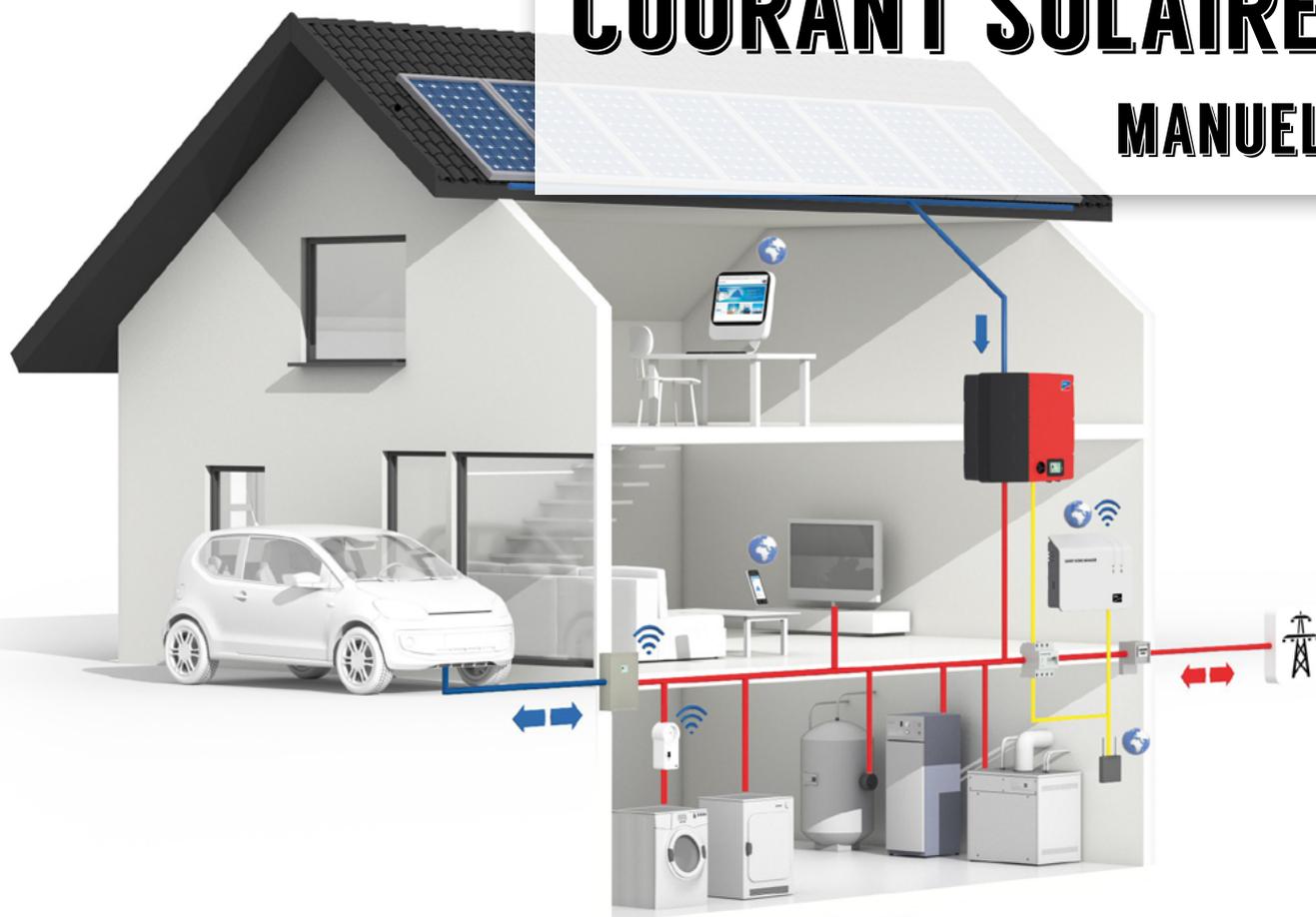


COMMENT OPTIMISER LA CONSOMMATION PROPRE DE COURANT SOLAIRE

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 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	Optimisation avec l'électromobilité.....	9
2.5	Le regroupement pour la consommation propre (RCP).....	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	38
3.5	Intégration dans une «Smart Home».....	38

MÉMENTO

4	Augmentation de la consommation propre en six étapes.....	39
---	---	----

DE QUOI S'AGIT-IL?

1 INTRODUCTION

Depuis avril 2014, la consommation propre de courant électrique photovoltaïque 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. C'est le cas, par exemple, d'un lave-linge que l'on fait tourner lorsque le soleil brille. En 2018 fut par ailleurs introduit le concept de communauté de consommation propre ou «regroupement pour la consommation propre» (RCP) qui ouvre la voie à de nouvelles possibilités pour les producteurs et les consommateurs.

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 le degré de consommation propre individuelle d'un ménage.

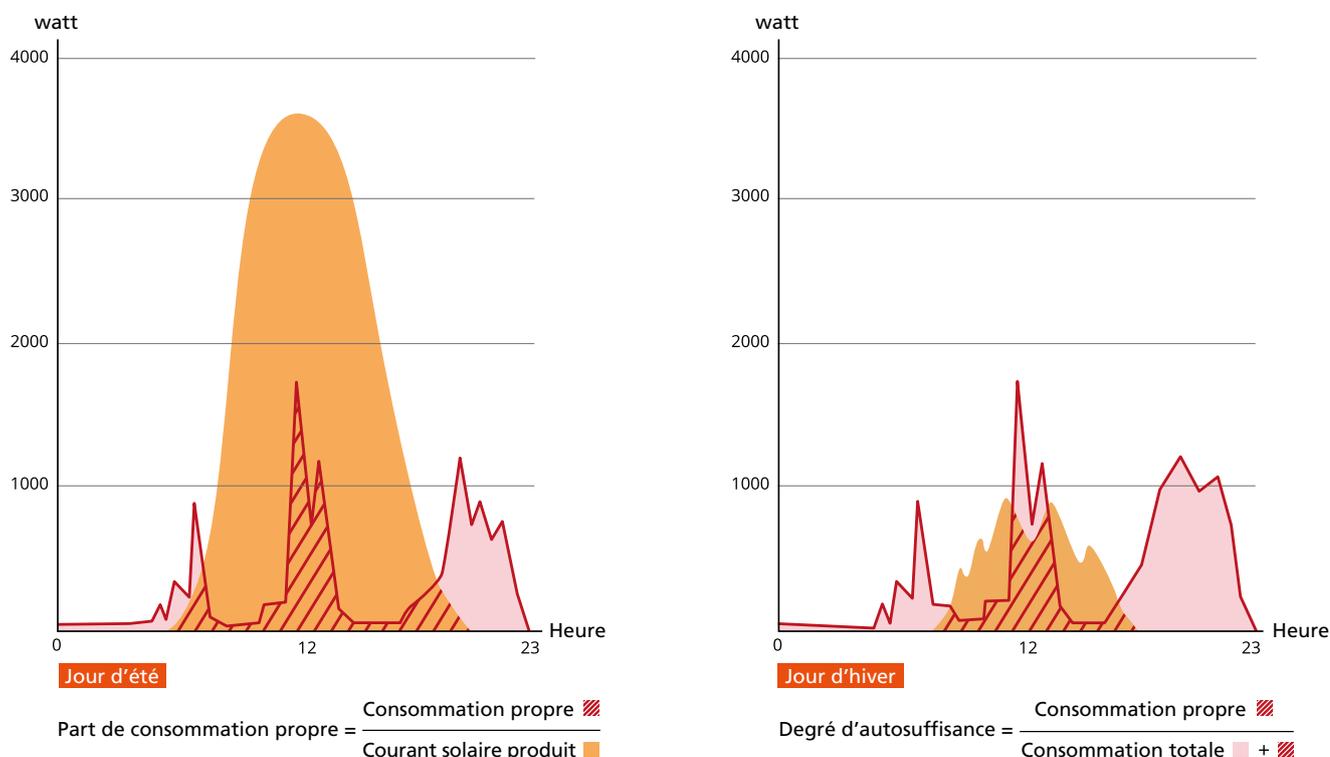


Figure 1: Exemple d'évolution caractéristique de la production de courant solaire quotidienne (source: VESE)

1.2 LA CONSOMMATION PROPRE EST-ELLE RENTABLE?

Compris entre 8 et 16 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 35 cts/kWh). Cependant, en 2020, la rémunération (tarif de rachat) pour le courant solaire non consommé sur place et réinjecté dans le réseau n'est généralement que de 6 à 13 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	6 kWp
Coûts d'investissement	CHF 19'390.–
Rétribution unique (tarifs à partir du 1er avril 2020)	CHF 3040.–
Coûts d'exploitation	150 CHF/an
Durée de vie	25 ans
Production de courant solaire	Env. 6000 kWh/an
Consommation du ménage	4000 kWh/an
Part de la consommation haut tarif et bas tarif	Env. 45% (haut tarif), 55% (bas tarif)
Part de la production de courant solaire en périodes haut tarif et bas tarif	Env. 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 1%. Ainsi, avec par exemple un tarif de rachat de 10 cts/kWh et un prix de l'électricité de 22 cts/kWh, une part de consommation propre de 40 à 60% est nécessaire pour que l'installation ait une rentabilité de 1%¹.

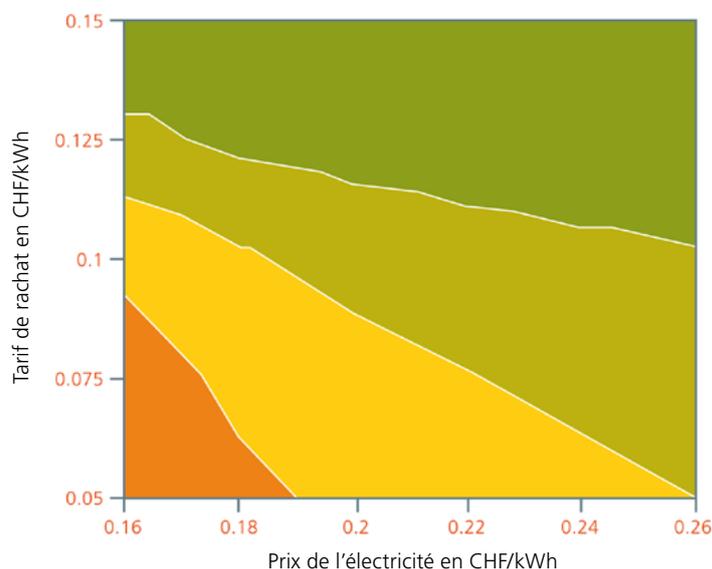


Figure 2: Part de consommation propre nécessaire pour atteindre une rentabilité de 1% avec une installation PV, en fonction du prix de l'électricité et du tarif de rachat (pour les hypothèses voir le tableau 1, source: VESE).

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.strompreis.elcom.admin.ch/Start.aspx?lang=fr et les tarifs de rachat sur www.vese.ch/fr/pvtarif.

