tarif ou des chaudières à bûches alimentées seulement une fois par jour). En combinaison avec le solaire thermique, le volume de stockage est augmenté et permet un stockage d'eau chaude pour 1 à 2 jours, voire une semaine avec des accumulateurs combinés. La reproduction précise du comportement de dispositifs de stockage solaires requiert la modélisation de nombreux phénomènes de transmission de chaleur et phénomènes mixtes. Tachion reproduit dans son modèle de stockage une stratification fine (« gradation de température »). Cela permet de simuler avec précision l'heure à laquelle le chauffage d'appoint est activé et désactivé. Même des algorithmes de contrôle et de priorité spéciaux en lien avec le photovoltaïque et les pompes à chaleur peuvent ainsi être parfaitement simulés.
D'autres déperditions surviennent lors du transport d'énergie via les conduites. Des estimations de la longueur des conduites solaires, domestiques et de circulation sont par ailleurs effectuées et simulées. Les dispositifs de stockage ainsi que les conduites véhiculant la chaleur sont isolés conformément à la norme SIA 384/385.

2.5 Bilan énergétique

La proportion d'énergie solaire et d'énergie supplémentaire fournie au consommateur dépend de l'efficacité des systèmes et de l'interaction entre les deux formes d'énergie. L'optimisation des systèmes solaires présuppose une méthodologie aussi « infaillible » que possible et une limite de bilan définie de manière claire et appropriée. Aux fins de l'établissement du bilan, l'Energy Packet Tracking intervient dans Tachion : chaque « paquet énergétique » fourni au système se voit affecter une « étiquette d'expéditeur ». Lors des transports, pertes ou mélanges de couches énergétiques, la composition des paquets est recalculée et ces derniers sont suivis sur l'ensemble du système jusqu'à la consommation. L'établissement du bilan a lieu lors de l'achat d'un service énergétique. Les achats d'électricité, d'eau et de chauffage se composent ainsi de milliers de petits paquets énergétiques tout au long de l'année. Le bilan pour un système étant calculé avec et sans installation solaire, l'économie solaire effective peut être justifiée. La méthode est aussi très robuste vis-à-vis d'atteintes significatives au design du système, et permet ainsi une évaluation globale objective.

[1] Des hasards en série déterministes étant utilisés pour les différents approvisionnements en électricité, une réitération de la simulation entraîne toujours le même résultat.

3 Rendement solaire et autres sources d'énergie

Le calcul du rendement solaire s'effectue au début du calcul énergétique global et est un élément essentiel pour une simulation solaire précise. La prise en compte détaillée de l'ensemble des facteurs environnementaux pertinents est ici tout aussi importante. Le calcul de la position du soleil s'effectue ainsi par exemple à la minute près.

3.1 Photovoltaïque

Tachion calcule le rendement des modules photovoltaïques sur la base des facteurs d'influence suivants :

Paramètre	Description
Données météo	Données prises en considération : position du soleil, rayonnement direct, intensité et diffusion hémisphérique du rayonnement diffus, couverture neigeuse (albédo), température du ciel et température ambiante, vitesse du vent
Rendement	Rendement des modules dans des conditions standards d'essai (STC)
Influence de la température	Dépendance du rendement par rapport à la température selon STC, calcul de la température des modules sur la base du rayonnement, de la vitesse du vent, de la température du ciel et de la température ambiante
Influence du rayonnement	Correction d'une faible luminosité
Influence géométrie	Correction du rendement sur la base du facteur angulaire
Dégradation	Diminution du rendement en raison du vieillissement des modules
Encrassement	Diminution des performances en raison de l'encrassement des modules
Effet de faible luminosité	Rendement électrique des modules en fonction de l'irradiation
Déséquilibre	Diminution des performances en raison de variations de puissance entre les modules
Pertes au niveau des lignes	Pertes au niveau des lignes DC liées aux performances
Onduleurs	Prise en compte de la courbe caractéristique des onduleurs

Table 5 : Facteurs d'influence sur le rendement de l'installation photovoltaïque.

3.2 Solaire thermique

Tachion calcule le rendement solaire thermique sur la base des facteurs d'influence suivants :

Paramètre	Description
Données météo	Données prises en considération : Position du soleil, rayonnement direct, intensité et diffusion hémisphérique du rayonnement diffus, couverture neigeuse (albédo), température ambiante, vitesse du vent
Rendement	Rendement optique selon ISO-9806
Influence de la température	Coefficients de pertes linéaires et quadratiques selon ISO-9806
Influence géométrie	Facteur angulaire longitudinal / transversal
Capacité thermique	Inertie thermique des capteurs

Pertes au niveau des lignes	Déperditions de chaleur résultant de la longueur et de l'isolation des conduites
Transmission thermique	Transmission thermique à l'aide de la géométrie des échangeurs thermiques

Table 6 : Facteurs d'influence sur le rendement de l'installation solaire thermique.

Les caractéristiques de performance des collecteurs sont déterminées et certifiées par une procédure d'essai normalisée au niveau international. En Suisse, l'Institut de technologie solaire SPF à Rapperswil effectue ces tests et tient à jour la base de données de tous les capteurs éligibles aux subventions. Peu de temps après leur validation, les données des capteurs sont mises à disposition des utilisateurs du calculateur solaire.
Le rendement solaire thermique dépend essentiellement de la température et de la stratification du dispositif de stockage. L'activité de la pompe solaire est couplée directement à la température dans le dispositif de stockage via le régulateur solaire. Tachion tient compte de toutes ces interactions. La dégradation simulée pour le photovoltaïque ne survient pas pour le solaire thermique. Elle n'est donc pas modélisée.

