



SPOTLIGHT  
PHOTOVOLTAÏQUE  
ALPIN, ÉOLIEN

Robin Mutschler, Martin Rüdisüli et Matthias Sulzer  
13 décembre 2022

2050  
**Avenir énergétique**

## Des énergies solaire et éolienne pour la production d'électricité en hiver

Le solaire et l'éolien jouent un rôle croissant dans l'approvisionnement énergétique en Suisse. Pour atteindre les objectifs en matière d'émissions et améliorer la sécurité d'approvisionnement, plus particulièrement en hiver, une part significative des besoins énergétiques du pays doit être couverte par les énergies solaire et éolienne d'ici à 2050. En raison de l'abandon progressif de l'énergie nucléaire, environ 40% de la consommation actuelle d'électricité doit être assurée par des sources renouvelables. De plus, avec l'électrification de la mobilité et du chauffage des bâtiments, les besoins en électricité (consommation nationale) augmentent: ils passeront d'environ 60 TWh aujourd'hui à 80-90 TWh en 2050. Cette hausse allant jusqu'à 30 TWh doit être couverte par une production supplémentaire<sup>1</sup>. L'approvisionnement en électricité constitue particulièrement un défi en hiver, car les capacités d'importation sont limitées<sup>2</sup>, notamment dans les scénarios «isolée», et car l'hydraulique ne peut pas être développée de manière significative<sup>3</sup>. Les besoins liés à l'électrification des systèmes de chauffage augmentent par ailleurs de façon disproportionnée durant les mois d'hiver, alors que c'est à cette période de l'année que la production d'énergie solaire est la plus faible.

La conversion des énergies solaire et éolienne suit un schéma qui évolue en fonction des heures de la journée et des saisons. Dans le cas de l'énergie solaire, il faut s'attendre sur l'année à de légères variations statistiques par rapport au rendement saisonnier moyen. L'éolien, quant à lui, subit de fortes fluctuations stochastiques<sup>4</sup>, même si on parvient à identifier clairement certains scénarios typiques: le rendement prévu durant le semestre hivernal est nettement supérieur à celui du semestre estival. En outre, les profils de vent varient parfois considérablement d'un site à un autre. Les centrales éoliennes particulièrement rentables sont par exemple installées dans l'Arc jurassien et les grandes vallées alpines.

Comme pour l'énergie éolienne, on constate de fortes variations locales avec l'énergie solaire. Si le potentiel des installations sur les toits diminue de manière significative en hiver – on les retrouve en effet majoritairement sur le Plateau –, les installations des régions alpines parviennent encore à atteindre environ la moitié de la production estivale durant la saison froide<sup>5</sup>. Les sites alpins se caractérisent par des stratus peu persistants, des températures plus froides et des gains énergétiques secondaires importants sur des surfaces enneigées. Ces effets caractéristiques ont un impact positif sur la production photovoltaïque hivernale. La Figure 1 montre l'évolution de la production d'électricité mensuelle prévue par les installations photovoltaïques sur les toits, les installations photovoltaïques sur les sites alpins et les installations éoliennes par rapport à la consommation nationale dans le scénario «offensif-intégrée» pour les années de référence REF et 2050.

