

Pompes à chaleur et photovoltaïque

Principes de planification pour les
bâtiments résidentiels (villa et
Immeuble)

Une version actualisée sera
publiée prochainement (intégrant
la mobilité électrique. Ce
document est déjà disponible en
allemand

[https://pubdb.bfe.admin.ch/de/
publication/download/10636](https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10636)



Auteur

Prof. Dr. David Zogg, Smart Energy Engineering GmbH

Co-Auteurs

Rita Kobler, Office fédéral de l'énergie

Dr. Michel Haller, Institut de technologie solaire SPF

Peter Hubacher, Hubacher Engineering

Le présent document a été élaboré sur mandat de SuisseEnergie.

Les auteurs sont seuls responsables de son contenu.

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale : CH-3003 Berne

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

Table des matières

1	Introduction	6
1.1	La base d'une pompe à chaleur bien réglée	7
1.2	Pourquoi les pompes à chaleur sont-elles spécialement adaptées à l'optimisation de l'autoconsommation ?	8
2	Principes de base de l'optimisation de l'autoconsommation	9
2.1	Comptage selon la réglementation de l'autoconsommation.....	9
2.2	Chiffres clés.....	10
3	Potentiel de la pompe à chaleur	12
3.1	Comparaison du potentiel de stockage	12
3.2	Comparaison du potentiel de la technique de régulation	14
4	Intégration de la pompe à chaleur	15
4.1	Gestion et conception des accumulateurs de chaleur	15
4.2	Intégration électrique	17
4.2.1	Maison individuelle	17
4.2.2	Immeuble collectif.....	18
5	Mode de fonctionnement des pompes à chaleur	19
5.1	Pompes à chaleur cadencées (on/off)	19
5.2	Pompes à chaleur Inverter (à puissance variable)	23
5.3	Charge d'eau chaude par jour.....	27
5.4	Chauffage : Réduction nocturne VS augmentation diurne	29
5.5	Fonction de refroidissement.....	31
6	Interfaces	32
6.1	Intégration via l'interface SG-Ready®	32
6.1.1	Les points suivants doivent impérativement être respectés lors de l'installation et de la mise en service :	34
6.2	Intégration via l'entrée PV	35
6.3	Intégration via Modbus (TCP)	36
6.3.1	Les points suivants doivent impérativement être respectés lors de l'installation et de la mise en service :	37

6.4	Solution future via l'interface SmartGridReady®	37
6.5	Mise à niveau d'anciennes pompes à chaleur via l'entrée de blocage GRD	39
6.5.1	Les points suivants doivent impérativement être respectés lors de l'installation et de la mise en service :	40
7	Déroulement du projet	41
7.1	Planification de l'ensemble du système.....	41
7.1.1	Système de Monitoring et grandeurs de mesures	43
7.2	Installation de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie	43
7.3	Mise en service de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie avec contrôle du fonctionnement	44
7.4	Première phase d'exploitation sans optimisation PV	45
7.5	Ajustement des paramètres de la PAC et activation de l'optimisation PV	45
7.6	Deuxième phase d'exploitation avec optimisation PV.....	46
7.7	Ajustement des paramètres PV	46
7.8	Fonctionnement avec monitoring.....	46
8	Annexe I : Liste de contrôle de la planification	47
8.1	Données de l'installation	47
8.2	Informations sur le bâtiment	47
8.3	Raccordement au réseau et compteur	48
8.4	Installation photovoltaïque et onduleur	49
8.5	Pompe à chaleur	49
8.6	Système de stockage.....	51
8.7	Chauffe-eau pompe à chaleur.....	52
8.8	Inserts électriques.....	52
8.9	Installation solaire thermique (en option)	53
8.10	Système d'émission de chaleur et régulation de la température ambiante.....	54
8.11	Gestionnaire d'énergie.....	55
8.12	Monitoring	57
9	Annexe II : Liste de contrôle pour la mise en service et le contrôle de fonctionnement.....	58
9.1	Données de l'installation.....	58
9.2	Installation photovoltaïque.....	58

9.3	Intégration de la pompe à chaleur via SG-Ready	59
9.4	Intégration de la pompe à chaleur via l'entrée PV.....	61
9.5	Intégration de la pompe à chaleur via l'interface Modbus / IP.....	62
9.6	Intégration de la pompe à chaleur par le biais d'un blocage GRD	64
9.7	Chauffe-eau pompe à chaleur.....	66
9.8	Inserts électriques.....	67
9.9	Système d'émission de chaleur et régulation de la température ambiante.....	68
10	Annexe III : Liste de contrôle du suivi	69
10.1	Monitoring	69
10.2	Installation photovoltaïque.....	71
10.3	Intégration de la pompe à chaleur.....	71
10.4	Chauffe-eau pompe à chaleur.....	79
10.5	Inserts électriques.....	81
11	Bibliographie.....	82

1 Introduction

Depuis quelques années, 80 à 95% des nouvelles constructions sont équipées de pompes à chaleur comme système de chauffage. L'utilisation de pompes à chaleur est également en constante augmentation dans les rénovations en remplacement des chauffages au mazout et au gaz. De nombreux cantons disposent d'un programme de subvention pour le remplacement du chauffage, car le remplacement d'un chauffage à énergie fossile par une pompe à chaleur permet d'économiser beaucoup de CO₂. Dans les autres cantons, il est possible de demander une subvention à myclimate pour les pompes à chaleur jusqu'à 15 kW.

En Suisse, le photovoltaïque (PV) est subventionné au niveau fédéral par Pronovo. La rétribution unique pour les petites installations (PRU) est destinée aux tailles inférieures à 100 kilowatts, la rétribution unique pour les grandes installations (GRU) à partir de 100 kilowatts. Il existe en outre des programmes de subvention de certains cantons, communes et fournisseurs d'énergie.

L'autoconsommation signifie que vous produisez de l'électricité solaire sur votre toit ou votre façade et que vous la consommez vous-même sans passer par le réseau électrique. L'autoconsommation est rentable, car l'électricité autoproduite est moins chère pour les ménages que l'électricité provenant du réseau. Les coûts d'utilisation du réseau ne s'appliquent pas à l'électricité autoconsommée. Vous économisez donc de l'argent en utilisant l'électricité produite sur votre propre toit.

Pour les bases et les recommandations concernant l'optimisation de l'autoconsommation d'électricité solaire, nous nous référons aux brochures [EVO 2018] pour les maisons individuelles et [EVMFH 2018] pour les immeubles collectifs. Le regroupement pour l'autoconsommation (RCP) est également aujourd'hui un instrument important pour augmenter l'autoconsommation dans les immeubles collectifs ou les sites, voir à ce sujet le guide [RCP 2019].

En règle générale, il est recommandé d'utiliser un système de gestion de l'énergie qui régule de manière optimisée pour le PV différents consommateurs tels que les pompes à chaleur, les accumulateurs d'eau chaude, les stations de recharge pour véhicules électriques et les appareils ménagers. Les brochures [EMS 2020] ou [EVO 2018], par exemple, donnent un aperçu du marché des systèmes actuels. L'avantage de ces systèmes est leur extensibilité avec des interfaces ouvertes.

Les bases du présent document ont été élaborées dans le cadre du projet de recherche [OPTEG 2016], dans lequel différentes méthodes de régulation de pompes à chaleur ont été étudiées par simulation en vue d'optimiser la consommation propre. Entre 2016 et 2021, plus de 50 installations ont été suivies dans la pratique, au cours desquelles les méthodes de régulation ont été testées et optimisées de manière approfondie. Les installations concernaient des maisons individuelles, des immeubles collectifs et des sites entiers [MÖRIKEN 2020]. Diverses évaluations ont montré que les résultats des simulations de l'époque pouvaient être mis en pratique. Le doublement prévu du taux de couverture solaire en tenant compte de la masse thermique du bâtiment a pu être réalisé dans des installations réelles sans perte de confort. Des méthodes de régulation plus simples via l'interface standard SG-Ready ont également pu être testées de manière approfondie. Les recommandations pour l'installation et la mise en service sont donc basées sur l'expérience pratique.

Dans le rapport [WP-PV 2020], des optimisations simples via SG-Ready et des optimisations intelligentes pour les maisons individuelles ont été comparées avec des installations mentionnées. Les optimisations simples ont certes permis d'augmenter les taux de couverture solaire, mais un réajustement des paramètres était impérativement nécessaire. Les optimisations intelligentes ont permis de doubler environ les taux de couverture solaire des pompes à chaleur.

En outre, le rapport [WP-PV 2020] a présenté différentes étapes de l'intégration des pompes à chaleur et a élaboré la base des présentes directives de planification. Parallèlement, un tableau des fabricants a été publié [WP-PV-Tab], qui contient une liste de pompes à chaleur adaptées à la combinaison avec le PV et qui est actualisé en permanence.

L'outil Excel [PVopti 2018] peut également être utilisé pour estimer le taux d'autoconsommation et d'autarcie des bâtiments. Toutefois, l'optimisation des pompes à chaleur y est très simple, puisqu'elle ne distingue que le fonctionnement "jour" et "nuit". Le potentiel des optimisations intelligentes est nettement plus élevé.

Des calculs détaillés sur une base professionnelle sont possibles avec l'outil [PolySun®]. L'avantage de cet outil réside dans sa grande base de données de modèles de pompes à chaleur, de bâtiments et de PV validés, avec des données de fabricants déposées. Dans la dernière version, un simple régulateur SG-Ready est également déposé. Celui-ci a toutefois été remanié dans le cadre du présent travail. Sur demande, l'auteur peut fournir des modèles pour les étapes d'intégration PAC présentées dans ce document. Cela permet d'analyser le système dès la phase de planification afin d'augmenter les indicateurs.

Dans la pratique, il est important d'installer, de mettre en service et d'optimiser correctement les systèmes de pompe à chaleur et de gestion de l'énergie pendant la première phase d'exploitation. Cela a une grande influence sur les chiffres clés effectivement atteints. C'est pourquoi le présent document met également l'accent sur ces points.

1.1 La base d'une pompe à chaleur bien réglée

La condition la plus importante est une pompe à chaleur correctement dimensionnée et bien réglée. Cela implique un réglage correct de la courbe de chauffe, qui doit être adaptée au bâtiment. L'équilibrage hydraulique correct est également essentiel pour garantir une répartition uniforme de la chaleur. Il est recommandé d'ajuster le système de pompe à chaleur au cours de la première année de fonctionnement, si possible sans optimisation PV. Ce n'est qu'une fois que le système est correctement réglé qu'il doit être optimisé.

Pour le dimensionnement et le réglage correct, nous renvoyons aux normes et réglementation suivantes (voir 11 Bibliographie) :

- [SIA 380] et [SIA 380/1] : Bases pour le calcul énergétique des bâtiments et des besoins en chaleur de chauffage.
- [SIA 384/1] : Bases et exigences pour les installations de chauffage dans les bâtiments.

- [SIA 385/1] et [SIA 385/2] : Bases, exigences et dimensionnement des installations d'eau chaude sanitaire.
- [WPSM 2020] : Cahier des charges et schémas fonctionnels pour le module système de pompe à chaleur.

L'installation de pompe à chaleur doit être réalisée et mise en service conformément aux prescriptions de qualité PAC système-module (PAC-SM). Il est important d'effectuer un contrôle ultérieur selon [WPSM-NK 2020] au plus tard après trois ans de fonctionnement. Pour les systèmes avec optimisation PV, le contrôle ultérieur est recommandé au plus tard après un an. Le nouvel aide-mémoire [WPSM-PV 2021] attire l'attention sur des exigences spéciales en cas de combinaison de PAC et PV et doit également être pris en compte.

Les fiches suivantes donnent des indications supplémentaires sur l'intégration correcte des générateurs de chaleur :

- [WWS 2017] : Recommandations pour des systèmes d'eau chaude efficaces.
- [HYD 2020] : Fiche technique pour l'équilibrage hydraulique des installations de chauffage.
- [IWP 2021] : Fiche technique pour l'utilisation de pompes à chaleur Inverter (à puissance réglable ou modulante).
- [SPF 2018] : Fiche technique sur les accumulateurs solaires combinés.

1.2 Pourquoi les pompes à chaleur sont-elles spécialement adaptées à l'optimisation de l'autoconsommation ?

Associées au stockage thermique, les pompes à chaleur se prêtent très bien à l'optimisation de l'autoconsommation. Ainsi, en été, le chauffage de l'eau peut être assuré à 100% par l'électricité photovoltaïque. Mais le chauffage pendant la mi-saison (printemps et automne) peut également être bien coordonné avec la production PV. En hiver, la quasi-totalité de la production solaire est utilisée dans la pompe à chaleur. Aujourd'hui, les pompes à chaleur disposent d'interfaces spéciales qui permettent de les intégrer facilement via un système de gestion de l'énergie. Grâce à ces interfaces, les pompes à chaleur peuvent être mises en marche de manière ciblée en cas d'excédent de PV et l'énergie peut être stockée thermiquement pendant la journée. De plus, les pompes à chaleur sont très efficaces et permettent d'économiser de l'énergie tout au long de l'année.

2 Principes de base de l'optimisation de l'autoconsommation

2.1 Comptage selon la réglementation de l'autoconsommation

Depuis avril 2014, l'installation de compteurs selon la figure 1 est utilisée pour les installations d'autoconsommation. Au point de raccordement au réseau, il n'y a plus qu'un seul compteur bidirectionnel. Celui-ci est installé par le fournisseur d'énergie (EUV) et comptabilise l'achat net ou l'injection par rapport au réseau électrique.

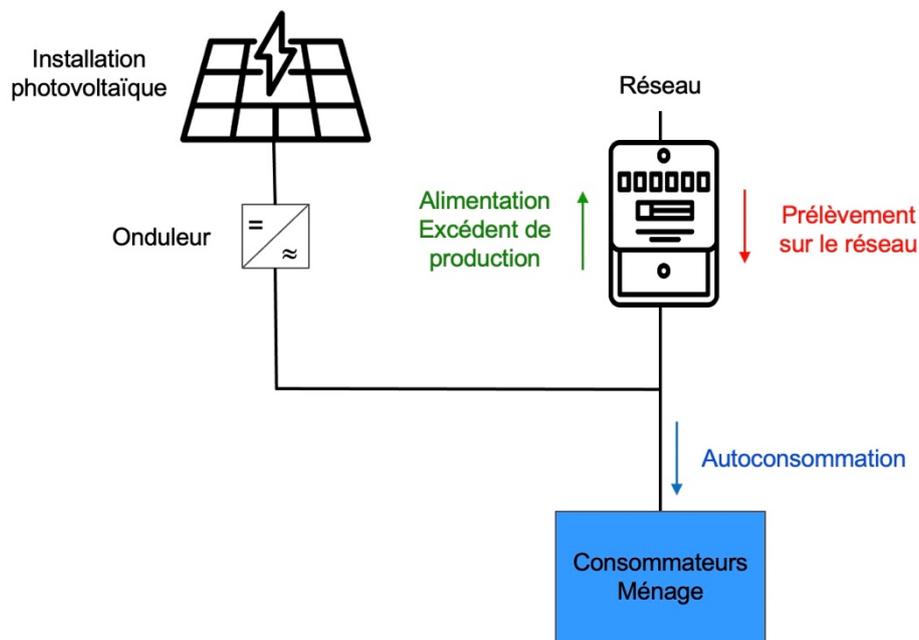


Figure 1 : Schéma de raccordement avec compteur bidirectionnel au point de raccordement au réseau après régulation de l'autoconsommation.

Cette disposition des compteurs garantit que l'électricité photovoltaïque produite localement peut être utilisée simultanément en autoconsommation, sans être facturée. L'électricité autoconsommée est donc "gratuite".

Comme les tarifs d'injection ont massivement baissé par rapport aux tarifs de prélèvement, l'autoconsommation est rentable. Dans ces bases de planification, il est question de la manière dont l'autoconsommation peut être augmentée de manière économique et écologique par des mesures ciblées en combinaison avec des pompes à chaleur (ou d'autres consommateurs).

Pour les installations ≥ 30 kWp, un compteur de production séparé est nécessaire (installation supplémentaire si elle n'existe pas encore). Pour les petites installations jusqu'à 30kWp, aucun compteur de production séparé n'est nécessaire de la part de l'entreprise d'approvisionnement en électricité.

Pour produire une puissance nominale de 1 kWp, il faut environ 6 à 7 m² de surface de module. Sur le Plateau, cela permet de produire en moyenne environ 1'000 kWh d'électricité par an.

Du point de vue financier, il est intéressant d'utiliser toute la surface de toit appropriée pour la production PV, car les coûts de base sont élevés et les coûts supplémentaires des modules sont relativement faibles.

2.2 Chiffres clés

La figure 2 montre schématiquement l'évolution de la production et de la consommation au cours d'une journée. Pour simplifier, on suppose ici que la consommation est constante.

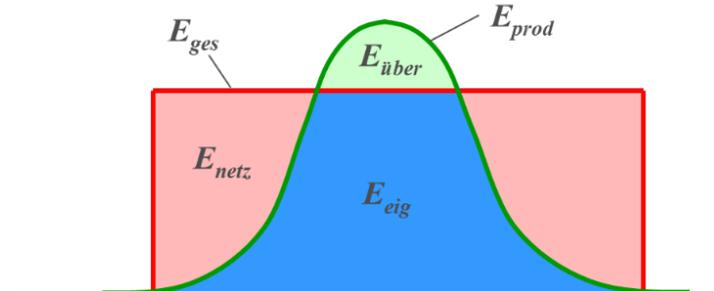


Figure 2 : Evolution temporelle de la production et de la consommation avec prélèvement sur le réseau (rouge), consommation propre (bleu) et excédent (vert)

Les grandeurs énergétiques suivantes sont utilisées à cet effet (unité kWh = kilowattheures) :

E_{prod}	Production d'électricité de l'installation PV (kWh)
E_{ges}	Consommation totale d'électricité du bâtiment (kWh)
E_{eig}	Autoconsommation, produite et consommée simultanément (kWh)
$E_{über}$	Excédent, injecté dans le réseau (kWh)
E_{netz}	Prélèvement sur le réseau (kWh)

Les indicateurs suivants sont définis sur cette base :

Taux d'autoconsommation : Le taux d'autoconsommation est le rapport entre la consommation propre et la production totale d'électricité de l'installation PV. L'optimisation de l'installation photovoltaïque se concentre principalement sur l'augmentation du taux d'autoconsommation.

$$R_{eig} = \frac{E_{eig}}{E_{prod}} = \frac{E_{ges} - E_{netz}}{E_{prod}}$$

Taux d'autosuffisance : le taux d'autosuffisance met en relation la consommation propre avec la consommation totale d'électricité du bâtiment. C'est une mesure de l'indépendance du bâtiment par rapport au réseau électrique public. Il n'est pas possible d'atteindre un taux d'autosuffisance de 100 % à un coût raisonnable, mais celui-ci doit être le plus élevé possible sur l'ensemble de l'année.

$$R_{aut} = \frac{E_{eig}}{E_{ges}} = \frac{E_{ges} - E_{netz}}{E_{ges}}$$

Taux de couverture solaire : le taux de couverture solaire est défini de la même manière que le taux d'autosuffisance, mais ne se réfère qu'à un seul appareil. Pour la pompe à chaleur, la part d'autoconsommation $E_{eig,WP}$ est rapportée au besoin total en électricité de la pompe à chaleur EWP.

Le taux de couverture solaire est la mesure de l'optimisation PV de la pompe à chaleur.

$$R_{sol,WP} = \frac{E_{eig,WP}}{E_{WP}}$$

Prélèvement sur le réseau par an : le prélèvement sur le réseau en kWh, additionné sur l'année, donne des informations sur le reste d'électricité soutiré du réseau, qui est particulièrement important pendant les mois d'hiver. A l'avenir, le cas de figure de l'hiver avec une faible production photovoltaïque sera critique, d'où l'importance de la réduction du prélèvement sur le réseau. A des fins de comparaison, le prélèvement annuel sur le réseau peut être rapporté à la surface de référence énergétique SRE ou au nombre de personnes n_{pers} dans le ménage.

$$E_{netz,EBF} = \frac{E_{netz}}{A_{EBF}} \quad (kWh/m^2)$$

$$E_{netz,pers} = \frac{E_{netz}}{n_{pers}} \quad (kWh/Person)$$

Injection dans le réseau et coûts de l'électricité par an : l'injection dans le réseau E_{einsp} en kWh, cumulée sur l'année, renseigne sur l'injection d'électricité excédentaire dans le réseau. Avec l'achat sur le réseau E_{netz} et les tarifs, les coûts nets de l'électricité K peuvent être calculés sur l'année. Les coûts d'injection sont intégrés en négatif, car ils sont remboursés.

$$K = \frac{r_{netz}}{100} \cdot E_{netz} - \frac{r_{einsp}}{100} \cdot E_{einsp} \quad (CHF)$$

Avec

r_{netz} = Tarif moyen de consommation sur le réseau électrique (cts/kWh)

r_{einsp} = Tarif de rachat sur le réseau électrique (cts/kWh)

L'autoconsommation réduit à la fois les coûts d'achat sur le réseau et la rétribution de l'injection, mais les coûts d'achat sur le réseau ont un poids plus important, car le tarif d'achat sur le réseau r_{Netz} est généralement beaucoup plus élevé que le tarif d'injection r_{einsp} .

Taux d'utilisation du réseau : Le taux d'utilisation du réseau peut également être considéré comme une alternative à l'achat sur le réseau [CVLT 2019]. Celui-ci met en relation le prélèvement sur le réseau E_{netz} avec la consommation d'électricité du ménage E_{HH} et les besoins en énergie thermique pour l'eau chaude Q_{WW} et le chauffage Q_{Heiz} . Toutefois, des compteurs de chaleur sont nécessaires pour enregistrer les grandeurs thermiques.

$$R_{netz} = \frac{E_{netz}}{E_{HH} + Q_{WW} + Q_{Heiz}}$$

Efficacité, coefficient de performance annuel : l'efficacité représente l'énergie utile par rapport à l'énergie utilisée, pour les pompes à chaleur il s'agit du coefficient de performance annuel (COPA). Celui-ci rapporte la chaleur utilisable pour l'eau chaude Q_{ECS} et le chauffage $Q_{chauffage}$ par rapport à l'énergie électrique utilisée par la pompe à chaleur

E_{PAC} . L'efficacité devrait toujours être au centre des préoccupations, même pour les systèmes optimisés pour l'autoconsommation, en particulier en hiver, lorsque l'ensoleillement est faible. La saisie exacte du coefficient de performance annuel nécessite également des compteurs de chaleur. Les températures réglées pour l'eau chaude et le chauffage jouent un rôle essentiel dans le coefficient de performance annuel. Plus celles-ci sont élevées, plus le coefficient de performance annuel est faible.

$$COPA_{PAC} = \frac{Q_{ECS} + Q_{ch}}{E_{PAC}}$$

C'est un avantage de calculer séparément le coefficient de performance annuel pour le chauffage et la production d'eau chaude. Cela suppose toutefois une saisie séparée de l'énergie électrique pour le chauffage ($E_{PAC,chauffage}$) et la production d'eau chaude ($E_{PAC,ECS}$).

$$COPA_{PAC,ch} = \frac{Q_{ch}}{E_{PAC,ch}}$$

$$COPA_{PAC,ECS} = \frac{Q_{ECS}}{E_{PAC,ECS}}$$

Il est important de tenir compte de tous les indicateurs ci-dessus lors de l'optimisation. Il est fortement déconseillé de maximiser unilatéralement le taux d'autoconsommation, car cela aboutirait à des systèmes inefficaces. Il est par exemple inutile de consommer de manière inefficace le surplus d'électricité dans une installation électrique. Cela augmente certes le taux d'autoconsommation, mais réduit l'injection dans le réseau et détériore l'efficacité, ce qui n'est ni économique ni écologique. En revanche, une pompe à chaleur augmente tous les indicateurs, y compris l'efficacité. Une réduction de l'alimentation du réseau est particulièrement déterminante en hiver et permet d'économiser de l'argent.

3 Potentiel de la pompe à chaleur

3.1 Comparaison du potentiel de stockage

L'installation de pompe à chaleur convient très bien à la transformation efficace de l'électricité autoproduite en chaleur utile. Le stockage permet d'utiliser l'énergie thermique pour les périodes de besoin où l'on ne dispose pas de son propre courant photovoltaïque. Toutefois, le stockage d'énergie est toujours lié à des pertes d'énergie et à des coûts d'investissement supplémentaires. C'est pourquoi une intégration intelligente des masses et des volumes de stockage déjà existants est particulièrement intéressante.

Les paragraphes suivants comparent différents types de stockage d'énergie dans les bâtiments, tant thermiques que électriques. La figure 3 montre la situation pour une maison individuelle avec une estimation grossière du potentiel de stockage et des coûts supplémentaires. Le stockage thermique le plus important est de loin le bâtiment lui-même. Dans le cas d'une construction massive avec une forte proportion de béton ou de pierre, il est possible de stocker jusqu'à 60 kWh d'énergie thermique pour une augmentation de 3 °C de la température du bâtiment. En général, il est possible de stocker environ 20 kWh pour 1 °C d'augmentation de la température. Cette valeur se base sur les

capacités thermiques spécifiques des bâtiments en construction massive selon [SIA 380], multipliées par la surface de référence énergétique typique d'une maison individuelle. L'utilisation du bâtiment comme masse de stockage n'entraîne pas de coûts d'investissement supplémentaires. Les réservoirs techniques tels que les réservoirs d'eau chaude et les réservoirs tampons se prêtent également bien au stockage thermique. Toutefois, leur potentiel est plus faible, de l'ordre de 10 à 20 kWh. Si les accumulateurs sont de taille normale, il n'y a pas non plus de coûts supplémentaires. En plus, les accumulateurs thermiques peuvent être chargés et déchargés autant de fois que nécessaire sans que cela n'affecte leur durée de vie.