3.3 Chauffage supplémentaire (chauffage non solaire)

Outre la source d'énergie solaire, la source d'énergie supplémentaire (pour le solaire thermique ou le photovoltaïque avec pompe à chaleur) est également à modéliser en détail et à simuler de façon dynamique. Dans le cas de cycles de mise en service et hors service fréquents (comme par exemple l'été pour réchauffer l'eau chaude), il se peut, le cas échéant, que le rendement d'une chaudière baisse de moitié. D'un autre côté, des chaudières à condensation peuvent mieux exploiter les ressources énergétiques de quelques pourcents. Une série de facteurs d'influence est ainsi prise en compte lors de la simulation. Tachion calcule l'énergie fournie par le chauffage supplémentaire, entre autres sur la base des facteurs d'influence suivants :

Paramètre	**Description**
Rendement	Partie exploitable de l'énergie finale fournie au système sous forme de chaleur.
Puissance nominale	Consommation énergétique maximale d'un appareil. Pour les pompes à chaleur, cette dernière dépend également de la température source et de la température aller.
Puissance minimale	Consommation énergétique minimale en cas d'appareils de modulation (par ex. la pompe à chaleur en combinaison avec des installations photovoltaïques).
Masse thermique	Énergie thermique requise lors du démarrage de chaudières et de pompes à chaleur.
Facteur de qualité	Pour les pompes à chaleur : données caractéristiques des performances d'entrée et de sortie en fonction de la température source et de la température aller conformément aux mesures de référence (EN 14511).
Influences environnementales	PAC air/eau : température extérieure, pompes à chaleur eau glycolée-eau : température du sol dynamique, chaudière : pression partielle d'oxygène moyenne (altitude au-dessus du niveau de la mer)

Table 7 : Facteurs d'influence sur l'énergie délivrée par le chauffage supplémentaire.

Outre le rendement de la transformation énergétique, le bilan de CO_2 d'une source d'énergie est l facteur déterminant pour l'évaluation écologique des systèmes d'approvisionnement en énergie. Les facteurs CO_2 utilisés avec le calculateur de SuisseEnergie reposent sur les études du WWF Suisse.

4 Déroulement de la simulation

Sur la base du paramétrage par l'utilisateur et des valeurs déterminées par l'assistant Tachion, l'installation complète est planifiée en détail à l'aide de principes de planification reconnus et des normes en vigueur. L'assistant de planification détermine jusqu'à 500 paramètres pour les installations photovoltaïques et jusqu'à 1000 paramètres pour les installations solaires thermiques et les transmet au Tachion Simulation Engine en vue de la simulation annuelle.

Pendant la simulation, les étapes suivantes se déroulent :

- Calcul de la ligne d'horizon à l'aide des coordonnées du site
- Détermination des données météo du site en tenant compte de l'horizon
- Calcul du rayonnement sur les surfaces des modules/capteurs
- Calcul des profils de consommation électrique domestique
- Calcul des profils de besoins en eau chaude
- Simulation des besoins thermiques du bâtiment
- Simulation annuelle dynamique : Simulation en haute résolution temporelle de la transformation énergétique et des transports d'énergie depuis des sources d'énergie via le dispositif de stockage (ou directement) jusqu'aux consommateurs, pertes d'énergie, etc. Les rendements dépendants des conditions et les transports d'énergie sont intégrés de façon dynamique et simulés.

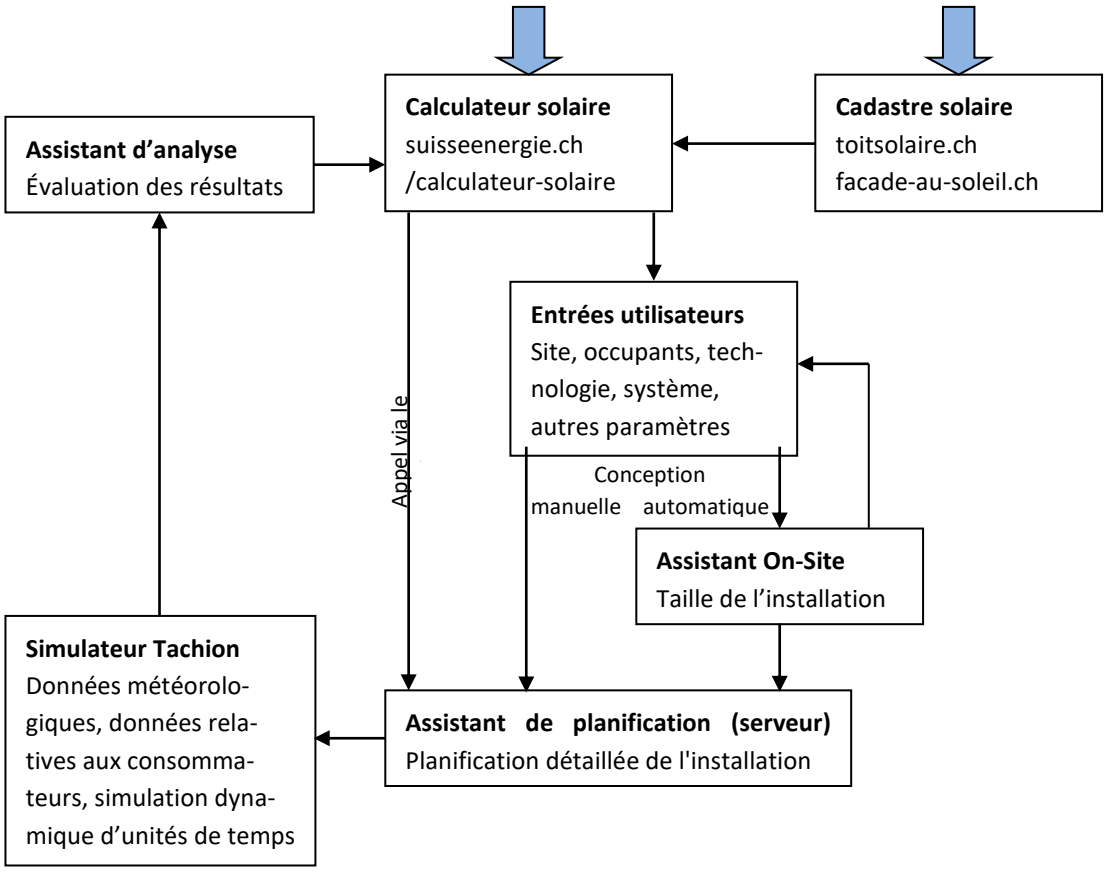
Pour l'évaluation de la simulation, des dizaines de caractéristiques sont disponibles en différentes résolutions temporelles (valeurs horaires, journalières, mensuelles et annuelles), ainsi que divers paramètres système. L'assistant rassemble ces données en valeurs caractéristiques requises pour l'affichage et les transmet à l'interface utilisateur. Les données sont présentées sous forme de tableau, graphique, etc.

