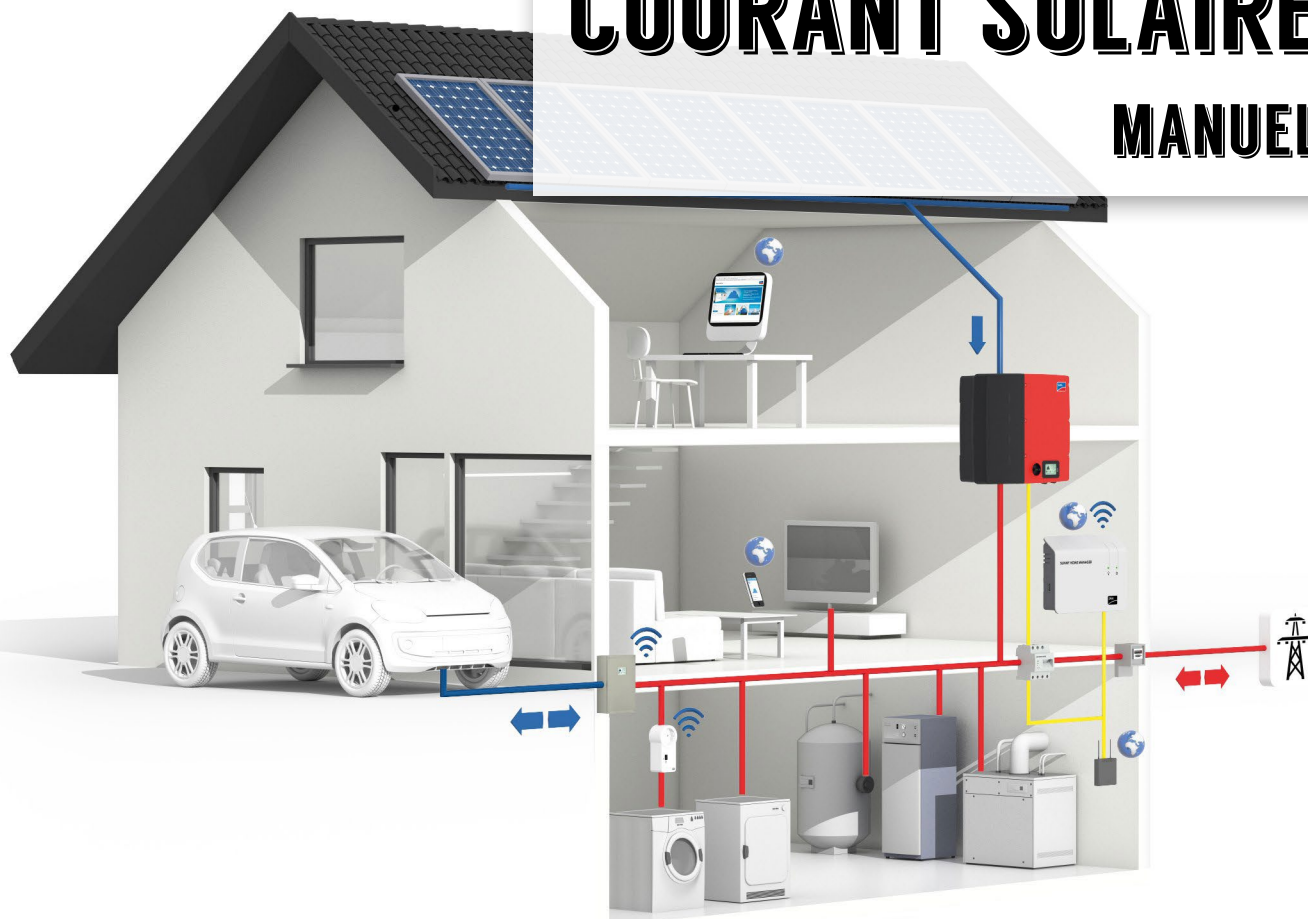


COMMENT OPTIMISER LA CONSOMMATION PROPRE DE COURANT SOLAIRE

MANUEL



suisse énergie

Notre engagement : notre futur.

TABLE DES MATIÈRES

DE QUOI S'AGIT-IL?

1	Introduction	4
1.1	Quelle est la différence entre l'autosuffisance et la consommation propre?	4
1.2	La consommation propre est-elle rentable?	5

POUR LE CONSOMMATEUR

2	Comment peut-on augmenter la consommation propre?	6
2.1	Optimisation avec la production de chaleur	7
2.2	Optimisation avec la consommation électrique du ménage	7
2.3	Optimisation avec le stockage par batterie	8
2.4	Potentiel d'optimisation avec l'électromobilité	9
2.5	La communauté de consommation propre	10
2.6	Le courant solaire dans une «Smart Home» et dans un «Smart Office»	10
2.7	Part de consommation propre atteignable	11

POUR L'INSTALLATEUR

3	Concepts et commandes, vue d'ensemble des appareils	12
3.1	Pompes à chaleur	12
3.2	Onduleurs solaires	16
3.3	Raccordement d'un stockage par batterie	20
3.4	Appareils de commande pour l'optimisation de la consommation propre	29
3.5	Intégration dans une «Smart Home»	29

MÉMENTO

4	Augmentation de la consommation propre en cinq étapes	34
---	---	----

DE QUOI S'AGIT-IL?

1 INTRODUCTION

Depuis avril 2014, la consommation propre de courant électrique produit localement est autorisée en Suisse à l'échelle nationale. L'appellation «consommation propre» signifie que le courant solaire produit est consommé simultanément et sur place, en faisant par exemple fonctionner le lave-linge lorsque le soleil brille.

1.1 QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE L'AUTOSUFFISANCE ET LA CONSOMMATION PROPRE?

Le degré d'autosuffisance est une unité de mesure de l'indépendance: quel pourcentage de ma consommation électrique puis-je couvrir grâce à ma propre production d'électricité solaire?

A contrario, le degré de consommation propre indique quelle part, exprimée en pourcentage, de la production totale de courant solaire est consommée simultanément à l'échelle locale (voir figure 1).

Par exemple:

Un ménage consomme annuellement 4000 kWh de courant électrique et produit 8000 kWh avec son installation solaire. En moyenne, si le ménage consomme simultanément 1200 kWh de l'électricité produite par an, cela correspond à un degré d'autosuffisance de 30% et à une part de consommation propre de 15%.

Une installation solaire plus petite dans le même ménage (production annuelle de 3000 kWh, consommation simultanée de 900 kWh) atteint un degré d'autosuffisance de 22% et une part de consommation propre de 30%. Un calculateur de consommation propre (p. ex. www.eigenverbrauchsrechner.ch) permet de calculer la part de consommation propre individuelle d'un ménage.

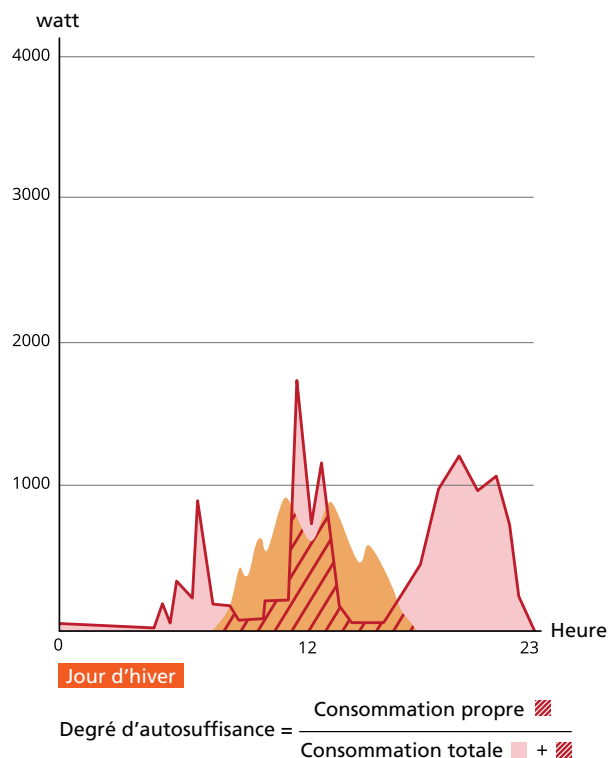
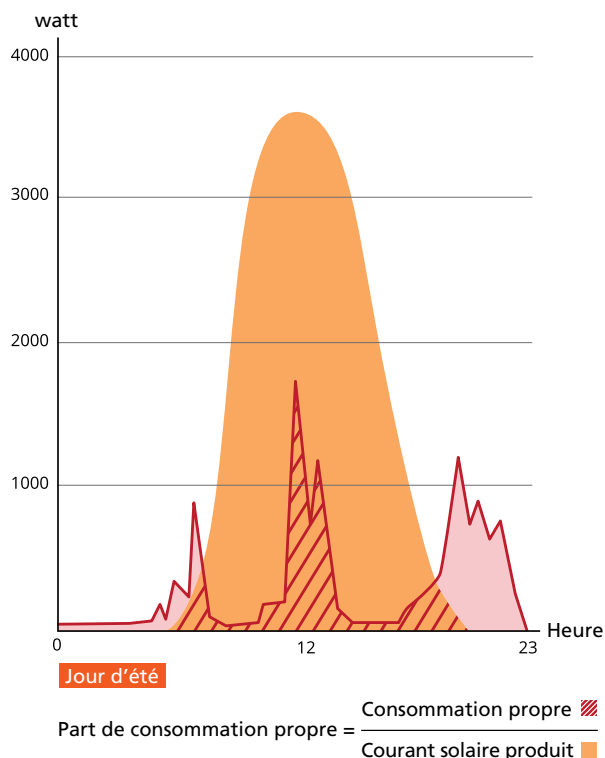


Figure 1: Exemple d'évolution caractéristique de la production de courant solaire et de la consommation d'un ménage au quotidien (source: VESE).

1.2 LA CONSOMMATION PROPRE EST-ELLE RENTABLE?

Compris entre 10 et 20 cts/kWh, les coûts du courant solaire sont généralement inférieurs au prix de l'électricité issue du réseau payé par les ménages (env. 20 à 30 cts/kWh). Cependant, la rémunération (tarif de rachat) pour le courant solaire non consommé sur place et réinjecté dans le réseau n'est que de 4 à 20 cts/kWh.

Cela signifie qu'une part de consommation propre plus élevée (et moins d'électricité réinjectée dans le réseau) accroît la rentabilité de l'installation photovoltaïque. L'exemple simplifié présenté ci-après illustre bien ce cas de figure. Une installation et un ménage typiques présentent les caractéristiques suivantes:

Puissance de l'installation PV	4 kWp
Coûts d'investissement	CHF 10'000.–
Rétribution unique	CHF –3000.– (Tarifs à partir d'avril 2018)
Coûts d'exploitation	150 CHF/an
Durée de vie	25 ans
Production de courant solaire	3800 kWh/an
Consommation du ménage	4000 kWh/an
Part de la consommation haut tarif et bas tarif	45% (haut tarif) 55% (bas tarif)
Part de la production de courant solaire en périodes haut tarif et bas tarif	70% (haut tarif) 30% (bas tarif)

Tableau 1: Hypothèses pour le calcul de rentabilité d'une installation photovoltaïque en fonction de la consommation propre.

Pour ces paramètres-là, la figure 2 montre, en fonction du tarif de rachat et du prix de l'électricité, la part de consommation propre qui est nécessaire pour atteindre un retour sur investissement de 2%. Ainsi, avec par exemple un tarif de rachat de 9 cts/kWh et un prix de l'électricité de 20 cts/kWh, une part de consommation propre de 40–60% est nécessaire pour que l'installation ait une rentabilité de 2%¹.

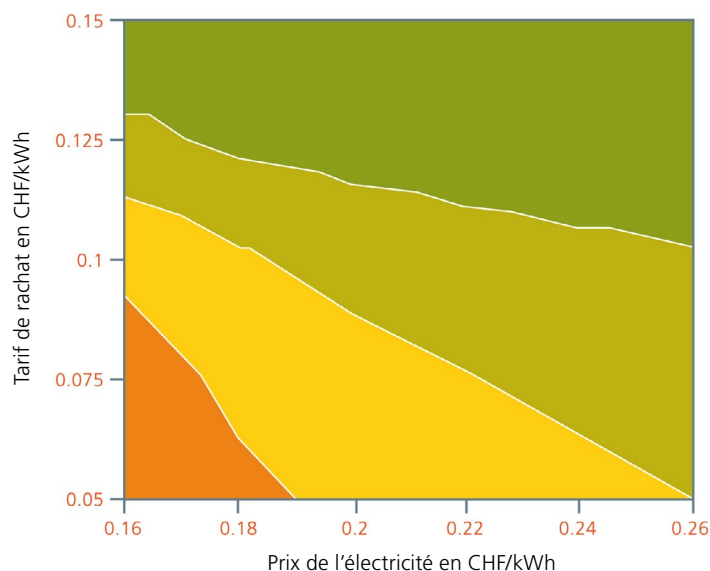


Figure 2: Part de consommation propre nécessaire pour atteindre une rentabilité de 2% avec une installation PV, en fonction du prix de l'électricité et du tarif de rachat (pour les hypothèses voir le tableau 1, source: VESE).

60–80%
40–60%
20–40%
0–20%

L'optimisation de la consommation propre implique donc qu'une augmentation de la part de consommation propre de manière ciblée augmente également la rentabilité de l'installation. Ce manuel décrit les possibilités techniques permettant une optimisation de la consommation propre. Il est dédié aussi bien aux néophytes (chapitre 2) qu'à des personnes plus expérimentées ou des installateurs (chapitre 3).

Pour déterminer la rentabilité de votre installation solaire, rendez-vous sur:

www.toitsolaire.ch, www.suisseenergie.ch/calculateur-solaire.

Les prix de l'électricité peuvent être consultés sur www.prix-electricite.elcom.admin.ch et les tarifs de rachat sur www.pvtarif.ch.

