

Étude énergétique et environnementale des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en France : lequel du chauffe-eau thermodynamique ou du chauffe-eau solaire est le plus soutenable ?

Régis OLIVÈS^{1*}, Jean-Marie MANCAUX¹

¹Laboratoire PROMES-CNRS - Université de Perpignan Via Domitia
Rambla de la thermodynamique - 66860 Perpignan

*(auteur correspondant : olives@univ-perp.fr)

Résumé - La consommation d'énergie due à la production d'eau chaude sanitaire ECS en France est évaluée à 75 TWh. Actuellement, les cumuls électriques et les chauffe-eau thermodynamiques représentent 51 % des systèmes de production d'ECS en fonctionnement avec une consommation d'environ 20 TWh. Selon un scénario de RTE, l'électrification des usages et le remplacement des cumulus électriques par des chauffe-eau thermodynamiques conduiraient à réduire à environ 16,5 TWh, soit une économie d'énergie de l'ordre de 3 TWh et au mieux 0,81 Mt d'émissions de CO₂ évitées. D'autre part, les chauffe-eau solaires contribuent actuellement à économiser environ 2,4 TWh. Nous comparons pour l'ECS dans l'habitat à l'échelle de la France un scénario d'électrification des usages thermiques à un scénario de développement du solaire thermique sur le plan énergétique et environnemental. L'impact de ces systèmes est donc évalué sur la base des économies d'énergie réellement réalisées et des émissions de CO₂ évitées. On montre ainsi que si l'on se fixe comme objectif d'atteindre la moyenne européenne en termes de surface de capteurs solaires installés par habitant (0,105 m² par habitant), soit un nombre d'installations de 1,7 million, les économies d'énergie s'élèveraient à 2,8 TWh. Cette économie d'énergie correspond à celle prévue par RTE avec l'installation de 9,5 millions de chauffe-eau thermodynamiques d'ici 2035. En installant autant de chauffe-eau solaires, les surfaces de capteurs atteindraient 0,57 m² par habitant, soit ce que l'on fait en moyenne dans les DROM ou encore dans un pays comme l'Autriche. Près de 16 TWh d'énergie seraient économisées et 5 millions de tonnes de CO₂ seraient évitées.

Nomenclature

COP coefficient de performance, –

TCS taux de couverture solaire, %

1. Introduction

La production d'eau chaude sanitaire (ECS) est un poste particulièrement consommateur d'énergie dans le secteur du bâtiment. Selon l'ADEME [1], la part dans l'habitat de consommation énergétique pour l'ECS est souvent comprise entre de 10 et 25 %. En France, cette consommation d'énergie est évaluée à 75 TWh. Actuellement, les cumuls électriques et les chauffe-eau thermodynamiques (CET) représentent 51 % des systèmes de production d'ECS en fonctionnement avec une consommation d'environ 20 TWh. Les systèmes non électriques constituent l'autre grande part avec 32 % pour le gaz naturel et 11 % pour le fioul domestique. Quant aux chauffe-eau solaires (CES), ils contribuent à économiser environ 2,4 TWh. Au niveau européen, le Net zero industry Act, énoncé en mars 2023, a posé les ambitions en matière, entre autres, solaire pour mener à bien la décarbonation en Europe. Il comporte des mesures pour renforcer l'écosystème européen de fabrication de produits technologiques bas carbone avec, comme objectif en 2050, zéro émission nette.

En France, le développement de chauffe-eau thermodynamiques est privilégié comme le propose RTE à travers son scénario basé sur l'électrification des usages à horizon 2035 [2]. Le remplacement des cumulus électriques par des chauffe-eau thermodynamiques conduirait à réduire la consommation d'énergie à environ 16,5 TWh, c'est-à-dire une économie d'énergie de 3,5 TWh. Au niveau européen, le choix se porte préférentiellement sur le solaire thermique. On constate d'ailleurs la reprise du marché du solaire thermique, qui, amorcée en 2021, s'est confirmée en 2022. Selon EurObserv'ER [3], la surface de capteurs installée annuellement a augmenté, en 2022, de 11,9 %, soit 2,372 millions de m². Cette croissance est essentiellement assurée par quatre pays (Allemagne, Grèce, Italie, Pologne).

