

Document thématique 37: Importance des dispositifs de stockage dans la SE 2050

25 juillet 2019

Position de la branche

Avec la Stratégie énergétique 2050 (SE 2050), la Suisse développe les énergies renouvelables, et la sortie progressive du nucléaire a été décidée. Mais le photovoltaïque et l'éolien, en tant que parties de la mise en œuvre, entraînent aussi de l'injection décentralisée et des fluctuations dans la production. Les dispositifs de stockage prennent de l'importance à court comme à long terme pour la compensation nécessaire de ces fluctuations entre les différents niveaux de réseau et au fil du temps.

À court terme, il s'agit de maintenir la stabilité du réseau et de lisser les pointes de charge sur plusieurs heures, voire plusieurs jours. Au cours de l'année, en revanche, les dispositifs de stockage répondent à la demande en hiver grâce à la production réalisée à d'autres saisons. Le déficit de courant augmente en Suisse en raison de l'électrification croissante, et pendant le semestre hivernal également en raison du chauffage au moyen de pompes à chaleur et à cause du changement dans le mix de production vers le photovoltaïque en été. Il est actuellement très urgent de développer le stockage saisonnier afin de pouvoir garantir la sécurité d'approvisionnement et de réduire la dépendance de la Suisse aux importations.

Aujourd'hui, ce sont surtout les centrales hydrauliques à accumulation saisonnières qui sont adaptées, lesquelles dominent actuellement le marché en Suisse et disposent de la plus grande capacité. Le potentiel de développement de l'hydraulique est toutefois largement exploité. Seules quelques possibilités limitées demeurent pour augmenter les capacités, par exemple à travers le rehaussement des barrages. Le power-to-X (PtX, «X» symbolisant les agents énergétiques chimiques) se présente comme une alternative et dispose, en plus des réservoirs d'eau, du potentiel le plus important pour le stockage saisonnier. Toutefois, des obstacles réglementaires et économiques s'opposent à cette méthode, et des progrès techniques sont nécessaires. Dans ce domaine, l'UE s'engage particulièrement en faveur du développement du power-to-hydrogen avec son initiative relative à l'hydrogène. Les batteries deviennent rentables en tant que variante de stockage supplémentaire, au moins pour le stockage à court terme. Depuis peu, on constate également de grands progrès au niveau de la densité de la puissance ainsi que de l'énergie, entraînés entre autres par les exigences de l'électromobilité, et on s'attend à d'autres améliorations.

Les signaux de prix du réseau et de l'énergie jouent un rôle important en ce qui concerne la rentabilité des installations de stockage. Des tarifs dynamiques et basés sur la puissance pour l'utilisation du réseau et l'énergie peuvent poser des incitations en faveur d'un comportement des installations de stockage qui soient en faveur du réseau et/ou du système.

Message

- Les dispositifs de stockage peuvent largement contribuer à la mise en œuvre de la SE 2050, les dispositifs à court terme couvrant surtout la stabilisation du réseau et ceux à long terme, le report de la production vers l'hiver.
- Les dispositifs de stockage soutiennent la SE 2050 en lissant les pics de puissance de la demande et des énergies renouvelables. Cela contribue à réduire, voire à éviter le développement coûteux du réseau. Les tarifs dynamiques pour l'énergie, la redevance pour l'utilisation du réseau en fonction de la puissance, ainsi que le mécanisme de prix pour les prestations de services-système (SDL) peuvent en outre agir sur un comportement des dispositifs de stockage qui soit utile au réseau, ou au moins en faveur de celui-ci.
- Indépendamment des objectifs de la SE 2050, le principe d'égalité de traitement doit aussi valoir pour les dispositifs de stockage. Les dispositifs de stockage purs doivent être exonérés des rémunérations pour l'utilisation du réseau, par analogie aux installations de pompage-turbinage.
- Les dispositifs de stockage ont un sens lorsqu'ils soutiennent l'exploitation efficace du réseau, contribuent à la stabilité du réseau ou aident à mettre en œuvre la SE 2050. La réglementation éventuellement nécessaire ne doit donc pas viser la rentabilité et, ainsi, le développement des dispositifs de stockage, mais l'optimisation du système dans son ensemble.
- Les particularités des différentes solutions de stockage font qu'il est important de faire la distinction entre le stockage saisonnier et le stockage horaire/journalier dans le cadre de la discussion relative à l'importance des dispositifs de stockage pour la SE 2050.
- Le stockage horaire et journalier sert en particulier à compenser les variations de production électrique des sources renouvelables décentralisées (conséquence de la SE 2050) et à mettre à disposition de l'énergie de réglage.
- En tant que dispositifs de stockage à court terme, les batteries sont d'ores et déjà très proches de la rentabilité.
- Le stockage saisonnier contribue à un approvisionnement en électricité sûr et stable, sans accroître encore la dépendance de la Suisse aux importations, notamment hivernales.
- Le report saisonnier d'électricité en grandes quantités (d'été en hiver) est conditionné par l'existence de dispositifs de stockage (de gaz) correspondants et d'une production suffisante en été.
- Aujourd'hui, c'est avec les centrales hydroélectriques que le stockage saisonnier d'électricité est le plus rentable en Suisse. En outre, celles-ci disposent ici de la capacité de stockage la plus importante également dans un avenir proche. Le potentiel utilisable est toutefois confronté à ses limites: la réglementation (par exemple sur la protection des eaux ou la redevance hydraulique) peut aller encore plus loin et, ainsi, permettre une exploitation totale du potentiel.
- À l'avenir, les installations PtX pourraient aussi contribuer au report saisonnier, mais leur degré d'efficacité pour la reversion en électricité est actuellement considéré comme critique tant que l'on n'utilise pas le rejet de chaleur engendré.
- Pour le moment, les batteries ne sont pas envisagées en tant que dispositif de stockage saisonnier à cause des coûts d'investissements élevés, des faibles densités énergétiques, du trop petit nombre de leurs cycles de chargement et des problèmes liés à leur fabrication. Toutefois, la dynamique dans leur développement et les attentes à cet égard sont très élevées.
- La rentabilité de tous les dispositifs de stockage dépend beaucoup des conditions-cadre réglementaires. Le montant et la structure des coûts du réseau et de l'énergie, ainsi que les recettes issues des services-système, s'avèrent déterminants.