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 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 habituellement, mais pendant la journée avec le courant solaire. L'avantage des résistances électriques à commande dynamique 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 résistances peuvent être commandées par une installation solaire normale (raccordée au réseau) au moyen d'un simple dispositif de contrôle des excédents, ou bien les modules solaires sont directement

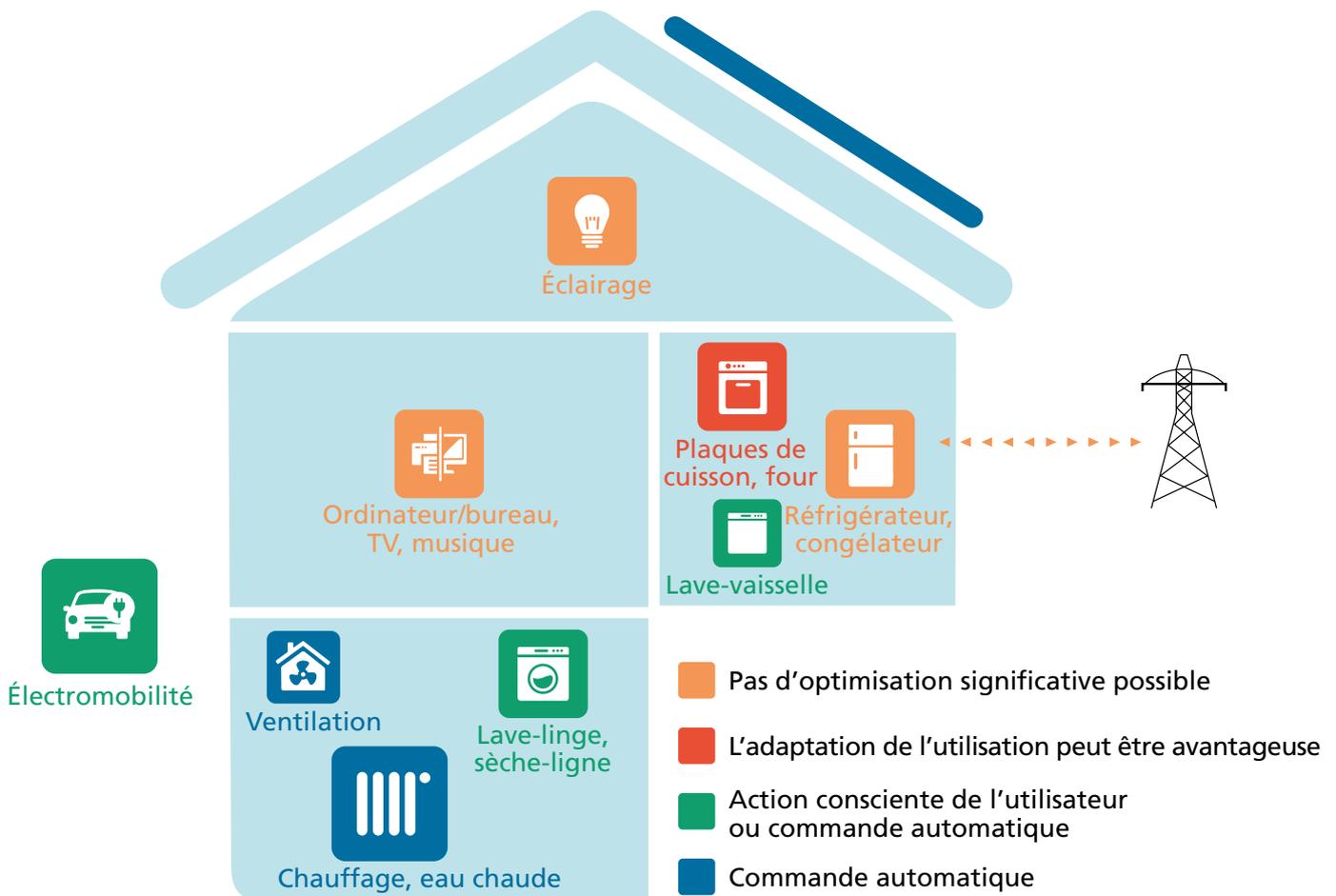


Figure 3: Possibilités d'optimisation dans une maison individuelle. La taille des carrés correspond à la consommation électrique des appareils et donc au potentiel d'optimisation. Les appareils sur fond vert se prêtent bien à une optimisation manuelle de la consommation propre; les appareils sur fond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

raccordés à la résistance. Cette solution permet d'économiser des coûts au moment du montage de l'installation solaire, mais le courant produit ne peut pas être utilisé par d'autres consommateurs ni injecté dans le réseau.

Les pompes à chaleur produisant environ 3 kWh de chaleur avec 1 kWh de courant en prélevant de la chaleur dans l'air ou dans le sous-sol, affichent une efficacité énergétique sensiblement plus élevée que les résistances. 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.

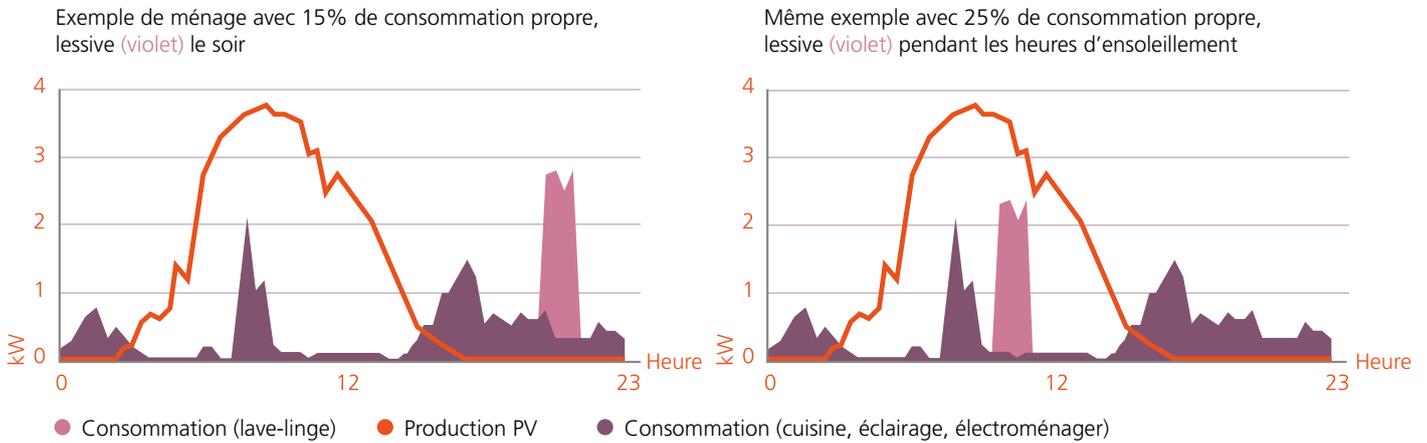


Figure 4: Augmentation de la consommation propre en faisant les lessives pendant la période de forte production solaire (source: VESE).

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.

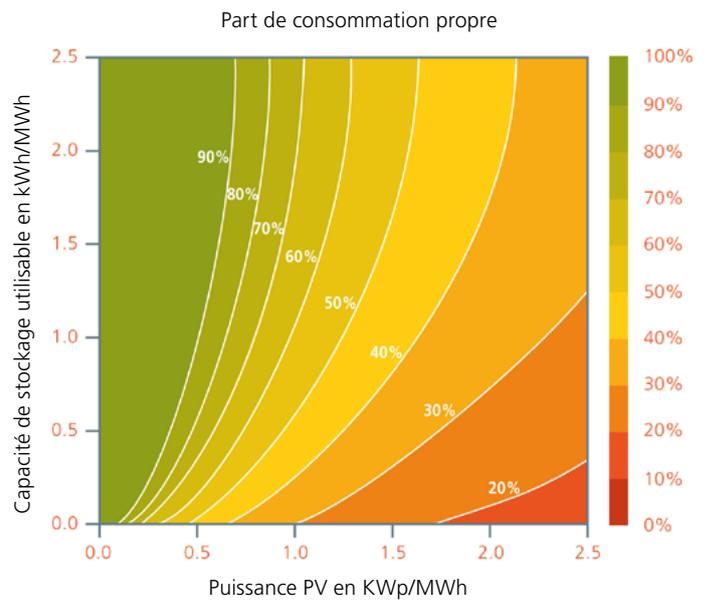


Figure 5: Consommation propre en fonction de la capacité de la batterie et de la puissance de l'installation PV. Les valeurs des axes X-Y sont toutes deux relatives à la consommation annuelle du ménage en MWh (source: HTW Berlin).

À l'heure actuelle, le marché des batteries est très dynamique. De nouveaux accumulateurs sont présentés régulièrement 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)
- grandes installations: tâches supplémentaires, p. ex. écrêtement ou services réseau

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 7 et 65 cts/kWh³ pour des accumulateurs lithium-ions, et au-delà pour des batteries au plomb. 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 14 et 72 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 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 travaillent dans ce sens, et les premiers modèles sont disponibles sur le marché. Ainsi l'entreprise suisse EVTEC AG 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. Certains modèles d'ores et déjà sur le marché sont prédisposés en conséquence.

Lors de l'achat d'un véhicule électrique, il convient de veiller à ce que la voiture soit prédisposée pour la charge bidirectionnelle (ISO 15118). 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.

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 LE REGROUPEMENT POUR LA CONSOMMATION PROPRE (RCP)

Dans un immeuble collectif ou de bureaux, plusieurs locataires, plusieurs propriétaires d'étages ou de terrains peuvent s'associer pour constituer un regroupement pour la consommation propre (RCP). 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 œuvre 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 (le contracting énergétique ou «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'un RCP à partir de l'installation PV en toiture et à partir du réseau, ainsi que les différents équipements de mesure nécessaires.

Avant de constituer un regroupement pour la 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) susceptibles d'avoir des répercussions négatives sur la rentabilité. Il convient par ailleurs de noter que la création d'un RCP n'est admise que si la puissance de production de l'installation solaire, respectives des installations solaires, s'élève au minimum à 10% de la puissance installée de l'ensemble du RCP. Le «Guide pratique de la consommation propre» ainsi que d'autres documents pour la mise en place d'un RCP sont disponibles sur: www.suisseenergie.ch/consommation-propre.

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 œuvre dans les pièces d'habita-

1. Installation PV
2. Compteur privé par logement/partie
3. Compteur de production pour l'installation solaire (à partir de 30 kVA du GRD)
4. Compteur principal, compteur de consommation unique vis-à-vis du GRD

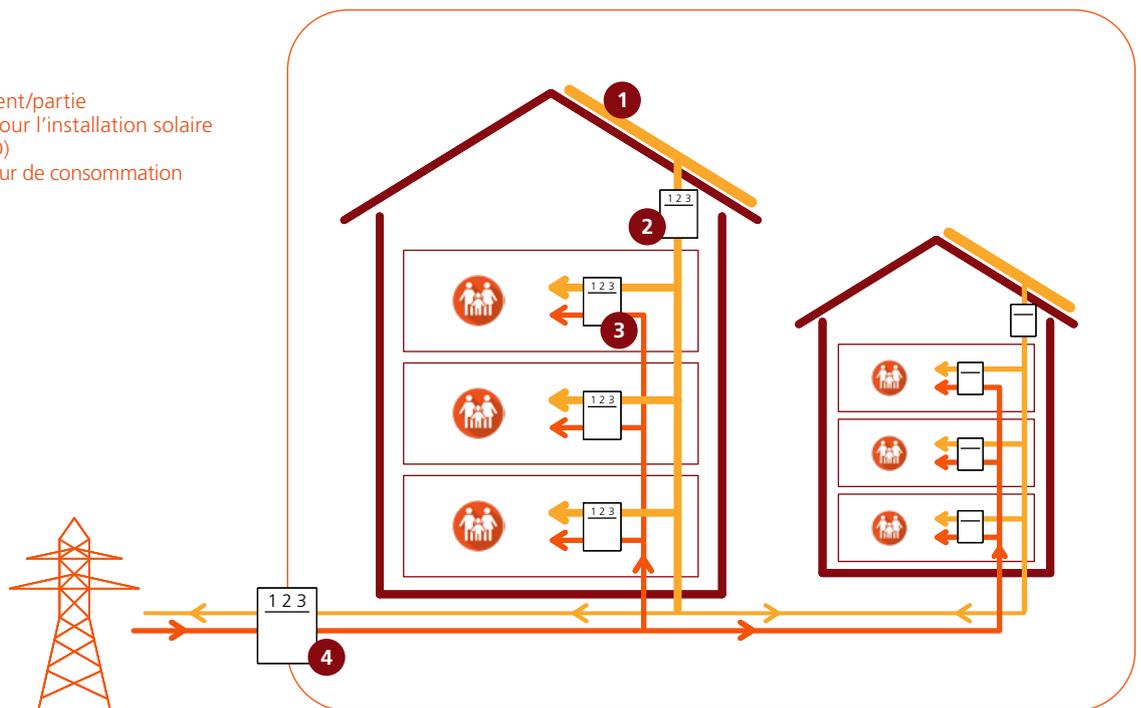


Figure 6: Regroupement pour la consommation propre.

