

LES INCITATIONS SOULAGENT LE RÉSEAU

Le développement du photovoltaïque et de la mobilité électrique nécessite des réseaux de distribution d'électricité robustes. Un aménagement coûteux du réseau peut être évité à condition de maintenir le niveau des charges de pointe des réseaux de distribution dues à une consommation élevée ou à une alimentation décentralisée aussi bas que possible. Dans la commune de Winkel (ZH), un projet pilote des gestionnaires de réseau de distribution du canton de Zurich (EKZ) et de l'École polytechnique fédérale (ETH) de Zurich a étudié à titre d'exemple comment briser les pics de puissance dans les réseaux de distribution à l'aide d'incitations financières ou d'une gestion intelligente et directe de la charge.



Si l'on parvient à lisser les pics de charge et d'injection sur le réseau de distribution, l'extension du réseau peut être réduite, ou au moins retardée. Photo : EKZ



La commune de Winkel, située dans la zone rurale au nord de l'aéroport de Zurich-Kloten, a été le théâtre du projet pilote OrtsNetz. Photo : Saskia Girsberger

Comme d'autres fournisseurs d'électricité, EKZ se voit confronté à un développement rapide du photovoltaïque (PV) : aujourd'hui, environ 400 MW de puissance photovoltaïque sont installés sur le réseau du fournisseur d'électricité, lequel fournit de l'électricité à environ un million de personnes dans le canton de Zurich. Ce chiffre devrait passer à 1'700 MW pour l'année 2035. Même si l'électricité solaire est partiellement consommée sur place, il faut s'attendre à des pics d'injection plus élevés dans le réseau de distribution. L'utilisation accrue de pompes à chaleur pour le chauffage des bâtiments et le développement de la mobilité électrique entraînent également une augmentation de la charge du réseau, en particulier lorsque ces prélèvements ont lieu simultanément, comme c'est généralement le cas le soir (pics de charge).

Éviter les pics sur le réseau de distribution

Chaque réseau de distribution doit être conçu pour gérer les pics de puissance maximum susceptibles de survenir, qu'il s'agisse de pics d'injection ou de pics de charge. Aujourd'hui déjà, EKZ investit chaque semaine plus de deux millions de francs dans la maintenance et l'extension de son réseau de distribution d'une longueur de 17'000 km. EKZ, comme d'autres fournisseurs d'électricité, a intérêt à ce que ces coûts ne dérapent pas et à ce que l'extension du réseau puisse être réduite au minimum. Dans ce contexte, l'entreprise, en collaboration avec le Power Systems Laboratory et le Bits to Energy Lab de l'ETH de Zurich, a mené au cours des trois dernières années un projet pilote sur la gestion innovante de la charge

dans la commune zurichoise de Winkel, au nord de Kloten. L'étude a été financée conjointement avec le programme P+D de l'Office fédéral de l'énergie.

En général, un poste de transformation alimente plusieurs centaines de foyers en électricité via le réseau basse tension. La puissance électrique que le fournisseur d'électricité doit mettre à disposition via le poste de transformation varie au cours de la journée. Elle résulte de la consommation actuelle d'électricité des ménages raccordés, déduction faite de la production d'électricité dans le réseau de distribution par le photovoltaïque et d'autres producteurs d'électricité décentralisés. Afin d'éviter l'extension du réseau, les gestionnaires de réseau ont intérêt à maintenir les pics de puissance dans le réseau de distribution à un niveau aussi bas que possible. Une manière d'y parvenir est de répartir la consommation d'électricité des ménages sur la journée, de telle sorte qu'elle soit «bénéfique pour le réseau».

Gestion de la charge par le biais d'incitations financières

Pour un fonctionnement respectueux du réseau, les chauffe-eau, les pompes à chaleur et les voitures électriques doivent être pilotés de manière à puiser l'énergie sur le réseau lorsque la consommation d'électricité restante dans le réseau de distribution est relativement faible ou lorsque la production d'électricité photovoltaïque décentralisée est importante. Cette gestion de la charge incombe au fournisseur ou

au consommateur d'électricité, généralement assisté par une technique de commande « intelligente ». De cette manière, les surcharges des transformateurs et du réseau peuvent être évitées, ce qui rend les extensions superflues ou les retarde au moins jusqu'au prochain cycle de renouvellement ordinaire.