Opportunités et risques

Opportunités

- Le progrès technologique permet l'émergence de nouvelles méthodes et l'optimisation des caractéristiques (puissance, durée de stockage, degré d'efficacité, écocompatibilité de la production, recyclage, etc.), et réduit les coûts.
- Le développement des batteries et d'autres méthodes de stockage se voit allouer des investissements élevés en ce moment.
- Cela offre des possibilités pour mettre en place de nouveaux modèles commerciaux et de création de valeur en Suisse.
- Une régulation prévoyante en amont peut favoriser l'optimisation de l'ensemble du système au lieu d'encourager uniquement la rentabilité des dispositifs de stockage.

Risques

- Des dérogations au niveau des coûts du réseau peuvent mener à un renforcement de la désolidarisation, sans pour autant contribuer aux objectifs de la SE 2050.
- Le potentiel encore exploitable de l'hydraulique pour le stockage d'énergie pourrait ne pas suffire.
- La disponibilité des matières premières et l'impact environnemental de leur extraction pourraient freiner la propagation des accumulateurs.
- Le progrès technique pourrait dépasser dès demain les investissements et les méthodes actuels.
- Les optimisations du point de vue du propriétaire, du réseau et du système se trouvent dans un conflit d'objectifs.
- Actuellement, ce sont principalement des dispositifs de stockage journalier et horaire qui sont construits, alors que la SE 2050 nécessite surtout des dispositifs saisonniers.

Déduction/justification

1. Lien avec la SE 2050

Outre les économies en termes de consommation, la SE 2050 prévoit la sortie du nucléaire à moyen terme et son remplacement par des énergies renouvelables. Cela augmente l'importance des dispositifs de stockage à plusieurs titres: premièrement, l'exploitation stable du réseau nécessite une plus grande puissance de réglage à cause de la production fluctuante. Deuxièmement, les «déficits hivernaux» augmentent en raison de la suppression de l'énergie nucléaire et de son remplacement par le photovoltaïque. Les dispositifs de stockage représentent également un élément essentiel du succès de la SE 2050, et de la sécurité et de la stabilité de l'approvisionnement en électricité même en hiver, sans accroissement supplémentaire de la dépendance aux importations hivernales.

2. Aperçu des différentes méthodes de stockage de l'électricité

2.1 Vue d'ensemble

Les dispositifs de stockage de l'énergie sont des «installations qui absorbent de l'énergie dans le but de la stocker sous forme électrique, chimique, électrochimique, mécanique ou thermique, et de la remettre à

disposition pour une utilisation ultérieure».¹ Ils se subdivisent entre les dispositifs sectoriels (tels que les batteries ou les centrales de pompage-turbinage) et les dispositifs avec couplage de secteurs (tels que le PtX), et se trouvent dans les secteurs de la chimie, du gaz, de l'électricité, des transports et de la chaleur. Les dispositifs sectoriels injectent l'énergie et la restituent dans le même secteur. Les dispositifs avec couplage de secteurs agissent dans deux secteurs ou davantage, et relient ceux-ci énergétiquement et financièrement.

Les dispositifs de stockage peuvent être classés selon leur principe de fonctionnement et leur domaine d'application. L'approche la plus courante est la répartition physico-énergétique. Comme éléments de comparaison, on utilise la capacité, la densité énergétique, la durée d'absorption et de restitution et les degrés d'efficacité. La Figure 1 indique la durée de restitution et la capacité de stockage de différentes méthodes les unes par rapport aux autres. Les centrales hydroélectriques à accumulation, qui présentent une durée élevée de restitution ainsi qu'une forte capacité de stockage, ne sont pas comprises.

Les dispositifs se distinguent également par la durée de stockage: à court terme (un jour à plusieurs semaines) et à long terme (jusqu'à plusieurs années). En pratique, ils se présentent avec une accentuation centralisée ou décentralisée. Les dispositifs décentralisés sont généralement dimensionnés jusqu'à 10 MW (micro-stockage) aux niveaux de réseau 4/5, contre 1000 MW au maximum pour les dispositifs centralisés aux niveaux de réseau 2/3. La plupart du temps, on attribue la plupart du temps les mêmes applications aux dispositifs de stockage.

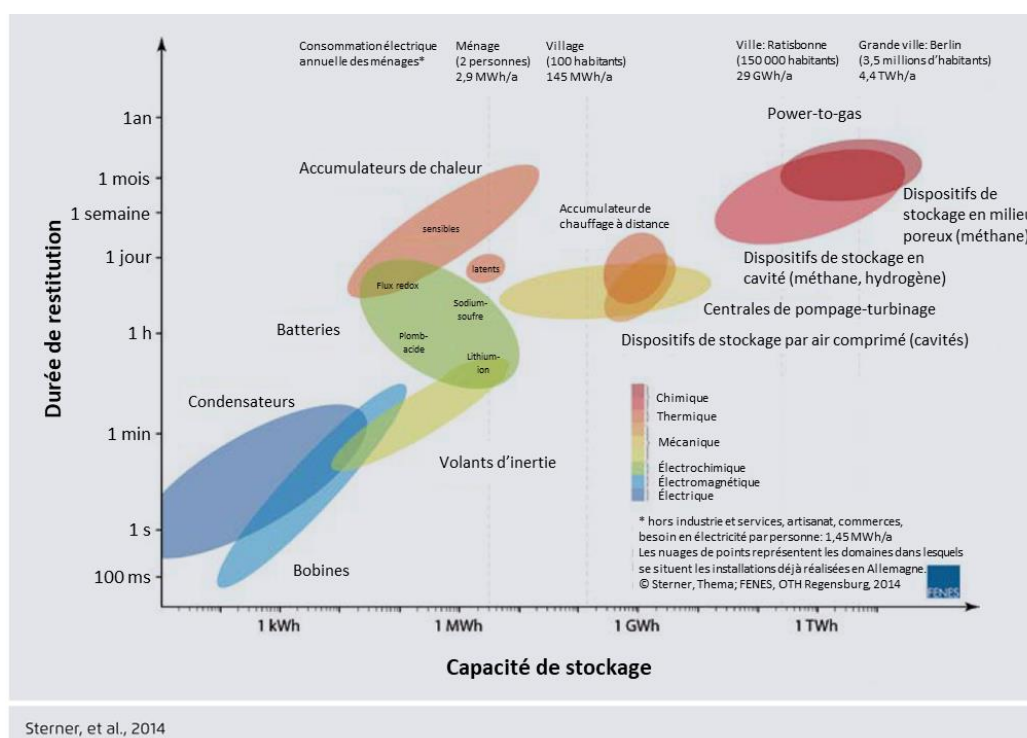


Figure 1: Durées de restitution vs capacités de stockage de dispositifs existants en Allemagne (source: Agora Energiewende (2014), Stromspeicher in der Energiewende), graphique traduit

¹ BDEW (2014). Définition du concept «Dispositif de stockage d'énergie» – Définition du terme et proposition pour une exonération des taxes de consommation finale.

