



## Projet

### Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés



## Énergies renouvelables – quelles solutions sont les plus pertinentes ?

À l'avenir, l'approvisionnement énergétique de la Suisse mettra davantage sur les énergies renouvelables et sur la décentralisation de la production. Quelles technologies s'avèrent non seulement bénéfiques pour le climat, mais aussi intéressantes sur le plan financier ? Un projet de recherche de l'EPF de Zurich a étudié la question.



Représentation schématique d'un système multi-énergie : des sources d'énergie durables, comme le soleil, le vent et la géothermie, alimentent différents bâtiments en chaleur, en froid et en électricité à l'aide de solutions de stockage de l'énergie. *Source* : Groupe Durabilité et technologie, EPF Zurich





## En un coup d'œil

- Les émissions de CO<sub>2</sub> pourraient être considérablement réduites à l'aide de systèmes multi-énergie décentralisés – des combinaisons d'installations destinées à produire et à stocker des énergies renouvelables. Jusqu'à présent, il était toutefois difficile d'évaluer si ce type de systèmes était rentable et quand.
- Le groupe Durabilité et technologie de l'EPF de Zurich vient d'étudier la rentabilité de divers systèmes multi-énergie pour les lotissements et les quartiers.
- Conclusion : une installation photovoltaïque combinée à une pompe à chaleur produit déjà une énergie moins chère que l'infrastructure encore très répandue associant un chauffage au mazout et de l'électricité issue du réseau public.

À l'avenir, les systèmes dits « multi-énergie » pourraient jouer un rôle majeur dans l'approvisionnement énergétique de la Suisse. Ces systèmes associent la production d'énergie à partir de sources renouvelables à des installations de conversion et de stockage : par exemple des centrales éoliennes et solaires avec des batteries, des accumulateurs de chaleur ou des pompes à chaleur. Jusqu'à présent, la rentabilité de ces systèmes combinés restait cependant difficile à estimer. Dans le cadre d'un sous-projet du projet conjoint « Production d'électricité durable décentralisée », le groupe Durabilité et technologie de l'EPF de Zurich vient d'étudier l'impact économique de tels systèmes sur les lotissements et les quartiers.

