



COMMENT EXPLOITER AU MAXIMUM VOTRE PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE?

UN MEILLEUR DIMENSIONNEMENT DES SYSTÈMES DE STOCKAGE ET DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Grâce à une batterie et à un tampon thermique, il est possible d'utiliser jusqu'à 60% de l'énergie solaire produite par des panneaux photovoltaïques (8 kWc) pour l'autoconsommation. Cependant, un dimensionnement minutieux des systèmes de stockage et des panneaux PV est nécessaire afin d'utiliser le plus d'énergie possible pour l'autoconsommation.

H. Monteyne & M. De Paepe, Universiteit Gent en collaboration avec ATIC

L'ATIC et l'UGent ont collaboré afin de développer un outil permettant de déterminer la taille de la batterie, du tampon thermique et des panneaux PV en fonction de la demande de chaleur et de la consommation d'énergie électrique d'une maison familiale équipée d'une pompe à chaleur et d'un chauffage par le sol.

IMPORTANCE DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Le Green Deal européen vise à ce que 40% de la consommation finale d'énergie soit assurée par des sources renouvelables d'ici à 2030. Pour ce faire, 49% de l'énergie consommée dans les bâtiments devra provenir de sources renouvelables. Cette évolution s'accompagnera d'une électrification à grande échelle, dans laquelle la

pompe à chaleur jouera un rôle crucial. Pour consommer au mieux les énergies renouvelables, et de manière flexible, dans les bâtiments, un stockage local de l'énergie sera nécessaire. La recherche sur les batteries et leur utilisation dans les bâtiments est en plein essor. Le stockage de l'énergie thermique en est encore à ses débuts. Néanmoins, ce potentiel devra également être exploré.

L'ATIC a donc confié un mandat de recherche sur ce thème à l'UGent dans le cadre de la fondation Burnay. En collaboration avec des chercheurs de l'UGent, l'ATIC a étudié les possibilités de stockage d'énergie dans les maisons familiales à basse consommation équipées de pompes à chaleur.

La question de l'étude était de savoir dans quelle mesure le stockage d'énergie peut

soulager le réseau par l'autoconsommation et dans quelle mesure la fraction de production d'énergie renouvelable d'une maison peut être maximisée.

CADRE D'ÉTUDE

À cette fin, une vaste série de simulations a été réalisée sur des bâtiments résidentiels individuels ayant une faible demande d'énergie pour le chauffage. Pour ces maisons, la demande de chauffage a été déterminée sur une année entière par tranches de trois minutes.

En outre, la consommation d'énergie des appareils électriques a également été prise en compte, avec un profil de consommation dans le temps. Différents niveaux de performance de l'enveloppe du bâtiment ont été pris en compte pour

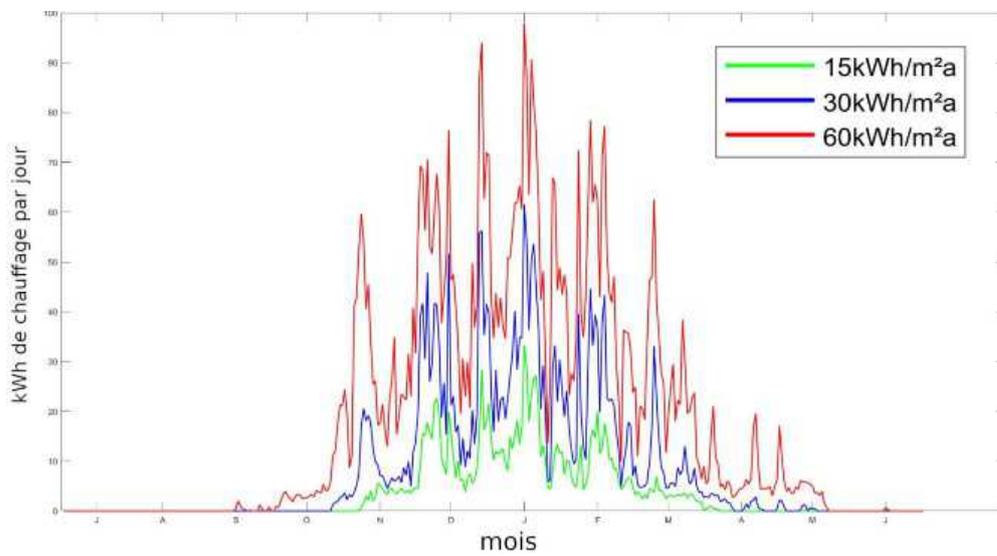


Figure 1: l'évolution de la demande de chaleur pour les trois types de bâtiments, en se concentrant sur les mois de décembre et janvier (hiver)

les simulations: 15 kWh/m²a, 30 kWh/m²a, 60 kWh/m²a (demande d'énergie annuelle par mètre carré). Sur la base de simulations dynamiques dans TRNSYS17, la demande de chaleur pour le chauffage a été déterminée au fil du temps pour chaque logement.

DEMANDE DE CHALEUR AU FIL DU TEMPS

La figure 1 montre que l'importance du pic de demande de chauffage pendant les mois d'hiver n'est pas proportionnelle au niveau de consommation d'énergie défini. Un logement dont la demande annuelle d'énergie pour le chauffage est de 15 kWh/m²a a une demande annuelle totale d'énergie qui représente 25% de celle d'un logement dont le niveau est de 60 kWh/m²a. Cependant, la demande de pointe pour le chauffage d'un logement de 15 kWh/m²a représente jusqu'à 34% de la demande de pointe d'un logement de 60 kWh/m²a. Cela signifie que la puissance de chauffage de pointe ne diminue pas proportionnellement à la diminution de la demande de chaleur. Une maison très économe en énergie nécessite nettement moins d'heures de chauffage pendant l'intersaison, alors que pendant les périodes les plus froides, on observe malgré tout une demande d'énergie assez importante.

DEMANDE D'ÉNERGIE POUR LES APPAREILS ÉLECTRIQUES

Outre la demande d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, chaque maison a également une demande d'énergie pour les appareils électriques. Dans ce projet, la

consommation d'énergie de référence pour une maison individuelle est de 5.011 kWh par an, comme mesuré dans le projet LINEAR. Dans ce projet, les maisons individuelles ont été suivies dans des familles de deux enfants dont les deux parents travaillent. Les mesures ont été réalisées sur des configurations avec des appareils ménagers nécessaires à un ménage classique, seule la cuisine a été faite sur une cuisinière électrique. Le chauffage de ces maisons était assuré par du gaz naturel et la consommation d'énergie des appareils était donc découplée de la demande de chaleur.

LE SYSTÈME DE PRODUCTION D'ÉNERGIE

La base du système de chauffage dans toutes les maisons est une pompe à chaleur avec chauffage par le sol (avec sa propre capacité thermique basée sur la teneur en eau estimée). Cette teneur en eau constitue un tampon thermique initial dans le système. Le choix du système de pompe à chaleur tient compte de l'électri-

fication poussée du chauffage prévue après 2030.

En même temps, l'impact de cette électrification sur la demande d'électricité peut être étudié. En outre, un réservoir tampon est prévu pour le stockage de l'énergie thermique (SET). Il y a également un réservoir d'eau alimenté par la pompe à chaleur pour l'eau chaude sanitaire. Des panneaux solaires photovoltaïques seront également ajoutés à la maison. Enfin, une batterie est également prévue pour stocker l'énergie électrique.

LA STRATÉGIE DE CONTRÔLE

La stratégie de contrôle détermine comment la demande d'énergie est satisfaite. À tout moment, la demande d'énergie pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les appareils électriques est déterminée par tranches de trois minutes. La production d'eau chaude sanitaire est toujours prioritaire. Si les panneaux photovoltaïques ou la batterie ne peuvent pas fournir suffisamment d'énergie, celle-ci est prélevée sur le réseau.

L'énergie thermique est stockée dans le tampon thermique à l'aide de la pompe à chaleur lorsque la batterie est chargée à plus de 50%. En cas de demande de chauffage, on vérifie d'abord si la capacité en eau du chauffage par le sol peut fournir cette chaleur au cours de la tranche donnée. La pompe à chaleur peut alors charger le stockage d'énergie thermique à ce moment-là.

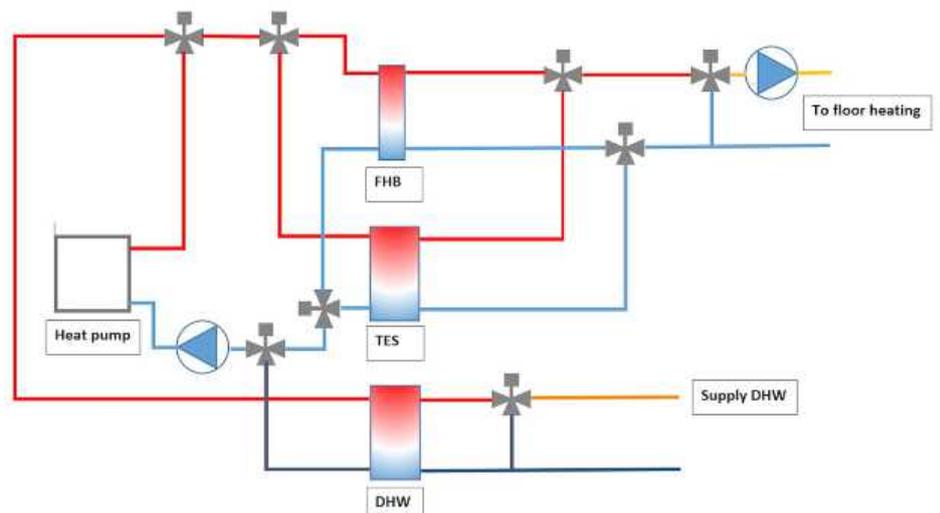


Figure 2: le système de chauffage qui a été mis en place de la même manière dans toutes les maisons

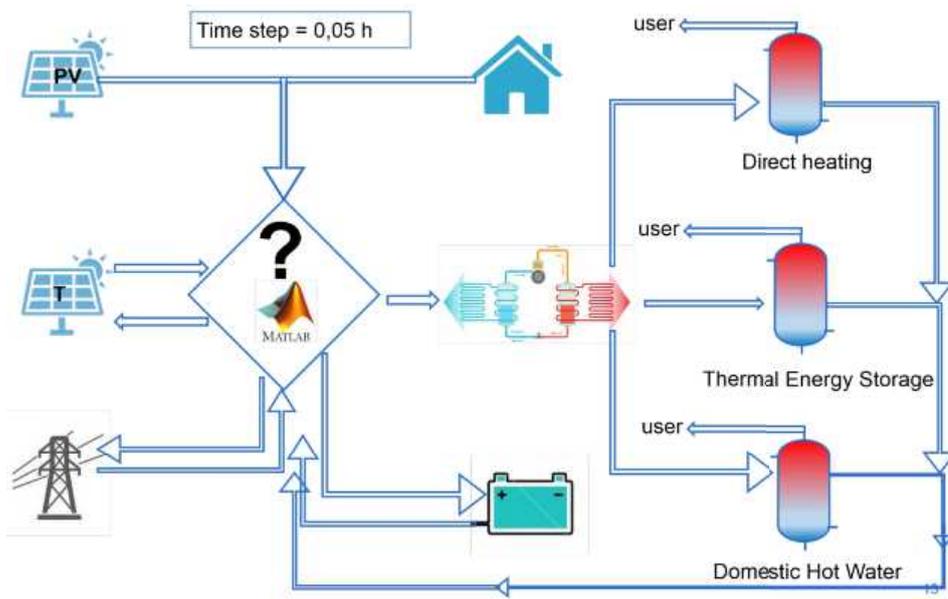


Figure 3: le schéma complet d'approvisionnement en énergie et montre également la possibilité d'interconnexion avec le réseau. La stratégie de contrôle est au cœur du système

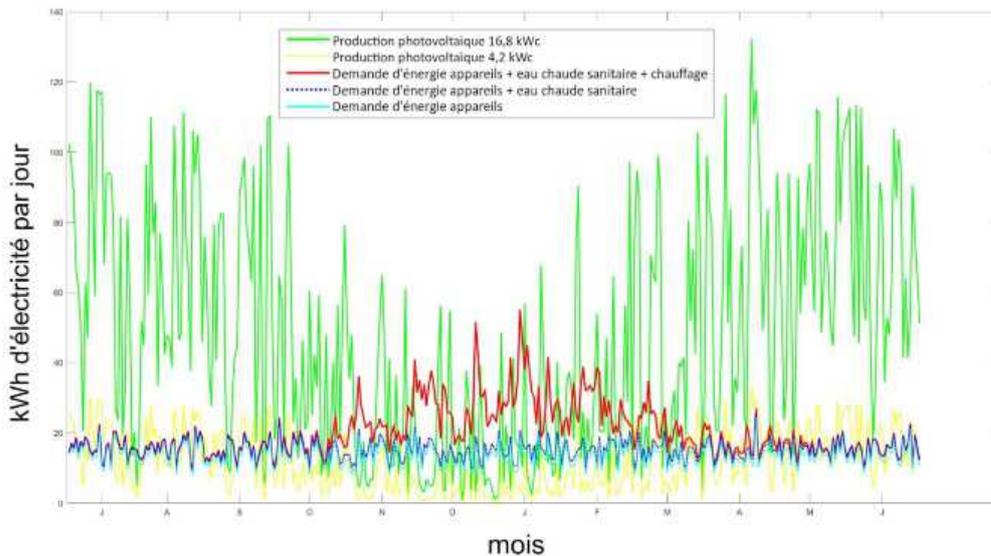


Figure 4: la production d'énergie électrique par PV et demande d'énergie pour un bâtiment de 60 kWh/m²a avec 5.011 kWh pour les appareils électroménagers

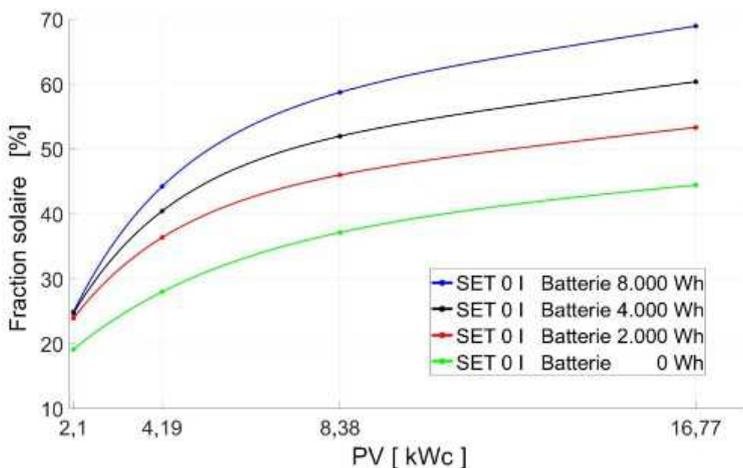


Figure 5: la fraction solaire pour la combinaison PV et batterie (habitation 60 kWh/m²a)

Dans le cas contraire, le système photovoltaïque, le cas échéant en plus de la batterie, est examiné pour voir s'il contient suffisamment d'énergie pour fournir cette énergie par l'intermédiaire de la pompe à chaleur. Si ce n'est pas possible –notamment parce qu'il est nécessaire de produire de l'eau chaude sanitaire en même temps – on fait appel au stockage de l'énergie thermique. Si ce dernier n'est pas suffisamment chargé, la pompe à chaleur fournira l'énergie en prélevant de l'électricité sur le réseau.

L'énergie électrique produite par le système photovoltaïque est d'abord acheminée vers les appareils domestiques, puis vers la pompe à chaleur et enfin vers la batterie. S'il n'y a pas de production d'énergie à partir des panneaux photovoltaïques, la batterie est d'abord sollicitée, puis le réseau.

DEMANDE D'ÉNERGIE SANS STOCKAGE D'ÉNERGIE

Sans stockage d'énergie, la pompe à chaleur nécessite 896 kWh d'énergie électrique sur une base annuelle pour un logement de 15 kWh/m²a et 2.359 kWh pour un logement de 60 kWh/m²a. Pour le logement de 15 kWh/m²a, la demande de chauffage est principalement liée à des températures extérieures très basses, de sorte que la pompe à chaleur fonctionne en moyenne à un COP plus faible.

La figure 4 montre la production d'énergie de panneaux photovoltaïques de 25 m² (ligne jaune) et de 100 m² (ligne verte) par rapport à la consommation d'énergie d'une maison de 60 kWh/m²a. La consommation d'énergie est divisée en demande d'eau chaude sanitaire (ligne bleu clair), la somme de la demande d'eau chaude sanitaire et des appareils ménagers (toujours avec une demande d'énergie annuelle de 5.011 kWh - ligne pointillée bleu foncé) et la somme de la demande d'eau chaude sanitaire, des appareils ménagers et du chauffage par pompe à chaleur (ligne rouge continue). Cette figure montre clairement que 25 m² de panneaux photovoltaïques (4,2 kWc

FRACTION SOLAIRE (AVEC STOCKAGE)

Si l'on ajoute un stockage d'énergie (batterie ou stockage thermique) à la maison, on peut voir comment la fraction solaire change. La fraction solaire est une mesure de la quantité d'énergie solaire provenant des panneaux photovoltaïques utilisée pour l'autoconsommation sur une base annuelle. La fraction solaire peut être définie par tranche horaire par :

$$\Phi_S = \frac{\sum_{k=k_0}^{k_{max}} (P_P(k) - P_{P,net}(k))}{\sum_{k=k_0}^{k_{max}} P_L(k)}$$

Où :

- **PP**: est la production d'énergie des panneaux PV pour la tranche horaire k,
- **PL**: est la demande d'énergie de toute la maison pour la tranche horaire k,
- **PP_{net}**: est la partie de la production qui ne peut pas être utilisée instantanément dans la tranche horaire k (ni pour couvrir la demande PL, ni pour alimenter le stockage) et qui est donc renvoyée vers le réseau dans la tranche horaire k.

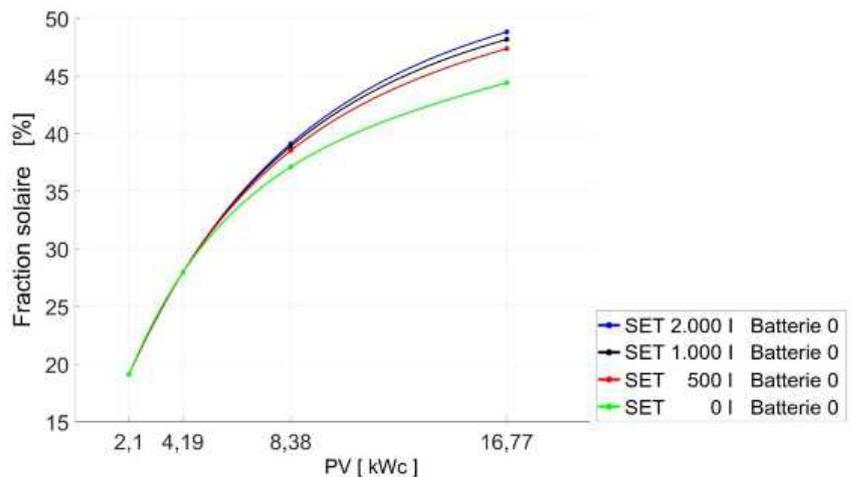


Figure 6: fraction solaire pour la combinaison PV et stockage thermique (maison 60 kWh/m²a)

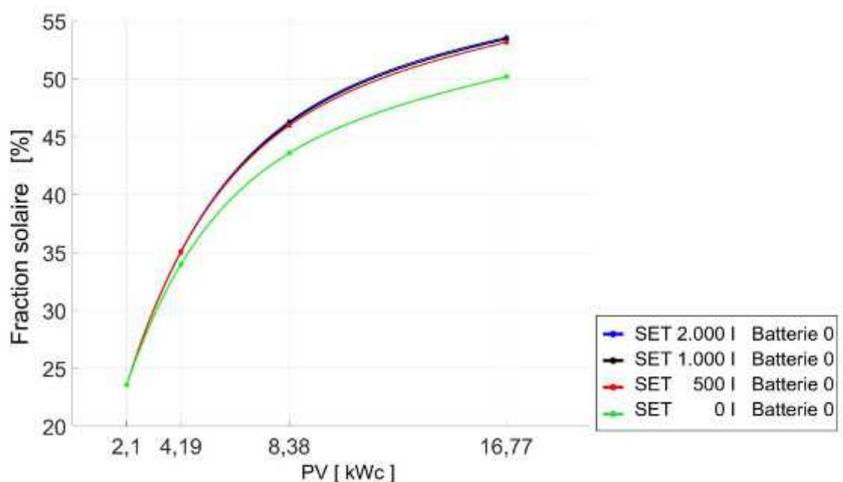


Figure 7: fraction solaire pour la combinaison PV et stockage thermique (logement 15 kWh/m²a)

dans cette étude) peuvent généralement couvrir la demande énergétique des appareils et de l'eau chaude sanitaire en été. Nous voyons également que même 100 m² de panneaux photovoltaïques (16,8 kWc dans cette étude) ne peuvent pas répondre à la demande d'énergie pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les appareils ménagers en hiver.

L'ajout d'une batterie ou d'un stockage thermique permettra donc d'utiliser les pics de production pour faire face aux baisses de production.

IMPACT D'UNE BATTERIE ÉLECTRIQUE

La figure 5 montre l'impact de l'ajout d'une batterie électrique, dont la taille varie de

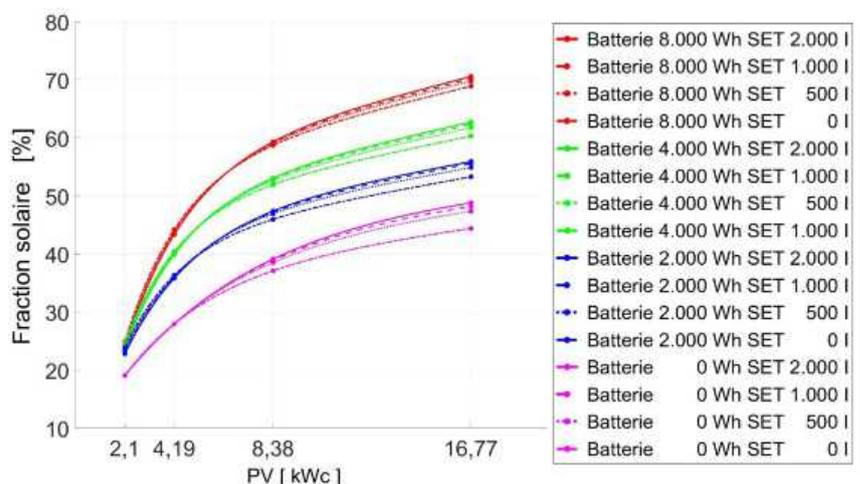


Figure 8: la fraction solaire pour la combinaison PV, batteries et stockage thermique (logement 60 kWh/m²a avec 5.01 kWh/a de demande d'énergie des appareils ménagers)

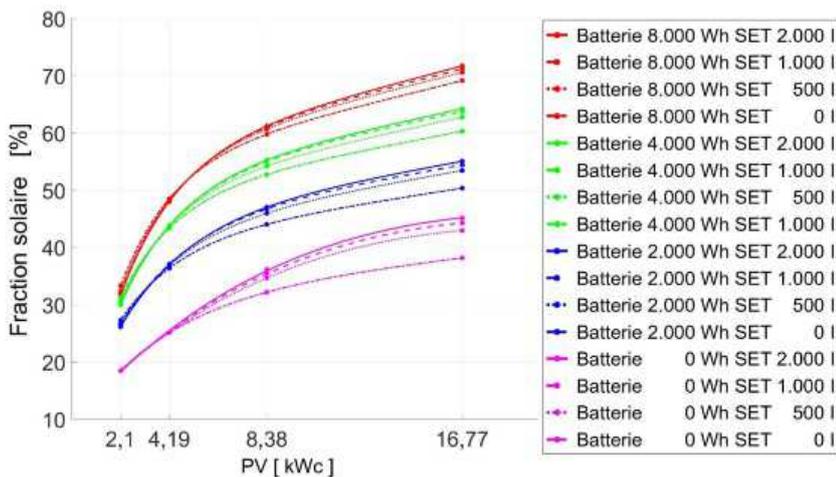


Figure 9: fraction solaire pour la combinaison PV, batteries et stockage thermique (logement 60 kWh/m²a avec 2.500 kWh/a de demande énergétique d'appareils domestiques)

2.000 kWh à 8.000 kWh, et dont seule la capacité de charge utilisable est indiquée. Elle tient compte d'une capacité de décharge de 20% et d'une capacité de recharge maximale allant jusqu'à 90% de la capacité nominale, afin de garantir une plus longue durée de vie. La batterie permet d'exploiter davantage d'énergie provenant des panneaux photovoltaïques à des fins d'autoconsommation à mesure que la taille de la batterie augmente.