¹ Lors du calcul, il faut tenir compte du fait que le prix de l'électricité et le tarif de rachat peuvent changer chaque année. Le calcul de rentabilité est donc approximatif.

POUR LE CONSOMMATEUR

2 COMMENT PEUT-ON AUGMENTER LA CONSOMMATION PROPRE?

Lorsque la consommation annuelle correspond à peu près à la production annuelle de courant solaire et que la consommation propre n'est pas optimisée, un ménage peut consommer simultanément environ 15 à 30% de sa production de courant solaire sans stockage d'énergie. Une optimisation permet d'atteindre une part de consommation propre d'environ 30 à 70%.

Si le courant est également utilisé pour la production de chaleur et/ou pour la recharge d'un véhicule électrique, le potentiel d'augmentation de la consommation propre peut devenir

important. Une pompe à chaleur avec chauffage d'appoint et l'électromobilité peuvent l'une et l'autre nécessiter plus ou moins la même quantité annuelle d'électricité que ce que consomme le reste du ménage.

La figure 3 montre schématiquement les sources de consommation d'un ménage les plus appropriées pour l'optimisation de la consommation propre.

2.1 OPTIMISATION AVEC LA PRODUCTION DE CHALEUR

La production d'eau chaude nécessite quotidiennement jusqu'à 17 kWh². En mode optimisation, le générateur de chaleur électrique ne chauffe plus l'eau la nuit comme habituelle-

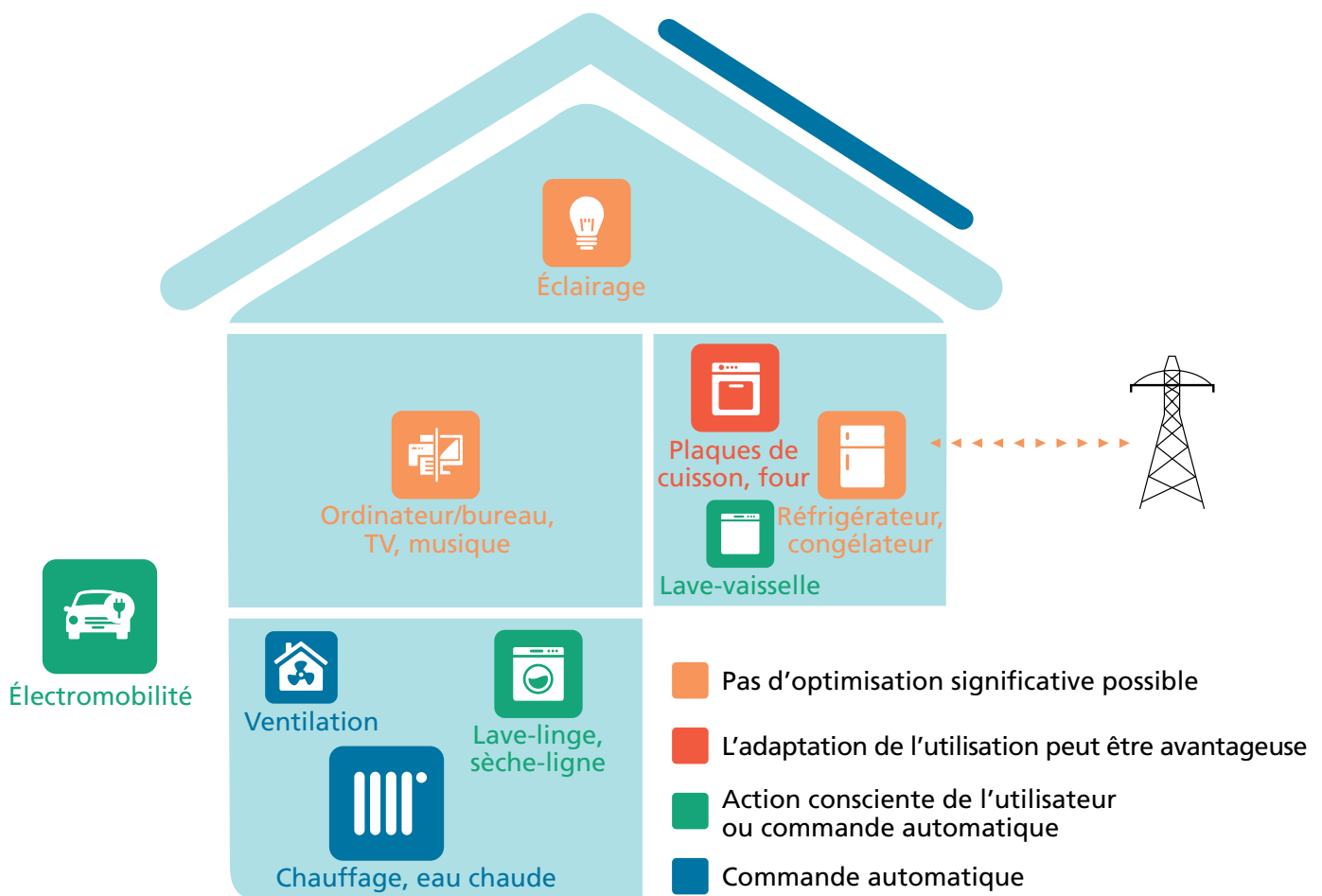


Figure 3: Possibilités d'optimisation dans une maison individuelle. La taille des carrés correspond à la consommation électrique des appareils et donc au potentiel d'optimisation. Les appareils sur fond vert se prêtent bien à une optimisation manuelle de la consommation propre; les appareils sur fond bleu à une optimisation automatisée de la consommation propre (source: VESE).

ment, mais pendant la journée avec le courant solaire. L'avantage des simples résistances électriques est qu'elles parviennent à convertir dans un rapport 1:1 le courant solaire en chaleur dans une plage variable de 0,5 à plus de 10 kW. Il existe également des résistances électriques commutables par paliers.

Les pompes à chaleur ont une plus grande efficacité énergétique. En effet, elles produisent environ 3 kWh de chaleur avec 1 kWh de courant en prélevant de la chaleur dans l'air ou dans le sous-sol. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour le pilotage des pompes à chaleur, en particulier les paliers de puissances fixes, le temps minimal de fonctionnement et les temps d'arrêt.

Il existe en outre des pompes à chaleur modulantes qui peuvent fonctionner selon les besoins ou selon l'offre (voir également le chapitre 3.1).

Les pompes à chaleur pour la production d'eau chaude consomment généralement 0,5 kW sur plusieurs heures. Les pompes à chaleur qui servent également de chauffage ont une puissance plus élevée et permettent au printemps et en automne une consommation propre encore plus élevée. Il est pertinent d'avoir un stockage de chaleur suffisamment grand, qui peut, en fonction de la situation, être assuré par la capacité thermique de la masse du bâtiment.

2.2 OPTIMISATION AVEC LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DU MÉNAGE

En règle générale, l'optimisation des autres consommateurs d'énergie du ménage peut être réalisée de deux manières différentes:

- **manuellement:** Adaptation du comportement de l'utilisateur, en mettant par exemple en marche le lave-linge quand il fait beau (le lave-linge et le lave-vaisselle représentent jusqu'à 30% des besoins électriques du ménage).

LES POMPES À CHALEUR AIR-AIR COMBINÉES AVEC DES INSTALLATIONS PV OFFRENT UN AVANTAGE SUPPLÉMENTAIRE: PLUS LA TEMPÉRATURE DE L'AIR EXTÉRIEUR EST ÉLEVÉE, MOINS ELLES CONSOMMENT DE COURANT. SI LES POMPES À CHALEUR FONCTIONNENT PENDANT LA JOURNÉE, ELLES ONT UN RENDEMENT BIEN PLUS EFFICACE QUE LORSQU'ELLES TOURNENT LA NUIT.

- **automatiquement:** Un système de commande décale l'enclenchement des appareils aux heures où la production solaire est la plus importante. Le lave-linge sera par exemple programmé pour être enclenché automatiquement quand l'ensoleillement est suffisant. Si cette procédure est appliquée de manière systématique, la part de consommation propre augmente généralement d'environ 10%. Le chapitre 3 décrit le déroulement précis de ce processus. La figure 4 montre comment la consommation propre peut être augmentée en décalant les lessives du soir vers la période de production solaire.

Produire du froid avec le soleil?

Il est également judicieux d'utiliser le courant solaire pour la climatisation et la ventilation. Le réfrigérateur et le congélateur consomment quant à eux 15 à 30% du courant domestique. En règle générale, il est possible, via une prise télécommandée, de n'enclencher les appareils que lorsque le courant solaire est disponible en excédent. Il convient alors de diminuer de 1 à 2 degrés Celsius la consigne de température des appareils pour que les produits réfrigérés disposent d'une réserve de froid suffisante pour la nuit. Solar-Log est par exemple doté d'une fonction de programmation pour les congélateurs avec contrôle individuel de la température. Comme la qualité des produits réfrigérés risque d'être dégradée par les fluctuations de température, c'est un cas particulier à contrôler rigoureusement. En outre, il faut prendre d'autres dispositions techniques pour s'assurer qu'une température maximale ne sera pas dépassée.

Dans l'industrie, en raison de l'offre pour le courant et des prix de l'électricité, il est indispensable d'optimiser l'exploitation des systèmes de réfrigération. Dans les grandes entreprises, une réserve de froid d'un demi degré constitue déjà, selon les circonstances, une grande quantité d'énergie, qui peut ainsi être stockée gratuitement. Si une exploitation agricole par exemple ne refroidit pas le lait directement, mais en ayant recours à un procédé de réfrigération à base d'eau glacée, la glace peut être produite grâce au courant solaire pour constituer une réserve de froid.

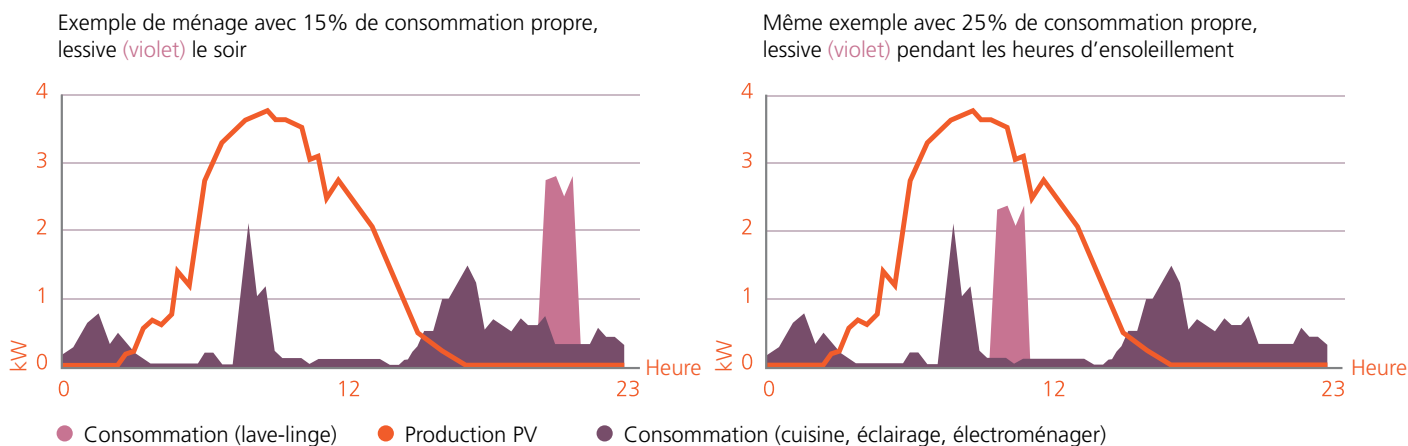


Figure 4: Augmentation de la consommation propre en faisant les lessives pendant la période de forte production solaire (source: VESE).

2.3 OPTIMISATION AVEC LE STOCKAGE PAR BATTERIE

On peut augmenter davantage la consommation propre en utilisant un stockage intermédiaire: le courant solaire produit pendant la journée est alors disponible le soir et la nuit. En règle générale, ce stockage intermédiaire est réalisé à l'aide de batteries qui sont chargées pendant la journée avec du courant solaire et déchargées ensuite le soir.

À titre d'exemple: une batterie d'une capacité de 4 à 6 kWh (taille plus ou moins équivalente à celle d'un petit réfrigérateur) convient aux besoins d'un ménage de 4 personnes avec une consommation annuelle d'électricité de 4500 kWh (ou 4,5 MWh) et une installation photovoltaïque d'une puissance de 3 à 6 kWp. Avec cet équipement, la part de consommation propre peut être portée de 30% à 70% (pour de plus amples informations (en allemand): www.pvspeicher.htw-berlin.de -> Online-Tools -> Unabhängigkeitsrechner).

Le graphique de la figure 5 montre l'évolution de la part de consommation propre en fonction de la puissance de l'installation PV et de la capacité de stockage. L'axe X représente la puissance de l'installation PV (kWp) relative à la consommation annuelle (MWh). L'axe Y représente la capacité du stockage (kWh) relative à la consommation annuelle (MWh). On peut observer qu'une bonne combinaison des deux paramètres permet d'atteindre une part élevée de consommation propre.