---

<sup>1</sup> Rapport principal 3.1

<sup>2</sup> Rapport principal 2.5.7

<sup>3</sup> Rapport principal 2.5.5

<sup>4</sup> Rapport principal, Fig. 48

<sup>5</sup> Rapport principal, Fig. 50

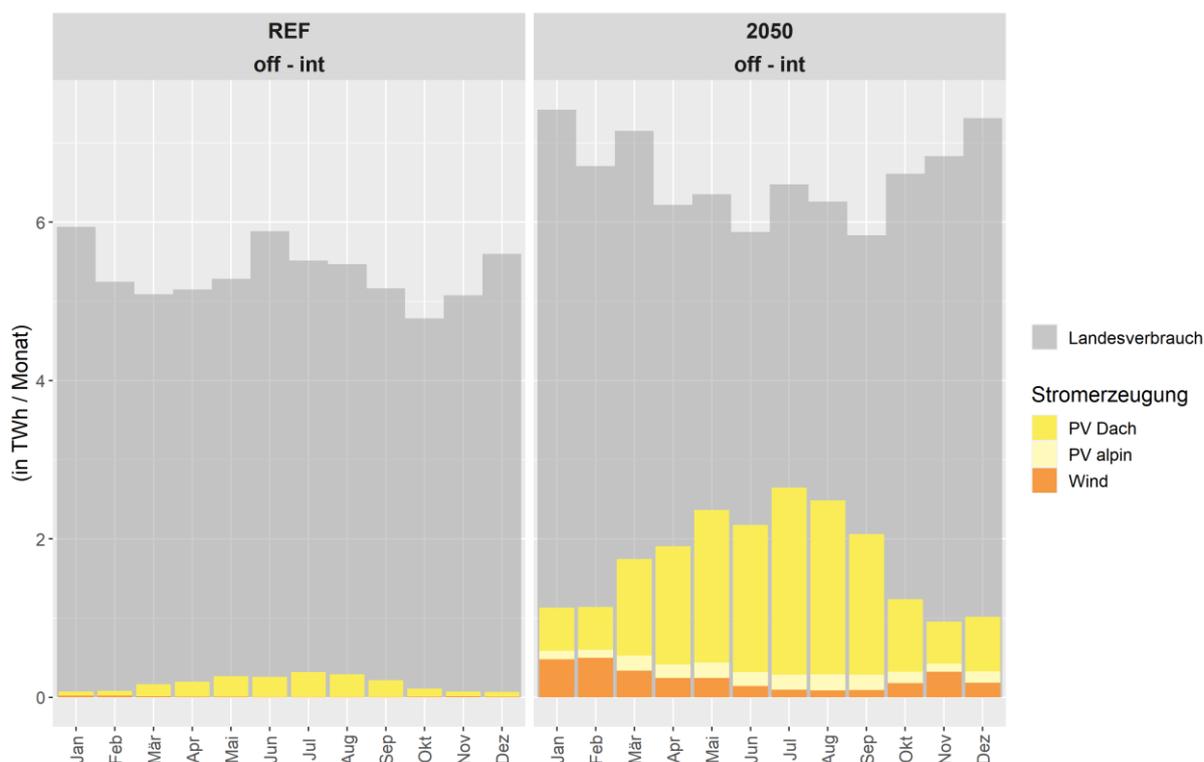


Figure 1: Production d'électricité mensuelle agrégée assurée par des installations éoliennes, photovoltaïques sur les toits et photovoltaïques sur des sites alpins dans le scénario «offensif-intégrée» pour les années de référence REF et 2050 par rapport à la consommation nationale mensuelle (surface grise, colonnes non remplies).

## Potentiel des installations photovoltaïques alpines

On connaît déjà le potentiel des installations photovoltaïques alpines. Dans le cadre de l'installation du barrage de Muttsee, l'EPFL estime que la production hivernale prévue en altitude est supérieure de 68% à celle du Plateau<sup>6</sup>. Pour la ZHAW, les installations photovoltaïques alpines présentent un potentiel de production d'électricité compris entre 5 et 10 TWh<sup>7</sup>. Les deux auteurs mentionnent en outre que leur degré d'efficacité est environ 11% supérieur à celui d'installations comparables sur le Plateau, en raison de températures plus basses<sup>8</sup>. Pour l'étude de l'AES, on a utilisé le modèle SUNWELL (Dujardin et al., 2022) afin de déterminer les profils d'ensoleillement alpins. La Figure 2 montre les sites potentiels évalués pour l'implantation d'installations photovoltaïques alpines en Suisse. On constate que c'est le Valais et une partie des Grisons qui présentent le potentiel le plus élevé. Les répercussions sur le réseau électrique n'ont pas été prises en compte dans le cadre de cette estimation du potentiel et feront l'objet d'une analyse détaillée dans le cadre d'une étude sur le réseau<sup>9</sup> menée par l'AES.