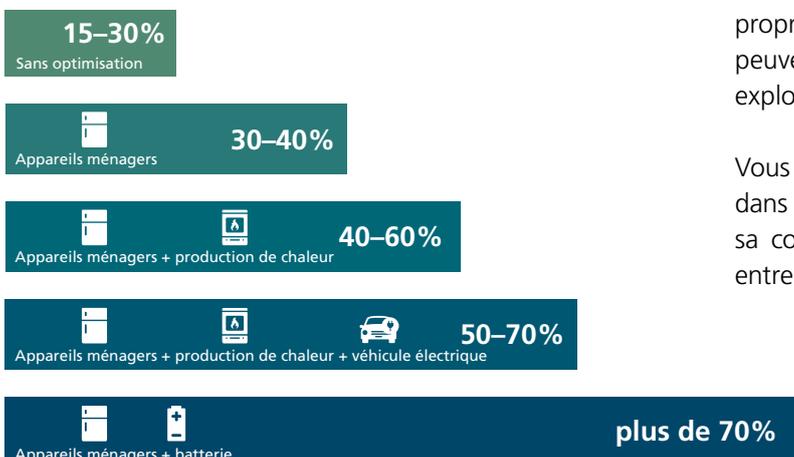
tion, les maisons d'habitation et les bureaux. Au centre de ces concepts, on trouve l'amélioration de la qualité des logements, des conditions de vie et du travail, la sécurité et une utilisation efficace de l'énergie par la mise en réseau des appareils, mais également l'automatisation des processus. 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. En agrégeant 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, 8 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).

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

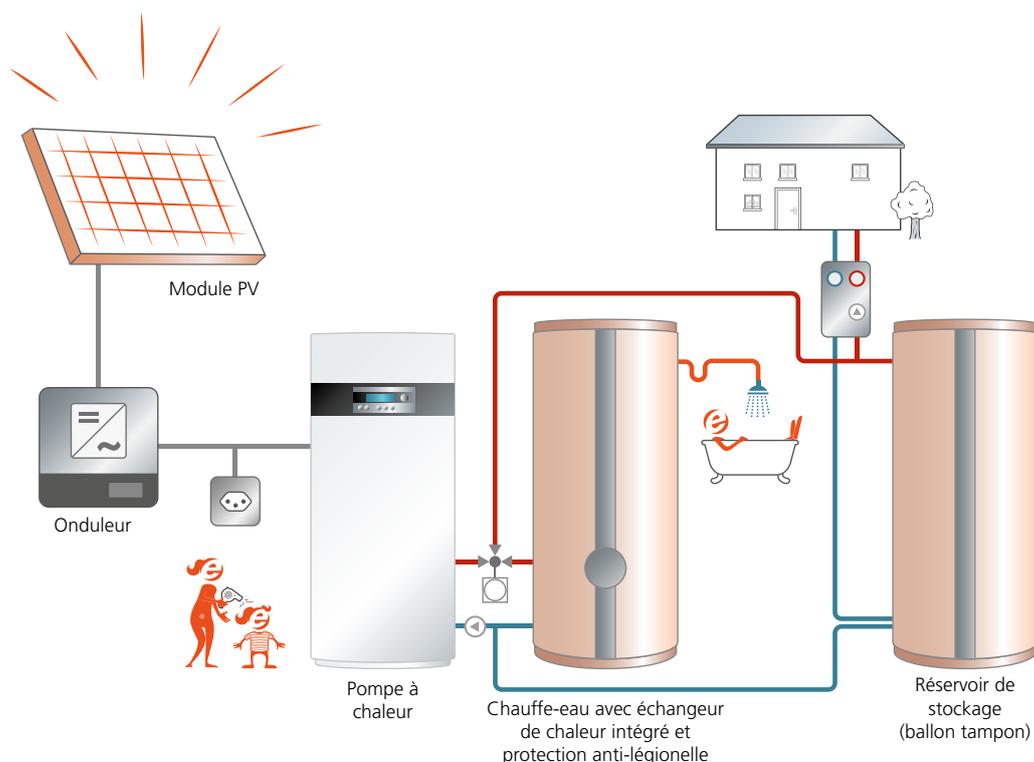


Figure 8: Concept de raccordement hydraulique d'une pompe à chaleur avec une installation PV (source: VESE).

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 six 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. station de recharge électrique
5. appareils de commande séparés
6. «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'été 2020).

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 de l'installation solaire peut être nettement augmentée grâce à une pompe à chaleur couplée à un système de gestion de l'énergie. Optimisée dans ce sens, la pompe à chaleur est

Augmentation de la consommation propre

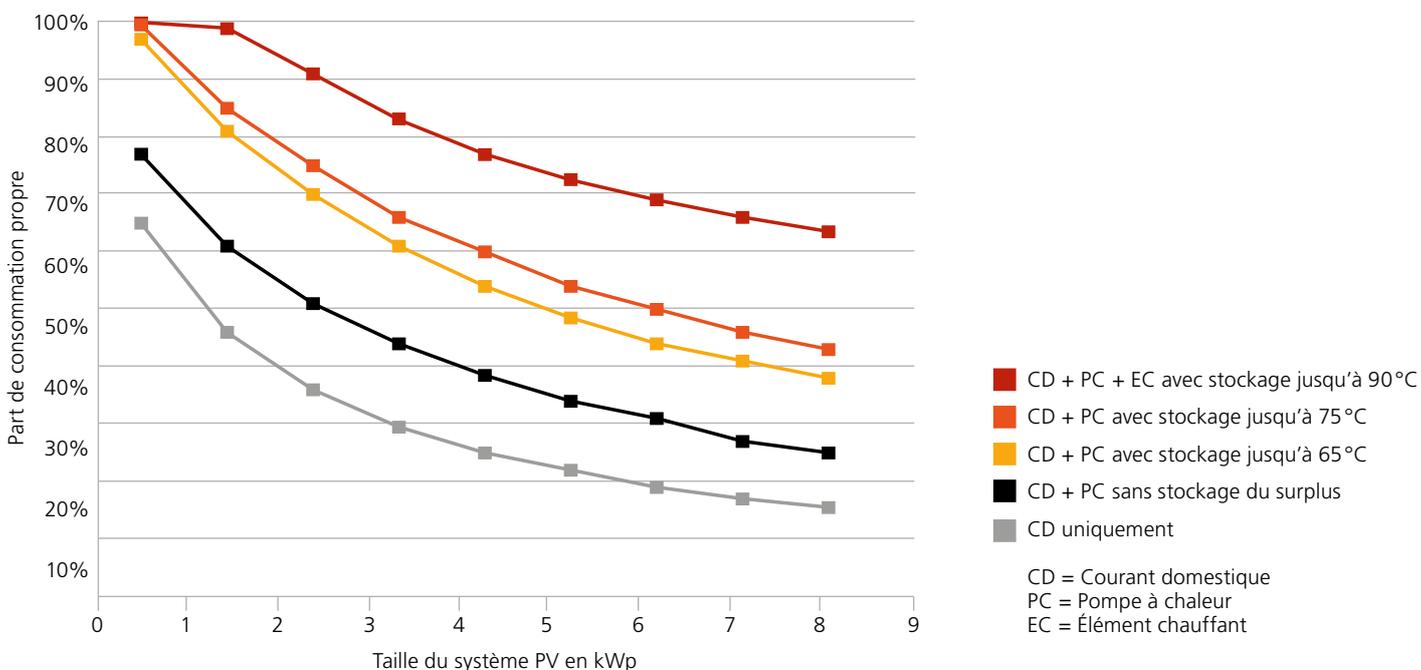


Figure 9: Augmentation supplémentaire de la part de consommation propre par une surélévation de la température. On voit clairement que des températures plus élevées à l'intérieur du stockage thermique intermédiaire permettent d'augmenter la part de consommation propre (source: T. Tjaden, HTW Berlin,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

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 rapport final du 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 plusieurs possibilités 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

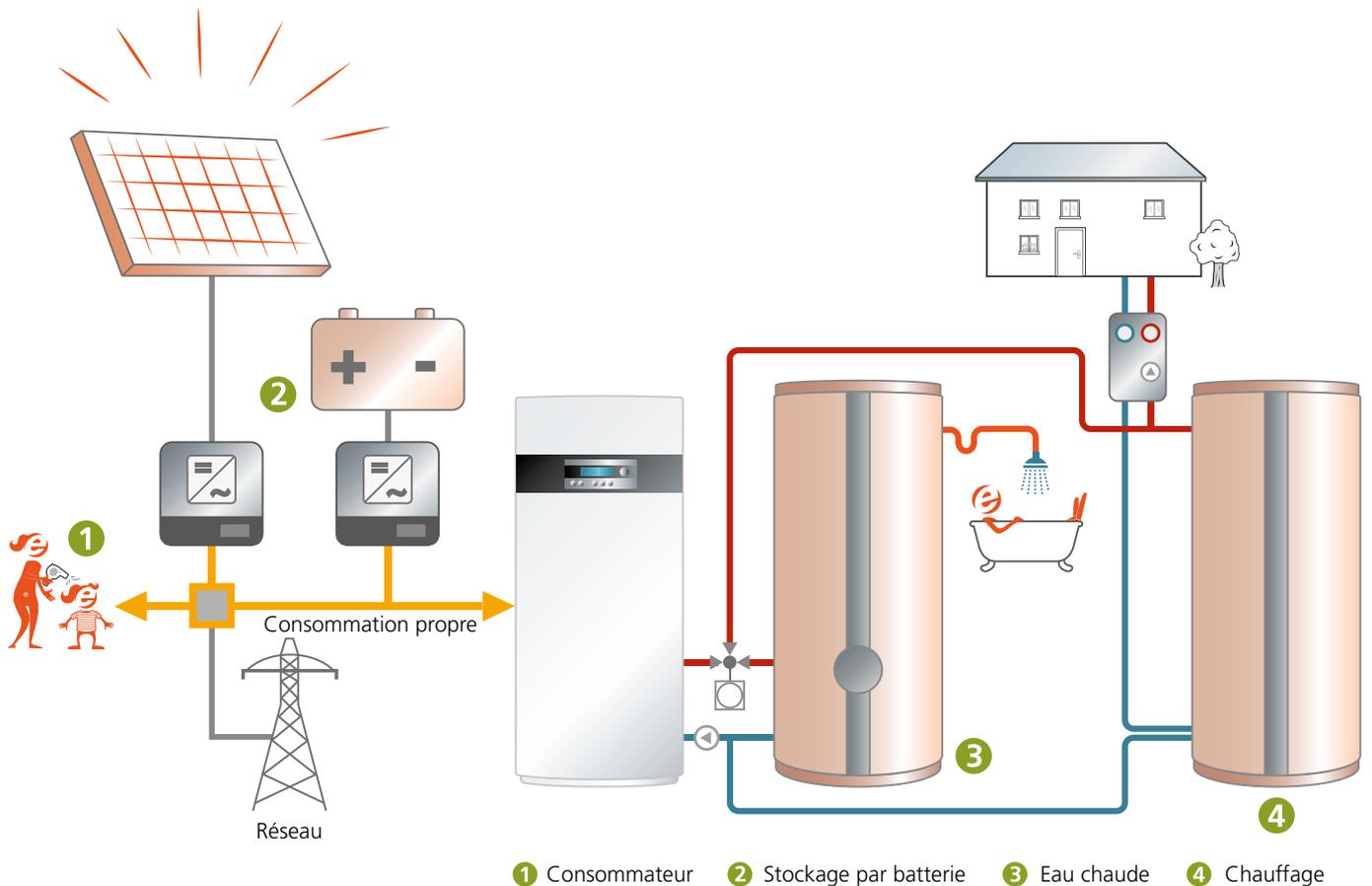


Figure 10: Système PV combiné à une batterie, un stockage d'eau chaude et une pompe à chaleur avec interface SG Ready. La numérotation indique l'ordre dans lequel les différents composants peuvent être utilisés comme stockage du courant solaire par le système de gestion de l'énergie (source: VESE).

de la pompe à chaleur. En raison de cette valeur de puissance fixe, le courant solaire ne peut pas être utilisé de manière optimale.

- L'interface SG Ready (SG = Smart Grid) de la pompe à chaleur 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.