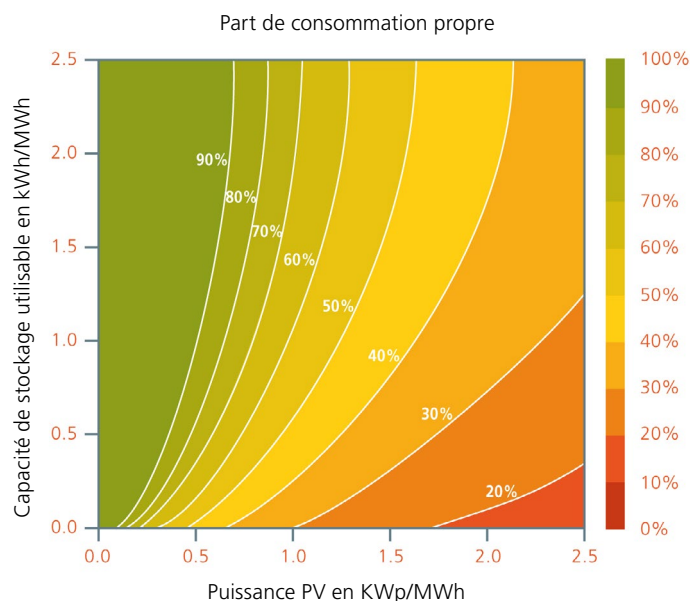


Figure 5: Consommation propre en fonction de la capacité de la batterie et de la puissance de l'installation PV. Les valeurs des axes X-Y sont toutes les deux relatives à la consommation annuelle du ménage en MWh (source: HTW Berlin – <http://pvspeicher.htw-berlin.de>).

À l'heure actuelle, le marché des batteries est très dynamique. De nouveaux accumulateurs sont présentés presque chaque semaine et un grand nombre de modèles est par conséquent disponible sur le marché. De manière générale, il convient de tenir compte des critères suivants lors de l'achat d'une batterie (les détails sur ces points sont présentés au chapitre 3.3.):

- technologie
- capacité de stockage
- nombre de cycles de charge
- type d'utilisation (résidence secondaire, maison individuelle, immeuble collectif ou bureau)
- profil de consommation (dont dépendent la taille et éventuellement la technologie de l'accumulateur)
- lieu d'installation de la batterie (il faut tenir compte de la plage de température idéale des batteries et des conditions de sécurité, car certains accumulateurs ne doivent pas être mis en place dans les espaces de vie)
- puissances maximales de charge et de décharge de la batterie (doivent être adaptées à la puissance de l'installation PV et des appareils connectés)

Calculés sur la durée de vie, les prix actuels des batteries pour une maison individuelle correspondent à un coût de stockage fluctuant plus ou moins entre 17 et 50 cts/kWh³. À cela s'ajoute encore la valeur du courant solaire d'environ 7 cts (c'est à dire le prix que l'on percevrait pour le courant réinjecté sur le réseau). Cela signifie que le courant issu des batteries et consommé le soir coûte entre 24 et 57 cts/kWh. Les solutions de stockage ne sont donc pas encore rentables ou à la limite de la rentabilité. Cependant, avec la réduction escomptée des prix des batteries ces prochaines années, la situation pourrait changer dans le futur.

2.4 POTENTIEL D'OPTIMISATION AVEC L'ÉLECTROMOBILITÉ

Selon les modèles, les véhicules électriques sont équipés de batteries de 5 à 100 kWh et sont ainsi un moyen supplémentaire d'optimiser la consommation propre.

Ils peuvent également être utilisés pour remplacer ou seconder une batterie stationnaire – en particulier si le véhicule est généralement stationné durant la journée, que ce soit à la maison ou à tout autre endroit équipé d'une connexion au réseau. On parle également de Vehicle-to-Home (V2H), ce qui signifie que la voiture électrique est intégrée dans le concept de maison intelligente (Smart Home). C'est aujourd'hui déjà possible par défaut, différents constructeurs comme Nissan, Mitsubishi et BYD travaillent dans ce sens, et les premiers modèles sont disponibles sur le marché. Ainsi l'entreprise The Mobility House en Allemagne propose déjà un tel système: le système de gestion de l'énergie agit tant sur la consommation du ménage que sur la charge de la voiture électrique. Dès qu'une certaine puissance minimale est atteinte, la batterie du véhicule commence à charger. Le soir, lorsque la consommation électrique augmente dans la maison, la batterie restitue l'électricité. En Suisse, il n'y a cependant encore aucune solution disponible à ce jour en matière de charge bidirectionnelle privée.

À l'achat d'un véhicule électrique, il faut veiller à ce que la voiture soit équipée pour répondre au standard de charge CHAdeMO. Ces véhicules sont déjà préparés pour la charge bidirectionnelle. Cependant, même sans décharge, resp. sans «charge bidirectionnelle», un véhicule électrique qui est rechargé à la maison durant la journée avec du courant solaire, contribue de manière significative à l'augmentation de la consommation propre.

La page Web suivante donne un aperçu des infrastructures de recharge pour l'électromobilité, ainsi que des standards de communication pour l'infrastructure de recharge en tant que point central pour la mise en réseau: www.vese.ch/electromobilite. Il est de plus recommandé de se renseigner auprès du service cantonal de l'énergie ou du distributeur compétent pour tout ce qui est des prescriptions en vigueur.

³ Méthode de calcul: (prix par kWh stocké = coûts d'investissement) / (capacité de stockage utilisable de la batterie × nombre total de cycles × efficacité de charge)

2.5 LA COMMUNAUTÉ DE CONSOMMATION PROPRE

Dans un immeuble collectif ou de bureaux, plusieurs locataires, plusieurs propriétaires d'étages ou de terrains peuvent s'associer pour constituer une communauté de consommation propre. Si les intéressés sont alimentés par la même installation solaire, le taux de consommation propre augmente pour des raisons statistiques, puisque la consommation est ainsi plus homogène (p. ex. compensation des absences en raison des congés, etc.). Un avantage supplémentaire est le coût des investissements par kilowatt plus faible pour les grosses installations par rapport au prix par kilowatt d'une installation pour un ménage isolé.

Il existe différents modèles de mise en oeuvre qui dépendent de l'exploitant de l'installation. Ça peut être le propriétaire du bien foncier ou un tiers, comme par exemple une coopérative solaire ou le distributeur local d'électricité (Energie-Contracting). Le prix par kWh que l'exploitant fixe s'aligne sur le prix de revient de l'installation PV. La facturation est effectuée directement soit par l'exploitant soit par un prestataire, qui est également responsable de l'exploitation et du relevé des compteurs.

La figure 6 montre de quelle manière sont alimentés en électricité les locataires d'une communauté de consommation propre à partir de l'installation PV en toiture et à partir du réseau, ainsi que les différents équipements de mesure nécessaires.

Avant de constituer des communautés de consommation propre, il est impératif de vérifier au préalable quels seront les tarifs appliqués. Selon les circonstances, d'autres tarifs s'appliquent pour ce type d'installations PV (p. ex. des tarifs basés sur la puissance) qui ont des répercussions négatives sur la rentabilité.

Les documents de référence pour la mise en place de communautés de consommation propre sont disponibles via les liens suivants:

www.vese.ch/evg (en allemand)
www.suisseenergie.ch/consommation-propre

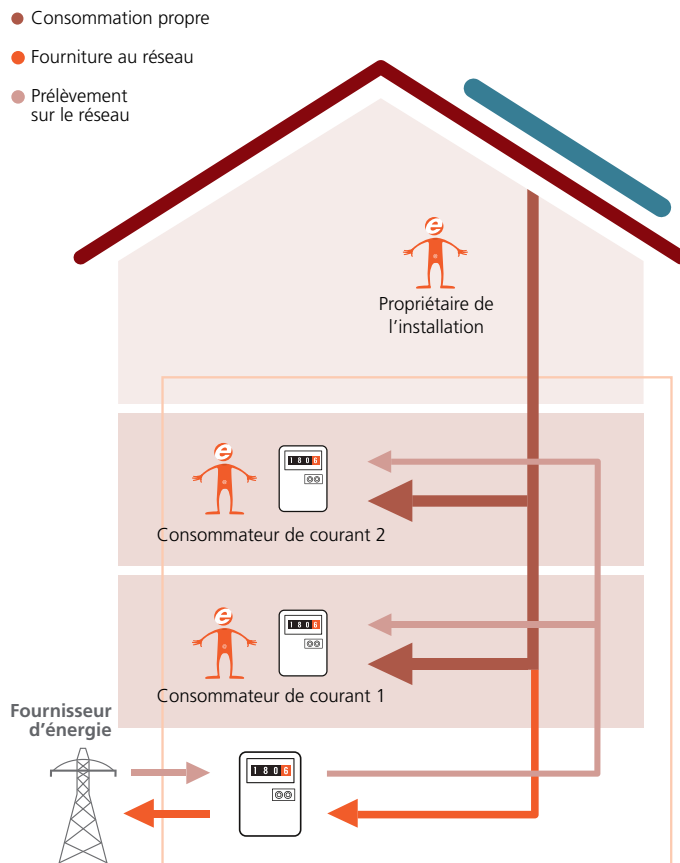


Figure 6: Flux d'électricité et compteurs dans un immeuble collectif avec consommation propre (source: BFE/VESE).

2.6 LE COURANT SOLAIRE DANS UNE «SMART HOME» ET DANS UN «SMART OFFICE»

«Smart Home» (maison intelligente) et «Smart Office» (bureau intelligent) sont des termes génériques définissant des procédés et systèmes techniques mis en oeuvre dans les pièces d'habitation, les maisons d'habitation et les bureaux. Au centre de ces concepts, on trouve l'amélioration de la qualité des logements, des conditions de vie et du travail, la sécurité et une utilisation efficace de l'énergie par la mise en réseau des appareils, mais également l'automatisation des processus. Des dispositifs de commutation en cas d'absence permettent par exemple de réaliser des économies d'énergie au niveau du chauffage. Dans ce contexte, il est également possible de piloter les appareils consommateurs d'énergie en fonction de l'énergie disponible et du tarif de consommation. L'optimisation de la consommation propre du courant solaire n'est qu'une partie du concept. En raison de leur profil de charge, les bureaux et les entreprises de

production sont prédestinés à une consommation propre importante et atteignent souvent une part de consommation propre plus élevée que les maisons individuelles et les immeubles collectifs.

2.7 PART DE CONSOMMATION PROPRE ATTEIGNABLE

Dans les ménages

En fonction du nombre et du type d'appareils considérés dans le concept d'optimisation de la consommation propre, une part de consommation propre plus ou moins haute peut être atteinte. La figure 7 montre les valeurs qui peuvent être atteintes dans la pratique pour différentes combinaisons.

Dans les petites et moyennes entreprises (PME)

Dans l'industrie et dans les PME, le potentiel de consommation propre est très spécifique; il dépend des périodes de consommation et des types de consommateurs présents. En règle générale, en raison de la forte charge journalière, on peut atteindre une part de consommation propre élevée, d'ordinaire plus élevée que dans le secteur du logement. Si la charge journalière est élevée et régulière, on peut atteindre une part de consommation propre supérieure à 50%, même avec une installation PV relativement grande. C'est par exemple le cas des entreprises de production avec un haut degré d'automatisation et des équipes de week-end, des bureaux, des cuisines collectives et des centres commerciaux. Pour des installations PV optimisées en termes de consommation propre et qui ne couvrent qu'une partie de la consommation annuelle,

on peut même atteindre une part de consommation propre de 100%. L'expérience a montré que s'il n'y a pas d'activité le week-end, la part de consommation propre fluctue entre 60 et 80%.

Les foyers d'accueils tels que maisons de retraite et hôpitaux avec une consommation en journée élevée sept jours sur sept sont également intéressants. Une maison de retraite avec une consommation électrique annuelle de 300'000 kWh et une installation PV de 100 kWp peut consommer simultanément sur place plus de 90% du courant produit. Les exploitations agricoles constituées de plusieurs bâtiments et qui utilisent plusieurs installations de réfrigération, par exemple pour le lait, les fruits ou les légumes, peuvent également atteindre une consommation propre importante (souvent de 50 à 80%).

Les entreprises avec une consommation électrique de plus de 100 MWh/an peuvent acheter leur courant sur le marché libre ouvert à la concurrence. Après avoir ajouté les frais facturés pour l'utilisation du réseau et les taxes, le coût global par kWh correspond dans l'ensemble au prix de revient d'une installation photovoltaïque de grande taille (à partir d'env. 100 kWp, 10 à 13 cts/kWh). Si une part de consommation propre suffisamment élevée est atteinte, les installations PV peuvent donc être suffisamment rentables, même pour les exploitants disposant d'un accès libre au marché.

Vous trouverez de plus amples informations sur la question dans la brochure de SuisseEnergie «Du courant solaire pour sa consommation propre: nouvelles possibilités pour votre entreprise» (www.suisseenergie.ch/consommation-propre).

ATTENTION: EN CAS DE COUPURE DE COURANT, UNE INSTALLATION PV NE PEUT PAS ÊTRE UTILISÉE POUR ASSURER UNE ALIMENTATION SANS INTERRUPTION.

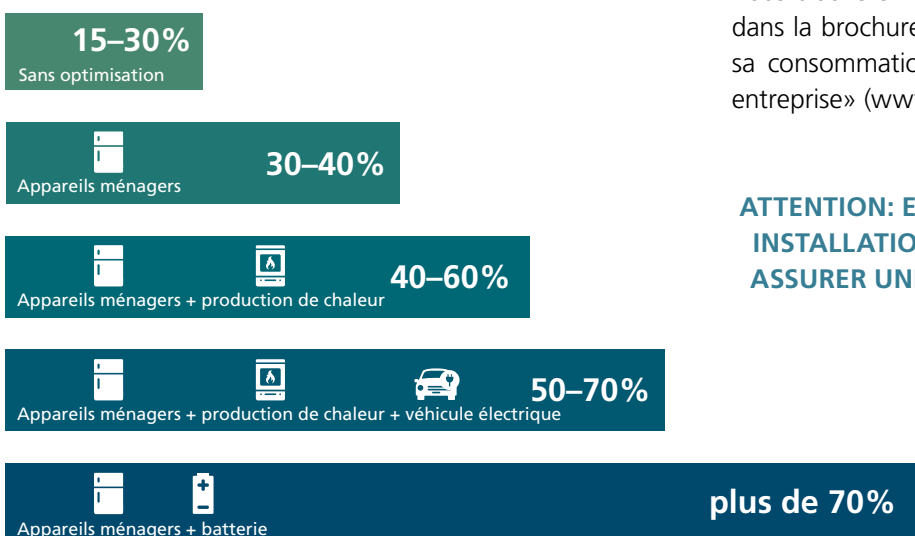


Figure 7: Valeurs de référence pour la part de consommation propre atteignable en fonction des groupes d'appareils optimisés. D'autres combinaisons sont également possibles et peuvent permettre d'atteindre une part de consommation propre encore plus importante (source: VESE).