Dans le cadre du projet pilote, trois nouvelles méthodes pour cette gestion de la charge pour les chauffe-eau, les pompes à chaleur et les voitures électriques ont été testées :

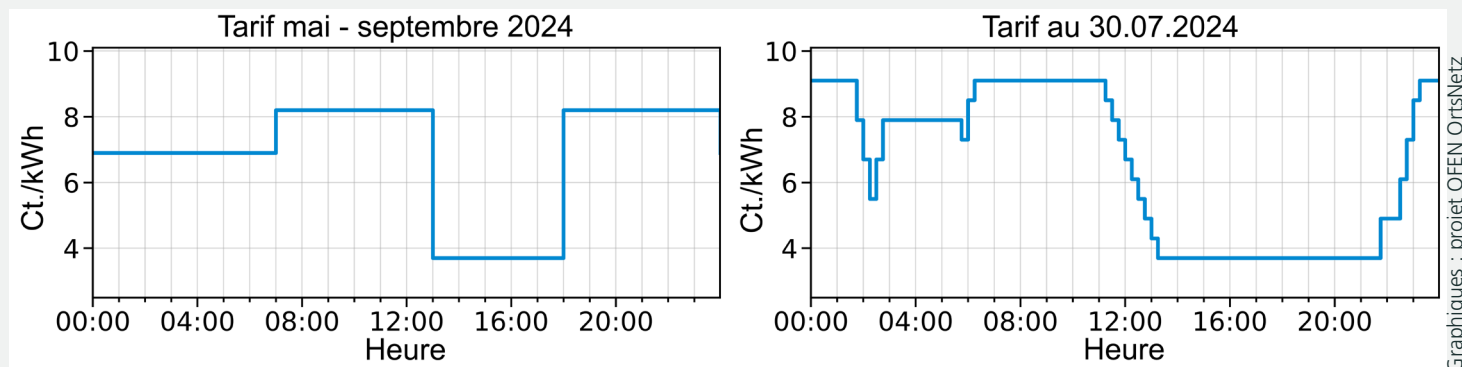
- La gestion directe de la charge : ici, EKZ gère le fonctionnement des chauffe-eau, des pompes à chaleur et le processus de charge des voitures électriques de telle sorte que la charge du réseau de distribution soit répartie le plus uniformément possible tout au long de la journée. Cette approche est pratiquée depuis longtemps avec la télécommande centralisée. La nouveauté, en revanche, est que les différents appareils,

y compris le processus de recharge des voitures électriques, peuvent être activés et désactivés individuellement, et ce, de manière dynamique, c'est-à-dire en fonction des prévisions de charge du réseau local.

- La gestion indirecte de la charge par le biais de tarifs statiques: ici, EKZ met en place une incitation financière supposée motiver les consommateurs à faire fonctionner leurs appareils électriques de telle sorte qu'ils soient bénéfiques pour le réseau. Des tarifs, fixés au préalable et variant en fonction du moment de la journée, font office d'incitation.

- La gestion indirecte de la charge par le biais de tarifs dynamiques : avec cette approche, EKZ met également en place une incitation financière. Dans ce cas, l'incitation consiste en des tarifs fixés à très court terme et en constante évolution au cours de la journée.

DES TARIFS STATIQUES ET DYNAMIQUES



Les clients d'EKZ paient 28,15 centimes par kilowattheure. (tarif supérieur) ou 26,85 centimes (tarif inférieur). Une partie de ce tarif est un tarif pour l'utilisation du réseau, indépendant de l'heure de la journée, lequel s'élève actuellement à 7,78 centimes.

Ce tarif d'utilisation du réseau a été utilisé dans le projet pilote pour créer une incitation financière à un comportement de consommation respectueux du réseau et permettre ainsi à EKZ de lisser les pics de puissance. Deux types de tarifs variables ont été testés à cette fin :

- Les tarifs statiques : avec eux, EKZ fixe un tarif d'utilisation du réseau qui varie au cours de la journée, l'un pour les jours d'été et l'autre pour les jours d'hiver. Le graphique (cf. graphique à gauche) indique le tarif pour les jours d'été: entre 13 et 18 heures, il est environ 5 centimes moins cher que le matin et le soir. Le tarif incite ainsi à consommer de l'électricité l'après-midi, lorsque l'électricité solaire est plus disponible. On peut s'attendre à la plus haute augmentation de la charge au début du créneau horaire présentant le tarif avantageux. C'est pourquoi cette fenêtre tarifaire commence actuellement lorsque l'alimentation photovoltaïque est la plus élevée.