La commande de l'interface est assurée soit par l'onduleur soit par l'un des composants suivants:

- 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, via l'interface SG Ready ou via des types de communications à base de bus. 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: dans les nouvelles installations, seul le courant solaire est désormais admis pour le chauffage électrique de l'eau chaude. Le pilotage de la centrale électrique demeure néanmoins nécessaire.*

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. D'autres interfaces de communication sont par ailleurs envisageables.

La figure 7 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 suffisante, 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 tendanciellement 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.

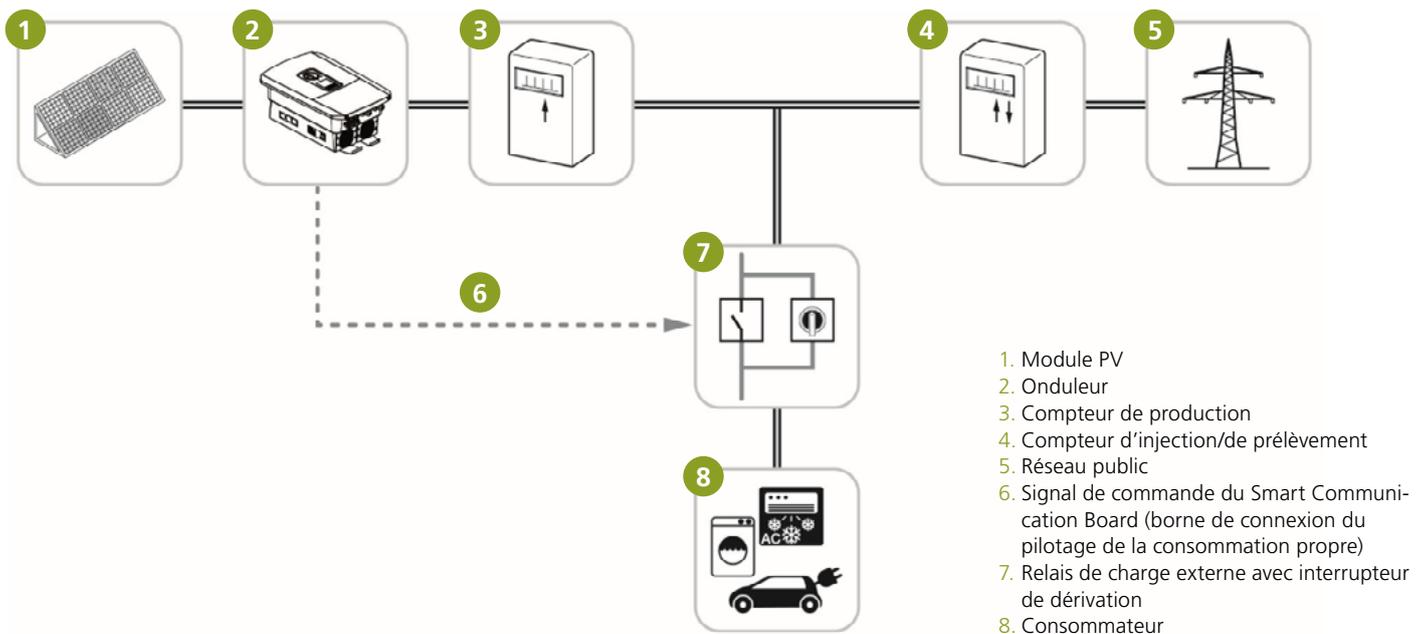


Figure 11: Dispositif de commutation placé en amont (source: Kostal, 2020).

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).

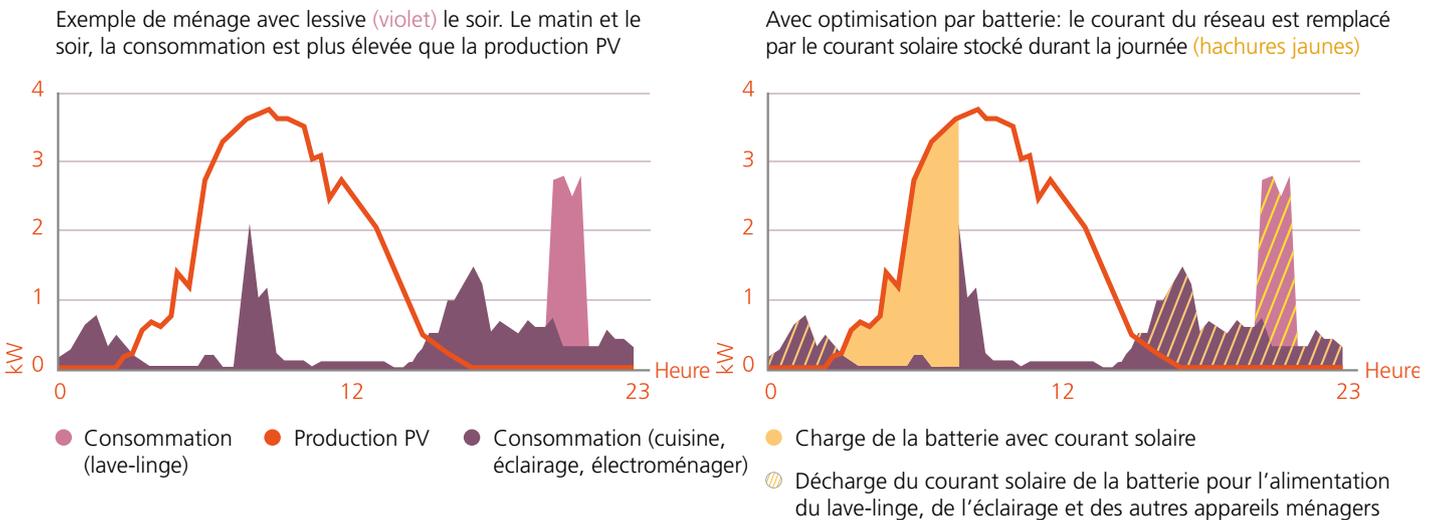
Le tableau 2 présente une sélection non exhaustive d'onduleurs et leurs principales caractéristiques (situation: été 2020). Il convient ici de noter qu'il s'agit des données des fabricants.

Onduleurs

Produit	Monophasé: H2.5 Flex, H3A Flex, H4A Flex, H5A Flex; 3ph: M6A, M8A, M10A	RCT Power Inverter ou Power Storage DC	Série ET et série BT	blueplanet hybrid 10.0 TL3
Fournisseurs	Delta Electronics	RCT Power GmbH	GoodWe Europe GmbH	KACO new energy GmbH
Lien	https://solarsolutions.delta-emea.com/fr/index.html	www.rct-power.com	www.goodwe.com	www.kaco-newenergy.com
Domaine d'optimisation	Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/petit commerce et artisanat
Nombre de relais internes	1	1	Oui	1
Communication	Monophasé: WiFi triphasé: WiFi et RS-485	TCP, ModBus, entrées/sorties numériques	RS-485, WLAN, en option: LAN	Ethernet, RS-484
Logique de mise en marche	Puissance	Puissance de mise en marche, dépassement stable	Puissance de mise en marche, dépassement stable	Tension PV, état de la batterie, consommation domestique
Logique d'arrêt	Puissance, durée	Puissance d'arrêt	Puissance d'arrêt ou durée de fonctionnement	Tension PV, état de la batterie, consommation domestique
Remarques	Monophasé: Monitoring ou mise en service via le WiFi triphasé: Monitoring via le WIFI ou collecteur de données DC1 avec interface RS-485; mise en service via le WIFI ou interface RS-485	Power Inverter est un onduleur solaire pur, Power Storage est un onduleur hybride qui offre la possibilité d'équiper les batteries ultérieurement	Alimentation électrique de secours triphasée capable de supporter des charges déséquilibrées, avec temps de commutation < 10 ms intégré. Onduleur hybride avec gestionnaire de batterie intégré.	Gestion intégrée de la consommation propre avec compensation complète de la consommation domestique, compatible avec la gestion de l'énergie OpenEMS
Dispositifs de stockage contrôlables	Accumulateurs Samsung SDI	Accumulateurs propres (cf. Systèmes de stockage)	BYD: Battery-Box Premium HVM, Battery-Box Premium HVS/Pylontech: Powercube H1-48, Force-H2/Soluna (série ET uniquement): Soluna 15K Pack HV/Dyness: Dyness Tower (T7, T10, T14, T17)	BYD Battery-Box HV/HVS/HVM; Batteries Energy Depot DOMUS
Puissance de charge et de décharge des accumulateurs	3 kW	10 kW	Jusqu'à la capacité maximale de l'onduleur et en fonction du modèle de batterie	Système haute tension avec capacité de charge et de décharge jusqu'à 25 A (10 kW)
Alimentation électrique de secours/capacité d'îlotage du système de stockage	Exploitation en îlotage possible	Exploitation en îlotage possible, durée de commutation 10 s	Jusqu'à la capacité maximale de l'onduleur et en fonction du modèle de batterie	Fonctionnement en alimentation de secours triphasée avec une puissance totale de 10 kW ou exploitation en îlotage disponible en option. redémarrage à froid possible, recharge solaire
				

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

PLENTICORE plus 3.0-10	Sunny Boy, Sunny Tripower, Sunny Boy Storage	Onduleur triphasé StorEdge	Symo/Primo
KOSTAL Solar Electric GmbH www.kostal-solar-electric.com	SMA Solar Technology AG www.sma.de	SolarEdge Technologies Inc. www.solaredge.com	Fronius International GmbH www.fronius.com
Appareils ménagers/énergie	Appareils ménagers/électricité et chaleur	Appareils ménagers/chaleur/Smart Energy	Appareils ménagers/chaleur
1	0*	0	Zéro, signaux numériques uniquement
LAN, RS-485, 4x entrée/sortie numérique, Modbus (TCP)/SunSpec	RS-485, W-LAN, Speedwire (LAN), Modbus TCP, EEBUS 1.0, SEMP, SG-Ready	1x Ethernet, 2x RS-485 et WLAN intégré, en option: ZigBee et GSM	Modbus TCP/IP, Modbus RTU (RS-485), 6x entrée numérique, 6x sortie numérique, W-LAN, LAN
Puissance de mise en marche, dépassement stable	Pronostic PV (consommateurs impératifs et/ou potentiels), courant solaire excédentaire	Mode «Smart Saver» automatique avec priorité donnée à l'optimisation de la consommation propre. Programme (ToU – Time of use) sélectionnable (facultatif).	Puissance de mise en marche, dépassement stable
Puissance d'arrêt ou durée de fonctionnement	Pronostic PV (consommateurs impératifs et/ou potentiels), courant solaire excédentaire	Pas d'excédent, durée de fonctionnement minimale des consommateurs ou déroulement selon le programme	Puissance d'arrêt, durée de fonctionnement prescrite
Compteur d'énergie «KOSTAL Smart Energy Meter» disponible en option. Il permet un démarrage en fonction de la puissance d'injection au lieu de la puissance de l'onduleur. 3 entrées DC ou Tracker MPP. La 3e entrée peut être configurée comme une entrée de batterie au moyen d'un code d'activation disponible en option.	*En option, jusqu'à 12 consommateurs peuvent être commandés via le Home Manager dans la gestion active de l'énergie. Liste de compatibilité SMA SMART HOME pour les consommateurs électriques (www.SMA.de) <ul style="list-style-type: none"> analyse de la consommation des différents consommateurs charge optimisée des batteries dans des systèmes de stockage SMA gestionnaire d'énergie avec compteur intégré 	Le contrôleur d'eau chaude, le Smart Energy Switch et le Smart Energy Relay sont pilotés par la norme radio ZigBee. Un module ZigBee peut commander jusqu'à 10 appareils. Aux fins de relevé de la consommation domestique, il est recommandé d'installer un compteur SolarEdge et de le contrôler de manière dynamique.	Avec compteur électrique externe et prise en compte de la puissance d'injection. Contact numérique 12 V, échange direct de données avec le miniserver Loxone, extension possible avec le Fronius Smart Meter. Généralement, communication possible via Modbus TCP et/ou RTU (RS-485) avec d'autres appareils *Puissance absorbée du réseau ou des unités de production externes pour la recharge de l'accumulateur. Important: Les puissances susmentionnées ne peuvent être atteintes si la puissance de charge et de décharge est limitée par le dispositif de stockage.
BYD Battery-Box Premium, autres fabricants en cours de planification	Entre autres: BYD, LG-Chem (cf. Liste de compatibilité des batteries sur www.SMA.de)	Compatible avec les piles 48 V des fabricants BYD et LG Chem	BYD Premium HVM et HVS
6.5 kW	Cf. fiche technique des capacités nominales Sunny Boy Storage (2.5/3.7/5/6)	5	Puissance de décharge AC max. 6.22 kW, 8.25 kW et 10.3 kW (en fonction du type d'onduleur); Puissance de charge AC max.*: 6 kW, 8 kW et 10 kW (en fonction du type d'onduleur)
Non	Sunny Boy Storage: fonction d'alimentation électrique de secours ou courant de substitution (boîtier de commutation automatique requis)	Non	Option 1: point PV (monophasé), option 2: sauvegarde complète (triphasé, une déconnexion supplémentaire du réseau est requise, p. ex. boîtier Enwitec), temps de commutation des deux solutions d'alimentation électrique de secours: < 90 s
			



