

Rapport final, décembre 2020

Batteries solaires pour les particuliers

Une étude de marché

Auteurs

Dre Sabine Perch-Nielsen, EBP

Dre Isabel O'Connor, EBP

Hendrik Clausdeinken, EBP

David Schärer, EBP

**La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.
La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.**

Adresse

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: Office fédéral de l'énergie OFEN, CH-3003 Berne

Infoline 0848 444 444, www.infoline.suisseenergie.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch, twitter.com/energieschweiz

Contenu

Avant-propos	4
1 Quels sont les acteurs suisses impliqués dans la recherche, le développement et la production de batteries?	5
2 Quelles technologies sont utilisées de nos jours en Suisse avec quels avantages et quels inconvénients?	8
3 Quelles technologies sont susceptibles d'être utilisées à l'avenir?	12
4 De quelles matières premières une batterie a-t-elle besoin et sont-elles limitées?	17
5 Quel est l'écobilan d'une batterie?	21
6 Que deviennent les batteries à la fin de leur durée de vie?	29
7 Quelle est la structure du secteur en Suisse?	33
8 Quelle est la demande actuelle de batteries?	35
9 Quels sont les prix des batteries solaires?	37
10 À quelles évolutions de prix faut-il s'attendre à l'avenir?	45
11 Quelle est la rentabilité des batteries?	48
12 Quels sont les motifs sous-jacents à la décision d'acheter une batterie?	55
13 Quels sont les facteurs favorisant le développement du marché en Suisse?	59

Avant-propos

SuisseEnergie soutient les mesures volontaires visant à mettre en œuvre la politique énergétique suisse. SuisseEnergie ne formule aucune recommandation quant aux batteries destinées au photovoltaïque, mais aimerait fournir son aide aux personnes intéressées par des batteries, en leur présentant leurs avantages et leurs inconvénients. En outre, SuisseEnergie reçoit de nombreuses demandes sur divers aspects des batteries et tient à y apporter des réponses scientifiquement fondées.

C'est pourquoi SuisseEnergie a mandaté EBP pour la réalisation d'une étude de marché tangible et compréhensible sur les systèmes de stockage domestiques combinés au photovoltaïque (segment des particuliers). Ces systèmes sont désignés dans le présent rapport sous le terme de batteries solaires. Ledit rapport est le fruit de ces travaux et il doit servir de base en interne à SuisseEnergie pour répondre aux demandes de citoyens et alimenter tant le site Internet que d'autres canaux. L'étude est structurée sous la forme de questions, auxquelles des réponses sont apportées respectivement selon le même schéma: question, faits, lacunes, récapitulatif et sources. Les méthodes ont englobé de vastes recherches bibliographiques, des entretiens avec des experts, un atelier d'experts¹, une enquête sur les prix (question 8), des calculs de rentabilité (question 11) et la consultation d'installateurs (question 12).

¹ Au nombre des participants figuraient Roger Burkhart (Alpiq), Alexander Fuchs (EPF de Zurich), Lukas Meister (Cleverage), Thomas Nordmann (TNC Consulting) et Jens Rümmele (Solarmarkt).

1 Quels sont les acteurs suisses impliqués dans la recherche, le développement et la production de batteries?

Faits

Recherche et développement: des experts travaillant aux instituts du domaine des EPF (EPF de Zurich, EPFL, Empa, PSI) ainsi qu'à l'Université de Fribourg et à la Haute école spécialisée bernoise sont actifs en Suisse dans le secteur de la recherche fondamentale consacrée à la technologie des batteries. Les centres d'intérêt de leurs recherches et les directeurs ou directrices actuels figurent dans le Tableau 1.

De surcroît, des connaissances sur la technique de production sont requises pour fabriquer des batteries, lesquelles peuvent être trouvées dans les différents instituts du pays. Somme toute, il est difficile de cerner quels instituts développent respectivement des machines et des processus dans la technique de production de batteries, étant donné qu'ils mettent au point le plus souvent des machines et des processus à usage général ne pouvant pas seulement être associés à la production de batteries, comme par exemple des procédés de revêtement ou des machines de bobinage métallique.

Institut	Principaux sujets de recherche	Direction
<ul style="list-style-type: none"> • BFH-CSEM Energy Storage Research Center, Haute école spécialisée bernoise BFH, Berthoud et Bienna 	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de cellules et de systèmes au lithium-ion • Tests et caractérisation de cellules et de modules • Développement et test du matériel et des logiciels des systèmes de gestion des batteries • Gestion et stockage de l'énergie solaire • Méthodes de production et machines pour fabriquer des systèmes et des cellules de batterie 	Prof. Dr Abel Fuerst Prof. Dr Andrea Vezzini
<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux de conversion d'énergie, Empa de Dübendorf 	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux de batterie • Électrodes (cathode et anode) • Cellules de batterie • Membranes et électrolytes 	Dr Corsin Battaglia
<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire d'électrochimie physique et analytique, antenne valaisanne de l'EPFL, Sion 	<ul style="list-style-type: none"> • Batteries à flux (ou à oxydoréduction) • Fabrication de nanomatériaux au carbone (en anglais: <i>carbon nanomaterials</i>) 	Prof. Dr Hubert Girault
<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire de chimie inorganique, matériaux inorganiques fonctionnels, EPF de Zurich et Empa de Dübendorf 	<ul style="list-style-type: none"> • Cristaux nanostructurés/nanostructures pour cathodes et anodes 	Prof. Dr Maksym Kovalenko
<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire de systèmes d'énergie électrochimiques, EPF de Zurich 	<ul style="list-style-type: none"> • Cristaux nanostructurés/nanostructures destinés aux cathodes et aux anodes 	Prof. Dre Maria Lukatskaya
<ul style="list-style-type: none"> • Instituts d'électronique, EPF de Zurich 	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux de batterie (incluant la fabrication, la caractérisation et la simulation) 	Prof. Dre Vanessa Wood, Prof. Dr Maksym Yarema
<ul style="list-style-type: none"> • Département de chimie, Université de Fribourg 	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux de batterie (notamment batteries lithium-ion) 	Prof. Dre Katharina Fromm
<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire d'électrochimie, Institut Paul Scherrer (PSI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux de batterie • Électrodes (cathode et anode) • Cellules de batterie • Membranes et électrolytes • Diagnostics opérationnels et post mortem (notamment via l'imagerie neutronique) 	Prof. Dr Petr Novak, Dr Felix N. Büchi

Tableau 1: vue d'ensemble des instituts de recherche dans le domaine de la technologie des batteries en Suisse

Développement et production: la chaîne de création de valeur des batteries peut être fractionnée en fonction des étapes de production et des composants d'un système de batterie. L'illustration 1 expose la chaîne de création de valeur du système de batterie avec une liste des entreprises exerçant des activités en Suisse. La liste de ces sociétés ne saurait prétendre à l'exhaustivité.

Au début de la chaîne, il y a l'extraction et le traitement des matières premières se trouvant en majeure partie dans des pays étrangers extra-européens: 85% de l'extraction de lithium a lieu au Chili, en Australie ainsi qu'en Chine et 70% du cobalt est extrait dans la République démocratique du Congo (McKinsey 2018). À ce niveau de la création de valeur, les négociants en matières premières d'une part et les fabricants de substances de base telles que le graphite d'autre part peuvent être trouvés en Suisse.

Des constructeurs suisses d'installations proposent des machines spéciales pour mélanger une pâte (appelée «slurry») revêtant les électrodes et pour bobiner les cellules de batterie dans le secteur de la technique de production. Parmi les fabricants de composants de cellules (autrement dit, électrodes, électrolytes et séparateurs) et de cellules de batterie, il n'y a qu'un seul grand fabricant de cellules, à savoir Leclanché, en plus de quelques entreprises de petite taille.



* Électrodes, électrolytes, séparateurs

** Système de gestion des batteries, système de gestion de l'énergie, électronique de puissance, gestion thermique

Illustration 1: chaîne de création de valeur suisse pour la technologie des batteries

Mises à part les deux grandes sociétés ABB et Leclanché exerçant des activités internationales, deux entreprises plus petites, incarnées par EcoVolta et Innolith, sont positionnées dans le domaine de la fabrication de blocs de batterie. Deux entreprises spécialisées issues de l'électrotechnique s'ajoutent encore à ces entreprises dans le secteur de l'électronique de commande.

Sur le plan de l'intégration de systèmes, c'est-à-dire le stade où les blocs de batterie sont accordés et assemblés avec l'électronique de commande, il existe plusieurs fabricants qui focalisent leur attention sur les activités réalisées avec les installateurs et les clients finaux. Le niveau de la création de valeur de l'intégration de systèmes constitue une activité internationale de plus en plus marquée par la pression sur les coûts et une production en grande quantité. La majeure partie des batteries solaires disponibles en Suisse proviennent donc aussi de fabricants étrangers tels que BYD, sonnen, Tesla ou Varta (BFH-CSEM, 2020). Les intégrateurs suisses de systèmes sont surtout actifs sur le marché national, sur lequel la propension à payer des produits du pays est tendanciellement supérieure, ou ils s'intéressent à des applications spéciales (p. ex. Powerblox sur des applications hors réseau «off-grid»).

Lacunes

On ne sait pas encore exactement quels instituts de recherche et quelles entreprises développent et commercialisent des processus et des machines dans la technique de production et la construction d'installations/de machines destinées à l'industrie des batteries.

Récapitulatif

Il existe de nombreux groupes de recherche et experts travaillant dans le secteur de la recherche fondamentale sur la technologie des batteries en Suisse. Les acteurs suisses dans la chaîne de création de valeur de batteries sont avant tout des petites et moyennes entreprises spécialisées, en plus de sociétés de plus grande envergure à l'image d'ABB, de Leclanché et de Glencore. Alors qu'il y a quelques intégrateurs suisses de systèmes commercialisant des batteries solaires en Suisse, l'offre sur le marché est fortement déterminée par des fournisseurs internationaux.

Sources

- BFH-CSEM (2020): Swiss Energy Storage Overview. (<https://web.energystorageoverview.bfh.science>)
- Entretiens avec des experts issus de la recherche et de l'industrie.

2 Quelles technologies sont utilisées de nos jours en Suisse avec quels avantages et quels inconvénients?

Faits

Il ressort d'une enquête annuelle sur le marché réalisée en Suisse depuis 2015 que les batteries au lithium-ion dominent le marché des batteries solaires comme solution technologique (voir Illustration 2). Disponibles depuis longtemps, les données provenant d'Allemagne montrent que les batteries au plomb-acide étaient encore très souvent employées en 2013 (voir Illustration 3). La batterie au lithium-ion est ensuite devenue de plus en plus populaire. Les raisons expliquant la domination du marché par cette batterie tiennent à l'abaissement des prix du système, à une efficacité élevée de charge et décharge, à des densités d'énergie et de puissance supérieures ainsi qu'à des durées de vie plus longues en comparaison avec des batteries au plomb-acide (Figgener, 2020 & IRENA, 2017).