La situation est différente pour les accumulateurs électriques. Ceux-ci impliquent des coûts d'investissement supplémentaires et ont une durée de vie limitée. Avec les tarifs d'électricité actuels, la rentabilité n'est pas encore assurée et le bilan écologique est moins bon que pour les accumulateurs thermiques [SOLBAT 2020]. Les accumulateurs à batterie servent de tampon à court terme au cours de la journée en cas de surplus existant, le prélèvement sur le réseau en hiver ne peut donc pas être réduit de manière significative.

Il est toutefois intéressant d'utiliser des véhicules électriques dans lesquels les batteries sont déjà installés. Aujourd'hui, il est possible de disposer d'une grande capacité de stockage, jusqu'à 80 kWh ou plus. Les coûts supplémentaires se limitent, côté bâtiment, à l'installation d'une station de recharge. À l'avenir, il existera également des possibilités de charge bidirectionnelle, ce qui permettra d'utiliser la batterie du véhicule pour fournir de l'énergie au bâtiment (V2H = Vehicle-To-Home). Pendant les mois d'été en particulier, le véhicule électrique permet une utilisation judicieuse du surplus d'électricité photovoltaïque.

Accumulateur	Capacité	Correspond au nombre de batteries fixes	Coûts supplémentaires pour l'installation au niveau du bâtiment	Nombre de cycles de charge
Masse du bâtiment (béton massif)	Env. 60 kWh (avec une augmentation de la température de 3°C)		Aucun	À choix
Ballon d'eau chaude	10...20 kWh		Aucun	À choix
Stockage de la batterie dans un véhicule électrique	20...80 kWh		Env. CHF 1000.- (Borne de recharge)	Env. 5'000
Stockage sur batterie fixe	10 kWh		À partir de CHF 10'000.-	Env. 5'000

Figure 3 : Comparaison entre les accumulateurs pour maisons individuelles.

Remarque : dans la liste ci-dessus, il convient de noter que l'énergie électrique ne peut en principe pas être directement comparée à l'énergie thermique. D'un point de vue thermodynamique, l'énergie électrique est de plus haute qualité (énergie « pure »). Les pompes à chaleur permettent de convertir l'énergie électrique en énergie thermique avec un facteur de trois à cinq (COP).

3.2 Comparaison du potentiel de la technique de régulation

Nous allons maintenant voir dans quelle mesure le taux de couverture solaire de la pompe à chaleur peut être augmenté par l'utilisation de la technique de régulation. La figure 4 donne un aperçu des facteurs d'augmentation possibles avec différentes stratégies de régulation (valeurs optimales tirées de la pratique). Le "taux de couverture solaire naturel" sans optimisation est supposé avoir un facteur de 1 et les augmentations relatives sont considérées.

Lors de l'optimisation manuelle, les programmes horaires pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) de la pompe à chaleur sont réglés de manière ciblée sur la journée. Pour l'eau chaude sanitaire, il est ainsi possible d'augmenter fortement la production jusqu'à un facteur d'environ 2. Pour le chauffage, le taux de couverture peut être légèrement influencé par une réduction ou une augmentation ciblée de la nuit (paragraphe 5.3).

On distingue deux cas de figure dans l'optimisation automatique pour le chauffage. Dans le cas de l'optimisation simple, seul le réservoir tampon est surélevé en cas d'excédent solaire. Cela entraîne une augmentation jusqu'à un facteur d'environ 1,3, en fonction de la surélévation de température réglée. Une telle régulation nécessite un gestionnaire d'énergie et utilise l'interface SG-Ready ou une entrée PV du côté de la pompe à chaleur. De tels systèmes seront examinés plus tard dans les sections 6.1 et 6.2.

Lors de l'optimisation globale, le bâtiment est également utilisé activement comme réservoir thermique. Cela suppose une gestion thermique avec intégration des sondes d'ambiance et l'utilisation d'une interface moderne du côté de la pompe à chaleur. De tels systèmes seront examinés plus tard dans les sections 6.3 et 6.4. Dans ce cas, le taux de couverture solaire peut être augmenté jusqu'à un facteur 2, même pour le chauffage.

Pour l'eau chaude sanitaire, une méthode de régulation simple avec décalage sur la journée suffit dans tous les cas. Ce point sera abordé plus tard au chapitre 5.

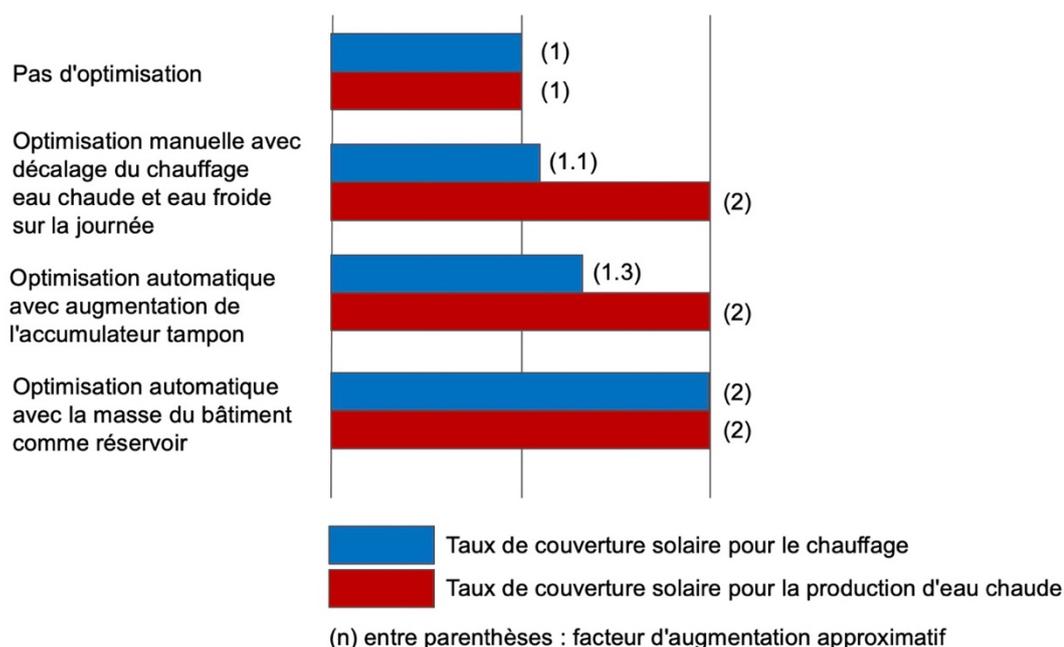
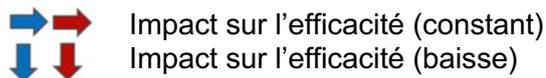


Figure 4 : Comparaison du potentiel d'augmentation de différentes stratégies de régulation.



Il convient de noter que les valeurs ci-dessus ne peuvent être atteintes que si le gestionnaire d'énergie et la pompe à chaleur sont tous deux réglés de manière optimale et adaptés l'un à l'autre. Ce point est abordé dans le cadre du déroulement du projet au chapitre 7.

4 Intégration de la pompe à chaleur

4.1 Gestion et conception des accumulateurs de chaleur

Le schéma de la figure 5 montre les accumulateurs présents dans le bâtiment et leur gestion. En principe, les réservoirs techniques, c'est-à-dire les réservoirs d'eau chaude et les réservoirs tampons, ainsi que le bâtiment lui-même conviennent comme réservoirs thermiques. Lors de l'optimisation PV, les températures des accumulateurs sont augmentées de manière ciblée dès qu'il y a un excédent solaire. Par défaut, les températures du réservoir d'eau chaude et du réservoir tampon sont augmentées afin de pouvoir stocker de l'énergie supplémentaire. En cas de surélévation du réservoir tampon, il est nécessaire d'installer une vanne de mélange dans le circuit de chauffage afin de découpler la surélévation du système d'émission de chaleur. Si la masse du bâtiment est utilisée comme réservoir thermique, l'avantage est une capacité de stockage plus élevée avec une élévation de température nettement plus faible. Il en résulte un fonctionnement efficace de la pompe à chaleur. Une baisse ciblée des températures en dehors des périodes de production photovoltaïque permet d'augmenter encore l'efficacité du système.

La gestion ciblée des accumulateurs avec des phases de chauffage et d'abaissement plus longues permet également de réduire la cadence de la pompe à chaleur, ce qui a une influence positive sur sa durée de vie.

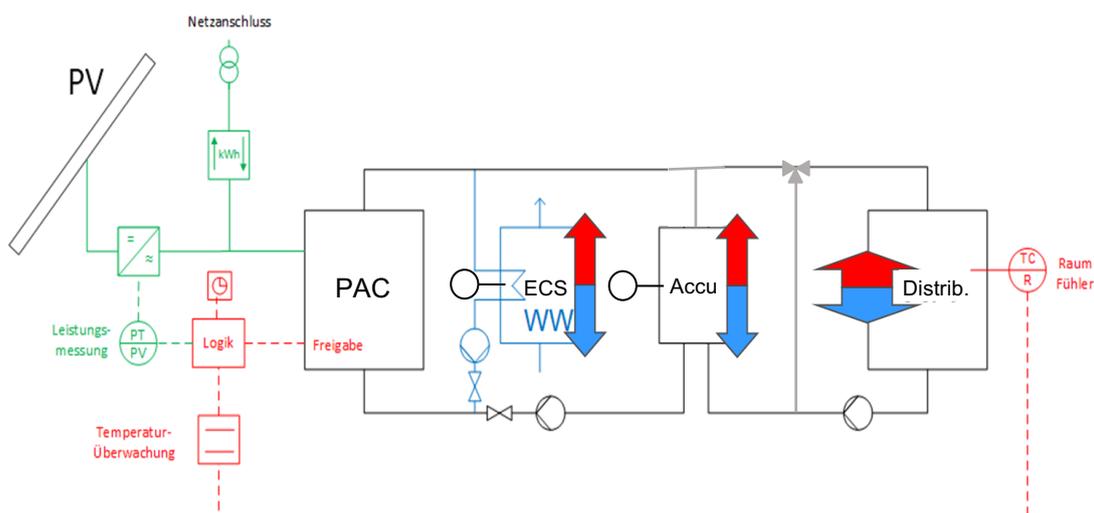


Figure 5 : Raccordements hydrauliques et électriques pour différentes accumulations thermiques (flèches).

Légendes de la figure 5 :

PV = Photovoltaïque

PAC = Pompe à chaleur

ECS = Réservoir d'eau chaude

Accu = Réservoir tampon chauffage

Distrib. = Système d'émission de chaleur (chauffage au sol, radiateur)

Les températures de l'accumulateur sont mesurées à l'aide d'une ou de plusieurs sondes de température par accumulateur. Si la masse du bâtiment doit être utilisée comme réservoir, la température ambiante doit également être mesurée et surveillée afin de respecter le confort.

Conformément à [WPSM-PV 2021], les points suivants doivent être pris en compte lors de la conception :

- Conception fondamentalement identique de l'installation avec et sans utilisation du PV.
- Avec l'utilisation du PV, la température de l'accumulateur est surélevée, mais uniquement avec l'électricité PV, pas en fonctionnement normal.
- L'accumulateur de chaleur pour le chauffage peut être légèrement surdimensionné afin de stocker davantage de chaleur.
- Il faut une vanne mélangeuse supplémentaire en aval de l'accumulateur de chauffage (accu en parallèle) afin d'abaisser les températures de départ habituelles pour les systèmes d'émission de chaleur. La vanne mélangeuse ne doit toutefois être utilisée que pour la surélévation PV et doit être ouverte en temps normal (donc pas de mélange).
- L'eau chaude sanitaire doit être produite en priorité par la pompe à chaleur, même en mode PV optimisé. Pour des raisons d'efficacité, il n'est pas recommandé de brancher des corps-de-chauffe électriques. S'ils sont tout de même utilisés, ils ne doivent être enclenchés qu'en deuxième priorité et uniquement en présence d'un excédent PV.
- Même en mode PV optimisé, la pompe à chaleur ne devrait pas fonctionner au-delà de ses limites d'utilisation. Un fonctionnement prolongé aux limites d'utilisation devrait également être évité pour des raisons de durée de vie.

De plus, il faut veiller à ce que le réservoir d'eau chaude sanitaire soit dimensionné de telle sorte qu'il ne doive être chargé qu'une seule fois en 24 heures pour une consommation moyenne du ménage considéré.

Si la chaleur pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux est stockée dans un accumulateur (accumulateur combiné, accumulateur avec production d'eau chaude instantannée), seuls des accumulateurs avec certificat de stratification doivent être utilisés à cet effet (conformément à la norme de contrôle [SPF-PV86]).

4.2 Intégration électrique

4.2.1 Maison individuelle

Le schéma de la figure 6 montre l'intégration électrique des composants dans une maison individuelle. Le fournisseur d'énergie installe uniquement un compteur EVU bidirectionnel au point de raccordement au réseau. Celui-ci est utilisé à des fins de facturation vis-à-vis du fournisseur d'énergie. Pour les installations PV < 30 kWp, le fournisseur d'énergie n'a pas besoin de compteurs de production séparés. Comme les compteurs EVU actuels ne disposent généralement pas d'interface, les données ne peuvent généralement pas être utilisées pour l'optimisation PV interne. Même pour les futurs compteurs intelligents, cela ne sera possible qu'avec des modules de communication appropriés.

Un gestionnaire d'énergie est installé du côté du bâtiment pour coordonner tous les consommateurs de manière centralisée. Le gestionnaire d'énergie doit disposer d'interfaces ouvertes pour la commande de consommateurs typiques tels que les pompes à chaleur, les chauffe-eaux et les stations de recharge pour véhicules électriques. Il doit également être facilement configurable et extensible. Le gestionnaire d'énergie devrait être un appareil indépendant. Cela présente des avantages lors de la maintenance ou d'un éventuel remplacement.

Le gestionnaire d'énergie peut également faire partie d'un produit existant, par exemple dans le cas d'une pompe à chaleur "intelligente" ou d'un onduleur "intelligent" doté de fonctions de gestion de l'énergie. Mais même dans ce cas, des interfaces ouvertes devraient être disponibles pour intégrer d'autres consommateurs et il devrait être possible de configurer librement des produits tiers. L'installation parallèle de plusieurs appareils dotés de fonctions de gestion de l'énergie doit être évitée. La commande et la coordination des consommateurs doivent être centralisées via un système.

Pour l'optimisation, le gestionnaire d'énergie doit impérativement tenir compte de la production de l'installation photovoltaïque et de la consommation de l'ensemble du ménage. Pour ce faire, des compteurs internes sont installés (en bleu sur le schéma). Le compteur PV interne sert à enregistrer la production. Ce compteur mesure à la fois la production et la consommation d'énergie de l'installation PV.

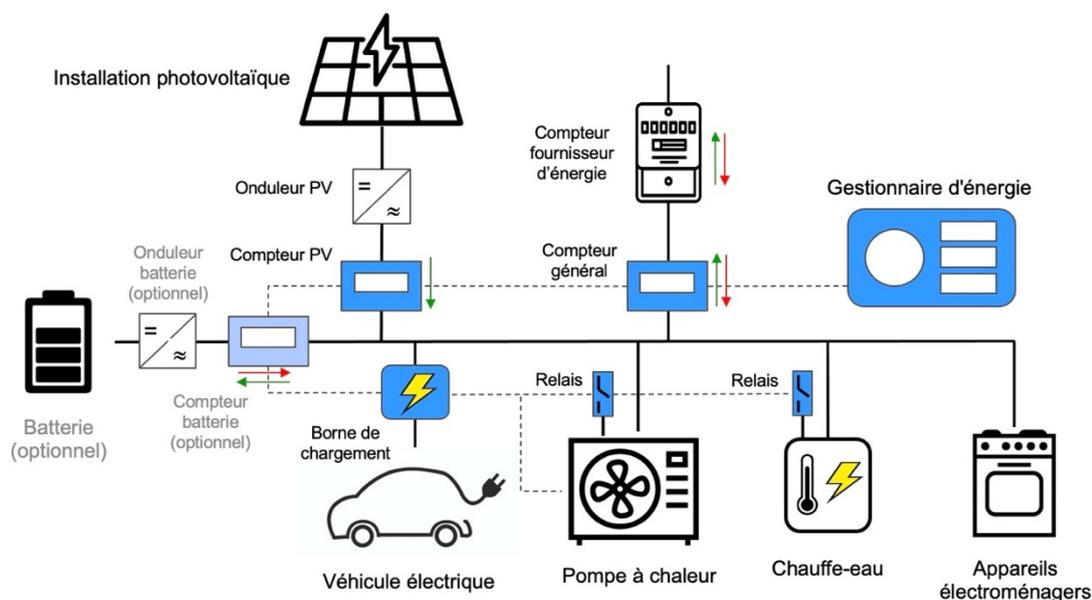


Figure 6 : Schéma d'intégration électrique pour maison individuelle.

Le compteur interne de consommation totale sert à enregistrer l'ensemble du courant domestique. Il peut être installé à différents endroits. Dans le présent schéma, le compteur est installé en série avec le compteur EVU et mesure, comme ce dernier, l'injection ou l'achat résultant dans le réseau. Dans ce cas, le compteur est bidirectionnel et enregistre la puissance instantanée ainsi que l'énergie dans les deux sens. S'il y a une batterie, celle-ci doit être mesurée par un autre compteur bidirectionnel.

Si l'onduleur dispose d'une interface correspondante, il est possible de se passer du compteur PV interne. Les données sont alors directement lues par l'onduleur. Il en va de même pour le système de batterie en option.

Les consommateurs sont commandés par des contacts de relais ou des interfaces intelligentes. Cela vaut en principe aussi pour la pompe à chaleur ou les chauffe-eaux externes. Les détails de la commande sont abordés au chapitre 6.

Les stations de recharge modernes pour véhicules électriques sont intégrées via des interfaces intelligentes et commandées de manière variable. En ce qui concerne l'infrastructure pour les véhicules électriques, nous renvoyons à la norme [SIA 2060].

Les autres appareils ménagers sont également mesurés, mais pas optimisés. L'optimisation PV ne vaut guère la peine pour les petits appareils comme les machines à laver ou les lave-vaisselles. Pour les cuisinières, les fours et autres, elle n'a pas de sens.

Si des accumulateurs à batterie stationnaires sont intégrés, ils doivent disposer d'une interface correspondante avec le gestionnaire d'énergie ou être mesurés par un compteur bidirectionnel séparé.

4.2.2 Immeuble collectif

Le schéma de la figure 7 montre l'intégration des composants pour un immeuble collectif avec interconnexion pour la consommation propre (RCP). Dans ce cas, les compteurs internes servent également à enregistrer et à facturer la consommation d'électricité des différents appartements. C'est pourquoi il faut ici impérativement des compteurs étalonnés avec homologation MID ou METAS. Tous les gros consommateurs tels que les pompes à chaleur, les chauffe-eaux et la consommation générale sont enregistrés séparément. Les éventuelles stations de recharge pour les véhicules électriques doivent également être saisies par des compteurs étalonnés à des fins de facturation.

Dans les immeubles collectifs, il faut impérativement un gestionnaire d'énergie central qui, outre la tâche de régulation, se charge de la facturation automatique des appartements. Dans le cas d'une domotique centrale déjà existante ou prévue, il devrait y avoir une interface avec le gestionnaire d'énergie (par ex. KNX). Dans ce cas, l'intégration et le partage des tâches entre les systèmes doivent être clarifiés en détail. En général, le gestionnaire d'énergie se charge de la coordination des (gros) consommateurs.

La commande de la pompe à chaleur s'effectue en principe de la même manière que pour une maison individuelle. Pour les installations plus importantes, le gestionnaire d'énergie devrait toutefois être en mesure de commander plusieurs pompes à chaleur ou générateurs de chaleur de manière coopérative.

L'intégration des stations de recharge pour véhicules électriques se fait également en principe de la même manière que pour les maisons individuelles. Toutefois, en présence d'un grand nombre de stations de recharge, des fonctions supplémentaires de gestion de la charge sont nécessaires pour que la puissance de raccordement ne soit pas dépassée en cas de recharge simultanée. Il est préférable que les fonctions de gestion de la charge soient prises en charge par le gestionnaire d'énergie, car celui-ci dispose d'une information complète sur le reste du système.

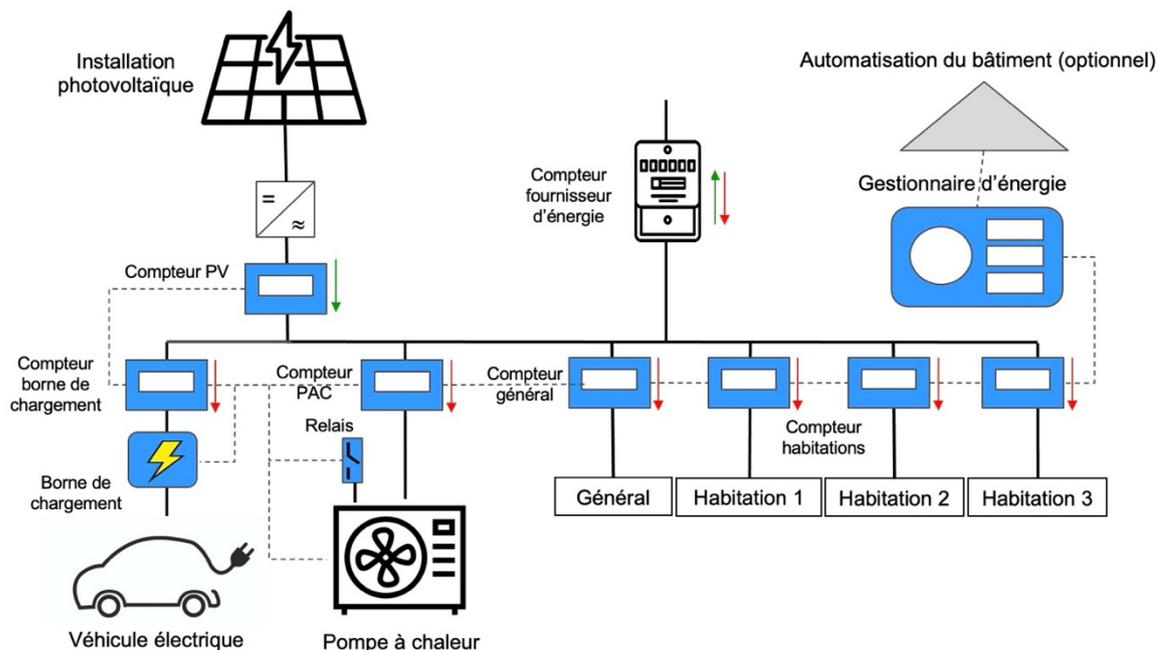


Figure 7 : Schéma de l'intégration électrique pour les immeubles collectifs.

5 Mode de fonctionnement des pompes à chaleur

Pour les pompes à chaleur, on distingue le fonctionnement cyclique et le fonctionnement à puissance variable. Alors que les modèles conventionnels ne peuvent fonctionner que par marche/arrêt, les systèmes modernes inverter offrent divers avantages grâce à l'adaptation de la puissance en fonction des besoins. Les deux systèmes peuvent être utilisés pour optimiser la consommation propre, les systèmes inverter étant à nouveau plus flexibles, car la puissance peut être mieux adaptée à la production actuelle.

5.1 Pompes à chaleur cadencées (on/off)

Les pompes à chaleur cadencées ne peuvent être que mises en marche ou arrêtées. La puissance électrique absorbée résulte de l'état de fonctionnement actuel de la pompe à chaleur. Celle-ci dépend des températures actuelles de la source et du puits. Comme la puissance électrique absorbée ne peut pas être définie de l'extérieur, la coordination avec la production PV n'est possible que de manière limitée. Néanmoins, le fonctionnement peut être décalé le plus possible dans la journée, ce qui permet d'optimiser la consommation propre.

La figure 8 montre une courbe caractéristique typique d'une pompe à chaleur régulée marche/arrêt avec l'air comme source de chaleur (exemple simplifié). Les besoins en chaleur Q^*_{besoins} du bâtiment et la puissance de chauffage $Q^*_{\text{chauffage}}$ de la pompe à chaleur évoluent de manière typiquement inversée en fonction de la température extérieure T_A . Comme la puissance de chauffage augmente lorsque la température extérieure augmente, mais que les besoins en chaleur diminuent, la pompe à chaleur commence à se synchroniser, c'est-à-dire qu'elle se met en marche et s'arrête plus souvent.

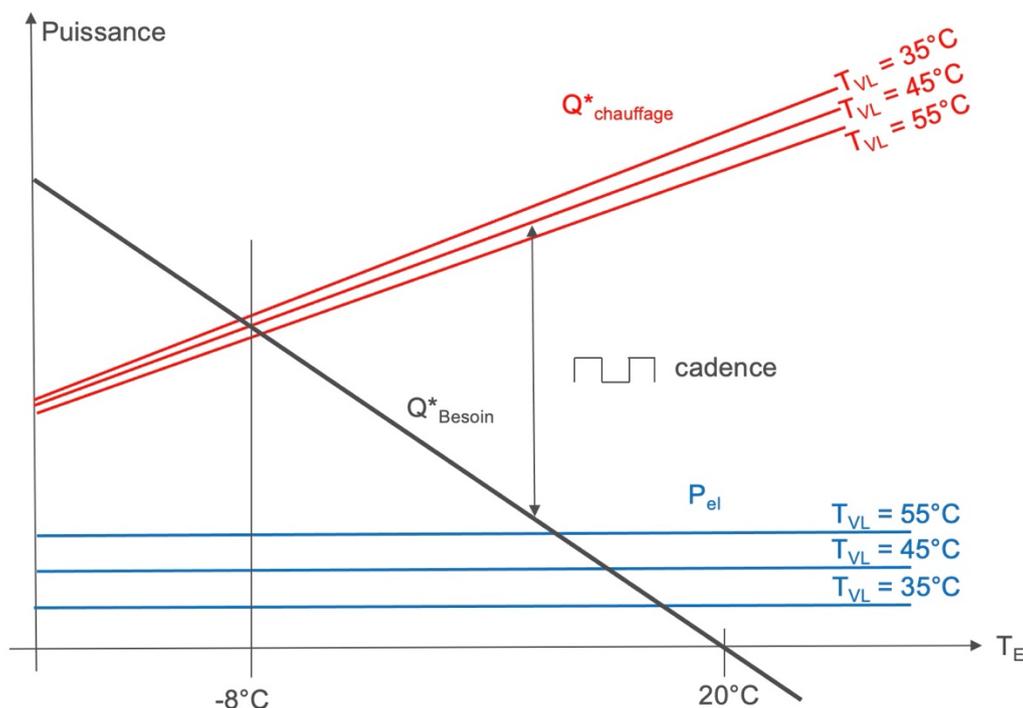


Figure 8 : Courbes caractéristiques d'une pompe à chaleur à fonctionnement cyclique (en rouge, puissance calorifique $Q^*_{\text{chauffage}}$, en bleu, puissance électrique absorbée P_{el} , en fonction de la température extérieure T_A et de la température de départ T_{VL}) et besoins en chaleur du bâtiment (en noir, Q^*_{besoin}).