- Les tarifs dynamiques : là encore, le tarif d'utilisation du réseau varie au cours de la journée mais de manière différente chaque jour. EKZ fixe le montant du tarif en continu, en fonction de facteurs tels que la charge actuelle des transformateurs et les données météorologiques. Le tarif est alors calculé par une intelligence artificielle avec une avance d'environ 5 minutes pour une durée de 15 minutes. Cela signifie que les consommateurs apprennent par exemple à 17h40 quel sera le tarif pour l'utilisation du réseau à 17h45. Le tarif d'utilisation du réseau varie entre environ 4 et 10 centimes/kWh (cf. graphique à droite).

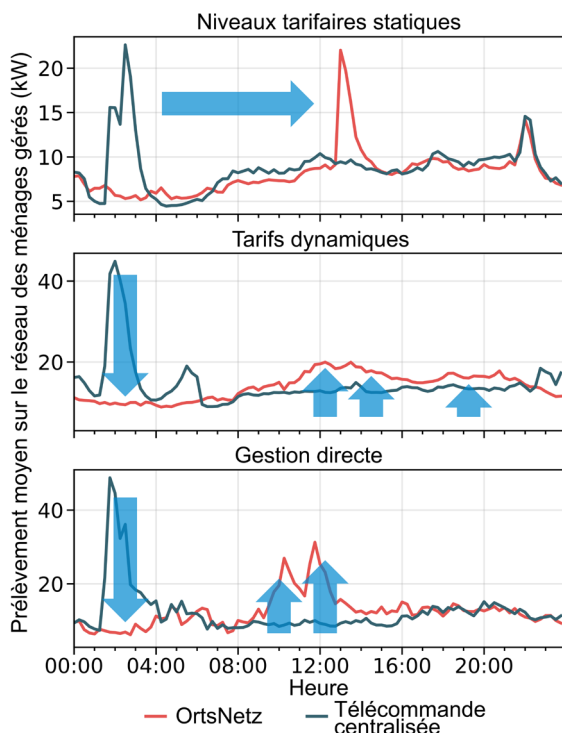
La gestion indirecte de la charge par le biais de tarifs variables incite les consommateurs à utiliser leurs appareils électriques de manière à réduire, en fin de compte, la charge du réseau de distribution au minimum. Cette méthode rappelle les hauts et bas tarifs pratiqués depuis longtemps, mais s'en écarte sur des points importants (voir encadré p. 3).

Réduire efficacement les pics de courant

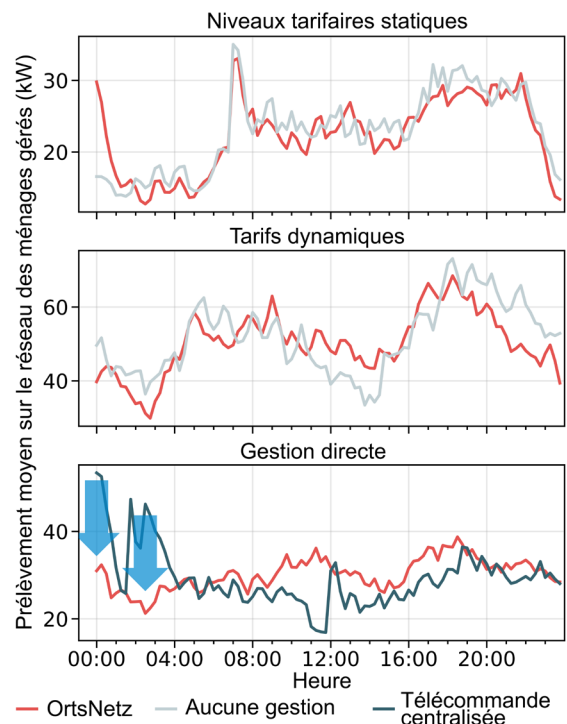
Les trois formes innovantes de gestion de la charge ont été testées d'octobre 2023 à décembre 2024 dans la commune de Winkel, chacune sur un poste de transformation et les ménages raccordés. Afin de rendre techniquement possible la gestion de charge directe et indirecte, 64 des quelque 600 ménages participants ont été équipés d'un commutateur de charge conçu récemment pour les chauffe-eau et les pompes à chaleur. De plus, 42 ménages ont déclaré leurs voitures électriques comme étant des charges gérables; 23 d'entre elles ont pu effectivement être gérées au moins une fois pendant le test sur le terrain. Tous les autres appareils électriques des quelque 600 ménages n'étaient pas gérés automatique-

ment, mais les habitants étaient invités à les faire fonctionner pendant les périodes à bas tarif et ainsi à économiser de l'argent.