Du point de vue du système électrique global, il existe quatre domaines d'application importants des dispositifs de stockage:²

- Arbitrage: la mise à disposition de l'énergie est différée pour utiliser les différences de prix de l'électricité sur le marché de gros. En cas d'exploitation rentable des dispositifs de stockage, cela fait baisser les coûts du système, car du courant bon marché provenant des phases de faible charge passées remplace le courant cher dans les phases de forte charge.
- Mise à disposition de la puissance garantie: les dispositifs de stockage peuvent contribuer à couvrir les pics de charge et ainsi remplacer au moins en partie d'autres capacités de production mises en œuvre en période de pics.
- Mise à disposition d'une puissance de réglage et d'autres services-système (comme la stabilisation de la tension ou l'aptitude au démarrage autonome).
- Gestion des congestions du réseau: en principe, les dispositifs de stockage peuvent contribuer à réduire l'extension nécessaire des réseaux de transport ou de distribution.

2.2 Aperçu des méthodes de stockage d'électricité

Dispositifs mécaniques

Les dispositifs de stockage mécaniques (à air comprimé, de pompage-turbinage et hydrauliques) disposent d'une capacité élevée (plusieurs GWh) et sont utilisés pour compenser la production et fournir des services-système. Les centrales hydroélectriques à accumulation (de pompage-turbinage) constituent actuellement, en Suisse comme dans le reste du monde, la méthode de stockage d'électricité dominante dans le cadre de l'approvisionnement public, et représentent environ 98% de la puissance installée dans le monde dans un but de stockage. En Suisse, la puissance installée dans les centrales hydroélectriques pour le stockage atteint 11 281 MW, dont 8046 MW sont imputables aux centrales hydrauliques à accumulation et 3235 MW aux centrales de pompage-turbinage (en partie pures).³ Ensemble, elles disposent d'un volume maximal de stockage de 8835 GWh.⁴ La Suisse ne compte encore aucun dispositif de stockage par air comprimé⁵; il n'en existe que deux au monde, un en Allemagne et un aux États-Unis. Jusqu'ici, une installation-pilote a été mise sur pied en Suisse, dans le tunnel du Saint-Gothard⁶: elle démontre l'accumulation thermique dans un dispositif de stockage par compression adiabatique d'air.

Dispositifs électrochimiques (batteries)

Les dispositifs électrochimiques présentent une capacité variable selon le domaine d'application et sont utilisés notamment comme dispositif domestique ou comme accumulateur afin de fournir des services-système. Ils présentent de faibles temps de réaction et sont par conséquent adaptés également pour le court terme. D'intenses activités de recherche sont menées dans le domaine du stockage électrochimique. On peut s'attendre à des progrès importants en termes de coûts et d'efficacité, ainsi que de composition chimique. Les prix sont en baisse aussi grâce à l'augmentation des capacités de production et à la généralisation des véhicules électriques, liée aux progrès de l'électromobilité.⁷ Cependant, l'extraction des matières premières telles que le cobalt et le lithium attire une attention croissante car elle s'accompagne de

² Rapport hebdomadaire du DIW (2015). Stromspeicher: eine wichtige Option für die Energiewende, Rolf-Peter Schill, Jochen Diekmann, Alexander Zerrahn, 10 / 2015, p. 195-205

³ OFEN (2019). Force hydraulique en Suisse: statistique 2018 (installations en exploitation normale, hors centrales au fil de l'eau).

⁴ OFEN: Taux de remplissage des bassins d'accumulation, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/statistiques-et-geodonnees/statistiques-de-lenergie/statistique-de-l-elecricite.html>

⁵ On distingue les dispositifs de stockage à air comprimé diabatiques et adiabatiques, les seconds stockant la chaleur de processus en résultant.

⁶ EE News (2017). Adiabatischer Druckluftspeicher: Der Gotthard hält dicht. 11.01.2017

⁷ WEC (Conseil mondial de l'énergie) (2017). World Energy Issues Monitor 2017; Bloomberg (2017). Move over Tesla, Europe's building its own battery Gigafactory, 22.05.2017; Elektronikpraxis (2017). Konsortium treibt Gross-Serienfertigung von Li-Ionen-Zellen in Deutschland, 02.08.2017.

nuisances environnementales considérables et s'effectue en partie dans des conditions de travail discutables.

En Suisse, il existe à ce jour trois accumulateurs de grande capacité: deux chez EKZ (1 et 18 MW) et un à la centrale électrique de Maienfeld (1,2 MW). Il existe quelques fournisseurs dans le domaine des systèmes de batterie destinés aux maisons individuelles et aux immeubles. Environ 1600 systèmes de stockage sont aujourd'hui installés, totalisant une capacité de 15 640 kWh.⁸

Énergie électrostatique et électromagnétique

L'énergie électrostatique et électromagnétique peut être stockée dans des champs électrostatiques et électromagnétiques. On distingue les condensateurs, les supercondensateurs (ou condensateurs à double couche électrochimique) et les accumulateurs magnétiques supraconducteurs. Les condensateurs classiques ont une longue durée de vie mais ne peuvent stocker qu'une petite quantité d'énergie. Les supercondensateurs combinent le principe du condensateur et la fonction de stockage électrochimique des batteries. Ils trouveraient notamment leur application dans le stockage à très court terme à des fins de stabilisation du maintien de la fréquence, pour lequel les accumulateurs magnétiques supraconducteurs pourraient aussi entrer en ligne de compte⁹. L'inconvénient de cette méthode de stockage réside dans sa faible densité énergétique. Il n'existe à ce jour aucun projet dans ce domaine en Suisse.