Or, dans une étude précédente [4], il a déjà été montré l'intérêt du CES par rapport au CET concernant les quantités de matières à mobiliser par rapport à l'énergie fournie tout au long de la durée de vie. De même, le rapport de la quantité d'énergie à investir et de l'énergie fournie est plus favorable pour le CES que pour le CET.

Il s'agit désormais de déterminer lequel de ces deux systèmes, CET et CES, peut contribuer à décarboner au mieux les usages dans le secteur du bâtiment. Nous comparons ainsi pour l'ECS dans l'habitat à l'échelle de la France un scénario d'électrification des usages thermiques à un scénario de développement du solaire thermique en termes énergétique et environnemental. Les gains apportés par ces systèmes sont évalués sur la base des économies d'énergie réalisées et des émissions de CO₂ évitées.

2. Matériels et méthodes

Nous reprenons la comparaison établie précédemment [4] en se focalisant sur un chauffe-eau thermodynamique (Chappee TD 200 split WH)(CET) et un chauffe-eau solaire (CES) qui permettent chacun d'assurer la fourniture de 140 L par jour à 50°C. Ces deux systèmes répondent aux besoins spécifiés. Pour le CES, l'énergie auxiliaire est l'électricité, nécessaire pour l'appoint et le circulateur. Néanmoins, pour le CES, nous considérons un système standard composé de capteurs solaires de 4 m² au total placés plein sud sur un toit de pente moyenne (15°) et d'un ballon de 200 L. Autrement dit, il ne s'agit pas d'un système adapté et optimisé à chaque lieu et aux besoins des logements, mais plutôt d'un système générique qui, en moyenne, conviendrait à une famille de 3 ou 4 personnes en France métropolitaine.

À partir de simulations effectuées à l'aide du logiciel Simsol, nous identifions pour les différentes régions de France et plus particulièrement pour les grandes villes associées, la ressource solaire (voir figure 1) afin d'établir les consommations d'énergie, les apports solaires et les taux de couverture solaire (TCS) correspondants.

Dans l'UE, on constate des surfaces installées en moyenne de 0,105 m² par habitant (voir figure 2) [3]. En France métropolitaine, les surfaces correspondent à 0,036 m² par habitant. Dans les DOM, la situation est plutôt favorable au CES avec une surface moyenne de 0,53 m² par habitant. Par la suite, nous nous focaliserons donc juste sur la France Métropolitaine.

Enfin, mentionnons un autre indicateur : le contenu CO₂. Alors que le contenu CO₂ de l'électricité du réseau est d'environ 86 g/kWh, l'ADEME préconise des contenus CO₂ de l'énergie thermique produite à partir de l'électricité de 147 g/kWh, du gaz naturel de 227 g/kWh et du fioul domestique de 324 g/kWh. Nous prendrons ces valeurs comme références pour estimer les gains en termes de réduction des émissions de CO₂ liées aux économies d'énergie. À noter qu'en moyenne, un chauffe-eau solaire permet d'éviter jusqu'à 800 kg de CO₂ par an.