5 L'assistant Tachion

L'utilisateur du calculateur solaire n'a rien besoin de savoir au sujet du dimensionnement et de la construction des installations solaires. C'est l'assistant Tachion qui s'en charge. Le tableau suivant montre les paramètres pouvant être définis par le cadastre solaire (www.toitsolaire.ch et www.facade-au-soleil.ch), par l'utilisateur dans la fenêtre principale ou via « Autres paramètres », et lesquels sont proposés par l'assistant Online (partie de l'assistant dans l'interface utilisateur) :

Paramètre	Cadastre solaire	Fenêtre principale	Autres paramètres	Assistant Online	Description
Site (code postal)	X	X			Base pour les données météo de la simulation
Coordonnées du site	X				Base pour les données météo et l'ombrage par l'horizon (montagnes, collines)
Technologie	X	X			Photovoltaïque (électricité) ou solaire thermique (chauffage)
Conception	X	X			Planification manuelle ou automatique (assistant)
Nombre d'occupants	X	X			Définit la taille de l'installation
Système		X			Photovoltaïque : Électricité domestique, électricité + eau chaude Solaire thermique : eau chaude uniquement, eau chaude + chauffage
Orientation / inclinaison	X	X			Orientation et inclinaison des modules (du toit)
Rendement des modules			X		Photovoltaïque : 13, 17, 19, 20, 21, 23 %
Production d'ECS			X		Photovoltaïque : PAC air/eau, chauffage électrique
Type de capteur			X		Solaire thermique : Capteur plan ou à tubes
Système de chauffage existant			X		Chaudière à mazout/standard à gaz/à condensation, à pellets, à bûches, pompe à chaleur air/eau glycolée-eau, chauffage électrique
Type de bâtiment			X		Année de construction : avant 1950, 1950-1979, 1980-1999, 2000-2014, ou standard de nouvelle construction, Minergie, Minergie-P
Surface d'habitation	X		X	X	Définit la taille du bâtiment
Surface de toiture occupée	X	X		X	Photovoltaïque : surface PV installée sur le toit
Surface de façade occupée	X	X		X	Photovoltaïque : surface PV installée au niveau de la façade
Surface de capteurs		X		X	Solaire thermique : surface brute des capteurs installés
Taille du réservoir d'eau		X		X	Solaire thermique : accumulateur de chaleur installé
Interrelation surface/accumulateur		X			Solaire thermique : Le rapport entre la surface de capteurs et le dispositif de stockage est déterminé automatiquement

Pour l'ensemble des paramètres d'entrée, des pré-réglages les plus plausibles possibles sont indiqués ou pré-calculés. Les valeurs peuvent être reprises par l'utilisateur ou adaptées. La planification de l'installation devient ainsi progressivement plus précise et plus concrète.
Tous les paramètres d'entrée supplémentaires requis pour la simulation sont déterminés sur la base des paramètres transmis au calculateur solaire par le cadastre solaire (dès l'activation du bouton « Que coûte mon installation photovoltaïque ? » ou « Que coûte mon installation solaire thermique ? »). La planification détaillée et la simulation sont effectuées et l'évaluation énergétique et financière annoncée. Le schéma suivant montre les différents flux d'informations :



5.1 Conception manuelle et automatique

Tous les paramètres suggérés par l'assistant Online peuvent être adaptés par l'utilisateur. Les dépendances des paramètres nécessaires pour une conception cohérente de l'installation sont par ailleurs toujours prises en compte par l'assistant. Pour éviter cet automatisme, il convient de basculer la conception en « manuel ». Cela permet de définir et simuler également des installations non conformes. Pour le solaire thermique, une corrélation entre la taille du dispositif de stockage et le champ de capteurs peut en outre être activée ou désactivée. Cela permet d'effectuer d'autres étapes d'optimisation manuelle. Afin de déterminer si une telle configuration remplit encore les critères de subvention dans le cas du solaire thermique, les données peuvent être entrées dans le calculateur solaire www.qm-solar.ch et la conception de l'installation analysée d'un simple clic. Tous les capteurs éligibles peuvent également être utilisés dans la simulation et évalués dans le calculateur QM-Solar. Le calculateur calcule également les subventions cantonales pour chaque configuration d'installation.

6 Documentation utilisateur « Calcul de rentabilité »

Ce chapitre explique les méthodes de calcul de rentabilité des installations solaires, qui englobent les conditions-cadres économiques, les modèles tarifaires pour les coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien, ainsi que les aides financières.
Le calculateur solaire affiche les trois principaux résultats du calcul de rentabilité dans le tableau récapitulatif « Résultats simulation ». L'évaluation détaillée ainsi que les paramètres de base fondamentaux peuvent être consultés dans la boîte de dialogue « Calculateur de rendement ».