Dans une maison de 60 kWh/m²a (avec pompe à chaleur et 5.011 kWh d'utilisation d'énergie pour les appareils ménagers) sans batterie, jusqu'à 37% des besoins en énergie peuvent être fournis par des panneaux photovoltaïques de 8,4 kWc. Avec une batterie de 8.000 kWh, cette proportion peut atteindre 59%.

IMPACT DU STOCKAGE THERMIQUE

Si nous n'utilisons que le stockage de l'énergie thermique (SET), nous observons un comportement similaire. Il convient de noter ici que la fraction solaire n'augmentera pas autant (maximum 39% pour le logement de 60 kWh/m²a

avec 8,4 kWc de panneaux solaires), parce que le stockage thermique ne peut être utilisé que pour répondre à la demande de chauffage, ce qui n'est donc possible que pendant la saison de chauffage.

Si nous réduisons les besoins en chauffage à la maison de 15 kWh/m²a (figure 7), nous constatons que la situation ne change guère. Lorsque la quantité de panneaux photovoltaïques installés est faible, le stockage thermique n'a pas d'importance et toutes les courbes coïncident. Ce n'est que lorsqu'il y a suffisamment de panneaux photovoltaïques que la production est suffisante pour stocker dans le tampon thermique ce qui n'est pas utilisé par les appareils ménagers. La fraction solaire supplémentaire due au stockage thermique est limitée à 5%.

BATTERIE ÉLECTRIQUE ET STOCKAGE THERMIQUE

L'association de batteries et de stockage thermique conduit à une combinaison particulièrement complexe de tailles de batteries et de stockage thermique, comme le montre la figure 8. Dans tous les cas, les premiers 6 kWc de panneaux photovol-

taïques contribuent fortement à la croissance de la fraction solaire. Ensuite, la fraction solaire n'augmente que progressivement de 1,5% par kWc. Plus la batterie électrique est grande, moins l'impact du système de stockage de l'énergie thermique est important.

Au fur et à mesure que la consommation d'énergie des appareils ménagers diminue, une plus grande quantité d'énergie est disponible pour le stockage. Pour une maison de 60 kWh/m²a avec une demande d'énergie de 2.500 kWh pour les appareils ménagers et 8,4 kWc, la fraction solaire augmente de 4% avec un tampon thermique de 2.000 l (Figure 9) comparé à 1,8% avec une demande d'énergie de 5.011 kWh/a pour les appareils ménagers.

Comme l'illustre le tableau 1 (voir ci-dessous), diverses combinaisons sont possibles, toutes conduisant à une fraction solaire de 40%, par exemple. Sur la base de ces combinaisons, le propriétaire du bâtiment sera en mesure de faire le meilleur choix financier.

Un outil de calcul a donc été développé au cours du projet. Cet outil permet de vérifier l'impact de ces différentes combinaisons sur la fraction solaire. La figure 9 montre une capture d'écran de l'outil, qui a été développé sous Excel. Cet outil est disponible sur le site de l'ATIC.

Cet outil permet de déterminer la taille du stockage de l'énergie électrique et thermique en fonction de la demande de chaleur et de la consommation d'énergie électrique d'une maison familiale. Cela permet d'estimer le nombre de panneaux solaires et la capacité de stockage nécessaires pour atteindre une certaine fraction de la couverture de la demande d'énergie.

EN SAVOIR PLUS SUR L'OUTIL PAR ATIC

en scannant le code QR ou sur atic.be



FRACTION SOLAIRE (%)	BATTERIE (Wh)	STOCKAGE THERMIQUE (L)	PV (kWc)
40	8.000	0	3,7
40	4.000	0	4,2
40	2.000	0	5,3
40	0	2.000	8,8
40	0	500	9,2
40	0	0	10,8

Tableau 1: combinaisons de systèmes ayant tous une fraction solaire de 40% pour une maison de 60 kWh/m²a avec une demande d'énergie de 5.011 kWh/a pour les appareils ménagers