

LES AVANTAGES CACHÉS DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAIQUES

Les systèmes photovoltaïques (PV) sont très performants dans la fourniture d'électricité aux entreprises. Un autre avantage que la production d'énergie solaire offre aux entreprises industrielles est encore peu connu : Les onduleurs des systèmes PV peuvent être utilisés pour compenser la puissance réactive indésirable qui se produit dans la production industrielle, par exemple par les moteurs. Un projet pilote de l'Office fédéral de l'énergie a permis de tester cette technologie innovante dans la chocolaterie « Camille Bloch » à Courtelary (Jura bernois).



La chocolaterie Camille Bloch SA à Courtelary: Le local technique en arrière-plan abrite cinq onduleurs. Ils convertissent le courant continu des panneaux PV en courant alternatif, et peuvent également être utilisés pour compenser la puissance réactive. Photo: B. Vogel

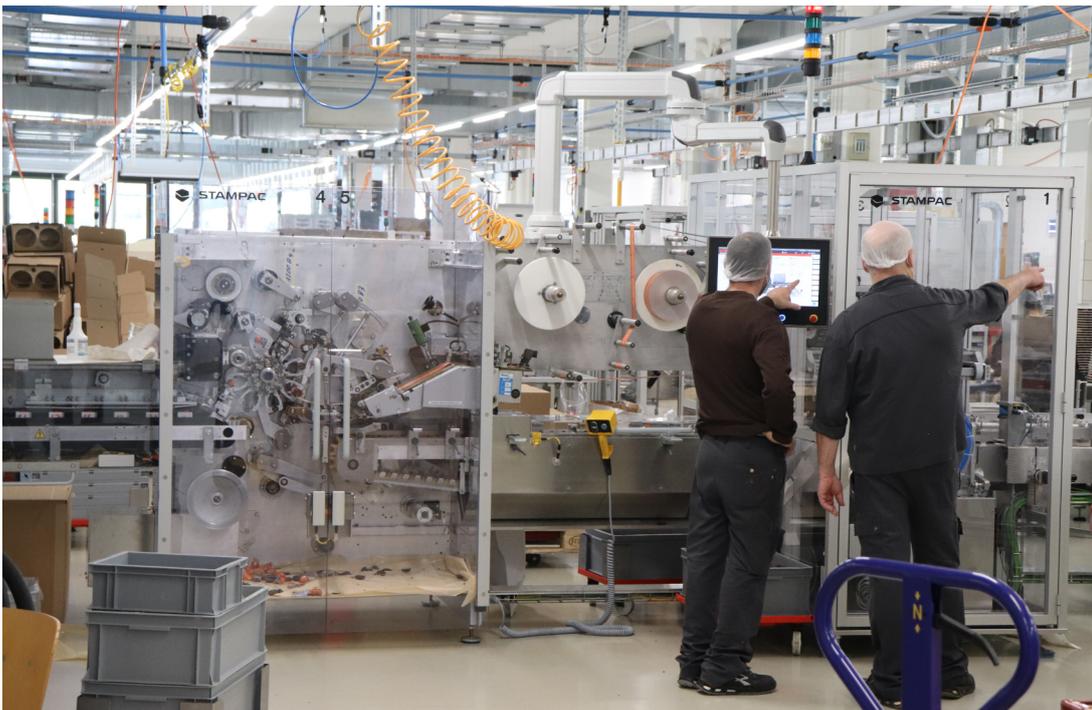


Un système d'énergie solaire d'une puissance de 309 kWc est installé sur les toits de la chocolaterie Camille Bloch à Courtelary (BE). A gauche : Jean-Philippe Simon, responsable de l'infrastructure (à l'avant), avec son collaborateur Nicolas Gentile. Photo: B. Vogel

Lorsqu'on descend du train à Courtelary et l'on marche en direction des « Chocolats Camille Bloch SA », on remarque rapidement l'odeur caractéristique du chocolat. Les chocolats fins sont produits dans le Jura bernois depuis les années 1930. Camille Bloch est synonyme de produits traditionnels comme le Ragusa et le Torino. Tournée vers l'avenir, l'entreprise a investi ces dernières années dans un approvisionnement énergétique durable et dans une utilisation efficace de l'énergie. Depuis le mois de juillet 2016, l'usine de production couvre une grande partie de ses besoins en chaleur avec un système de chauffage aux copeaux de bois, réduisant ainsi

sa consommation de mazout de 75 %. D'autres économies ont été réalisées grâce à l'optimisation des processus avec le soutien de l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC). Enfin, un système photovoltaïque de 309 kWc installé en 2017 fournit 300'000 kWh d'énergie solaire par an. Cela contribue à environ 10 % des besoins annuels en électricité de l'entreprise.

La production d'électricité provenant de sources renouvelables est l'objectif principal des installations solaires PV. S'ils sont installés dans des entreprises industrielles telles que Chocolats Camille Bloch SA, ils offrent un autre avantage encore peu connu aujourd'hui : Les systèmes PV peuvent être utilisés pour compenser la puissance réactive produite dans la plupart des installations industrielles. Chez Camille Bloch par exemple cette puissance réactive est produite lors de l'utilisation des moteurs, des agitateurs, des broyeuses et autres consommateurs électriques. Dans la chocolaterie, la quantité de puissance réactive est typiquement d'environ 20 à 25 % de la puissance active consommée. Comme le courant réactif n'est pas bienvenu dans les réseaux électriques, les industries ne sont autorisées à l'injecter dans le réseau électrique local que dans une mesure limitée ou moyennant une redevance. Pour cette raison, la puissance réactive est généralement compensée directement sur le site de l'usine (voir encadré p. 4). À cette fin, les entreprises industrielles utilisent traditionnellement une batterie de condensateurs.



Vue sur la chocolaterie Camille Bloch. Toutes les machines électriques génèrent forcément une puissance réactive. Traditionnellement, une batterie de condensateurs est utilisée pour compenser la puissance réactive produite. Photo: B. Vogel

Fonction supplémentaire des onduleurs solaires modernes

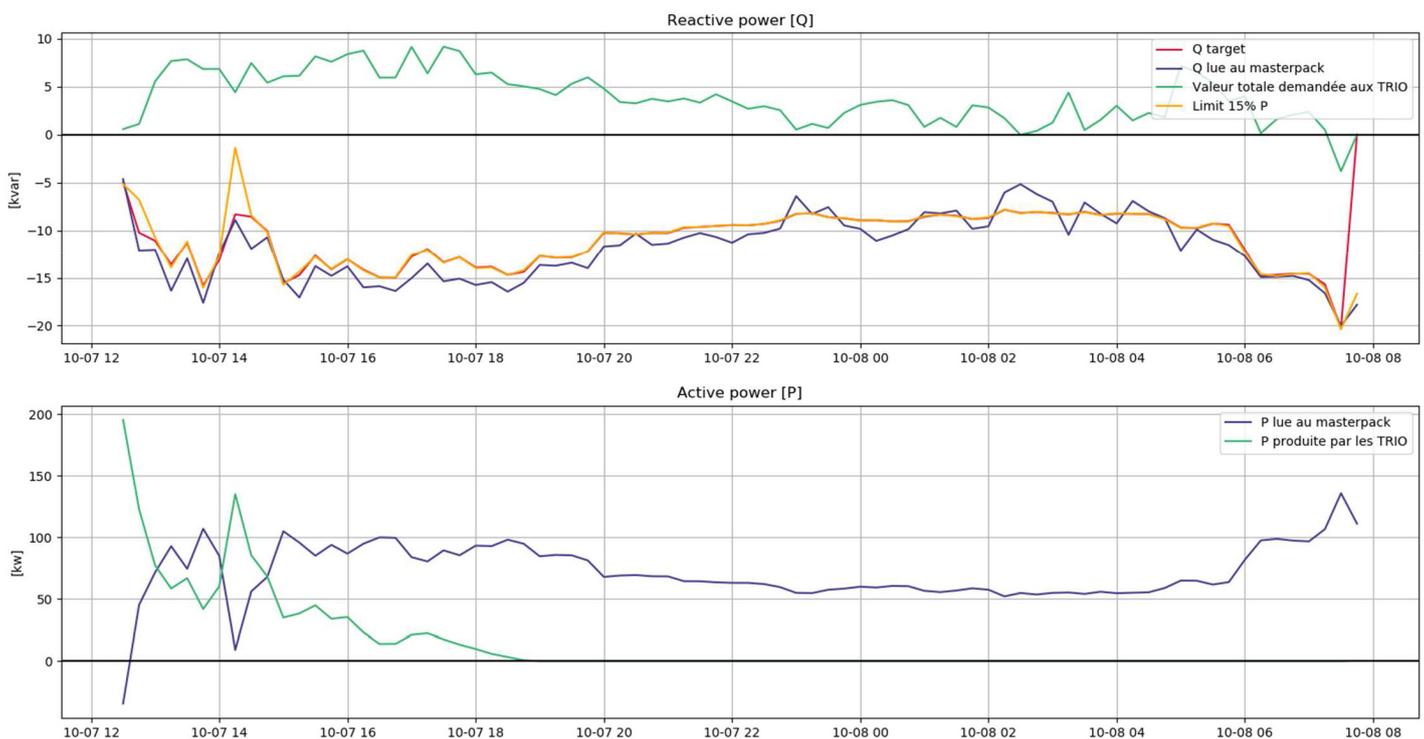
Mais il existe une autre solution : pour la compensation de la puissance réactive, les onduleurs des centrales solaires PV peuvent être utilisés, à condition qu'ils soient récents. Jean-Philippe Simon, responsable des infrastructures chez Camille Bloch, conduit le visiteur sur le toit du bâtiment de production, se fraye un chemin à travers les modules solaires surélevés et ouvre la porte métallique du local technique sur toit. La porte offre une vue sur cinq coffrets métalliques. « Ce sont les onduleurs du système PV de cette maison. Ils offrent la possibilité de compenser une partie de la puissance réactive générée dans l'usine, comme l'ont montré les tests effectués dans le cadre d'un projet pilote », explique M. Simon.

Le projet pilote, dont parle le collaborateur de Camille Bloch, a été soutenu par l'OFEN et le canton de Berne. Sous la direction de l'entreprise d'ingénierie Planair SA, une série de tests incluant les dix onduleurs du système PV a été réalisée (5 pour les panneaux PV du bâtiment de production et 5 pour

ceux du bâtiment administratif). Les onduleurs peuvent fournir 260 kW de courant alternatif pour une production PV maximale. S'ils sont utilisés pour compenser la puissance réactive, ils peuvent fournir une puissance réactive équivalente à 80 % de la puissance active, soit un total de 200 kvar (la puissance réactive est mesurée dans l'unité kilovolt-ampère réactif / kvar). À titre de comparaison : le système de compensation de puissance réactive (batterie de condensateurs) existant à Camille Bloch a une capacité de 720 kvar. Les onduleurs ne sont ainsi pas en mesure de compenser la totalité de la puissance réactive, mais au moins une partie de celle-ci.

Une mise en œuvre technique réussie

Si les onduleurs doivent compenser la puissance réactive, le point de fonctionnement de chaque onduleur doit être réglé en conséquence afin que de produire la puissance réactive requise. ABB Suisse a développé et programmé le contrôleur pour le projet pilote. « Nous avons fourni les onduleurs pour la centrale PV, il était donc logique que nous fournissions également le régulateur dans le cadre du projet



Le graphique couvre la période du 7 octobre (12h00) au 8 octobre (8h00). Le graphique du bas montre l'énergie tirée du réseau (bleu) et l'énergie fournie par le système solaire (vert). Dans le graphique supérieur, la courbe verte indique la quantité de puissance réactive (capacitive) tirée des onduleurs (TRIO). La courbe orange représente la consigne principale : on demande aux onduleurs que la puissance réactive au départ de l'usine ne dépasse pas 15 % de la puissance active. La courbe violette est le comportement réel du système : on voit qu'elle suit efficacement la consigne. Cela montre qu'on peut indiquer comme consigne un maximum de 50 % de l'énergie réactive, afin de ne pas recevoir de facture du gestionnaire de réseau. Graphique : Rapport final de l'OFEN

COMMENT LES ONDULEURS COMPENSENT LA PUISSANCE RÉACTIVE

Les installations électriques contenant une bobine génèrent un déphasage dans lequel le courant est en retard par rapport à la tension, soit une puissance réactive inductive. Les industries qui utilisent des moteurs à grande échelle génèrent des quantités considérables. Comme le courant réactif est indésirable dans les réseaux électriques, les opérateurs de réseau prennent une redevance selon la puissance réactive injectée dans le réseau. Camille Bloch SA devrait payer 4,1 centimes/kvarh à la compagnie d'électricité locale, Forces Electriques de La Goule SA, si elle devait injecter plus de 50 % de l'énergie active qu'elle achète dans le réseau sous forme de puissance réactive inductive. Afin d'éviter de tels coûts, il est courant pour les industries de compenser la puissance réactive inductive des moteurs et autres équipements électriques dans les locaux de l'usine.

Cette compensation est obtenue en générant de la puissance réactive capacitive, qui est la contrepartie de la puissance réactive inductive (déphasage dans lequel la tension est en retard par rapport au courant). Si la même quantité de puissance réactive capacitive est opposée à la puissance réactive inductive, la puissance réactive est compensée. Cette compensation est traditionnellement réalisée par des condensateurs dans une batterie de condensateurs. Cependant, les onduleurs solaires modernes peuvent maintenant accomplir la même tâche.

Ces onduleurs peuvent fournir soit uniquement de la puissance active, soit uniquement de la puissance réactive - ou un mélange des deux. Le mode de fonctionnement souhaité est contrôlé ici par un contrôleur développé par ABB Suisse spécialement pour le projet pilote de Courtelary. Cela garantit qu'à tout moment, la quantité de puissance réactive capacitive générée est exactement celle qui est nécessaire pour compenser la puissance réactive inductive actuellement disponible. La compensation de la puissance réactive réduit cependant la puissance active : si les dix onduleurs de la chocolaterie sont utilisés pour compenser au maximum la puissance réactive, leur puissance active passe de 261 à 158 kW.

Le point de fonctionnement des onduleurs peut être choisi librement à tout moment. Les onduleurs peuvent donc fournir une puissance réactive, que le système PV produise ou non de l'énergie solaire. Cela signifie qu'ils peuvent également être utilisés pour compenser la puissance réactive pendant la nuit. BV