6.1 Principaux résultats dans le récapitulatif des résultats

Photovoltaïque

Résultats de la simulation	Explications
Coût de l'installation clé en main	Les coûts d'investissement totaux pour une installation sur toiture englobent la planification, le matériel, l'installation, ainsi que l'annonce et la mise en service de l'installation. Le remplacement ultérieur éventuel de composants (p. ex. onduleur), les déductions fiscales et les aides financières ne sont pas pris en compte. Les coûts pour une installation intégrée sont indiqués dans l'infobulle. Les montants indiqués sont des valeurs empiriques typiques pour la Suisse.
Petite rétribution unique PRU	Rétribution unique pour une installation ajoutée. Celle-ci s'aligne uniquement sur la puissance installée de l'installation. La PRU (« petite rétribution unique ») est indiquée pour les installations de moins de 100 kW, et la GRU (« grande rétribution unique ») pour les installations de plus grande envergure. La rétribution unique pour une installation intégrée est indiquée dans l'infobulle.
Durée d'amortissement de l'installation	Le calcul de la durée d'amortissement de l'installation tient compte des coûts d'investissement nets de l'installation (voir ci-dessous), des coûts d'entretien (y compris le remplacement de composants dont la durée de vie est statistiquement plus courte), des économies liées à la consommation propre et des gains liés à la revente du courant.

Solaire thermique

Résultats de la simulation	Explications
Coût de l'installation clé en main	Les coûts d'investissement totaux pour une installation solaire thermique avec dispositif de stockage (accumulateur) englobent la planification, le matériel, l'installation, ainsi que l'annonce et la mise en service de l'installation. Le remplacement ultérieur éventuel de composants (p. ex. pompe, agent caloporteur), les déductions fiscales et les aides financières ne sont pas pris en compte.

	Les coûts « sans installation solaire » sont indiqués ici par un zéro. Une analyse minutieuse révèle toutefois que les coûts d'un chauffe-eau s'appliquent inévitablement. Ces « coûts inévitables » sont inclus dans le calcul de la subvention et de l'amortissement. Les montants indiqués sont des valeurs empiriques typiques pour la Suisse.
Encouragement cantonal	La subvention cantonale dépend de trois facteurs : du canton concerné (état 2021 : pas de subvention dans les cantons ZG et ZH), du type de capteur utilisé et du nombre de capteurs (pour plus de détails, voir kollektor-liste.ch et qm-solar.ch). Conformément au Modèle d'encouragement harmonisé des cantons ModEnHa, la subvention couvre 20% des coûts supplémentaires de l'installation solaire. Les éventuels programmes d'encouragement locaux ne sont pas pris en compte.
Durée d'amortissement de l'installation	Le calcul de la durée d'amortissement de l'installation tient compte des coûts nets de l'installation (voir ci-dessous), des coûts d'entretien (y compris le remplacement de composants), ainsi que des économies.

6.2 Résultats de la rentabilité dans la boîte de dialogue « Calculateur de rendement »

Le « calculateur de rendement » affiche d'autres résultats concernant la rentabilité et permet de modifier les conditions-cadres. Les prix de l'électricité (tarif haut/bas et tarif de rachat) sont déterminés sur la base de données disponibles publiquement. S'il y a plusieurs fournisseurs d'électricité dans une municipalité, l'utilisateur doit choisir le fournisseur le concernant. Toutefois, les prix peuvent également être définis manuellement :

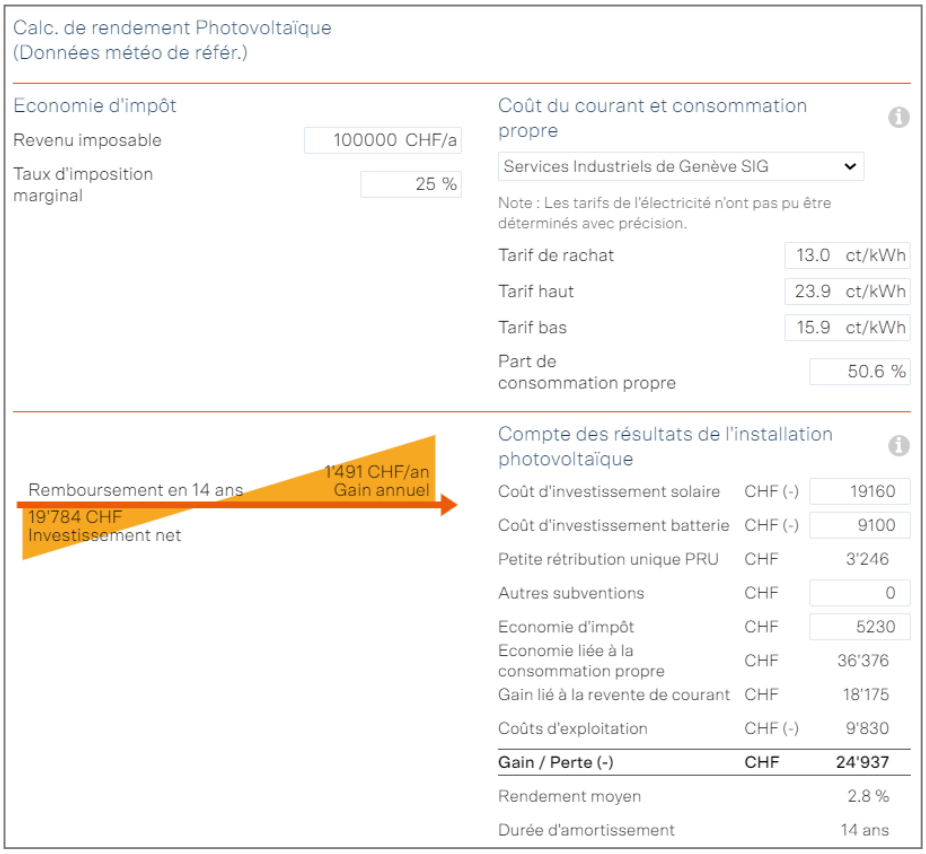


Fig. 11 : Boîte de dialogue pour les paramètres de base et les résultats détaillés du calculateur de rendement.
Le site se trouve à Vessy, où SIG est le fournisseur d'électricité.

Interface utilisateur	Explications
Modèle de rémunération* (valeurs : sans aide, PRU, GRU)	Différents modèles d'aide peuvent être sélectionnés pour le calcul de la rentabilité. Pour les installations de plus de 100 kW, la PRU peut aussi être choisie au lieu de la GRU.
Maître d'ouvrage : Société* (valeurs : oui / non)	Pour les sociétés, les prix sont calculés sans TVA (tant pour l'investissement que pour les coûts de l'énergie, la rétribution unique est quant à elle soumise à la TVA) et le taux d'imposition marginal est fixé à 20%.
Revenu imposable (valeurs : 0 à 250 000 CHF)	Les coûts d'investissement d'une installation solaire étant déductibles dans quasiment tous les cantons, l'indication du taux d'imposition marginal est requise pour le calcul des coûts nets et de l'amortissement. Plus le revenu est élevé, plus les coûts nets sont bas et plus la durée d'amortissement est courte.
Taux d'imposition marginal (valeurs : 0 à 60 %)	Le calcul correspondant s'effectue de manière générique sur la base du revenu imposable. Le taux d'imposition marginal effectif dépend de votre commune de domicile et d'autres facteurs-clés (comme l'état civil, la confession, etc.). Le taux d'imposition marginal estimé peut donc être modifié ici.
Tarif de rachat (valeurs : 0 à 30 ct./kWh)	Tarif auquel votre entreprise électrique rétribue l'électricité produite par votre installation et réinjectée dans le réseau. Votre tarif de rachat local peut être consulté et validé sur pvtarif.ch.
Heures pleines / creuses (valeurs : 0 à 30 ct./kWh)	Tarifs auxquels votre entreprise électrique facture l'électricité soutirée au réseau. Vous trouverez ces valeurs sur votre facture d'électricité (en cas de tarif unitaire, appliquez cette valeur pour les deux tarifs).
Part de consommation propre (valeurs : 0 à 100%)	La part de consommation propre indique le pourcentage d'électricité photovoltaïque produite qui est utilisé dans la consommation propre du ménage. Sans batteries, la consommation propre nécessite une production et une consommation simultanées de l'électricité photovoltaïque. Cela vaut donc la peine d'effectuer les activités particulièrement énergivores comme la cuisine, la cuisson au four, la lessive, la vaisselle (ou de programmer la minuterie en conséquence) lorsque le soleil brille (ou est susceptible de briller) sur l'installation photovoltaïque. En fonction des habitudes des habitants, la part de consommation propre varie de ±10%. La simulation part d'un « comportement mixte des consommateurs ». La valeur établie par la simulation peut être augmentée de 10% lorsque de nombreuses personnes sont présentes pendant la journée, et réduite de 10% lorsque peu de personnes sont présentes, ainsi que le week-end. Il faut tenir compte du fait que l'installation PV fonctionnera pendant

	plus de 30 ans et que le comportement des utilisateurs doit être évalué sur cette période. En règle générale, le « profil mixte des consommateurs » constitue donc l'approche la plus réaliste. Pour les chauffe-eaux électriques ou avec pompe à chaleur, la simulation part du principe qu'un chauffage est possible durant la journée. Cela nécessite que la commande du chauffe-eau soit en mesure de le faire et paramétrée en conséquence.
Coûts d'investissement	Les coûts indiqués correspondent à la valeur moyenne de nombreux projets réalisés. Les coûts englobent la planification, le matériel, l'installation, la mise en service et les frais administratifs. Les coûts pour l'échafaudage ou le raccordement à la protection contre la foudre sont en partie inclus. Ces frais supplémentaires s'appliquent pour une partie des installations PV et pas pour d'autres. Concernant les frais pour les chemins de câbles ou la qualité des composants, des solutions moyennes en termes de prix ont été prises pour base. Les économies réalisées par le biais d'effets de substitution (tuiles « classiques » en cas d'une installation intégrée, façade, etc.) ne sont pas prises en compte.
Rétribution unique (photovoltaïque)	PRU : Les installations de 2 à 99,9 kW reçoivent la « petite rétribution unique ». Pour les nouvelles demandes à partir de 2019, la rétribution sera versée après un temps d'attente d'env. 1 an et demi. GRU : La « grande rétribution unique » peut être demandée pour les installations de 100 à 50 000 kW. Pour les nouvelles demandes à partir de 2019, la rétribution sera versée après un temps d'attente d'env. 3 ans.
Subvention cantonale (solaire thermique)	Tous les cantons (à l'exception d'AG, ZG et ZH) ainsi que de nombreuses communes soutiennent les installations solaires thermiques (veuillez-vous renseigner auprès des autorités de votre canton et de votre commune). La valeur indiquée correspond à 20% des coûts supplémentaires d'une installation solaire. Cette directive correspond au Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa). Renseignez-vous sur d'éventuels programmes d'encouragement supplémentaires sur le lieu de votre domicile.
Économie d'impôts	Les charges fiscales économisées conformément au taux d'imposition marginal. La rétribution unique est à déduire de l'investissement. La valeur calculée automatiquement peut être écrasée manuellement si l'économie d'impôt est connue avec précision (ou si elle est par exemple obtenue par le calculateur fiscal de l'administration fédéral des contributions AFC : https://swisstaxcalculator.estv.admin.ch/#/calculator/income-wealth-tax)
Coûts d'investissement nets	Il s'agit des coûts d'investissement, déduction faite de la subvention (rétribution unique ou subvention cantonale) et de l'économie d'impôts.

(Indicateur)	
Économie liée à la consommation propre	Économie indexée grâce à la consommation propre pendant toute la durée de vie de l'installation : L'électricité photovoltaïque consommée simultanément dans le ménage permet d'économiser les coûts d'approvisionnement correspondants en électricité provenant du réseau et de réaliser des économies financières significatives.
Gain lié à la revente de courant (photovoltaïque)	Produit indexé de l'injection de courant pendant toute la durée de vie de l'installation : L'électricité photovoltaïque qui n'est pas consommée dans le ménage est réinjectée dans le réseau conformément aux conditions de l'entreprise électrique locale. Les tarifs correspondants s'élèvent aujourd'hui à env. 5 à 12 ct./kWh, mais peuvent varier d'une année à l'autre.
Effets de synergie (solaire thermique)	Les coûts d'investissement de l'installation solaire thermique englobent également les coûts liés à l'accumulateur solaire. Cependant, un chauffe-eau /boiler est requis même sans installation solaire. Ces « coûts inévitables » sont calculés (voir ci-dessous). Par ailleurs, l'installation solaire réduit l'utilisation du chauffage supplémentaire (chaudière ou pompe à chaleur), augmentant ainsi sa durée de vie. Et enfin, l'entretien peut être réalisé en même temps pour les deux installations. Globalement, un effet de synergie d'env. 30% des coûts d'investissement peut être envisagé.
Coûts d'exploitation	Coûts d'exploitation indexés pendant toute la durée de vie de l'installation : Les coûts d'entretien d'une installation solaire sont minimes. Dans l'ensemble, il s'agit de remplacer les composants qui ne présentent statistiquement pas la même durée de vie que celle des modules ou des capteurs (p. ex. PV : onduleur, solaire thermique : pompes, agent caloporteur (glycol)). Ce calcul évalue les coûts d'exploitation et d'entretien annuels à 1% des coûts d'investissement pour le photovoltaïque et à 0,5% pour le solaire thermique.
Gain / perte (-)	Bilan des dépenses et recettes/économies sur l'ensemble de la durée de vie de l'installation (calculé sur la base de 30 ans). En cas de résultat positif (« gain »), les économies et rendements dépassent les coûts d'investissement et d'exploitation de l'installation.
Rendement moyen	Rendement annuel moyen de l'installation solaire par rapport aux coûts d'investissement nets.
Durée d'amortissement	Après cette période, les rendements nets moyens cumulés dépassent les coûts d'investissement nets. Le bilan financier de l'installation est alors positif.

*) Ces possibilités de réglage sont uniquement disponibles dans le calculateur solaire de Swissolar (swissolar.ch/fr/pour-maitres-douvrage/outils-de-calcul/calculateur-denergie-solaire).

6.3 Effets à long terme

Les prévisions sur plusieurs décennies sont naturellement accompagnées d'incertitudes. La durée de vie statistique d'une installation solaire étant de 30 à 40 ans, des hypothèses s'imposent concernant l'évolution technique et économique pendant ce laps de temps. Les paramètres suivants sont pris pour base pour les calculs de rentabilité :

Paramètres : Valeur	**Explications**
Durée de vie : 30 ans	La durée de vie prévisionnelle est de 30 ans pour le photovoltaïque et le solaire thermique. De nombreuses installations fonctionnent déjà depuis bien plus de 30 ans. Concrètement, il convient cependant d'évaluer si les conditions préalables sur le plan architectural (rénovation du toit, système de chauffage, utilisation du bâtiment, etc.) présenteront aussi vraisemblablement cette espérance de vie.
Inflation : 1%	Inflation moyenne sur les 30 prochaines années. L'inflation se répercutera sur les prix de l'énergie et l'entretien de l'installation.
Hausse des prix réels : 0% à 2%	En raison des conditions-cadres économiques et politiques, on peut s'attendre à des augmentations de prix différentes selon le type de source d'énergie : On suppose une augmentation réelle des prix de 2 % pour les combustibles fossiles, de 1 % pour l'électricité et de 0 % pour le bois.
Dégradation : 0,34%	Le rendement des modules photovoltaïque baisse d'env. 0,4% par an en raison du vieillissement. Après 30 ans, le rendement représente encore à peu près 90% du rendement de la première année. L'évolution dégressive de la production d'électricité est confrontée à l'évolution progressive des prix.