Coûts d'investissement et de stockage

Technologie	Durée de vie calendaire (en #années)	Durée de vie (en # cycles)	Coûts d'investisse- ment (batterie seule) CHF / kWh	Coûts de stockage CHF / kWh ⁴
Plomb	5–15	500–2000	200–400	10–80
Lithium-ions	10–20	1000–5000	350–650	7–65
Sel	10–15	1000–5000	700–1100	14–110

Figure 3: Aperçu des coûts de stockage et des coûts de l'électricité pour le courant de la batterie

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 souvent atteindre 10'000 cycles. En revanche, le nombre de cycles des batteries au plomb varie de 500 à 2500, 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)

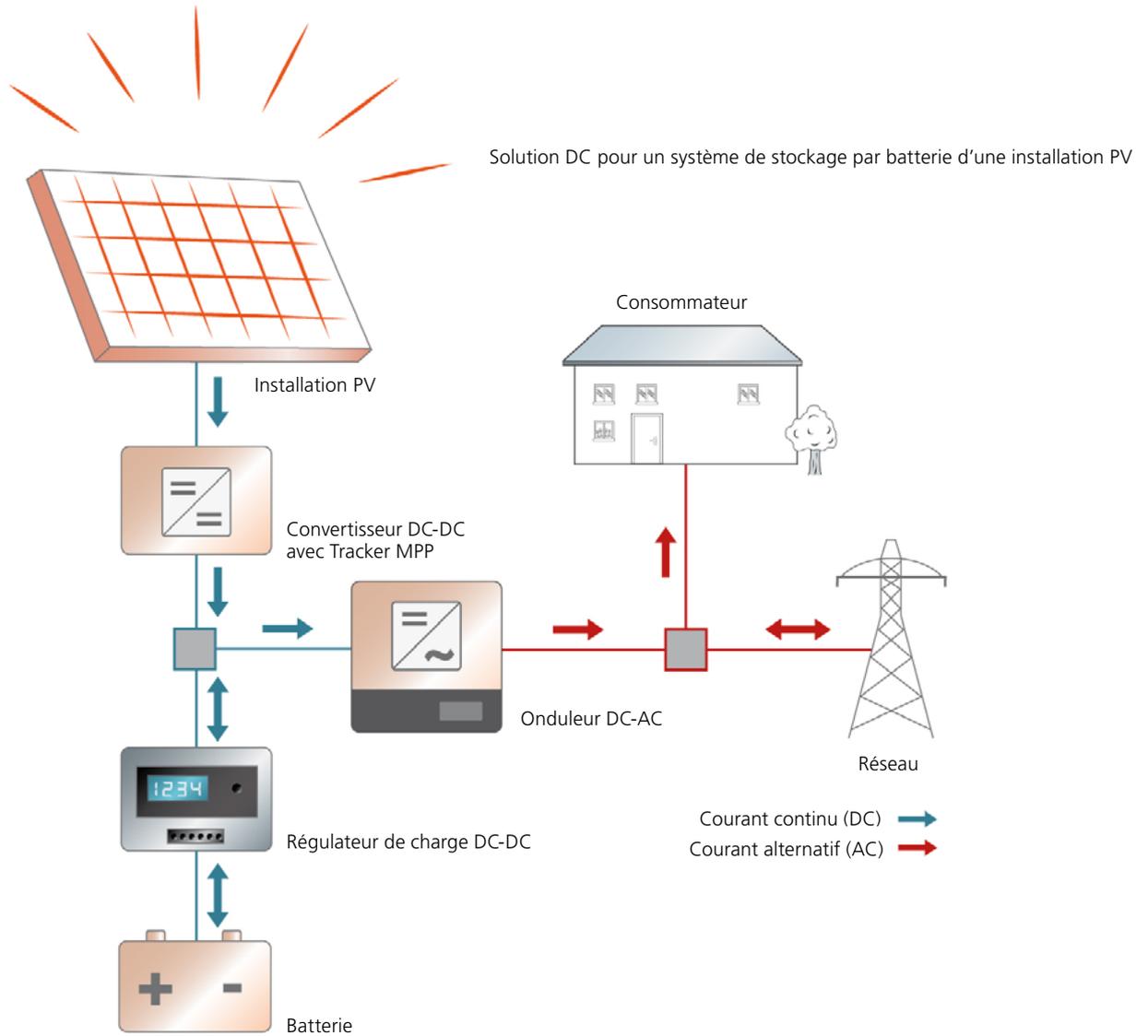


Figure 13: Stockage par batterie avec couplage DC (source: VESE).

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

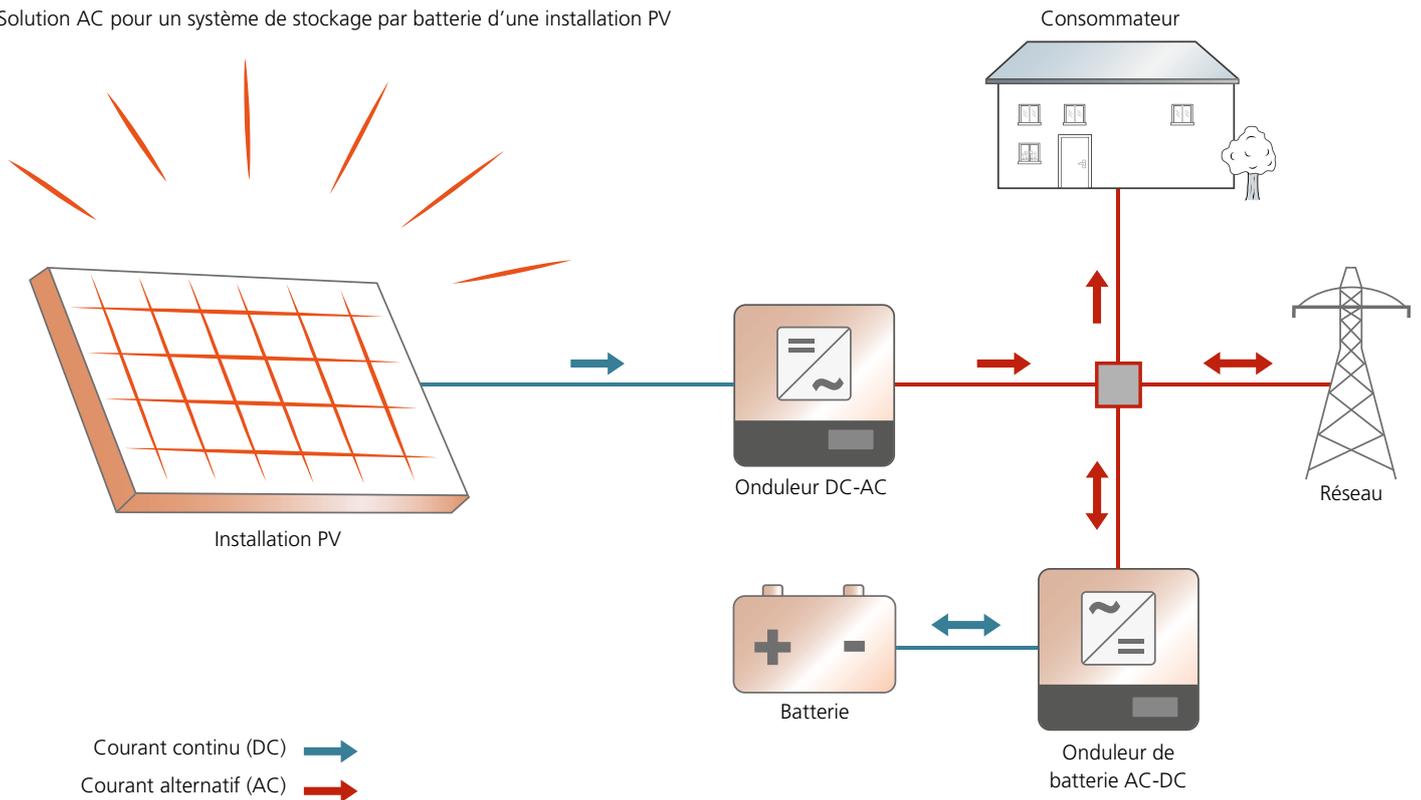


Figure 14: Stockage par batterie avec couplage AC (source: VESE).

Certaines batteries n'injectent le courant que sur une phase, tout comme les toute petites installations PV. Toutefois, ces sollicitations asymétriques du réseau ne sont admises que jusqu'à une puissance de 3,6 kWp et ne sont pas autorisées par tous les exploitants de réseau. 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 4: Avantages et inconvénients des différents couplages de batterie.

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

Il existe actuellement des centaines de modèles de batteries sur le marché et de nouveaux modèles viennent réguliè-

ment s'y ajouter. En conséquence, il est difficile de se décider quant au choix et une recommandation peut rapidement devenir obsolète. Les tableaux 3 et 4 présentent et confrontent les modèles les plus courants en Suisse et leurs caractéris-

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

L'îlotage: le terme «îlotage» ou encore «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 de 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.

En général, on distingue trois types, même si les termes se recoupent parfois:

Un système (stockage et onduleur) est **capable de fournir une alimentation de secours** s'il peut alimenter le bâtiment en courant depuis son propre stockage sans passer par le réseau. Cependant, le système ne fonctionne que pour autant que le niveau de stockage soit

suffisant (non égal à zéro). C'est le cas des systèmes purement couplés en AC, où l'installation solaire se trouve sur une autre sortie.

Un système est **«isolé» ou «îlotable»** si, d'une part le stockage est en mesure de fournir du courant au bâtiment et que, d'autre part, l'installation solaire peut continuer à fonctionner. Il existe également des solutions intermédiaires où l'onduleur dispose d'une prise de courant alternatif intégrée de 230 volts capable de poursuivre l'alimentation électrique.

Un système dit «UPS» (alimentation électrique sans interruption) bascule sur l'alimentation électrique de secours de manière si rapide (quelques millisecondes) qu'il évite toute interruption perceptible de l'alimentation électrique et que les appareils concernés, p. ex. les ordinateurs et le matériel hospitalier, continuent de fonctionner. Un système UPS n'est pas forcément capable de fournir une alimentation de secours ou une alimentation de type «îlotage». Les batteries solaires conventionnelles ne constituent pas des systèmes UPS.

tiques (situation à l'été 2020). À noter qu'il s'agit des données des fabricants.