<sup>6</sup> <https://www.axpo.com/ch/de/ueber-uns/magazin.detail.html/magazin/erneuerbare-energien/Es-braucht-neue-Loesungen-fuer-Winterstrom.html>

<sup>7</sup> <https://swisspower.ch/themen-und-standpunkte/alpine-solaranlagen-lieferr-dreimal-so-viel-winterstrom/>

<sup>8</sup> [https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/23607/3/2021\\_Schlegel\\_Literaturstudie-Freil%C3%A4chen-PVA-und-Biodiversit%C3%A4t.pdf](https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/23607/3/2021_Schlegel_Literaturstudie-Freil%C3%A4chen-PVA-und-Biodiversit%C3%A4t.pdf)

<sup>9</sup> Publication prévue en 2023

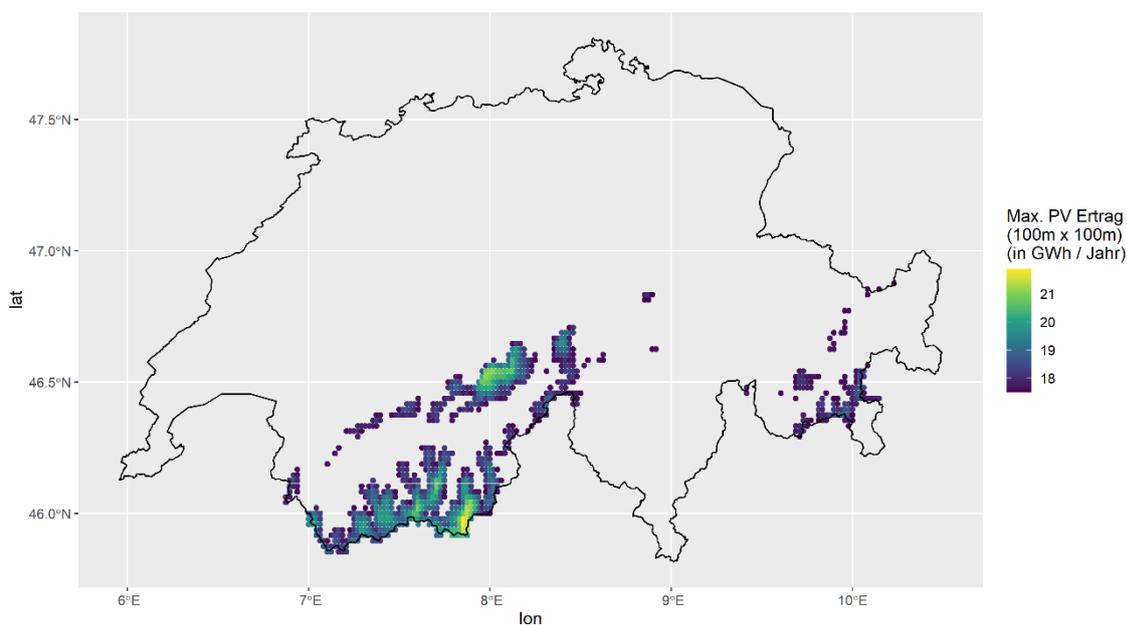


Figure 2: Potentiel des installations photovoltaïques alpines. Le potentiel principal se situe dans les cantons du Valais et des Grisons.

## Deux tiers de l'énergie éolienne produits durant le semestre hivernal

Les installations éoliennes peuvent injecter de l'électricité supplémentaire au système énergétique, notamment pendant les mois d'hiver. Environ les 2/3 des quelque 1650 heures de pleine charge que représentent les installations éoliennes actuelles sont produites durant les mois d'hiver. Les futures turbines dotées d'une hauteur de moyeu plus élevée pourront augmenter leur exploitation jusqu'à environ 1830 heures de pleine charge. Le potentiel de l'éolien en Suisse fait l'objet de controverses et varie fortement selon les contraintes socio-économiques des différentes études. Une étude récente de l'OFEN et de Meteotest AG estime ce potentiel jusqu'à 29,5 TWh, dont 19 TWh seraient produits durant la saison hivernale<sup>10</sup>. Dans ce cadre, les zones naturelles et les zones soumises à des limitations de bruit ont été prises en compte. Une utilisation de 30%, soit environ 1000 éoliennes, permettrait de produire environ 9 TWh d'électricité, dont 5,7 TWh en hiver. Selon d'autres études, le potentiel de l'énergie éolienne est bien inférieur en raison d'un manque d'acceptation (Bauer et al., 2017). Dans l'«Avenir énergétique 2050» de l'AES, le profil éolien pour les années à venir est déterminé à l'aide de profils horaires basés sur l'année historique 2016 et les données de l'ENTSO-E (Pan European Climate Database, PECD, 2022).