Dispositifs chimiques: power-to-X (PtX)

Les dispositifs chimiques disposent d'une capacité potentiellement élevée. Dans le cas du power-to-gas, ils peuvent, dans une certaine mesure, utiliser le réseau de gaz comme réservoir. On peut ainsi conserver le gaz produit pendant une longue durée, jusqu'à sa reconversion en courant. La Suisse ne dispose que de peu de capacité en réservoirs de gaz propres. Les accumulateurs et les capacités disponibles sur le réseau de gaz permettent un stockage de 64 GWh sous forme de méthane. En outre, le pays est partenaire d'un réservoir de gaz en France pouvant stocker 1556 GWh sous forme de gaz. Le tout revient donc à une capacité totale de 1,6 TWh de gaz naturel seulement pouvant être stockée par la Suisse. Pour l'instant, seule une installation power-to-gas alimente le réseau de gaz naturel en Suisse. L'obstacle essentiel réside notamment dans le manque de rentabilité, dû aux degrés d'efficacité très faibles à ce jour. Le carburant gazeux ou liquide obtenu (principalement de l'hydrogène ou du méthane) peut aussi être utilisé dans un autre secteur, comme le transport ou la chaleur.

Au sein de l'UE, l'utilisation durable de l'hydrogène suscite une attention croissante, d'une part à des fins de décarbonation dans plusieurs secteurs, d'autre part pour la sécurisation à long terme des systèmes énergétiques. L'initiative relative à l'hydrogène a été lancée lors de la séance informelle du Conseil des ministres de l'Énergie de l'UE de septembre 2018. Compte tenu des objectifs économiques et écologiques, elle teste en particulier la capacité de stocker les énergies renouvelables à court et à long terme au moyen de l'agent énergétique hydrogène. Le stockage de l'hydrogène doit utiliser les infrastructures existantes. Étant donné que l'hydrogène ne peut être additionné au gaz naturel que jusqu'à une certaine part sans générer de dommages à l'infrastructure, la capacité de stockage disponible est limitée.

Le secteur de l'électromobilité est un autre exemple de PtX. Le Conseil de l'hydrogène (Hydrogen Council), en tant que lobby mondial de constructeurs automobiles et d'autres grandes entreprises, s'est donné pour but de promouvoir, pour les véhicules électriques, l'entraînement direct au moyen de l'hydrogène et des piles à combustible. Le courant électrique nécessaire à l'électrolyse de l'hydrogène doit alors provenir de sources énergétiques renouvelables.

⁸ OFEN (2018). Markterhebung Sonnenenergie 2017. Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien.

⁹ OFEN (2013). Energiespeicher in der Schweiz -Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050

Dispositifs thermiques

On utilise les dispositifs de stockage thermiques surtout utilisés pour la mise à disposition de chaleur ambiante et d'eau chaude. Ils servent aussi de plus en plus de stockage intermédiaire dans les centrales solaires thermiques ou les installations de couplage chaleur-force (CCF).¹⁰ Ils améliorent l'intégration des capteurs solaires thermiques. Dans les installations de CCF, ils augmentent la flexibilité en permettant de découpler périodiquement la production d'électricité et de chaleur, au moins en partie. De plus, il existe des projets de stockage saisonnier de chaleur. On distingue les accumulateurs de chaleur sensibles, latents et thermochimiques. Les premiers modifient leur température lors de la charge et de la décharge. Ce sont les accumulateurs de chaleur les plus courants, surtout en tant que chauffe-eau à accumulation (uniquement en dessous de 100 °C).¹¹ Pour les accumulateurs latents, on utilise le changement d'état de l'agent de stockage sous l'influence de l'énergie thermique. Ce genre d'accumulateurs présentent une densité de stockage plus élevée.¹² Les accumulateurs thermochimiques captent quant à eux la chaleur avec une réaction endothermique et la restituent avec une réaction exothermique. Leurs avantages résident dans une plus grande capacité spécifique et une large plage de température de mise en œuvre, ce qui réduit les pertes thermiques.¹³

2.3 Spécifications techniques et économiques

Le Tableau 1 présente les méthodes de stockage les plus importantes pour la Suisse, avec leurs spécifications techniques et économiques.

Tableau 1: Vue d'ensemble des spécifications techniques des principales méthodes de stockage¹⁴

		Dispositifs mécaniques		Dispositifs électrochimiques				Dispositifs chimiques	
		Centrales à accumulation	Dispositifs de stockage par air comprimé ¹⁵	Batteries lithium-ion ¹⁶	Potentiel moindre que le lithium-ion			Power-to-X (y c. reconversion en électricité)	
Batteries au plomb	Batteries à flux				Accumulateur sodium-soufre	Hydrogène	Méthane		
Rendement (%)	2016	82	50-70	90-95	75-85	70-75	60-80	25-35	20-33
	2030	82	70	90-95	85	78	80	25-35	20-33
\$/MWh ¹⁷	2016	152-198	116-140	260-1274	425-1200	180-413	300-800		
ct./kWh ¹⁸								11-50	15-70
Coûts (prévision)		→	↘	↙	↙	↙	↙		
Durée	de à	minutes semaines	minutes jours	secondes jours	secondes jours	secondes jours	secondes jours	jours mois	jours mois
Puissance	MW	10-1000	10-1000	<100	<100	<100	<100	100-1000	100-1000
Degré de maturité		Marché	Test	Marché	Marché	Test	Recherche	Test	Marché

¹⁰ OFEN (2013). Energiespeicher in der Schweiz -Bedarf, Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen im Kontext der Energiestrategie 2050

¹¹ https://energie.fraunhofer.de/de/bildmaterial/news-pdf/130909_fraunhofer-umsicht-speicher-fuer-die-energiawende

¹² Christidis et. al. (2017). EnEff-Wärme: Einsatz von Wärmespeichern und Power-to-Heat-Anlagen in der Fernwärmeerzeugung. Technische Universität Berlin.

¹³ https://energie.fraunhofer.de/de/bildmaterial/news-pdf/130909_fraunhofer-umsicht-speicher-fuer-die-energiawende

¹⁴ Sources: Lazard LCOS, 2017, Levelized Cost of Storage Version 3.0; Eicher+Pauli, 2016

¹⁵ À ce jour peu d'exemples pratiques: nécessite un local approprié, et l'efficacité s'améliore avec l'utilisation d'un accumulateur de chaleur.

¹⁶ Beaucoup de compositions chimiques différentes avec partiellement divers avantages et inconvénients (entre autres concernant la disponibilité des matières premières); différents facteurs favorisent la baisse des coûts: capacités de production plus élevées, recherche, nouveaux matériaux et nouvelles applications, ainsi que davantage d'expérience pratique.

¹⁷ En tant que LCOS – coûts totaux sur la durée de vie du dispositif de stockage (investissement, coûts de capitaux, exploitation et maintenance, coûts d'électricité liés aux pertes d'efficacité), divisés par la somme totale de l'énergie délivrée (restituée) sur la durée de vie.

¹⁸ Coûts de revient en fonction des heures de pleine charge (1500 ou 5500)

3. Besoins selon différents points de vue

L'approvisionnement en électricité se caractérise notamment par la nécessité d'équilibrer en permanence la production et la consommation. Pour compenser la différence temporelle et spatiale entre production et consommation, on dispose de différentes possibilités:

- des marchés de l'énergie performants;
- le pilotage de la production domestique (installations de production flexibles ou régulation);
- le pilotage de la consommation (DSM, *demand side management*);
- l'importation à partir des pays limitrophes et l'exportation vers ces derniers;
- l'extension des réseaux de transport et de distribution, et
- des dispositifs de stockage de différents types.

Ci-après, nous nous limitons à la prise en compte des dispositifs de stockage, qui permettent une consommation différée dans le temps par rapport au moment de la production.

3.1 Besoins du point de vue de l'approvisionnement énergétique

La SE 2050 pose les jalons d'une refonte de l'approvisionnement en électricité, avec une augmentation supplémentaire des énergies renouvelables. Elle vise une production annuelle moyenne d'électricité hydraulique de 37,4 TWh d'ici 2035, et de 11,4 TWh pour les autres énergies renouvelables. Cet objectif, associé à la décision de sortir du nucléaire, entraîneront une production d'électricité helvétique plus élevée en été et globalement moins pilotable.

Cette production dépend des conditions atmosphériques, varie au cours de la journée et de l'année et est aléatoire. Une grande part de la production photovoltaïque et des centrales au fil de l'eau est générée pendant le semestre estival, tandis qu'en hiver, ce sont surtout les centrales nucléaires et hydrauliques qui fonctionnent. Avec la mise à l'arrêt des centrales nucléaires à moyen terme, une partie substantielle de la production hivernale fera défaut. Le développement du photovoltaïque ne contribue que sous certaines conditions à la production hivernale, comme le montre la Figure 2 pour l'année 2050, et sa production n'est en outre pas librement pilotable. Toutefois, le surplus de production estivale va nettement augmenter.

D'un autre côté, les besoins en électricité vont croître notamment à cause de l'électrification des secteurs de la chaleur et des transports consécutive à la décarbonation, processus qui ne peut être compensé que sous certaines conditions, au moyen de mesures d'efficacité énergétique. Par conséquent, on estime aujourd'hui les besoins en électricité à environ 70 TWh d'ici 2035, ce qui dépasse largement les prévisions de la SE 2050.¹⁹ Sur la base de ces chiffres plutôt réalistes, le déficit du semestre hivernal 2030 sera d'environ 10 TWh.²⁰

¹⁹ Ramachandran, K., Panos, E., & et al. (2016). System modelling for assessing the potential of decentralised biomass-CHP plants to stabilise the Swiss electricity network with increased fluctuating renewable generation ETH/PSI. Berne; AES (2018). Univers énergétiques

²⁰ Hypothèse: besoins en électricité de 70 TWh, dont 55% pendant le semestre hivernal; parc de production selon la SE 2050, 30% des autres énergies renouvelables pendant le semestre hivernal.

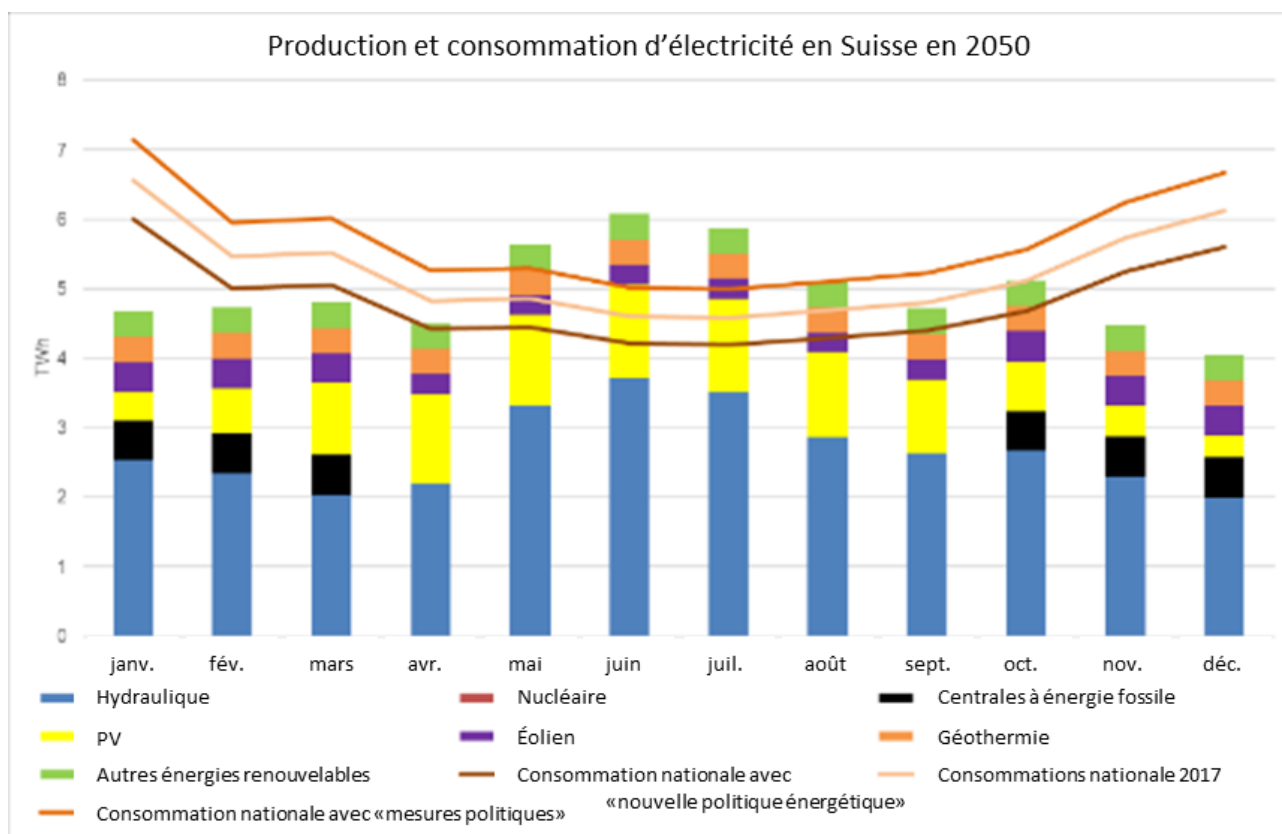


Figure 2: Production et consommation d'électricité en Suisse en 2050 (schéma de l'auteur d'après Prognos (2012): Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050; OFEN (2018): Statistiques de l'électricité 2017).

En association avec des incitations financières, les dispositifs de stockage peuvent aussi aider à relever les défis posés par les modifications du schéma de la demande, en améliorant la flexibilité du système, de la production et de la consommation finale. En effet, la demande évoluera à l'avenir en raison du développement de la consommation propre, de l'électromobilité, des pompes à chaleur, etc.

3.2 Besoins du point de vue du réseau

L'augmentation des producteurs d'énergie renouvelable injectant cette dernière de manière décentralisée sollicite les réseaux de distribution, notamment, de façon différente. L'intégration des sources d'énergie renouvelable fluctuantes dans le système électrique accroît le besoin de composants-système flexibles. Les dispositifs de stockage peuvent aussi contribuer à délester temporairement les réseaux de distribution et ainsi, potentiellement, à réduire le besoin d'extension, par exemple par l'écêtement des pointes (*peak shaving*). Ceux situés à proximité du consommateur ou des producteurs pourraient ainsi atténuer les pics de charge sur le réseau. Les dispositifs de stockage peuvent aussi aider à stabiliser le réseau local lorsqu'ils peuvent être pilotés par le gestionnaire de réseau, c'est-à-dire être exploités de manière utile au réseau. Un recours purement orienté marché à ces dispositifs de stockage décentralisés peut compromettre la sécurité de l'exploitation du réseau ou rendre nécessaire le renforcement supplémentaire de ce dernier, qui ne serait pas optimal du point de vue économique.²¹ Sans tarification ni conditions-cadre appropriées, le réseau de distribution ne peut pas nécessairement être soulagé dans un avenir proche, car il faut fournir de l'électricité

²¹ OFEN, DNV GL (2017). Dezentrale Speicher für Netzbetreiber - Alternative Netzkapazitäten

au consommateur final même lorsque ses dispositifs de stockage sont vides. Enfin, il existe encore d'autres options de flexibilité disponibles (p. ex. le *demand side management*), qui sont en concurrence avec les dispositifs de stockage.

3.3 Besoins du point de vue des services-système

Le développement des énergies renouvelables, notamment des installations photovoltaïques, dans le cadre de la SE 2050, modifie les exigences envers le système d'approvisionnement en électricité. Du fait de l'évolution des situations relatives aux flux de charge, le besoin et les possibilités de mise à disposition de services-système changent et posent de nouvelles exigences vis-à-vis des réseaux d'électricité. Les erreurs de prévision concernant la production, notamment, ont sur le besoin en puissance de réglage un effet croissant en fonction de la puissance installée des énergies renouvelables.²²

Les dispositifs de stockage sont particulièrement essentiels en tant que fournisseurs de services-système pour le gestionnaire du réseau de transport. Aujourd'hui déjà, une partie de l'énergie de réglage en Suisse est mise à disposition par les centrales à accumulation (de pompage-turbinage). À l'avenir, ces dernières continueront à jouer un rôle important, notamment du fait de leur capacité.

Les grands systèmes de stockage d'énergie par batteries, tels que le système d'accumulation de 18 MW d'EKZ, gagnent du terrain en matière de réglage primaire et secondaire, pour éviter les congestions du réseau et pour compenser l'énergie réactive. Ils pourraient offrir un «réglage primaire rapide», qui est rendu nécessaire par la suppression des masses en rotation (en Europe, le secteur de la fabrication décroît au profit de celui de la production avec onduleurs). Grâce à leur faible temps de réaction, les batteries sont particulièrement appropriées pour l'énergie de réglage primaire. Aux États-Unis, le mécanisme de marché est déjà si largement adapté que les installations rapides bénéficient des incitations de marché correspondantes. Pour l'instant, elles disposent cependant d'une capacité de stockage encore très faible.

3.4 Résumé

La SE 2050 apporte des changements dans la structure de la production d'électricité en Suisse. Avec le développement du photovoltaïque, la production fluctuante réalisée surtout en été augmente, tandis que l'énergie nucléaire, type de production pilotable et disponible en permanence également en hiver, disparaît. Les dispositifs de stockage représentent une composante du fonctionnement de tout système comportant une grande part d'énergies renouvelables. Les fluctuations de l'injection par les sources photovoltaïque et éolienne, entre autres, doivent être compensées dans le temps et dans l'espace, ce qui peut être effectué avec des dispositifs de stockage. Aujourd'hui, cette compensation a lieu surtout au moyen des centrales hydrauliques, sur des périodes allant de quelques heures à plusieurs mois. L'importance de ce processus entre les semestres estival et hivernal augmente. Un bon équilibre saisonnier contribue en outre aussi à réduire notre dépendance croissante aux importations.

²² Dena (2014). Services-système 2030 – résumé des principaux résultats de l'étude «Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien» par le groupe de projet.

4. Rentabilité des méthodes de stockage

4.1 Comparaison des méthodes de stockage

Les diverses méthodes de stockage possèdent différentes propriétés économiques. Pour les batteries, ce sont surtout les coûts de capitaux pour les investissements de départ substantiels qui sont importants. Les coûts d'exploitation comprennent les coûts de réseau²³ ainsi que les coûts dus aux pertes, qui sont faibles grâce au degré d'efficacité élevé. Par conséquent, le recours aux batteries est davantage pertinent lorsque ces dernières sont destinées à accomplir un très grand nombre de cycles. De plus, leur installation domestique décentralisée avec une charge via une installation photovoltaïque locale permet aujourd'hui d'économiser la rémunération pour l'utilisation du réseau lorsqu'elles stockent des excédents de façon intermédiaire et ne doivent donc plus soutirer de l'électricité du réseau. Mais cela ne réduit pas les coûts de réseau en général et représente une simple reventilation. C'est pourquoi, avec le modèle actuel des coûts de réseau (consommation propre, pooling, regroupements dans le cadre de la consommation propre), le recours décentralisé aux batteries de taille optimale est possible au seuil de rentabilité pour l'exploitant.²⁴

La rentabilité des différentes méthodes de stockage dépend surtout, en plus du tarif pour l'utilisation du réseau, de l'écart (*spread*) entre les prix de l'énergie au moment de la charge et au moment de la décharge. Par exemple, en raison des hauts et bas tarifs, le dispositif domestique dans l'approvisionnement de base ne peut tirer qu'un bénéfice limité des différences de prix de l'électricité pour la charge, car l'écart est aujourd'hui trop faible par rapport aux coûts du dispositif de stockage. Les batteries sont trop chères pour une mise en œuvre à l'année, à cause de leurs coûts d'investissement élevés et de leur faible densité énergétique; par conséquent, elles ne conviennent ni pour les maisons individuelles ni en tant que dispositif de stockage annuel centralisé. Cela signifie que les accumulateurs ne contribueront pratiquement pas au report saisonnier. De plus, les nuisances environnementales causées par l'extraction des matières premières, le traitement et le transport pourraient être en contradiction avec les objectifs du tournant énergétique.

Les petits dispositifs de stockage présentent des inconvénients par rapport aux gros dispositifs de stockage. D'abord, ils ne peuvent pas bénéficier d'économies d'échelle. Les coûts spécifiques des dispositifs de stockage baissent en fonction de la taille de l'installation, car les coûts fixes peuvent être reportés vers des unités plus grandes. Les effets de compensation au niveau du système constituent un autre facteur. De même que pour les zones d'équilibrage au niveau du système et l'utilisation des réseaux d'électricité, il est judicieux du point de vue économique de miser sur une compensation de la charge au niveau local. De plus, un recours purement orienté marché peut compromettre la sécurité de l'exploitation du réseau ou rendre nécessaire le renforcement supplémentaire de ce dernier, qui ne serait pas optimal du point de vue économique.²⁵

Les coûts d'investissement par kWh représentent également un très grand facteur de coûts, mais ils sont nettement inférieurs pour les centrales de pompage-turbinage (CPT) que pour les batteries. C'est pourquoi celles-ci sont aujourd'hui exploitées car ce sont les dispositifs de stockage journalier ou hebdomadaire les plus économiques. Elles bénéficient aussi de l'exonération des rémunérations pour l'utilisation du réseau au titre de l'énergie de pompage. En tant que dispositifs de stockage saisonnier avec un seul cycle annuel, les

²³ Uniquement pour les formes mixtes de dispositifs, non pour les dispositifs purs.

²⁴ Roth, S. (2018). Mehr Eigenverbrauch mit Batteriespeichern? Bulletin de l'AES, 10/18.

²⁵ OFEN, DNV GL (2017). Dezentrale Speicher für Netzbetreiber - Alternative Netzkapazitäten; Drake F. et al. (2010). Sind Speicher wirklich der fehlende Baustein zur Energiewende? Energiewirtschaftliche Tagesfragen, <http://www.et-energie-online.de/Zukunftsfragen/tabid/63/NewsId/661/Sind-Speicher-wirklich-der-fehlende-Baustein-zur-Energiewende.aspx>.

CPT présenteraient aussi des coûts trop élevés. Ceux-ci pourraient toutefois être réduits pour les dispositifs annuels puisqu'il faudrait installer une puissance de pompage nettement inférieure par rapport à la capacité de stockage (lac).

De tous les dispositifs de stockage, c'est le PtX qui demande les investissements relatifs les plus faibles. Les investissements pour la reconversion de l'agent énergétique alternatif en courant s'ajoutent cependant à ceux de la transformation pure. De plus, en raison du faible degré d'efficacité, il faut produire plus de trois fois plus d'énergie en été que celle dont on a besoin en hiver.

4.2 Les domaines d'application des méthodes de stockage se complètent

À partir des propriétés techniques indiquées au chapitre 2 et des particularités décrites au chapitre 4.1, l'éventuel recours aux méthodes de stockage peut aujourd'hui être décrit assez précisément:

Tableau 2: Domaines d'application des méthodes de stockage

	Dispositifs de stockage horaire/journalier	Dispositifs de stockage hebdomadaire	Dispositifs de stockage annuel
Centralisée	Centrales de pompage-turbinage Batteries en tant que centrales virtuelles	Centrales de pompage-turbinage Centrales à accumulation	Power-to-X Centrales à accumulation
Décentralisée	Batteries		

Comme le montre le Tableau 2, les méthodes de stockage se complètent. Pour les dispositifs de stockage annuel, il faut ajouter que l'exploitation des dispositifs PtX n'est pas encore rentable avec les conditions-cadre actuelles.

Les batteries d'accumulation conviennent surtout pour fournir de l'énergie de réglage primaire «rapide». Les capacités des batteries n'atteindront pas celle des centrales hydrauliques à accumulation (pompage-turbinage). Ces dernières restent essentielles pour la stabilité de l'approvisionnement en électricité de la Suisse.

Avec la SE 2050, la compensation à court terme, ainsi que celle entre le semestre estival et hivernal, gagnent en importance. Pour la première, les méthodes nécessaires sont déjà éprouvées et disponibles en Suisse. Pour le report saisonnier, du point de vue actuel, seules les installations PtX sont envisageables en plus des centrales hydrauliques à accumulation. Cependant, l'exploitation de ces installations est à peine rentable à ce jour et leur degré d'efficacité est encore très bas. De plus, le stockage des agents énergétiques en grandes quantités peut représenter une difficulté.

5. Conditions-cadre réglementaires (liste)

5.1 Imputation des rémunérations pour l'utilisation du réseau

Le facteur réglementaire le plus important pour la rentabilité des dispositifs de stockage est l'imputation des rémunérations pour l'utilisation du réseau (y compris la taxe pour les services-système et le supplément sur les coûts de transport) en contrepartie de l'énergie soutirée du réseau. L'exonération complète de certains types de dispositifs de stockage est possible. Pour les autres, la structure tarifaire s'avère pertinente.

Exonération

Dans le cadre du débat réglementaire, on distingue grossièrement les centrales de pompage-turbinage, les dispositifs de stockage purs, les dispositifs de stockage liés à une consommation derrière le point de raccordement (formes dites mixtes, notamment en lien avec des installations photovoltaïques et une consommation propre) et les installations power-to-X.

- Les centrales de pompage-turbinage sont exonérées par l'art. 4, al. 1, let. b, LApEI.
- L'AES considère que les dispositifs de stockage purs sont également exonérés sur la base de la même réglementation. Par le passé, l'OFEN a mis en doute cette interprétation.
- Pour les dispositifs de stockage liés à une consommation, aucune exonération n'est réalisable pour des raisons liées à la technique de mesure.
- Pour les installations power-to-X, la possibilité d'une reconversion en électricité au même endroit dans un système fermé en soi est pertinente. Si elle existe, elles sont considérées comme des dispositifs de stockage purs. Dans le cas contraire, l'exonération est actuellement exclue et supposerait à l'avenir une approche réglementaire intégrée de l'électricité et de l'agent énergétique/des agents énergétiques alternatif(s).
- On discute actuellement, de manière commune, des dispositifs de stockage qu'un gestionnaire de réseau de distribution installe lui-même sur son réseau exclusivement à des fins d'optimisation (stockage réseau).
- Aucune nouvelle réglementation n'ayant été trouvée dans le cadre de la nouvelle OApEI au 1^{er} juin 2019, l'OFEN prévoit de traiter du sujet de l'exonération de la rémunération du réseau pour les dispositifs de stockage dans la révision de la LApEI.

Tarification

En l'absence d'exonération des rémunérations pour l'utilisation du réseau, la tarification influe sur la rentabilité et sur le recours (au sens de comportement) aux dispositifs de stockage. Elle contribue à déterminer la mise en œuvre optimale d'un dispositif: utile au réseau, au système ou au marché. Les questions suivantes revêtent une importance particulière: les gestionnaires de réseau sont-ils autorisés à former leurs propres groupes de clients pour les dispositifs? Dans quelle mesure peuvent-ils définir librement les composantes tarifaires basées sur le travail et la puissance? Est-il permis d'établir des tarifs dynamiques? À ce jour, comme pour les petits consommateurs finaux, la tarification est fortement réglementée pour les petits dispositifs de stockage.

5.2 Recettes issues du réseau ou imputabilité aux coûts du réseau

La condition préalable de l'imputabilité aux coûts du réseau réside dans le recours au dispositif de stockage pour l'exploitation sûre, performante et efficace du réseau. D'après la réglementation actuelle, le gestionnaire de réseau doit rétribuer une telle mise en œuvre de façon non discriminatoire. Il peut imputer la rétribution aux coûts du réseau. Un système de commande et de réglage intelligent constitue la condition technique préalable.

Les prescriptions réglementaires et les possibilités de recettes issues de l'utilisation des flexibilités des dispositifs de stockage côté réseau ou l'imputabilité aux coûts du réseau se trouvent aujourd'hui sous le titre «Systèmes de commande et de réglage intelligents» (art. 17b LApEI, art. 8c OApEI). La révision de la LApEI étend et spécifie ces prescriptions sous le titre «Flexibilités», tandis que le stockage réseau sera probablement traité aussi, de manière non séparée.

5.3 Prix de l'énergie pour l'injection et le soutirage

En principe, il n'existe pas de prescription réglementaire relative aux prix de l'énergie pour l'injection et le soutirage des dispositifs de stockage (purs). En particulier, il n'existe pas d'obligation de reprise et de rétribution des gestionnaires de réseau d'après l'art. 15 LENE.

Lorsqu'ils soutirent du réseau une énergie inférieure à 100 MWh/a, les dispositifs liés à une consommation sont toutefois soumis aux réglementations relatives à l'approvisionnement de base (art. 6 LApEI) et versent ainsi le tarif d'approvisionnement de base correspondant du gestionnaire de réseau local. En lien avec la production, les dispositifs de stockage peuvent bénéficier de l'art. 15 LENE (obligation de reprise et de rétribution) dès lors que les conditions sont remplies.

5.4 Recettes issues du marché des services-systèmes

Les dispositifs de stockage peuvent générer des recettes sur le marché des services-systèmes. C'est pourquoi les plus petites installations doivent toutefois se regrouper (pooling services-système).

5.5 Autres thèmes réglementaires pertinents pour les dispositifs de stockage

- Contributions au raccordement au réseau et contributions aux coûts du réseau: indépendamment de la rémunération pour l'utilisation du réseau, les dispositifs de stockage versent généralement, pour les nouveaux raccordements, des contributions au raccordement au réseau et aux coûts du réseau.
- Système de mesure: dans le cas des petites installations, les prescriptions relatives à la mesure peuvent générer des coûts élevés. Les réglementations à ce sujet sont en cours de discussion.
- Dispositifs de stockage combinés à des installations de production d'énergie renouvelable: pour cette combinaison, il faut respecter les prescriptions applicables relatives aux garanties d'origine et aux contributions d'encouragement.
- Propriété du dispositif de stockage: au sein de l'UE, les gestionnaires de réseau ne seront à l'avenir autorisés à posséder et à exploiter eux-mêmes des dispositifs de stockage et les flexibilités utiles au réseau que si aucun autre acteur du marché ne propose de telles flexibilités. Jusqu'à présent, aucune proposition similaire n'a fait l'objet d'une discussion en Suisse.

Renseignements

Secrétariat technique de la commission Économie énergétique

Téléphone: 062 825 25 25

E-mail: info@electricite.CH

Association des entreprises électriques suisses

Hintere Bahnhofstrasse 10, 5000 Aarau, www.electricite.CH