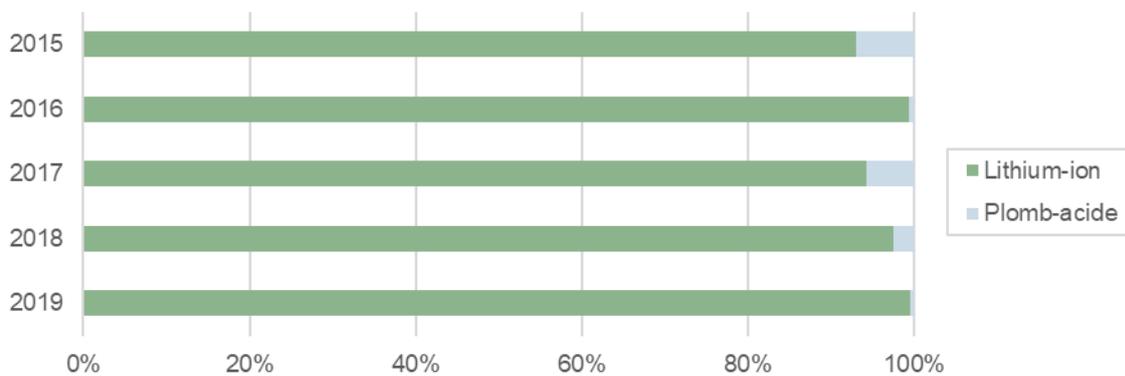


Illustration 2: parts de marché des différentes technologies s'agissant de batteries solaires en Suisse [sources: Swis-solar (2015, 2016) et OFEN (2017-2019)]

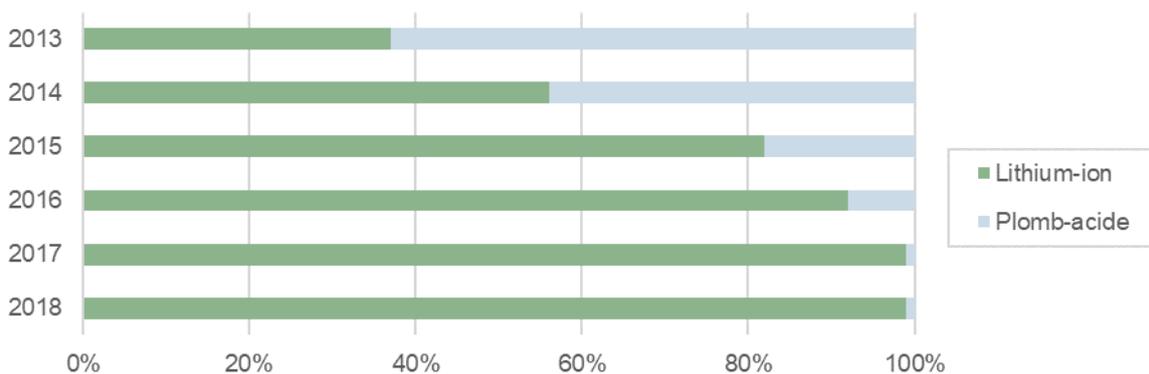


Illustration 3: parts de marché des différentes technologies s'agissant de batteries solaires en Allemagne [source: Figgener et al. (2020)]

Les batteries au lithium-ion se différencient par la composition chimique de leurs cellules. La chimie des cellules repose sur la combinaison de matériaux aux propriétés électrochimiques variées servant de cathode (électrode chargée négativement), d'anode (électrode chargée positivement) et d'électrolyte. La combinaison de divers matériaux permet d'obtenir des batteries au lithium-ion se

distinguant respectivement par les propriétés de leurs cellules quant à la densité d'énergie, la puissance de charge et décharge, l'autodécharge, la durée de vie et leurs coûts.

Etant donné que la plupart des variations sont réalisables au niveau de la cathode, la chimie des cellules est désignée en règle générale d'après la composition du matériau de ladite cathode: les batteries les plus usuelles sont ainsi équipées de cathodes à base de lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC en abrégé), lithium-fer-phosphate (LFP) ou lithium-nickel-cobalt-aluminium (NCA). De par son appellation, la batterie au lithium-titane-oxyde (LTO) fait exception à la règle, puisqu'elle est ainsi nommée d'après le matériau de son anode.

Même si les chimies des cellules sont clairement désignées par leurs cathodes ou leurs anodes, ces catégories ne permettent pas de conclure explicitement et par extrapolation à certaines propriétés des cellules, contrairement à ce que laissent entendre divers rapports. Cela tient au fait qu'en plus des nombreuses possibilités de combiner la cathode, l'anode et l'électrolyte, les propriétés présentées par une batterie dépendent des étapes des processus et de la qualité de la finition lors de sa production (pv magazine, 2019). En fin de compte, les propriétés telles que la durée de vie attendue et la puissance de (dé)charge de la batterie au cours de son existence sont liées de façon significative au cas d'usage et aux opérations de (dé)charge en service. Indépendamment de la composition chimique des cellules, toutes les batteries qui sont importées sur le marché suisse doivent répondre aux standards, aux normes et aux directives de la loi fédérale sur la sécurité des produits (LSPro).

L'analyse du marché suisse indique que la plupart des fabricants de batteries solaires misent sur des chimies de cellules à base de lithium-fer-phosphate (LFP) et de lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC) (Tableau 2). La batterie à haute température au sodium-chlorure de nickel fait figure d'exception (décrite plus en détails au chapitre 0). Ce constat est également corroboré par les systèmes proposés dans le cadre de l'enquête sur les prix figurant au chapitre 9. La composition du marché en Suisse coïncide avec celle du marché allemand et international (Figgenger, 2020 & IHS Markit, 2020).

Fabricants de batteries solaires	Fabricants de cellules (si publiés)	Chimie des cellules
Akasol	Akasol	NMC
Alpha ESS	Lishen	LFP
BYD	BYD	LFP
Cosinus3 Energiesysteme	Winston Battery	LFP
E3DC	<i>divers</i>	LFP
Ecocoach	LG Chem	NMC
Energy Depot Swiss	<i>inconnus</i>	LFP
Huawei	<i>inconnus</i>	LFP
Innovenergy	FZSoNick	NaNiCl ₂ (batterie à haute température)
LG Chem	LG Chem	NMC
Powerball Speichersysteme	<i>inconnus</i>	NMC et NCA
RCT Power GmbH	<i>inconnue</i>	LFP
sonnen	<i>divers</i>	LFP
Tesla	Tesla	NMC
Varta	Varta	LFP et NMC

Tableau 2: fabricants et chimies des cellules des batteries solaires proposées en Suisse [fabricants d'après BFH-CSEM (2020) et l'enquête sur les prix figurant au chapitre 9. La composition chimique des cellules découle des données fournies par le producteur de cellules mentionné ou a été extraite de fiches techniques. Les batteries des fabricants marqués en gras sont celles qui ont été proposées le plus souvent dans l'enquête sur les prix présentée au chapitre 9.]

En ce qui concerne l'utilisation, la chimie des cellules s'avère moins intéressante que les propriétés de la batterie solaire, constituée de l'accumulateur de batterie et de l'électronique de puissance. Le coût, la durée de vie et l'efficacité énergétique du système jouent un rôle primordial en l'occurrence. L'efficacité énergétique du système n'est pas seulement définie par le rendement de la batterie, mais aussi par les pertes de conversion et de mise en veille de l'électronique de puissance (onduleur et commande). L'inspection des accumulateurs électriques en 2020 effectuée par la Haute école de technique et de gestion «Hochschule für Technik und Wirtschaft» de Berlin (HTW, 2020) livre ainsi un aperçu de l'efficacité des systèmes.

Lacunes

Les technologies des batteries et les compositions chimiques des cellules employées sont connues. Toutefois, les dernières saisies du Swiss Energy Storage Overview de la Haute école spécialisée bernoise remontent à l'année 2016, tandis que le marché des accumulateurs a beaucoup évolué au fil des dernières années. De ce fait, les indications relatives aux fabricants et aux chimies de cellules représentées en Suisse ne sont vraisemblablement plus actuelles.

Récapitulatif

En Suisse, les batteries solaires sont quasi exclusivement des batteries au lithium-ion. Celles-ci possèdent des densités d'énergie et de puissance supérieures ainsi que des durées de vie plus longues que les batteries au plomb-acide. Les batteries au lithium-ion se différencient par la composition chimique de leurs cellules. Les chimies de cellules au lithium-fer-phosphate (LFP) et au lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC) prédominent en Suisse à l'heure actuelle. La chimie des cellules revêt un moindre intérêt aux yeux des consommateurs et consommatrices. Ces derniers accordent davantage d'importance au coût, à la durée de vie et à l'efficacité du système de la batterie solaire, constituée de l'accumulateur et de l'électronique de puissance. Ces aspects sont liés en partie à la composition chimique des cellules des batteries au lithium-ion.

Sources

- BFH-CSEM (2020): Swiss Energy Storage Overview. (<https://web.energystorageoverview.bfh.science>)
- Figgener Jan, Stenzel Peter, Kairies Kai-Philipp, Linssen Jochen, Haberschusz David, Wesels Oliver, Angenendt Georg, Robinius Martin, Stolten Detlef, Sauer Dirk Uwe (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review» (le développement de systèmes de stockage de batterie stationnaires en Allemagne – Une enquête sur le marché). Dans: Journal of Energy Storage 29 (2020). 101153.
- Fraunhofer ISI (2015). «Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030» (feuille de route générale des batteries au lithium-ion à l'horizon 2030).
- HTW (2020). «Stromspeicher-Inspektion 2020» (inspection des accumulateurs électriques). (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/Stromspeicher-Inspektion-2020.pdf>).
- IRENA (2017). «Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030» (stockage de l'électricité et énergies renouvelables: coûts et marchés à l'horizon 2030). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (agence internationale pour les énergies renouvelables).
- OFEN (2017-2019), enquête sur le marché de l'énergie solaire.
- pv magazine (2019). «Manche Zahlen darf man nicht so ernst nehmen» (certains chiffres ne doivent pas être pris tant au sérieux).

(<https://www.pv-magazine.de/archiv/manche-zahlen-darf-man-nicht-so-ernst-nehmen/>;
dernière consultation le 29.10.2020).

- Swissolar (2015, 2016). «Kurzbericht Elektrische Energiespeicher» (bref rapport sur les accumulateurs d'énergie électrique).

3 Quelles technologies sont susceptibles d'être utilisées à l'avenir?

Faits

Lithium-ion: Du point de vue des coûts, il faut s'attendre dans la continuité de la tendance actuelle (Illustration 2) à ce que le marché des batteries solaires soit encore principalement approvisionné en batteries au lithium-ion. Des baisses de prix considérables sont à prévoir sur le marché mondial dans les années à venir, étant donné que les batteries au lithium-ion sont produites dans des volumes croissants et de façon automatisée, profitant avant tout du dynamisme du secteur automobile (Bloomberg New Energy Finance, 2020).