<sup>10</sup> <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiqués.msg-id-90116.html>

## Installations pilotes et projets

### Muttsee (GL)

En collaboration avec Industrielle Werke Basel (IWB), Axpo a mis en service en 2021 la première centrale solaire alpine de Suisse. Les quelque 5000 panneaux solaires installés sur le barrage de Muttsee, dans le canton de Glaris, devraient permettre de produire en moyenne 3,3 GWh d'électricité chaque année. L'exploitation du potentiel maximal de 6,5 TWh estimé dans cette étude pour les installations photovoltaïques alpines nécessiterait environ 2000 installations de ce même ordre de grandeur.

### Gondo (VS)

Une installation photovoltaïque alpine en mesure de produire environ 23 GWh d'électricité par an selon les planifications est prévue dans le Valais, sur les hauteurs de la commune de Gondo, à environ 2000 m d'altitude<sup>11</sup>. Son intégration dans le plan directeur cantonal fait actuellement (octobre 2022) débat<sup>12</sup>.

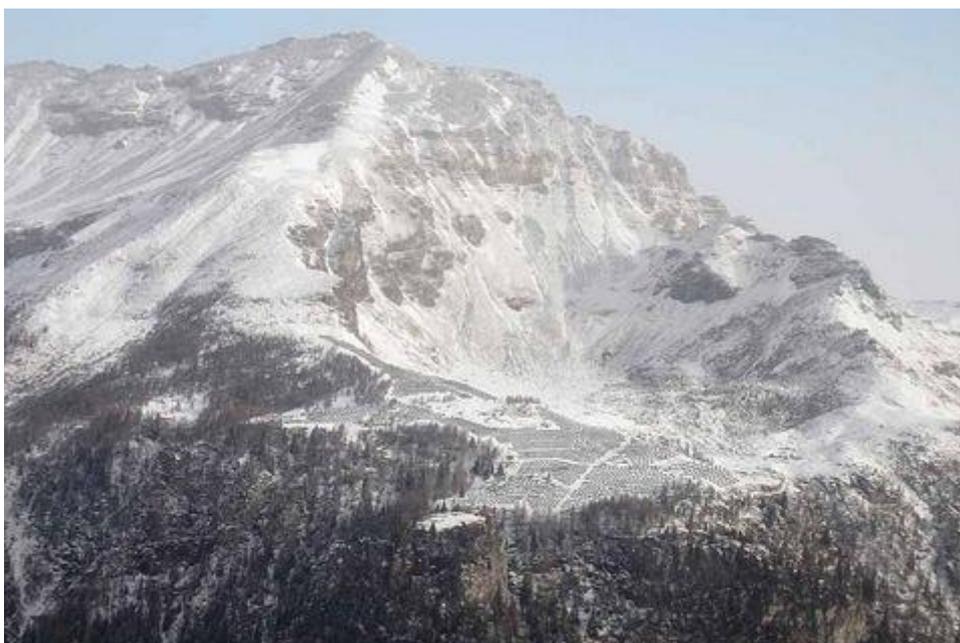


Figure 3: L'installation photovoltaïque alpine «Gundosolar»<sup>13</sup> sur les hauteurs de la commune de Gondo dans le Valais

### Grensiols (VS)

Un autre projet d'installations photovoltaïques alpines est prévu à Grensiols, toujours dans le canton du Valais. Ses dimensions sont 100 fois supérieures à celles du «Gundosolar». On vise ici une production d'environ 2000 GWh<sup>14</sup>. La contribution de l'installation à l'approvisionnement en électricité en Suisse,

<sup>11</sup> <https://www.gundosolar.ch>

<sup>12</sup> <https://www.gundosolar.ch/news-detail/das-projekt-gundosolar-laeuft-auf-hochtouren>