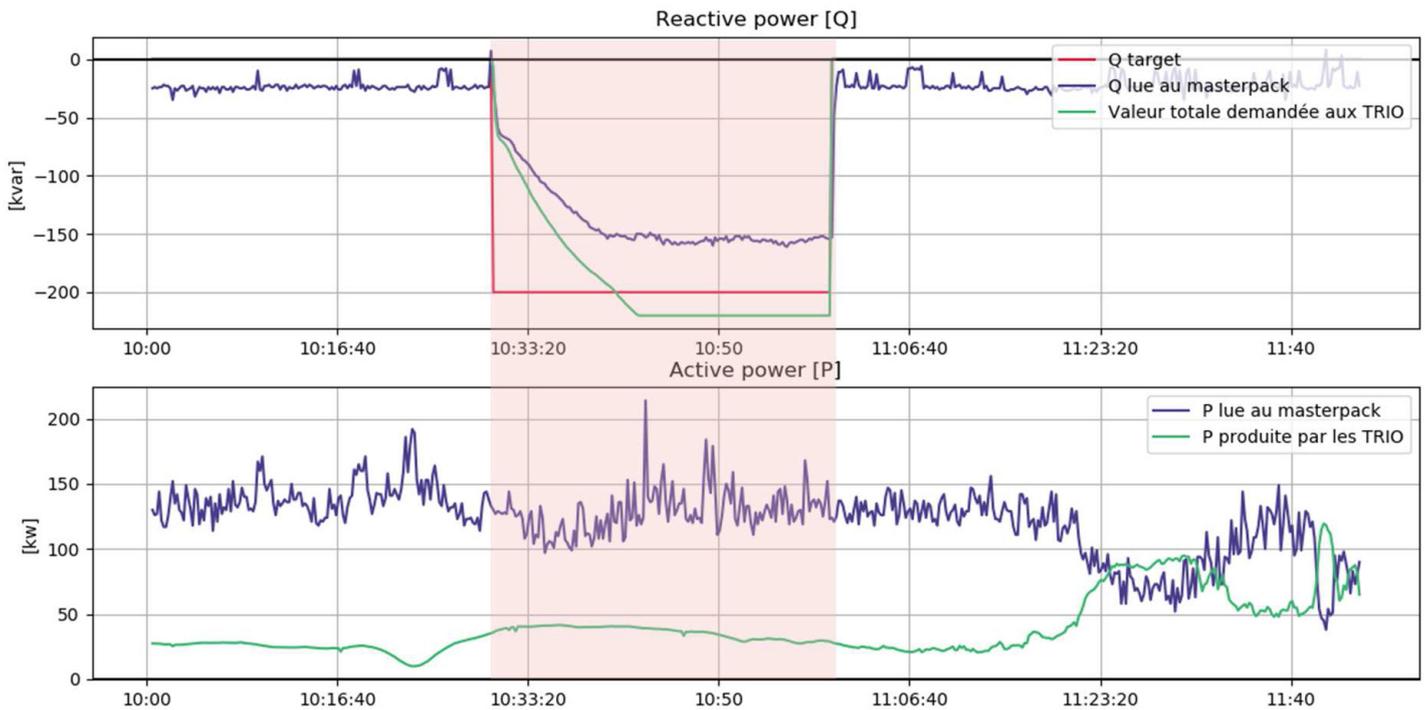
de l'OFEN », explique Carlo Marrella, chef de projet chez ABB. Pour pouvoir appeler la puissance réactive requise des onduleurs, le contrôleur doit connaître la puissance réactive actuellement produite dans l'usine. Les données pertinentes sont enregistrées à l'usine sur le transformateur, qui relie le réseau basse tension de la chocolaterie au réseau moyenne tension, et de là, elles sont transmises au contrôleur.

Florent Jacqmin, responsable du projet Planair, dresse un bilan positif du projet pilote : « Les tests ont montré que la compensation de la puissance réactive par des onduleurs

fonctionne de manière fiable. La technologie est prête à être appliquée dans les industries qui ont besoin d'une compensation de puissance réactive et qui disposent également d'un système photovoltaïque ». Le temps de réaction pour fournir la puissance de compensation est d'environ 20 secondes, ce qui est comparable au temps de réaction d'une batterie de condensateurs et nettement plus court que les 5 minutes visées dans la pratique. Lors des tests, la compensation de la puissance réactive n'a eu qu'une influence mineure sur la production solaire. Cependant, les auteurs précisent que les onduleurs PV utilisés pour la compensation de la puissance



Photo: B. Vogel



Le graphique représente une période de près de deux heures. Pendant une demi-heure (10h30 à 11h00), les onduleurs doivent être utilisés pour produire de l'énergie réactive : Les onduleurs réagissent rapidement pour répondre à la consigne, mais on peut voir que la courbe bleue (la mesure réelle) n'atteint pas la courbe rouge (la valeur cible). Elle se stabilise à 150 kvar au lieu de 200 kvar. Sur le graphique du dessous, on peut voir que la puissance active des onduleurs n'est pas affectée par la production d'énergie réactive (car la courbe verte ne subit pas de baisse importante pendant la période de tests). Ceci est dû au fait que l'ensoleillement est relativement faible. En pleine production, cette puissance active aurait pu subir une légère baisse. Graphique : Rapport final de l'OFEN

réactive devraient être surdimensionnés d'environ 10 % par rapport à une installation standard afin de ne pas restreindre la production d'électricité du système solaire.