Les batteries NMC prévalent encore sur le marché international à l'heure actuelle dans la catégorie des batteries au lithium-ion. Les batteries LFP gagnent néanmoins des parts de marché à mesure que les prix du marché diminuent (voir Illustration 4). Cette tendance peut se poursuivre, mais elle dépend énormément des volumes de production ainsi que de l'offre des batteries NMC et LFP sur le marché mondial dans les prochaines années.

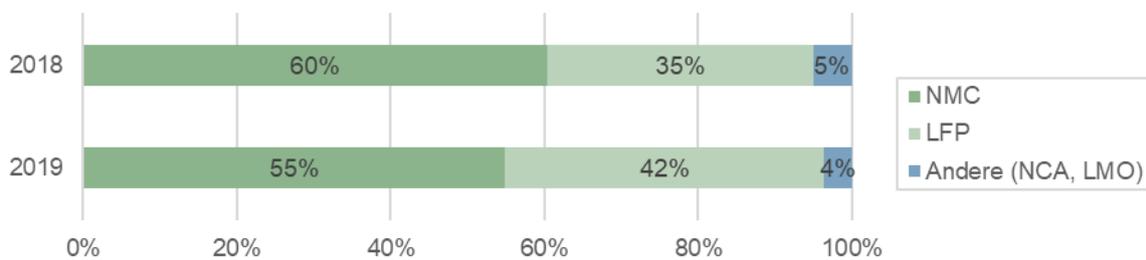


Illustration 4: parts de marché mondiales des différentes chimies de cellules composant les batteries solaires [source: IHS Markit (2020)]

La croissance générale du marché des batteries au lithium-ion va de pair avec leur optimisation technique en vue d'usages spécifiques prévus. Ainsi, les batteries au lithium-ion peuvent par exemple être optimisées pour des véhicules électriques au niveau de leur densité d'énergie, puisque le volume nécessaire au montage et le poids de transport sont limités dans ces véhicules. S'agissant des batteries solaires, une haute efficacité de charge et de décharge ou la puissance de charge et de décharge pourraient par contre primer.

Batteries à eau salée: ce type de batterie utilise un électrolyte aqueux à base de sodium, lequel lui donne son nom de «batterie à eau salée» (en anglais: *aqueous hybrid ion battery [AHIB]*). Le matériau de la cathode est constitué le plus souvent de lithium-oxyde de manganèse et celui de l'anode est à base de sodium-phosphate de titane. Un non-tissé en coton synthétique est employé comme séparateur. Comme dans le cas des batteries au lithium-ion, les batteries à eau salée peuvent fonctionner à température ambiante. Le Tableau 3 expose les avantages et les inconvénients des batteries à eau salée en comparaison directe avec les batteries au lithium-ion.

Avantages	Inconvénients
Matières premières d'un coût avantageux et très réparables pour fabriquer les batteries	Densité d'énergie moindre par volume de stockage
Aptitude élevée au recyclage du fait de la structure simple des cellules	Efficacité de (dé)charge moindre entraînant des pertes de courant
Moins de phénomènes de vieillissement de la batterie (perte de la capacité de stockage et perte de la puissance de (dé)charge) dus au fonctionnement, d'où la possibilité de l'utiliser plus longtemps	Empreinte CO ₂ supérieure et impact plus fort sur la destruction de l'ozone dans les applications de la batterie solaire (cf. chapitre 0)

Tableau 3: avantages et inconvénients des batteries à eau salée en comparaison avec des batteries au lithium-ion [source: Peters & Weil (2017)]

Au nombre des avantages de la batterie à eau salée, il convient de citer les matières premières bon marché et d'usage courant. En même temps, les composants des batteries peuvent être facilement désassemblés, ce qui devrait simplifier davantage leur recyclage par rapport à celui des batteries au lithium-ion. De plus, les batteries à eau salée sont créditées d'une durée de vie supérieure. En dépit des avantages procurés par les matières premières très répandues et l'aptitude au recyclage, une analyse des cycles de vie réalisée par Peters & Weil (2017) (cf. chapitre 0) révèle que les batteries à eau salée en tant que batteries solaires d'installations photovoltaïques obtiennent des résultats bien plus mauvais que les batteries au lithium-ion en ce qui concerne l'empreinte carbone et la réduction de la couche d'ozone. Cela est notamment imputable à la plus faible densité d'énergie et à la moindre efficacité de (dé)charge des batteries à eau salée.

Batteries à flux: en regard de la batterie au lithium-ion ou de la batterie au plomb-acide, le matériau électroactif échangeant les électrons pour former le courant électrique sur une batterie à flux n'est pas constitué par des électrodes fixes, mais s'écoule sous la forme d'une solution liquide au contact d'une membrane (Illustration 5). La solution liquide est stockée dans des réservoirs et elle est pompée pour passer à travers la membrane où se produit l'échange d'électrons. La batterie à flux la plus pertinente pour servir de batterie solaire potentielle est la batterie à oxydoréduction au vanadium.

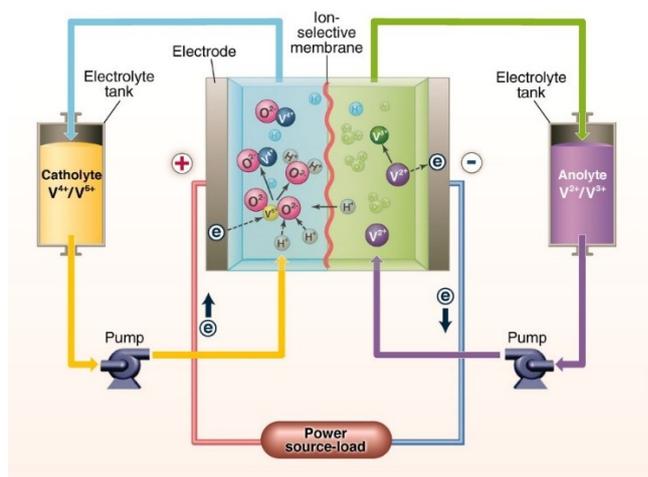


Illustration 5: principe de fonctionnement d'une batterie à oxydoréduction au vanadium [source: Dunn et al. (2011)]

Le Tableau 4 expose les avantages et les inconvénients des batteries à flux en comparaison directe avec les batteries au lithium-ion. Un avantage majeur de la batterie à flux réside dans la possibilité de la fabriquer en combinant quasiment à volonté la puissance de (dé)charge (en kW) et les capacités de stockage d'énergie (en kWh), vu que ces deux grandeurs ne dépendent pas l'une de l'autre comme sur d'autres types de batteries. Par exemple, des accumulateurs dotés de puissances de (dé)charge moyennes peuvent se prêter à l'emploi comme batterie solaire, tout en présentant des capacités de stockage d'énergie très élevées. Un autre atout tient au fait que les batteries à flux laissent apparaître moins de phénomènes de vieillissement tels que la perte de la capacité de stockage et/ou la perte de la puissance de (dé)charge au cours des années de fonctionnement. La batterie peut être ainsi utilisée durablement. Par ailleurs, des profondeurs de décharge élevées sont permises sur la batterie à flux, vu que des décharges profondes n'accélèrent pas l'usure outre mesure contrairement aux batteries au lithium-ion.

Avantages	Inconvénients
Les puissances de (dé)charge et les capacités de stockage d'énergie peuvent être configurées indépendamment les unes des autres.	Faible densité d'énergie par volume de stockage
Longue durée d'utilisation: le fonctionnement ne cause guère de perte de la capacité de stockage et de la puissance de (dé)charge.	Pertes d'énergie élevées de la charge à la décharge sur les batteries actuelles (environ 15%)
Grandes profondeurs de décharge possibles de l'état chargé à l'état déchargé	Les composants tels que les membranes et les réservoirs d'électrolyte ou les matières premières comme le vanadium restent chers de nos jours.
	Les nombreux éléments mobiles à l'intérieur de la batterie (p. ex. capteurs, pompes, régulateurs de flux) augmentent le risque d'erreurs.

Tableau 4: avantages et inconvénients des batteries à flux en comparaison avec des batteries au lithium-ion [source: IRENA (2017)]

La moindre densité d'énergie par volume de stockage constitue un inconvénient des batteries à flux, qui peuvent exiger de ce fait un encombrement supérieur. Un autre inconvénient réside par ailleurs dans le fait que les batteries à flux actuelles induisent des pertes d'énergie légèrement supérieures de la charge à la décharge que les batteries au lithium-ion (à peu près 5% plus élevées). De plus, il est désavantageux que les matériaux électroactifs liquides nécessitent plusieurs éléments mobiles tels que les pompes et les régulateurs de flux, lesquels accroissent le risque d'erreurs et les éventuels travaux de maintenance. Enfin, les composants tels que la membrane, les réservoirs d'électrolyte ou même les matières premières comme le vanadium s'avèrent encore relativement onéreux à l'heure actuelle.

Batteries à haute température: comme dans le cas d'une batterie à flux, il est fait usage de matériaux électroactifs sous une forme liquide et d'une membrane solide sur une batterie à haute température. Le nom des batteries à haute température découle du fait que de hautes températures supérieures à 200° C sont requises pour les faire fonctionner et pour maintenir les matériaux électroactifs à l'état liquide. Des batteries à haute température typiques sont des batteries au sodium-soufre (NaS) ou au sodium-chlorure de nickel (NaNiCl₂), aussi appelées batteries au sel ou batteries ZEBRA. La «batterie au sel» doit son nom en l'occurrence au sel de cuisine (ou chlorure de sodium, NaCl) qui la constitue, à ne pas confondre avec la «batterie à eau salée». Le Tableau 5 expose les avantages et les inconvénients des batteries à haute température en comparaison directe avec les batteries au lithium-ion.

Avantages	Inconvénients
Matières premières d'un coût avantageux et très répandues pour fabriquer les batteries	Températures de service élevées requises dans la batterie (au-dessus de 200° C) pour maintenir les matériaux électroactifs à l'état liquide, d'où d'importantes consommations d'énergie durant la marche à vide de la batterie
Grande aptitude au recyclage d'environ 99% du fait de la part très élevée de matières premières non toxiques	Mesures de sécurité et scellement très élaborés pour éviter des réactions chimiques dangereuses
Peu de phénomènes de vieillissement de la batterie (perte de la capacité de stockage et perte de la puissance de (dé)charge) dus au fonctionnement, d'où la possibilité de l'utiliser durablement	Faible densité d'énergie par volume de stockage

Tableau 5: avantages et inconvénients des batteries à haute température en comparaison avec des batteries au lithium-ion [source: IRENA (2017)]

Les deux principaux avantages qui rendent les batteries à haute température plus attrayantes que les batteries au lithium-ion sont les matières premières courantes d'un prix abordable servant à leur

fabrication ainsi que l'aptitude élevée au recyclage des matières premières pour la plupart non toxiques. De plus, les batteries à haute température perdent peu de leur capacité de stockage et de leur puissance de (dé)charge au fil de leurs années de fonctionnement, si bien qu'elles peuvent être utilisées longtemps.