Pour le choix de la taille du stockage (en 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 exigées par la centrale électrique en cas de montage de compteurs modernes, ou 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 enso-

leillée, 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:

- capacité de stockage utilisable = 0,1 à 0,15% de la consommation annuelle du ménage en électricité.
- 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	StoraXe SRS20xx	GREENROCK Home	Centrale domestique S10E/S10E Pro	Série FENECON Pro Hybrid
Fournisseurs	ADS-TEC ENERGY	BlueSky Energy	E3/DC Hager AG Schweiz	FENECON GmbH
Lien	www.ads-tec.de	www.bluesky-energy.eu	www.e3dc.com/ch	www.fenecon.de
Technologie	Li-NMC	Eau salée (ions sodium aqueux)	Lithium-Ions	Li (LiFePO4)
Capacité énergétique [kWh]	19–47 kWh	5–30 kWh	Interne 5–19.5 kWh, extensible jusqu'à 39 kWh	5.1 kWh à 12.8 kWh (HVS)/ 8.3 kWh à 22.1 kWh (HVM)
Cycles	13'000	5000	illimité pendant la période sous garantie (10 ans de garantie système)	6000
Profondeur de décharge (DoD) maximale	90%	100%	90–100%	95%
Connexion	Triphasé	Mono- ou triphasé avec jusqu'à 3 Tracker MPP max.	Onduleur 12 kW intégré, triphasé, 2 Tracker MPP	Triphasé
Couplage (DC, AC)	AC	AC, DC ou AC/DC combiné	AC, DC ou hybride	AC ou DC possible
Interfaces	Ethernet, RJ45	Modbus/TCP	RS-232, USB, Ethernet, CAN, ModBus (TCP), KNX, SG Ready, myGEKKO, Loxone, xComfort	Modbus/TCP, OpenEMS
Extension	Sur demande	Par pas de 2.5 kWh jusqu'à 30 kWh max. dans un délai de 9 mois	Possibilité de fonctionnement en parallèle de plusieurs systèmes, Wallbox, deuxième onduleur 12 kW, alimentation électrique de secours (redémarrage à froid possible)	Extensible jusqu'à 38.4 kWh max. (HVS)/extensible jusqu'à 66.3 kWh max. (HVM)
Puissance de charge/décharge [kW]	18	En fonction de la taille de l'installation: monophasé: 1 kW à 2.4 kW triphasé: 1.5 kW à 7 kW	3–12 kW en fonction de la configuration des batteries	En fonction de l'onduleur: 10–12 kW
Alimentation électrique de secours/exploitation en îlotage possible?	Exploitation en îlotage possible	Exploitation en îlotage possible	Exploitation en îlotage possible, durée de commutation 4s	Exploitation en îlotage possible
OND intégré ou compatible	Onduleur intégré	Onduleur intégré	Onduleur intégré	De série avec: KACO blueplanet hybrid (série Pro Hybrid)/série GoodWe ET (série Pro Hybrid GW)/série GoodWe BT (série Pro AC GW)
				

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

Scalebloc	salidomo 9 bis 36	LG ESS Home 8-10	MERITSUN, alimentation électrique compacte «tout en un»
Hoppecke Schweiz GmbH www.intilion.com	Innovenergy GmbH www.innov.energy	LG Electronics www.lg.com/de/business/home-10-8	Offgrid Tech LTD www.offgrid-tech.ch
Li-Ion	Batterie au sel fondu	Lithium-polymère	LiFePo4
68.5 kWh	9.4-36 kWh par pas de 9.4 kWh	7/9.8 kWh	5kWh
8000	4500 cycles de décharge complets	0	> 6000
90%	100%	95%	95% DOD
Triphasé	Côté AC: mono- ou triphasé, côté DC: 48 V	Triphasé	AC 230 V (22 A) IN, PV 4000 Wp (max. 145 V)
AC ou DC possible	Couplage AC	DC	AC 230 V 50Hz
Modbus via Ethernet, connexion au cloud via LTE	Intégration via les relais contacts des résistances électriques ou d'autres consommateurs	CAN	WiFi avec application mobile, écran LC, en option: interface CAN ou port RS
Extensible jusqu'à 16 ex.	Extension de 9 kWh à 18 kWh dans le même boîtier, couplage de 2x18 kWh (= 36 kWh)	Maximum 2 batteries de type quelconque	230 V en entrée avec bornes de connexion, sortie avec prise ou bornes de connexion
30 kW/30 kW; 60 kW/60 kW	Inverter max. 9-15 kW en fonction du type	3.5kW/7kW (ESS Home 8), 5kW/7kW (ESS Home 10)	5000 VA (pic 10'000 VA, 100ms)
Pour les applications hors réseau, redémarrage à froid et exploitation en îlotage	Alimentation électrique de secours de série (utilisation de la batterie après coupure réseau), option îlotable (peut être rechargée via PV en cas de coupure réseau)	Exploitation en îlotage possible	Oui, les deux. Système autonome
Onduleur intégré	Onduleur intégré	uniquement en propre (LG PCS), absence de compatibilité	Système complet avec onduleur et chargeur PV
			

Systemes de stockage d'énergie (avec onduleur intégré)

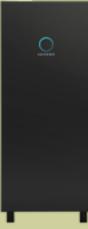
Produit	RCT Power Storage System	sonnenBatterie 10 performance	Tesla Powerwall
Fournisseurs	RCT Power GmbH	sonnen GmbH	Tesla
Lien	www.rct-power.com	www.sonnen.de	www.tesla.com
Technologie	Li (LiFePO4)	Li (LiFePO4)	Lithium-Ions
Capacité énergétique [kWh]	3.8–11.5 kWh	11–55 kWh	13.5 kWh
Cycles	5000	> 10'000	illimité
Profondeur de décharge (DoD) maximale	90%	ca. 91%	100%
Connexion	Triphasé	Triphasé	Monophasé
Couplage (DC, AC)	AC ou DC possible	AC	AC
Interfaces	TCP, ModBus	Modbus, Ethernet, KNX, API locale	LAN, W-LAN, 4G
Extension	Dans un délai de 18 mois, par pas de 1.9 kWh	Extensible ultérieurement par pas de 11 kWh, connexion en cascade 9 niveaux avec capacité de stockage totale jusqu'à 495 kWh, disponible également en version DC avec le module sonnenDC, intégration du système de stockage dans une infrastructure KNX avec le module sonnenKNX	Extensible par pas de 13.5 kWh, jusqu'à 135 kWh
Puissance de charge/décharge [kW]	Jusqu'à 10 kW	7 kW pour une capacité de stockage de 11 kWh; 8 kW à partir d'une capacité de stockage de 22 kWh; possible en cascade jusqu'à 72 kW	3.6 kW pour chaque Powerwall
Alimentation électrique de secours/exploitation en îlotage possible?	Exploitation en îlotage possible, durée de commutation 10 s	Alimentation électrique de secours triphasée du raccordement du bâtiment au réseau (jusqu'à 35 A) ou circuits d'alimentation de secours séparés avec le produit sonnenProtect 8000	Exploitation en îlotage possible en fonction de la configuration
OND intégré ou compatible	uniquement en propre, absence de compatibilité	Onduleur intégré	Onduleur intégré
			

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

TS 48 V	VARTA pulse/VARTA pulse neo/ VARTA element/VARTA one L/ VARTA one XL
TESVOLT GmbH www.tesvolt.com	VARTA Storage GmbH www.varta-storage.com
Lithium-Ion	Oxyde de lithium nickel manganèse cobalt (NMC)/lithium fer phosphate
9.6–144 kWh	3.3–13.8 kWh
6000–8000	4'000 jusqu'à un nombre de cycles illimité (en fonction du type)
100%	90%
Triphasé	Monophasé/triphasé (en fonction du type)
AC	AC
CAN, ETH/ Modbus TCP/IP	XML, Modbus TCP (Sunspec) (en fonction du type)
À tout moment (même après plusieurs années), par pas de 4.8 kWh	Extensible sans limite dans le temps. Possibilité d'exploiter en réseau jusqu'à 6 appareils en cascade (en fonction du type)
9.9 kW à 18 kW, selon le type et la taille	1.8 kW à 4.0 kW/2.0 kW à 4.0 kW (en fonction du type)
Exploitation en îlotage possible	Alimentation électrique de secours possible (en fonction du type)
de série avec SMA Sunny Island, en option avec Studer	Onduleur de batterie intégré



Batteries (sans onduleur)

Produit	BMZ Hyperion	BYD Battery Box PREMIUM HVS/HVM	LG Resu 3.3-10
Fournisseurs	BMZ GmbH	FENECON GmbH	LG Chem
Lien	www.bmz-group.com	www.fenecon.de	www.lgesspartner.com
Technologie	Technologie lithium-ions	LiFePO4	Lithium
Capacité énergétique [kWh]	9-18 kWh	5.1 kWh à 12.8 kWh (HVS)/ 8.3 kWh à 22.1 kWh (HVM)	3.3-9.8 kWh
Cycles	5000	6000	Non spécifié
Profondeur de décharge (DoD) maximale	DoD 83%	96%	90%
Couplage (DC, AC)	DC	AC/DC possible	AC/DC possible
Interfaces	SMA Sunny Boy Storage (CAN), KOSTAL Plenticore Plus (RS-485)	Modbus/TCP, OpenEMS	CAN
Extension	Jusqu'à 4 à 6 modules de 3 kWh chacun	Extensible jusqu'à 38.4 kWh max.(HVS)/extensible jusqu'à 66.3 kWh max (HVM)	Max. 2 batteries de n'importe quel type au choix (avec RESU Plus comme kit d'extension)
Nouveau: puissance de charge/décharge [kW]	4.6 à 9.2 kW – en fonction du nombre de modules et des caractéristiques de l'onduleur de la batterie	En fonction de l'onduleur: 10-12 kW	3-5 kW
			

Tableau 6: Batteries et systèmes de stockage sans onduleur intégré pour les ménages et les PME.

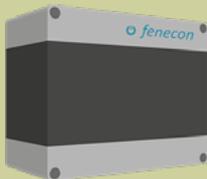
LIONTRON LX48	MERITSUN Power Pack	Pylontech US200/US 3000	MyReserve 25
Offgrid-TeCH LTD liontron-shop.ch	Offgrid-TeCH LTD offgrid-tech.ch	Offgrid-TeCH LTD offgrid-tech.ch	SOLARWATT GmbH www.solarwatt.de
LiFePo4 2.56 kWh	LiFePo4 2.4–9.6 kWh	LiFePo4 2.4–3.5 kWh	Li-Ion (NMC) 2.4 kWh à 72 kWh
> 6000 pour une DoD de 90%	> 6000 à 25 °C	> 6000	Illimité pendant la période sous garantie
DoD 90%	DoD 100%	DoD 90%	100% (de la capacité utile)
DC	DC	DC	DC
RS-232, RS-485, CAN	Écran LC, RS-232, RS-485, CAN (en option)	RS-232, RS-485, CAN	CAN, Ethernet, Bluetooth
Maximum 8 unités en parallèle	Jusqu'à 48 unités en parallèle	8 par string, 8 strings max.	Jusqu'à 5 modules de batterie (2.4 kWh chacun) par MyReserve Command, possibilité d'extension vers une installation en grappe avec jusqu'à 6 commandes MyReserve (max. 72 kWh).
Max. 50 A	Charge/décharge 1.0C (0.5C @LFP200)	Charge/décharge: 0.5C	Jusqu'à 4.5 kW par commande MyReserve