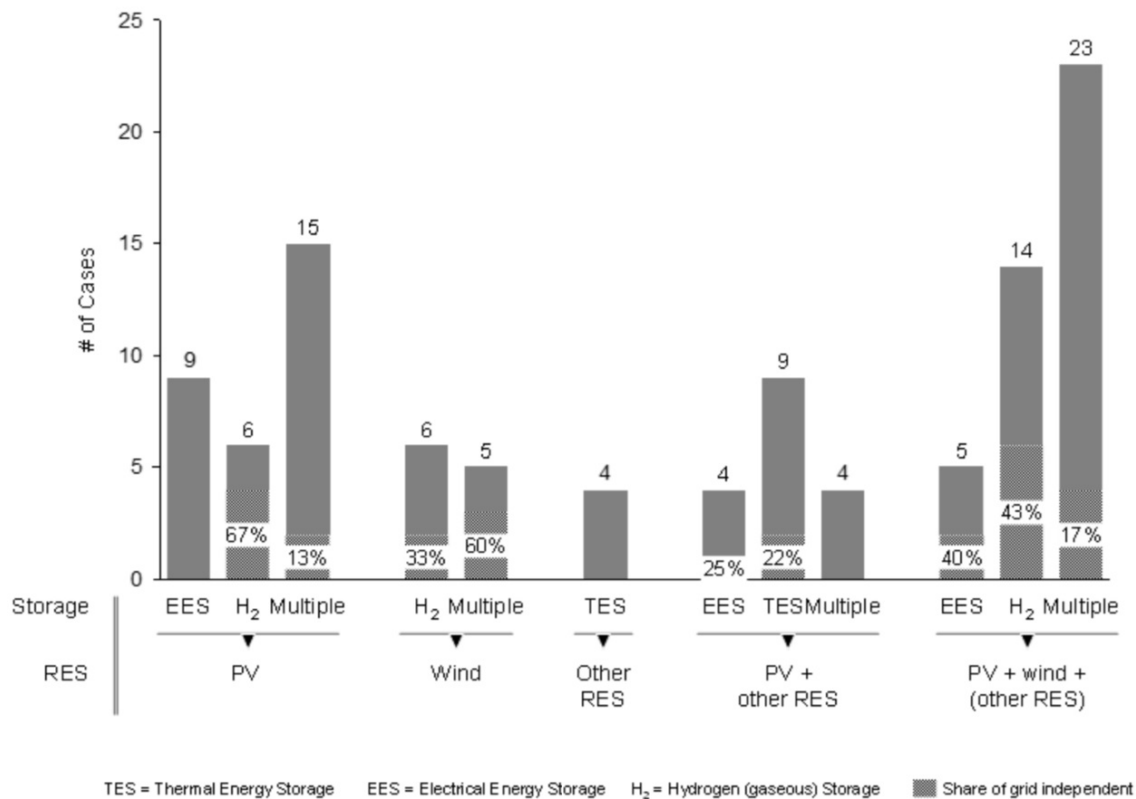


## Quelles installations sont les plus adaptées ?

Les chercheuses et chercheurs ont analysé le fonctionnement de différentes technologies et combinaisons d'installations au sein de systèmes multi-énergie. Pour ce faire, ils ont commencé par établir une base de données des systèmes conçus jusqu'à présent. Ils ont évalué aussi bien les systèmes ayant été abordés dans le cadre de publications scientifiques que les projets pilotes effectivement réalisés. Leurs recherches leur ont permis de mettre en évidence une étonnante diversité de combinaisons d'installations techniques destinées à la production et au stockage d'énergie. 31 combinaisons d'installations distinctes étaient décrites dans 55 études ayant fait l'objet d'une publication scientifique et, parmi les 56 systèmes réellement construits et documentés à ce jour, 30 variantes différentes ont pu être identifiées. « Aucune configuration dominante ne se distingue pour le moment », conclut Volker Hoffmann, le responsable du projet.

Si les installations photovoltaïques et les centrales éoliennes sont largement majoritaires en matière de production d'énergie, on rencontre cependant aussi des installations de bioénergie, d'énergie héliothermique, de géothermie et de production hydroélectrique. Les technologies de conversion et les installations de stockage se caractérisent elles aussi par une grande variété de combinaisons, telles que des pompes à chaleur, des piles à combustible ou des installations d'électrolyse, ainsi que des batteries, des accumulateurs de chaleur ou des réservoirs d'hydrogène.

Seuls les systèmes multi-énergie, alimentant exclusivement des habitations, et les systèmes autonomes, qui ne sont pas reliés au réseau électrique, font apparaître une préférence : en ce qui concerne les bâtiments résidentiels, dans 90 % des cas, l'énergie est d'origine photovoltaïque et l'installation est généralement associée à une batterie et à un ballon d'eau chaude. Dans les systèmes autonomes, on trouve plus fréquemment qu'ailleurs des installations d'électrolyse et des piles à combustible, deux équipements permettant de stocker de l'énergie à long terme sous forme d'hydrogène : les installations d'électrolyse utilisent l'électricité pour fabriquer de l'hydrogène, qui sera ensuite converti en électricité et en chaleur par les piles à combustible.



Systèmes multi-énergie classés en fonction des technologies utilisées. Les sources d'énergie sont détaillées dans la ligne du bas : photovoltaïque (PV), éolien, installations plus rares comme la géothermie ou l'héliothermie (Other RES) et combinaisons de ces derniers. La ligne du haut indique le type de stockage : batterie (EES), réservoir d'hydrogène (H<sub>2</sub>), accumulateur de chaleur (TES) ou combinaisons de plusieurs technologies. Grosspietsch et al.

## Quelle solution est la plus rentable ?

En se basant sur cette vue d'ensemble, les chercheuses et chercheurs de l'EPF ont ensuite évalué l'intérêt économique de différentes combinaisons de technologies. Pour ce faire, ils ont défini un modèle informatique des systèmes et ont calculé leur valeur actuelle nette. Cette dernière comprend l'ensemble des coûts et des recettes, sur toute la durée de vie d'une installation.

Il est apparu que l'adjonction d'une installation photovoltaïque combinée à une technologie de conversion (une pompe à chaleur par exemple) produit déjà une énergie moins chère que l'infrastructure encore courante aujourd'hui associant un chauffage au mazout et de l'électricité issue du réseau public. Dans le cadre d'un exemple concret (un petit lotissement avec trois maisons individuelles, trois résidences collectives et un petit immeuble de bureaux), les calculs ont démontré que cette combinaison, associant photovoltaïque et pompe à chaleur, était la variante la plus avantageuse.