Avantage financier, obstacles pratiques

La compensation de la puissance réactive au moyen d'onduleurs PV est intéressante sur le plan financier, comme le montre un modèle de calcul préparé dans le cadre du projet pilote. Si l'on tient compte des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation sur 15 ans, l'utilisation d'onduleurs PV se traduit par un avantage de coût de 8'500 CHF par 100 kvar de puissance réactive par rapport à la batterie de condensateurs (le calcul du modèle tient compte du surdimensionnement de l'onduleur de 10 % mentionné ci-dessus). Pour une grande entreprise industrielle, cela se traduit rapidement par un avantage monétaire de l'ordre de cinq ou même six chiffres.

Toutefois, le projet pilote de Courtelary montre également les obstacles pratiques à la mise en œuvre de la nouvelle appro-

che. Tout d'abord, une industrie a besoin d'un système PV suffisamment grand pour que les onduleurs compensent la quantité souhaitée de puissance réactive. Et deuxièmement, l'avantage financier n'apparaît que s'il n'y a pas de batterie de condensateurs à ce jour ou si la batterie existante doit être remplacée pour des raisons d'âge. « En pratique, les onduleurs sont susceptibles d'être utilisés principalement pour les extensions d'usines. Ici, le besoin de compensation supplémentaire peut être couvert par les onduleurs », déclare Florent Jacqmin qui souligne : « Nous voyons un grand potentiel en Suisse ». Pour exploiter ce potentiel, M. Jacqmin affirme qu'il serait souhaitable que les onduleurs soient disponibles sur le marché avec des contrôleurs intégrés.

Compensation des sursensions et des sous-tensions

Dans leur rapport final, les auteurs de l'étude pilote soulignent un autre potentiel, jusqu'ici largement inutilisé, des onduleurs solaires : ils pourraient contribuer au maintien de la tension dans le réseau. En d'autres termes, les opérateurs

de réseau pourraient utiliser les onduleurs des grandes centrales solaires pour compenser les surtensions et les sous-tensions temporaires du réseau moyenne tension. Bien que cet aspect n'ait pas été examiné en profondeur dans l'étude pilote, les auteurs suggèrent que les industries pourraient générer des revenus supplémentaires en mettant leurs onduleurs à la disposition des opérateurs de réseau pour le maintien de la tension, moyennant paiement.

- Le **rapport final** sur le projet « Compensation d'énergie réactive de l'usine Camille Bloch avec des onduleurs PV » est disponible à l'adresse suivante :
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40227>
- Des **informations** sur le projet peuvent être obtenues auprès du Dr. Michael Moser ([michael.moser\[at\]bfe.admin.ch](mailto:michael.moser[at]bfe.admin.ch)), responsable du programme de recherche Réseaux de l'OFEN.
- D'autres **articles spécialisés** sur les projets de recherche, les projets pilotes, les projets de démonstration et les projets phares dans le domaine des réseaux sont disponibles à l'adresse www.bfe.admin.ch/ec-electricite.

PROJETS P+D DE L'OFEN

Le projet pilote de compensation de la puissance réactive de la chocolaterie Camille Bloch à Courtelary (BE) a été soutenu par le programme pilote et de démonstration de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). L'OFEN encourage ainsi le développement et l'expérimentation de technologies, de solutions et d'approches innovantes qui contribuent de manière significative à l'efficacité énergétique ou à l'utilisation des énergies renouvelables. Les demandes de soutien financier peuvent être soumises à tout moment.

- www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration