

Rapport final, 30 Novembre 2020

Résumé court «SolSimCC»

Influence du réchauffement
climatique ainsi que du
comportement des utilisateurs sur le
rapport coûts/bénéfices de la
production d'énergie solaire pour les
bâtiments



Institut für Solartechnik SPF
OST Ostschweizer Fachhochschule
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Tel. +41 55 222 48 21, Fax +41 55 222 48 44
www.spf.ch

Auteurs

Jeremias Schmidli, SPF

Igor Bosshard, SPF

Mattia Battaglia, SPF

Dr. Michel Haller, SPF

Dr. Daniel Carbonell, SPF

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

La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: Office fédéral de l'énergie OFEN, CH-
3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

Introduction

L'influence du réchauffement climatique ainsi que du comportement des utilisateurs sur le rapport coûts/bénéfices et la caractéristique de production d'énergie solaire pour les bâtiments ont été étudiés au cours du présent projet. Les principaux résultats sont abordés dans ce résumé.

Influence du réchauffement climatique sur les bâtiments

Les températures moyennes augmentent en Suisse en raison du réchauffement climatique. En outre, une augmentation de l'intensité du rayonnement solaire est supposée. Les changements de température et du rayonnement solaire pour Berne sont représentés Figure 1. Trois scénarios, basés sur un faible réchauffement (RCP2.6), un réchauffement moyen (RCP4.5) ou un fort réchauffement (RCP8.5) y sont affichés pour l'année 2050. Le scénario de référence (Ref) représente le climat actuel.

Avec l'augmentation des températures, les besoins en énergie pour le chauffage diminuent d'une part alors que d'autre part les besoins en rafraîchissement augmentent.

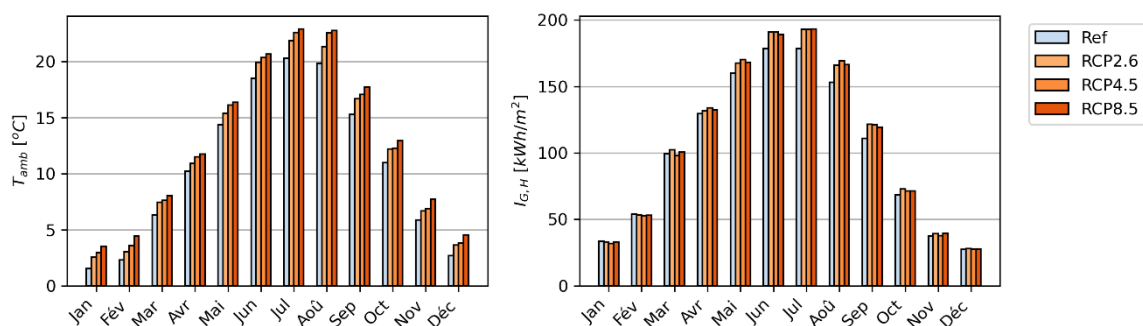


Figure 1: Evolution de la température et du rayonnement solaire en 2050 pour différents scénarios climatiques et comparaison avec le scénario de référence (climat actuel).

Comportement des utilisateurs

Généralement, des différences non négligeables sont observées entre une utilisation idéale d'un bâtiment et ce qu'il en est en réalité. En effet, des investigations ont montré que d'une part les utilisateurs de bâtiments modernes aspirent à une température de 23 °C et non à une température de seulement 21 °C comme souvent présumé lors de la conception. En parallèle, des fenêtres ouvertes ainsi que l'ombrage dû aux stores engendrent des besoins de chauffage nettement plus élevés que ceux calculés sur la base d'hypothèses idéalisées, principalement à l'automne et au printemps. Les différences entre les mesures et le calcul sont présentés en Figure 2 pour deux bâtiments représentatifs.

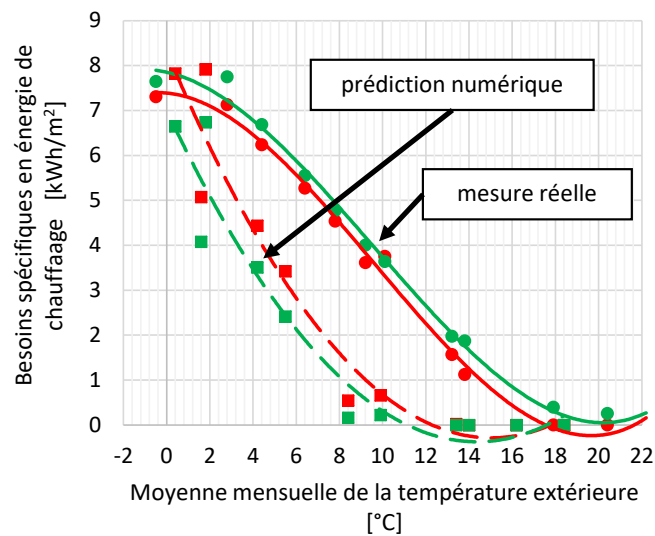


Figure 2: Comparaison de mesures de consommation énergétique et de prédiction selon la norme pour deux bâtiments représentatifs (en rouge et en vert): besoins spécifiques en énergie de chauffage en fonction de la température extérieure.

Simulations

Les simulations numériques permettent d'estimer l'influence du changement climatique ainsi que du comportement des utilisateurs. Pour la présente étude, les systèmes suivants ont été modélisés avec l'aide du programme TRNSYS-17 pour un immeuble comportant six appartements:

1. solaire thermique (ST) associé à une chaudière à gaz (CG) pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS).
2. solaire thermique associé à une chaudière à gaz pour le chauffage (C) et la production d'eau chaude sanitaire.
3. photovoltaïque (PV) associé à une pompe à chaleur (PAC) pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.
4. photovoltaïque associé à une pompe à chaleur pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le rafraîchissement (R).

Un système équivalent sans source d'énergie solaire a été modélisé pour chacun des quatre systèmes.

La différence du coût de production de l'énergie ($\Delta LCOEn$) est utilisée afin de quantifier la rentabilité des différents systèmes et d'analyser les scénarios. Cette dernière variable peut être calculée de la façon suivante:

$$\Delta LCOEn = \frac{\text{réduction des coûts} - \text{coûts d'entretien} - \text{coûts d'investissement}}{\text{consommation énergétique nette}}$$

Un coût moyen de l'électricité de 19.3 c./kWh, un tarif de rachat de l'électricité PV de 9.0 c./kWh ainsi qu'un coût du gaz de 12.68 c./kWh (Biogaz / gaz de synthèse) a été considéré pour le calcul.

En raison des objectifs climatiques, l'utilisation de gaz naturel d'origine fossile ne paraît plus opportun en 2050. Pour les coûts d'entretien, 0.25% des coûts d'investissements annuels pour une durée d'utilisation de 30 ans ont été considérés.

Par consommation énergétique nette, on entend le besoin énergétique du système considéré (demande de chaleur pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage, demande de refroidissement pour le rafraîchissement des pièces ainsi qu'électricité domestique pour les systèmes PV).

La taille des installations choisies (selon MoPEEC) ainsi que les coûts d'investissement admis pour les installations solaires sont résumés dans le Tableau 1.

Le site de Bern a été choisi pour les simulations et les scénarios à venir ont lieu en 2050.

Tableau 1: aperçu des systèmes simulés. Les coûts d'investissement ne se rapportent qu'aux coûts liés à la technologie solaire.

	Technologie solaire	Taille	Coûts d'investissement	Chauffage de secours	ECS	C	R
1	solaire thermique	24.1 m ²	31'300 CHF	Chaudière à gaz	Oui	Non	Non
2	solaire thermique	84.4 m ²	72'600 CHF	Chaudière à gaz	Oui	Oui	Non
3	photovoltaïque	12.2 kWp	29'500 CHF	Pompe à chaleur	Oui	Oui	Non
4	photovoltaïque	12.2 kWp	29'500 CHF	Pompe à chaleur	Oui	Oui	Oui

Résultats

Besoins énergétiques

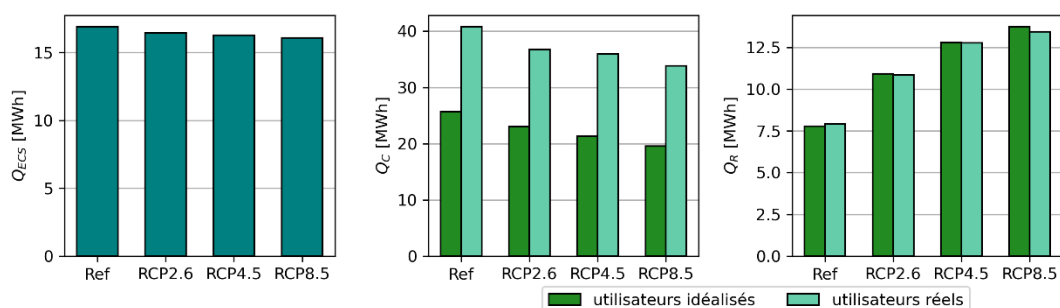


Figure 3: Besoins énergétiques pour l'eau chaude sanitaire (Q_{ECS}) et pour le chauffage (Q_C) ainsi que demande de refroidissement pour la climatisation (Q_R) pour les différents scénarios climatiques et les deux comportements d'utilisateur.

La Figure 3 montre l'évolution des besoins en chaleur et en froid en tenant compte du changement climatique ainsi que d'un comportement réel des utilisateurs. Avec l'augmentation de la température, la diminution des besoins en chaleur et l'augmentation des besoins en froid est bien visible.

Rentabilité du solaire thermique

Comme le montre la Figure 4, aussi bien les systèmes solaire thermique pour la production d'ECS que les systèmes de soutien au chauffage et de production d'ECS peuvent être rentables selon les hypothèses définies. Il en résulte une réduction des coûts supérieure à 3 c./kWh pour un système de production d'ECS, réduction des coûts légèrement supérieure dans les scénarios futurs que pour le scénario de référence. Une différence entre plus marquée entre un comportement idéal et réel des utilisateurs est constatée pour les systèmes avec soutien au chauffage additionnel. À surface de collecteur égale, les économies réalisées sont considérablement plus élevées pour un comportement réaliste des utilisateurs (demande en chaleur accrue au printemps et à l'automne dans ce cas). La réduction des coûts varie entre 1.3 et 1.5 c./kWh pour un comportement réel alors qu'elle est de l'ordre de 0 à 0.3 c./kWh seulement pour un comportement idéal. Les réductions de coûts pour les scénarios futurs sont légèrement plus faibles en comparaison au scénario de référence.

Pour le scénario RCP4.5, un système de production d'ECS est rentable à partir d'un prix du gaz de 8 c./kWh, un système plus grand avec soutien au chauffage à partir d'un prix du gaz de 10 c./kWh selon une étude paramétrique portant sur l'influence du prix du gaz sur la différence de prix de revient des deux systèmes solaires thermiques.

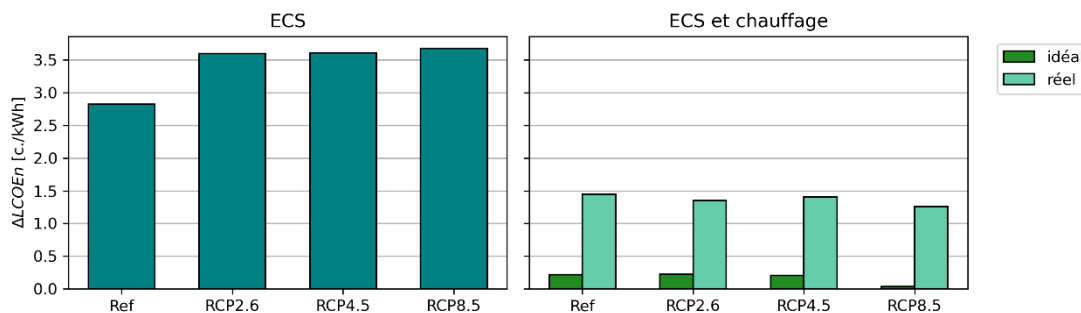


Figure 4: Réduction des coûts liée au remplacement du biogaz par le solaire thermique. Système de production d'ECS (à gauche), système de soutien au chauffage et de production d'ECS (à droite).

Rentabilité du photovoltaïque

La Figure 5 donne les réductions de coûts pour les deux systèmes PV. Pour les deux systèmes, avec les paramètres considérés, les économies sont plus faibles dans le cas d'un comportement idéalisé des utilisateurs que dans le cas d'un comportement réel.