Si l'on ajoute toutefois à un tel système une technologie de stockage (par exemple une batterie, un réservoir thermique ou un réservoir d'hydrogène), l'alimentation en énergie redevient légèrement plus onéreuse. Les réservoirs d'hydrogène font notamment grimper les coûts. Cela se vérifie tout particulièrement avec les systèmes autonomes, qui sont isolés du réseau électrique et dépendent donc de telles technologies de stockage : leur alimentation en énergie reviendrait deux à trois fois plus cher. « Ceci devrait toutefois changer à l'avenir », indique Volker Hoffmann, entre autres du fait de la baisse des coûts de ces technologies et en raison de la légère hausse des prix de l'électricité, du mazout et du gaz naturel.

## Perspectives d'avenir

Afin de replacer leurs calculs dans le contexte des évolutions potentielles, les chercheurs ont finalement élaboré trois scénarios d'avenir. Pour ce faire, ils ont collaboré avec les équipes du projet conjoint et des sous-projets, qui s'étaient chargées des développements techniques des systèmes multi-énergie. Les équipes ont développé ensemble les scénarios suivants :

- **Marché traditionnel** : dans ce scénario, peu de choses évoluent par rapport à aujourd'hui. L'alimentation reste principalement basée sur des combustibles fossiles et la production d'énergie renouvelable reste marginale.
- **Marché durable mondial** : ce scénario est marqué par une forte conscience écologique mondiale et par une collaboration internationale. Les vecteurs énergétiques fossiles sont progressivement abandonnés et les énergies renouvelables font l'objet d'un soutien ciblé.
- **Marché durable régional** : là aussi, les sources d'énergie renouvelables gagnent nettement en importance, mais avant tout sous forme de solutions régionales décentralisées.

À présent, les chercheuses et chercheurs de l'EPF évaluent pour chacun de ces trois scénarios la manière dont évolueraient les incitations financières sur le marché de l'énergie, par exemple les prix de l'énergie ou les taxes sur le CO<sub>2</sub>. Ainsi, dans le scénario « marché traditionnel », les prix de l'énergie augmenteraient peu, et les taxes sur le CO<sub>2</sub> tout aussi peu. Les technologies de production d'énergie renouvelable seraient donc peu encouragées et leurs coûts resteraient par conséquent à un niveau élevé. Pour les deux scénarios durables en revanche, des taxes sur le CO<sub>2</sub> plus importantes entraîneraient une hausse du prix des énergies fossiles et, par conséquent, un développement accru des technologies renouvelables.



### Fusion des sous-projets

Ces scénarios d'incitation ont ensuite été combinés avec les résultats des sous-projets associés et représentés sous forme de modèles informatiques. « Ceux-ci permettent désormais d'évaluer les performances et les coûts des différentes technologies énergétiques sur le long terme », explique Volker Hoffmann. Pour la première fois, les chercheurs ont développé une méthodologie permettant d'évaluer de manière détaillée des systèmes multi-énergie, établissant ainsi une condition préalable importante pour favoriser un approvisionnement énergétique décentralisé.



## Produkte aus diesem Projekt

- Multi-Energy-Hubs in Quartieren  
Date de publication: 01.01.18
- Multi-Energy-Hubs, die Zukunft der Energieversorgung ?  
Date de publication: 01.01.18
- Fostering Technological Change for a Sustainable Built Environment : The Role of Policy, System Design and Performance  
Date de publication: 01.01.18
- Fostering Technological Change for a Sustainable Built Environment : The Role of Policy, System Design and Performance  
Date de publication: 01.01.18
- Matching decentralized energy production and local consumption : A review of renewable energy systems with conversion and storage technologies.  
Date de publication: 10.10.19
- How, when, and where ? Assessing renewable energy self-sufficiency at the neighborhood level.  
Date de publication: 10.10.19
- A comparison of storage systems in neighbourhood decentralized energy system applications from 2015 to 2050  
Date de publication: 10.10.19





**Energie**

Programmes nationaux de recherche 70 et 71

## Team & Kontakt

Prof. Volker Hoffmann

Departement Management, Technologie und Ökonomie

ETH Zürich

Weinbergstrasse 56/58

8092 Zürich

[vhoffmann@ethz.ch](mailto:vhoffmann@ethz.ch)

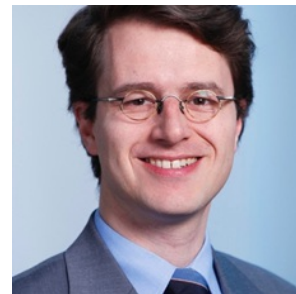
+41 44 632 05 40



Bastien Girod



David Grosspietsch



Volker Hoffmann  
Direction de projet

Le contenu de ce site représente l'état des connaissances au 10.05.2019.