Parmi les inconvénients, il faut citer leurs températures de service élevées supérieures à 200° C, qui occasionnent une consommation d'énergie significative et des coûts correspondants dans le mode de marche à vide, lorsque la batterie ne se charge pas ni ne se décharge. En outre, les hautes températures de service régnant à l'intérieur des batteries rendent indispensables des mesures de sécurité et des scellements complexes sur les batteries pour empêcher toute réaction chimique dangereuse. Il est également désavantageux que les batteries à haute température présentent de moindres densités d'énergie par volume de stockage que les batteries au lithium-ion.

S'agissant tant des batteries à eau salée, des batteries à flux que des batteries à haute température, il n'existe jusqu'à présent que peu de fabricants proposant de telles batteries sur le marché. En ce qui concerne les batteries à eau salée, des systèmes de la société autrichienne Greenrock sont exploités dans de premiers projets sur le marché suisse. Quant aux batteries à flux, il existe par exemple une batterie solaire à oxydoréduction au vanadium de la marque allemande Schmid. Pour ce qui est des batteries à haute température, l'entreprise FZSoNick se trouve être l'un des quelques fabricants de batteries au sodium-chlorure de nickel en Suisse. Ses batteries sont installées comme batteries solaires de la société Innovenergy. Il n'existe aucune donnée jusqu'à ce jour sur l'emploi de batteries au sodium-soufre comme batteries solaires en Suisse.

L'évaluation des technologies d'avenir a fait l'objet d'une discussion dans le cadre d'un atelier d'experts à la fin du mois de novembre 2020. Les experts ont estimé que les batteries au lithium-ion vont vraisemblablement dominer aussi le marché des batteries solaires à l'avenir. Une raison essentielle expliquant cette prévision tient au fait que l'évolution du marché sera stimulée par le marché bien plus grand de l'électromobilité. Les batteries au lithium-ion disposent d'innombrables avantages pour l'application mobile (faibles poids et volume) et elles seront donc utilisées dans des véhicules. L'électromobilité porte ainsi un marché en forte expansion et elle favorise de ce fait tant les progrès techniques que la baisse des prix. Les experts présument que les avantages ainsi obtenus sur le plan de la technique et des prix vont aboutir à ce que la technologie au lithium-ion soit également mise en œuvre dans des applications stationnaires, même si toutes les propriétés ne revêtent pas la même importance pour cet usage (p. ex. le poids).

Lacunes

De futures technologies de stockage potentielles se prêtant à l'emploi comme batteries solaires sont connues. Il n'est pas possible, par nature, de prévoir s'il en existe d'autres et comment elles vont évoluer.

Récapitulatif

Dans les prochaines années, ce sont essentiellement les batteries au lithium-ion qui vont être utilisées comme batteries solaires. Il sera fait alors usage principalement de batteries ayant des chimies de cellules au lithium-fer-phosphate (LFP) et au lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC). De nouvelles technologies s'offrent à travers les batteries à eau salée, les batteries à flux (à oxydoréduction au vanadium) et les batteries à haute température (à base de sodium-soufre et au sodium-chlorure de nickel).

Sources

- Bloomberg New Energy Finance (2020). «Electric Vehicle Outlook 2020» (perspectives des véhicules électriques en 2020).

- Dunn Bruce, Kamath Haresh, Tarascon Jean-Marie (2011). «Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices» (stockage d'énergie électrique pour le réseau: une batterie de choix) Dans: Science. Vol. 334. Numéro 6058. DOI: 10.1126/science.1212741.
- Energate (2019). «Die Zahl der Salzbatterien steigt» (le nombre des batteries au sel augmente). (<https://www.energate-messenger.ch/news/197905/die-zahl-der-salzbatterien-steigt>; dernière consultation le 29.10.2020).
- Fraunhofer ISI (2015). «Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030» (feuille de route générale des batteries au lithium-ion à l'horizon 2030).
- IHS Markit (2020). «Global residential energy storage market» (marché mondial du stockage d'énergie domestique).
- IRENA (2017). «Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030». (stockage de l'électricité et énergies renouvelables: coûts et marchés à l'horizon 2030). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (agence internationale pour les énergies renouvelables).
- Peters J. F., & Weil M. (2017). «Aqueous hybrid ion batteries—An environmentally friendly alternative for stationary energy storage?» (batteries à ion hybrides aqueuses: une alternative écologique pour le stockage d'énergie stationnaire?). *Journal of Power Sources*, 364, 258-265.
- Wikipedia. «Batterie Zebra». (<https://de.wikipedia.org/wiki/Zebra-Batterie>; dernière consultation le 29.10.2020).

4 De quelles matières premières une batterie a-t-elle besoin et sont-elles limitées?

Faits

Les ressources les plus importantes pour fabriquer des batteries au lithium-ion sont le lithium et, suivant la composition chimique des cellules, le cobalt, le manganèse, le fer, le phosphore, l'aluminium, le nickel et le titane. Notamment le lithium et le cobalt font souvent l'objet de discussions en rapport avec la pénurie des ressources (Fraunhofer, 2015 & McKinsey, 2018).

Encadré relatif à l'importance des ressources limitées

La limitation des ressources naturelles non renouvelables (criticité des matières premières) est au centre des débats depuis quarante ans déjà. D'un point de vue économique, des ressources rares ne posent aucun problème, car les ressources sont toujours peu abondantes. Lorsque la demande est supérieure à l'offre, le prix augmente. Dans le cas des ressources naturelles, cette situation conduit à ce que l'industrie investisse d'une part dans des technologies pour puiser dans des réserves encore inexploitées jusqu'à présent et pour surmonter des obstacles économiques et/ou technologiques. L'utilisation de ces matières premières est réduite d'autre part dans la production, du fait que le processus est organisé plus efficacement, que des investissements sont alloués au recyclage et/ou que d'autres matériaux sont trouvés. En plus de la rareté économique, des aspects politiques doivent cependant être pris en considération. Lorsque les ressources sont limitées à quelques pays, cela peut engendrer des luttes pour le pouvoir et la répartition, si bien que les mécanismes du marché n'agissent plus et le risque de conflits politiques belliqueux s'accroît (Schubert, 2011).

Il est primordial pour les entreprises et l'économie d'identifier où la pénurie pourrait survenir et il faut ainsi tabler sur des coûts accrus ou même sur des risques d'approvisionnement (EBP, 2017).

Le **lithium** est un minéral dont les gisements sont relativement fréquents, mais dont l'exploitation est maîtrisée par peu d'acteurs. Plus de 85% du lithium est extrait actuellement dans trois pays seulement: le Chili, l'Australie et la Chine. Ces pays possèdent aussi les plus grandes réserves. Les 15% restants sont exploités dans cinq autres pays uniquement. La majeure partie de la production des mines est contrôlée par quatre entreprises seulement: Talison, SQM, Albemarle et FMC (McKinsey, 2018).

Dans la feuille de route sur les batteries au lithium-ion à l'horizon 2030 dressée par l'Institut Fraunhofer, différents scénarios concernant les besoins en lithium d'ici 2050 sont calculés et mis en perspective avec les ressources mondiales (quantités existantes maximales supposées) et les réserves mondiales (ressources disponibles compte tenu de la situation économique et technique momentané). Tous les scénarios ont en commun que les besoins induits par l'électromobilité dominent les besoins totaux prévisionnels. L'illustration 6 montre l'évolution de la demande cumulée ainsi que le lithium primaire nécessaire à cette fin pour quatre scénarios possibles. Le lithium primaire requis n'est plus corrélé au fil du temps avec la demande globale en raison du recyclage.

Les besoins en lithium primaire d'ici 2050 se situent nettement en dessous des réserves dans les trois scénarios où des progrès technologiques sont présumés et/ou l'électromobilité se diffuse plutôt tardivement. Dans le scénario stipulant une diffusion internationale précoce de l'électromobilité et sans progrès technologique, les réserves mondiales se raréfient et sont épuisées d'ici 2050, mais non les ressources mondiales, qui s'avèrent bien plus élevées.

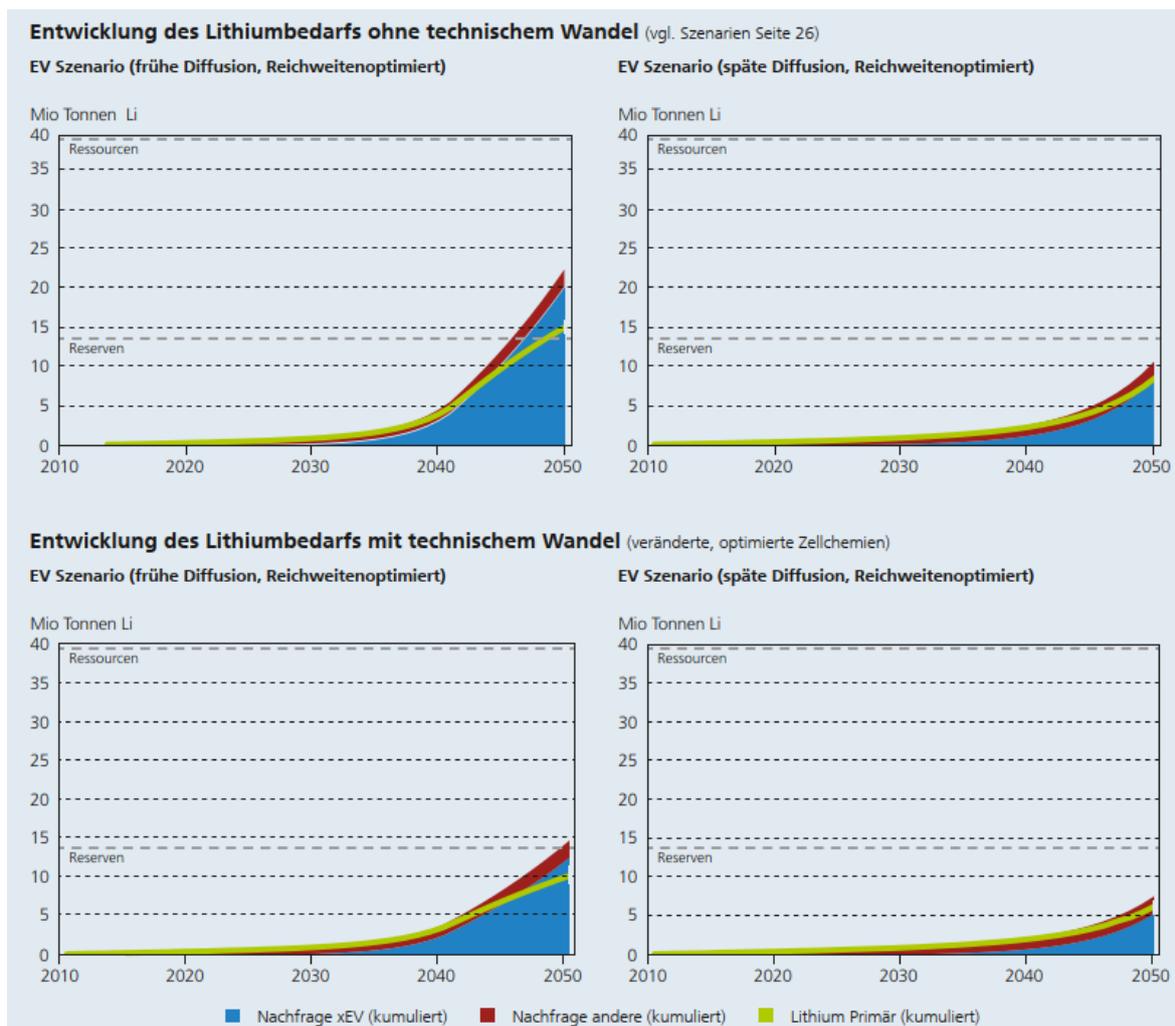


Illustration 6: quatre scénarios concernant les besoins prévisionnels en lithium d'ici 2050. [source: Fraunhofer (2015)]