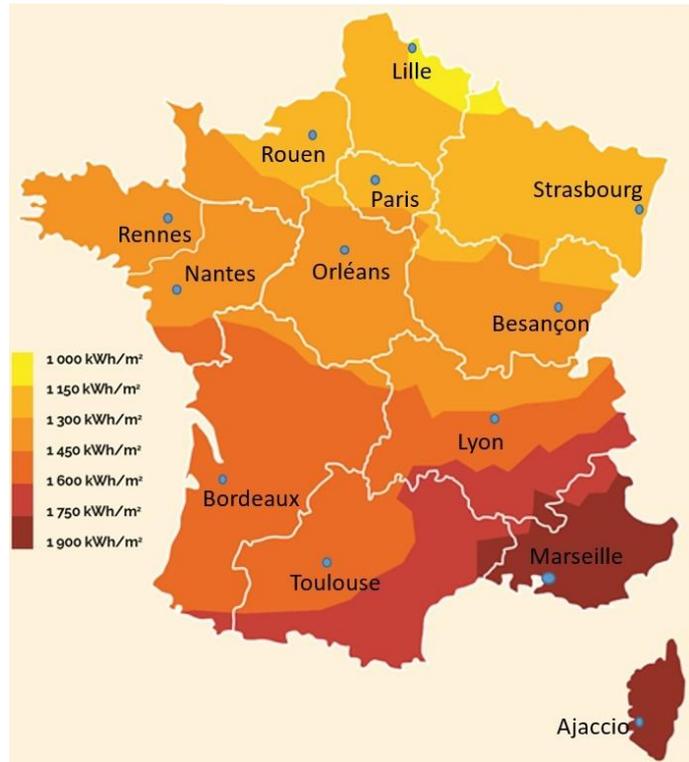


Figure 1 : Ensoleillement annuel pour les capteurs solaires.

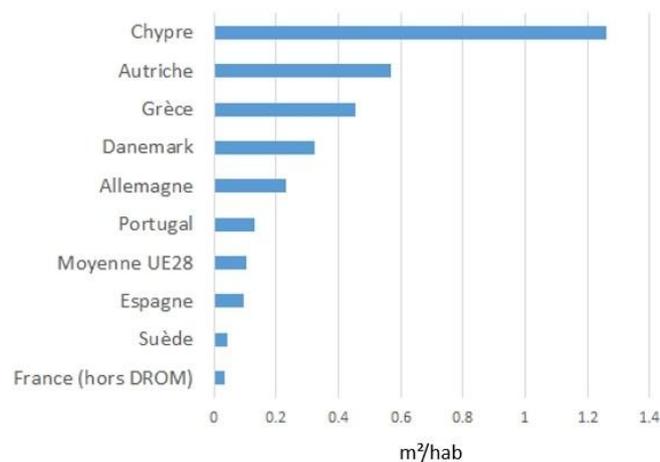


Figure 2 : Surfaces de capteurs solaires thermiques installées par habitant en UE.

3. Résultats et discussion

Actuellement, environ 30 millions de systèmes de production d'ECS ont été recensés. RTE propose un scénario d'électrification des usages thermiques qui repose sur l'adoption de solutions électriques de chauffage plus efficaces. Le CET est donc privilégié [2]. Avec une consommation d'électricité pour l'ECS évaluée à 19,3 TWh en 2035, ce scénario conduit à installer 9,5 millions de CET et à réaliser des économies d'énergie comprises entre 2,5 et 3,9 TWh d'ici 2035

pour des COP allant de 3 à 3,9. Or il a été constaté, d'après une étude de l'ADEME-COSTIC [1], que les COP réels se trouvent dans une gamme allant de 1,4 à 3 avec une moyenne à 2,2. Ainsi, avec 9,5 millions de CET, une économie de 2,5 TWh semblerait plus réaliste.

Si l'on considère le CES, on constate environ 586 000 installations solaires thermiques, correspondant à une surface de capteurs de 2,345 millions de m² [5]. À partir des simulations Simsol effectuées sur les grandes villes représentatives des régions de la France métropolitaine, on obtient les apports solaires et le taux de couverture solaire pour une installation standard. En extrapolant à toute la région et connaissant la surface installée par habitant [5], la quantité d'énergie économisée grâce au solaire et à l'échelle de chaque région peut être estimée (économies d'énergie cumulées) (voir tableau 1).

Région	Besoins par foyer (kWh)	Ressources solaires (kWh/m ²)	Apports solaires (kWh)	TCS (%)	Surfaces milliers de m ²	Économies cumulées (TWh)
Auvergne-R. A. (Lyon)	2284	1329	1606	70,3	456	0,183
Bourg. F.-C. (Besançon)	2352	1285	1669	71,0	129	0,054
Bretagne (Rennes)	2287	1270	1619	70,8	79	0,032
Centre-V-d-L (Orléans)	2330	1345	1689	72,5	65	0,027
Corse (Ajaccio)	2086	1745	1815	87,0	38	0,017
Grand-Est (Strasbourg)	2395	1159	1568	65,5	280	0,110
Hauts-de-F. (Lille)	2372	1127	1526	64,3	97	0,037
Ile-de-France (Paris)	2313	1192	1570	67,9	88	0,034
Normandie (Rouen)	2346	1185	1587	67,6	30	0,012
N.-Aquitaine (Bordeaux)	2222	1470	1695	76	292	0,124
Occitanie (Toulouse)	2205	1470	1695	76,9	398	0,169
Pays de la Loire (Nantes)	2278	1355	1707	74,9	120	0,051
Provence-A-C. d'A.	2125	1669	1808	85,1	278	0,125

Tableau 1 : Économies d'énergie réalisées par région grâce aux CES en prenant comme référence les besoins par foyer, la ressource solaire de la grande ville correspondante et les surfaces actuellement installées.

