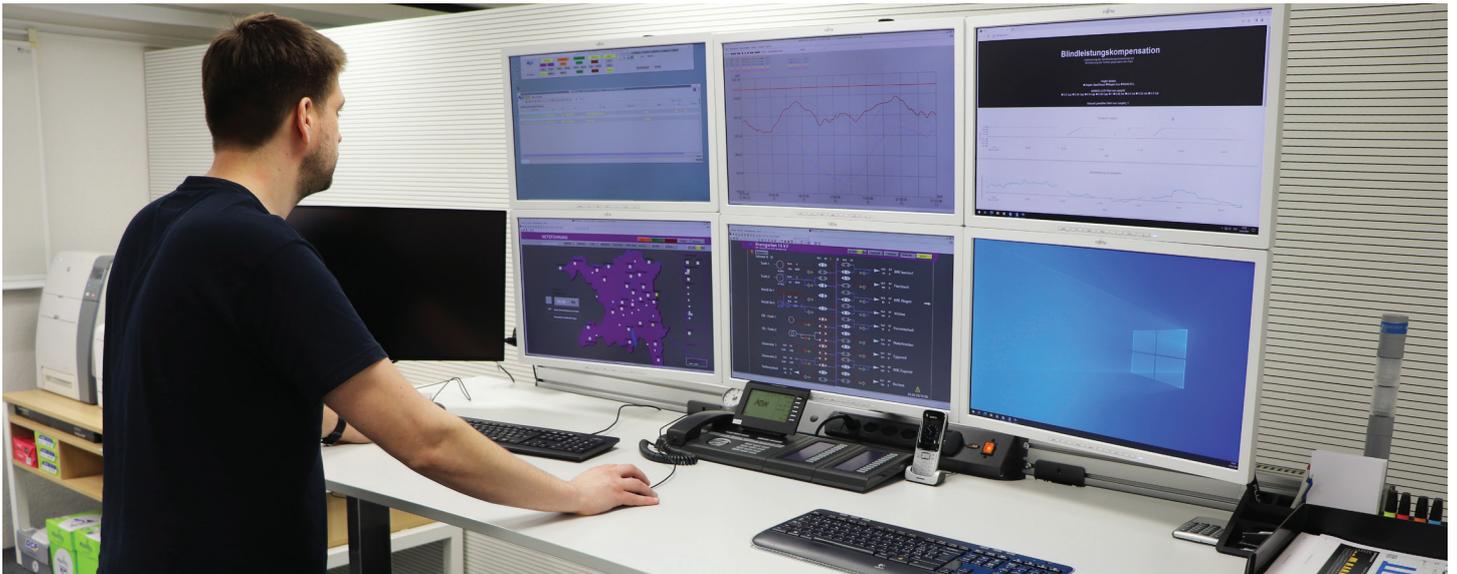


UNE INSTALLATION PV AU SERVICE DU RESEAU

Les installations photovoltaïques ne fournissent pas seulement de l'électricité renouvelable. Au-jour'd'hui, elles ont également la capacité de contribuer à une utilisation optimisée du réseau électrique via ladite compensation de la puissance réactive. Un projet pilote d'AEW Energie AG illustre la manière d'y parvenir : l'entreprise d'électricité argovienne utilise un algorithme de l'ETH Zürich pour gérer de manière optimale les onduleurs solaires. L'application pilote confirme les avantages financiers de cette solution de smart grid et illustre son potentiel pour limiter localement l'extension du réseau.



L'installation photovoltaïque de Tägerig, dans le district argovien de Bremgarten. L'installation, ex-ploitée par AEW en tant que contractant, a une puissance de pointe de 865 kW_p. Elle est utilisée de-puis fin 2022 pour fournir de la puissance réactive (inductive). Photo: AEW



Patrick Linggi dirige le centre de conduite du réseau AEW à Aarau. L'écran en haut à droite représente la puissance réactive prélevée sur l'installation PV de Tägerig (AG). Photo: B. Vogel

AEW Energie AG approvisionne directement 102'000 clients en électricité dans le canton d'Argovie. Le centre de conduite du réseau situé non loin de la gare d'Aarau veille à ce que tout tourne rond sur le réseau de distribution. Les répartiteurs responsables consultent sur des moniteurs si toutes les lignes et les stations de transformation fonctionnent correctement et si les valeurs de tension et de courant se situent sur la plage prévue. Lorsque des travaux de construction sont prévus, c'est à partir de là que les sections de réseau concernées sont temporairement mises hors service et que les équipes de réparation sont coordonnées en cas de panne. À cela s'ajoutent des tâches à caractère économique: afin d'exploiter un réseau fiable, performant et efficace, AEW s'approvisionne en électricité auprès du réseau de distribution suprarégional d'Axpo, situé en amont. Il en résulte des possibilités permettant aux responsables du réseau AEW de gérer l'achat d'électricité de manière avantageuse pour AEW et sa clientèle.

AEW peut, par exemple, influencer les coûts en s'efforçant d'éviter des prélèvements de puissance élevés sur le réseau d'Axpo. La puissance réactive, c'est-à-dire la forme de puissance présente dans chaque réseau de courant alternatif mais non utilisable pour des applications électriques ou n'effectuant pas de travail, est également importante d'un point de vue financier. La puissance réactive est générée par des déphasages entre le courant et la tension, par exemple dans les moteurs électriques ou les composants électroniques. « En raison du câblage constant et de l'augmentation des

composants électroniques dans les installations, il en résulte une augmentation de la puissance réactive capacitive dans le réseau électrique », explique Patrick Linggi, responsable du centre de conduite du réseau AEW. « Nous pouvons compenser la part capacitive en injectant de la puissance réactive inductive dans le réseau ». La puissance réactive ne doit pas dépasser une certaine mesure afin de ne pas violer la bande de tension prédéfinie (voir encadré). Si une puissance réactive non conforme est présente sur le réseau AEW, elle « charge » également le réseau Axpo en amont. L'énergie réactive non conforme est facturée en conséquence à AEW. En revanche, l'énergie réactive conforme est rémunérée.



Patrick Linggi (à gauche), directeur du centre de conduite du réseau AEW, en compagnie d'Alessandro Scozzafava, responsable du développement et de la planification de la maintenance du réseau chez AEW. La carte en arrière-plan montre le réseau de distribution 16 kV d'AEW, lequel est surveillé par le centre de conduite du réseau d'Aarau. Photo: B. Vogel



Les onduleurs de l'installation PV de Tägerig peuvent fournir une puissance réactive (inductive) pouvant atteindre 480 kvar. Cela représente 480 Mvarh d'énergie réactive par an, en supposant 1'000 heures à pleine charge. AEW construit actuellement un grand accumulateur de réseau. Celle-ci devrait être mise en service en novembre 2023 et a le potentiel de fournir environ quatre fois plus de puissance réactive. Photo: AEW

L'onduleur solaire compense la puissance réactive

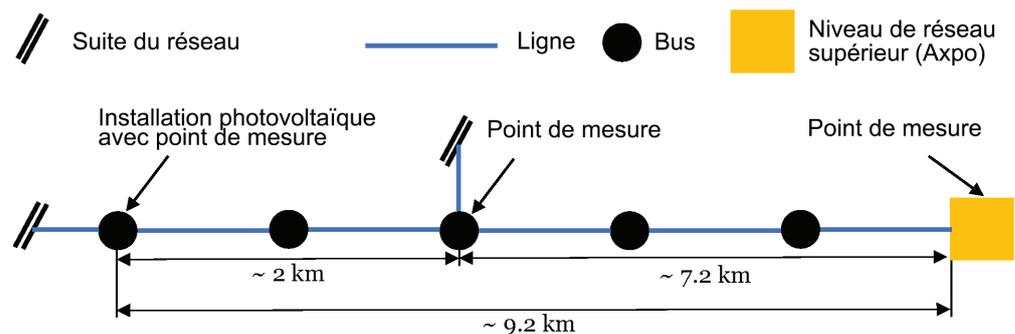
En fin de compte, AEW paie un montant à six chiffres par an pour l'injection de puissance réactive dans le réseau AEW. AEW souhaite maintenir ces coûts aussi bas que possible afin de pouvoir proposer à sa clientèle des tarifs d'utilisation du réseau aussi bas que possible. Un projet pilote a été mis en place à cette fin depuis décembre 2022 : AEW utilise la puissance réactive inductive d'une de ses grandes installations photovoltaïques dans le district argovien de Bremgarten pour compenser la puissance réactive. Une régulation développée par l'ETH Zürich veille à ce que les onduleurs de l'installation PV injectent le plus possible de puissance réactive inductive afin de contrecarrer le comportement capacitif. « L'algorithme de régulation fonctionne de manière autonome et sans problème depuis la mise en service. Si cette possibilité de régulation est déployée à grande échelle sur le réseau AEW, il sera possible, dans le meilleur des cas, de réduire considérablement l'indemnisation versée à Axpo », explique Alessandro Scozzafava, responsable du développement du réseau et de la planification de la maintenance chez AEW.

AEW étudie actuellement les avantages financiers qui découleraient de l'utilisation de producteurs supplémentaires de puissance réactive inductive pour compenser la puissance réactive. « Nous étudions l'influence d'une régulation de la puissance réactive des installations photovoltaïques déployée à grande échelle sur le réseau électrique. Nous pensons qu'il y aura un impact favorable sur le réseau si les onduleurs des installations solaires puissantes ou les grandes batteries de stockage sont utilisés à cette fin », explique Scozzafava. L'ingénieur AEW ajoute : « La compensation de la puissance réactive nous permet d'influencer localement la référence de puissance réactive et donc la tension, afin de permettre à nouveau un flux de puissance active plus élevé, tout en respectant les limites de tension. Elle constitue ainsi une étape vers un réseau intelligent (Smart Grid). Elle devrait nous aider à moyen terme à réduire ou à optimiser l'extension coûteuse du réseau de distribution ».

Contrôle basé sur des valeurs de mesure

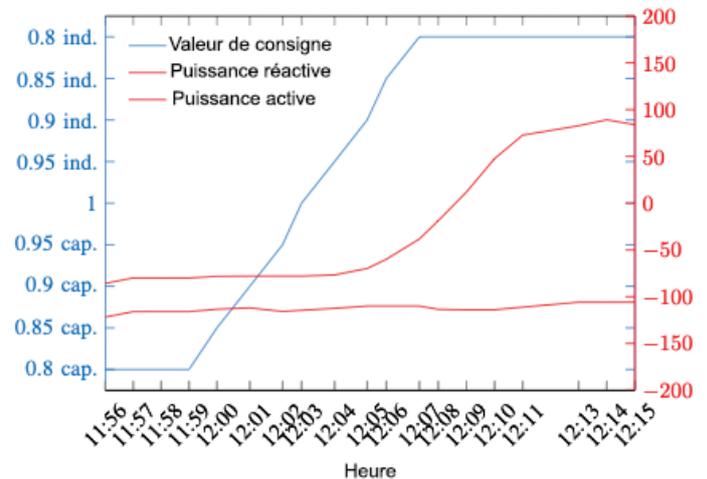
Le projet pilote chez AEW Energie AG est la première application proche de la réalité d'une solution logicielle développée

L'algorithme de régulation développé par l'ETHZ se base sur des mesures effectuées sur différents points du réseau électrique d'AEW et traitées en temps réel. Graphique: <https://arxiv.org/pdf/2305.06702.pdf>



auparavant à l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ). La base est une méthode mathématique de résolution de problèmes d'optimisation en général, laquelle a été développée au Laboratoire de contrôle automatique de l'ETHZ. Cette méthode a ensuite été adaptée aux applications du réseau électrique dans le cadre du projet de recherche UNICORN. Il en a résulté l'algorithme qui, dans le projet pilote d'AEW, régule la production de puissance réactive en temps réel, de sorte que l'installation solaire fournisse le plus de puissance réactive possible, tout en maintenant la tension du réseau dans les limites de tension requises. Les valeurs de mesure en temps réel de la tension et de la puissance réactive sur différents points du réseau AEW constituent la base de la régulation. À partir des valeurs mesurées, l'algorithme déduit continuellement le point de fonctionnement optimal pour l'onduleur solaire dans un processus itératif. La méthode a d'abord été testée au Danemark dans un environnement de laboratoire avant d'être utilisée chez AEW dans un réseau de distribution électrique réel.

Le projet de recherche UNICORN s'est déroulé de 2019 à 2021 et a bénéficié du soutien financier de l'OFEN. Le RTE (pour: Réseau de Transport de l'Électricité), le gestionnaire du réseau de transport d'électricité français, a également participé au projet. RTE dispose d'un grand département de recherche qui cherche, entre autres, des solutions pour une gestion



La ligne bleue représente la valeur de consigne pour la puissance réactive dans le réseau AEW. Le graphique montre comment l'algorithme de régulation de l'ETHZ augmente la production de puissance réactive (inductive) dans l'onduleur solaire afin d'atteindre cette valeur de consigne dans la mesure du possible. Graphique: <https://arxiv.org/pdf/2305.06702.pdf>

innovante du réseau. Elle a apporté son expertise au projet UNICORN et a fourni des données provenant du réseau de transport français. Conclusion du projet final UNICORN: « Le projet a montré que l'optimisation de la rétroaction peut être utilisée pour la conception de régulateurs automatiques pour le fonctionnement en temps réel du réseau, et notamment pour la compensation de la puissance réactive, la limitation

COMPENSATION DE LA PUISSANCE RÉACTIVE

Dans le réseau électrique d'AEW Energie AG, il y a, comme dans d'autres réseaux de distribution, de plus en plus de puissance réactive capacitive. Cette forme de puissance réactive entraîne une augmentation locale de la tension dans le réseau, contrairement à la puissance réactive inductive, qui a plutôt tendance à faire baisser la tension. La puissance réactive capacitive peut être « détruite » (compensée) en alimentant le réseau avec de la puissance réactive inductive.

La puissance réactive inductive peut, par exemple, être générée par les onduleurs des installations solaires (pendant les périodes où l'installation solaire produit de l'électricité). Les onduleurs ont pour fonction principale de convertir le courant continu de l'installation solaire en courant alternatif, afin que celui-ci puisse être injecté dans le réseau électrique général. Si les onduleurs génèrent en plus de la puissance réactive, la puissance d'alimentation de l'installation solaire est réduite (de quelques pour cent, à condition que l'onduleur soit suffisamment dimensionné. Dans le cas contraire, les pertes sont plus importantes). L'unité de mesure de la puissance réactive est var (du français Volt-Ampère réactif).

La puissance réactive est également un bien économique. Ainsi, Swissgrid, l'exploitant du réseau suisse à haute tension, a besoin de puissance réactive pour stabiliser son réseau. Comme Swissgrid n'a guère la possibilité de produire elle-même de la puissance réactive, elle en achète auprès des gestionnaires de centrales et de réseaux de distribution. En 2022, les frais d'acquisition s'élevaient à un peu plus de 10 millions de francs.

de la puissance active, la régulation de la tension, la régulation du changeur de prises, la minimisation des pertes, le contrôle des congestions de lignes et le redispatching économique ». Le redispatching signifie que d'autres centrales que celles prévues injectent la puissance annoncée, ce qui peut avoir des raisons techniques ou économiques.

Fonctionnement continu sans perturbations

Lukas Ortmann a encadré le projet UNICORN dans le cadre de sa thèse de doctorat à l'ETHZ et a mis la commande en place chez AEW. Selon lui, le transfert de connaissances de l'ETHZ vers le fournisseur d'énergie AEW est une réussite: « Le projet pilote a apporté la preuve de concept de notre concept de régulation dans le réseau réel : l'infrastructure technique fonctionne en continu sans problème, tout comme la communication entre le centre de conduite du réseau et les différents équipements ». Pour la compensation de la puissance réactive, il est possible d'utiliser non seulement des installations photovoltaïques, mais également des éoliennes, des stations de recharge pour véhicules électriques ou des pompes à chaleur. « Toutes ces installations fonctionnent avec un onduleur et peuvent être intégrées dans notre algorithme », explique Ortmann

Le Dr Saverio Bolognani, scientifique senior au Laboratoire de contrôle automatique de l'ETHZ, place le projet AEW dans un contexte plus large. « Nous avons besoin de telles solutions de réseaux intelligents pour stabiliser les réseaux électriques, car l'intégration d'une quantité considérable de production d'énergie renouvelable fluctuante entraînera à l'avenir de fréquentes variations de tension et des congestions sur le réseau ». De nouvelles solutions de régulation comme celle développée par l'ETHZ peuvent rendre de bons services. Elles profitent du fait que les réseaux électriques modernes disposent de plus en plus de données en temps réel et de meilleures technologies de communication, ce qui rend l'estimation de l'état et l'utilisation des données plus fiables, plus abordables et plus pratiques.

➤ Site Internet du projet **UNICORN** :

<https://unicorn.control.ee.ethz.ch/>

➤ Le **rapport final** du projet de recherche « UNICORN - A Unified Control Framework for Real-Time Power System Operation » est disponible sur :

<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=41112>.

➤ Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch), responsable du programme de recherche « réseaux » de l'OFEN communique des **informations** à ce sujet.

➤ Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine de l'électricité sur www.bfe.admin.ch/ec-electricite.