6.4 Modèle de calcul pour les coûts d'investissement et les aides financières

Photovoltaïque (sans composants supplémentaire pour l'assistance à la production d'eau chaude ou au chauffage)

Le calcul des coûts pour les installations photovoltaïques est basé sur de nombreuses comparaisons d'offres réalisées par SuisseEnergie sur différentes tailles d'installations. Le tableau suivant présente une vue d'ensemble des coûts (TVA comprise) pour différentes classes de puissance :

Puissance installée	**Installation ajoutée clés en main**	**Coûts spécifiques (ajouté)**	**Installation intégrée clés en main**	**Coûts spécifiques (intégré)**
2 kW	9'272 CHF	4'636 CHF/kW	11'126 CHF	5'563 CHF/kW
3 kW	11'952 CHF	3'984 CHF/kW	14'342 CHF	4'781 CHF/kW
5 kW	16'863 CHF	3'373 CHF/kW	20'236 CHF	4'047 CHF/kW

10 kW	27’353 CHF	2’735 CHF/kW	32’824 CHF	3’282 CHF/kW
15 kW	36’304 CHF	2’420 CHF/kW	43’565 CHF	2’904 CHF/kW
20 kW	44’370 CHF	2’219 CHF/kW	53’244 CHF	2’662 CHF/kW
30 kW	59’009 CHF	1’967 CHF/kW	70’811 CHF	2’360 CHF/kW
50 kW	85’478 CHF	1’710 CHF/kW	102’574 CHF	2’051 CHF/kW
75 kW	116’420 CHF	1’552 CHF/kW	139’704 CHF	1’863 CHF/kW
100 kW	146’349 CHF	1’463 CHF/kW	175’619 CHF	1’756 CHF/kW
125 kW	175’748 CHF	1’406 CHF/kW	210’898 CHF	1’687 CHF/kW
150 kW	204’816 CHF	1’365 CHF/kW	245’779 CHF	1’639 CHF/kW

Photovoltaïque avec production d’eau chaude

En sus des coûts présentés ci-dessus s’ajoutent les coûts supplémentaires pour une éventuelle modification du système d’alimentation en eau chaude. Ils sont comptabilisés de la manière suivante : CHF 500.- + CHF 1.- * volume nominal de la chaudière.

Photovoltaïque avec production d’eau chaude et chauffage

Pour une installation PV avec assistance au chauffage, l’intégration du système de chauffage peut varier considérablement d’un cas à l’autre. De ce fait, seuls sont comptabilisés ici les coûts supplémentaires pour le système de contrôle. Un montant forfaitaire de CHF 1000.- est ajouté aux coûts de l’installation PV avec production d’eau chaude.

Batteries

Les coûts d’investissement pour les batteries sont comptabilisés à CHF 1400.-/kWh. Si le prix exact est connu, il peut être introduit à la main dans le « calculateur de rendement ».

Rétribution unique RU

Vous trouverez les aides financières pour les installations photovoltaïques, formulaires, conditions et modalités ici :
https://pronovo.ch/fr/subventions/retribution-unique-ru/calculer-le-montant-dune-subvention/

Le réajustement des tarifs dans le calculateur solaire intervient généralement un mois avant le changement de tarif officiel.

Solaire thermique

En raison des conditions préalables extrêmement variables sur le plan architectural pour les systèmes d’eau chaude et de chauffage, le calcul des coûts pour les installations solaires thermiques est plus difficile à définir avec précision que pour le photovoltaïque. Les coûts pour le solaire thermique reposent entre autres sur des études de terrain de Ernst Basler + Partner AG (EBP). Les données ont servi à élaborer un modèle permettant de définir indépendamment les principaux composants « accumulateur solaire » et « champ de capteurs » (et le type de capteur). Le tableau suivant présente une vue d’ensemble des coûts (TVA comprise) pour différentes tailles d’installations :

Taille Champ de capteurs	Eau chaude (ECS) Capteur plan	Eau chaude (ECS) Capteur à tubes	Chauffage + ECS Capteur plan	Chauffage + ECS Capteur à tubes
4 m^2	12’280 CHF	12’600 CHF	15’280 CHF	15’600 CHF
8 m^2	17’560 CHF	18’200 CHF	18’560 CHF	19’200 CHF
12 m^2	23’090 CHF	24’050 CHF	23’090 CHF	24’050 CHF
16 m^2	28’870 CHF	30’150 CHF	28’870 CHF	30’150 CHF
20 m^2	33’400 CHF	35’000 CHF	33’400 CHF	35’000 CHF
24 m^2	36’680 CHF	38’600 CHF	39’180 CHF	41’100 CHF
28 m^2	39’960 CHF	42’200 CHF	44’960 CHF	47’200 CHF
32 m^2	43’240 CHF	45’800 CHF	50’740 CHF	53’300 CHF
36 m^2	46’520 CHF	49’400 CHF	56’520 CHF	59’400 CHF
40 m^2	49’800 CHF	53’000 CHF	59’800 CHF	63’000 CHF

Vous trouverez les aides financières pour les installations solaires thermiques ici : kollektorliste.ch

6.5 Autres bases de calcul

Les parts d’heures pleines et creuses substituées, injectées ou consommées dépendent des plages tarifaires locales (y compris règles relatives aux week-ends) et de divers autres facteurs. Le calculateur utilise la répartition suivante des plages tarifaires :

Part d’électricité	Part d’heures pleines	Part d’heures creuses
Consommation propre	85 %	15 %
Injection	65 %	35 %
Achat sur le réseau	50 %	50 %

La consommation propre est calculée avec la production de l’installation photovoltaïque de la 15e année, autrement dit la moitié de la durée de vie. Cela est parfaitement cohérent avec les économies sur l’ensemble des 30 ans.

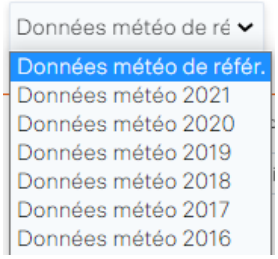
6.6 Aspects fiscaux

- La différence entre les coûts d’investissement et la rétribution unique ou la subvention cantonale est utilisée pour calculer les économies d’impôts sur le revenu. Les effets de progression résultant d’une éventuelle facturation sur différentes années n’ont pas été pris en compte.
- Lorsque le gain lié à la revente de courant photovoltaïque dépasse les coûts de la consommation électrique, la différence correspondante est taxée comme un revenu supplémentaire. Un taux d’imposition marginal constant est appliqué tout au long de la durée de vie de l’installation.
- Aucune plus-value éventuelle de l’immeuble découlant d’une installation photovoltaïque ou solaire thermique concernant la fortune ou la valeur locative propre n’est prise en compte.