POUR L'INSTALLATEUR

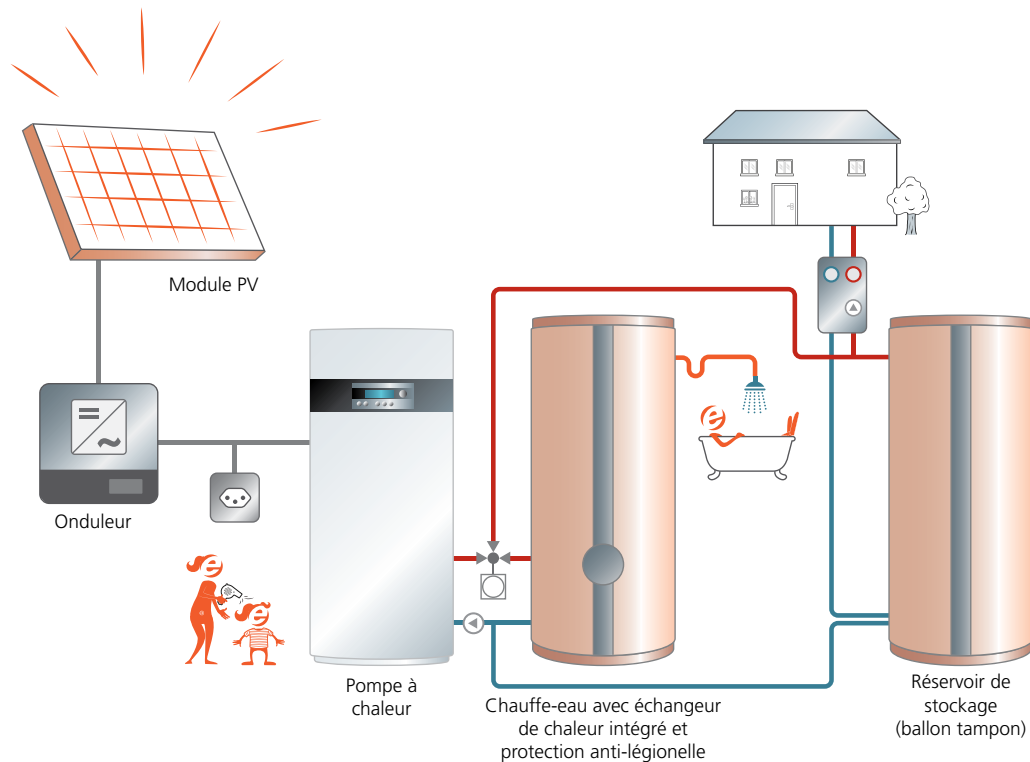


Figure 8: Concept de raccordement hydraulique d'une pompe à chaleur avec une installation PV (source: VESE).

3 CONCEPTS ET COMMANDES, VUE D'ENSEMBLE DES APPAREILS

Les indications ci-après s'adressent avant tout à des planificateurs et à des installateurs qui réalisent des installations, mais également à des non-spécialistes technophiles. Ceux qui veulent se limiter à une meilleure compréhension de la consommation propre peuvent sauter le chapitre 3 et aller directement au chapitre 4 «Augmentation de la consommation propre en cinq étapes».

Les technologies suivantes et les concepts de commande correspondants permettent dans la pratique d'optimiser la consommation propre:

1. pompes à chaleur
2. onduleurs solaires
3. batteries
4. appareils de commande séparés
5. «Smart Home»

Les chapitres suivants donnent une vue d'ensemble des appareils disponibles sur le marché, des concepts de commande correspondants et des possibilités d'application.

Remarque:

Le marché des appareils permettant d'optimiser la consommation propre est très dynamique. Les indications présentées dans les tableaux ci-après doivent donc être vérifiées avant la planification et l'exécution des travaux. Les informations fournies dans les tableaux ne peuvent pas refléter entièrement la réalité, car de nouveaux appareils apparaissent chaque mois sur le marché. Un effort particulier a cependant été fait afin de donner un aperçu global des possibilités sur le plan technique (situation à l'automne 2017).

3.1 POMPES À CHALEUR

Une pompe à chaleur ne peut pas fonctionner de manière autonome avec une installation photovoltaïque, étant donné qu'elle utilise du courant toute l'année, en particulier pour le chauffage durant les mois peu ensoleillés d'hiver. Selon la localisation, l'installation photovoltaïque ne produit, de décembre à février, qu'une faible part de la production annuelle d'énergie (environ 10 à 15%). Malgré tout, la consommation propre peut être nettement augmentée grâce à une pompe à chaleur couplée à un système de gestion de l'énergie. Optimisée dans ce

Augmentation de la consommation propre

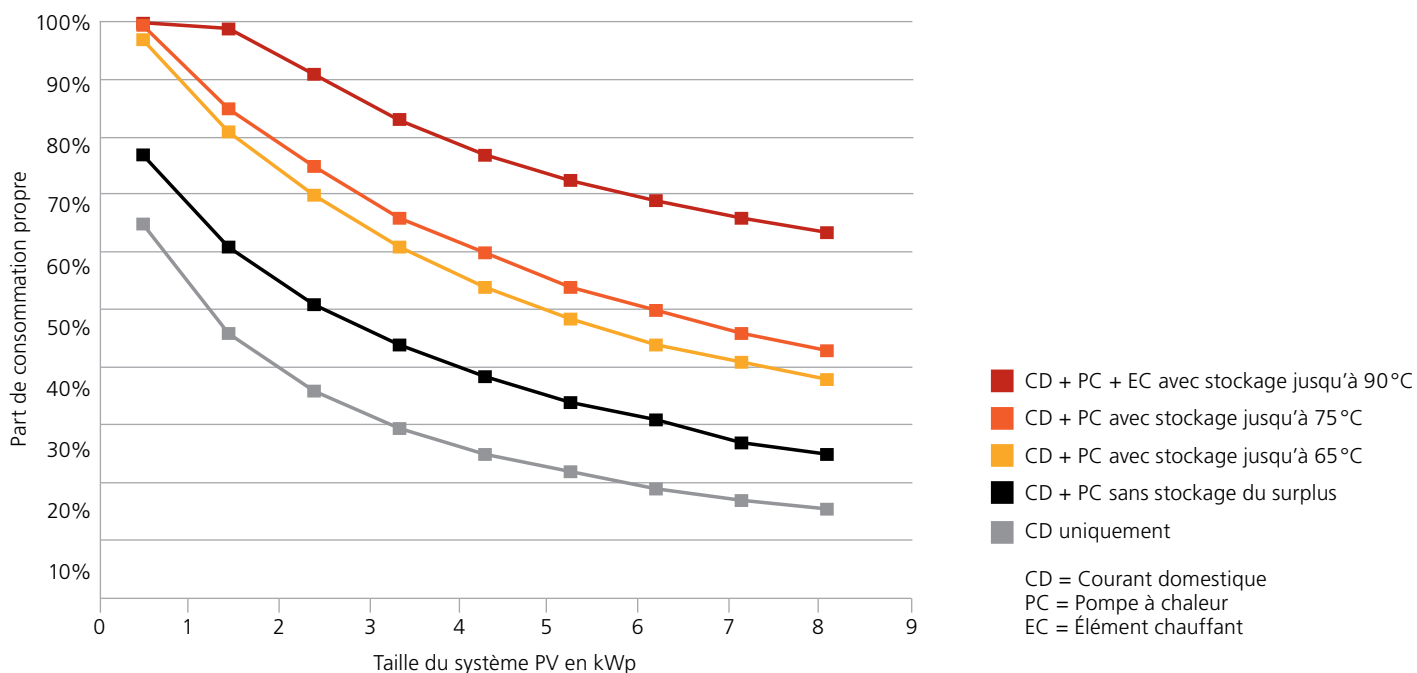


Figure 9: Augmentation supplémentaire de la part de consommation propre par une surélévation de la température. On voit clairement que des températures plus élevées à l'intérieur du stockage thermique intermédiaire permettent d'augmenter la part de consommation propre (source: T. Tjaden, HTW Berlin, 2013). Dans une telle procédure, il est indispensable de respecter les instructions du fabricant.

sens, la pompe à chaleur est enclenchée automatiquement quand la puissance produite par l'installation PV est suffisante, de telle sorte qu'une plus grande partie de l'eau chaude et/ou de l'énergie de chauffage puisse être produite avec le courant solaire. C'est notamment la contribution de l'eau chaude sanitaire qui permet d'augmenter nettement la consommation propre.

Concepts de raccordement hydraulique

La figure 8 montre un concept de raccordement hydraulique caractéristique. Afin d'utiliser le courant solaire de manière optimale, il est recommandé d'utiliser une capacité de stockage thermique tampon. Le courant solaire non consommé sur le champ est utilisé par la pompe à chaleur pour chauffer de l'eau qui est ensuite stockée dans le ballon tampon. Lors de l'intégration, il est recommandé d'utiliser un réservoir de stockage stratifié et de veiller à ce que l'eau dans le réservoir ne soit pas trop fortement mélangée lors du remplissage par la pompe à chaleur. L'expérience a montré qu'une bonne stratification permet d'augmenter de quelques dixièmes le rendement (COP) de la pompe à chaleur. Sur ce sujet, reportez-vous au projet «CombiVolt» du SPF, Institut pour la technique solaire.

On peut augmenter encore la consommation propre en faisant fonctionner la pompe à chaleur avec une surélévation de la température: par exemple si le stockage d'eau intermédiaire est maintenu à une température plus élevée que la température requise et/ou si l'énergie thermique est stockée dans le noyau béton («activation du noyau béton») ou dans la masse générale du bâtiment («surélévation de la température ambiante», p. ex. à 21 ou 22°C). Sur ce point, voir la figure 9. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que l'augmentation de la température de la pompe à chaleur a pour effet de diminuer son rendement (COP).

Commandes (Communication)

Dans la pratique, il existe deux possibilités principales pour assurer la communication entre la pompe à chaleur et l'onduleur:

- Connexion de l'onduleur et de la pompe à chaleur avec un câble. Le contact de commutation sans potentiel de l'onduleur envoie un signal à la pompe à chaleur lorsque la production solaire est suffisante. Ce signal est basé sur une valeur de puissance fixe de l'installation photovoltaïque, qui tient compte des besoins des appareils ménagers et



Interface SG Ready (SG = Smart Grid) de la pompe à chaleur, qui permet d'optimiser la consommation propre. C'est une interface via laquelle quatre états de fonctionnement peuvent être spécifiés:

1. mise à l'arrêt (max. 2 h),
2. préconisation de fonctionnement normal,
3. préconisation de fonctionnement plus soutenu
(p. ex. surélévation de la température, le régulateur de la pompe à chaleur décide de l'activation de ce mode),
4. mise en marche, si possible.

- Smart Meter (compteur intelligent): le rendement électrique de la pompe à chaleur est ajusté et sert de critère de commutation. Le Smart Meter mesure le courant restant après alimentation de tous les autres consommateurs.
- système de gestion de l'énergie: un tel système permet d'accroître davantage la consommation propre. Divers consommateurs, tels que lave-linge, sèche-linge ou pompe à chaleur peuvent être enregistrés avec leur profil de fonctionnement et être par exemple enclenchés via des prises télécommandées ou via l'interface SG Ready. En se basant sur des données météorologiques, le système établit des prévisions de production et décide (ce qu'on appelle régulation anticipée) à quel moment quel consommateur peut être enclenché, y compris la pompe à chaleur.

Les résistances électriques comme complément ou comme alternative à la pompe à chaleur

L'eau chaude peut également être produite par des résistances électriques. Celles-ci fonctionnent comme un gros thermoplongeur et sont intégrées directement dans le chauffe-eau. Toutefois l'efficacité énergétique ne correspond qu'à environ un tiers du rendement d'une pompe à chaleur. La puissance installée se situe la plupart du temps entre 1 et 10 kW.

Concepts de commande:

- a) «Commande marche/arrêt»: la résistance électrique est soit activée avec une puissance de 100% soit mise à l'arrêt (p. ex. par un signal délivré par l'onduleur)
- b) «Commande MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) ou sinus»: dans ce cas, la résistance électrique peut normalement fonctionner entre 5 et 100% de sa puissance nominale. Plusieurs fabricants proposent de tels éléments de commande, connectés entre l'onduleur et la résistance électrique. Il faut s'assurer que l'onduleur ou le système de gestion de la consommation propre a bien une sortie correspondante pour le pilotage de la résistance électrique. Des commandes d'amorçage ou de désamorçage sont également proposées comme alternatives à la «commande MLI». Comme elles risquent de provoquer des perturbations du réseau, elles ne sont cependant pas recommandées.

Exemple: une installation PV de 5 kWp produit à un moment donné 2 kW de «courant excédentaire», la résistance électrique a une puissance de 3 kW. Si on activait à ce moment-là la résistance électrique à 100% («commande marche-arrêt»), 1 kW supplémentaire serait soutiré du réseau (3 kW puissance de la résistance électrique; 2 kW puissance du courant solaire). Une commande MLI permettrait de faire fonctionner la résistance électrique à 66% de sa puissance nominale, afin que la puissance absorbée soit d'environ 2 kW et que le courant solaire soit utilisé de manière optimale.