Le **cobalt** est rare comparé à d'autres matières premières et ses gisements ne se trouvent que dans quelques pays. La plus grande partie de la production mondiale est extraite dans la République démocratique du Congo, au régime politique instable: les estimations s'élèvent à 50% (Fraunhofer, 2015) jusqu'à près de 70% (McKinsey, 2018) de la production mondiale. Les pays en assurant l'exploitation immédiatement la plus volumineuse sont la Russie, Cuba, l'Australie et le Canada, soit tout juste 13% de la production mondiale selon McKinsey. Néanmoins, des entreprises relativement nombreuses sont impliquées dans l'extraction: les trois plus grands producteurs réalisent à peu près 40% de la production mondiale (Glencore 22%, DRC state miner Gecamines 9% et China Molybdenum 7%).

Le cobalt se présente dans la nature sous la forme d'un sous-produit associé à du nickel et du cuivre. L'extraction et le traitement exigent beaucoup d'énergie, ce qui se traduit par un prix courant élevé. Il peut être présumé justement en raison du prix élevé qu'il y aura une bonne recirculation à long terme moyennant le recyclage. En outre, tant l'Institut Fraunhofer (2015) que McKinsey (2018) partent du principe que les besoins en cobalt devraient diminuer dans les prochaines générations de batteries, tandis que les besoins en nickel vont croître. La situation pourrait donc se détendre sur le marché du cobalt. En revanche, l'évolution du nickel s'avère encore quelque peu incertaine (Institut Fraunhofer, 2020).

Même la demande de cobalt à long terme va émaner principalement de l'électromobilité d'après l'Institut Fraunhofer (2015). Dans le cas d'une diffusion précoce de l'électromobilité et sans progrès technologique, la demande prévisionnelle de cobalt excède les réserves mondiales avant

même 2040, voire les ressources mondiales avant 2050 (voir Illustration 7). Avec le progrès technologique, les besoins dépassent les réserves, mais non les ressources. Il faut par conséquent accorder un rôle majeur au progrès technologique et au recyclage pour rester dans les limites des ressources disponibles à l'avenir.

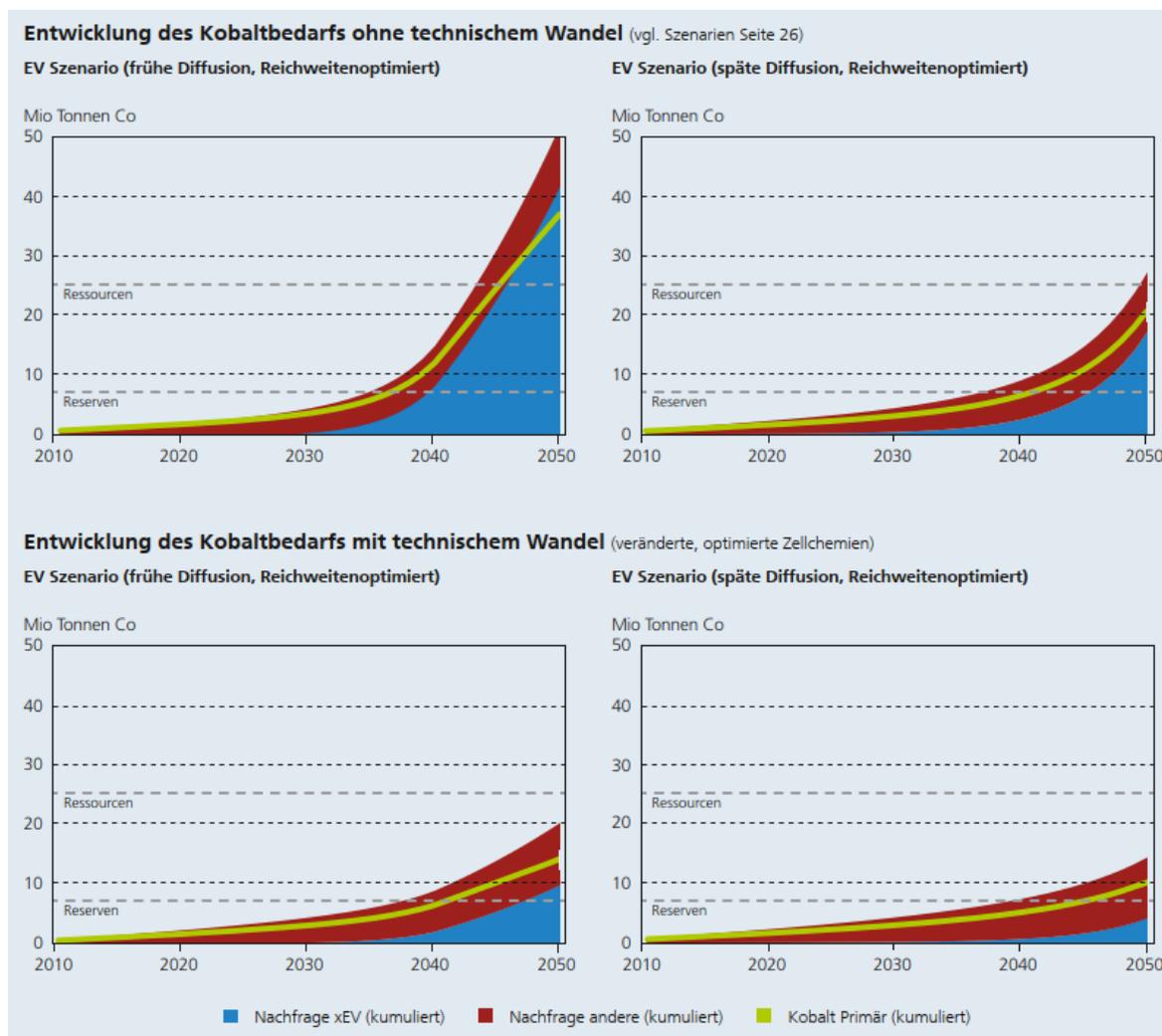


Illustration 7: quatre scénarios concernant les besoins prévisionnels en cobalt d'ici 2050. [source: Fraunhofer (2015)]

Lacunes

Il est possible de répondre à la question. Or, l'étude prend pour base l'année 2015 et les objectifs climatiques ont été clairement renforcés sur le plan international depuis lors (zéro émission nette). Dans ce contexte, la question se pose de savoir si les résultats conservent leur validité en la circonstance (p. ex. nécessité d'une diffusion plus rapide de l'électromobilité).

Récapitulatif

Les ressources les plus importantes pour fabriquer des batteries au lithium-ion sont le lithium et, suivant la chimie des cellules, le cobalt, le manganèse, le fer, le phosphore, l'aluminium, le nickel et le titane. Les ressources limitées du lithium et du cobalt donnent souvent lieu à des discussions en rapport avec les batteries. Le lithium constitue certes un minéral souvent trouvé dans la nature, mais il n'est extrait de nos jours que dans quelques pays par peu d'acteurs. La demande internationale prévisionnelle d'ici 2050 n'excède les ressources mondiales dans aucun des scénarios. Par contre,

le cobalt est rare et la majeure partie de la production mondiale est réalisée dans la République démocratique du Congo. Sans progrès technologique, il peut être admis que la demande va dépasser les ressources mondiales d'ici 2050. Le progrès technologique et le recyclage revêtent une grande importance s'agissant des deux matières premières.

Sources

- EBP (2017). «RESourcenCHECK für KMU» (contrôle de ressources pour PME). RE-Sourcen CHECK und Handlungsoptionen seltene Metalle für kleinere und mittlere Unternehmen (RESCHECK)» (contrôle des ressources et moyens d'action quant aux métaux rares destinés aux petites et moyennes entreprises). Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement/Swissmem.
- Fraunhofer ISI (2015). «Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030» (feuille de route générale des batteries au lithium-ion à l'horizon 2030).
- Fraunhofer ISI (2020). «Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf – Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?» (batteries pour voitures électriques: vérification des faits et marge de manœuvre – les batteries pour voitures électriques sont-elles la clé d'une mobilité durable d'avenir?).
- McKinsey&Company (2018). «Lithium and cobalt – a tale of two commodities» (lithium et cobalt: l'histoire de deux produits de base).
- Schubert (2011). «Sorge um knappe Ressourcen» (des soucis quant aux ressources rares). Rubrique de l'ETH Life. (https://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/110720_Kol5_schubert_mm/index.html, dernière consultation le 18.5.2020).

5 Quel est l'écobilan d'une batterie?

Faits

Un écobilan ou une analyse du cycle de vie (ACV) consiste à analyser systématiquement et à établir un bilan de tous les impacts d'un produit sur l'environnement. L'observation porte alors dans l'idéal sur tout le cycle de vie d'un produit, par conséquent de sa fabrication jusqu'à son élimination, en passant par son utilisation.

Il existe de nombreux écobilans relatifs aux batteries au lithium-ion, mais ils se réfèrent pour la plupart aux batteries équipant des véhicules électriques (Salgado Delgado, 2019). Quelques rares études permettent de juger des effets sur l'environnement des batteries servant au stockage stationnaire d'électricité, dont cinq sont récapitulées ci-après.

Il convient de noter en l'occurrence que la phase d'utilisation des batteries est reproduite différemment. Les pertes de courant dans un cycle de (dé)charge (typiquement inférieures à 10%) sont en partie considérées comme une nuisance grevant l'environnement (flèche inférieure dans l'illustration 8). Cependant, la limite du système est conçue de manière plus large dans certaines études et la charge écologique de l'électricité fournie est également prise en compte (flèche supérieure). Cette disparité se traduit évidemment par des résultats absolus très différents. Si l'on considère également l'impact environnemental de l'électricité fournie, l'écobilan dépend énormément du type d'électricité stockée dans la batterie.

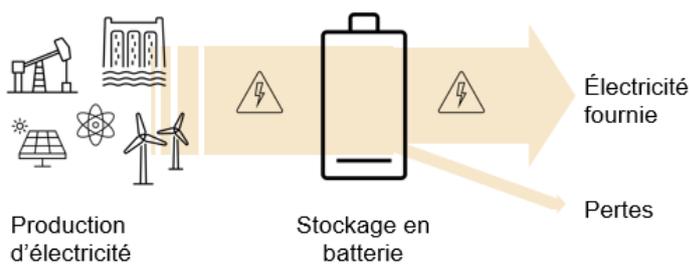


Illustration 8: phase d'utilisation d'une batterie. Alors que certaines études ne considèrent comme charge écologique de la phase d'utilisation que l'impact environnemental des pertes de stockage, d'autres études intègrent également l'impact environnemental du courant fourni.

Étude portant sur un bâtiment de vestiaires de la ville de Zurich: Un écobilan concernant l'installation photovoltaïque, système de stockage compris, planifiée sur un bâtiment de vestiaires d'un club a été calculé dans une étude pour la ville de Zurich (Stadt Zürich, 2018 & Stolz, 2019). Trois batteries au lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC) différentes ont été comparées les unes aux autres à cet effet: une batterie actuelle, une batterie réutilisée provenant de véhicules électriques ainsi qu'une batterie d'avenir dotée d'une densité d'énergie accrue et issue d'une fabrication optimisée d'un point de vue environnemental (Stolz, 2019).

Les effets sur l'environnement englobent la production de la batterie; ils sont considérés par kWh de capacité de stockage ou par an et sont mentionnés sous la forme de gaz à effet de serre, de besoins énergétiques et d'unités de charge écologique (UCE). En ce qui concerne la fabrication par kWh de capacité de stockage, ils atteignent 185 kg éq. CO₂ pour la batterie actuelle, 81 kg pour la batterie réutilisée et 49 kg pour la batterie d'avenir. La batterie actuelle affiche également la nuisance la plus élevée sur l'environnement dans les autres catégories d'impact (Tableau 6). S'agissant de la production de tout le système de batterie, la production de la batterie elle-même représente la plus grande part de la charge écologique totale, sachant que l'électricité utilisée à cette fin pèse le plus (Stadt Zürich, 2018).

Batterie	Charge écologique (en 1'000 UCE)	Énergie primaire renouvelable (kWh équivalent pétrole)	Énergie primaire non renouvelable (kWh équ. pétrole)	Émissions de gaz à effet de serre (kg équ. CO ₂)
Batterie LiNCM actuelle	594	44	896	185
Batterie LiNCM d'avenir	142	65	227	49
Batterie LiNCM d'occasion	231	26	375	81

Tableau 6: impacts environnementaux de la fabrication des batteries par kWh de capacité de stockage [source: Stolz et al. (2019) & Stadt Zürich (2018)]

En plus de l'écobilan de la fabrication des systèmes de batterie, l'écobilan de l'alimentation électrique du bâtiment a été calculé. Les scénarios de comparaison suivants ont été établis: 1. alimentation par le réseau uniquement (sans photovoltaïque ni batterie), 2. photovoltaïque sans batterie ainsi qu'alimentation par le réseau et 3. photovoltaïque, batterie et alimentation par le réseau. La comparaison dépend dans une large mesure de la charge écologique de l'électricité achetée. Si l'on considère le mix de consommation suisse, l'ajout d'une installation photovoltaïque entraîne une faible réduction des émissions de tout juste 2 t équ. CO₂ par an (voir Illustration 9, graphique de gauche). L'adjonction d'une batterie actuelle ne fait pas varier les émissions, tandis que la batterie d'avenir réduit encore un peu les émissions. Si un mix à très faible émission de carbone est admis à des fins de comparaison (plus de 95% issus de la force hydraulique), les émissions se situent pour toutes les variantes à un niveau bien moindre qu'avec le mix de consommation suisse typique (de 1 à 4 au lieu de 12 à 15 t équ. CO₂ par an). L'alimentation par le réseau seule atteignait en l'occurrence une valeur très nettement inférieure à celle des autres variantes (voir Illustration 9, graphique de droite). Si les émissions annuelles de l'installation photovoltaïque et de la batterie par la quantité d'électricité fournie, il en résulte des émissions de gaz à effet de serre d'environ 80 à 100 g équ. CO₂ par kWh fourni (prise en compte de l'électricité fournie et des pertes, courant d'entrée = photovoltaïque uniquement).

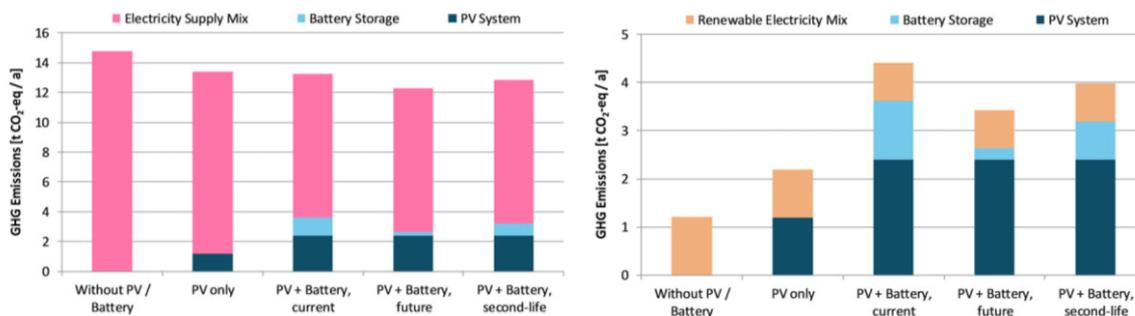


Illustration 9: émissions de gaz à effet de serre de l'alimentation en électricité d'un bâtiment de vestiaires en fonction de l'emploi d'une installation photovoltaïque et de batteries au lithium-ion. Hypothèse quant à l'achat d'électricité: mix de consommation suisse à gauche et mix d'électricité renouvelable dont plus de 95% issus de la force hydraulique à droite [source: Stolz (2019)]

Étude comparative de batteries à aluminium-ion et lithium-ion NMC: Dans une autre étude, la charge écologique de deux batteries stationnaires (aluminium-ion et lithium-ion NMC) a été calculée et comparée (Salgado Delgado, 2019). Lors de la fabrication de la batterie, 2'600 kg équ. CO₂ ont été émis pour la batterie à l'aluminium-ion et 250 kg équ. CO₂ pour la batterie au lithium-ion par kWh de capacité de stockage (Tableau 6). En outre, les valeurs relatives à la toxicité, à l'eutrophisation et à l'épuisement des matières premières fossiles concernant la fabrication des deux types de batterie figurent dans l'annexe de l'étude. Les émissions liées à l'utilisation sont également abordées, mais leur nuisance sur l'environnement n'est pas mentionnée.

Les émissions de gaz à effet de serre par kWh de stockage lors de l'élimination de la batterie sont à peu près vingt fois inférieures s'agissant de la batterie au lithium-ion que pour la batterie à l'aluminium-ion (2 vs 39.5 kg éq. CO₂). En plus de la fabrication, l'élimination n'induit donc qu'une petite part des émissions de gaz à effet de serre (Salgado Delgado, 2019). S'agissant de la catégorie d'impact des gaz à effet de serre, la phase de production de la batterie est toujours la plus importante dans cette étude indépendamment du type de batterie. Un mix électrique moins émetteur de CO₂ lors de la fabrication peut ainsi nettement diminuer les gaz à effet de serre de la batterie (Salgado Delgado, 2019).

Étude comparative de quatre technologies de batteries stationnaires: Une autre étude a examiné les besoins énergétiques cumulatifs et le potentiel de réchauffement global de quatre technologies de batteries stationnaires (lithium-ion, plomb-acide, sodium-soufre et vanadium-oxydoréduction) (Hiremath, 2015). Les quatre technologies ont été analysées dans sept applications différentes et avec trois mixes électriques variés (mix d'Allemagne, mix solaire, mix combiné solaire-éolien). De surcroît, d'autres catégories d'impact ont été calculées en ce qui concerne la batterie au lithium-ion. Les impacts environnementaux de la fabrication et de l'utilisation par MWh d'électricité fournie ont été présentés (sans élimination). S'agissant de la technologie au lithium-ion, il n'a pas été sélectionné qu'une seule chimie de cellules: trois chimies de cellules au lithium-fer-phosphate (LFP), au lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC) et au lithium-oxyde de manganèse (LMO) ont été calculées et des moyennes ont été établies.

Les résultats mettent en évidence que la batterie à oxydoréduction au vanadium et la batterie au lithium se classent le mieux par MWh d'électricité fournie dans la fabrication (voir Illustration 10 graphique de gauche). Si on considère les émissions du courant produit (émissions de la fabrication, de l'électricité stockée et des pertes, Illustration 10 graphique de droite), la batterie au lithium-ion laisse apparaître les émissions les plus faibles. La batterie à oxydoréduction au vanadium obtient des résultats bien plus mauvais en la matière, parce que son rendement de 75% est nettement inférieur à celui de la batterie au lithium-ion (90%), les pertes et leurs émissions étant supérieures de ce fait. L'illustration fait ressortir que les différences relatives entre les batteries sont plutôt faibles avec le mix électrique supposé (mix électrique allemand surtout d'origine fossile), étant donné que les émissions de l'électricité stockée priment dans le bilan.

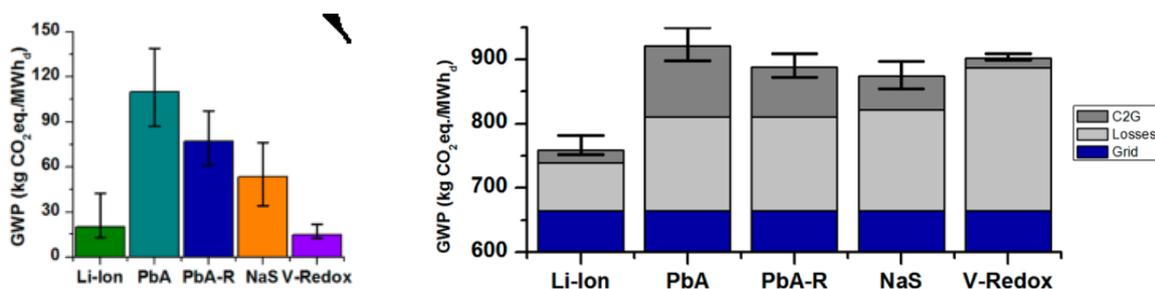


Illustration 10: potentiel de réchauffement global (PRG) des types de batterie au lithium-ion (Li-Ion), au plomb-acide (PbA et PbA-R), au sodium-soufre (NaS) et à oxydoréduction au vanadium (V-rédox) par MWh fourni. À gauche uniquement la fabrication, à droite la fabrication incluant l'utilisation, «C2G» désigne la fabrication, «Losses» les pertes et «Grid» les émissions de l'électricité stockée et fournie [source: Hiremath (2015)]

Si on considère des mixes électriques à plus faible taux d'émission, qui s'apparentent davantage au mix électrique suisse actuel que le mix électrique allemand, les résultats sont différents (voir Illustration 11). Les émissions se situent en général à un niveau nettement plus faible, le classement des batteries reste le même et les émissions de la fabrication jouent un rôle relativement plus important: dans le cas d'un mix éolien-solaire, la plus mauvaise batterie engendre près de 130% d'émissions en plus que la meilleure batterie, alors que ce ne sont que 20% d'émissions en plus s'agissant du mix électrique allemand.

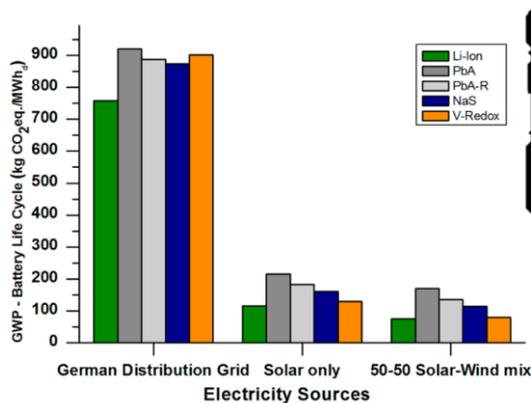


Illustration 11: potentiel de réchauffement global (PRG) de la fabrication et de l'utilisation des types de batterie au lithium-ion (Li-Ion), au plomb-acide (PbA et PbA-R), au sodium-soufre (NaS) et à oxydoréduction au vanadium (V-rédox) par MWh fourni en fonction de l'électricité stockée [source: Hiremath (2015)]

Les autres catégories d'impact ont été réunies pour faire l'objet d'une seule évaluation par la méthode «ReCiPe». Il est alors apparu que notamment 6 des 17 catégories contribuent notablement au nombre total de points: changement climatique et santé humaine, toxicité humaine, formation de particules fines, changement climatique au sein d'écosystèmes, consommation de métaux, consommation de matières premières fossiles.

Étude comparative de trois technologies de batteries stationnaires: Les impacts environnementaux d'une batterie à eau salée ont été calculés dans une autre étude et comparés à ceux d'une batterie au sodium-ion et de deux batteries au lithium-ion (lithium-fer-phosphate à anode en graphite [LFP-C] et lithium-fer-phosphate à anode en lithium-titanate [LFP-LTO]) (Peters & Weil, 2017). La fabrication et l'utilisation ont été alors considérées sans l'élimination. La batterie à eau salée induit environ 1'000 kg éq. CO₂ lors de sa fabrication, la batterie au sodium-ion près de 40% de ces émissions et les deux batteries au lithium-ion 20 à 25% de ce chiffre.

Pour examiner le bilan incluant l'utilisation, deux scénarios d'utilisation ont été considérés: l'utilisation dans des bâtiments résidentiels pour stocker l'électricité issue d'une installation photovoltaïque et l'utilisation dans un système de microréseau avec une installation photovoltaïque et un générateur diesel. Alors que seul le courant d'origine photovoltaïque est stocké dans le premier cas, l'électricité produite par le générateur diesel est emmagasinée dans le second cas. Seule la charge écologique de la fabrication et des pertes est prise en compte dans le bilan, mais non celle de l'électricité fournie.

Au vu des résultats figurant dans l'illustration 12, on constate que la batterie à eau salée intégrée au système de microréseau (graphique de droite) est moins performante que les autres batteries dans chaque catégorie. Cela tient au fait que la batterie possède un rendement faible. S'agissant de l'électricité d'origine diesel, les pertes élevées causent une nuisance affectant beaucoup l'environnement. Dans le cas du bâtiment résidentiel, seule l'électricité d'origine photovoltaïque est stockée. Du fait que celle-ci est plus écologique que le courant produit par le générateur diesel, les pertes élevées de la batterie à eau salée ne s'avèrent pas aussi importantes (illustration à gauche). La batterie à eau salée obtient encore des résultats bien plus mauvais par kWh de capacité de stockage que les batteries servant de comparaison dans la plupart des catégories considérées, mais elle peut rivaliser avec les autres dans les catégories du potentiel d'eutrophisation, de l'acidification et de la toxicité humaine. Les résultats montrent que la batterie au lithium-fer-phosphate à anode en lithium-titanate (LFP-LTO) présente la charge écologique la plus faible dans chaque scénario et dans chaque catégorie d'impact.

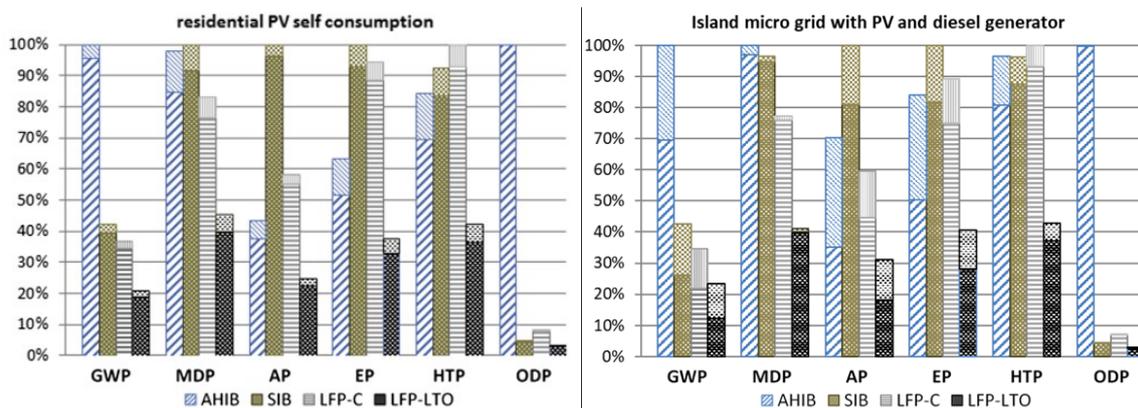


Illustration 12: résultats relatifs du potentiel de réchauffement global (GWP), du potentiel d'épuisement de métaux (MDP), du potentiel d'acidification (AP), du potentiel d'eutrophisation (EP), du potentiel de toxicité humaine (HTP) et du potentiel de destruction de l'ozone (ODP) concernant les types de batterie à eau salée (AHIB), au sodium-ion (SIB), au lithium-fer-phosphate à anode en graphite (LFP-C) et au lithium-fer-phosphate à anode en lithium-titanate (LFP-LTO). Les parties plus sombres des barres reproduisent les impacts induits par la fabrication, les parties claires matérialisant les pertes d'électricité durant l'utilisation [source: Peters & Weil (2017)]²

Étude comparative du courant d'origine photovoltaïque avec et sans stockage batterie: Les impacts environnementaux du courant d'origine photovoltaïque dans des bâtiments d'habitation ont été analysés dans une autre étude et la consommation propre directe a été comparée en l'occurrence à un stockage intermédiaire dans une batterie (Krebs et al. 2020). Il a été admis comme système une installation photovoltaïque de 10 kW_p (au silicium multicristallin), équipée d'une batterie au lithium-ion au choix de 5, 10 ou 20 kWh (lithium-fer-phosphate à anode en graphite (LFP-C)).

Les résultats montrent que le stockage intermédiaire dans une batterie augmente les émissions de gaz à effet de serre de l'approvisionnement en électricité de près de 48% à 63%. Les émissions liées à l'utilisation directe se situent à 54 g éq. CO₂/kWh et en incluant le stockage dans une batterie à 80, 84 et 88 g éq. CO₂/kWh (pour une capacité de 5, 10 et 20 kWh).

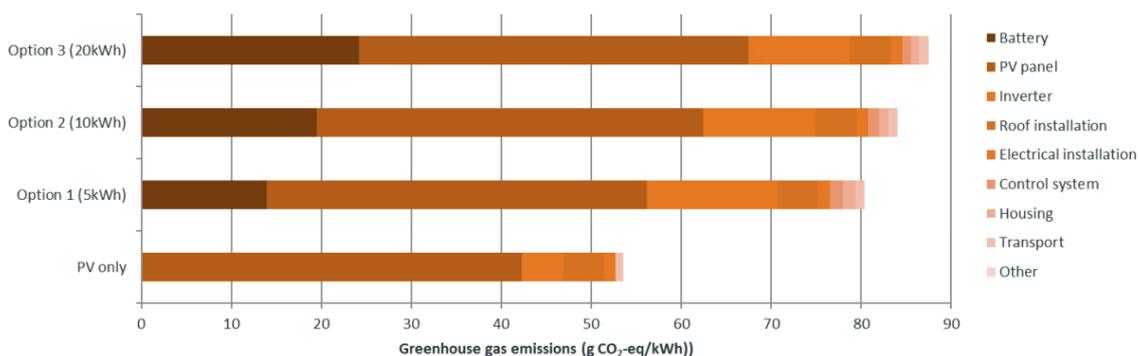


Illustration 13: émissions de gaz à effet de serre du courant d'origine photovoltaïque, si celui-ci est utilisé directement à partir d'une petite installation en toiture «PV seulement» ou stocké provisoirement dans une batterie d'une capacité de 5, 10 ou 20 kWh. [source: Krebs et al. (2020)]

² Les recherches effectuées dans le cadre du présent rapport ont révélé une erreur de calcul dans la catégorie des gaz à effet de serre. Les auteurs de l'article ont mis à disposition des données corrigées et les ont fait parvenir au journal sous la forme d'un rectificatif.

Aperçu des résultats de l'étude: Les résultats des émissions de gaz à effet de serre issus des batteries au lithium-ion ont été rassemblés dans le Tableau 7 de synthèse suivant. Les données de Hiremath sont présentées par kilowattheure fourni et ne sont donc pas comparables avec les autres résultats, lesquels sont indiqués par kWh de capacité. Les trois études mentionnant des données relatives à la fabrication des batteries révèlent des ordres de grandeur semblables pour la fabrication des batteries, compris ainsi entre 185 et 410 kg éq. CO₂ par kWh de capacité. La cinquième étude (Krebs et al. 2020) ne présente aucune valeur applicable uniquement à la fabrication des batteries. Etant donné qu'elle repose cependant sur les mêmes études fondamentales que l'étude de Stolz et al. 2019 pour les données d'inventaire de la batterie et qu'elle a été en partie rédigée par les mêmes auteurs, les données employées applicables à la fabrication des batteries sont vraisemblablement identiques ou tout au moins très semblables.