Il est recommandé de clarifier préalablement la situation fiscale avec l’administration de votre commune de domicile.

7 Documentation utilisateur « données mensuelles »

Cet affichage permet d'analyser numériquement les résultats mensuels de la simulation. Ils peuvent être utilisés soit pour une évaluation plus détaillée de la production solaire attendue (choisir « données météo de référence »), soit pour vérifier la production d'une installation solaire existante (choisir « données météo de l'année souhaitée »):

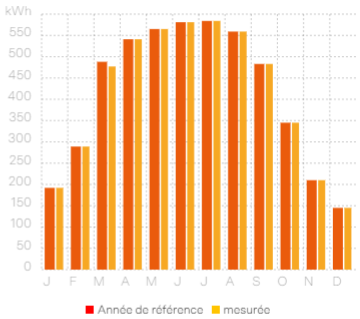


a) **Les données météo de référence** sont basées sur Météonorm et représentent une année moyenne de données météorologiques. Ces valeurs sont appropriées pour les prévisions à long terme, car les différentes conditions météorologiques de chaque année s'équilibrent.

b) **Les données météo mesurées** sont basées sur des mesures spatiales et temporelles à haute résolution de MeteoSuisse pour une année donnée. Sur la base de ces données, la production des installations solaires existantes pour l'année en question peut être vérifiée et comparée avec celles d'autres années.

c) **Performance-Ratio (PR) :** Le rapport de performance indique le degré d'utilisation et l'efficacité d'une installation photovoltaïque (indicateur de qualité). Compris entre 0 et 100 %, le PR indique le rapport entre la production effective et la production potentielle de référence. Une valeur comprise entre 65 et 80% est par exemple considérée comme un bon rapport de performance. Sa valeur est calculée non seulement sur la base des données de production réelle d'électricité, mais aussi sur la base des informations sur l'irradiation solaire spécifique du site au niveau du module. Le rapport de performance évalue donc l'efficacité avec laquelle le système PV dans son ensemble produit de l'électricité, en tenant compte du rayonnement solaire effectif.

	Gh	Production solaire		PR
Année de référence		simulée	mesurée	
Mois	kWh/m²	kWh	kWh	%
Jan	32	192	192	80.4
Fév	55	289	289	81.1
Mar	105	488	477	76.0
Avr	138	541	541	76.3
Mai	168	565	565	73.7
Jui	187	581	581	72.3
Jul	187	584	584	71.6
Aoû	159	559	559	72.6
Sep	118	483	483	74.3
Oct	71	345	345	76.9
Nov	37	210	210	79.0
Déc	25	145	145	79.7
Somme	1'282	4'982	4'971	Ø 76.2
Δ-Référence	0.0 %	0.0 %		



7.1 Validation de la production

1) Réglage des paramètres de l'installation solaire dans la fenêtre principale du calculateur solaire
2) Clic sur le bouton « Données mensuelles »:

3) Sélection de l'année pour les données météorologiques

4) Affichage des données de production mensuelles simulées avec possibilité de les copier dans le presse-papiers (p. ex. pour l'insertion des données dans Excel pour d'autres évaluations).
5) Comparaison interactive: dans la colonne 4 (« mesurée »), introduction des productions mesurées. Celles-ci sont présentées dans le diagramme conjointement aux données de production simulées.

7.2 Téléchargement de données de production

Au lieu de saisir les valeurs de production individuellement et de les comparer avec les valeurs simulées, les données mensuelles peuvent également être téléchargées dans le calculateur solaire au format Excel et y être affichées graphiquement. La procédure est la suivante :

1) Complétez les paramètres de l'installation dans la fenêtre principale du calculateur solaire
2) Appuyez sur le bouton « Données mensuelles »:
3) Sélectionnez une année de données météorologiques
4) Appuyez sur le bouton « Téléchargement Excel ».
5) Cliquez sur « Exemple Excel » et saisissez vos propres données de mesure dans le format Excel spécifié. Vous pouvez enregistrer plusieurs années dans un seul fichier. Le calculateur solaire évalue pour chaque onglet d'un fichier la section entre « TachionStart » et « TachionEnd ».
6) Téléchargez le fichier Excel avec vos données. Pour ce faire, saisissez le nom du fichier souhaité ou faites glisser le fichier vers la zone marquée en conséquence.
7) En cas de changement d'année de mesure, les valeurs annuelles correspondantes sont automatiquement extraites de l'Excel, si elles sont disponibles.

7.3 Etalonnage de la simulation

Les éventuelles différences entre le système configuré dans le calculateur solaire et l'installation réellement réalisée peuvent être équilibrées au moyen des paramètres du menu « Etalonnage selon planification ».

A cet endroit peuvent être introduits le rayonnement spécifique (« Rayonnement spécifique Gh »), ainsi que la production solaire attendue correspondante (« Production annuelle totale »):

Ces deux valeurs sont déterminées pour les données météo de référence. De là est calculé un facteur d'étalonnage pour le système, qui sera appliqué à toutes les valeurs de consigne simulées.

L'étalonnage peut également être effectué grâce au « Téléchargement Excel » (uniquement pour les installations PV).

Cette étude a été réalisée pour le compte de SuisseEnergie.
Les auteurs sont seuls responsables du contenu.

Adresse

SuisseEnergie**,** Office fédéral de l'énergie OFEN

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

Infoline 0848 444 444. www.suisseenergie.ch/conseil

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch