

Prise de position du Forum Stockage d'Énergie Suisse

Berne, janvier 2025

Quelle contribution le Power-to-X peut-il apporter à la sécurité de l'approvisionnement énergétique en Suisse dans un scénario zéro émission d'ici 2050 ?

Les vecteurs énergétiques synthétiques, c'est-à-dire les vecteurs énergétiques chimiques sous forme gazeuse, liquide ou solide générés par les technologies power-to-X, permettent le stockage saisonnier de l'électricité renouvelable excédentaire. Mais quel est le potentiel réel pour l'optimisation du système énergétique global, tel qu'il est décrit dans feuille de route pour le stockage de l'énergie, et quelles sont les conditions-cadres nécessaires à cet effet ?

1. Situation initiale

La mise en œuvre de la stratégie énergétique 2050 et des perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération implique un développement considérable des sources d'énergie renouvelables. Les énergies solaire et éolienne sont considérées comme ayant un potentiel élevé. Cependant, ces énergies ne sont pas produites en continu, mais dépendent des conditions météorologiques, des heures de la journée et des saisons. La production fluctuante d'énergie qui en résulte doit être compensée à court terme (jour/nuit, périodes de calme/rafales) et, si la part de la production totale d'énergie est plus importante, à plus long terme, au fil des saisons, par des accumulateurs d'énergie appropriés. Le stockage saisonnier d'énergie en Suisse, qui permet d'utiliser les excédents d'électricité en été pour l'hiver, gagne donc en importance dans la transformation du système énergétique et représente également une solution d'assurance.

Cette prise de position décrit l'évaluation du Forum Stockage d'Énergie Suisse sur le potentiel des technologies Power-to-X en tant que possibilités de stockage saisonnier pour un approvisionnement énergétique sûr de la Suisse dans un scénario net zéro jusqu'en 2050. Des exigences politiques en découlent.

2. Définition, avantages et inconvénients du Power-to-X en tant que stockage saisonnier

La production de vecteurs énergétiques chimiques (X) à l'aide d'électricité (renouvelable) est appelée Power-to-X. Dans la plupart des cas, cette production commence par la décomposition de l'eau en hydrogène (H_2)¹ et en oxygène (O_2) par électrolyse. Comme l' H_2 présente une faible densité énergétique volumétrique,² une conversion supplémentaire en hydrocarbures tels que le méthane (CH_4) ou le méthanol (CH_3OH) est parfois envisagée pour le stockage saisonnier. L'ammoniac (NH_3), produit de H_2 et d'azote (N_2), entre également en ligne de

¹ Dans ce document, le terme « H_2 » désigne le H_2 produit à partir d'électricité renouvelable.

² Environ trois fois moins que le méthane

compte pour le stockage à long terme. D'autres possibilités pour les vecteurs d'énergie chimique X sont ce que l'on appelle les Renewable Metal Fuels : des métaux élémentaires (M) obtenus à partir de leurs oxydes par une électrolyse neutre en CO₂ ou par réduction de l'hydrogène. L'un des avantages de H₂, NH₃ et M est que, contrairement aux hydrocarbures, ils ne nécessitent pas de source de carbone et n'émettent donc pas de CO₂ lors de leur consommation.

En fonction de l'état physique de X, on distingue le Power-to-Gas (X = H₂, CH₄), le Power-to-Liquid (X = CH₃OH, NH₃) et le Power-to-Solid (X = M). Par Power-to-X, on entend ci-après, en plus de la conversion de l'électricité renouvelable (excédentaire) en X, le stockage de X et le déstockage, c'est-à-dire X-to-Energy. Chaque étape de conversion entraîne une certaine perte d'efficacité.

Tous les systèmes de stockage à long terme Power-to-X connus aujourd'hui présentent des pertes de l'ordre de 40–60 % jusqu'à l'énergie stockée et transférée en hiver. Sur les 40–60 % restants, la moitié au maximum peut généralement être reconvertie en électricité, ce qui donne un rendement électrique de 20–30 %. Les pertes de conversion se présentent sous forme de chaleur résiduelle, qui peut également être utilisée et entraîner une augmentation du rendement énergétique global. Ces techniques compensent l'inconvénient de leur faible efficacité par une capacité d'extension presque illimitée et un volume de stockage réduit par rapport aux accumulateurs thermiques (comme les accumulateurs d'eau chaude) ou aux accumulateurs à batterie. Les technologies Power-to-X, comme tous les systèmes de stockage électrique, permettent d'augmenter la flexibilité du système énergétique et de stabiliser le réseau électrique en absorbant les surplus d'électricité.³

3. Le rôle du Power-to-X dans le futur système énergétique

La Suisse produisait 67 TWh d'électricité en 2023. 23 TWh de centrales nucléaires vont disparaître en raison de leur âge. Parallèlement, selon les estimations de l'AES et de l'Empa, les besoins en électricité de la Suisse augmenteront jusqu'à 80 à 90 TWh d'ici 2050 en raison de l'électrification⁴. Il est prévu d'augmenter les énergies renouvelables (sans l'énergie hydraulique) à 45 TWh et de faire passer l'énergie hydraulique de 37 à 39,2 TWh, soit un total d'environ 84 TWh. Le bilan annuel global serait ainsi équilibré, mais la production et la consommation ne sont pas simultanées. Ainsi, selon les sources et les scénarios, on prévoit pour l'année 2050 un sous-approvisionnement électrique en hiver de 6 à 9 TWh^{5, 6}. La question se pose de savoir si ces quantités doivent ou peuvent être entièrement importées. Parallèlement, un surplus d'électricité sera produit pendant les mois d'été. Le Power-to-X peut contribuer en transformant l'électricité excédentaire de l'été en un vecteur énergétique stockable (par ex. hydrogène, méthane synthétique, méthanol, ammoniac, Renewable Metal Fuels), en le stockant et en le rendant utilisable en hiver (X-to-Energy).

L'exploitation d'installations Power-to-X est surtout judicieuse lorsque les prix de l'électricité sont bas. En revanche, les coûts d'acquisition sont actuellement encore élevés. Les coûts d'investissement et d'exploitation doivent être répartis sur un petit nombre d'heures de fonctionnement par an, ce qui fait que la rentabilité est encore un défi³.

Comme les produits du Power-to-X - le « X » - sont faciles à stocker et à transporter, la Suisse peut également être approvisionnée par des installations Power-to-X à l'étranger qui, avec des

³ Voir également le [Whitepaper SCCER \(2019\): 13, 18, 23](#).

⁴ AES / Empa (2022): [Energiezukunft 2050: 7](#).

⁵ OFEN (2020): Perspectives énergétiques 2050+, Scénario ZERO Base: 22.

⁶ AES / Empa (2022): [Energiezukunft 2050: 7](#).

puissances électriques de 100 MW et plus, peuvent être nettement plus grandes que les installations en Suisse. Sur les sites étrangers - par exemple en Europe du Sud avec une production photovoltaïque importante ou en Europe du Nord avec une production éolienne ou hydraulique importante - l'électricité renouvelable excédentaire est disponible en plus grande quantité et sur une plus longue période qu'en Suisse. Les coûts de l'électrolyseur peuvent ainsi être répartis sur un nombre d'heures de fonctionnement nettement plus élevé, ce qui améliore la rentabilité.

Les produits Power-to-X sont utilisés soit pour des applications difficilement électrifiables, soit là où, par rapport aux solutions purement électriques, les avantages de la capacité de stockage et de transport sont plus importants que les inconvénients des pertes de conversion, ou encore là où la résilience et la sécurité d'approvisionnement sont essentielles. Il s'agit d'applications industrielles à haute température ainsi que de groupes électrogènes de secours, de couvertures de charges de pointe de réseaux d'énergie et de la gestion de situations de pénurie d'électricité. Pour la mobilité également, une utilisation est éventuellement possible et judicieuse dans les camions et les bus longue distance, mais surtout dans les bateaux et les avions.

4. Quelle quantité d'énergie doit être stockée à l'aide de Power-to-X ?

Outre l'importation d'électricité, les connaissances actuelles indiquent que les grands réservoirs thermiques dans les réseaux de chaleur (réservoirs souterrains, aquifères) et les réservoirs chimiques issus du Power-to-X sont des moyens viables pour couvrir, du moins en partie, le déficit d'approvisionnement électrique en hiver de 6 à 9 TWh prévu pour 2050. En supposant que le power-to-X contribue à hauteur de 1/3 à la couverture du déficit d'approvisionnement et en considérant un rendement de conversion de X en électricité de 50% dans les piles à combustible, il en résulte 4 à 6 TWh qui devraient être stockés et entreposés dans des sources d'énergie X. Par exemple, le stockage de 6 TWh dans X sous forme de méthanol nécessiterait un volume de 1,25 million de m³,⁷ ce qui correspond à environ 30 % du volume des réserves obligatoires de pétrole actuelles⁸.

Si l'on part d'une perte de conversion de 50 % dans le processus Power-to-X précédent, y compris le stockage, il en résulte un besoin calculé en électricité de 8 à 12 TWh en été, afin d'obtenir les 2 à 3 TWh d'électricité d'hiver souhaités après une reconversion en électricité en hiver. Les perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération indiquent pour l'année 2050 un excédent d'électricité renouvelable d'environ 10 TWh en été⁹. Sur cette base, un tel scénario serait certes envisageable, mais irréaliste, car d'autres technologies devraient également profiter de l'excédent estival. Le Power-to-X pourrait par exemple utiliser la moitié du surplus estival prévu. Cela signifie que nous parlons de 5 TWh d'électricité qui pourraient être stockés à l'aide du Power-to-X.

⁷ Calculé avec un pouvoir calorifique de 4,8 MWh/m³

⁸ Les réserves obligatoires actuelles d'huiles minérales (mazout, essence, diesel, kérosène) présentent un volume de 4,07 millions de m³, cf. [BWL, Bericht zur Vorratshaltung \(2023\): 24.](#)

⁹ [BFE \(2020\): Energieperspektiven 2050+, Szenario ZERO Basis: 22.](#)

5. La Suisse a-t-elle besoin de ses propres accumulateurs chimiques saisonniers ?

Les questions centrales d'importance stratégique sont,

- si les stockages chimiques saisonniers doivent être situés en Suisse ou si des accords avec nos pays voisins pour l'utilisation de leurs capacités de stockage suffisent (par exemple comme aujourd'hui pour les stockages de gaz fossile) ;
- si le Power-to-X doit avoir lieu en Suisse ou si seules les installations qui produisent à nouveau de l'électricité (et éventuellement de la chaleur) à partir de X doivent se trouver en Suisse.

La plus grande résilience et la plus grande indépendance sont atteintes si la production (Power-to-X) ainsi que le stockage et la transformation (X-to-Energy) ont lieu en Suisse. En raison du faible taux d'utilisation, cela devrait toutefois entraîner des coûts nettement plus élevés, surtout pour les installations de production Power-to-X nationales, que si l'agent énergétique X est produit dans des installations à l'étranger, qui sont mieux exploitées. La résilience et l'indépendance peuvent toutefois déjà être améliorées en remplissant des stocks en Suisse ou dans les pays voisins avant l'hiver, de manière à ne plus dépendre de livraisons à court terme en hiver.

Il est important que l'amélioration de la sécurité d'approvisionnement prenne également en compte les aspects écologiques et économiques. A court terme (horizon de quelques années), nous estimons qu'il serait judicieux de pouvoir recourir aux capacités de stockage de nos pays voisins par le biais d'un accord de solidarité gazière¹⁰. Dans une perspective à plus long terme, la faisabilité d'un stockage chimique saisonnier en Suisse devrait être examinée dès aujourd'hui, car sa réalisation éventuelle prendra beaucoup de temps.

6. Quel peut être le coût du stockage saisonnier national ?

Il est difficile d'estimer les coûts. D'une part, parce qu'il n'existe pas aujourd'hui de stockage saisonnier chimique en Suisse. D'autre part, parce qu'il s'agit plutôt d'une question de disposition à payer. Plus le risque de pénurie en hiver est estimé élevé, plus le prix accepté pour un stockage saisonnier national est élevé. Les autorités estiment à plusieurs milliards le préjudice financier d'une pénurie d'électricité en Suisse pendant plusieurs semaines¹¹. En comparaison, l'installation de stockage en caverne prévue par Gaznat en Valais ne pèse pas lourd. Les coûts de stockage calculés sont de 1,5 ct/kWhCH₄ pour des coûts d'investissement pour la caverne d'environ 400 millions de CHF et une capacité de stockage utilisable de 1'256 GWh¹². A cela s'ajoutent les coûts d'acquisition du méthane synthétique, qui sont difficiles à chiffrer. Un livre blanc rédigé dans le cadre du programme de promotion SCCER les estime à 17–25 centimes/kWhCH₄¹³. En conséquence, le prix calculé du méthane renouvelable issu du stockage devrait être inférieur à **27 ct./kWhCH₄**. La reconversion en électricité n'est qu'une des options. En effet, une utilisation directe du méthane synthétique peut s'avérer plus judicieuse, par exemple pour la mobilité, la couverture des charges de pointe dans les réseaux d'énergie ou pour la chaleur industrielle.

¹⁰ cf. [communiqué de presse du Conseil fédéral](#), 15.05.2024 sur le nouvel accord de solidarité gazière avec l'Allemagne et l'Italie

¹¹ BABS Gefährdungsdossier Strommangel, 2020: 12

¹² renseignements écrits Gaznat, 17.06.2024

¹³ [Whitepaper SCCER](#), 2019: 16

7. Quelles sont les exigences politiques qui en découlent ?

Les exigences suivantes sont formulées à l'intention des responsables politiques et administratifs afin d'exploiter le potentiel du Power-to-X en tant que partie de la solution :

1. Afin de parvenir à une solution à long terme pour combler la pénurie d'électricité en hiver, la Confédération devrait examiner, en collaboration avec le secteur de l'énergie, quelles conditions doivent être remplies pour réaliser un stockage chimique saisonnier en Suisse¹⁴. Cela implique également une évaluation technique et économique des quantités (en termes de volume et de nombre) qui devraient être fournies par les futures installations pour le Power-to-X, le stockage de X et le X-to-Energy.
2. Afin de pouvoir exploiter le potentiel de stockage de gaz renouvelable dans les pays voisins, la Confédération devrait s'efforcer de faire reconnaître les gaz renouvelables étrangers en Suisse. Il faut en outre s'assurer que la Suisse soit intégrée au réseau européen de l'hydrogène.
3. Les lois et règlements devraient être formulés de manière à laisser suffisamment de place au développement et/ou à l'application de nouvelles technologies et à ne pas les freiner par la réglementation :
 - a. Le méthanol est (encore) considéré comme un produit chimique et non comme une source d'énergie. Par conséquent, seuls de très petits réservoirs sont autorisés par rapport aux réserves obligatoires d'essence, de diesel et de kérosène, bien que les risques soient comparables¹⁵.
 - b. Le CO₂ produit lors de la valorisation énergétique est (encore) considéré comme un déchet, mais pourrait également être traité comme matière première pour d'autres processus chimiques.
 - c. La discussion sur le Power-to-X est souvent réduite au Power-to-Gas et au Power-to-Liquid. Cela ne va pas assez loin. Le Power-to-Solid devrait également être pris en compte.
4. La nouvelle loi sur l'approvisionnement en électricité prévoit une réduction partielle de la rétribution de l'utilisation du réseau pour les installations Power-to-X à partir de 2025¹⁶. Cela n'est toutefois pas suffisant pour une exploitation rentable. La technologie Power-to-X nous permet de stocker de l'énergie de manière saisonnière et de réduire notre dépendance vis-à-vis de l'étranger en hiver. La stratégie d'importation actuelle représente un risque majeur pour la Suisse, en particulier en période de difficultés géopolitiques.¹⁷ Il est donc du devoir de l'État de créer les conditions-cadres et les moyens financiers nécessaires à la montée en puissance.¹⁸
5. Conformément à l'article 7 de la loi sur le climat et l'innovation, la Confédération garantit les investissements dans les infrastructures publiques nécessaires à la réalisation de l'objectif zéro émission. Le projet d'ordonnance y afférent concrétise le fait que cet instrument doit être utilisé pour les réseaux thermiques et le stockage thermique à long terme. Une possibilité de couverture analogue est nécessaire pour les grands projets d'infrastructure (ex. stockage en caverne de Gaznat), qui sont nécessaires dans le cadre du Power-to-X.
6. Il serait utile pour le système énergétique global de disposer de tarifs de réseau et d'électricité dynamiques qui tiennent compte de la contribution à la sécurité d'approvisionnement et à la protection du climat et de l'utilité pour système de chaque installation.¹⁹

¹⁴ voir aussi le postulat 23.3023 de la CEATE-N transmis au CF

¹⁵ cf. Motion Faciliter le stockage et la manipulation de vecteurs énergétiques renouvelables

¹⁶ cf. LApEI, art. 14a, al. 4

¹⁷ cf. communiqué de presse de l'OFEV sur l'analyse des risques « Protection de la population : pénurie d'électricité, pandémie et panne de réseau mobile sont les principaux risques », 26.11.2020

¹⁸ voir aussi la motion 21.4606 de R. Cattaneo transmise au CF et le postulat 23.3023 de la CEATE-N

¹⁹ voir à ce sujet le plan de route [Stockage d'énergie 3.0 du Forum suisse du stockage d'énergie](#)

Auteurs et autrices

Astrid Benz

Forum Stockage d'Energie Suisse | Responsable du GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
Energie 360° | Expert en politique énergétique et environnementale
astrid.benz@energie360.ch

Stefan Brändle

Forum Stockage d'Energie Suisse | Membre de l'équipe principale et du GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
SOLTOP Energie AG | Responsable Business Line PV & WP Suisse alémanique / Membre de la direction
s.braendle@soltop-energie.ch

Dr. Gianfranco Guidati

Forum Stockage d'Energie Suisse | GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
aeesuisse | Membre du conseil scientifique
ETH Zürich | Energy Science Center
gianfranco.guidati@esc.ethz.ch

Anne Wolf

Forum Stockage d'Energie Suisse | GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
Swisspower AG | Responsable des affaires publiques et de la communication
anne.wolf@swisspower.ch

Dr. Cristina Antonini

Forum Stockage d'Energie Suisse | GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
L'Association Suisse de l'Industrie Gazière (ASIG)
| Spécialiste des gaz renouvelables
cristina.antonini@gazenergie.ch

Prof. Dr. Markus Friedl

Forum Stockage d'Energie Suisse | GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
OST – Ostschweizer Fachhochschule | Institutsleiter
IET Institut für Energietechnik
markus.friedl@ost.ch

Dr. Michel Haller

Forum Stockage d'Energie Suisse | GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
OST – Ostschweizer Fachhochschule | SPF Institut für Solartechnik, Leiter SPF Research
michel.haller@ost.ch

Dr. Oliver Wimmer

Forum Stockage d'Energie Suisse | GT « Power-to-X/stockage saisonnier chimique »
oliver.wimmer@aeesuisse.ch

A propos du Forum Stockage d'énergie Suisse

Le Forum Stockage d'énergie Suisse est un groupe spécialisé d'aeesuisse. Le Forum et ses partenaires de l'économie et de la science soutiennent la mise en œuvre des objectifs de politique climatique de la Suisse et de la Stratégie énergétique 2050, et donc un système énergétique global rentable, neutre en CO₂ et renouvelable. Le forum fait office de think tank et de plateforme de dialogue pour l'économie, la science et la politique. Il a pour mission de mettre à disposition des connaissances approfondies sur la diversité des options de stockage et des possibilités d'utilisation, sur l'utilisation des accumulateurs d'énergie en fonction du système et du climat ainsi que sur les conditions-cadres et les modèles commerciaux qui permettent une telle utilisation des accumulateurs. Le Forum Stockage d'énergie Suisse ne considère pas le stockage comme une fin en soi. Il est organisé de manière intersectorielle – chaleur, électricité, mobilité – et technologiquement neutre, et échange ouvertement avec d'autres organisations.

stockage.aeesuisse.ch