→ *Attention: le chauffage électrique de l'eau n'est pas autorisé partout et peut être empêché par un verrouillage mis en place par le fournisseur d'énergie. Par conséquent, il est recommandé de se renseigner auprès du service cantonal de l'énergie ou du distributeur compétent pour tout ce qui est des prescriptions en vigueur. Solution possible: demander au fournisseur d'énergie s'il est possible d'obtenir la levée de ce verrouillage (Remarque: il faut s'assurer que le chauffe-eau ne fonctionne pas toute la journée alimentée par le courant issu du réseau).*

Une Smart Relais Box convient parfaitement comme commutateur pour le pilotage de la pompe à chaleur via l'onduleur. SG Ready est proposé par tous les fabricants réputés de pompes à chaleur.

La figure 10 montre l'exemple d'un système dans lequel la consommation propre directe est combinée avec une batterie et une pompe à chaleur dans le but d'optimiser la consommation propre. De tels systèmes permettent d'atteindre une part de consommation propre très élevée. Dans la figure 10, la numérotation indique l'ordre dans lequel un système de gestion de la consommation propre (non représenté sur la figure) peut commander les différents appareils. Dans cet

exemple, le courant solaire est utilisé en premier lieu pour la consommation directe. Le courant solaire encore disponible dans un deuxième temps est stocké dans la batterie, alors que l'éventuel solde de courant solaire est stocké sous forme d'eau chaude grâce à la pompe à chaleur. Cette eau chaude peut ensuite être utilisée le soir pour le chauffage des locaux et pour l'approvisionnement en eau chaude sanitaire.

Refroidissement avec des pompes à chaleur

Si elles sont conçues de la sorte, les pompes à chaleur peuvent non seulement chauffer, mais également refroidir. Cela a notamment du sens si une installation photovoltaïque est intégrée dans le système. En cas de production PV suffi-

sante, le bâtiment peut ainsi être climatisé sans courant issu du réseau. Il existe deux possibilités:

- **refroidissement actif:** avec des pompes à chaleur air/eau, le compresseur est en service et alimenté par le courant solaire
- **refroidissement passif:** avec des pompes à chaleur sol/eau (géothermiques), le compresseur est hors service, le refroidissement est assuré uniquement à l'aide d'une pompe de circulation

Pompe à chaleur modulante

Les dispositifs dits «modulants» ou encore «pompes à chaleur inverter» sont équipés d'une régulation de vitesse électronique du compresseur. La puissance de chauffe est adaptée aux besoins effectifs, respectivement à l'offre en énergie solaire. Il en résulte un nombre de cycles ON-OFF plus faible, des durées de fonctionnement plus longues et une part de consommation propre tendentiellement plus élevée. Les pompes à chaleur modulantes sont un peu plus chères, mais l'investissement supplémentaire s'amortit généralement rapidement.

3.2 ONDULEURS SOLAIRES

Presque toutes les nouvelles gammes d'onduleurs solaires sont équipées d'une sortie relais permettant de commander un appareil ménager (p. ex. un lave-linge).

Il est possible de définir une puissance de mise en service et une puissance de mise hors service (p. ex. pour une puissance solaire de 2500 W → Marche/pour une puissance solaire de 2000 W → Arrêt); ou de définir que si la puissance d'enclenchement est dépassée pendant x minutes, le signal de commande est maintenu pendant y minutes (p. ex. temporisation de 2 minutes au-dessus de 2000 W, puis activation pendant 60 minutes).

Si un équipement n'a aucune entrée commandable, un dispositif de commutation installé en amont peut interrompre l'alimentation électrique comme l'illustre la figure 11: l'onduleur active un commutateur qui coupe l'alimentation électrique des appareils en aval. Un interrupteur manuel situé à droite de ce commutateur permet d'activer manuellement les appareils.

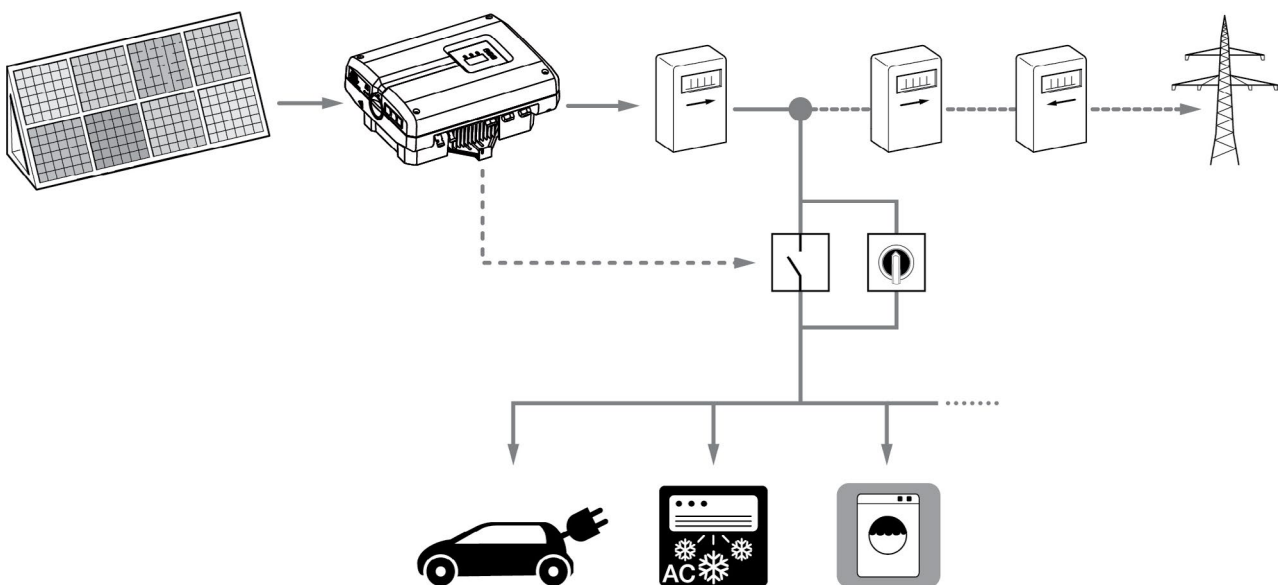


Figure 11: Dispositif de commutation placé en amont (source: Kostal).

Les lave-linge et lave-vaisselle poursuivent leur programme après une coupure de courant; c'est généralement prévu ainsi, en raison des périodes de coupure de midi, mais il est impératif de le vérifier au cas par cas. Le programme doit toutefois être choisi d'avance. Comme la programmation peut se faire en tout temps, par exemple le matin avant le démarrage de l'installation PV, un interrupteur manuel de dérivation est utile: interrupteur de dérivation sur position marche, programmation de l'appareil, interrupteur de dérivation sur position arrêt, attente du démarrage de l'installation PV.

Avantage: Pas de coût supplémentaire en dehors du câblage.




Inconvénient: Ce dispositif simple de commutation n'est pas doté d'intelligence permettant d'empêcher la commutation lorsque la consommation est déjà importante (p.ex. lors de la cuisson) et ainsi le soutirage d'électricité issue du réseau (cela peut être évité grâce à l'utilisation d'un compteur de puissance supplémentaire, élément disponible pour un grand nombre d'onduleurs).

Le tableau 2 présente une sélection non exhaustive d'onduleurs et leurs principales caractéristiques (situation: automne 2017). À noter qu'il s'agit des données des fabricants.

Onduleurs

Produit	De Piko 3.0 jusqu'à Piko 20	Symo / Galvo / Primo	Sunny Boy / Tripower
Fournisseur	KOSTAL Solar Electric GmbH	Fronius International GmbH	SMA Solar Technology AG
Lien	www.kostal-solar-electric.com	www.fronius.com	www.sma.de
Domaine d'optimisation	Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/chaueur
Relais interne	1	1	1
Communication	2x LAN, RS-485, S0, Piko-Sensor, 4x analogique	Modbus RTU et TCP, RS-485, S0, interface courant multifonctions, 6xDigital-In, 4xDigital-Out (interface partagée, ensemble-10xIO), WLAN, LAN, 2 X RS-422 pour Fronius Solar-Net	RS-485, Bluetooth, Speedwire, Modbus
Logique de mise en marche	Puissance de mise en marche, dépassement stable	Puissance de mise en marche, dépassement stable	Puissance de mise en marche, dépassement stable
Logique d'arrêt	Puissance d'arrêt ou durée de fonctionnement	Puissance d'arrêt ou durée de fonctionnement	Durée de fonctionnement
Remarques	Combiné avec un capteur PIKO BA (sauf pour le Piko 3.0), un démarrage en fonction de la puissance d'injection au lieu de la puissance de l'onduleur est possible.	Avec un compteur de courant externe (bus S0), prise en compte de la puissance d'injection. Contact numérique 12V, échange de données direct avec le miniserver Loxone, extension possible avec le Smart Meter Fronius.	Relais interne («relais multi-fonction»), entre autres configurable comme relais de transmission d'erreurs.
			

Tableau 2: Onduleurs avec système intégré de gestion de la consommation propre.

Blueplanet / Powador	SolarEdge onduleurs	Fronius Symo Hybrid
KACO new energy GmbH	SolarEdge Technologies Inc.	Fronius International GmbH
www.kaco-newenergy.com	www.solaredge.com	www.fronius.com
Appareils ménagers/chaaleur	Appareils ménagers/chaaleur	Appareils ménagers/chaaleur
1	0	1
Ethernet, USB, RS-485/Modbus, en option: S0	Ethernet, RS-485, en option: ZigBee, WLAN	Modbus TCP, RS-485, S0, interface courant multifonctions, 6xDigital-In, 4xDigital-Out (interface partagée, ensemble 10xIO), WLAN, LAN
Puissance de mise en marche, dépassement stable	Puissance de mise en marche, selon un programme	Puissance de mise en marche, dépasse- ment stable, réglage en fonction d'une variable de consigne
Puissance d'arrêt ou durée de fonctionnement	Durée de fonctionnement minimale, durée définie (x h) durant laquelle l'appareil doit fonctionner.	Puissance d'arrêt, durée de fonctionnement, réglage en fonction d'une variable de consigne.
Pilotage de la consommation propre («Priwatt»), pour tous les appareils jusqu'à 50 kW, relais contact configu- rable comme «Priwatt» ou comme relais de transmission d'erreurs.	Via ZigBee: prises télécommandées, régulateur de résistances électriques, contact de commutation, relais AC avec compteur, 1 module ZigBee peut piloter max. 10 appareils, certaines optimisations nécessitent une connexion au compteur optionnel SolarEdge-Modbus.	Alimentation électrique de secours possible (mono- et triphasée ou mixte), système de gestion de batterie intégré (couplage DC), système de gestion de l'énergie, fonctionnement «en marche arrière» possible (l'onduleur reçoit l'énergie du réseau de courant alternatif et charge la batterie de cette manière). Remarques: la puissance de sortie AC est inférieure à la puissance d'entrée DC, le «réglage en fonction d'une variable de consigne» nécessite le Smart Meter Fronius.
		

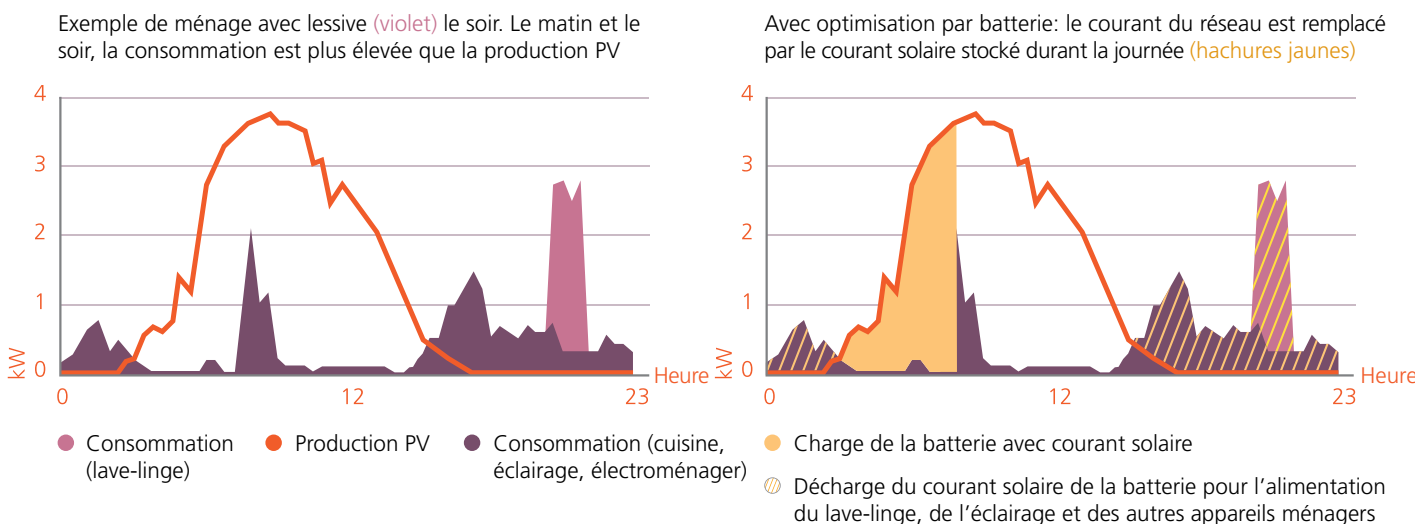


Figure 12: Augmentation de la consommation propre grâce à l'utilisation d'une batterie. Remarque: le graphique montre le tracé d'une charge de batterie d'un cas particulier. En pratique, les batteries peuvent également être programmées pour une charge optimisée en fonction du réseau (c'est-à-dire distribuée tout au long de la journée) (source: VESE).

3.3 RACCORDEMENT D'UN STOCKAGE PAR BATTERIE

La part de consommation propre du courant produit peut être augmentée de manière significative grâce à un système de stockage par batterie, comme l'illustre la figure 12. Jusqu'à présent, le stockage du courant solaire était très coûteux. En raison de la diminution du prix des batteries, des tarifs de rachat en baisse et de l'augmentation des prix de l'électricité à l'échelle régionale, le stockage devient cependant économiquement intéressant.