La différence de coûts de production pour le système de soutien au chauffage et de production d'ECS (à gauche) est de l'ordre de respectivement 1.3-1.5 c./kWh pour un comportement des utilisateurs réel et 1.5-1.9 c./kWh pour un comportement des utilisateurs idéal. Si en plus le rafraîchissement des locaux est considéré (à droite), les économies relatives sont plus faibles que pour un système sans climatisation alors que les économies absolues sont légèrement supérieures. L'explication des économies relatives plus faibles provient du fait que dans ce cas l'énergie nécessaire au rafraîchissement est considérée comme énergie utile et cette dernière augmente plus

fortement que les économies absolues. Pour les deux systèmes PV, les réductions de coûts sont plus importantes pour les scénarios futurs que pour le scénario de référence.

Pour le scénario RCP4.5, la dépendance des coûts de production de l'énergie au prix de détail de l'électricité est analysée pour un comportement réaliste des utilisateurs. Pour la variation du prix de

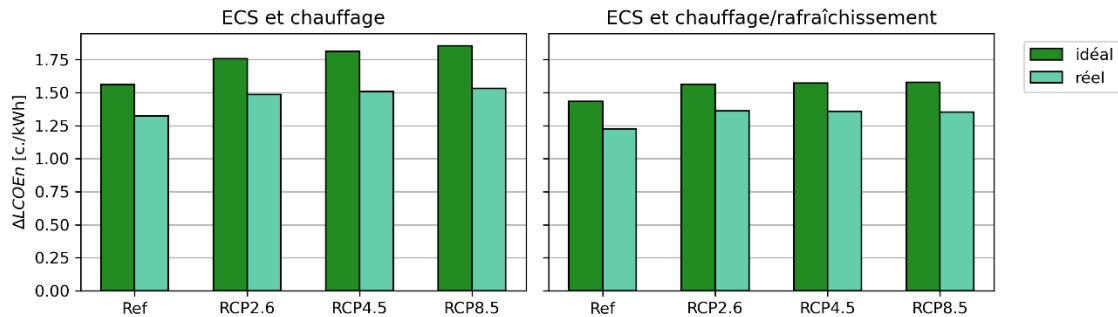


Figure 5: Réduction des coûts liée au remplacement d'électricité du réseau par le solaire PV. Système de soutien au chauffage et de production d'ECS (à gauche), système combinant soutien au chauffage, production d'ECS et rafraîchissement (à droite).

détail de l'électricité, le tarif de rachat a été tenu constant et inversement. L'installation PV est rentable pour un système de soutien au chauffage et de production d'ECS à partir d'un prix de détail de l'électricité de 6.6 c./kWh, pour un système avec une climatisation additionnelle à partir de 6.8 c/kWh (tarif de rachat de 9.0 c./kWh). Plus le tarif de rachat est élevé, plus l'installation PV est rentable. Ceci dit, à partir d'un prix de détail de 19.3 c./kWh une installation PV est également rentable pour un tarif de rachat nul.

Conclusion

Les impacts du changement climatique sur les besoins en chaleur et en froid des bâtiments seront sensibles. Cependant, la rentabilité des installations photovoltaïques et solaire thermique sera relativement faiblement affectée par ces changements. Généralement, la rentabilité des systèmes solaires va augmenter légèrement exception faite des systèmes solaires thermique avec soutien au chauffage. Pour ces derniers systèmes, la rentabilité diminue légèrement dans le scénario extrême d'un réchauffement non freiné (RCP8.5) et reste inchangée pour les autres scénarios. La considération d'un profil de consommation réaliste en remplacement des hypothèses idéalisées (jusqu'à présent souvent utilisées) a une influence bien plus importante sur la rentabilité des systèmes solaires. La rentabilité des systèmes solaires thermiques avec soutien au chauffage augmente fortement si l'on considère un comportement réaliste des utilisateurs. Sans mesures d'autoconsommation spécifiques, sans stockage thermique et sans stockage de type batteries, la rentabilité des installations photovoltaïques en soutien à une pompe à chaleur baissent. De manière générale, on peut s'attendre à ce que toutes les variantes considérées restent économiquement intéressantes dans le futur en comparaison à un chauffage au gaz (Biogaz/gaz de synthèse) et à une alimentation électrique du réseau.

Sources

Un rapport complet (en allemand) comportant tous les résultats de simulation ainsi que des descriptions détaillées peut être téléchargé depuis le site du SPF: www.spf.ch/solsimcc.