Appareils de commande pour l'optimisation de la consommation propre

Produit	4-noks Elios4you	SMARTFOX Pro	Powerdog S/M/L
Fournisseurs	Astrel Group srl	DAfi GmbH	Ecodata GmbH
Lien	www-4-noks.it	www.smartfox.at	www.power-dog.eu
Domaine d'optimisation	Appareils ménagers/chaueur	Appareils ménagers/commerce et artisanat/chaueur/automobile	Appareils ménagers/chaueur/automobile
Relais internes	1	4x (extensible à l'avenir)	1 (S/M/L/LPR)
Acteurs externes	Prises et interrupteurs radio ZigBee, Power Reducer (pour les chaudières électriques), modulation linéaire de la puissance 0–3 kW	Chargeur de batterie pour véhicule SMART-FOX, SMARTFOX Booster, compteur SMART-FOX, SMARTFOX TV, thermoplongeur SMART-FOX 15 niveaux, pompes à chaleur: IDM, Dimplex, Bösch (Modbus) autres par SG Ready, contrôleur de puissance 3.5 à 12 kW, stations de recharge (Alfen, Keba, ABB, EATON, Mennekes, Wallbe, BMW...), Fronius Ohmpilot, EGO Smart Heater, ASKOMASKOHEAT+, relais de commutation SMARTFOX, contacteur pour station de recharge SMARTFOX (commutation mono-/triphasee), Loxone	Grande diversité, librement programmable, entre autres sorties numériques, sorties analogiques, sorties d'impulsions, stations-relais, prises télécommandées, prises W-LAN, diverses stations de recharge, résistances électriques réglables en continu avec certification CEM, MyPV, Solarinvert. Stockage par batterie: SMA, Varta, Fronius, Studer, LG, Mercedes, entre autres: gestion des priorités (p. ex. auto-stockage-eau chaude)
Communication/interfaces	Wifi, ZigBee	LAN/W-LAN, RS-485/CAN, PT1000, S0, 0–10 V, 4–20 mA, 4 x relais, interface d'extension de module	USB, 1-fil, RS-485, Can Bus Modul enfichable, M-Bus, entrées numériques et analogiques, LAN
Affichage	Application mobile, portail Web	Affichage sur l'appareil, application mobile, portail Web, serveur Web local	Sur l'appareil, application mobile, portail Web, télémaintenance
Programmation	Application mobile	Écran, ordinateur portable, smartphone	Affichage, ordinateur portable
Prévisions météorologiques	Non	En cours de planification	En cours de planification
Optimisation tarifaire	Oui	Oui	Oui
Nombre d'appareils pilotables	4x par transmission radio, 1x Power Reducer 0–10 V, 1x sortie relais interne	25 (5x stations de recharge, jusqu'à 8 thermoplongeurs, pompe à chaleur, stockage par batterie, onduleur...)	50
Particularités	Pas de communication avec l'onduleur, mesure via le transformateur de courant pour les installations PV monophasées (max. 6 kWp) ou triphasés (max. 100 kWp), comptage de l'énergie produite et de l'énergie injectée.	Monitoring gratuit vue haute résolution, commande indépendante de l'onduleur, intégration de l'OND via (LAN/W-LAN, RS-485, S0) p. ex. SolarEdge, Fronius, Huawei, Kostal,...; des systèmes de batteries peuvent être intégrés, p. ex. BYD, Varta, RCT... Préparation d'eau chaude sanitaire en continu: (fonction anti-légionnelle intelligente, minuterie hebdomadaire, bas tarif, maintien de température minimale). Consommateurs/appareils par relais: (Pompe piscine et pompe à chaleur, chauffage infrarouge et par le sol, CETE, résistances électriques). Gestion de charge (arrêt en cas de pic de charge) Électromobilité: Gestion de la charge max. 5 stations de recharge, recharge dynamique avec courant excédentaire, commutation mono-/triphasee incl., limitation dynamique du raccordement du bâtiment au réseau, différents modes de recharge sélectionnables. Interface Modbus TCP (p. ex. Loxone).	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-légionnelle 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.
Prix indicatif des appareils	Monophasé: à p. de CHF 480.–, triphasé: à p. de CHF 610.–	à partir de CHF 735.–	à partir de CHF 600.–
			

Tableau 7: Appareils de commande courants pour l'optimisation de la consommation propre.

FEMS – FENECON, système de gestion de l'énergie	AC ELWA-E/Powermeter/ AC THOR/AC THOR9s	TCR IP 4/Cntrol Plus IP 8
FENECON GmbH	my-PV	Rutenbeck, in der CH: Asera AG
www.fenecon.de	www.my-pv.com	www.asera.ch
Appareils ménagers/chauffage/automobile	Eau chaude sanitaire/chauffage ambiante/électromobilité	Appareils ménagers/chauffage
0, mais possibilité d'en équiper les cartes relais (8 par carte relais)	0–1 (en fonction du type)	4x10 A/8x16 A
Relais, pompes à chaleur: Kermi et SG Ready, stations de recharge: Keba, ABL, Keywatt, autres en cours de planification, stockage par batterie: tous les accumulateurs FENECON, de Pro Hybrid à Industrial, résistances électriques, CETE, commutations de charge générales	Compatible avec de nombreux systèmes Smart Home, stockages de batteries, fabricants d'onduleurs et stations de recharge (hormis my-PV Power Meter)	aucun
RS-485, Modbus/TCP, Ethernet, USB	Modbus TCP, Sunspec Modbus TCP	LAN (UDP)/LAN, W-LAN, GSM
Monitoring en ligne sur Internet, optimisé également pour les smartphones ainsi que pour l'affichage des données hors ligne via un réseau local	Portail Web, écran graphique tactile (dans ce dernier cas, uniquement en fonction du type)	Site Web
Basé sur OpenSource, code source: openems.io	Non	Site Web
Oui, stratégie de recharge de la batterie en fonction des conditions météo	Non, compatible avec divers fabricants (hormis Powermeter)	Non
Oui, mise en œuvre via les applications FEMS	Non. Uniquement AC ELWA-E: compatible avec divers fabricants	Non
illimité	10 ex. AC ELWA-E avec son propre Powermeter, contrôle externe possible jusqu'à 255 participants via des fabricants compatibles	4–8
Basé sur le système de gestion de l'environnement Open Source «OpenEMS», donc indépendant du fabricant, évolutif et modulaire. Les applications peuvent être installées sur le FEMS, comme sur les smartphones. Même logiciel pour tous les ordres de grandeur	Compatible avec de nombreux systèmes Smart Home, stockage par batterie, fabricants d'onduleurs et stations de recharge, utilisable depuis les maisons individuelles jusqu'aux immeubles collectifs	Pour le pilotage des consommateurs tels que les pompes à chaleur (état de charge, excédent PV) Entrées pour la sonde de température et le bouton-poussoir (par canal de commutation). Fonctionnement sur l'appareil, via APP, UDP ou automatiquement via une minuterie intégrée
inclus dans le pack «Série Pro Hybrid»	CHF 839.–, sauf Powermeter: CHF 269.–	à partir de CHF 250.–
		

Appareils de commande pour l'optimisation de la consommation propre

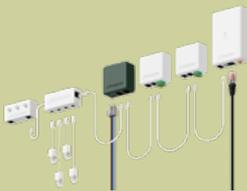
Sunny Home Manager 2.0	Smappee Infinity	smart-me
SMA Solar Technology AG	Smappee NV	smart-me AG
www.sma.de	www.smappee.com	www.smart-me.com
Appareils ménagers/chaleur/automobile	Appareils ménagers/chaleur/automobile/solaire	Appareils ménagers/chaleur/automobile
0	10x module de sortie avec 2 sorties chacun = 20 sorties	1x prise smart-me/compteur monophasé 32 A) 3x compteur triphasé MID 80A smart-me
Smart Home (prises télécommandées): Edimax, AVM FRITZ! Box; appareils électroménagers (lave-vaisselle, lave-linge, sèche-linge): Bosch, Siemens; Pompes à chaleur, résistances électriques et solutions de chauffage universelles: MY-PV, AEG Haustechnik, Stiebel-Eltron, Tecalor, Vaillant, Wolf; électromobilité: SMA EV Charger, Mennekes	Possibilité de commuter l'appareil monophasé avec un «Smappee Switch», commutation d'un contacteur pour les systèmes mono- ou multiphasés. Intégration avec: stations de recharge EVBox, KEBA, Alfen, Smappee, Powerdale et Greenflux; batterie: Varta; thermostat: Google NEST; Smart Home IFTTT, Niko, pompes à chaleurs Smart Grid Ready. Consommation d'énergie réelle et prévue, programme (calendrier), présence et activité, importation ou exportation réseau	Sortie sans potentiel, entrée numérique, SG Ready pour optimisation de la pompe à chaleur/résistance électrique, interface API ouverte, p. ex. Loxone, KNX, digitalSTROM, spline, Solar Manager
LAN	LAN, W-LAN, 3/4 G, ModbusRTU, Modbus TCP/IP, USB, RS-485, plusieurs sorties numériques	W-LAN, S0 (S0 non disponible sur la prise smart-me)
Application mobile, portail Web	Sur l'appareil, application mobile, portail Web et télémaintenance	Application mobile Android/iOS, portail Web
Application mobile, portail Web	Via application mobile ou portail Web	Application mobile Android/iOS, portail Web
Oui	Correspond à une fonction d'automatisation et d'optimisation intégrée prête à l'emploi.	Uniquement en combinaison avec l'intégration dans d'autres systèmes comme, p. ex., Loxone
Oui	Est une fonction d'automatisation et d'optimisation intégrée prête à l'emploi.	Oui, tarifs virtuels possibles
24 appareils, dont 12 avec gestion active de l'énergie	40	Illimité (les appareils smart-me peuvent être combinés entre eux sans restriction aucune)
Gestion prévisionnelle de l'énergie pour utilisation avec des onduleurs SMA et des systèmes de batteries. Mesure triphasée intégrée (jusqu'à 63 A directement > 63 via le transformateur de courant), est montée directement au point de connexion au réseau	Une gestion intelligente de l'énergie pour chaque besoin énergétique. L'énergie, le solaire, le gaz et l'eau en un coup d'œil. Données en temps réel et évolution des données via l'application mobile et le tableau de bord. Commande intelligente et équilibrage dynamique de la charge. Compatible avec les produits et services IdO. Installation facile, faibles coûts de maintenance, mises à jour à distance. Modulaire, évolutif.	Les appareils smart-me collectent les données de consommation de toutes les sources d'énergie. Les utilisateurs reçoivent des outils de visualisation, optimisent leur propre consommation grâce à des règles intelligentes et peuvent établir leurs propres factures d'énergie. Les appareil «smart energy» (pour une gestion intelligente de l'énergie) peuvent également être couplés à notre système via l'API.
n/a	CHF 250.- à CHF 800.-, en fonction du nombre de mesures et de fonctionnalités	Prise smart-me CH à partir de CHF 110.-, compteur monophasé smart-me à p. de CHF 195.-, compteur triphasé smart-me 80 A MID à p. de CHF 298.-, passerelle smart-me M-Bus à p. de CHF 498.-
		

Tableau 7: Appareils de commande courants pour l'optimisation de la consommation propre.

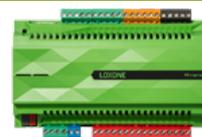
Solar Manager	Solar-Log Base 15/100/2000 et Solar Log 50 (Gateway)	Energieflussrelais EFR4000IP
Solar Manager AG	Solare Datensysteme GmbH	ZIEHL industrie-elektronik GmbH + Co KG
www.solarmanager.ch	www.solar-log.com	www.ziehl.de // www.trelco.ch
Eau chaude sanitaire/pompes à chaleur/station de recharge électrique/stockage par batterie/Smart Plugs (appareils électroménagers)	Appareils ménagers/chaleur/électromobilité/réseau (EAE)	Appareils ménagers/chaleur/automobile
0	Nouveau: avec module supplémentaire MOD I/O	3
Boîtiers de relais, prises intelligentes (mystrom, smart-me), résistances électriques et ballasts intelligents (Askoheat+, myPV ElwaE et AC Thor), pompes à chaleur avec optimisation de la valeur de consigne via LAN (Stiebel Eltron, Alpha Innotec, Heliotherm, S&W Futura HSW), toutes les autres pompes à chaleur via SG Ready (quatre états) ou PV Ready, les stations de recharge pour véhicules (recharge avec courant excédentaire, bornes de recharge: Keba, Etrell, Go-e, Juice Charger), les systèmes de stockage (Sonnen, Fronius, Solaredge, BYD, Kostal, Tesla, etc.)	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 et AC THOR. Pompes à chaleur: Stiebel Eltron, CTA, iDM et Hoval via le protocole duplex, autres via SG Ready. Stockage par batterie: Varta, Sonnen, E3DC, Kostal, BYD, SMA, RCT. Stations de recharge: KBEA, d'autres vont suivre	Sorties relais, sorties analogiques, SG Ready
LAN	Sortie numérique, 2x Ethernet, LAN, Modbus, PM+ (RSE), MOD I/O, RS-422, RS-485, entrée S0, Sunspec, extensible: eBus, KNX, M-Bus, USB, W-LAN	LAN, entrées numériques, sorties analogiques
Mobile App, portail Web. Application séparée pour l'installateur (pour faciliter l'installation).	En local via une interface Web, APP, portail Web, Solarfox, tableau de bord iFrame	Sur l'appareil, navigateur
Configuration via application mobile ou portail Web	Ordinateur portable, portail Web (à distance)	Affichage, navigateur
Oui (prévision de la production fondée sur le «Machine Learning» ou «apprentissage automatique» et spécifique au lieu géographique et valable pour les trois prochains jours; la prise en compte des prévisions météorologiques dans le système de régulation est en cours de planification)	Intégré (visualisation, pour les pompes à chaleur iDM), dans le nouveau WEB 4.0, cette pratique n'est plus utilisée	Non
Oui	Prévu, mise en œuvre possible pour Smart Energy avec logiques haut tarif et bas tarif	Non
illimité	10	3x numérique + 1x analogique
Données en temps réel sur toutes les plate-formes (applications mobiles, web) cadencées à 10 secondes. Priorité aux appareils intégrés (même en cas d'utilisation d'une batterie). Statistiques énergétiques pour le suivi/comparaison de la consommation d'énergie des appareils intégrés. Affichage sur l'axe des temps de l'instant (date/heure) où les appareils ont été mis en marche. Grande diversité d'appareils intégrés. Intégration profonde des pompes à chaleur avec décalage des valeurs de consigne. Commutation des stations de recharge électriques et des prises Smart directement via l'application. Gestion de charge au stade de la planification API au stade de la planification. RCP + consommation propre en coopération avec smart-me. Entreprise domiciliée (siège) en Suisse.	Y compris une surveillance complète de l'installation PV > 100 fabricants d'onduleurs, un portail web gratuit jusqu'à 30 kWp, application mobile Enerent en tant que système modulaire concentré sur le Smart Energy. Module entrée/sortie de base pour la gestion de l'injection (réglage de la puissance active et réactive), interface et raccordement au marketing direct intégrés, fonction zéro export (c.-à-d. que le SL contrôle dynamiquement l'OND en fonction de la consommation, pas d'injection dans le réseau)	Peut être combiné avec une grande diversité de composants indépendamment du fabricant, réglage en continu d'un consommateur, pilotage des thermoplongeurs avec 7 niveaux maximum. Autre fonction: surveillance de la puissance d'injection maximale
À partir de CHF 690.–	Solar Log 50 (passerelle) à p. de CHF 150.–; Solar-Log Base 15 à p. de CHF 300.–; Solar-Log Base 100 à p. de CHF 580.–; Solar-Log Base 2000 à p. de CHF 860.–; Licences d'extension pour SL 50 (jusqu'à 30 kWp) à p. de CHF 50.–; Licences d'extension pour Base 15 (jusqu'à 30 kWp) à p. de CHF 68.–; Licences d'extension pour Base 100 (jusqu'à 250 kWp) à p. de CHF 150.–	CHF 654.–, plus 3 transformateur de courant du commerce requis
		