Diverses technologies de batteries sont présentes sur le marché, dans lequel la batterie lithium-ions représente près de 80% des nouvelles installations. Les batteries au plomb, sodium-soufre, nickel-cadmium et redox-vanadium sont également utilisées.

QUELS SONT LES PARAMÈTRES À PRENDRE EN COMPTE LORS D'UN STOCKAGE PAR BATTERIE?

La durée de vie, le nombre de cycles, la capacité de stockage utilisable et la densité énergétique

Un cycle correspond à la décharge d'une batterie jusqu'à une profondeur de décharge définie (en % de la capacité de stockage) et à la nouvelle charge consécutive jusqu'à une tension de charge définie.

La durée de vie d'une batterie peut être indiquée en nombre d'années calendaires, mais également en nombre de cycles. La durée de vie calendaire d'une batterie définit sa durabilité et est une indication théorique. Si une batterie n'est ni chargée, ni déchargée, elle possèdera encore 80% de sa capacité nominale initiale à l'expiration de la durée de vie calendaire. La durée de vie calendaire dépend de la température et de l'état de charge. Pour les batteries au lithium, elle est de 10 à 20 ans, alors qu'elle est de 5 à 10 ans pour les batteries au plomb.

Coûts d'investissement et de stockage

Technologie	Durée de vie calendaire # années	Durée de vie en # cycles	Coûts d'investisse- ment (batterie seule) CHF / kWh	Coûts de stockage CHF / kWh ⁴
Plomb	5–10	500–2000	200–400	0,17–1,30
Lithium-ions	10–20	4000–6000	800–1600	0,17–0,50

Sécurité

Les batteries au lithium sont inflammables, il faut donc impérativement tenir compte des consignes de sécurité! Il est important de choisir le meilleur emplacement pour la batterie, permettant de réunir les conditions appropriées (température, humidité, etc.).

La température de fonctionnement idéale des batteries au lithium se situe entre 20°C et 40°C, celles des batteries au plomb entre 10°C et 30°C. Pour des raisons de sécurité, les batteries ne doivent pas être installées dans des lieux publics (p. ex. au niveau de l'entrée de la maison d'habitation).

La durée de vie en nombre de cycles indiquée par les fabricants pour chaque batterie est plus significative. Une fois que le nombre de cycles a été atteint, la batterie dispose encore de 80% de sa capacité nominale et peut encore être utilisée. Les batteries au lithium montrent peu d'usure et peuvent atteindre 4000 à 6000 cycles, certaines technologies pouvant atteindre plus de 6000 cycles. En revanche, le nombre de cycles des batteries au plomb varie de 500 à 2000, les derniers modèles atteignant jusqu'à 4000 cycles. Le nombre de cycles dépend non seulement de la technologie, mais également de la qualité de la batterie et du mode de fonctionnement.

Une batterie ne devrait pas être déchargée à 100%, car ce que l'on nomme la décharge profonde dégrade la batterie. Voilà pourquoi on parle de la capacité de stockage utilisable d'une batterie. Dans le cas des batteries au lithium, cette valeur varie de 80 à 90%, les batteries au plomb sont quant à elles plus sensibles et ne doivent pas être déchargées au-delà de 50%.

La densité énergétique d'une batterie fournit une indication sur la quantité d'énergie qui peut être stockée par unité de masse. En fonction de la technologie, elle varie de 80 à 250 Wh/kg dans le cas des batteries au lithium et de 30 à 50 Wh/kg pour celles au plomb. Plus ce chiffre est élevé, plus la batterie est adaptée aux voitures électriques. Une haute densité énergétique est par contre moins primordiale pour des applications stationnaires.

Vous trouverez un aperçu des normes de sécurité relatives aux batteries lithium, ainsi que des questions importantes à se poser lors d'un achat sur: www.vese.ch/stockagebatterie

⁴ Méthode de calcul: (prix par kWh stocké = coûts d'investissement) / (capacité de stockage utilisable de la batterie × nombre total de cycles × efficacité de charge)

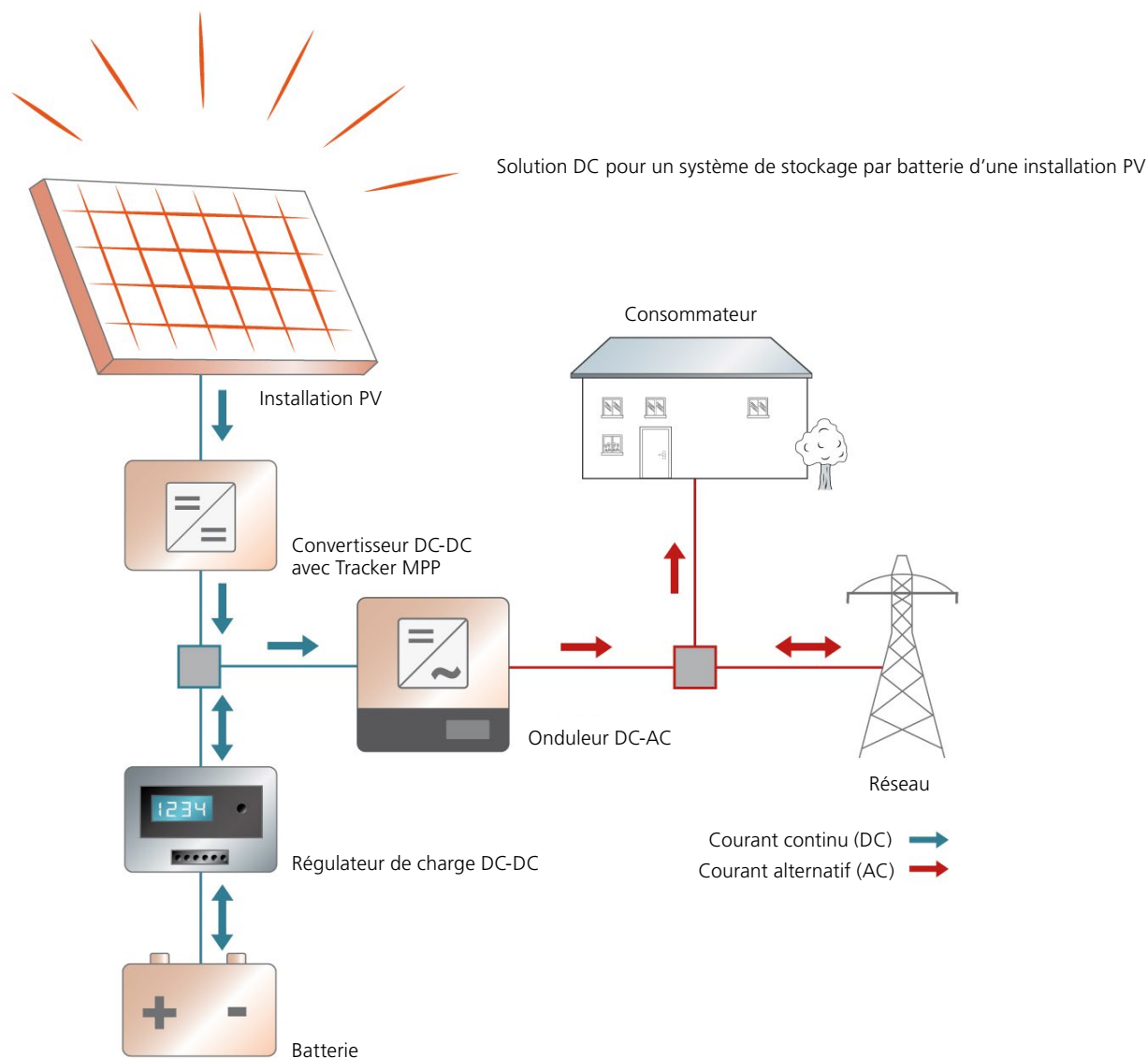


Figure 13: Stockage par batterie avec couplage DC (source: VESE).

Couplage DC vs. Couplage AC

Lors du choix du système de stockage, en dehors de la technologie elle-même, il est important de relever deux degrés de liberté supplémentaires dans la topologie du système. Le premier concerne le point de connexion du stockage avec le réseau de la maison, qui peut être couplé au courant continu (DC) ou au courant alternatif (AC). Dans le cas du couplage AC, le deuxième degré de liberté porte sur le flux de courant, qui peut être monophasé ou triphasé.

Chacun des concepts comporte des avantages et des inconvénients qui leur sont propres (voir sur ce point le tableau ci-après). Si une installation photovoltaïque est déjà existante et qu'elle doit être complétée par une batterie, le couplage AC est généralement privilégié. Dans le cas d'une nouvelle installation, la tendance va plutôt au couplage DC.

Solution AC pour un système de stockage par batterie d'une installation PV

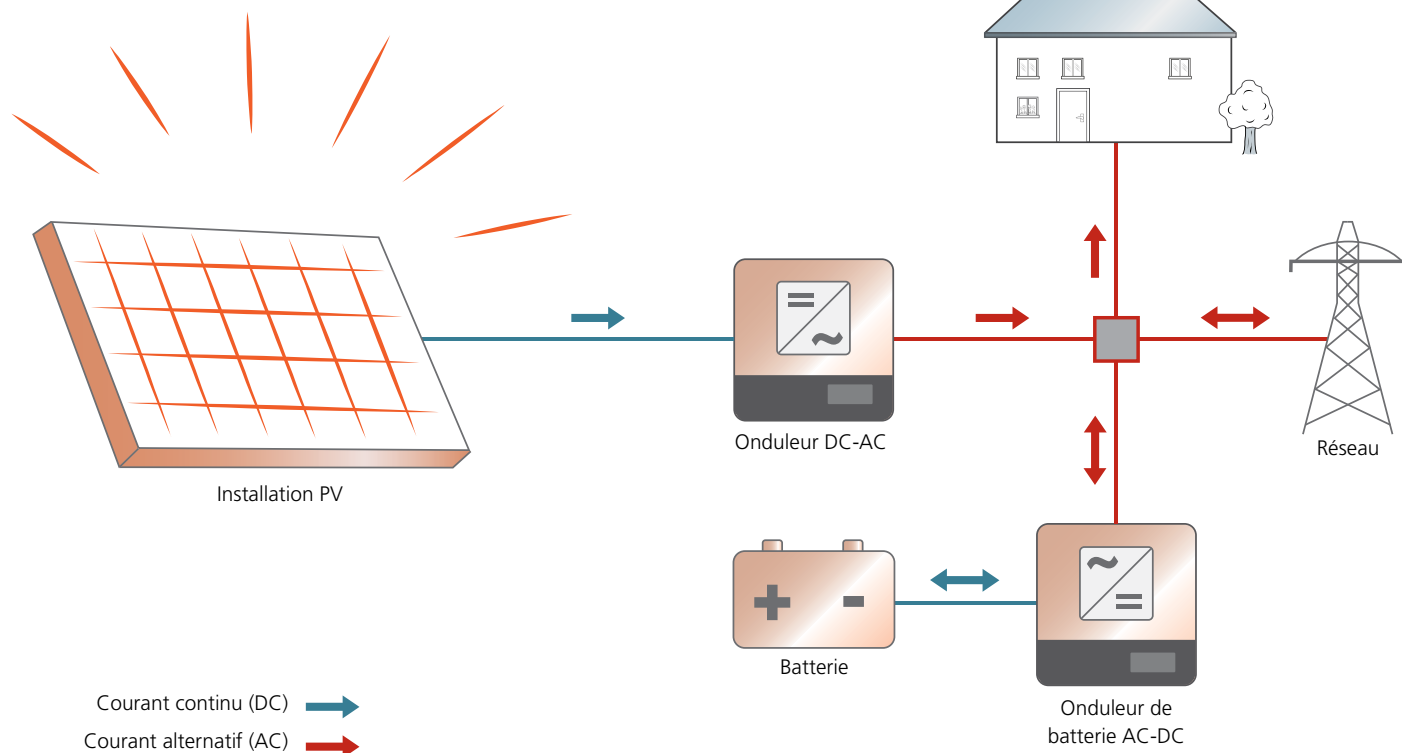


Figure 14: Stockage par batterie avec couplage AC (source: VESE).

Un grand nombre de batteries n'injecte le courant que sur une phase, tout comme les petites installations PV. Pour augmenter la consommation propre, le système de stockage doit dans ce cas contrôler le courant total de toutes les phases et être équipé d'un compteur d'équilibrage.

Les figures 13 et 14 montrent comment un système de stockage couplé en DC, resp. en AC, peut être connecté dans un ménage.

	Couplage DC	Couplage AC
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Solution compacte constituée d'un onduleur, d'un régulateur de charge et d'une batterie • Le courant solaire n'a besoin que d'un ajustement de la tension avant le stockage, par conséquent le rendement a tendance à être un peu plus élevé • Dans bien des cas, moins cher pour de nouvelles installations, un seul appareil 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de choisir l'onduleur indépendamment de la batterie • Idéal pour les installations PV déjà existantes • Flexible dans le cas d'un rééquipement • Plus grande flexibilité de la capacité de la batterie • L'onduleur solaire et l'onduleur de la batterie peuvent être combinés librement (même venant de différents fabricants) • La batterie peut également être alimentée à partir du réseau
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Dans la plupart des cas, la batterie ne peut pas être alimentée à partir du réseau • Tous les composants doivent être adaptés les uns aux autres de manière optimale (même l'installation PV à la batterie) • Extension ultérieure complexe 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance à avoir un rendement légèrement inférieur que pour les systèmes DC • Tendance à un coût plus élevé et une plus grande complexité à cause de l'utilisation de deux appareils séparés: l'onduleur solaire et l'onduleur de la batterie

	Monophasé	Triphasé
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Techniquement le plus simple et le meilleur marché 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation homogène sur toutes les phases • Possibilité d'avoir une plus grande puissance d'injection et de charge que celle assurée par l'alimentation monophasée
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Peut entraîner des asymétries dans le courant du réseau • Fonctionnement en îlotage possible uniquement en monophasé⁵ (selon le type d'appareil, barrettes de connexion de phases possibles en îlotage), puissance d'injection et de charge de la batterie limitées • Le raccordement n'est pas autorisé partout (clarifier la question au préalable avec le fournisseur d'énergie) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre technique plus importante et coût par conséquent plus élevé • Dans le cas du fonctionnement en îlotage, seuls les consommateurs de courant triphasé peuvent être éventuellement alimentés («couplage triangle»). Pour que les consommateurs monophasés et avec couplage en étoile puissent également fonctionner, un onduleur de batterie en raccordement «technique quatre fils» est nécessaire • Le rendement a tendance à être inférieur à celui obtenu en monophasé (en raison de la tension plus élevée du circuit intermédiaire)

Tableau 3: Avantages et inconvénients des différents couplages de batterie.

⁵ Un fonctionnement en îlotage nécessite des modifications au niveau de l'installation de la maison.

L'îlotage: le terme «îlotage» ou également «système Backup» désigne la capacité d'un onduleur à délivrer de l'électricité même en cas de panne du réseau public (normalement, pour des raisons de sécurité, les onduleurs déclenchent dès qu'il y a une coupure du réseau public). Pour le propriétaire d'une installation PV, cela signifie qu'il peut disposer de courant solaire même en cas de

défaillance du réseau («panne réseau»). Dans ce cas, la maison est déconnectée du réseau public par un interrupteur de puissance, d'où la notion d'«îlot». Tous les onduleurs, resp. toutes les commandes batterie, ne peuvent pas être «isolées». Toute batterie peut être couplée en DC ou en AC.

Quels paramètres doivent être pris en compte lors du choix de la batterie?

Il y actuellement des centaines de modèles de batteries sur le marché et de nouveaux modèles s'ajoutent chaque mois. En conséquence, il est difficile de se décider quant au choix et une recommandation peut rapidement devenir obsolète. Les tableaux 4 et 5 présentent et confrontent les modèles les plus courants en Suisse et leurs caractéristiques (situation à l'automne 2017). À noter qu'il s'agit des données des fabricants.

Pour le choix de la taille du stockage («nombre de kWh»), il est essentiel de savoir quels consommateurs doivent être raccordés au stockage. Idéalement, on procède à une mesure de la courbe de charge sur plusieurs semaines pour enregistrer les cycles récurrents, ainsi que la consommation électrique pendant la journée respectivement le matin/soir. Ces mesures de la courbe de charge peuvent être réalisées par l'installateur, mais un auto-enregistrement est également possible (p. ex. avec des appareils comme «Smappee» (www.smappee.com)). Au cours de la mesure, il convient de prendre déjà les dispositions permettant d'optimiser la consommation propre (voir plus haut dans le manuel, p. ex. laisser tourner le lave-vaisselle lors d'une période d'ensoleillement).

La batterie devrait être dimensionnée de telle sorte qu'elle puisse être déchargée en grande partie au cours de la soirée et du matin suivant (pour être prête à recevoir à nouveau du courant solaire). La taille maximale est également conditionnée par la puissance du champ PV: lors d'une journée bien ensoleillée, l'installation devrait être en mesure de charger complètement la batterie, après déduction de la consommation propre simultanée.

À titre indicatif, le retour d'expérience donne les valeurs suivantes:

- (a) capacité de stockage utilisable = 0,1 à 0,15% de la consommation annuelle du ménage en électricité.
- (b) pour des installations PV supérieures à 5 kWp sur maisons individuelles: capacité de stockage utilisable = $1,5 \times$ la puissance du champ PV
- La valeur de référence est alors la plus petite valeur de (a) et (b)

Pour une maison individuelle avec une consommation annuelle de 4500 kWh et un champ PV de 5 kWp, cela correspondrait par exemple à une capacité de batterie d'environ 4,5 à 7 kWh.

Remarque: ces règles de dimensionnement sont indicatives. Pour un dimensionnement précis, il est impératif de consulter un professionnel du solaire.

Systèmes de stockage d'énergie (avec onduleur intégré)





Produit	Leclanché Powerpack	Varta Element	PIKO BA System Li	sonnenBatterie
Fournisseur	Leclanché SA	VARTA Storage GmbH	KOSTAL Solar Electric GmbH	sonnen GmbH
Lien	www.leclanche.com	www.varta-storage.com	www.kostal-solar-electric.com	www.sonnenbatterie.de
Technologie	Li (G-NMC)	Li (NMC)	Li (LiFePO4)	Li (LiFePO4)
Capacité énergétique	6,7–20,1 kWh	3,3–13,0 kWh	3,6–9,6 kWh	4–16 kWh
Cycles	> 5000	4000	6000	> 10'000
Profondeur de décharge maximale	80%	90%	90%	100%
Raccordement	Variantes monophasées ou triphasées, un ou deux Tracker MPP	Triphasé	Triphasé, 2 Tracker MPP	Triphasé
Couplage (DC, AC)	DC	AC	DC	AC
Interfaces	CAN	XML, Modbus/TCP	RS-485	Modbus, Ethernet
Extension	Jusqu'à 3 modules en l'espace d'un an	Jusqu'à 5 × 13 kWh, aucune limite dans le temps	Dans un délai de 18 mois suivant l'achat, maximum 9,6 kWh	Extension ultérieure par paliers de 2 kWh possible, disponible en version DC également, possibilité de participer à la «Sonnen-Community», en coopération avec Swisscom Energy Solutions en Suisse
Prix	Dépendant de la configuration			
				

Tableau 4: Batteries et systèmes de stockage avec onduleur intégré pour les ménages et les PME.

Fronius Solar Battery	SENEC.HOME LI	S10 E / S10 E Blackline	Sunny Boy 3600 / 5000 Smart Energy
Fronius International GmbH	Deutsche Energieversorgung GmbH	E3/DC GmbH	SMA Solar Technology AG
www.fronius.com	www.senec-ies.com	www.e3dc.com	www.sma.de
Li (LiFePO4)	Li (Lithium-Manganèse-Cobalt)	Li (NMC)	Li-ion
4,5 – 12,0 kWh	2,5 – 10,0 kWh	4,6 – 13,8 kWh	2 kWh
8000	12'000 cycles sur la durée de garantie	Illimité sur la durée de garantie (10 ans de garantie du système)	> 4100
80%	100% (de la capacité utilisable)	92% + 8% de la réserve propre, 100% + 8% de la réserve propre	100% (de la capacité utilisable)
Pour connexion à Fronius Symo Hybrid	Monophasé avec compensation triphasée	Triphasé, 2 Tracker MPP	Monophasé, 2 Tracker MPP
DC	AC, charge triphasée, décharge monophasée	AC ou DC	DC
Modbus RTU	LAN, RS-485	RS-232, USB, Ethernet, CAN	LAN
Par paliers de 1,5 kWh jusqu'à max. 12 kWh, possible jusqu'à 30 mois après livraison des modules	Deux modules en l'espace d'un an, à l'avenir 6 modules en cascade possible	Jusqu'à 6 modules (fonctionnement en parallèle de plusieurs systèmes possible)	Pas possible



Batteries (sans onduleur)




Produit	BYD B-Box	MyReserve Matrix	LG RESU 3,3–10
Fournisseur	FENECON GmbH	SOLARWATT GmbH	LG Chem
Lien	www.fenecon.de	www.solarwatt.de	www.lgesspartner.com
Technologie	Li (LiFePO4)	Li-ion	Lithium
Capacité énergétique	2,56–10,24 kWh (également version commerciale avec 40 kWh)	2,2 kWh/4,4 kWh/6,6 kWh/8,8 kWh/11 kWh	3,3–9,8 kWh
Cycles	> 6000	Illimité sur la durée de garantie	Non spécifié ⁶
Profondeur de décharge maximale	80%	100% (de la capacité utilisable)	90%
Raccordement	Dépendant de l'onduleur	Entre le module photovoltaïque et l'onduleur compatible	Dépendant de l'onduleur
Couplage (DC, AC)	DC	DC, courbe de production photovoltaïque simulée	DC
Interfaces	RS-485, CAN	CAN	CAN
Extension	Jusqu'à 10,24 kWh par B-Box, jusqu'à 8 B-Box en parallèle possibles	Extension possible jusqu'à 11 kWh pour chaque commande MyReserve. Extension jusqu'à 22 kWh en fonctionnement parallèle.	Maximum 2 batteries au choix (avec kit d'extension RESU Plus)
Prix	En fonction du type, les prix se situent entre CHF 500.– et CHF 1000.– par kWh (sans les coûts d'installation)		
			

Tableau 5: Batteries et systèmes de stockage sans onduleur intégré pour les ménages et les PME.

⁶ LG Chem ne mentionne plus le nombre de cycles, mais le débit d'énergie (spécifié dans les conditions de garantie).

3.4 APPAREILS DE COMMANDE POUR L'OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION PROPRE

De nombreux fabricants proposent des appareils spéciaux pour l'optimisation de la consommation propre. En termes d'optimisation, ils se différencient par leurs standards de communication, la souplesse de programmation, la prise en compte des données météo ou des tarifs de l'électricité. Le système de gestion de la consommation propre de Smart Energy Control laisse par exemple à l'opérateur le soin de décider si les appareils doivent fonctionner pour une optimisation en termes de coût, le cas échéant également la nuit en bas tarif, ou pour une optimisation axée uniquement sur la consommation propre. Si les prévisions météo sont incluses, il est par exemple possible de réduire la quantité de courant réinjectée dans le réseau: en cas de prévision ensoleillée, une batterie ou une voiture électrique ne sera chargée qu'en milieu de journée, alors qu'elle le sera dès le matin en cas de pluie annoncée à court terme.

Avantage: La consommation et la production d'énergie sont traitées de manière illustrative, large éventail d'options de programmation permettant d'optimiser de manière ciblée le fonctionnement des appareils.

Inconvénient: Programmation incluse, toutes les variantes entraînent des coûts dépassant 1000 Francs, qui ne seront pas forcément amortis par l'augmentation de la consommation propre.

Le tableau 6 présente et confronte les systèmes les plus courants en Suisse et leurs caractéristiques (situation à l'automne 2017). À noter qu'il s'agit des données des fabricants.

3.5 INTÉGRATION DANS UNE «SMART HOME»

Les systèmes de domotique intelligents vont bien au-delà de l'optimisation de la consommation propre du courant solaire. Via la communication radio ou par courant porteur, toute la technique du bâtiment peut être interconnectée, du chauffage au système de verrouillage, en passant par le multimédia.

L'intégration du photovoltaïque est un petit complément qui n'est toutefois pas encore mis en œuvre dans tous les systèmes. De telles approches Smart Home ne se limitent pas au signal d'enclenchement de la pompe à chaleur lorsque du courant solaire est disponible. Elles assurent une prise en charge plus complète de la gestion du confort, avec un enclenchement des appareils en fonction de la température de l'eau chaude ou de la température ambiante, tout en tenant compte des prévisions météo et des tarifs de l'électricité.

Le tableau 7 présente et confronte les systèmes les plus courants en Suisse et leurs caractéristiques (situation à l'automne 2017). À noter qu'il s'agit des données des fabricants.

Appareils de commande pour l'optimisation de la consommation propre

Appareils	Solar-Log 300 / 1200 und 2000	Powerdog S / M / L	Sunny Home Manager 2.0
Fournisseur	Solare Datensysteme GmbH	Ecodata GmbH	SMA Solar Technology AG
Lien	www.solar-log.ch	www.power-dog.eu	www.sma.de
Domaine d'optimisation	Appareils ménagers/chaueur/auto	Appareils ménagers/chaueur/auto	Appareils ménagers/chaueur/auto
Relais internes	1 (seulement pour 1200/2000)	1 (S/M/L/LPR)	0
Acteurs externes	Relais, prises télécommandées (Belkin et Gude), boîtier relais (8 relais, convient pour SG Ready), station-relais, consommateurs intelligents Eau chaude: EGO Smart Heater, résistances électriques my-PV. Pompes à chaleur: Stiebel Eltron, CTA, iDM et Hoval via le protocole duplex, les autres via SG Ready Batteries: Varta, Fronius et Sonnen (d'autres modèles sont prévus) Stations de recharge: KEBA (d'autres modèles sont prévus)	Grande diversité, librement programmable, entre autres sorties numériques, sorties analogiques, sorties d'impulsions, stations-relais, prises télécommandées, prises WLAN, diverses stations de recharge, résistances électriques réglables en continu avec certification CEM, MyPV, Solarinvert. Batteries: SMA, Varta, Fronius, Studer, LG, Mercedes entre autres. Gestion des priorités (p.ex. auto-stockage-eau chaude)	Prises WLAN SP-2101W, appareils compatibles EEBUS, pompes à chaleur compatibles de Stiebel Eltron, stations de recharge pour véhicules électriques de Mennekes, appareils compatibles SEMP
Communication	LAN, RS-485/RS-422, USB, SO, PM+ ⁷ , CAN (seulement pour 2000)	USB, 1-fil, RS-485, Can Bus Modul enfichable, bus M, entrées numériques et analogiques, LAN	LAN
Affichage	Sur l'appareil, application mobile, portail Web	Sur l'appareil, application mobile, portail Web, télémaintenance	Application mobile, portail Web
Programmation	Ordinateur portable, portail Web	Affichage, ordinateur portable	Application mobile, portail Web
Prévision météo	Intégré (visualisation, pour les pompes à chaleur iDM), prévu pour les commandes	Au stade de la planification	Oui
Optimisation du tarif	Prévu	Oui	Oui
Nombre d'appareils commandables	10	50	24 appareils, dont 12 équipés d'une gestion active de l'énergie
Particularités	Inclus surveillance complète de l'installation PV > 100 fabricants d'onduleurs, portail Web gratuit jusqu'à 30 kWp, électromobilité intégrée, application mobile Enerest en tant que système modulaire concentré sur le Smart Energy. PM+ pour la gestion du courant injecté (réglage de la puissance active et réactive).	Presque tous les onduleurs supportés, programmation flexible, large assortiment de capteurs (entre autres température de l'eau/ température ambiante/qualité de l'air) et d'acteurs, intégration de résistances électriques réglable en continu avec calibrage des températures, protection anti-légionelle intelligente, temps de chauffe, protection anti-gel, communication avec les pompes à chaleur par réseau, perception tarif haut/bas, gestion de différentes voitures électriques à une borne de recharge, compteur virtuel de consommation propre intégré, p.ex. dans les immeubles collectifs ou maisons locatives.	Gestion de l'énergie basée sur les prévisions pour utilisation avec les onduleurs et les systèmes de batterie SMA. Mesure triphasée intégrée (jusqu'à 63 A en direct > 63 A via le transformateur de courant), installé directement au niveau du point de raccordement réseau.
Prix indicatif des appareils	Solar-Log 300: à partir de CHF 300.– Solar-Log 1200: à partir de CHF 500.– Solar-Log 2000: à partir de CHF 900.–	À partir de CHF 500.–	Pas d'informations
			

Tableau 6: Appareils de commande courants pour l'optimisation de la consommation propre.

Elios4You Smart	Energie Manager	Smartfox REG	Smart-me
4-noks by Astrel Group srl	Solarwatt GmbH	DAfi GmbH	smart-me AG
www.4-noks.it	www.solarwatt.de	www.smartfox.at	www.smart-me.com
Appareils ménagers/ chaleur	Appareils ménagers/chaleur	Appareils ménagers/ chaleur/auto	Appareils ménagers/ chaleur/auto
1	0	4	1 (prise et compteur monophasé), 3 (compteur triphasé)
Prises et commutateurs télécom- mandés ZigBee, PowerReducer (pour chauffe-eau électrique), modulation linéaire de la puissance 0–3 kW	Commutateur Plugwise®, pompes à chaleur SG-Ready (via un module complémentaire), ZWave via Fibaro HomeCenter	Smartfox carcharger Smartfox Booster 9 kW Régulateurs de puissance 3,5 et 6 kW Smartfox Meter Pompes à chaleur IDM Sortie analogique et sortie numérique	Sorties libres de potentiel, interface SG-Ready
Wifi, ZigBee	LAN, RS-485, 2xS0, CAN, USB, RS-232	LAN	WLAN, S0 (S0 non disponible pour la prise)
Application mobile, portail Web	Application mobile, portail Web	Sur l'appareil, application mobile, portail Web	Application mobile, portail Web
Application mobile	USB/ordinateur portable, portail Web	Ordinateur portable	Application mobile, portail Web
Non	Oui	Non	Prévu
Oui	Prévu	Non	Oui
4x par transmission radio 1x Power Reducer 0-10V 1x sortie relais interne	6x par extension, en plus de Plugwise et ZWave	4 appareils numériques, 1 analogique, 2 appareils Ethernet (auto, pompe)	Illimité (tous les appareils smart- me peuvent être combinés les uns avec les autres)
Pas de communication de l'onduleur, mesure via le transformateur de courant pour les installations PV en monophasé (max 6 kWp) ou en triphasé (max 100 kWp), mesure de l'énergie produite et réinjectée.	Montage sur rail, communication directe avec les onduleurs de SMA, Kostal, Steca, Fronius, SolarEdge, Kaco, pour les autres via S0, stockage: SOLARWATT MyReserve, consommateurs: EGO SmartHeater, Mennekes Ladebox, MyStrom.	Monitoring de l'énergie, recharge des véhicules électriques avec le courant PV excédentaire, raccorde- ment direct avec le transformateur de courant (transformateur triphasé 80 A inclus dans la livraison).	Mesure intégrée du courant, facturation automatique du coût de l'énergie avec smart-me Billing, Connexion avec d'autres appareils supportant le protocole IP (p.ex. onduleurs) avec l'interface API ouverte smart-me All IP.
Monophasé: à partir de CHF 480.– Triphasé: à partir de CHF 610.–	À partir de CHF 500.–	À partir de CHF 800.–	Prise: à partir de CHF 110.–, compteur monophasé: à partir de CHF 195.–, compteur triphasé: à partir de CHF 298.–
			

Systèmes Smart Home






Appareils	Miniserver / Miniserver GO	Eigenverbrauchsmanager
Fournisseur	Loxone Electronics GmbH	Smart Energy Control GmbH
Lien	www.loxone.com	www.smart-energy-control.ch
Domaine d'optimisation	Appareils ménagers/chauffage/auto	Appareils ménagers/chauffage/auto
Relais internes	8 (zéro pour le Miniserver Go)	Ordinateur industriel avec de nombreuses interfaces (notamment USB, Ethernet)
Acteurs externes	Prises télécommandées ou relais dans armoire de distribution électrique	Relais et compteurs d'énergie dans armoire de distribution électrique ou pour installation décentralisée. Nombre illimité, système extensible à volonté (système modulaire). Sonde radio de température, boutons poussoirs, etc. pour une commande décentralisée
Communication	EnOcean, Modbus, LAN, KNX, Loxone-Air, Loxone-Tree (Miniserver GO seulement LAN et AirBase, avec extension aussi EnOcean et Modbus)	Entre autres EnOcean, Modbus, MBus, LAN, WLAN, KNX.
Affichage	Application mobile, site Web	Ecran tactile, application mobile, bureau à distance
Programmation	Ordinateur portable (LAN), application mobile, site Web	Système intégralement configuré et testé, adapté aux besoins des clients.
Prévision météo	Oui	Oui, y compris prévisions de rayonnement solaire avec auto-apprentissage pour l'installation PV
Optimisation du tarif	Oui	Oui, bourse de l'électricité intégrée pour un fonctionnement automatique des appareils en cas de production, de tarifs bas et de besoins importants.
Particularités	Système Smart Home complet, particulièrement adapté aux nouvelles constructions, Loxone Go aussi pour les bâtiments existants, plus de 100 composants logiciel, nouveauté avec «l'autoconfiguration», alerte anticipée d'incendie grâce à des capteurs de température interconnectés.	Gestion thermique active de l'ensemble du bâtiment, intégration de pompes à chaleur de tous fabricants, prévisions de rayonnement solaire avec auto-apprentissage basées sur les informations de l'installation PV, pilotage intelligent de pompes à chaleur avec modulation de puissance (via Modbus), réduction des pics de consommation (gestion de la charge), intégration de systèmes batterie, pilotage variable de stations de recharge pour véhicules électriques, aussi adapté pour les immeubles collectifs et les plus grande superstructures. Prévu: système de facturation pour les immeubles collectifs.
Prix indicatifs des appareils	Miniserver CHF 598.–, version GO CHF 413.–, prises télécommandées CHF 84.–/unité	Monitoring à partir de CHF 1000.–, système complet à partir de CHF 2800.–, y compris service-conseil, Engineering, configuration, tests et optimisation à distance. Divers kits de démarrage, matériel et logiciel extensibles à volonté.
		

Tableau 7: Vue d'ensemble des systèmes Smart Home permettant d'optimiser la consommation propre.

digitalSTROM	FHEM	Gridsense
digitalSTROM AG	Diverse, Open Source	InnoSense AG
www.digitalstrom.com	www.fhem.de	www.gridsense.ch
Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/chaueur/auto	Appareils ménagers/chaueur/auto
0	Divers	0
Relais pour armoire de distribution électrique, relais pour installations, adaptateurs, extensible à volonté	Environ 200 protocoles/types d'appareils différents	Dispositif Retrofit ou GridSense Inside (incorporé directement dans les appareils)
Réseau 230V existant	EnOcean, ZigBee, KNX, WLAN, Bluetooth, LAN, Powerline, ZWave, HomeEasy, 1Wire, Firmata, etc.	Courant porteur
Bureau, application mobile, intégration d'interfaces utilisateur (Thanos, système SVEN Hubware)	Site Web, application mobile, divers modules frontaux	Application mobile
Ordinateur portable, Cloud, application mobile	Script Perl, graphique	Algorithme autodidacte, aucune programmation nécessaire
Oui	Oui	Oui (y compris tarifs de l'électricité)
Oui	Oui	Oui, prévision dynamique à 24 heures
Implémentation PV par différents fournisseurs, p.ex. www.netsolar.ch	Système open source basé sur Perl avec support matériel et système d'exploitation étendu (y compris ordinateur à carte unique), voir aussi www.fhem.de/heimautomatisierung-mit-fhem.pdf und www.haus-automatisierung.com/open-source-loesungen/fhem .	Le système fonctionne sans unité Master, un «Retrofit» ou un «GridSense Inside» nécessaire par appareil devant être commandé
Serveur: CHF 494.–, compteur: CHF 240.–, relais à partir de CHF 94.–, en plus de l'implémentation PV externe.	Logiciel gratuit, fournisseur commercial: www.dhs-computertechnik.de	Environ CHF 340.– par dispositif Retrofit, début de la vente 2 ^e trimestre 2018
		

MÉMENTO

4 AUGMENTATION DE LA CONSOMMATION PROPRE EN CINQ ÉTAPES

ÉTAPE 1: PRODUCTION DE CHALEUR AVEC DU COURANT SOLAIRE

La maison est déjà équipée d'une pompe à chaleur ou d'un chauffe-eau thermodynamique: Assurez-vous que la pompe à chaleur est bien enclenchée via un relais en cas d'excédant de courant solaire. L'installation d'une nouvelle pompe à chaleur ou d'un nouveau chauffe-eau thermodynamique est prévue: Assurez-vous de la présence du label «SG Ready», car ces installations peuvent facilement être intégrées.

ÉTAPE 2: FONCTIONNEMENT DES APPAREILS MÉNAGERS AVEC DU COURANT SOLAIRE

Les appareils doivent être commandés manuellement: faites en sorte que les appareils soient enclenchés quand il y a du soleil. Un système d'affichage indiquant la production de courant solaire et la consommation effective est d'une grande aide (p. ex. Elios4You ou «Smappee»). Les frais d'installation s'élèvent à environ CHF 300.–.

Les appareils doivent être commandés automatiquement: installez un système de gestion de la consommation propre qui commande les appareils en fonction de la prévision météo et de la production de courant solaire. Pour les nouveaux appareils ménagers, prenez garde à la possibilité de commande par l'onduleur ou par le système de gestion de consommation propre. Veillez également à ce que les appareils poursuivent le programme initial après interruption.

ÉTAPE 3: CHARGE DU STOCKAGE PAR BATTERIE AVEC DU COURANT SOLAIRE

Examinez la possibilité d'installer un système de stockage par batterie si la puissance photovoltaïque installée est supérieure à 1 kWp par 1000 kWh de consommation annuelle. Assurez-vous qu'un système d'optimisation de la consommation propre est intégré. Demandez à un professionnel du solaire d'évaluer si l'installation d'un système de stockage est rentable et contrôlez les informations sur la durée de vie et la

sécurité. Si une solution de Backup est souhaitée, vérifiez si la batterie et l'onduleur peuvent fonctionner en îlotage en cas de panne réseau.

ÉTAPE 4: CHARGE D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE AVEC DU COURANT SOLAIRE

Pour des véhicules électriques existants: si une commande automatique n'est pas possible, chargez le véhicule lorsque la production solaire est importante (voir également l'étape 2 concernant les possibilités d'affichage de la production effective de courant solaire).

Pour de nouveaux véhicules électriques: assurez-vous que le véhicule est équipé pour répondre au standard de charge CHAdeMO 1.0. Choisissez une station de charge en mesure de communiquer avec le système de gestion de la consommation propre.

ÉTAPE 5: AJUSTEMENT DE LA PUISSANCE DE L'INSTALLATION PV

Dans le cas où vous n'avez pas encore d'installation photovoltaïque: Dimensionnez la puissance de l'installation pour qu'elle corresponde à la consommation électrique et aux mesures mentionnées ci-dessus, afin d'atteindre une part de consommation propre aussi grande que possible. Tenez compte des futurs gros consommateurs de courant (p. ex. production de chaleur ou voiture électrique) et du stockage éventuel avec des batteries. Examinez la possibilité d'une installation orientée en Est-Ouest: elle offre certes une production un peu plus faible qu'une installation orientée Sud, mais permet d'atteindre une production plus élevée le matin et le soir.

POUR ALLER PLUS LOIN?

- Vous trouverez des instructions pour une mise en œuvre réussie sur www.suisseenergie.ch/consommation-propre et www.suisseenergie.ch/mon-installation-solaire
- D'autres documents sont disponibles sur les sites Web de VESE (www.vese.ch) et de Swissolar (www.swissolar.ch)
- Contactez un pro du solaire: www.prosdusolaire.ch
- Appelez la hotline SuisseEnergie: 0848 444 444
- Devenez membre de VESE – l'association des producteurs d'énergie indépendants, pour échanger des expériences et bénéficier des prestations de services pour les exploitants d'installations photovoltaïques.
www.vese.ch

Le contenu de cette brochure a été élaboré par VESE.
Données: état à l'automne 2017

Toutes les indications mentionnées ont été collectées en se basant sur les meilleures sources de documentation disponibles, aucune garantie ne peut être donnée en ce qui concerne l'exactitude ou le caractère exhaustif des informations, des valeurs et des déclarations communiquées, d'autant plus que ces données sont susceptibles de changer très rapidement.

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.suisseenergie.ch/conseil
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch

Distribution: www.publicationsfederales.admin.ch
Numéro d'article 805.529.F