Au total, en France métropolitaine, les quantités d'énergie fournies par ces installations solaires s'élèvent à 1,335 TWh. Elles se traduisent par des économies réellement obtenues de 0,974 TWh, soit un TCS moyen de 73 %. Ainsi, en France métropolitaine, on a 0,036 m² par habitant alors que la moyenne de l'UE 28 est de 0,105 m²/hab.

Afin d'estimer le gain apporté par le déploiement de nouvelles installations solaires, nous prenons comme autre référence les surfaces par habitant qui ont été installées dans d'autres pays européens : Allemagne 0,233 m²/hab, Danemark 0,323 m²/hab, Grèce 0,454 m²/hab et Autriche 0,57 m²/hab [3]. À chacune de ces valeurs correspond une surface totale et donc un nombre d'installations standards qui est indiqué dans les figures 3 et 4. Ces figures présentent d'une part les économies d'énergie réalisées et d'autre part les quantités de CO₂ évitées par les chauffe-eau solaires à l'échelle de la France métropolitaine. Sont aussi mentionnées les économies d'énergie et les quantités de CO₂ évitées par l'installation de 9,5 millions de CET comme le prévoit le scénario de RTE selon si l'on remplace des cumulus électriques, des chauffe-eau gaz ou des chaudières au fioul.

On constate que les économies réellement réalisées par les chauffe-eau solaires s'élèvent

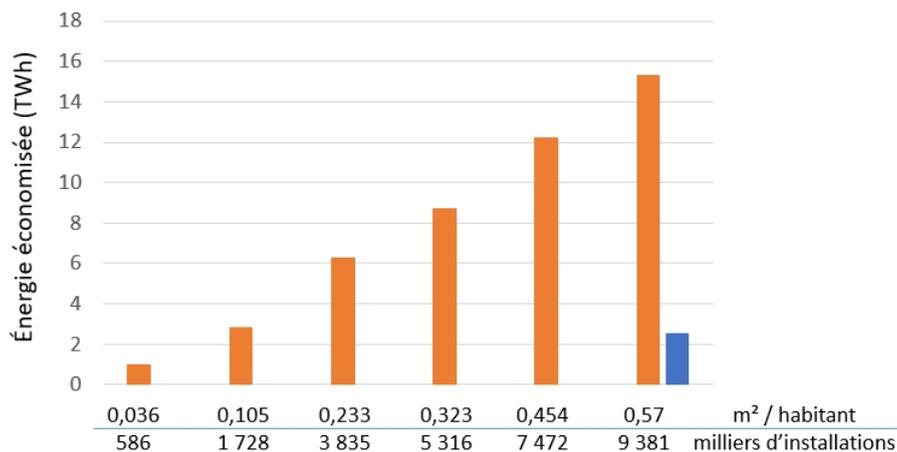


Figure 3 : Économies d'énergie réalisées par le CES pour différentes surfaces installées par habitant (orange) correspondant chacune à un nombre d'installations et comparées aux économies réalisées par 9,5 millions de CET (bleu)