Systèmes Smart Home

Produit	Quinn Energy Management	digitalSTROM Server dSS20	eSMART-building	FHEM
Fournisseurs	Alpiq AG	digitalSTROM AG	eSMART Technologies AG	Open Source
Lien	www.alpiq.com	www.digitalstrom.com	www.myesmart.com	www.fhem.de
Domaine d'optimisation	Appareils ménagers/ chaleur/électromobilité	Appareils ménagers/ chaleur	Monitoring de l'énergie/chaleur/ services administratifs*	Appareils ménagers/ chaleur/automobile
Relais internes	Aucun	Aucun	0	Divers
Acteurs externes	Numériques, analogiques, Modbus TCP, Modbus RTU, M-bus	Relais pour armoire de distribution électrique, relais pour installations, adapteurs, extensible à volonté	Module via Powerline; relais 10 A, variateur 150 W, sorties 0.10 V/ 1.10 V, Dali	Env. 500 protocoles ou appareils différents
Communication	Module LTE (communication autonomes), réseau et pilotage	Directement via les lignes électriques existantes 230 V	Réseau 230 V existant, M-Bus pour le relevé des compteurs, interface API – Énergie	EnOcean, ZigBee, KNX, LAN/W-LAN, Bluetooth, MQTT, 1Wire, Homematic, etc.
Affichage	Portail Web	Application smartphone, écrans muraux (tablettes, Thanos, u:lux), application Web bureautique	Panneau à écran tactile, application mobile, plate-forme Web	Site Web (divers modules frontaux)
Programmation	Configuration possible via le portail Web	Ordinateur portable, cloud, application mobile	Configuration par l'écran, pas de programmation	Script Perl, Shell, etc.
Prévisions météorologiques	Non	Oui	Oui	Oui
Optimisation tarifaire	Oui	Oui	Oui	Oui
Particularités	Connaissances les plus récentes en matière d'apprentissage machine sur les prévisions de consommation d'énergie à court terme, puis contrôle des charges flexibles afin d'augmenter la consommation propre. La solution est 100% automatisée et s'accompagne d'un logiciel de visualisation.	Adapté pour les nouvelles constructions et, en particulier, pour les rénovations, les mises en réseau et la commande intelligente de tout type de consommateur via 230V, implémentation PV par différents fournisseurs, p. ex. www.netsolar.ch.	Fonctions spéciales pour immeubles collectifs, telles que: Freecooling, station météo, protection contre la grêle, regroupement dans le cadre de la consommation propre (RCP), raccordement de fournisseurs tiers (basée sur le Web), intégration simple de portails de locataires (Allthings, Streamnow, etc.) *Facturation et message aux résidents	Système open source basé sur Perl pour la domotique, l'accès étant mis sur les utilisateurs aguerris ou les bricoleurs, grande communauté germanophone.
Prix indicatif des appareils	À partir de 1800.–	Serveur: CHF 539.–, compteur: CHF 224.–, relais à p. de CHF 69.–, Implémentation PV externe en sus	Monitoring à partir de CHF 750.–, solution complète avec interphone, commande du chauffage et monitoring de l'énergie, écran inclus, à partir de CHF 2'990.– Technique du bâtiment extensible à volonté	Logiciel gratuit
				

Tableau 8: Vue d'ensemble des systèmes Smart Home permettant d'optimiser la consommation propre.

enerFACE	Smart Energy Link	joules	Miniserver/Miniserver GO
planergie ag	Smart Energy Link AG	TNC Consulting AG	Loxone Electronics GmbH
www.enerface.ch	www.smartenergylink.ch	www.joules-energy.ch	www.loxone.com
Appareils ménagers/chaueur/ électricité/automobile	Chaleur/électromobilité/ appareil ménagers	Chaleur/électromobilité/appareils ménagers/gestion de l'énergie et de la charge	Gestion de l'énergie et de la charge/chauffage/électromobili- té et appareils ménagers
10	4	Aucun	
Relais, entrées 0–10 V, sorties 0–10 V, contrôleur de puissance avec filtre réseau pour les thermoplongeurs, stations de recharge, interface SG Ready, stockage par batterie	Tous les onduleurs avec le protocole SunSpec, toutes les pompes à chaleur avec SG Ready, intégration directe avec CTA, Stiebel Eltron; thermoplon- geurs dynamiques; stations de recharge: Zapcharger, Alfen, KEBA, ABB Lunic, Wallbe, easee (en cours de développement), expansion en cours; stockage par batterie: Tesla Powerpack, batteries de seconde vie (EVTEC Barista), Sonnen (en cours de développement), expansion en cours; KNX, eSmart	Pompes à chaleur avec Modbus TCP, SG-Ready, thermoplongeurs réglables, contrôle de la tempéra- ture ambiante, actionneurs de commutation, relais, onduleurs, KNX, systèmes de ventilation, stockage par batterie, stations de recharge. Système extensible de manière individuelle et modulaire.	Actionneurs centraux ou décentralisés, p. ex. relais, actionneurs d'ombrage, servo- moteurs de vannes de chauf- frage, actionneurs de commuta- tion pour la lumière et les prises de courant, actionneurs de variateurs et bien plus encore
W-LAN, LAN, 1 fil, USB, RS-485, entrées numériques et analogiques, SO	Modbus, Mbus, RS-232, RS-485, LAN, W-LAN, KNX, USB, HDMI	Modbus TCP, Modbus, M-Bus, KNX, EnOcean, API REST, SunSpec, etc.	Loxone Tree-Bus, système radio pour bâtiments Loxone-Air, LAN, également avec extension: Modbus, KNX et EnOcean; plus un grand nombre d'autres interfaces ouvertes
Portail Web, smartphone et tablette	Applications Web pour les proprié- taires, l'administration et les résidents	Portail Web pour l'administration et les résidents	Application, site Web
Via le navigateur	Système configuré selon les besoins du client et testé	Système configuré et programmé en fonction d'un projet donné	Ordinateur portable (LAN), application, site Web
Oui, peut être intégré	Oui	Oui	Oui
Oui	Oui	Oui	Oui
Boîtier disponible pour montage sur rail ou montage mural. Un très grand nombre de capteurs sont disponibles: p. ex. tempéra- tures, stations météorologiques, humidité, pression, compteur de consommation de chaleur, capteur de rayonnement, capteurs du vent, etc. Les rapports pour les RCP et autres communautés de consommation propre peuvent être générés sous forme de factures. Visualisation possible sur de grands écrans. Intégration possible dans sa propre page d'accueil. Solution White Label possible. Le pronostic de consommation d'énergie peut être activé sur la base des données d'historiques.	Solution intégrale pour la consom- mation propre et l'électromobilité dans les bâtiments et les zones multipartites composée de: optimisation de la consommation propre, gestion des pics de consommation, comptage et facturation de l'énergie pour l'électricité, le chauffage, l'eau et les recharges de voitures élec- triques, monitoring de l'énergie (monitoring Minergie), contrôle SmartGrid pour les zones et les quartiers (moyenne et basse tension). Serveur d'alarme pour les alarmes techniques.	Solution complète tout-en-un. Optimisation de la consommation propre et gestion de la charge pour l'électromobilité et la production de chaleur. Solution de facturation pour l'électricité, la chaleur, l'eau et l'électromobilité (RCP). Monitoring Minergie spécifique à l'objet via le pilotage des pompes à chaleur, des thermoplongeurs réglables, des stations de recharge et via l'intégration de dispositifs de stockage. Protection dynamique contre les surcharges du bâtiment en cas d'extension du réseau de stations de recharge.	Système complet d'automatisa- tion des bâtiments à usage d'habitation et commercial; utilisation dans les constructions nouvelles et existantes; logiciel gratuit pour la programmation, la télémaintenance et la visuali- sation sur téléphone mobile, tablette ou PC
À partir de CHF 385.–	CHF 980.–	Spécifique au projet	Miniserver CHF 699.–, Miniser- ver GO CHF 425.–



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. Certains systèmes de gestion de la consommation propre de Smart Energy Control laissent à chacun le soin de décider, p. ex. 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 7 présente et compare les systèmes les plus courants en Suisse et leurs caractéristiques (situation à l'été 2020). 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 8 présente et compare les systèmes les plus courants en Suisse et leurs caractéristiques (situation à l'été 2020). À noter qu'il s'agit des données des fabricants.

MÉMENTO

4 AUGMENTATION DE LA CONSOMMATION PROPRE EN SIX 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 ou une interface Smart Grid Ready en cas d'excédent 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» ou d'une autre interface de communication avec les appareils Smart Home, 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. «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 D'UNE 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 d'alimentation électrique de secours 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 bidirectionnelle. 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. Toutefois, veuillez garder à l'esprit qu'un toit partiellement occupé ne doit être envisagée que comme une solution de dernier recours, suffisante et nécessaire pour garantir l'efficacité économique. Dans tous les cas, demandez à votre installateur solaire un devis pour une occupation totale de la toiture. L'expérience a démontré que chaque kWc supplémentaire revient beaucoup moins cher (les frais du planificateur, les frais de l'échafaudage et les travaux annexes s'appliquent indépendamment de la taille de l'installation solaire).

ÉTAPE 6: REGROUPEMENT POUR LA CONSOMMATION PROPRE (RCP)

Si vous êtes propriétaire ou si vous construisez un immeuble collectif ou un lotissement comportant plusieurs maisons: vérifiez la possibilité de création d'un RCP. Vis-à-vis du fournisseur d'énergie, le RCP fait figure de consommateur unique et au sein du RCP, la consommation individuelle d'électricité est facturée au moyen de compteurs «privés». La consommation propre commune permet d'exploiter une plus grande partie du courant solaire produit et permet à tous les participants d'alléger leur facture d'électricité.

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'été 2020

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
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

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