<sup>13</sup> <https://www.gundosolar.ch/das-projekt>, Zugriff 21.11.2022

<sup>14</sup> <https://www.nzz.ch/schweiz/solar-fieber-ein-neues-projekt-in-gondo-und-grensiols-ld.1706367>

notamment en hiver, serait par conséquent significative. Ce projet est fondé sur l'arrêté fédéral «Mesures urgentes visant à assurer rapidement l'approvisionnement en électricité pendant l'hiver» et sur le contre-projet indirect à l'initiative pour les glaciers du 1<sup>er</sup> octobre 2022, qui prévoit la construction prioritaire de grandes installations photovoltaïques dans les Alpes. Pour des raisons de protection du paysage et de la nature, le projet se heurte déjà à une opposition<sup>15</sup>.

## Énergie éolienne

SuisseEole, l'association pour la diffusion et la promotion durable de l'énergie éolienne en Suisse, entend mettre en œuvre à court terme les projets déjà planifiés d'une puissance totale de 2 TWh/an. Ces projets sont à l'arrêt en raison de la lenteur du traitement des oppositions et des recours devant les tribunaux (environ 300 installations éoliennes sont en cours de planification ou en attente d'une décision de justice). D'ici à 2050, 6 TWh d'énergie éolienne au total seront nécessaires en Suisse, soit grâce à une approche participative et à des installations éoliennes citoyennes, soit grâce à la définition de nouvelles zones éoliennes adaptées dans des espaces qui n'étaient pas encore pris en compte. L'étude de l'AES considère qu'environ 3 TWh, soit la moitié, sont des projets réalisables dans les décennies à venir.

## Perspectives

Afin de maîtriser le défi de l'approvisionnement en électricité en hiver, l'énergie éolienne et issue d'installations photovoltaïques alpines peut jouer un rôle important, sans exiger un grand nombre de dispositifs de stockage. Les installations photovoltaïques sur les toits permettraient également de couvrir les besoins s'il y avait un report saisonnier. Cela demanderait cependant un stockage saisonnier (coûteux) par le biais d'agents énergétiques chimiques ou thermiques. L'énergie renouvelable issue d'installations photovoltaïques alpines peut donc contribuer de manière considérable au fonctionnement des systèmes de chauffage par pompes à chaleur durant la saison froide et à celui des voitures électriques pour des excursions sous le soleil hivernal des montagnes.

## Bibliographie

Bauer, C., Bäuerle, Y., Biollaz, S., Calbry-Muzyka, A., Cox, B., Heck, T., Hirschberg, S., Lehnert, M., Meier, A., Prasser, H.-M., Schenler, W., Treyer, K., Vogel, F., Wieckert, H., Zhang, X., Zimmermann, M., Burg, V., Bowman, G., Erni, M., Saar, M., Tran, M., 2017. Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland (en anglais)

Dujardin, J., Schillinger, M., Kahl, A., Savelsberg, J., Schlecht, I., Lordan-Perret, R., 2022. Optimized market value of alpine solar photovoltaic installations. *Renew. Energy* 186, 878–888.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.016> (en anglais)

Walch, A., Castello, R., Mohajeri, N., Scartezzini, J.-L., 2020. Big data mining for the estimation of hourly rooftop photovoltaic potential and its uncertainty. *Appl. Energy* 262, 114404.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114404> (en anglais)

---

<sup>15</sup> <https://www.ig-safflischtal.ch>

Walch, A., Rüdisüli, M., 2022. Strategic PV expansion and its impact on regional electricity self-sufficiency: Case study of Switzerland. Appl. energ submitted (en anglais)

Walch, A., Rüdisüli, M., Castello, R., Scartezzini, J.-L., 2021. Quantification of existing rooftop PV hourly generation capacity and validation against measurement data, in: CISBAT. Lausanne (en anglais)

### **Citation**

Mutschler, R., Rüdisüli, M., & Sulzer, M. (13.12.2022: Spotlight Photovoltaïque alpin, éolien.  
Dans: Association des entreprises électriques suisses AES (13.12.2022): «*Avenir énergétique 2050*».  
*Scénarios pour l'avenir énergétique et climatique*. URL: [www.avenirenergetique2050.ch](http://www.avenirenergetique2050.ch).