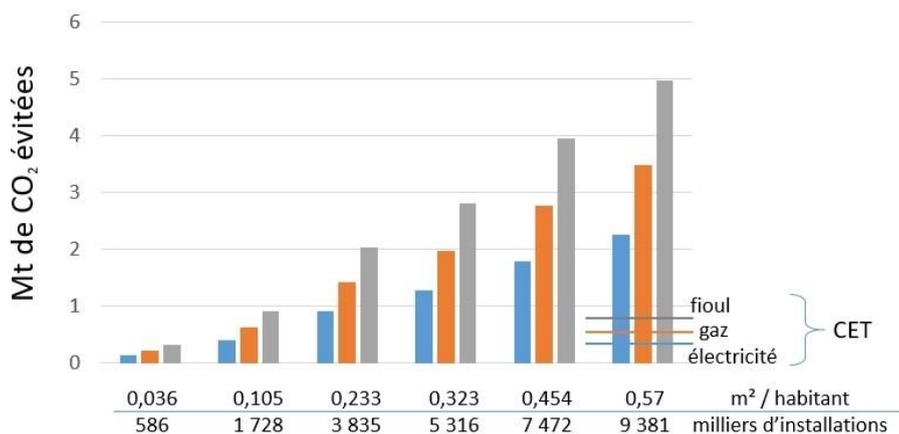


Figure 4 : Quantités de CO₂ évitées par l'installation de CES selon le remplacement de solutions électriques (147 g/kWh, bleu), au gaz (227 g/kWh, orange) et fioul (324 g/kWh, gris). Ces quantités sont comparées à celles évitées par l'installation de 9,5 millions de CET.

à 2,823 TWh pour une surface par habitant de 0,105 m², soit la moyenne européenne. Par exemple, ces économies montent à 8,7 TWh pour la même surface par habitant que celle installée au Danemark. Alors que l'installation de 9,5 millions de CET permet juste d'atteindre ce qui peut être obtenu par l'installation de 1,7 million de CES. Ainsi, le gain réalisé par les chauffe-eau solaires s'avère nettement plus important que les chauffe-eau thermodynamiques en termes d'économie d'énergie. On retrouve le même type de résultats sur les émissions de CO₂ évitées : le CES est beaucoup plus pertinent en contribuant nettement plus que le CET à la décarbonation du secteur du bâtiment. Avec un nombre d'installations identique de 9,5 millions, les émissions de CO₂ évitées seraient au mieux de 0,81 Mt pour le CET alors que pour le CES elles seraient comprises entre 2,25 et 5 Mt, soit 3 à 6 fois plus importantes.

4. Conclusion

Ce travail prolonge une étude précédente [4] qui a montré l'intérêt des chauffe-eau solaires CES par rapport aux autres systèmes de production d'eau chaude sanitaire et en particulier au chauffe-eau thermodynamique CET. Après les aspects liés aux quantités d'énergie et de matériaux à investir par rapport à l'énergie fournie sur toute la durée de vie, nous avons abordé ici les économies d'énergie réalisées ainsi que les émissions de CO₂ évitées en comparant les deux systèmes CES et CET. En se fixant comme objectif une surface installée par habitant comparable à la moyenne européenne, le nombre d'installations solaires thermiques atteindrait 1,7 million et le chauffe-eau solaire deviendrait aussi pertinent que d'équiper 9,5 millions de logement de chauffe-eau thermodynamiques. Les gains en termes d'énergie économisée et de quantité de CO₂ évitée sont, en effet, beaucoup plus intéressants. Remplacer 10 millions de chauffe-eau soit près d'un tiers de l'existant, par des chauffe-eau solaires conduirait à économiser plus de 16 TWh d'énergie et d'éviter près 5 millions de tonnes de CO₂. En conclusion, le chauffe-eau solaire se révèle un système nettement plus pertinent en termes de soutenabilité que le chauffe-eau thermodynamique. L'électrification des usages thermiques n'est pas forcément une solution toujours efficace pour décarboner l'énergie dans le secteur, en particulier, du bâtiment. De façon générale, les énergies renouvelables thermiques peuvent apporter souvent des réponses bien plus pertinentes quant aux réelles économies d'énergie et aux émissions de CO₂ évitées.

Références

- [1] ADEME-COSTIC, *Guide technique, Les besoins d'ECS en habitat individuel et collectif* (2016)
- [2] RTE - GT Consommation d'électricité, *Les usages chauffage, production d'eau chaude sanitaire et climatisation/ventilation dans le secteur résidentiel*, 2019
- [3] État des énergies renouvelables en Europe, 21e bilan, édition 2022, Eurobserv'ER, (2023)
- [4] R. Olivès, J.-M. Mancaux, M. Perier-Muzet, Matériaux pour la transition énergétique : cas de la production d'eau chaude sanitaire, *Congrès Français de Thermique SFT*, Reims, juin 2023
- [5] Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération, ADEME et al. - édition 2022