L'une des principales conclusions de l'étude : les trois types de gestion de la charge étudiés permettent de réduire les pics d'injection d'électricité photovoltaïque pendant les mois estivaux. Les tarifs dynamiques se sont avérés être les plus adaptés : ils ont permis de réduire les pics quotidiens de 8% en moyenne (contre 6% pour la gestion directe de la charge et 5% pour les tarifs statiques). Les pourcentages se rapportent à la réduction des pics par rapport à la puissance nominale totale de tous les chauffe-eau utilisés comme charges flexibles. La référence à la puissance nominale permet de comparer les réductions de pointe des trois postes de transformation inclus dans l'étude. Le pic le plus élevé dans la fenêtre temporelle analysée a été réduit de 14% de la puissance nominale des chauffe-eau flexibles avec des tarifs dynamiques (contre 9% avec la gestion directe de la charge et 0% avec des tarifs statiques).



Consommation d'électricité des ménages de la commune de Winkel pour lesquels un chauffe-eau électrique et/ou une pompe à chaleur ont été mis en marche et arrêtés automatiquement par un commutateur de charge dans le cadre du projet pilote. Pendant les mois d'été représentés ici, des tarifs dynamiques permettent d'obtenir l'augmentation souhaitée en milieu de journée lorsque la puissance PV est élevée. Le tarif statique n'a pas eu l'effet optimal dans la mesure où le prélèvement de l'électricité du midi a lieu avec une grande simultanéité. Graphique : projet OrtsNetz de l'OFEN



Le graphique illustre la consommation d'électricité des ménages de Winkel pour lesquels un chauffe-eau électrique et/ou une pompe à chaleur ont été mis en marche et arrêtés automatiquement par un commutateur de charge dans le cadre du projet pilote, et ce, pendant les mois d'hiver. Ici, les trois nouvelles formes de gestion de la charge testées dans le cadre du projet « OrtsNetz » ne permettent guère de générer des bénéfices. Photo : projet OrtsNetz de l'OFEN

Marina González, responsable New Technology, Data & AI chez EKZ, juge positif le résultat de ce test sur le terrain qui a duré 15 mois : « Même si les fournisseurs d'électricité souhaitaient une réduction plus importante, le pilote montre que toutes les approches dynamiques sont efficaces et ont le potentiel d'éviter les renforcements du réseau à moyen terme ». Cela vaut aussi bien pour les tarifs dynamiques que pour la commande directe intelligente.

Une efficacité avérée uniquement en été

Un résultat qui peut surprendre. En effet, on a plutôt tendance à penser qu'une gestion directe de la charge par le fournisseur d'électricité donnerait le meilleur résultat. González explique pourquoi cela n'a pas été le cas dans le cadre du projet pilote en ces termes : « La gestion directe n'est en aucun cas triviale, elle implique d'émettre différentes hypothèses de modélisation et les erreurs sont possibles ». Dans le projet pilote, la gestion directe, mais aussi indirecte par le biais des tarifs, ont été réalisées au moyen d'algorithmes développés à l'ETH de Zurich. « L'attention portait particulièrement sur la conception des algorithmes de manière à ce qu'ils fonctionnent avec les informations et les possibilités de contrôle disponibles dans la réalité. Cela est important pour que les algorithmes puissent être mis en œuvre au-delà du projet, sans avoir à procéder à de grandes modifications de l'infra-

structure existante », explique Gabriela Hug, professeure au Power Systems Laboratory de l'ETH de Zurich.

La réduction des pics d'injection mentionnée ci-dessus concerne les mois estivaux. La gestion de la charge est moins efficace l'hiver : durant cette période, seule la gestion directe permettrait de réduire les pics de courant – ou alors la désactivation de la télécommande centralisée existante. La raison : en hiver, la production d'électricité photovoltaïque est moins importante et les prélèvements d'électricité sont répartis plus uniformément au cours de la journée (bien que la télécommande centralisée aille parfois à l'encontre de cette répartition uniforme). Marina González est convaincue qu'à moyen terme, la gestion directe ou indirecte de la charge sera également nécessaire en hiver : « Si le nombre de voitures électriques augmente, le risque de pics de charge le soir augmentera aussi, et nous devons l'aborder avec une gestion de la charge ».

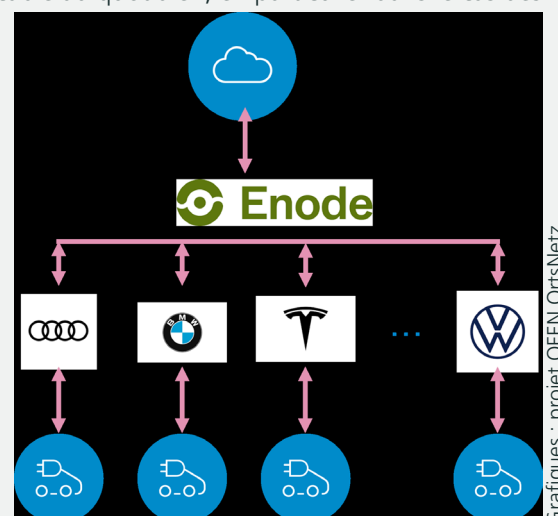
Deux cinquièmes des ménages réagissent

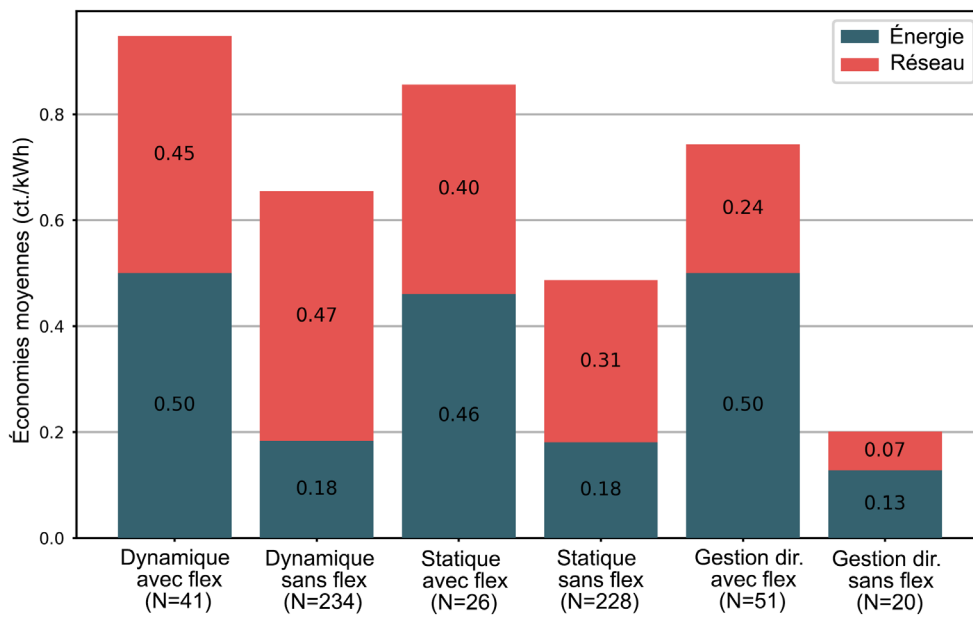
Un autre résultat de l'étude : les tarifs variables d'utilisation du réseau ont également un impact sur les ménages qui ne disposent pas de charges contrôlables automatiquement (chauffe-eau, pompes à chaleur, voitures électriques). Ces ménages sont équipés d'appareils électriques comme des

SOLUTION CLOUD POUR LA RECHARGE DES VOITURES ÉLECTRIQUES

Les tarifs variables d'utilisation du réseau permettent aux consommateurs d'électricité d'économiser de l'argent s'ils allument leurs appareils électriques au « bon » moment. Dans le cadre du projet pilote, les consommateurs d'électricité pouvaient consulter les tarifs en vigueur via un portail client et décider, par exemple, de mettre en marche leur machine à laver à un moment où le tarif était avantageux. Cela demande une grande attention et n'est guère praticable au quotidien, en particulier dans le cas des tarifs dynamiques. Des solutions techniques ont donc été mises à la disposition des ménages participants afin de gérer automatiquement les chauffe-eau, les pompes à chaleur et les processus de charge des voitures électriques – et ce, de manière à tenir compte de manière optimale des besoins des ménages et à obtenir des coûts d'électricité aussi bas que possible.

Dans le cas des chauffe-eau et des pompes à chaleur, la gestion a été réalisée par le biais d'un commutateur de charge installé dans les ménages pilotes. La gestion de la recharge des voitures électriques a été assurée par le biais d'une solution ayant accès aux interfaces cloud des constructeurs automobiles (plateforme Enode). Les algorithmes nécessaires à la commande ont été développés à l'ETH de Zurich. Grâce à la solution cloud, les informations relatives à l'état de la prise et de la charge ont également pu être utilisées pour les voitures électriques.





Économies réalisées grâce aux tarifs dynamiques (2 colonnes de gauche), aux tarifs statiques (2 colonnes du milieu) et à la gestion intelligente et directe de la charge (2 colonnes de droite). « Avec Flex » signifie que les chauffe-eau électriques, les pompes à chaleur et les voitures électriques ont été contrôlés automatiquement. « Sans Flex » signifie que les appareils électriques ont été contrôlés manuellement par les ménages. Graphique : Projet OrtsNetz de l'OFEN

lave-vaisselle ou des machines à laver. Une enquête a été menée auprès des ménages s'étant activement intéressés au projet pilote (groupe opt-in) et de ceux ne s'étant pas opposés à leur inclusion dans le projet pilote (groupe not-opt-out).

Dans le cadre de l'enquête, trois cinquièmes des ménages ont déclaré que les tarifs variables les avaient incités à faire fonctionner leurs appareils électriques, dans la mesure du possible, pendant les périodes où le tarif était avantageux. Le projet n'a toutefois pu démontrer un changement comportemental effectif uniquement auprès des participants motivés (groupe opt-in). D'ailleurs, seuls 15% des personnes contactées s'étaient activement inscrites à l'expérimentation, bien que les ménages eussent reçu l'assurance que l'expérimentation ne les pénaliserait pas en termes de prix. Cela indique qu'il n'est pas facile d'intéresser les consommateurs à de nouveaux modèles tarifaires.

Les incitations ont peu de poids

Il reste à voir si la bonne volonté à utiliser les appareils électriques de manière « bénéfique pour le du réseau » peut être reproduite en dehors des circonstances particulières d'un projet de recherche. L'avantage financier résultant de l'utilisation de tarifs avantageux pour l'utilisation du réseau est faible, de l'ordre de 22 à 28 francs par an. Les économies sont un peu plus élevées pour les ménages équipés d'un chauffe-eau, d'une pompe à chaleur ou d'une borne de recharge pour voiture électrique. Dans ce cas, la gestion automatique de la charge a permis de réaliser des économies de

103 à 157 francs par an. « Nous devons avoir conscience que l'incitation financière résultant des tarifs variables d'utilisation du réseau est assez modeste pour les ménages », explique Marina González. « EKZ et les autres fournisseurs d'électricité ne peuvent récompenser un comportement respectueux du réseau qu'à hauteur des avantages économiques qu'ils en tirent eux-mêmes ».

Les résultats de l'enquête menée auprès des ménages participants après la réalisation de l'expérience pilote viennent étayer cette estimation. Les économies réalisées ont été majoritairement jugées trop faibles. Néanmoins, environ trois quarts des personnes étaient d'accord pour que les fournisseurs d'électricité introduisent des tarifs d'électricité bénéfique pour le réseau. Si cela se produisait, des mesures de communication seraient indispensables. En effet, les tarifs d'électricité utilisés dans le projet n'étaient compréhensibles que pour la moitié des personnes interrogées.

Des tarifs dynamiques à partir de 2026

EKZ introduira des tarifs dynamiques en 2026. Cela signifie que les consommateurs ont désormais la possibilité de bénéficier de ces tarifs s'ils le souhaitent. Cette étape est intéressante pour les consommateurs disposant d'un système de gestion de l'énergie utilisable pour la gestion indirecte de la charge. C'est par exemple le cas pour de nombreux consommateurs disposant de leur propre installation solaire. Parallèlement, EKZ travaille au remplacement de la télécommande centralisée par une gestion intelligente de la charge afin d'améliorer encore la gestion directe de la charge à l'avenir.

« Nous voulons obtenir un effet maximal avec des investissements raisonnables afin d'éviter une extension inutile du réseau », explique Marina González.

- Des informations supplémentaires concernant le projet « **OrtsNetz** » sont disponibles sur <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=49238>.
- Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch), directeur du programme de recherche Électricité 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.