La fréquence de cycle dépend de l'inertie du système d'émission de chaleur et de l'hystérésis réglée. Le rapport entre la durée d'activation et la durée de désactivation résulte du rapport entre les besoins en chaleur et la puissance de chauffage. Le calcul des besoins en chaleur s'effectue selon [SIA 380/1]. Les courbes caractéristiques de la pompe à chaleur sont mises à disposition par les fabricants. Le point de dimensionnement (-8°C dans l'exemple) varie en fonction de la situation géographique et de l'altitude au-dessus du niveau de la mer.

Pour l'optimisation de l'autoconsommation PV, la puissance électrique absorbée P_{el} de la pompe à chaleur est importante. Celle-ci dépend fortement de la température de départ actuelle T_{VL} . Lorsque la température de départ augmente, la puissance absorbée augmente (et l'efficacité diminue). En mode chauffage, la valeur de consigne de départ $T_{VL, \text{Soll}}$ ou la valeur de consigne de retour $T_{RL, \text{Soll}}$ est calculée à partir de la "courbe de chauffe" en fonction de la température extérieure T_A , conformément à la figure 9. Pour simplifier, les "courbes de chauffe" sont représentées ici de manière linéaire, bien qu'elles soient généralement non linéaires dans la pratique (avec des exposants correspondants pour le chauffage par le sol, les radiateurs, etc.) Le dimensionnement de la "courbe de chauffe" s'effectue via [SIA 384.2] et [SIA 380/1].

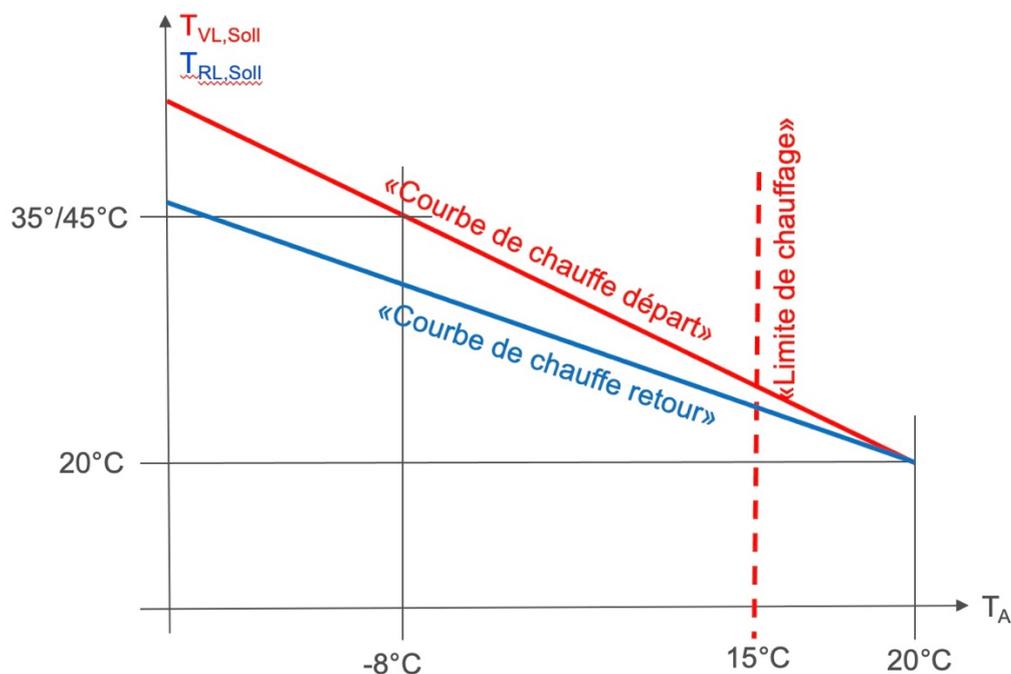


Figure 9 : Courbe de chauffe (en rouge, température de départ de consigne $T_{VL,consigne}$, en bleu, température de retour de consigne $T_{RL,consigne}$ en fonction de la température extérieure T_A) avec valeurs de réglage typiques (exemple, linéaire simplifié).

En mode PV optimisé, la "courbe de chauffe" peut être poussée vers le haut pendant une courte période, c'est-à-dire que la température de consigne est augmentée. Ainsi, la puissance électrique absorbée P_{el} de la pompe à chaleur augmente et de l'énergie supplémentaire peut être stockée dans le réservoir tampon ou le bâtiment. Mais l'efficacité de la pompe à chaleur diminue. C'est pourquoi la "courbe de chauffe" devrait toujours rester sur le même réglage de base et n'être augmentée qu'à court terme en cas d'excédent de PV.

Les pompes à chaleur actuelles atteignent 55-60°C en mode eau chaude. Pendant la charge d'eau chaude, la température de consigne est constante. Pour l'optimisation PV, il est judicieux de décaler la charge d'eau chaude de sorte qu'elle ait lieu si possible pendant la période de production PV maximale.

La figure 10 illustre le fonctionnement cadencé de la pompe à chaleur au cours d'une journée et à différentes saisons. Seule la puissance électrique absorbée par la pompe à chaleur et la production photovoltaïque sont prises en compte. Selon la saison, on obtient les modèles suivants :

- **Été** : la pompe à chaleur ne produit que de l'eau chaude. En mode PV optimisé, l'eau chaude est produite pendant la journée, aux heures de production maximale.
- **Entre saison (printemps/automne)** : La pompe à chaleur produit de l'eau chaude et chauffe le bâtiment. Le chauffage est effectué en dehors de la production d'eau chaude. Ici, le fonctionnement cadencé est clairement visible. La hauteur des barres correspond à la puissance électrique absorbée, qui varie en fonction de la température de départ. En raison de la courbe de chauffe, la température de départ théorique est plus élevée la nuit que le jour lorsque les températures extérieures sont basses. C'est pourquoi la puissance électrique absorbée est également opposée à la production PV. En raison de l'optimisation PV, le réservoir

tampon est surélevé pendant la journée, ce qui entraîne une augmentation de la puissance absorbée. Si la réserve d'énergie dans le réservoir tampon est suffisante, il n'est plus nécessaire de chauffer le soir. Cet effet est encore accru lorsque l'énergie est stockée dans la masse du bâtiment. En option, il est possible de réduire la courbe de consommation de la pompe à chaleur en mode réseau en réduisant la température de départ pendant la nuit.

- **Hiver** : La pompe à chaleur produit de l'eau chaude et chauffe le bâtiment. Le chauffage nécessite plus d'énergie en raison des températures extérieures plus basses. Une adaptation à la production photovoltaïque n'est plus possible que de manière limitée et le prélèvement sur le réseau augmente. C'est pourquoi, en d'hiver, l'accent est mis sur l'efficacité du système, c'est-à-dire sur une consommation aussi faible que possible.

Dans l'ensemble, le potentiel d'optimisation est le plus important pendant la période de transition, car la production et la consommation s'équilibrent à peu près. En été, le potentiel d'optimisation est le plus faible, car la production d'eau chaude ne nécessite qu'une fraction de l'énergie PV produite. En hiver, le potentiel d'optimisation concernant le PV est certes faible, mais il existe un potentiel d'optimisation considérable concernant l'efficacité (c'est-à-dire un réglage correct de la courbe de chauffage, des températures ambiantes raisonnables, un bâtiment bien isolé, etc.)

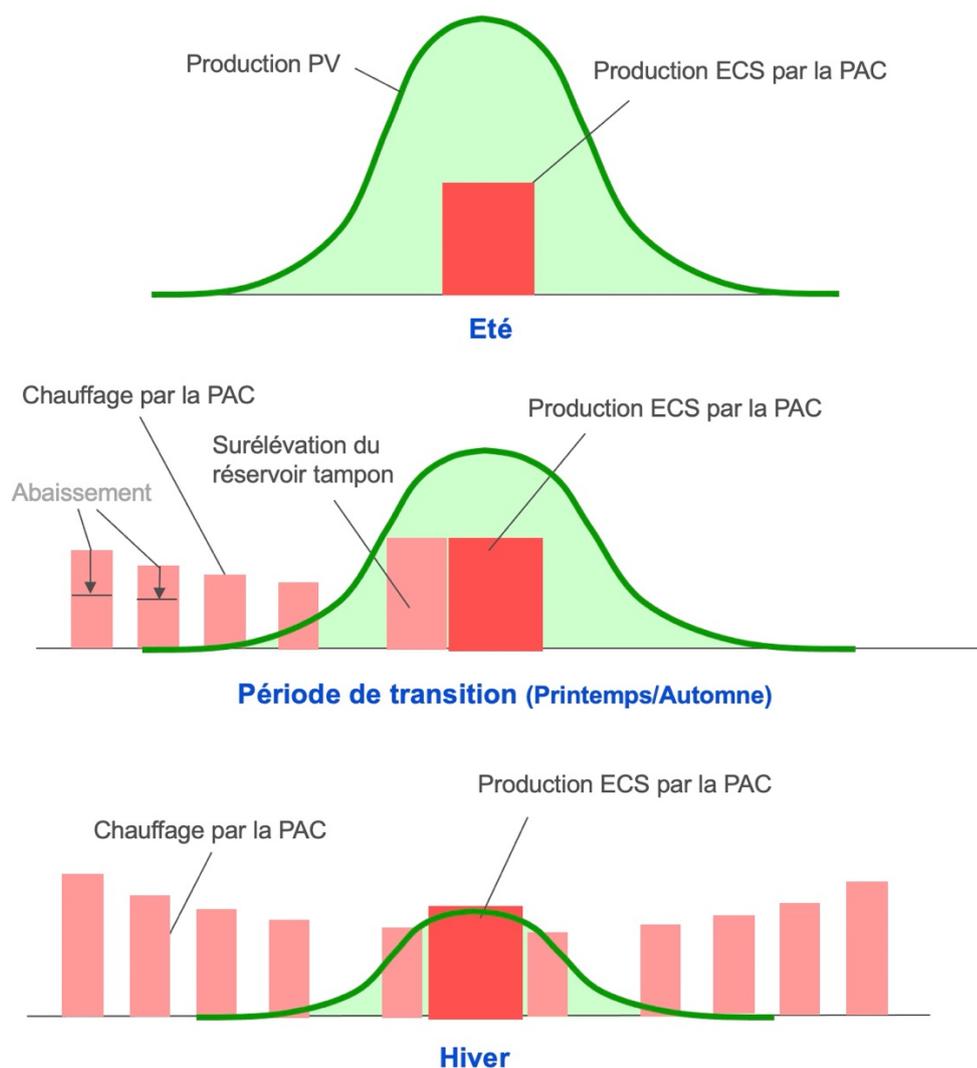


Figure 10 : Fonctionnement quotidien d'une pompe à chaleur à cycle cadencé à différentes périodes de l'année.

5.2 Pompes à chaleur Inverter (à puissance variable)

La puissance des pompes à chaleur Inverter peut être réglée de manière variable. La puissance électrique absorbée peut être influencée par la vitesse de rotation du compresseur. Une adaptation à la production PV est donc meilleure qu'avec une pompe à chaleur cadencée. Pour une conception et un fonctionnement correct des pompes à chaleur inverter, nous renvoyons à la fiche technique [IWP 2021].

La figure 11 montre une courbe caractéristique typique d'une pompe à chaleur à vitesse variable pour l'air comme source de chaleur (exemple simplifié). La puissance de chauffage $Q^*_{\text{chauffage}}$ peut être adaptée dans une certaine plage aux besoins en chaleur Q^*_{besoins} du bâtiment. Cela se fait en faisant varier le régime. Lorsque la vitesse de rotation est faible, la pompe à chaleur passe en mode de fonctionnement cyclique (dans l'exemple, à 30% de la vitesse de rotation de conception).

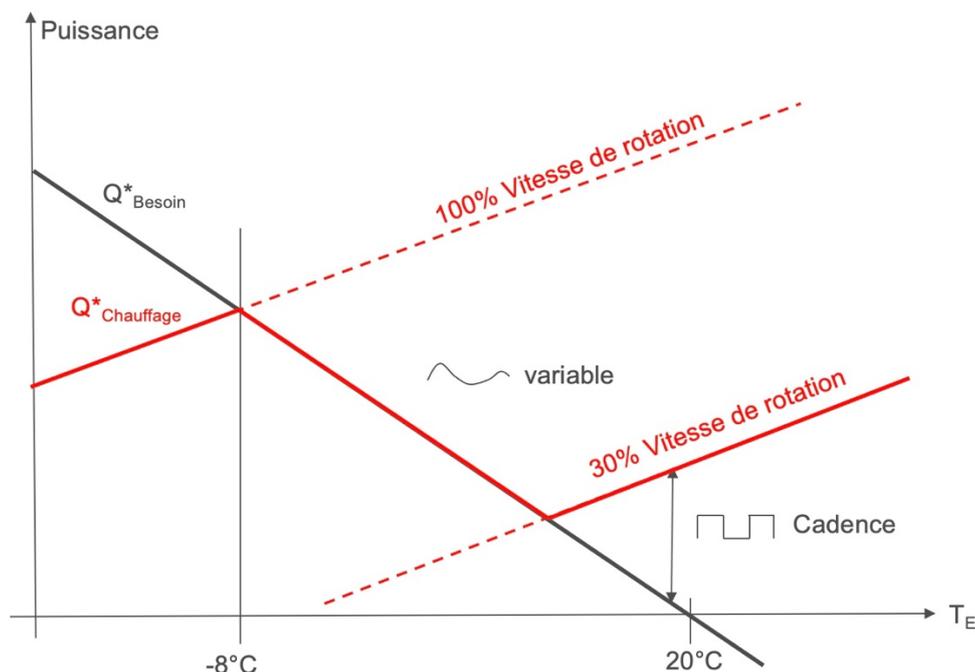


Figure 11 : Courbes caractéristiques d'une pompe à chaleur à puissance variable (en rouge, puissance calorifique Q^* chauffage en fonction de la température extérieure T_E) et besoins en chaleur du bâtiment (en noir, Q^* besoin), plage de vitesse variable 30..100%

Le diagramme de la figure 12 est plus approprié pour évaluer l'influence de la vitesse de rotation du compresseur sur la puissance. La vitesse de rotation du compresseur y est indiquée sur l'axe horizontal. Lorsque la vitesse augmente, la puissance électrique absorbée augmente de manière approximativement linéaire. La puissance de chauffage augmente également de manière approximativement linéaire. En outre, la courbe COP est tracée en fonction de la vitesse de rotation. Comme les pompes à chaleur Inverter modernes sont équipées de compresseurs optimisés pour une charge partielle, le COP est optimal à un régime relativement bas. Le dimensionnement s'effectue pour certaines températures normalisées, qui doivent être indiquées par le fabricant pour les diagrammes (p. ex. B0W35 pour une pompe à chaleur eau glycolée/eau). Au point de dimensionnement, les besoins en chaleur Q^* besoins correspondent alors à la puissance calorifique correspondante Q^* chauffage de la pompe à chaleur, ce qui permet de déterminer la vitesse de rotation au point de dimensionnement. Lorsque les besoins diminuent, le régime est réduit. En dessous d'un minimum (Min), le compresseur devient tellement inefficace du point de vue de la technique des fluides qu'il passe en mode de fonctionnement cyclique. Une pompe à chaleur à vitesse variable ne doit pas être trop surdimensionnée. Dans le cas contraire, elle fonctionne souvent en mode cyclique inefficace pendant la période de transition.

Pour l'optimisation de la consommation propre, on utilise le fait que la pompe à chaleur fonctionne souvent à bas régime pendant la période de transition. L'augmentation variable de la vitesse de rotation permet d'augmenter la puissance de manière ciblée, ce qui permet de mieux "suivre" la production photovoltaïque qu'avec des pompes à chaleur cadencées. Il faut toutefois noter que le compresseur a une durée de vie limitée à bas ou très haut régime. Cela est dû à une mauvaise lubrification ou à une surchauffe. Certaines vitesses de rotation peuvent également provoquer des résonances indésirables. C'est pourquoi, dans les systèmes actuels, la vitesse de rotation peut rarement être définie directement de l'extérieur.

Certains fabricants autorisent une libération limitée (p. ex. uniquement en mode eau chaude). Il est cependant toujours possible d'influencer indirectement le régime en modifiant les températures de consigne. Il convient de noter que l'optimisation de la consommation propre doit toujours partir d'une pompe à chaleur correctement réglée. Une augmentation de la vitesse de rotation au-dessus de l'optimum COP entraîne une détérioration de l'efficacité, c'est pourquoi cela ne doit être fait qu'en cas d'excédent de courant PV. Pour des raisons de durée de vie, les surélévations ne doivent pas non plus fonctionner trop longtemps à la limite supérieure.

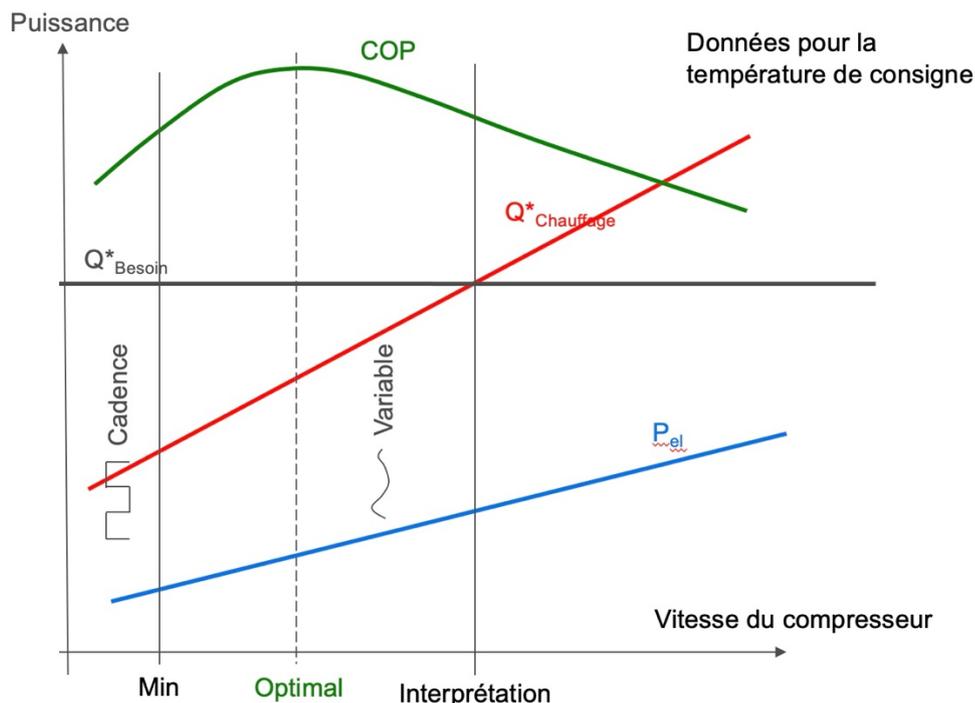


Figure 12 : Courbes caractéristiques d'une pompe à chaleur à puissance variable en fonction de la vitesse de rotation du compresseur (rouge puissance calorifique Q^* chauffage, bleu puissance électrique absorbée P_{el} , vert COP en charge partielle)

En résumé, les grandeurs suivantes peuvent être influencées dans le cadre d'une exploitation PV optimisée :

- **Température de consigne** : en déplaçant brièvement la "courbe de chauffe", la température de consigne peut être poussée vers le haut (voir paragraphe 5.1). Le régime et la puissance électrique absorbée P_{el} de la pompe à chaleur augmentent alors également. Il est donc possible d'influencer indirectement la puissance électrique absorbée, ce qui permet une meilleure adaptation à la production PV comparativement aux systèmes cadencés.
- **Vitesse de rotation du compresseur** : si le fabricant autorise la vitesse de rotation du compresseur, il est possible de faire varier directement la vitesse de rotation dans le mode autorisé (par ex. production d'eau chaude). Cela permet une adaptation encore meilleure à la production photovoltaïque. Il faut toutefois tenir compte de la durée de vie de la pompe à chaleur.

Pour les commandes ci-dessus, il est important de choisir un système de gestion de l'énergie qui a fait ses preuves, qui est adapté au fabricant de PAC et qui a été testé au préalable.

La figure 13 illustre le fonctionnement variable de la pompe à chaleur au cours d'une journée pour différentes saisons. Seule la puissance électrique absorbée par la pompe à chaleur et la production photovoltaïque sont prises en compte. Les schémas suivants apparaissent en fonction de la saison :

- **Été** : la pompe à chaleur ne produit que de l'eau chaude. En mode PV optimisé, l'eau chaude est produite pendant la journée, aux heures de production maximale. Chez certains fabricants, il est possible d'influencer la vitesse du compresseur en mode eau chaude, ce qui permet d'adapter le niveau de puissance à la production PV (par ex. un jour nuageux).
- **Entre saison (printemps/automne)** : La pompe à chaleur produit de l'eau chaude et chauffe le bâtiment. Ici, le fonctionnement à puissance variable en mode chauffage est clairement visible. Ici aussi, la puissance électrique absorbée est couplée à la température extérieure via la courbe de chauffe. L'adaptation aux besoins est toutefois plus facile que pour les pompes à chaleur à fonctionnement cyclique. En raison de l'optimisation PV, la température du réservoir tampon est surélevée pendant la journée, ce qui entraîne une augmentation de la puissance absorbée. Si la réserve d'énergie dans le réservoir tampon est suffisante, il n'est plus nécessaire de chauffer le soir. Cet effet est encore accru lorsque l'énergie est stockée dans la masse du bâtiment. En option, il est possible de réduire la consommation électrique tirée du réseau de la pompe à chaleur en abaissant la température de départ pendant la nuit.
- **En hiver** : La pompe à chaleur produit de l'eau chaude et chauffe le bâtiment. Le chauffage nécessite plus d'énergie en raison des températures extérieures plus basses. L'adaptation à la production photovoltaïque n'est plus possible que de manière limitée et le prélèvement sur le réseau augmente. C'est pourquoi, en cas d'hiver, l'accent est mis sur l'efficacité du système. Les systèmes à régulation de puissance présentent ici un avantage de principe, mais uniquement s'ils sont correctement réglés.

Dans l'ensemble, la consommation électrique des pompes à chaleur inverter peut être mieux adaptée à la production photovoltaïque. Cependant, il y a là aussi des limites physiques qui s'expliquent par le fait que la production et la consommation sont en principe opposées au cours de la saison.

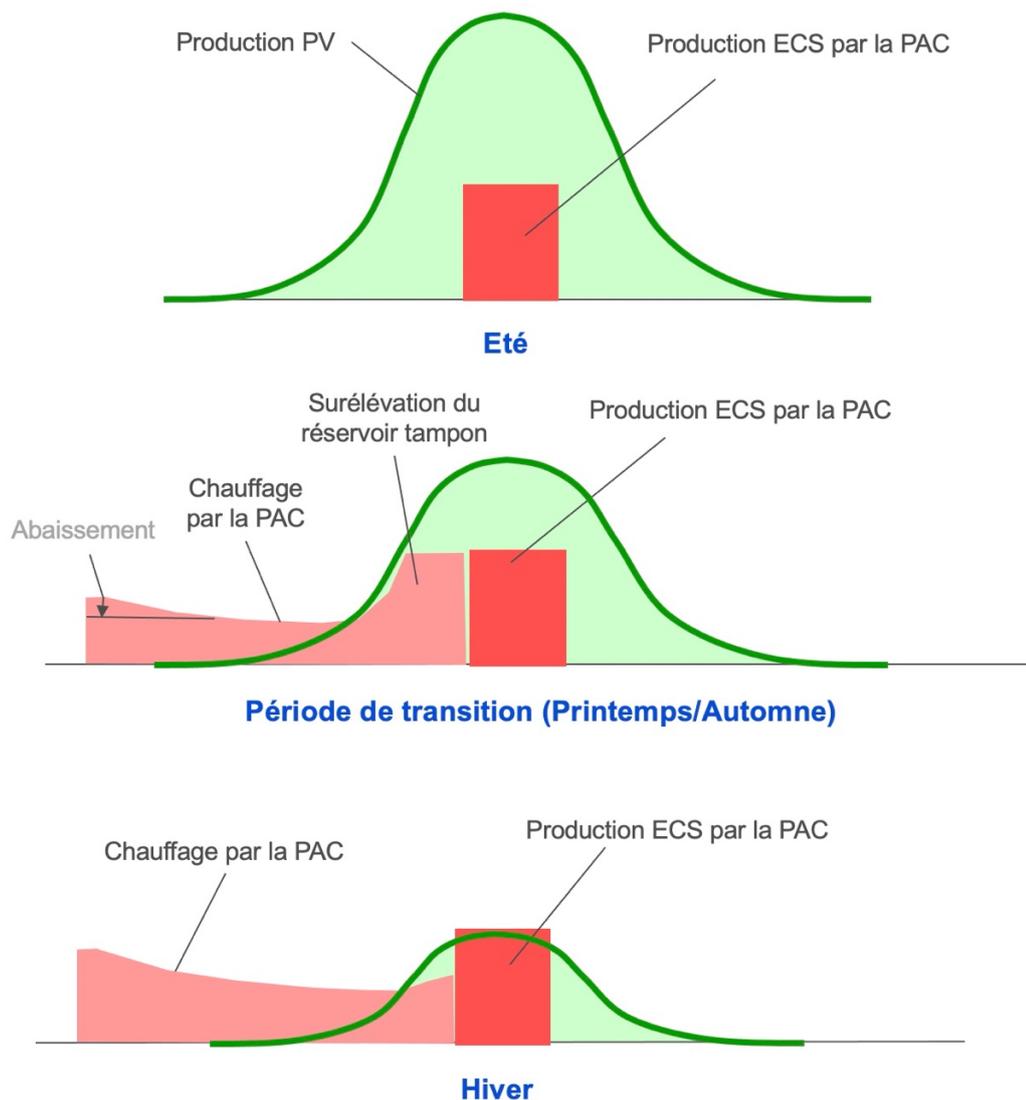


Figure 13 : Fonctionnement quotidien d'une pompe à chaleur inverter à différentes périodes de l'année.

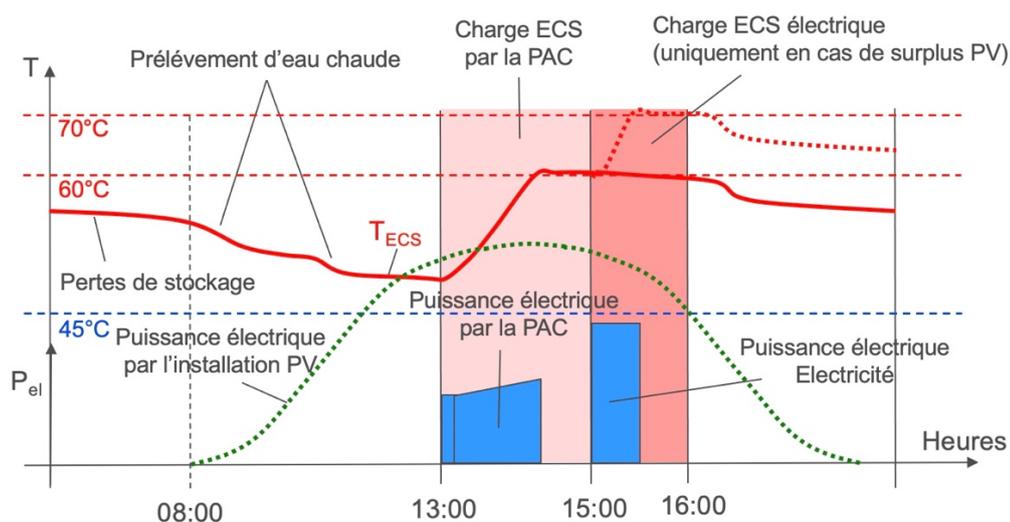
5.3 Charge d'eau chaude par jour

Différentes études menées sur des bâtiments réels ont montré que la méthode la plus simple pour augmenter le taux de couverture solaire en ce qui concerne l'eau chaude consiste à définir une fenêtre de charge fixe pendant la journée. C'est ce que montre la figure 14. Pour des raisons d'efficacité, la charge d'eau chaude devrait être effectuée en premier lieu par la pompe à chaleur. La plage horaire pour la charge d'eau chaude est fixée de manière à ce qu'elle corresponde en moyenne annuelle de manière optimale à la courbe de puissance de la production PV (pointillés verts). De plus, elle devrait avoir lieu l'après-midi, puisque le chauffage est principalement prévu le matin. Troisièmement, la charge d'eau chaude ne devrait pas être effectuée à midi, car d'autres consommateurs du ménage consomment beaucoup d'électricité à ce moment-là. Dans cet exemple, la charge a été fixée entre 13h00 et 15h00. Il faut également veiller à ce que la fenêtre de charge soit suffisamment longue pour que la température de consigne souhaitée puisse être atteinte dans tous les cas. La programmation de la fenêtre de charge s'effectue via le régulateur de la pompe à chaleur.

Les recommandations pour la charge d'eau chaude diffèrent selon la situation de départ:

- La pompe à chaleur atteint la température requise dans le chauffe-eau pour des raisons d'hygiène selon la norme SIA 385/1 (en général 55 ou 60 °C) et l'accumulateur d'eau chaude sanitaire est suffisamment dimensionné pour couvrir les besoins avec une charge quotidienne → Dans ce cas, l'eau chaude sanitaire est exclusivement chauffée par la pompe à chaleur et aucun corps-de-chauffe électrique ne devrait être utilisé.
- La pompe à chaleur atteint la température requise dans le chauffe-eau pour des raisons d'hygiène selon la norme SIA 385/1 (en général 55 ou 60 °C), mais l'accumulateur d'eau chaude sanitaire n'est pas suffisamment dimensionné pour couvrir les besoins avec une charge quotidienne → Dans ce cas, l'insert électrique peut être utilisé pour augmenter légèrement la température de l'eau chaude, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de la recharger avec le courant du réseau pendant la nuit. Il faut toutefois veiller à ce que l'insert électrique soit mis en marche après la pompe à chaleur, de sorte que la pompe à chaleur procède au chauffage primaire. L'insert électrique ne doit être mis en marche qu'en cas de surplus de PV. Cette relation est illustrée dans la figure 14.
- La pompe à chaleur atteint une température dans l'accumulateur inférieure à celle requise pour des raisons d'hygiène selon SIA 385/1 (en général 55 ou 60 °C) → Dans ce cas, l'insert électrique peut être utilisé pour augmenter la température de l'eau chaude à la température requise. Il faut toutefois veiller à ce que l'insert électrique soit activé chronologiquement après la pompe à chaleur, de sorte que la pompe à chaleur procède au chauffage primaire. L'activation se fait en premier lieu en cas de surplus de PV ou lorsque le tarif du réseau est bas et en dehors des périodes de forte charge du réseau électrique.

En cas d'utilisation d'inserts électriques et de températures supérieures à 60°C, il faut en outre installer une protection contre les brûlures. Le problème de l'entartrage est également en augmentation.



Il convient de noter que les pertes de stockage augmentent en cas de températures élevées. Les conduites de circulation entraînent également des pertes supplémentaires qui, dans certaines circonstances, conduisent à une recharge en dehors des heures de production PV. Dans la mesure du possible, les conduites de circulation des maisons individuelles devraient être désactivées en dehors des périodes de demande d'eau chaude. Pour les immeubles d'habitation, les éventuels conduites de circulation ou les dispositifs de maintien de la chaleur doivent être exploités sans interruption pour des raisons d'hygiène (voir SIA 385/1).

Certains gestionnaires d'énergie peuvent influencer la fenêtre de charge en fonction de la production PV ou régler de manière variable le niveau de la valeur de consigne de l'eau chaude. De plus, certains fabricants de PAC permettent de définir une puissance variable via le régime de la pompe à chaleur. Cela permet une adaptation encore meilleure à la production PV.

5.4 Chauffage : Réduction nocturne VS augmentation diurne

La programmation ciblée de la phase de chauffage dans le régulateur de la pompe à chaleur permet également d'influencer la consommation propre. Contrairement à l'abaissement nocturne utilisé auparavant, on parle désormais d'augmentation diurne pour l'optimisation de la consommation propre. Les différences sont expliquées ci-dessous.

La figure 15 montre la situation d'un abaissement nocturne classique, tel qu'il était utilisé autrefois pour réduire la consommation d'énergie la nuit dans les bâtiments mal isolés. L'image montre une évolution typique des températures avec une courbe de chauffe en arrière-plan (température de départ en fonction de la température extérieure). Ici, la température de départ est réduite de manière ciblée pendant la phase d'abaissement. Il en résulte une phase de réchauffement le matin, qui a lieu précisément pendant la phase où la pompe à chaleur est la moins efficace. C'est notamment le cas des pompes à chaleur air/eau, qui ont le matin la température extérieure la plus basse du côté de la source (avec la température de départ la plus élevée) et qui présentent donc à ce moment de la journée le COP le plus bas. Pour les pompes à chaleur sol/eau, l'effet négatif est un peu moins important, car la température de la source est presque constante, mais là aussi, une réduction du COP est perceptible en raison de la température de départ plus élevée. C'est la raison pour laquelle l'abaissement nocturne n'est généralement plus recommandé dans les bâtiments modernes et bien isolés.

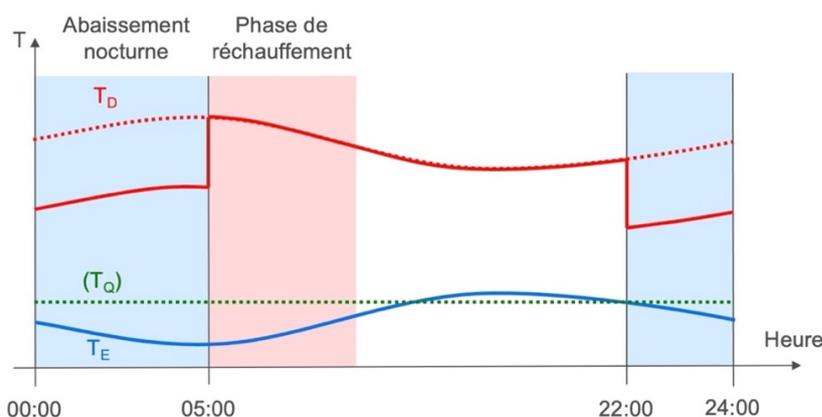


Figure 15 : Courbes de température avec abaissement nocturne (T_D = température de départ, T_E = température extérieure, T_Q = température de la source, uniquement pour la PAC sol/eau)

L'abaissement nocturne ne devrait pas non plus être utilisé pour augmenter la consommation propre par la pompe à chaleur. En effet, la perte d'efficacité n'est pas compensée par la légère augmentation de la consommation propre (due au décalage des heures de fonctionnement sur la journée). De plus, l'électricité doit être entièrement tirée du réseau pendant la phase de réchauffement, car à ce moment-là, l'installation photovoltaïque ne produit encore pratiquement rien.

Il est également déconseillé d'arrêter complètement la pompe à chaleur la nuit. Dans ce cas, il peut même y avoir des pertes de confort en raison de la grande inertie des bâtiments. De plus, cela supposerait un surdimensionnement de la pompe à chaleur et un réglage trop élevé de la courbe de chauffe, étant donné que l'on ne chauffe qu'une fraction des 24 heures disponibles.

L'augmentation journalière est recommandée comme alternative pour une optimisation efficace de la consommation propre, comme le montre la figure 16. En partant de la courbe de chauffe réglée de manière optimale (conception), la température de départ est légèrement augmentée pendant la journée. Pour ne pas dégrader l'efficacité globale, le réglage de base de la courbe de chauffe est légèrement abaissé. Ainsi, le fonctionnement de la pompe à chaleur est repoussé dans la zone de jour, où elle fonctionne efficacement et peut utiliser l'électricité propre de l'installation photovoltaïque. Pour les pompes à chaleur air/eau en particulier, il est judicieux d'augmenter la température de jour lorsque les températures extérieures sont élevées afin d'augmenter le COP.

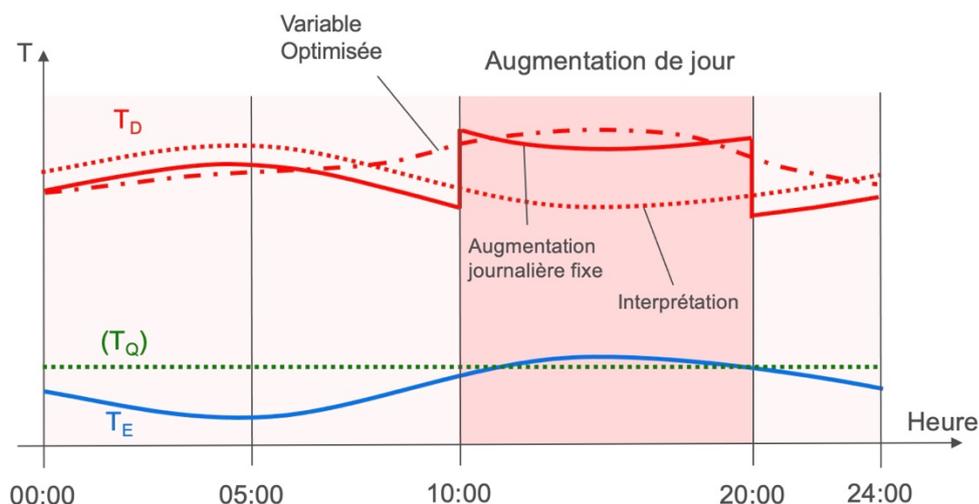


Figure 16 : Courbes de température avec augmentation de jour

Pour le réglage de l'augmentation du jour, il convient d'observer une évolution typique de la température extérieure. En général, la température extérieure augmente considérablement quelques heures après le lever du soleil. L'heure de début de l'augmentation diurne peut par exemple être fixée à 10:00. Le soir, les températures extérieures restent élevées plus longtemps, mais elles chutent à nouveau fortement après le coucher du soleil. L'heure de fin peut être fixée à 20:00 par exemple.

Une augmentation journalière peut être facilement programmée dans n'importe quel régulateur de pompe à chaleur standard. Elle peut également être combinée à une régulation intelligente via un gestionnaire d'énergie, qui adapte de manière variable le moment et le niveau de l'augmentation journalière à la production PV.

La situation tarifaire peut être prise en compte comme optimisation supplémentaire, comme le montre la figure 17. Aujourd'hui, les coûts de l'électricité sont (encore) facturés selon des horaires tarifaires fixes. Le jour, c'est le haut tarif qui s'applique, la nuit le bas tarif. Cela peut être pris en compte dans l'optimisation afin de réduire les coûts d'électricité, en particulier pendant les mois d'hiver. Le haut tarif est abaissé de manière ciblée. Une régulation intelligente permet ici aussi d'optimiser de manière variable. Il est toutefois important que la courbe de chauffe ne soit pas augmentée en tarif bas (pour des raisons d'efficacité). Il ne faut pas non plus surélever les ballons tampons ou autres en cas de prélèvement sur le réseau en bas tarif.

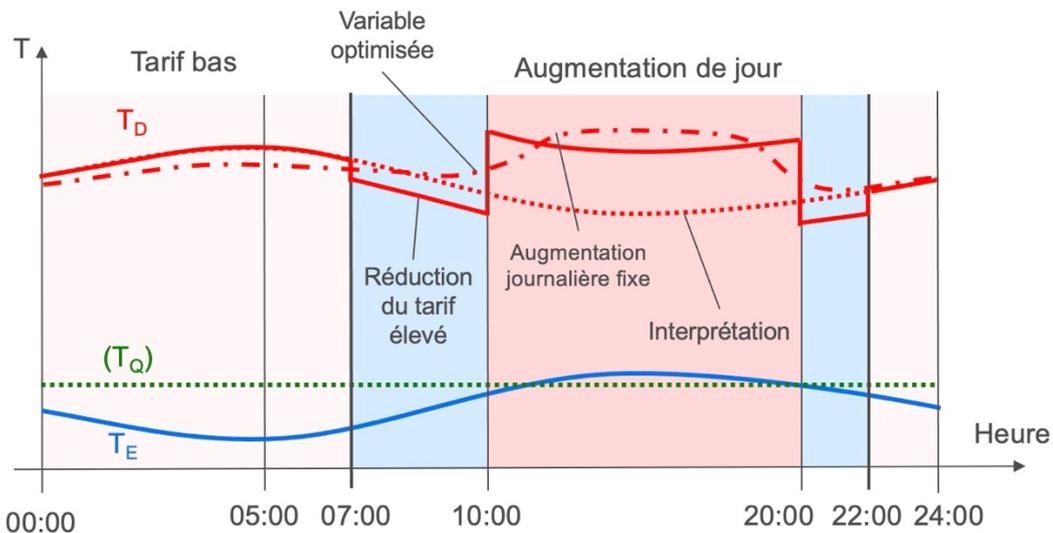


Figure 17 : Courbes de température avec augmentation journalière et prise en compte du tarif de l'électricité.

À l'avenir, cette situation tarifaire rigide va probablement disparaître. Le bas tarif a déjà été augmenté chez la plupart des fournisseurs d'énergie. De plus, les prix de l'électricité baisseront pendant la journée en cas de forte production photovoltaïque et éolienne. Cela peut conduire à des tarifs dynamiques avec un prix de l'électricité variable. Les gestionnaires d'énergie intelligents peuvent d'ores et déjà gérer de tels systèmes tarifaires [MÖRIKEN 2020].

5.5 Fonction de refroidissement

Pour le refroidissement, il faut distinguer les deux variantes suivantes :

- **Refroidissement actif par inversion du processus.** Le compresseur fonctionne, mais le circuit frigorifique est inversé, de sorte que la chaleur est extraite du bâtiment et transférée à l'environnement. Le refroidissement actif ou la climatisation des bâtiments nécessite beaucoup d'énergie et n'est pas recommandé dans la situation actuelle en Suisse pour les bâtiments ayant des charges internes modérées (immeubles d'habitation). Mais il est clair qu'un refroidissement actif ne peut être réalisé qu'avec de l'électricité photovoltaïque, s'il est tout de même mis en œuvre. La simultanéité de la production PV et des besoins de climatisation est présente pendant les mois d'été, c'est pourquoi une optimisation PV est facilement réalisable dans ce cas.
- **Refroidissement passif par sondes géothermiques** ("Natural Cooling" ou "Geo-Cooling"). Ici, le compresseur ne fonctionne pas. Il y a simplement un

échange de chaleur entre le bâtiment et les sondes géothermiques. Pour cela, seules des pompes de circulation fonctionnent et le circuit de chauffage est relié au circuit des sondes par un échangeur de chaleur. Le bâtiment peut ainsi être légèrement refroidi pendant les jours de canicule (réduction de 2 à 3 K de la température ambiante). Un effet secondaire positif est que les sondes sont régénérées en été. Le refroidissement passif n'est toutefois pas intéressant pour l'optimisation PV, car seules des pompes de circulation à faible puissance absorbée sont en service dans ce cas.

Pour une conception et un fonctionnement correct des systèmes de refroidissement, il convient de se référer aux fiches techniques [KFB 2021] et [GCL 2021] ou [GCLB 2021].

6 Interfaces

En principe, les pompes à chaleur peuvent être intégrées via différentes interfaces. Le tableau suivant en donne un bref aperçu :

Interface	Avantages	Inconvénients
Contact de délestage (GRD)	Présent dans toutes les PAC	Lors du délestage de la PAC, le confort n'est pas assuré
SG-Ready (SG-R)	Contrôle relativement simple en 4 étapes, standard allemand selon bwp, répandu.	Effet uniquement avec des réglages optimaux du côté de la PAC.
Entrée PV	Contrôle simple avec étape pour le fonctionnement PV, largement utilisé.	Seulement 1 niveau d'optimisation. Pas inclus chez tous les fabricants.
Modbus / IP	Régulation flexible avec consignes variables.	Solutions spécifiques aux fabricants.
SmartGridready (SGr)	Future norme pour le contrôle intelligent.	Les premiers appareils seront disponibles à partir de 2021.

6.1 Intégration via l'interface SG-Ready®

Les pompes à chaleur modernes disposent aujourd'hui d'une interface SG-Ready®, qui a été définie par le Bundesverband Wärmepumpen Deutschland en 2013 [SG-R 2013]. Cette interface est soit déjà installée, soit elle peut être équipée en option. Lors de l'achat de la pompe à chaleur, il faut veiller à ce que le label SG-Ready soit disponible et que l'option correspondante soit installée (figure 18).



Figure 18 : Label SG-Ready de l'association allemande des pompes à chaleur.

L'interface SG-Ready a été développée à l'origine en Allemagne avec pour objectif principal de soulager le réseau électrique. Grâce à cette interface, les fournisseurs d'énergie devaient pouvoir utiliser les pompes à chaleur pour la gestion de la charge. Pour ce faire, les 4 états suivants ont été définis :

- **Mode de fonctionnement 1 "Verrouillage"** (solution de borne 1:0). Blocage "dur" de la pompe à chaleur, même fonction que l'ancien "Verrouillage fournisseur GRD".
- **État de fonctionnement 2 "Déverrouillage"** (solution de borne 0:0). Fonctionnement normal de la pompe à chaleur, même fonction que le "Déverrouillage fournisseur".
- **État de fonctionnement 3 "A la demande"** (solution aux bornes 0:1). "Fonctionnement renforcé" pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire, pas d'ordre de démarrage défini, mais seulement "recommandation d'enclenchement" avec le Boost.
- **État de fonctionnement 4 "Contrainte"** (solution des bornes 1:1). Ordre de démarrage défini, dans la mesure du possible. Soit par la mise en marche active du compresseur et/ou du chauffage électrique d'appoint. Des températures plus élevées peuvent alors être atteintes dans les accumulateurs de chaleur.

Bien que l'interface ait été développée à l'origine pour les fournisseurs d'énergie (en particulier en Allemagne), elle est aujourd'hui surtout utilisée pour optimiser la consommation propre. Les états de fonctionnement peuvent être utilisés pour augmenter la température de la pompe à chaleur ou pour la mettre en marche lorsque la production locale de PV est excédentaire.

La figure 19 montre le principe de l'intégration via un gestionnaire d'énergie qui commande la pompe à chaleur via l'interface SG-Ready. Deux bornes sont utilisées, chacune étant commandée par un contact sans potentiel. Pour les pompes à chaleur modernes, il est également possible d'utiliser Modbus® comme interface alternative afin de commuter numériquement les états de fonctionnement. Dans ce cas, la communication avec la pompe à chaleur se fait via LAN.

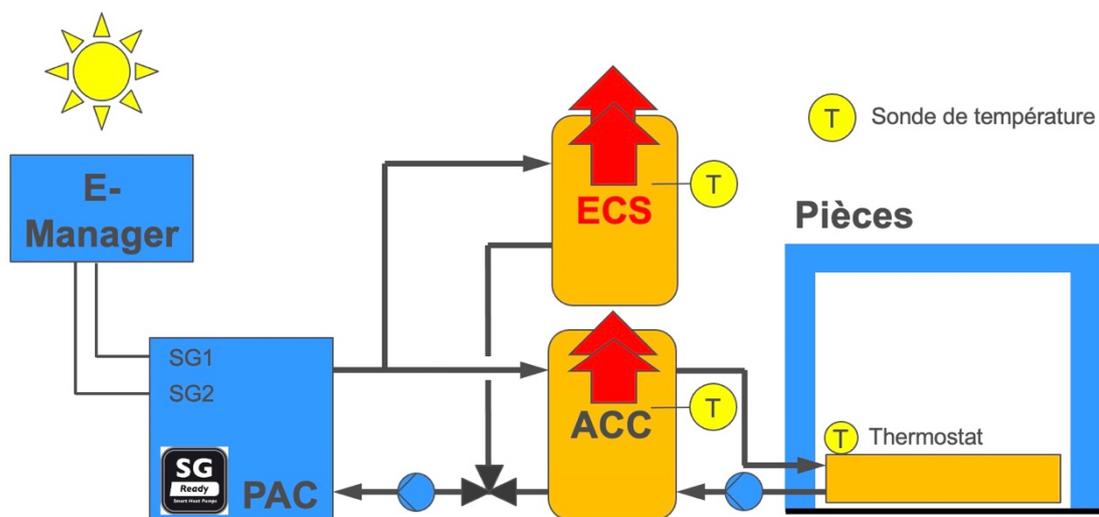


Figure 19 : Intégration d'une pompe à chaleur (PAC) via l'interface SG-Ready (ACC = réservoir tampon, ECS = réservoir d'eau chaude, SG1 = contact SG-Ready 1, SG2 = contact SG-Ready 2).

L'effet sur les températures lors d'une optimisation PV est indiqué par des flèches. Les flèches rouges indiquent une augmentation de la température des deux réservoirs techniques du système. Ainsi, le réservoir d'eau chaude (ECS) et le réservoir tampon (ACC) pour le circuit de chauffage peuvent être augmentés de manière ciblée en cas d'excédent PV. L'augmentation se fait par étapes selon l'état de fonctionnement 3 ou 4. Une augmentation de la température du bâtiment n'est généralement pas possible avec cette solution "standard", car les thermostats dans les pièces régulent la température à la baisse. Comme les températures des accumulateurs sont relevées en cas de production PV, le coefficient de performance annuel de la pompe à chaleur est légèrement réduit. Une augmentation ne peut toutefois avoir lieu qu'en cas d'excédent PV effectif.

6.1.1 Les points suivants doivent impérativement être respectés lors de l'installation et de la mise en service :

- Une vanne mélangeuse doit impérativement être installée en aval du réservoir tampon afin de permettre une augmentation du réservoir tampon en cas de production PV (voir schéma de la figure 5).
- Les bornes (SG1, SG2) doivent être correctement raccordées. En cas de mauvais raccordement, le fonctionnement peut être entravé ou les mauvais étages peuvent être commandés.
- L'interface SG-Ready n'est pas compatible avec le verrouillage GRD tel qu'il est utilisé en Suisse. Il faut donc vérifier avec le fournisseur d'énergie si celui-ci renonce au blocage de la pompe à chaleur (ce qui est généralement le cas pour les systèmes optimisés pour la consommation propre). Dans le cas contraire, il faut réaliser un circuit électrique correspondant qui puisse garantir le blocage. Certaines pompes à chaleur mettent également à disposition une entrée de blocage supplémentaire de la compagnie d'électricité, qui peut être utilisée.
- Les niveaux de température pour l'augmentation des accumulateurs doivent être définis de manière judicieuse du côté de la pompe à chaleur. Ce faisant, les limites d'utilisation de la pompe à chaleur doivent être respectées (voir les listes de contrôle aux paragraphes 9.3 et 9.4).
- La charge d'eau chaude doit être programmée pour la journée. Selon la nouvelle norme sur l'eau chaude sanitaire [SIA 385/1], la température dans le réservoir d'eau chaude devrait atteindre 55 °C ou 60 °C selon les cas et pouvoir être maintenue à la sortie de l'eau chaude pendant la plus grande partie de la journée.
- Il est déconseillé d'utiliser des inserts électriques ou d'autres chauffages électriques directs dans la zone d'eau chaude, dans la mesure où la pompe à chaleur atteint 60 °C dans le réservoir (ce qui est généralement possible sans problème avec les appareils actuels).
- Les seuils de commutation pour l'activation des états de fonctionnement augmentés 3 et 4 doivent être correctement configurés sur la page Gestionnaire d'énergie, de sorte qu'ils ne soient activés qu'en cas d'excédent solaire effectif. Un fonctionnement accru avec le courant du réseau n'est pas autorisé. Pour un réglage correct, voir les listes de contrôle en annexe.
- Il faut en outre s'assurer que le gestionnaire d'énergie ne démarre pas involontairement le mode de fonctionnement 1 (verrouillage), car cela pourrait

entraîner des pertes de confort. Ce mode ne peut être activé que si une surveillance de la température ambiante est mise en place.

- L'ensemble du système composé du gestionnaire d'énergie et de la pompe à chaleur doit impérativement être testé lors de la mise en service. Tous les états de fonctionnement 1 à 4 doivent être démarrés et la réaction correcte de la pompe à chaleur doit être vérifiée. Voir à ce sujet les listes de contrôle en annexe.

Il convient de noter que le réglage des paramètres pour SG-Ready® côté pompe à chaleur peut varier selon le fabricant. De même, l'effet ne correspond pas toujours à la norme. Il est donc urgent de procéder aux réglages avec le fabricant et de les optimiser. La plupart du temps, il ne suffit pas de laisser les paramètres de base.

Il est également absolument recommandé de procéder à un contrôle ultérieur après quelques semaines de fonctionnement avec une optimisation des réglages (→ "Liste de contrôles ultérieurs" dans l'annexe III, chapitre 10).

6.2 Intégration via l'entrée PV

Comme alternative à l'interface SG-Ready®, il est possible d'utiliser ce que l'on appelle des "interfaces PV" ou des "entrées PV", pour autant que le fabricant en mette une à disposition. L'avantage de cette interface est qu'elle se concentre sur l'optimisation PV. Ainsi, une commande simple via un contact de relais est possible. Une combinaison avec un éventuel blocage GRD selon la norme CH est également beaucoup plus simple qu'avec SG-Ready® (norme allemande).

En substance, deux états peuvent être commandés via l'entrée PV :

- **État de fonctionnement 1 "Normal"** (relais ouvert = 0). Fonctionnement normal de la pompe à chaleur.
- **État de fonctionnement 2 "Fonctionnement PV"** (relais fermé = 1). Fonctionnement accru de la pompe à chaleur.

La figure 20 montre le principe de l'intégration via un gestionnaire d'énergie qui commande la pompe à chaleur via l'interface PV. Pour cela, on utilise une borne qui est commandée par un contact sans potentiel et qui peut avoir la valeur 0 ou 1. Le blocage GRD (délestage) existant peut continuer à être utilisé si le fournisseur d'énergie l'exige.

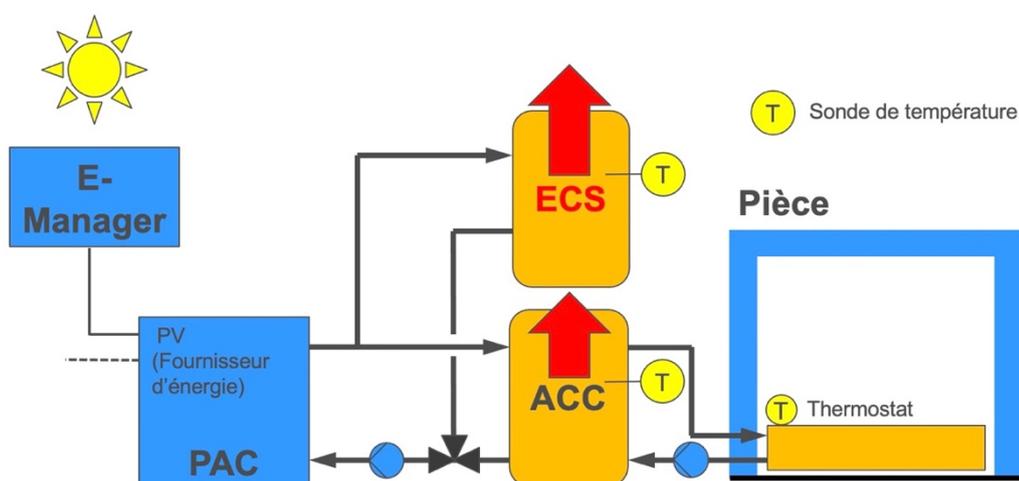


Figure 20 : Intégration d'une pompe à chaleur (PAC) via l'interface PV et le blocage fournisseur d'énergie en option (ACC = réservoir tampon, ECS = réservoir d'eau chaude, PV = entrée PV)

Lors de la configuration, les mêmes points que ceux décrits au paragraphe 6.1.1 doivent être respectés.

6.3 Intégration via Modbus (TCP)

L'intégration d'une pompe à chaleur de loin la plus simple pour le client et l'installateur se fait par le biais d'interfaces intelligentes. La pompe à chaleur est alors reliée au gestionnaire d'énergie par un câble réseau (LAN) (figure 21). Le protocole de communication le plus souvent utilisé aujourd'hui est Modbus® TCP. Le gestionnaire d'énergie peut échanger un grand nombre de données avec la pompe à chaleur via l'interface intelligente. Par exemple, les températures de consigne peuvent être influencées de manière variable pour les différents réservoirs. Le gestionnaire d'énergie peut augmenter les températures de manière ciblée en cas d'excédent photovoltaïque et les réduire ensuite. Cela permet une intégration optimale, ce qui est particulièrement avantageux pour les pompes à chaleur Inverter à régulation de puissance. Chez certains fabricants, il est même possible d'influencer la vitesse de rotation du compresseur, ce qui permet de suivre encore mieux la courbe PV. Toutefois, pour des raisons de durée de vie, il existe des limites à cette possibilité.

Le grand avantage d'une intégration intelligente est la possibilité d'utiliser le bâtiment comme réservoir thermique. Pour cela, le gestionnaire d'énergie doit toutefois prendre en charge ce que l'on appelle la "gestion thermique". Cela signifie qu'il surveille en permanence les températures ambiantes et optimise l'installation de la pompe à chaleur en conséquence. En influençant la température de départ ainsi que les valeurs de consigne des pièces, il est possible de stocker plus ou moins d'énergie dans le bâtiment.

Il s'agit toutefois de solutions spécifiques à chaque fabricant. Il faut donc clarifier au préalable quel type d'intégration est supporté par le gestionnaire d'énergie et si celui-ci est compatible avec la pompe à chaleur prévue. Seuls les systèmes qui ont déjà fait leurs preuves dans la pratique avec la même combinaison sont recommandés.

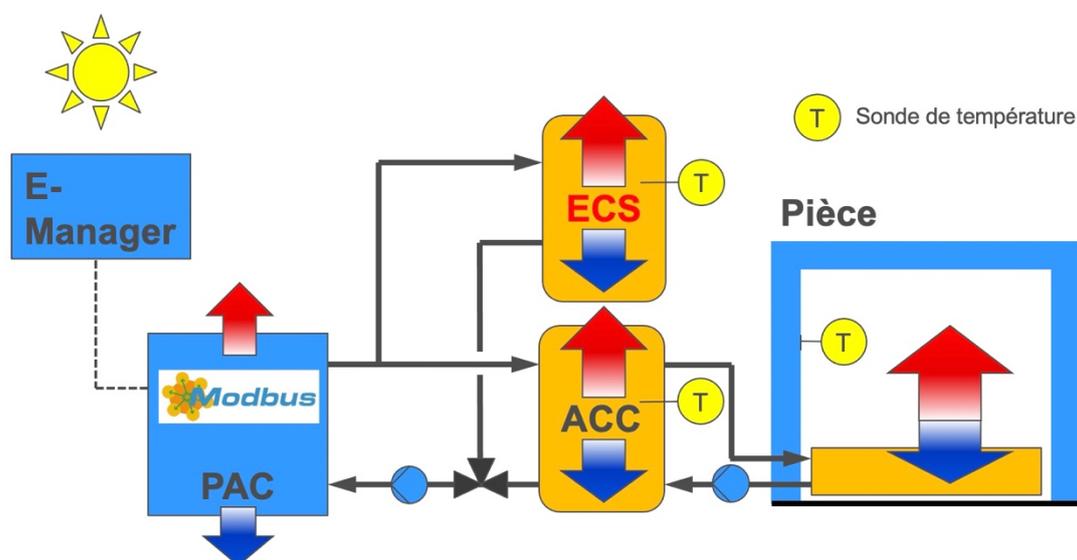


Figure 21 : Intégration d'une pompe à chaleur via une interface intelligente (Modbus®).

6.3.1 Les points suivants doivent impérativement être respectés lors de l'installation et de la mise en service :

- Une vanne mélangeuse doit obligatoirement être installée après le réservoir tampon afin de permettre une augmentation du réservoir tampon en cas de production PV (voir schéma de la figure 5). La vanne mélangeuse permet également d'influencer de manière ciblée la température de départ dans le bâtiment, si le gestionnaire d'énergie dispose d'une "gestion thermique".
- Facultatif : pour une "gestion thermique" complète du bâtiment, des sondes de température ambiante doivent impérativement être installées et le gestionnaire d'énergie doit avoir accès à ces données. Il est avantageux de disposer d'appareils de commande de pièce qui permettent au gestionnaire d'énergie d'influencer la valeur de consigne (avec une interface correspondante).
- Le bâtiment doit disposer d'un réseau LAN permettant de relier le gestionnaire d'énergie et la pompe à chaleur. Les solutions "sans fil" (WIFI) ne sont pas recommandées pour des raisons de fiabilité.
- Un éventuel délestage de la pompe à chaleur par le fournisseur d'énergie doit être clarifié au préalable. Dans ce cas, l'entrée de « blocage GRD » existante doit être reliée du côté de la pompe à chaleur.
- Du côté de la pompe à chaleur, le protocole de communication (MODBUS) doit être correctement configuré. La version actuelle du protocole doit être prise en charge par le gestionnaire d'énergie. Il faut ici tenir compte des listes de compatibilité des fabricants.
- L'ensemble du système composé du gestionnaire d'énergie et de la pompe à chaleur doit impérativement être testé lors de la mise en service. Il faut vérifier la réaction correcte de la pompe à chaleur, aussi bien en mode chauffage qu'en mode eau chaude.

Ici aussi, il est absolument recommandé de procéder à un contrôle ultérieur après quelques semaines de fonctionnement avec une optimisation des réglages (→ voir liste de contrôle "Contrôle ultérieur" en annexe).

6.4 Solution future via l'interface SmartGridReady®

L'un des inconvénients de l'intégration via MODBUS® est que les protocoles sont aujourd'hui encore spécifiques à chaque fabricant. Ainsi, MODBUS® s'est certes imposé comme "langage", mais les adresses et les contenus des registres peuvent varier fortement d'un fabricant à l'autre, ce qui est comparable à des "dialectes" très différents. Il en résulte que l'effort d'intégration est considérable du côté du gestionnaire d'énergie et que seuls certains fabricants de PAC sont pris en charge. De plus, un changement de version du protocole peut entraîner des incompatibilités.

Pour les raisons susmentionnées, une standardisation est actuellement en cours. Pour ce faire, l'association "SmartGridReady" a été créée en Suisse en 2019. Elle s'est fixée pour objectif de définir un premier standard pour les pompes à chaleur et les gestionnaires d'énergie d'ici 2021. Les fabricants concernés recevront le "label SmartGridReady" conformément à la figure 22, ce qui devrait garantir que l'intégration des systèmes fonctionne entièrement selon la norme prescrite.



Figure 22 : Label SmartGridReady (en préparation).

Les appareils portant le label ci-dessus peuvent être reliés entre eux sans grand effort. Sur le plan de la régulation, différents niveaux sont prévus, qui peuvent être pris en charge par les appareils [SGr 2018] :

- **Niveau 1** : fonctionnement marche/arrêt, correspond au Verrouillage fournisseur GRD actuel.
- **Niveau 2** : fonctionnement à plusieurs niveaux, correspond au standard SG-Ready® selon bwp.
- **Niveau 3** : consignes statiques continues (par ex. courbes caractéristiques fixes)
- **Niveau 4** : consignes dynamiques continues (par ex. tarifs ou valeurs de consigne variables)
- **Niveau 5** : Régulation dynamique avec rétroaction.
- **Niveau 6** : Régulation dynamique avec rétroaction et prévision.

Les solutions présentées au paragraphe 6.3, avec des consignes de température (et de vitesse) variables, sont standardisées au niveau 4. L'intégration du bâtiment en tant que réservoir thermique est également prise en charge à des niveaux supérieurs.

L'intégration de la pompe à chaleur se fait généralement via LAN selon la figure 23. Pour le reste, les possibilités sont les mêmes que celles décrites au paragraphe 6.3.

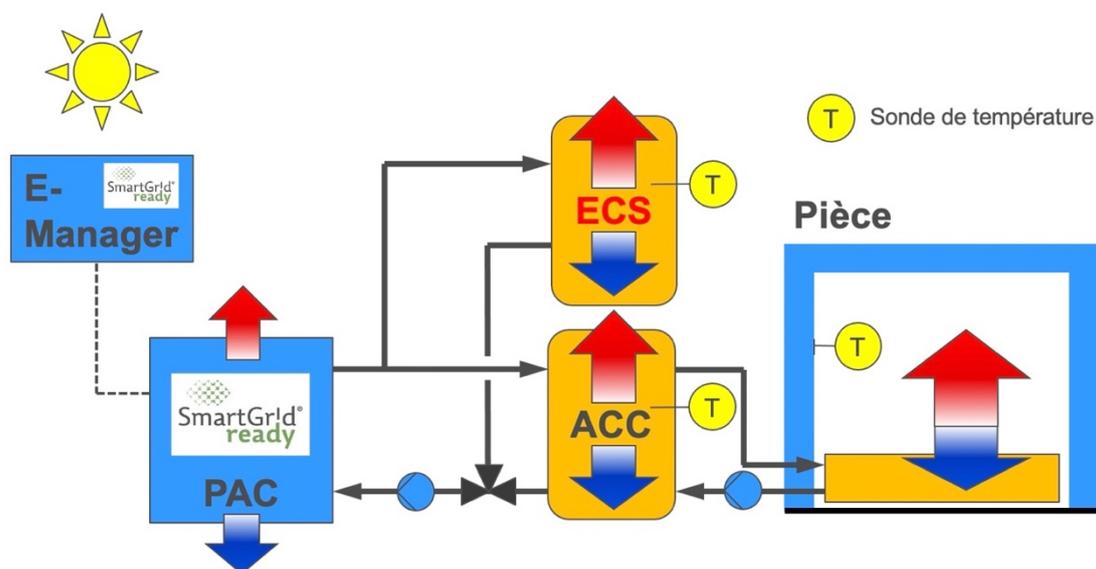


Figure 23 : Intégration d'une pompe à chaleur via une interface SmartGridReady.

Comme le label SmartGridReady était encore en cours de développement au moment de la rédaction du rapport et qu'il n'y avait pas encore d'expérience pratique, il n'est pas possible de formuler ici des recommandations spécifiques. En principe, il faut toutefois tenir compte des mêmes points que dans la section 6.3.1, à la différence près qu'ici, on laisse entrevoir une simplification des procédures grâce à la standardisation.

6.5 Mise à niveau d'anciennes pompes à chaleur via l'entrée de blocage GRD

Les pompes à chaleur plus anciennes ne disposent pas des interfaces modernes décrites dans les paragraphes précédents. La plupart du temps, elles ne peuvent pas non plus être mises à niveau. Il ne reste alors comme interface que l'entrée de blocage GRD, par laquelle le fournisseur d'énergie bloque la pompe à chaleur aux heures de forte charge (typiquement à midi et le soir via un signal de télécommande centralisée correspondant). La même interface peut également être utilisée pour des optimisations locales de la consommation propre. Il faut toutefois tenir compte des points suivants :

- Le blocage ou la libération locale de la pompe à chaleur ne doit pas être en contradiction avec le blocage par le fournisseur d'énergie. En règle générale, cela est facilement réalisable par un montage en série des deux relais de blocage (GRD et local). Souvent, les fournisseurs d'énergie sont également prêts à renoncer complètement au blocage de la pompe à chaleur si celle-ci est alimentée par du courant photovoltaïque.
- Pour des raisons de confort, le blocage de la pompe à chaleur ne doit pas durer trop longtemps. Selon le bâtiment et le système de distribution de chaleur, des baisses de température significatives sont déjà perceptibles dans les pièces après deux heures de blocage. C'est pourquoi la température ambiante doit impérativement être surveillée si des périodes de blocage plus longues sont susceptibles de se produire.

Une solution de mise à niveau via l'entrée de blocage GRD est représentée à la figure 24. Dans ce cas, le gestionnaire d'énergie commande directement l'interface GRD via un contact libre de potentiel. La pompe à chaleur est alors bloquée en cas de faible production PV et libérée en cas de production PV élevée ou de température ambiante basse. Pour que le confort soit maintenu, la température ambiante doit être mesurée et surveillée en permanence par le gestionnaire d'énergie. Il est également recommandé de mesurer en plus la température du réservoir d'eau chaude.

Avec cette solution, les températures du réservoir sont abaissées de manière ciblée pendant le blocage de la pompe à chaleur (flèches bleues), et elles sont à nouveau augmentées lors de la libération (flèches rouges). Le niveau de température moyen est ainsi maintenu. Cette solution est donc plus efficace que la simple surélévation du ballon en cas de SG-Ready ou d'entrée PV (sections 6.1 et 6.2).

De plus, le bâtiment peut être utilisé comme accumulateur thermique en abaissant ou en augmentant la température ambiante de manière ciblée. Les temps de blocage plus longs pendant les phases d'abaissement permettent également de réduire la cadence de la pompe à chaleur, ce qui a une influence positive sur sa durée de vie.

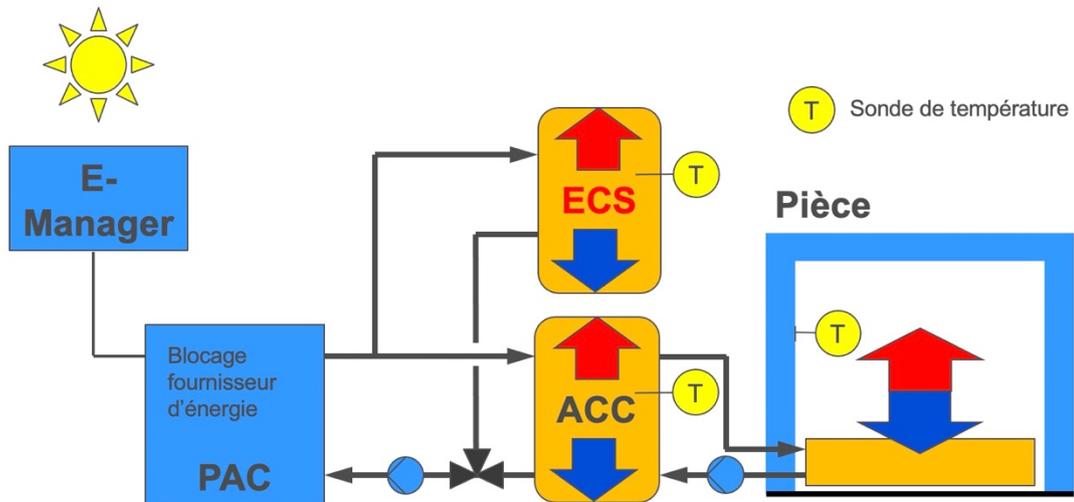


Figure 2425 : Intégration d'une pompe à chaleur via l'entrée de blocage GRD.

Il convient toutefois de noter que seuls quelques gestionnaires d'énergie sur le marché permettent en fait une surveillance externe de la température (ce que l'on appelle la "gestion thermique"). Ce point doit être clarifié au préalable avec le fabricant du gestionnaire d'énergie.

6.5.1 Les points suivants doivent impérativement être respectés lors de l'installation et de la mise en service :

- En cas de "blocage GRD" prescrit par le fournisseur d'énergie, il convient de clarifier avec ce dernier la manière dont l'intégration doit être effectuée. Voir les remarques ci-dessus.
- L'utilisation d'une sonde de température ambiante est impérative. Elle doit être positionnée de manière optimale, de préférence dans le salon et à l'abri du rayonnement solaire direct et des sources de chaleur étrangères (comme les poêles à bois).
- Il est recommandé d'utiliser une sonde de température dans le réservoir d'eau chaude. Pour cela, un doigt de gant correspondant doit être libre (il est éventuellement possible de remplacer des sondes de température analogiques qui ne servent qu'à l'affichage). De plus, la sonde du ballon devrait se trouver dans la zone de l'échangeur de chaleur de la PAC ou légèrement au-dessus.
- La pompe à chaleur doit être configurée de manière à ce que la charge d'eau chaude s'effectue en principe pendant la journée (via un programme horaire correspondant, voir paragraphe 5.3). La température de confort pour le chauffage peut être légèrement augmentée pendant la journée ("augmentation journalière" selon le paragraphe 5.4).
- S'il y a en plus un corps de chauffe électrique, celui-ci ne doit être mis en marche que dans des cas exceptionnels. Voir à ce sujet les explications du paragraphe 5.3. Lors du positionnement de la sonde de ballon, il faut également veiller à ce qu'elle soit placée au-dessus du corps de chauffe électrique.

- L'ensemble du système composé du gestionnaire d'énergie et de la pompe à chaleur doit impérativement être testé lors de la mise en service. Il faut vérifier la réaction correcte de la pompe à chaleur en cas de blocage et de libération, y compris la production d'eau chaude.

Il est renvoyé à la liste de contrôle "Mise en service et contrôle du fonctionnement" en annexe, paragraphe 9.6. En outre, il est absolument recommandé de procéder à un contrôle ultérieur après quelques semaines de fonctionnement avec une optimisation des réglages (voir liste de contrôle "Contrôle ultérieur" en annexe).

7 Déroulement du projet

Le diagramme de la figure 25 montre le déroulement de principe d'un projet. Les différentes étapes sont expliquées dans les sections suivantes.

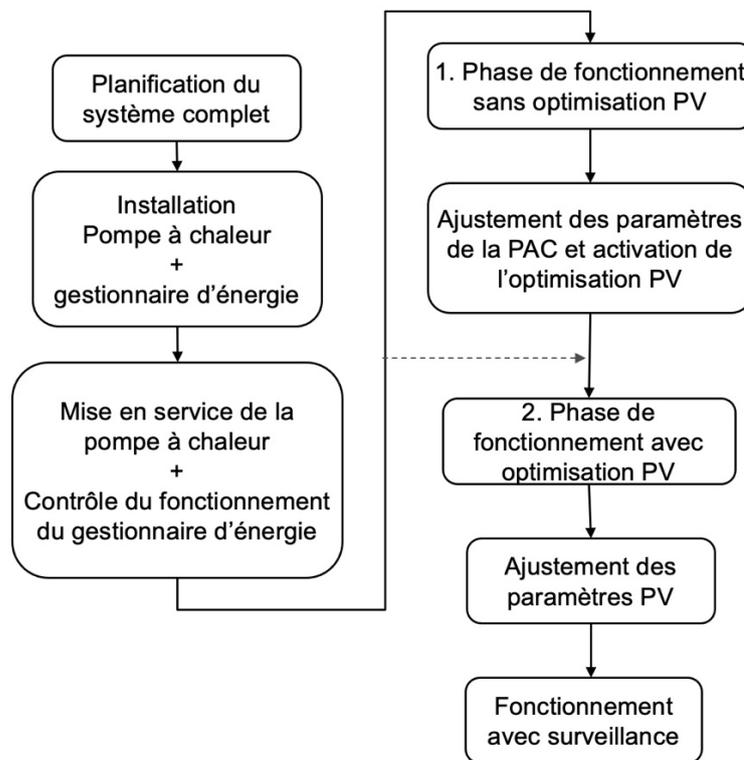


Figure 25 : Déroulement typique d'un projet.

7.1 Planification de l'ensemble du système

Lors de la planification, il est important de prendre en compte dès le départ l'ensemble du système, composé de l'installation photovoltaïque, de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie. Les composants doivent être adaptés les uns aux autres et compatibles. De plus, l'équilibrage et l'optimisation du système, qui sont absolument nécessaires, doivent être pris en compte dès le début dans les coûts. Les contrats de

service du côté de la pompe à chaleur et du système de gestion de l'énergie sont fortement recommandés, même pour les petites installations.

La responsabilité de la planification générale doit être confiée à une personne qui a une vue d'ensemble de tous les domaines mentionnés ci-dessus. Cette personne coordonne ensuite les planificateurs ou les installateurs des différents sous-systèmes. Il s'agit notamment des personnes suivantes :

- Planificateur et installateur PV
- Planificateur et installateur électrique
- Planificateur et installateur CVC
- Fournisseur de la pompe à chaleur
- Fournisseur du système de gestion de l'énergie

Tous les intervenants doivent savoir dès le départ qu'ils doivent coordonner leurs composants avec l'optimisation PV. Il va de soi qu'aucun des intervenants de la liste ci-dessus ne se charge en plus de la planification globale, à condition qu'il ait une connaissance suffisante des autres sous-systèmes.

Les points suivants doivent être définis lors de la phase de planification :

- Conception et intégration de l'installation PV
- Conception et intégration de la pompe à chaleur
- Définition des ratios à atteindre conformément à la section 0 en tant que valeurs cibles. Les indices peuvent être calculés à l'aide d'outils de simulation courants tels que [PolySun®] ou [PVopti 2018].
- Choisir un système de gestion de l'énergie approprié. Nous renvoyons ici aux brochures [EVO 2018] et [EMS 2020] (les versions les plus récentes peuvent être téléchargées sur Internet). Pour le gestionnaire d'énergie, les points suivants doivent être pris en compte :
 - Prise en charge de normes ouvertes, afin de permettre un remplacement facile, indépendamment des autres composants.
 - L'extensibilité doit être possible, par exemple pour l'intégration ultérieure d'une station de recharge pour véhicules électriques ou d'autres consommateurs.
 - Prise en charge des fonctions de monitoring (voir le point "Monitoring" ci-dessous).
- Utilisation ciblée des accumulateurs pour optimiser le PV :

- Préparateur d'eau chaude sanitaire : fonctionnement en journée, 1 charge journalière doit suffire, 60°C doivent être atteints même sans utilisation d'électricité.
 - Réservoir tampon : surdimensionnement de 1/3 du volume nominal recommandé [WPSM-SP 2018]. Une vanne mélangeuse en aval du ballon est impérative en raison de la surélévation du ballon.
 - Utilisation du bâtiment comme réservoir : des sondes d'ambiance doivent impérativement être installées et intégrées. Le gestionnaire d'énergie doit être préparé pour une gestion thermique active, y compris la prise en compte du bâtiment.
- Interfaces nécessaires sur les appareils :
 - Pompe à chaleur avec label SG-Ready® ou SmartGridReady® ou interface MODBUS validée pour l'optimisation PV.
 - Onduleur PV (WR) avec interface MODBUS selon le standard Sunspec® est un avantage (lecture des données).
 - Gestionnaire d'énergie avec les interfaces ci-dessus, doit être compatible pour les intégrations ci-dessus. En particulier pour l'intégration MODBUS, il faut s'assurer que la pompe à chaleur correspondante est prise en charge et a été testée au préalable.

→ Voir "**Liste de contrôle pour la planification**" à l'annexe I, chapitre 8.

7.1.1 Système de Monitoring et grandeurs de mesures

Pour l'optimisation ultérieure de l'exploitation, un système de surveillance est vivement recommandé. Celui-ci devrait faire partie intégrante du gestionnaire d'énergie. De plus, un monitoring conforme aux prescriptions Minergie est recommandé [MIN 2017, annexe C]. Pour lire les points de mesure de la PAC, une interface moderne comme MODBUS® ou SmartGridReady® est nécessaire. Dans le cas contraire, des sondes externes doivent être utilisées.

→ Voir la "**Liste de contrôle de la planification**" à l'annexe I, section 8.12 "**Monitoring**".

7.2 Installation de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie

L'installation de la pompe à chaleur doit être effectuée selon les normes de qualité actuelles du PAC Système-Module [WPSM 2021] (installations jusqu'à 15 kW de puissance de chauffage) ou la garantie de performance [WP-LG 2020] doit être remplie (installations à partir de 15 kW de puissance de chauffage).

Lors de l'installation du gestionnaire d'énergie, il convient de respecter les indications du fabricant. Il est important qu'il soit facile de remplacer le gestionnaire d'énergie par la suite, car la durée de vie des systèmes sur le marché est très variable et les fournisseurs peuvent changer en raison de la jeunesse du marché.

Les systèmes modernes de gestion de l'énergie nécessitent généralement une connexion Internet, qui doit être disponible sur le lieu d'installation. Pour des raisons de fiabilité, une solution câblée (LAN) est préférée à une solution sans fil (WLAN). Dans la mesure où les appareils contrôlés sont intégrés via IP, il est recommandé d'utiliser un routeur local (figure 26). Grâce à un sous-réseau séparé, la liaison de données entre le gestionnaire d'énergie et les appareils est indépendante du routeur domestique. Ainsi, même en cas de mise à niveau ou de remplacement éventuel du routeur domestique, par exemple en cas de changement de fournisseur d'accès à Internet, la connexion de données reste garantie. De plus, le sous-réseau séparé est moins sollicité par les applications gourmandes en données dans le domaine de la bureautique.

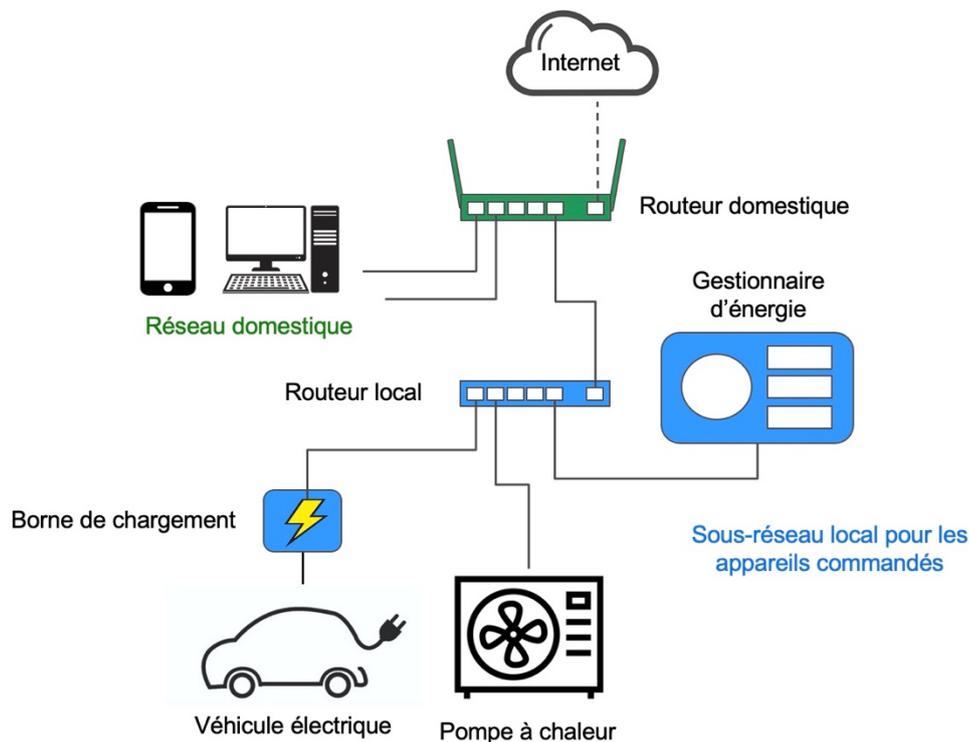


Figure 26 : Topologie de réseau avec sous-réseau indépendant pour les appareils contrôlés par IP.

7.3 Mise en service de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie avec contrôle du fonctionnement

La pompe à chaleur et le gestionnaire d'énergie doivent être mis en service conformément aux indications du fabricant. Pour la pompe à chaleur, il est fait référence à la procédure selon le PAC Système-Module [WPSM 2020]. Il est important de régler correctement la courbe de chauffe et la limite de chauffe selon [SIA 384/1], en fonction du bâtiment.

Une attention particulière doit être accordée à l'interaction correcte entre la pompe à chaleur et le gestionnaire d'énergie. Il est donc impératif de procéder à une configuration suivie d'un contrôle de fonctionnement.

→ Voir "**Checkliste Mise en service et contrôle du fonctionnement**", annexe II, chapitre 9.

Tous les réglages effectués du côté de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie doivent être documentés et le client final doit être instruit en conséquence.

7.4 Première phase d'exploitation sans optimisation PV

Lors d'une nouvelle installation, il est recommandé de faire fonctionner la pompe à chaleur dans la première phase sans optimisation PV. Cela permet de vérifier le fonctionnement souhaité de la pompe à chaleur et de l'ensemble du système hydraulique en fonctionnement normal.

Pendant cette phase, les grandeurs mesurées sont observées et évaluées via le système de monitoring. On vérifie si les températures sont respectées et si les cycles de commutation se situent dans une plage raisonnable. En outre, les chiffres clés sont enregistrés conformément à la section 0 et stockés en tant que "valeurs naturelles" pour le fonctionnement sans optimisation PV.

Pour accélérer le processus, il est possible de renoncer à la première phase de fonctionnement sans optimisation PV dans les situations suivantes :

- La pompe à chaleur est déjà en service depuis au moins une saison de chauffage et a déjà été contrôlée et réglée de manière optimale.
- On utilise une combinaison éprouvée de pompe à chaleur et de gestionnaire d'énergie, qui est expressément validée par le fabricant de pompes à chaleur pour ses systèmes.

Dans les cas ci-dessus, il est possible de passer directement à la deuxième phase de fonctionnement avec optimisation PV (section 7.6).

7.5 Ajustement des paramètres de la PAC et activation de l'optimisation PV

Selon le PAC Système-Module, un contrôle du système est prévu au plus tard après 2-3 ans [WPSM-NK 2021]. Ici, il est toutefois recommandé de procéder à un contrôle anticipé, au plus tard après la première saison de chauffage. Les paramètres de la pompe à chaleur, y compris la courbe de chauffe, sont réglés de manière optimale conformément au PAC-SM. Il convient de tenir compte d'une recharge quotidienne prioritaire pour l'eau chaude sanitaire.

L'optimisation PV est maintenant activée. Le déroulement est documenté dans les listes de contrôle suivantes :

→ Voir "**Checkliste Mise en service et contrôle du fonctionnement**", annexe II, chapitre 9

Selon l'intégration de la pompe à chaleur, différents points doivent être respectés. Les listes de contrôle suivantes s'appliquent à la nouvelle installation :

→ Voir "**Intégration de la pompe à chaleur via SG-Ready**", annexe II, section 9.3.

→ Voir "**Intégration de la pompe à chaleur via l'entrée PV**", annexe II, section 9.4.

→ Voir "*Intégration de la pompe à chaleur via l'interface Modbus / IP*", annexe II, section 9.5.

La liste de contrôle suivante s'applique à l'équipement ultérieur d'anciens modèles de pompes à chaleur :

→ Voir "*Intégration de la pompe à chaleur via l'entrée EAE*", annexe II, section 9.6.

7.6 Deuxième phase d'exploitation avec optimisation PV

Durant cette phase, l'ensemble du système fonctionne avec l'optimisation PV activée. Cela permet de vérifier le fonctionnement souhaité de la pompe à chaleur et des autres consommateurs en mode PV.

Pendant cette phase, les grandeurs de mesure sont observées et évaluées conformément au paragraphe 7.1.1. On vérifie si les températures sont respectées même en mode PV et si les cycles de commutation se situent dans une plage raisonnable. En outre, les chiffres clés selon la section 0 sont enregistrés et comparés avec les "valeurs naturelles" sans optimisation PV de la section 7.4. En calculant le quotient des chiffres clés avant et après l'optimisation, il est possible de vérifier l'efficacité du gestionnaire d'énergie et de l'optimiser si nécessaire.

7.7 Ajustement des paramètres PV

Les réglages de l'optimisation PV selon le paragraphe 7.5 sont à nouveau contrôlés et éventuellement ajustés.

Les réglages suivants doivent être vérifiés à cette occasion :

- Gestionnaire d'énergie : seuils de commutation pour l'activation des fonctions PV. La pompe à chaleur ne doit être activée qu'en cas d'excédent PV effectif.
- Pompe à chaleur : réglages de température pour les surélévations de l'accumulateur dans les différents états de fonctionnement, éventuellement réglage des hystérésis de commutation.
- Résistance électrique : ne doit s'enclencher que dans des cas exceptionnels, voir paragraphe 5.3.
- Pour d'autres réglages, voir la liste de contrôle ci-dessous.

→ Voir la "*Liste de contrôle du suivi*" à l'annexe III.

7.8 Fonctionnement avec monitoring

L'exploitation régulière du système peut maintenant commencer. Il est important de surveiller en permanence les paramètres de mesure conformément au paragraphe 7.1.1 et de vérifier au moins une fois par an les chiffres clés conformément au paragraphe 0. Le système doit également être optimisé en permanence pendant l'exploitation. Les fonctions du gestionnaire d'énergie servent à cela.

Des contrats de service pour la pompe à chaleur ainsi que pour le système de gestion de l'énergie sont vivement recommandés.

8 Annexe I : Liste de contrôle de la planification

Cette liste de contrôle aide le planificateur à choisir les composants et les interfaces lors de la phase de planification.

8.1 Données de l'installation

Propriétaire : _____

Lieu (adresse) : _____

Fournisseur d'énergie (GRD) : _____

PV-Planificateur/Installateur : _____

Planificateur électrique /Installateur : _____

Planificateur/Installateur CVC : _____

Fournisseur PAC : _____

Fournisseur gestionnaire d'énergie : _____

Date d'installation prévue : _____

Date de mise en service prévue : _____

8.2 Informations sur le bâtiment

Bâtiment neuf/existant

- Bâtiment neuf + installation PV + pompe à chaleur
- Bâtiment existant avec installation PV, mise à niveau de la pompe à chaleur
- Bâtiment existant avec pompe à chaleur, mise à niveau PV
- Bâtiment existant, ajouter une pompe à chaleur et du PV

Type de bâtiment :

- Maison individuelle
- Immeuble

Type de construction :

- Léger/bois
- Massif/pierre

Isolation :

- Aucune
- Bâtiment ancien rénové
- Nouvelle construction
- Minergie ____ (standard)

Données du bâtiment :

Nombre d'étages : _____

Nombre de pièces : _____

Nombre d'appartements (Immeuble) : _____

Surface habitable totale : _____ m²

Bâtiments supplémentaires, annexes, etc : _____

Données énergétiques (estimées)

Besoin annuel de chauffage thermique (kWh) _____

Besoin annuel ECS thermique (kWh) _____

Consommation annuelle pompe à chaleur (kWh) _____

Consommation annuelle d'électricité domestique (kWh) _____

Consommation annuelle d'électricité totale (kWh) _____

Consommation annuelle d'électricité totale (MWh) _____

8.3 Raccordement au réseau et compteur**Compteur principal du fournisseur d'énergie**

- Consommation propre avec 1 compteur de fournisseur d'énergie bidirectionnel au point de raccordement au réseau
- Injection avec 2 compteurs séparés pour l'injection et le soutirage
→ Demander le passage à la consommation propre à l'entreprise d'approvisionnement en électricité

Autres compteurs du fournisseur d'énergie

- Compteur de production supplémentaire pour l'installation PV
→ Demander à l'entreprise d'approvisionnement en électricité de renoncer au compteur de production pour les installations de moins de 30kWp
- Compteur supplémentaire pour pompe à chaleur
→ Pour les installations en autoconsommation, demander à l'entreprise d'approvisionnement en électricité de renoncer à un compteur séparé

8.4 Installation photovoltaïque et onduleur

Données de l'installation PV

Puissance de crête de l'installation (kWp) _____ → $P_{PV,max}$

Orientation de l'installation : _____

Estimation de la production annuelle (kWh) _____

Onduleur Fabricant / Type : _____ / _____

Onduleur avec interface MODBUS : (oui/non) _____

8.5 Pompe à chaleur

Fabricant de la pompe à chaleur / Type / Année de construction :

_____ / _____ / _____

Source de chaleur : air sol eau autres : _____

Puissance de chauffage valeur nominale (kW) : _____ dans des conditions normalisées :

Puissance électrique absorbée valeur nominale (kW) : _____ (dans des conditions normalisées)

Inverter (oui/non) : _____

Intégration

Pour une **nouvelle pompe à chaleur**, au moins 1 des interfaces suivantes doit être disponible. Si ce n'est pas le cas, il faut demander l'option correspondante au fabricant.

Interface SG-Ready disponible

→ Le logo "SG-Ready" doit être présent et la pompe à chaleur doit disposer de 2 entrées relais spéciales permettant de piloter les 4 modes de fonctionnement selon la norme SG-Ready [SG-R 2013].



Entrée PV disponible

→ La pompe à chaleur doit disposer d'une entrée relais supplémentaire permettant de la mettre en mode PV (appelée aussi "PV-Ready" ou similaire chez certains fabricants).

Interface MODBUS® disponible

→ La pompe à chaleur peut être commandée "intelligemment" via MODBUS. La connexion physique se fait via le réseau local (MODBUS TCP). Les points suivants doivent être respectés .

Documentation disponible pour l'interface MODBUS®.

→ Comme les protocoles MODBUS sont spécifiques au fabricant, une description détaillée de l'interface est impérativement nécessaire de la part du fabricant (document avec liste des registres MODBUS).

Interface SmartGridReady disponible

→ La pompe à chaleur peut être commandée "intelligemment" via le nouveau standard SmartGridReady selon [SGr 2018]. La pompe à chaleur doit présenter le logo suivant et être pilotable via une interface IP (LAN).



niveau SmartGridReady annoncé : _____

→ Selon [SGr 2018], 6 niveaux sont connus ("niveaux"), voir paragraphe 6.4. Le fabricant doit déclarer le niveau qui est supporté. Il faut au moins le niveau 2 (SG-Ready bwp), mieux le niveau 4 (spécifications dynamiques).

Dans le cas d'une pompe à chaleur plus ancienne (équipement ultérieur), les interfaces ci-dessus ne sont pas encore disponibles. La solution suivante entre alors en ligne de compte, si elle est prise en charge par le gestionnaire d'énergie.

Commande via le verrouillage EAE

→ L'entrée de blocage EAE est utilisée pour faire fonctionner la pompe à chaleur en cas de fonctionnement PV ou de besoin de confort (paragraphe 6.5).

Le gestionnaire d'énergie dispose d'une surveillance de la température ambiante.

→ Le gestionnaire d'énergie surveille la température ambiante via une sonde et déverrouille la pompe à chaleur même si la température ambiante est basse (section 8.11).

Le fournisseur d'énergie (EAE) est informé de la commande PV supplémentaire.

→ La commande PV est connectée en série à l'éventuelle commande EAE existante.

→ La plupart du temps, l'entreprise d'approvisionnement en électricité renonce à bloquer la pompe à chaleur en cas d'optimisation PV.

Circuit hydraulique

- Présence d'un réservoir tampon
 Vanne mélangeuse présente

→ La vanne mélangeuse est impérative en raison de la surélévation du ballon en cas de fonctionnement PV ! (Exception : commande par blocage GRD)

Estimation des ratios pouvant être atteints

Taux de couverture solaire "naturel" attendu de la pompe à chaleur = _____ (%)
 $r_{sol,WP,nat} = r_{aut,nat}$

Facteur d'augmentation attendu par la technique de régulation pour le chauffage selon la figure 4 = _____ (chiffre)

Facteur d'augmentation attendu par la technique de régulation pour l'ECS selon la figure 4 = _____ (chiffre)

Taux de couverture solaire attendu de la pompe à chaleur pour le chauffage, optimisé = _____ (%) $r_{sol,WP,Heiz,opt}$

Taux de couverture solaire attendu de la pompe à chaleur pour l'ECS, optimisé = _____ (%) $r_{sol,WP,WW,opt}$

8.6 Système de stockage**Type de système de stockage :**

- Réservoir d'accumulation
 Réservoir d'eau chaude sanitaire
 Accumulateur combiné avec certificat de stratification

Dans le cas d'un ballon mixte, il faut spécialement veiller à une bonne stratification. À cet égard, il convient de respecter la fiche technique [SPF 2018] ou la prescription de contrôle [SPF-PV86].

Dimensionnement des réservoirs :

Taille de l'accumulateur selon le dimensionnement [SIA 384] et [SIA 385] :

Réservoir tampon : _____ litres

- Surdimensionnement : _____ Facteur

→ Un surdimensionnement de 1/3 maximum est recommandé [WPSM-SP 2021].

Réservoir d'eau chaude sanitaire : _____ litres

- Dimensionnement pour 1 charge par jour via la pompe à chaleur.

→ Selon [WPSM-SP 2021], aucun surdimensionnement n'est recommandé, mais l'accumulateur devrait se contenter de 1 charge par 24h pour une consommation moyenne du bâtiment prévu.

8.7 Chauffe-eau pompe à chaleur

Dans une nouvelle construction, l'eau chaude sanitaire devrait également être produite par la pompe à chaleur centrale. En cas d'équipement ultérieur, les chauffe-eaux à pompe à chaleur peuvent toutefois être utiles pour remplacer les chauffe-eau électriques.

Chauffe-eau pompe à chaleur existant

Puissance de chauffage : _____ kW

Puissance électrique absorbée : _____ kW

Fabricant / type / année de construction :

_____ / _____ / _____

Intégration (interfaces)

- Marche/Arrêt
- SG-Ready (2 entrées de relais)
- Entrée PV (1 entrée relais)
- MODBUS® (interface LAN)
- autres : _____

Pour les interfaces, voir le paragraphe 8.5.

8.8 Inserts électriques

En général, les inserts électriques ne sont pas recommandés pour l'optimisation PV en raison de leur mauvaise efficacité. Ils ne peuvent être activés que dans des cas exceptionnels, conformément au paragraphe 5.3. On distingue les cas suivants :

- La pompe à chaleur atteint la température requise dans l'accumulateur pour des raisons d'hygiène selon la norme SIA 385/1 (en général 55 ou 60 °C) et le réservoir d'eau chaude sanitaire est suffisamment dimensionné pour couvrir les besoins avec une charge quotidienne → L'eau chaude sanitaire est chauffée exclusivement par la pompe à chaleur, aucun insert électrique n'est utilisé.
- La pompe à chaleur atteint la température requise dans l'accumulateur pour des raisons d'hygiène selon la norme SIA 385/1 (en général 55 ou 60 °C), mais le réservoir d'eau chaude sanitaire n'est pas suffisamment dimensionné pour couvrir les besoins avec une charge quotidienne → Dans ce cas, l'insert électrique peut être utilisé pour augmenter légèrement la température de l'eau chaude, de sorte qu'une recharge avec le courant du réseau n'est pas nécessaire pendant la nuit.

- La pompe à chaleur atteint une température dans l'accumulateur inférieure à celle requise pour des raisons d'hygiène selon la norme SIA 385/1 (en général 55 ou 60 °C) → Dans ce cas, le module électrique peut être utilisé pour augmenter la température de l'eau chaude à la température requise.

Si un insert électrique est utilisé, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

- La production primaire d'eau chaude est assurée par la pompe à chaleur.
- L'insert électrique est mis en marche après la pompe à chaleur.
- L'insert électrique n'est activé qu'en cas d'excédent PV correspondant.
- L'insert électrique est activé pour des raisons d'hygiène, car la pompe à chaleur n'atteint pas les températures requises (voir ci-dessus). L'activation a lieu en premier lieu en cas d'excédent PV ou lorsque le tarif du réseau est bas et en dehors des périodes de forte charge du réseau électrique.
- L'insert électrique n'est pas du tout activé en fonctionnement normal et ne sert qu'au chauffage de secours.

Les inserts électriques suivants sont prévus/disponibles :

- Insert électrique réservoir tampon : _____ kW (puissance)
- Insert électrique réservoir d'eau chaude sanitaire : _____ kW (puissance)
- Le fournisseur d'énergie (EAE) est informé de la commande PV supplémentaire de l'insert électrique. Une éventuelle commande via la télécommande centralisée pendant la nuit doit être désactivée.

Type de régulation de la puissance :

- marche/arrêt
- niveaux, nombre de niveaux : _____ (nombre)
- variable, plage de puissance : _____ (kW)

8.9 Installation solaire thermique (en option)

Si une installation solaire thermique est déjà présente, elle doit être prise en compte dans la planification.

- Installation solaire thermique existante

Surface des capteurs : _____ m²

Fabricant Installation / type / année de construction :

_____ / _____ / _____

Connexion :

- Production d'eau chaude sanitaire uniquement
- Production d'eau chaude sanitaire et chauffage d'appoint
- Accumulateur solaire combiné avec certificat de stratification

Dans le cas d'un ballon combiné, il faut spécialement veiller à une bonne stratification. Pour cela, il convient de respecter la fiche technique [SPF 2018] ou la prescription de contrôle [SPF-PV86]

8.10 Système d'émission de chaleur et régulation de la température ambiante

Type de système d'émission de chaleur :

- Radiateur
- Chauffage par le sol

Régulation de la température ambiante des pièces :

- Radiateurs avec vannes thermostatiques
- Chauffage par le sol passif ("effet d'autorégulation") non recommandé
- Chauffage au sol avec thermostat, 1 thermostat dans le salon
- Chauffage au sol avec thermostat, 1 thermostat dans chaque pièce (régulation pièce par pièce)

Connexion avec le système de chauffage central :

- Sonde d'ambiance présente, reliée à la pompe à chaleur
- Sonde d'ambiance présente, reliée au système de domotique (par ex. via KNX)

→ Conformément à [SIA 386], il est fortement recommandé de relier les régulations locales des locaux et la régulation centrale du bâtiment en cas de présence d'une GTB.

→ Pour les petits bâtiments, le gestionnaire d'énergie (section 8.11) peut en partie assumer les fonctions de la régulation centrale du bâtiment, pour autant qu'il soit prévu à cet effet.

Utilisation active du bâtiment comme réservoir thermique :

- Influencer les températures de départ.
- Influence des valeurs de consigne de la température ambiante

→ Des sondes de température ambiante doivent obligatoirement être présentes et prises en compte dans le gestionnaire d'énergie (section 8.11).

8.11 Gestionnaire d'énergie

L'ensemble du système doit être contrôlé par un gestionnaire d'énergie central.

Type de gestionnaire d'énergie

- Gestionnaire d'énergie en tant que produit séparé
- Onduleur avec fonctions supplémentaires de gestion de l'énergie
- Pompe à chaleur avec fonctions supplémentaires de gestion de l'énergie
- Système de batterie avec fonctions supplémentaires de gestion de l'énergie

Conditions

Le gestionnaire d'énergie doit remplir les conditions suivantes :

- Pilotage d'une pompe à chaleur via SG-Ready ou entrée PV
- En option : commande d'une pompe à chaleur via MODBUS ou SmartGridReady
- Système ouvert avec possibilités d'extension
- Configurabilité aisée par l'installateur et le client final
- Assistance garantie lors de la mise en service et pendant l'exploitation.

En outre, le gestionnaire d'énergie doit enregistrer les grandeurs de mesure suivantes :

- Mesure de la production de l'installation PV
- Mesure de la consommation totale du bâtiment, y compris le reste du courant domestique
- En option : mesure séparée de la consommation de la pompe à chaleur

→ Voir l'exemple de schéma pour maison individuelle à la figure 6

Bâtiment collectif avec décompte des frais d'électricité (RCP)

- Utilisation d'un compteur étalonné pour la production
- Utilisation d'un compteur étalonné pour la consommation générale
- Utilisation d'un compteur étalonné pour pompe à chaleur
- Utilisation de compteurs étalonnés pour les logements
- Tous les compteurs disposent d'une homologation METAS.

→ Voir les exemples de schémas pour des bâtiments collectifs à la figure 7

Choix du produit :

Nom du produit : _____

Fabricant / Version : _____ / _____

Composants pris en charge par le gestionnaire d'énergie :

- Pompe à chaleur
- Réservoir d'eau chaude sanitaire
- Station de recharge pour véhicule électrique
- Commande d'appareils ménagers
- Système de batterie
- autres : _____

Interfaces prises en charge par le gestionnaire d'énergie :

- Sorties relais pour la commutation de consommateurs individuels. Nombre : _____

→ peut être utilisé pour commander l'interface PV des pompes à chaleur.

- SG-Ready® (2x sorties relais) pour pompes à chaleur.

→ peut être utilisé pour piloter l'interface SG-Ready des pompes à chaleur.

- Interface MODBUS® pour pompes à chaleur
 - Interface compatible avec les pompes à chaleur sélectionnées au paragraphe 8.5
 - La compatibilité doit impérativement être vérifiée !
- Interface MODBUS® pour onduleurs
 - Interface compatible avec l'onduleur choisi au paragraphe 8.4
 - La compatibilité doit impérativement être vérifiée (standardisation selon SunSpec®) !

- Interface avec les systèmes de domotique
 - KNX
 - BacNet
 - autres : _____

- autres interfaces:
-
-

- Gestion thermique intégrée
 - Mesure de la température du réservoir d'eau chaude sanitaire
 - Mesure de la température du ballon tampon
 - Mesure de la température ambiante pour l'habitat

autres mesures de température : _____

→ Pour l'utilisation active du bâtiment comme accumulateur thermique, une mesure de la température ambiante est impérative

8.12 Monitoring

Un monitoring selon MINERGIE® est recommandé [MIN 2017, annexe C] et [MINMON 2020, annexe D]. Pour cela, les grandeurs suivantes doivent être saisies en permanence par le gestionnaire d'énergie et évaluées statistiquement :

Points de mesure impérativement nécessaires (version "Light" pour les maisons individuelles et les petits bâtiments) :

- Puissance électrique (kW) et énergie (kWh) pour l'installation PV.
- Puissance électrique (kW) et énergie (kWh) pour la consommation totale
- Puissance électrique (kW) et énergie (kWh) pour la pompe à chaleur

Points de mesure recommandés supplémentaires (version "Standard") :

- Énergie thermique (kWh) pour le circuit de chauffage
- Énergie thermique (kWh) pour l'eau chaude sanitaire

Mesures de température recommandées (pour l'évaluation des coefficients) :

- Température du réservoir d'eau chaude sanitaire
- Température du réservoir tampon
- Température ambiante dans la zone d'habitation
- Température extérieure

Les analyses statistiques doivent porter sur les chiffres clés suivants (voir section 0) :

- Production totale d'énergie électrique (kWh)
- Consommation totale d'énergie électrique (kWh)
- Consommation pompe à chaleur énergie (kWh)
- Coefficient de travail de la pompe à chaleur (chiffre)
- Taux d'autoconsommation totale (%)
- Taux d'autosuffisance total (%)
- Taux de couverture solaire de la pompe à chaleur (%)
- Prélèvement sur le réseau, injection dans le réseau et consommation propre (kWh)

La résolution temporelle doit être la suivante :

- Valeurs instantanées (puissances kW toutes les 15 minutes ou plus)
- Valeurs mensuelles (kWh, ratios en %, températures de passage)
- Valeurs annuelles (kWh, ratios en %, températures de passage)
- Comparaison avec les valeurs de l'année précédente

9 Annexe II : Liste de contrôle pour la mise en service et le contrôle de fonctionnement

Cette liste de contrôle aide l'installateur à mettre en service les composants et à effectuer un contrôle fonctionnel pour l'ensemble du système avec optimisation PV.

9.1 Données de l'installation

Propriétaire : _____

Lieu (adresse) : _____

Fournisseurs d'énergie (GRD): _____

Planificateur/installateur PV: _____

Planificateur/installateur en électricité: _____

Planificateur/installateur CVC: _____

Fournisseur Pompe à chaleur : _____

Fournisseur du gestionnaire d'énergie : _____

Date d'installation : _____

Date de mise en service : _____

9.2 Installation photovoltaïque

Onduleur avec interface MODBUS : (ou/non) _____

Si l'option MODBUS est disponible :

- Extension MODBUS installée et activée.
- Connexion au gestionnaire d'énergie établie

Connexion :

- LAN Adresse IP de l'onduleur : _____
- Câble sériel Adresse/ID de l'onduleur : _____
- autre : _____

Si aucune option MODBUS n'est disponible :

- Compteur électrique pour mesurer la production installé, configuré et connecté au gestionnaire d'énergie.
- Mesure test effectuée : la puissance affichée correspond à la puissance de l'onduleur

9.3 Intégration de la pompe à chaleur via SG-Ready

Circuit hydraulique

- Vanne de mélange installée après le réservoir tampon et raccordée à la pompe à chaleur

Connexions électriques et câblage

- 2 entrées de relais du côté de la pompe à chaleur reliées au gestionnaire d'énergie
- Eventuels blocages GRD désactivés par fournisseur d'énergie (en accord avec GRD)
- Intégration "SG-Ready" via LAN → Adresse IP de la PAC : _____

Compteurs et capteurs installés :

- Compteur électrique pour pompe à chaleur¹⁾
- Sonde de température du réservoir tampon : reliée à la PAC reliée à l'EM
- Sonde de température ballon ECS : reliée à WP reliée à EM
- Sonde de température pièce¹⁾ : reliée à la PAC reliée à l'EM

¹⁾ en option, WP = pompe à chaleur, EM = gestionnaire d'énergie,

Configuration de la PAC

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant : (valeurs entre parenthèses : valeurs minimales/maximales)

- Fonction "SG-Ready" activée.
- Augmentation de la température du réservoir tampon réglée. Valeur : __K (max 10 K)
- Augmentation de la température du réservoir d'eau potable réglée : Valeur : _____ K (max 10K. max 60°C)

(pour la température maximale autorisée, respecter les indications du fabricant !)

Autres réglages (hystérésis, etc.) : _____

Réglages généraux :

Charge ECS programmée sur jour Programme horaire : _____ (ex. 13:00-15:00)

→ Valeurs de réglage recommandées voir paragraphe 6.1.1

Configuration du gestionnaire d'énergie

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant :

(valeurs entre parenthèses : réglages recommandés)

- Fonction d'optimisation PV pour la pompe à chaleur sélectionnée
- Mode SG-Ready sélectionné
- Seuil de puissance inférieur défini en mode de fonctionnement 3 : ____ kW ($P_{PACX1.5}$)
- Seuil de puissance supérieur défini en mode de fonctionnement 4 : ____ kW (P_{PACX2})

(P_{PAC} = puissance électrique absorbée de la pompe à chaleur selon la plaque signalétique)

→ Définition des états de fonctionnement voir ci-dessous

Contrôle du fonctionnement des états de service SG-Ready® :

→ Pour cela, sur la page Gestionnaire d'énergie, on fait défiler manuellement les 4 états de fonctionnement ci-dessous.

→ Sur la page Pompe à chaleur, on vérifie si les ordres arrivent correctement ou sont exécutés.

SG1 : Entrée de relais 1

SG2 : entrée de relais 2

- État de fonctionnement 1 - Bloqué : SG1 = 1, SG2 = 0
- État de fonctionnement 2 - Débloqué : SG1 = 0, SG2 = 0
- État de fonctionnement 3 - Augmenté : SG1 = 0, SG2 = 1
- État de fonctionnement 4 - Contrainte : SG1 = 0, SG2 = 1

9.4 Intégration de la pompe à chaleur via l'entrée PV

Schéma hydraulique

- Vanne mélangeuse installée après le réservoir tampon et raccordée à la pompe à chaleur.

Raccordements électriques et câblage

- 1 entrée de relais sur le côté de la pompe à chaleur reliée au gestionnaire d'énergie.

Compteurs et capteurs installés :

- Compteur électrique pour pompe à chaleur¹⁾
 Sonde de température du réservoir tampon : reliée à la PAC reliée à l'EM
 Sonde de température ballon ECS : reliée à la PAC reliée à EM
 Sonde de température pièce¹⁾ : reliée à la PAC reliée à l'EM

¹⁾ en option, WP = pompe à chaleur, EM = gestionnaire d'énergie

Configuration de la PAC

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant :

(valeurs entre parenthèses : valeurs maximales)

- "Fonction PV" activée.
 Augmentation de la température du réservoir tampon réglée. Valeur : ____ K (max 10 K)
 Augmentation de la température du réservoir ECS réglée : Valeur : ____ K (max 10 K, max 60°C).

(pour la température maximale autorisée, respecter les indications du fabricant !)

Réglages généraux :

- Charge ECS programmée sur jour Programme horaire : _____ (ex. 13:00-15:00)

→ Valeurs de réglage recommandées voir paragraphe 6.1.1

Configuration du gestionnaire d'énergie

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant :

(valeurs entre parenthèses : réglages recommandés)

- Fonction d'optimisation PV sélectionnée pour la pompe à chaleur
 Mode PV-Ready ou optimisation via l'entrée PV sélectionné.
 Seuil de puissance défini pour le fonctionnement PV : _____ kW (P_{PAC}X1.5)

(P_{PAC} = puissance électrique absorbée de la pompe à chaleur selon la plaque signalétique)

→ Définition des états de fonctionnement voir ci-dessous

Contrôle du fonctionnement des états de service PV :

→ Pour cela, sur la page Gestionnaire d'énergie, on fait défiler manuellement les 2 états de fonctionnement ci-dessous.

→ Du côté de la pompe à chaleur, on vérifie si les ordres arrivent correctement ou sont exécutés.

- Entrée sur 0 (ouverte) → Fonctionnement normal
- Entrée sur 1 (fermée) → Fonctionnement PV

9.5 Intégration de la pompe à chaleur via l'interface Modbus / IP

Circuit hydraulique

- Vanne de mélange installée après le réservoir tampon et raccordée à la pompe à chaleur.

Interface, protocole de transmission :

- MODBUS®.
- SmartGridReady
- autres : _____

Documentation Protocole : _____ Version : _____ Date : _____

Interface, connexion :

- LAN → Adresse IP de la pompe à chaleur : _____
- autre : _____

Compteurs et capteurs installés :

- Compteur électrique pour la pompe à chaleur
- Sonde de température du ballon tampon : reliée à la PAC reliée à l'EM
- Sonde de température ballon ECS : reliée à la PAC reliée à l'EM
- Sonde de température ambiante : reliée à la PAC reliée à l'EM

WP = pompe à chaleur, EM = gestionnaire d'énergie

Configuration de la PAC

- Interface MODBUS® activée

- Interface SmartGridReady activée
- Autre interface activée : _____

Paramètres généraux :

- Charge ECS programmée sur jour → Programme horaire : _____ (ex. 13:00-15:00)

Configuration du gestionnaire d'énergie

→ Les réglages suivants doivent être effectués de manière générale.

→ Il est important de choisir correctement la pompe à chaleur et le protocole, car il existe sur le marché des solutions spécifiques aux fabricants. Dans le cas de "SmartGridReady", cela est standardisé.

- Optimisation PV activée pour la pompe à chaleur
- Type de pompe à chaleur sélectionné : _____
- Version du protocole sélectionnée (MODBUS®) : _____
- SmartGridReady® pris en charge.

→ Les valeurs de consigne suivantes doivent pouvoir être pilotées de manière variable par le gestionnaire d'énergie.

→ Indication des valeurs minimales et maximales, si réglables

- Température de confort¹⁾ Réservoir tampon. Valeurs min/max : _____
- Température de confort¹⁾ Départ. Valeurs min/max : _____
- Température de consigne pièce²⁾. Valeurs min/max : _____
- Température de consigne eau chaude sanitaire³⁾. Valeurs min/max : _____
- Influence de la vitesse de rotation du compresseur⁴⁾ pour les modes :
 Chauffage Eau chaude sanitaire
- Consigne de vitesse de rotation du compresseur⁴⁾. Valeurs min/max : _____

¹⁾ Température de confort = point de base de la courbe de chauffage. Augmentation maximale de 5K en mode PV (plus faible pour les chauffages au sol passifs sans thermostat d'ambiance).

²⁾ En option : influence de la température ambiante. Augmentation maximale de 2K en mode PV (en présence d'un thermostat d'ambiance).

³⁾ Valeur de consigne de l'eau chaude sanitaire. Augmentation maximale de 10K en mode PV, valeur de consigne maximale de 60°C ou selon la limite d'utilisation de la pompe à chaleur (respecter les indications du fabricant !).

4) *En option : influence sur la vitesse de rotation du compresseur. Pour cela, une autorisation du fabricant est nécessaire. La plage de vitesse commandée doit être autorisée par le fabricant.*

Contrôle de fonctionnement :

→ Il faut vérifier si le bon protocole a été sélectionné et si les données peuvent être lues à partir de la pompe à chaleur. Pour cela, on vérifie les valeurs affichées sur le gestionnaire d'énergie.

Les données de la PAC s'affichent correctement sur le gestionnaire d'énergie :

températures : _____

les états de fonctionnement : _____

La PAC peut être activée manuellement via le gestionnaire d'énergie :

marche/arrêt

différents modes de fonctionnement : _____

Aucun message d'erreur n'apparaît

Un message d'erreur apparaît : _____

→ En cas de message d'erreur, procéder selon les indications du fabricant jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de message d'erreur.

9.6 Intégration de la pompe à chaleur par le biais d'un blocage GRD

→ Ce type de raccordement n'est recommandé que pour les anciennes pompes à chaleur qui ne disposent pas d'autres interfaces.

→ Le raccordement doit être clarifié au préalable avec le fournisseur d'énergie

Raccordements électriques et câblage

Clarifications préalables effectuées avec le fournisseur d'énergie, schéma établi

Entrée de blocage GRD du côté de la pompe à chaleur reliée au gestionnaire d'énergie

Blocage GRD désactivé par le fournisseur d'énergie¹⁾

Verrouillage GRD connecté en série par le fournisseur d'énergie²⁾

1) *Meilleure solution si elle est soutenue par le fournisseur d'énergie.*

2) *Si le fournisseur d'énergie ne veut pas renoncer au blocage du GRD, le relais du gestionnaire d'énergie doit être branché en série avec le blocage du GRD. Cela permet de bloquer en plus la pompe à chaleur en haut tarif si le confort est suffisant.*

Compteurs et capteurs installés :

- Compteur électrique pour pompe à chaleur1)
- Sonde de température du réservoir tampon : reliée à la PAC reliée à l'EM
- Sonde de température ballon ECS : reliée à la PAC reliée à EM
- Sonde de température pièce 2) : reliée à la PAC reliée à l'EM

³⁾ *Compteur électrique en option, PAC = pompe à chaleur, EM = gestionnaire d'énergie*

⁴⁾ *Sonde d'ambiance ici obligatoire pour surveiller le confort !*

Configuration de la PAC

→ Ici, aucune configuration spéciale n'est nécessaire du côté de la PAC. Toutefois, le programme d'eau chaude devrait impérativement être réglé sur le jour. Une "augmentation journalière" permet également d'optimiser davantage le chauffage (voir paragraphe 5.3).

Réglages généraux :

- Charge ECS programmée sur jour → Programme horaire : _____ (ex. 13:00-15:00)
- "Augmentation jour" programmée pour le chauffage Programme horaire : _____

Configuration du gestionnaire d'énergie

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant :

- Fonction d'optimisation PV pour la pompe à chaleur sélectionnée
- Intégration de la température ambiante sélectionnée
- Seuil de puissance défini pour le fonctionnement PV : _____ kW
- ou autre critère défini pour le fonctionnement PV : _____

Contrôle du fonctionnement des états de service :

→ Pour cela, sur la page Gestionnaire d'énergie, on fait défiler manuellement les 2 états de fonctionnement ci-dessous.

→ Du côté de la pompe à chaleur, on vérifie si les ordres arrivent correctement ou sont exécutés.

- Entrée sur 0 (ouverte) → Pompe à chaleur bloquée
- Entrée sur 1 (fermée) → Pompe à chaleur libérée

9.7 Chauffe-eau pompe à chaleur

Connexions électriques et câblage

- Entrée PV : 1 entrée relais côté chauffe-eau PAC reliée au gestionnaire d'énergie.
- SG-Ready : 2 entrées de relais du côté chauffe-eau PAC reliées au gestionnaire d'énergie.
- LAN : réseau relié au gestionnaire d'énergie, adresse IP chauffe-eau PAC : _____

Compteurs et capteurs installés :

- Compteur électrique pour chauffe-eau PAC¹⁾
- Sonde de température chauffe-eau PAC : reliée chauffe-eau PAC reliée à EM

en option, WP = pompe à chaleur, EM = gestionnaire d'énergie,

Configuration du chauffe-eau PAC

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant :

- "Fonction PV" activée.
- Augmentation de la température réglée : Valeur : _____ K

Réglages généraux :

- Charge ECS programmée sur jour

→ Valeurs de réglage recommandées, voir paragraphe 6.1.1

Configuration du gestionnaire d'énergie

→ Les réglages suivants doivent être effectués conformément à la documentation du fabricant :

- Fonction d'optimisation PV sélectionnée pour le chauffe-eau PAC
- Optimisation par entrée PV sélectionnée
- Optimisation via SG-Ready sélectionnée
- Optimisation via LAN/IP sélectionnée

- Seuil de puissance défini pour le fonctionnement PV : _____ kW

→ Définition des états de fonctionnement voir ci-dessous

Contrôle du fonctionnement des états de fonctionnement PV :

→ Pour cela, tous les états de fonctionnement sont passés manuellement en bas sur la page Gestionnaire d'énergie.

→ Sur la page chauffe-eau PAC, on vérifie si les commandes arrivent correctement ou sont exécutées.

- Verrouillé
- Fonctionnement normal
- Fonctionnement accru
- Fonctionnement forcé

→ Voir également les sections 9.3 et 9.4.

9.8 Inserts électriques

En général, les inserts électriques ne sont pas recommandés pour l'optimisation PV en raison de leur mauvaise efficacité. Ils ne doivent être activés que dans des cas exceptionnels, conformément au paragraphe 5.3 ou à la liste de contrôle du paragraphe 8.8.

Si les inserts électriques sont autorisés, vérifier la configuration dans le gestionnaire d'énergie :

- Libération uniquement possible une fois la charge d'ECS effectuée par la pompe à chaleur
- Libération uniquement possible en cas de surplus de PV
- Libérations éventuelles par signaux de télécommande centralisée de l'entreprise d'approvisionnement en énergie désactivées la nuit

Contrôle du fonctionnement des états de service :

→ Pour cela, on fait défiler les niveaux selon le tableau sur la page Gestionnaire d'énergie.

→ Du côté du bloc électrique, on vérifie s'il commute en conséquence.

→ Si un compteur électrique séparé est disponible, la puissance absorbée est mesurée.

→ Les seuils de commutation sur la page Gestionnaire d'énergie doivent être plus élevés que les puissances absorbées correspondantes, afin qu'elles ne soient activées qu'en cas d'excédent PV.

Étape	Puissance absorbée selon le fabricant (kW)	Puissance absorbée mesurée (kW)	Seuil de commutation du gestionnaire d'énergie
Etape 0 (OFF)			
Etape 1 (ON)			
Etape 2			
Etape 3			
Etape 4			
Max			

9.9 Système d'émission de chaleur et régulation de la température ambiante

Régulation de la température ambiante par vannes thermostatiques sans connexion bus

- Vannes thermostatiques dans la zone de séjour si possible ouvertes
- Vannes thermostatiques réduites dans la chambre et la zone secondaire

Régulation de la température ambiante par des modules de commande d'ambiance avec connexion par bus

- 1 appareil de commande d'ambiance disponible dans la zone d'habitation.
- Présence de plusieurs boîtiers de commande d'ambiance dans les différentes pièces.

Nombre : _____

Système de bus :

- MODBUS®.
- KNX®
- BacNet®.
- autres : _____

Configuration sur la page du gestionnaire d'énergie (si possible)

- Système de bus intégré et activé en haut
- Influence de la température ambiante de consigne, plage réglée : de ____ à ____ °C
- Autres grandeurs influencées : _____

10 Annexe III : Liste de contrôle du suivi

Cette liste de contrôle aide l'installateur à contrôler les réglages de l'ensemble du système après une phase d'exploitation avec optimisation PV.

10.1 Monitoring

Un monitoring continu de l'installation avec l'enregistrement des données suivantes sert de base au contrôle ultérieur.

Grandeurs de mesure électriques :

Les grandeurs électriques suivantes ont été enregistrées, inscrire les valeurs pour la période considérée :

- Installation PV Production d'énergie totale = _____ (kWh) → E_{prod}
- Bâtiment Consommation d'énergie totale = _____ (kWh) → E_{cons}
- Prélèvement total sur le réseau = _____ (kWh) → $E_{réseau}$
- Alimentation du réseau totale = _____ (kWh) → E_{inject}
- Consommation propre totale = _____ (kWh) → $E_{autocons}$

- Consommation d'énergie PAC totale = _____ (kWh) → E_{PAC}
- Consommation propre PAC totale = _____ (kWh) → $E_{autocons,PAC}$
- Consommation d'énergie chauffage PAC = _____ (kWh) → $E_{PAC,Chauf}$
- Consommation propre chauffage PAC = _____ (kWh) → $E_{autocons,PAC,Chauf}$
- Consommation d'énergie ECS PAC = _____ (kWh) → $E_{PAC,ECS}$
- Consommation propre ECS PAC = _____ (kWh) → $E_{autocon,PAC,ECS}$

- Consommation d'énergie totale de l'insert électrique pour l' ECS = _____ (kWh) → $E_{ES,ECS}$

- Autoconsommation totale du bâtiment = _____ (kWh) → E_{HH}
→ $E_{HH} = E_{con} - E_{PAC} - E_{ECS}$

- Les courbes de puissance en kW ont été enregistrées pour toutes les grandeurs ci-dessus.
→ Résolution temporelle : _____ Min.

Grandeurs de mesure thermiques :

Les grandeurs thermiques suivantes ont été enregistrées, inscrire les valeurs pour la période considérée :

- Energie thermique PAC totale = _____ (kWh) → Q_{PAC}
- Energie thermique PAC pour le chauffage = _____ (kWh) → $Q_{PAC,chauffage}$
- Energie thermique PAC pour l'ECS = _____ (kWh) → $Q_{WP,WW}$

Indicateurs énergétiques :

Les indicateurs suivants sont calculés (voir section 0)

Généralités :

- Taux d'autoconsommation = _____ (%) $r_{\text{autocon}} = E_{\text{autocons}}/E_{\text{prod}}$
- Degré d'autarcie = _____ (%) $r_{\text{aut}} = E_{\text{autocons}}/E_{\text{cons}}$
- Taux de couverture solaire PAC = _____ (%) $r_{\text{sol,PAC}} = E_{\text{autocon,PAC}}/E_{\text{PAC}}$

Pompe à chaleur :

- Taux de couverture solaire PAC, chaleur = _____ (chiffre) $\text{COPA}_{\text{PAC}} = Q_{\text{PAC}}/E_{\text{PAC}}$
- Coefficient de performance annuel PAC = _____ (chiffre) $\text{COPA}_{\text{PAC}} = Q_{\text{PAC}}/E_{\text{PAC}}$
- Coefficient de performance annuel PAC Chauffage = _____ (chiffre)
 $\text{COPA}_{\text{PAC,Chauffage}} = Q_{\text{PAC,Chauffage}}/E_{\text{PAC,Chauffage}}$
- Coefficient de performance annuel PAC Eau chaude sanitaire = _____ (chiffre)
 $\text{COPA}_{\text{PAC,ECS}} = Q_{\text{PAC,ECS}}/E_{\text{PAC,ECS}}$

Production de chaleur, y compris l'insert électrique (pour l'ECS) :

- Coefficient de performance annuel total = _____ (chiffre)
 $= (Q_{\text{PAC}} + E_{\text{ES,ECS}}) / (E_{\text{PAC}} + E_{\text{ES,ECS}})$
- Coefficient de performance annuel eau chaude = _____ (chiffre)
 $= (Q_{\text{PAC,ECS}} + E_{\text{ES,ECS}}) / (E_{\text{PAC,ECS}} + E_{\text{ES,ECS}})$
- Coefficient d'utilisation du réseau = _____ (nombre)
 $= E_{\text{Réseau}} / (E_{\text{HH}} + Q_{\text{PAC,ECS}} + Q_{\text{PAC,chauffage}})$

Les températures :

Les températures suivantes ont été enregistrées :

- température du réservoir d'eau potable
- température du réservoir tampon
- Température ambiante dans la zone d'habitation
- Température extérieure
- Température de départ de la pompe à chaleur
- Température de retour de la pompe à chaleur
- Énumérer d'autres températures :

→ Pour d'autres évaluations et comparaison avec les valeurs de planification, voir les sections suivantes

10.2 Installation photovoltaïque

Contrôle des données de mesure :

- Courbes de puissance enregistrées contrôlées pour l'installation PV :
 Puissance PV installée : _____ (kWp)
 Puissance PV crête mesurée : (kWp, maximum de la période considérée)
- Rendement énergétique enregistré pour installation PV contrôlée :
 Puissance PV installée : _____ (kWp) x _____ Heures de
 fonctionnement à plein régime (h) = _____ (kWh) Rendement prévu
 Rendement PV mesuré : _____ (kWh, total sur la période considérée) = E_{prod}

Contrôle des indicateurs atteints

- Taux d'autoconsommation "naturel" attendu selon la section 8.4 = _____ (%) = $r_{\text{autocon,nat}}$
 Taux d'autoconsommation réellement atteint selon le paragraphe 10.1 = _____ (%) = r_{autocon}
 Facteur d'augmentation de la consommation propre = _____ (nombre) = $r_{\text{autocon}}/r_{\text{autocon,nat}}$
 Taux d'autosuffisance "naturel" attendu selon la section 8.4 = _____ (%) $\rightarrow r_{\text{aut,nat}}$
 Degré d'autarcie effectivement atteint selon le paragraphe 10.1 = _____ (%) = r_{autocon}
 Facteur d'augmentation atteint Autarcie = _____ (nombre) = $r_{\text{aut}}/r_{\text{aut,nat}}$

10.3 Intégration de la pompe à chaleur

Contrôle des données de mesure :

- Données du **compteur électrique pour la pompe à chaleur** contrôlées :
 Puissance électrique absorbée PAC selon plaque signalétique : _____ (kW)
 Puissance électrique absorbée PAC mesurée : _____ (kW, valeur moyenne)
 Consommation d'énergie électrique PAC selon dimensionnement : _____ (kWh)
 Consommation d'énergie électrique PAC mesurée : _____ (kWh) = E_{PAC}
- Données du **compteur de chaleur pour la pompe à chaleur** contrôlées (si disponible) :
 Besoin de chaleur pour le chauffage selon le dimensionnement : _____ (kWh)
 Chaleur fournie par la PAC pour le chauffage mesurée : _____ (kWh) = $Q_{\text{PAC,chauffage}}$
 Besoin de chaleur pour l'eau chaude selon le dimensionnement : _____ (kWh)
 Chaleur fournie par la PAC pour l'eau chaude mesurée : _____ (kWh) = $Q_{\text{PAC,ECS}}$

Chiffres clés de la consommation propre de la pompe à chaleur contrôlés

Taux de couverture solaire attendu de la pompe à chaleur pour le chauffage selon le paragraphe 8.5

$$= \text{_____} (\%) = r_{\text{sol,PAC,chauffage,opt}}$$

Taux de couverture solaire effectivement atteint par la pompe à chaleur pour le chauffage selon le paragraphe 10.1

$$= \text{_____} (\%) r_{\text{sol,PAC,chauffage,eff}} = E_{\text{autocon,PAC,chauffage}}/E_{\text{PAC,chauffage}}$$

Augmentation de la couverture solaire de la pompe à chaleur pour le chauffage

$$= \text{_____} (\text{nombre}) = r_{\text{sol,PAC,chauffage,eff}}/r_{\text{sol,PAC,chauffage,opt}}$$

Taux de couverture solaire attendu de la pompe à chaleur pour l'ECS, selon le paragraphe 8.5

$$= \text{_____} (\%) = r_{\text{sol,WP,WW,opt}}$$

Taux de couverture solaire effectivement atteint par la pompe à chaleur pour l'ECS selon le paragraphe 10.1

$$= \text{_____} (\%) r_{\text{sol,PAC,ECS,eff}} = E_{\text{autocon,PAC,ECS}}/E_{\text{PAC,ECS}}$$

Augmentation de la couverture solaire de la pompe à chaleur pour l'eau chaude sanitaire

$$= \text{_____} (\text{nombre}) = r_{\text{sol,PAC,ECS,eff}}/r_{\text{sol,PAC,ECS,opt}}$$

 Augmentation des chiffres clés dans la fourchette attendue ou plus élevée

 Augmentation des chiffres clés plus basse que prévu (pas ok)

→ Vérifier le réglage du gestionnaire d'énergie et de la pompe à chaleur, voir ci-dessous

 Chiffres clés de l'efficacité de la pompe à chaleur contrôlés :

Type : air/eau, eau glycolée/eau, eau/eau

 COP¹⁾ selon les indications du fabricant :

(Indiquer les valeurs COP pour les niveaux de température selon la norme, par ex. B0W35, A2W35, etc.)

Chauffage : _____ (COP) pour _____ W35

Chauffage : _____ (COP) pour _____ W35

Eau chaude : _____ (COP) pour _____ W55

 SCOP²⁾ PAC selon les données du fabricant = _____ (chiffre)

 Coefficient de performance annuel PAC mesuré = _____ (chiffre) = $Q_{\text{PAC}}/E_{\text{PAC}}$

- Le coefficient de performance annuel est dans la plage attendue ou plus élevé
- Le coefficient de performance annuel est plus bas que prévu (pas ok)

→ Vérifier les températures mesurées et le réglage de la pompe à chaleur, voir ci-dessous

Coefficient de performance annuel PAC Chauffage attendu = _____ (chiffre)

Coefficient de performance annuel PAC Chauffage mesuré = _____ (chiffre)
= $Q_{PAC, Chauffage} / E_{PAC, Chauffage}$

Le coefficient de performance annuel chauffage est dans la plage attendue ou plus élevé

Le coefficient de performance annuel chauffage est plus bas que prévu (pas ok)

→ Vérifier les températures mesurées du réservoir tampon et le réglage de la courbe de chauffe, voir ci-dessous

Coefficient de performance annuel PAC Eau chaude sanitaire attendu = _____ (chiffre)

Coefficient de performance annuel PAC Eau chaude mesuré = _____ (chiffre) = $Q_{PAC, ECS} / E_{PAC, ECS}$

Le coefficient de performance annuel de l'eau chaude est dans la plage attendue ou plus élevé

Le coefficient de performance annuel de l'eau chaude est plus bas que prévu (pas ok)

→ Vérifier les températures mesurées du réservoir d'eau chaude et le réglage de l'ECS, voir ci-dessous

1. Coefficient of Performance (COP)
2. Seasonal Coefficient of Performance (SCOP)

Données de la **sonde de température du réservoir tampon** contrôlées (si disponible) :

Température de départ maximale selon le dimensionnement : _____
(°C, courbe de chauffe point de dimensionnement)

Température de départ minimale selon le dimensionnement : _____
(°C, à la limite de chauffage)

Surélévation maximale pour l'optimisation PV selon le réglage : _____(K)

Pompe à chaleur en mode chauffage (sans optimisation PV) :

Température maximale mesurée du tampon : _____ (°C), date : _____

Température tampon minimale mesurée : _____ (°C), date : _____

- Température maximale du tampon inférieure à la température maximale de départ selon le dimensionnement
- Température maximale du tampon au-dessus de la température maximale de départ selon le dimensionnement (pas ok).
→ *Ajustement 1 nécessaire, voir ci-dessous.*
Surélévation de température mesurée lors de l'optimisation PV : _____(K)
- La surélévation n'a eu lieu qu'en cas d'excédent PV effectif (vérifier la puissance PV).
- La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif (pas ok)
→ *Ajustement 2 nécessaire, voir ci-dessous.*
- Données **Sonde de température du réservoir d'eau potable** contrôlée (si disponible) :
- Température de l'eau potable selon le dimensionnement : _____ (°C)
Surélévation maximale pour l'optimisation PV selon le réglage : _____(K)
- Pompe à chaleur en mode eau chaude (sans optimisation PV) :
- Température ECS maximale mesurée : _____ (°C)
- Cette température a été atteinte chaque jour.
- La température de l'eau chaude selon le dimensionnement a été atteinte
- La température de l'eau chaude selon la conception n'a pas été atteinte (pas ok)
→ *Ajustement 2 nécessaire, voir ci-dessous.*
- Surélévation de température mesurée lors de l'optimisation PV : _____(K)
- La surélévation n'a eu lieu qu'en cas d'excédent PV effectif (vérifier la puissance PV).
- La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif (pas ok)
→ *Ajustements 3 et 4 nécessaires, voir ci-dessous.*
- Données **sonde de température pièce** contrôlée (si disponible) :
- Température de la pièce en mode chauffage selon le dimensionnement : _____ (°C)
- Température ambiante mesurée en mode chauffage : _____ (°C)
- Cette température a été atteinte chaque jour.
- La température ambiante selon la conception a été atteinte
- La température ambiante selon le dimensionnement n'a pas été atteinte (pas ok)
→ *Ajustement 5 nécessaire, voir ci-dessous.*

Autres **données pompe à chaleur** contrôlée :

Nombre de mises en marche du compresseur (pendant la période considérée) : _____(Anzahl)

Commandes fréquentes du compresseur (> 20 fois par jour).
→ Ajustement 6 nécessaire

Temps de fonctionnement du compresseur (pendant la période considérée) : _____(h)

Ajustement 1 :

Température maximale du tampon supérieure à la température maximale de départ selon le dimensionnement.

Réglages de la pompe à chaleur :

Courbe de chauffe Réduire la température de départ au point d'utilisation : ancien _____(°C), nouveau _____(°C)

Courbe de chauffe Réduire la température de retour au point d'utilisation : ancien _____(°C), nouveau _____(°C)

Remarque : selon le système, il est possible d'influencer soit la température de départ, soit la température de retour.

Ajustement 2 :

La température de l'eau chaude selon le dimensionnement n'a pas été atteinte.

Réglages de la pompe à chaleur :

Augmenter la valeur de consigne de la température de l'eau chaude sanitaire (si possible) : ancien _____(°C), nouveau _____(°C)

Température de départ effective de la pompe à chaleur en mode ECS : _____(°C)

Si la température de départ maximale est atteinte, contrôler l'hydraulique

Ajustement 3 pour SG-Ready :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif.

Réglages du gestionnaire d'énergie :

Excédent PV sélectionné comme critère d'enclenchement (pas seulement production PV !)

L'état de fonctionnement 3 après SG-Ready (fonctionnement accru) a effectivement été atteint.

- Seuil de puissance pour l'état de service 3 : ancien _____ kW
→ augmenter nouveau : _____ kW
- L'état de fonctionnement 4 après SG-Ready (fonctionnement forcé) a été effectivement atteint.
- Seuil de puissance pour l'état de fonctionnement 4 : ancien _____ kW
→ augmenter nouveau : _____ kW

Ajustement 3 pour l'entrée PV :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif.

Réglages du gestionnaire d'énergie :

- Excédent PV sélectionné comme critère d'enclenchement (pas seulement production PV !)
- Le fonctionnement PV avec des températures élevées a effectivement été atteint.
- Seuil de puissance pour l'exploitation PV : ancien _____ kW augmenter nouveau : _____ kW

Ajustement 3 pour l'interface Modbus/IP/SmartGridReady :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif.

Réglages du gestionnaire d'énergie :

- Excédent PV ou similaire sélectionné comme critère de régulation (pas seulement production PV !)
- Le fonctionnement PV avec des températures élevées a effectivement été atteint.

si le fonctionnement PV a effectivement été atteint :

- Température de confort du réservoir tampon. Valeurs min/max, ancien : _____, nouveau : _____
- Température de confort départ. Valeurs min/max, ancien : _____, nouveau : _____

→ Il est vivement recommandé de contacter le fabricant, car les paramètres de réglage peuvent être très différents selon l'intégration !

Ajustement 4 pour la production d'eau chaude sanitaire :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif

Réglages de la pompe à chaleur :

- Régler la fenêtre de charge pour la production d'eau chaude sanitaire sur jour :

Ancien : Heure de début _____ (hh:mm), Heure de fin _____ (hh:mm)

Nouveau : Heure de début _____ (hh:mm), Heure de fin _____ (hh:mm)

Réglages du gestionnaire d'énergie, pour l'interface Modbus/IP/SmartGridReady :

- Température de consigne eau chaude sanitaire. Valeurs min/max, ancien : _____, nouveau : _____

- Influence de la vitesse de rotation du compresseur³⁾ pour les modes : Eau chaude sanitaire

- Valeur de consigne de la vitesse de rotation du compresseur³⁾. Valeurs min/max ancien : _____, nouveau : _____

→ *Il est vivement recommandé de contacter le fabricant, car les paramètres de réglage peuvent être très différents selon l'intégration !*

Ajustement 5 :

La température ambiante selon le dimensionnement n'a pas été atteinte.

Réglages dans les pièces :

- Ouvrir complètement les vannes thermostatiques ou régler le régulateur d'ambiance au maximum, en particulier dans la zone d'habitation.

→ attendre plusieurs jours avant d'effectuer des réglages sur la pompe à chaleur !

Réglages sur la page Pompe à chaleur :

- vérifier la courbe de chauffe correspond-elle au dimensionnement ? oui
 non trop basse non trop haute

si la courbe de chauffe est trop basse :

- Augmenter la courbe de chauffage Température de départ au point de dimensionnement : ancien _____(°C), nouveau _____(°C)

- Courbe de chauffe Augmenter la température de retour au point d'exposition : ancien _____(°C), nouveau _____(°C)

Remarque : selon le système, il est possible d'influencer soit la température de départ, soit la température de retour.

Réglages sur la page Gestionnaire d'énergie :

- La pompe à chaleur a été désactivée par le gestionnaire d'énergie ou mise à l'état de fonctionnement 1 (SG-Ready) avant ou pendant l'apparition des basses températures ambiantes.

→ Vérifier le critère d'arrêt dans le gestionnaire d'énergie.

- Température ambiante minimale (si réglable) : ancienne _____(°C) augmenter, nouvelle _____(°C)
- Critère d'arrêt désactivé (la pompe à chaleur ne doit plus être bloquée par le gestionnaire d'énergie)

Réglages du gestionnaire d'énergie, pour l'interface Modbus/IP/SmartGridReady :

- Température de consigne de la pièce. Valeurs min/max ancien : _____
nouveau : _____
- Température de confort du réservoir tampon. Valeurs min/max, ancien : _____, nouveau : _____
- Température confort départ. Valeurs min/max, ancien : _____, nouveau : _____

→ Il est vivement recommandé de contacter le fabricant, car les paramètres de réglage peuvent être très différents selon l'intégration !

Ajustement 6 pour réduire la cadence de la pompe à chaleur :*Commutation fréquente du compresseur*

Réglages de la pompe à chaleur :

- Vérifier les réglages de base Schéma correct sélectionné ? oui non
- Vérifier les hystérésis de température du régulateur :
- Température de départ: ancienne hystérésis ____ (K), nouvelle : ____ (K)
- Température de retour: ancienne hystérésis ____ (K), nouvelle : ____ (K)
- Hystérésis du réservoir tampon: Ancienne hystérésis __ (K), nouvelle : __ (K)

Remarque : selon le type de pompe à chaleur, différentes hystérésis sont possibles.

Réglages sur le gestionnaire d'énergie :

- Temps de fonctionnement minimum de la pompe à chaleur : ancien _____ (min.)
nouveau _____ (min.)

→ Recommandation : au moins 60 min.

- Temps d'arrêt minimum de la pompe à chaleur : ancien _____ (min.) nouveau _____ (min.)

→ Recommandation : au moins 15 min.

- Temps de commutation minimum pour les niveaux SG-Ready : ancien _____ (min.) nouveau _____ (min.)

→ Recommandation : au moins 15 min.

Réglages sur le gestionnaire d'énergie avec SG-Ready ou blocage de l'EF :

- Le niveau 1 de SG-Ready peut être atteint ou la pompe à chaleur peut être bloquée.
- Le niveau 1 de SG-Ready ne peut pas être atteint ou la pompe à chaleur ne peut pas être bloquée.

→ *Si les commutations sont trop fréquentes, la deuxième option devrait être sélectionnée pour exclure que la commutation provienne du gestionnaire d'énergie.*

→ *Il est vivement recommandé de contacter les fabricants de la pompe à chaleur et du gestionnaire d'énergie, car les paramètres de réglage peuvent être très différents selon l'intégration et une coordination optimale est nécessaire !*

10.4 Chauffe-eau pompe à chaleur

Contrôle des données de mesure :

- Données du **compteur électrique pour le chauffe-eau de la pompe à chaleur** contrôlées (si disponible) :

Puissance électrique absorbée selon la plaque signalétique : _____ (kW)

Puissance électrique absorbée mesurée : _____ (kW, valeur moyenne de la période considérée)

- Données de la sonde de température du chauffe-eau contrôlées (si disponible) :

Température de l'eau potable selon le dimensionnement : _____ (°C)

Surélévation maximale pour l'optimisation PV selon le paramétrage : _____ (K)

Température maximale de l'eau potable mesurée : _____ (°C)

- Cette température a été atteinte chaque jour
- La température de l'eau chaude a été atteinte conformément au dimensionnement.
- La température de l'eau chaude selon le dimensionnement n'a pas été atteinte (pas ok).

→ *Ajustement 2 nécessaire, voir ci-dessous.*

Surélévation de température mesurée lors de l'optimisation PV : _____ (K)

- La surélévation n'a eu lieu qu'en cas de surplus PV effectif (vérifier la puissance PV).

- La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif (pas ok)

→ *Ajustements 3 et 4 nécessaires, voir ci-dessous.*

Ajustement 2 :

La température de l'eau chaude selon le dimensionnement n'a pas été atteinte.

Réglages des paramètres du chauffe-eau dans la pompe à chaleur :

- Augmenter la valeur de consigne de la température de l'eau chaude sanitaire (si possible) : ancien _____(°C), nouveau _____(°C)

Ajustement 3 pour SG-Ready :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif.

Réglages sur le gestionnaire d'énergie :

- Excédent PV sélectionné comme critère d'enclenchement (pas seulement production PV !)
- L'état de fonctionnement 3 après SG-Ready (fonctionnement accru) a effectivement été atteint.
- Seuil de puissance pour l'état de service 3 : ancien _____ kW augmenter nouveau : _____ kW
- L'état de fonctionnement 4 après SG-Ready (fonctionnement forcé) a été effectivement atteint.
- Seuil de puissance pour l'état de fonctionnement 4 : ancien _____ kW augmenter nouveau : _____ kW

Ajustement 3 pour l'entrée PV :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif.

Réglages sur le gestionnaire d'énergie :

- Excédent PV sélectionné comme critère d'enclenchement (pas seulement production PV !)
- Le fonctionnement PV avec des températures élevées a effectivement été atteint.
- Seuil de puissance pour l'exploitation PV : ancien _____ kW augmenter nouveau : _____ kW

Ajustement 4 pour le programme horaire :

La surélévation a également eu lieu en dehors d'un excédent PV effectif.

Réglages sur la page Chauffe-eau de la pompe à chaleur :

- Régler la fenêtre de charge pour la production d'eau chaude sanitaire sur jour :

Ancien : Heure de début _____ (hh:mm), Heure de fin _____ (hh:mm)
 Nouveau : Heure de début _____ (hh:mm), Heure de fin _____ (hh:mm)

10.5 Inserts électriques

En général, les inserts électriques ne sont pas recommandés pour l'optimisation PV en raison de leur mauvaise efficacité. Ils ne doivent être activés que dans des cas exceptionnels, conformément au paragraphe 5.3 ou à la liste de contrôle paragraphes 8.8 et 9.8.

Contrôle des données de fonctionnement :

- Données de la sonde de température du chauffe-eau contrôlées (si disponible) :

Température de l'eau potable selon le dimensionnement : _____ (°C)
 Surélévation maximale pour l'optimisation PV selon le réglage : _____ (K)

Température maximale de l'eau potable mesurée : _____ (°C)
 Surélévation de température mesurée pour l'optimisation PV : _____ (K)

- Temps de fonctionnement de l'insert électrique contrôlé :

L'insert électrique n'a été enclenché qu'en cas d'excédent PV effectif (contrôler la puissance PV).

L'insert électrique a également été enclenché en dehors d'un excédent PV effectif (pas ok)

→ *Ajustement 3 nécessaire, voir ci-dessous.*

L'insert électrique n'a été enclenché qu'après la production d'ECS par la pompe à chaleur.

L'insert électrique a également été enclenché avant la production d'eau chaude par la pompe à chaleur (pas ok)

→ *Ajustement 4 nécessaire, voir ci-dessous.*

Ajustement 3 pour le seuil de puissance :

L'élément électrique a été mis en marche même en dehors d'un excédent effectif de PV.

Réglages sur la page Gestionnaire d'énergie :

Excédent PV sélectionné comme critère d'enclenchement (pas seulement production PV !)

Seuil de puissance pour le fonctionnement PV : ancien _____ kW
 augmenter nouveau : _____ kW

Ajustement 4 pour le programme horaire :

La résistance électrique a également été activée avant la production d'eau chaude par la pompe à chaleur.

Réglages sur la page Gestionnaire d'énergie

Régler à nouveau la plage horaire pour l'insert électrique et l'adapter à la PAC :

Anciens réglages :

Pompe à chaleur : heure de début _____ (hh:mm), heure de fin _____ (hh:mm)

Insert électrique : heure de début _____ (hh:mm), heure de fin _____ (hh:mm)

Nouveaux paramètres :

Pompe à chaleur : heure de début _____ (hh:mm), heure de fin _____ (hh:mm)

Insert électrique : heure de début _____ (hh:mm), heure de fin _____ (hh:mm)

→ *L'insert électrique doit être validé après la pompe à chaleur !*

11 Bibliographie

Normes et réglementations :

- [SIA 380] Grundlagen für energetische Berechnung von Gebäuden, SIA Zürich, 2015 (neue prSIA 380:2021-01 in Vorbereitung)
- [SIA 380/1] Berechnung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden, SIA Zürich, 2016
- [SIA 384/1] Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen, SIA Zürich, 2009 (neue prSIA 384/1 in Vorbereitung)
- [SIA 385/1] SIA-Norm 385/1: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen, SIA Zürich, 2020
- [SIA 385/2] SIA-Norm 385/2: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung, SIA Zürich, 2015
- [SIA 386] SIA-Norm 386 / EN-Norm 16484: Energieeffizienz von Gebäuden, Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement
- [SIA 2060] SIA-Norm 2060: Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden, SIA Zürich, 2020
- [SG-R 2013] Regularium für das Label «SG Ready» für elektrische Heizungs- und Warmwasserwärmepumpen, Version 1.1, bwp Bundesverband Wärmepumpe e.V., DE Berlin, Januar 2013
- [SGr 2018] Smart Grid Ready – Bereit für eine Zukunft voller Energie, die kommuniziert, Projektteam SmartGridready, 2018 (Label V1 in Vorbereitung)
- [WPSM 2021] Wärmepumpen-System-Modul - Pflichtenheft und Funktionsschemata, Dez. 2021 (in Überarbeitung)

- [WPSM-NK 2021] Wärmepumpen-System-Modul – Protokoll Nachkontrolle, 2021 (in Überarbeitung)
- [WPSM-PV 2021] Wärmepumpen-System-Modul - Pflichtenheft PV+WP, 2021 (in Vorbereitung)
- [WPSM-SP 2018] Wärmepumpen-System-Modul - Speicher Dimensionierungsvorgaben im WPSM-Pflichtenheft mit und ohne Eigenstromnutzung, August 2018
- [WP-LG 2020] Leistungsgarantie Wärmepumpen, Checkliste, Energie Schweiz
- [SPF-PV86] Schichtungseffizienz von Speichern, SPF Prüfvorschrift Nr. 86, Rapperswil 2020

Brochures et fiches d'information :

- [WP-PV 2020] Wärmepumpen und PV – die clevere Kombination, Erkenntnisse aus der Praxis für interessierte Kunden und Installateure, Energie Schweiz, August 2020
- [WP-PV-Tab] Tabelle Wärmepumpen für die PV-Einbindung - Datenbasis für eine gute Planung, Energie Schweiz, laufend aktualisiert <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/energieeffizienz/umgebungswaerme.html>
- [EVO 2018] Solarstrom Eigenverbrauch optimieren – Handbuch, Energie Schweiz, April 2018
- [EVMFH 2018] Solarstrom Eigenverbrauch: Neue Möglichkeiten für Mehrfamilienhäuser und Areale, Energie Schweiz, August 2018
- [ZEV 2019] Leitfaden Eigenverbrauch, Version 2.0, Energie Schweiz, April 2019
- [EMS 2020] Energiemanagementsysteme: Digitales Werkzeug der Energieversorgung - Eine Marktübersicht, Energie Zukunft Schweiz, Juni 2020
- [WWS 2017] Effiziente Warmwassersysteme: Eine Übersicht für engagierte Bauherrschaften, Energie Schweiz, Juni 2017
- [HYD 2020] Merkblatt 8: Hydraulischer Abgleich in neuen Heizungsanlagen, SuisseTec, 2020
- [FRN 2020] Merkblatt 9: Fernsteuerung von Raumheizungen, SuisseTec, 2020
- [KFB 2021] Merkblatt: Kühlung mit der Fussbodenheizung, SuisseTec, März 2021 (in Überarbeitung)
- [IWP 2021] Merkblatt Inverter Wärmepumpen, SuisseTec, 2021 (in Vorbereitung)
- [GCL 2021] Merkblatt GeoCooling mit Wärmepumpen, SuisseTec 2021 (in Vorbereitung)
- [GCLB 2021] Empfehlung für GeoCooling-Einstellungen bei Erdwärmesonden-Wärmepumpen-Anlagen in Wohnbauten

- mit Fussbodenheizung, Energie Schweiz, 2021 (Entwurf in Vorbereitung)
- [MIN 2017] Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®
- [MINMON 2020] Reglement Minergie-Modul Monitoring
- [QSCH 2015] V. Quaschnig, Regenerative Energiesysteme, Technologie – Berechnung – Simulation, 9. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2015
- [SPF 2018] Merkblatt solare Kombispeicher und Wärmepumpen, SPF Institut für Solartechnik, Rapperswil, 2018

Rapports de recherche et études :

- [OPTEG 2016] OPTEG – Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, BFE, Februar 2016
- [CVLT 2019] CombiVolt – Steigerung des Photovoltaik-Eigenverbrauchs durch intelligente Wärmepumpen, SPF / BFE, Oktober 2019
- [MÖRIKEN 2020] Innovative Eigenverbrauchsoptimierung für Mehrfamilien-Arealüberbauung mit lokaler Strombörse in Möriken-Wildeg, BFE, November 2020
- [SOLBAT 2020] Solarbatterien für Privatkunden – Eine Marktstudie, Energie Schweiz, Dezember 2020

Outils de calcul :

- [PVopti 2018] Einfaches Excel-Tool zur Optimierung des Eigenverbrauchs, MINERGIE / EnDK / BFE, Dezember 2018
- [PolySun®] Detailliertes Berechnungs-Tool zur Simulation von thermoelektrischen Systemen wie Wärmepumpen, PV-Anlagen, Gebäuden und Solarthermie, Vela Solaris AG, www.velasolaris.com