Toutefois, les données utilisées dans ces cinq études sont probablement périmées. Une méta-étude regroupant 113 études d'écobilan de batteries au lithium-ion a montré que la plupart de ces études ne recueillent pas des données propres, mais qu'elles exploitent les données d'inventaire existantes, issues d'autres études (Peters et al. 2017). La plupart des études se sont fondées directement ou indirectement sur seulement 8 études originales, qui ont été publiées dans les années 2000 à 2014, et elles prennent ainsi pour base l'état de la technologie à cette époque. L'augmentation rapide de l'électromobilité s'est traduite par de nombreux développements technologiques et par une efficacité accrue au cours des années passées, qui ne sont pas reproduits dans ces inventaires. Les données et les méta-études actuelles (provenant du domaine de l'électromobilité et par conséquent sans indication quant à l'utilisation comme batterie stationnaire) sont donc mises en parallèle avec les résultats des trois études citées à titre de comparaison. À supposer par conséquent que la charge écologique de la fabrication soit nettement plus basse, les valeurs de l'impact par kWh de courant fourni seraient aussi bien plus faibles d'autant.

Les valeurs de la phase d'utilisation dépendent énormément du type de courant stocké et de la limite fixée au système (donc si l'on prend en compte dans le bilan uniquement les émissions des pertes ou également les émissions de l'électricité fournie).

Étude	Fabrication	Fabrication et utilisation	Élimination
Hiremath et al. 2015	0,02 kg éq. CO ₂ /kWh <u>fourni</u>	750 g éq. CO ₂ /kWh fourni du mix de consommateurs allemands (incluant l'électricité fournie) 110 g éq. CO ₂ /kWh fourni d'origine photovoltaïque (incluant l'électricité fournie)	non calculée
Stadt Zürich, 2018; Stolz et al., 2019	185 kg éq. CO ₂ /kWh de capacité	80-100 g éq. CO ₂ /kWh fourni d'origine photovoltaïque (incluant l'électricité fournie)	non calculée
Salgado Delgado et al. 2019	250 kg éq. CO ₂ /kWh de capacité	non mentionnées	2 kg éq. CO ₂ /kWh de capacité
Peters & Weil 2017	240-410 kg éq. CO ₂ /kWh de capacité	de 150 à 220 g éq. CO ₂ / kWh fourni d'origine diesel (incluant l'électricité fournie) de 80 à 145 g éq. CO ₂ /kWh fourni d'origine photovoltaïque (incluant l'électricité fournie)	non calculée
Krebs et al. 2020	Pas d'indication	de 80 à 88 g éq. CO ₂ /kWh fournis d'origine photovoltaïque (incluant le courant fourni)	pas clairement définie
Études comparatives actuelles de batteries dédiées à l'électromobilité			
Emilsson & Dahlöf 2019	61-106 kg éq. CO ₂ /kWh de capacité	aucune déclaration	
Aichberger & Jungmaier 2020	120 kg éq. CO ₂ /kWh de capacité	aucune déclaration	

Tableau 7: aperçu des études, de la couverture des trois secteurs de la fabrication, de l'utilisation et de l'élimination ainsi que les résultats des gaz à effet de serre émis par des batteries au lithium-ion

Lacunes

L'élimination n'est abordée que dans l'une des quatre études et n'est rapportée ici que pour les émissions de gaz à effet de serre. Il manque donc une réponse à la question de savoir quels sont les effets induits par l'élimination des batteries dans d'autres catégories d'impacts environnementaux. Dans l'ensemble, la plupart des études se focalisent surtout sur l'analyse des gaz à effet de serre, bien que d'autres nuisances affectant l'environnement seraient également pertinentes. Des signes précurseurs donnent à penser que les charges écologiques telles que la toxicité seraient aussi très significatives (Peters et al. 2017).

La question de savoir comment les données actuelles relatives à la fabrication des batteries se répercutent sur les émissions de gaz à effet de serre du courant fourni reste encore sans réponse.

En outre, des lacunes existent quant à une prise en considération plus large de l'emploi des batteries. S'il est fait usage ainsi de batteries pour ne pas devoir étendre le réseau de distribution d'électricité, la surcharge écologique causée par les batteries est mise en regard du moindre impact dû à l'extension évitée. Si la batterie est «uniquement» utilisée pour accroître la part de consommation propre, il n'est pas certain que la surcharge induite par la batterie soit vraiment compensée par un plus faible impact écologique.

Récapitulatif

Les batteries au lithium-ion recueillent de meilleurs résultats que les batteries au plomb-acide, au sodium-soufre, à oxydoréduction au vanadium et que les batteries à eau salée et au sodium-ion dans les bilans comparatifs.

Les émissions de gaz à effet de serre des batteries stationnaires au lithium-ion sont principalement dues à la fabrication et à l'utilisation. Comparée à la fabrication, l'élimination des batteries n'occasionne qu'une infime part des émissions de gaz à effet de serre. La nuisance liée à la perte d'électricité des cycles de charge et décharge ou, en plus, l'impact de l'électricité fournie sont considérés comme une charge écologique de la phase d'utilisation. Il importe dans les deux cas de savoir quel type d'électricité est stocké et combien de cycles sont admis au cours de la durée de vie.

Il existe un potentiel d'optimisation moyennant l'emploi d'électricité respectueuse de l'environnement lors de la production de la batterie, l'utilisation de batteries meilleures à l'avenir et le recyclage des batteries issues de véhicules électriques.

Sources

- Aichberger, C. & Jungmeier, G. (2020). «Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review» (impacts environnementaux liés au cycle de vie des batteries automobiles sur la base d'une analyse bibliographique) *Energies* 13, n° 23: 6345.
- Emilsson, E., & Dahllöf, L. (2019): «Lithium-Ion Vehicle Battery Production: Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling» (production de batteries automobiles au lithium-ion: état en 2019 quant à la consommation d'énergie, aux émissions de CO₂, à l'utilisation de métaux, à l'empreinte environnementale des produits et au recyclage). Swedish Environmental Research Institute (institut suédois de recherche environnementale).
- Hiremath, M., Derendorf, K., & Vogt, T. (2015). «Comparative life cycle assessment of battery storage systems for stationary applications». *Environmental science & technology*, 49(8), 4825-4833.
- Krebs, L., Frischknecht, R., Stolz, P., & Sinha, P. (2020): «Environmental Life Cycle Assessment of Residential PV and Battery Storage Systems, IEA PVPS Task 12» (évaluation du cycle de vie environnemental de systèmes PV résidentiels et de systèmes de stockage dans des batteries, AIE PVPS), Agence Internationale de l'Énergie (AIE) PVPS tâche 12, rapport T12-17:2020.

- Pellow, M. A., Ambrose, H., Mulvaney, D., Betita, R., & Shaw, S. (2020). «Research gaps in environmental life cycle assessments of lithium ion batteries for grid-scale stationary energy storage systems: End-of-life options and other issues». *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00120.
- Peters, J. F., & Weil, M. (2017). «Aqueous hybrid ion batteries—An environmentally friendly alternative for stationary energy storage?». *Journal of Power Sources*, 364, 258-265.
- Peters, J.F., & Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017): The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review (l'impact environnemental de batteries au Li-ion et le rôle de paramètres clés – Une analyse).
- Salgado Delgado, M. A., Usai, L., Ellingsen, L. A. W., Pan, Q., & Hammer Strømman, A. (2019). «Comparative Life Cycle Assessment of a Novel Al-Ion and a Li-Ion Battery for Stationary Applications». *Materials*, 12(19), 3270.
- Stadt Zürich (2018). «Ökobilanz PV-Anlage und Batterie für das Garderoben- und Clubgebäude in Zürich Höngg – Schlussbericht». Amt für Hochbauten.
- Stolz, P., Frischknecht, R., Kessler, T., & Züger, Y. (2019). «Life cycle assessment of PV-battery systems for a cloakroom and club building in Zurich». *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 27(11), 926-933.

6 Que deviennent les batteries à la fin de leur durée de vie?

Faits

Recyclage en Suisse: en Suisse les dispositions de la loi sur la protection de l'environnement et ainsi le principe du pollueur-payeur s'appliquent sur le fond à l'élimination des batteries. La collecte, le transport et la récupération des batteries sont financés par une taxe d'élimination anticipée (ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, annexe 2.15, ch. 6.1), laquelle est déjà comprise dans le prix de vente. L'acheteur paie donc les coûts d'une élimination respectueuse de l'environnement (collecte, transport et recyclage) au moment de l'acquisition et il peut en contrepartie remettre la batterie à la fin de sa vie sans encourir d'autres coûts. Les importateurs, les fabricants, les distributeurs et les points de vente de batteries sont tenus en conséquence de par la loi de reprendre les batteries gratuitement. La taxe est fixée par la loi à au moins 0,1 et au plus à 7 CHF par kilogramme de batterie. Une taxe de recyclage de 3.20 CHF par kg est prélevée actuellement sur les batteries, telles que celles utilisées à des fins solaires. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) confie le mandat de prélever, de gérer et d'utiliser la taxe d'élimination anticipée à INOBAT Recyclage des piles Suisse. Le recyclage est effectué auprès de l'entreprise Batrec spécialisée en la matière à Wimmis.

En Suisse, ce sont près de 80% des batteries³ classiques qui sont ainsi rapportées (Inobat 2020). Le taux de récupération des batteries au lithium-ion (recyclage de l'année mesuré par rapport aux ventes de la même année) se situait à seulement 20% en 2019 (Inobat 2020). Le fait que ce chiffre soit si bas tient à ce que les ventes ont fortement augmenté comme grandeur de référence au cours des dernières années, que la plupart des batteries ne sont donc pas encore à la fin de leur durée de vie et qu'il est ainsi trop tôt pour qu'elles soient recyclées. Le chiffre sera seulement pertinent lorsque les ventes se seront stabilisées durant quelques années.

Recyclage d'une batterie au lithium-ion: l'illustration 14 montre la procédure de recyclage des batteries au lithium-ion de la société Batrec. En raison des petites quantités et de récipients non normalisés à ce jour, il n'existe encore aucun procédé standardisé applicable au recyclage de plus grandes batteries au lithium-ion (p. ex. anciens accumulateurs solaires, voitures électriques). Le recyclage est donc exécuté encore en partie manuellement. En principe, le recyclage se déroule de la manière suivante: les cellules de batterie sont d'abord complètement déchargées dans l'eau salée et broyées sous l'eau après leur démontage, sachant que l'électrolyte légèrement inflammable est retiré au préalable. La récupération des métaux précieux tels que le nickel et le cobalt est accomplie jusqu'à présent par une entreprise spécialisée (Veolia) en France et elle est réalisée par un traitement hydrométallurgique à l'aide d'acide et de solutions alcalines. Celui-ci est très sélectif et il permet ainsi de récupérer jusqu'à 95% du nickel et du cobalt initialement employés. Toutefois, les métaux recyclés ne présentent pas jusqu'à maintenant la qualité suffisante pour satisfaire les exigences qualitatives élevées des nouvelles batteries (Batrec, 2018 & SRF, 2019).

3 Batteries d'appareils et à usage industriel soumises à une taxe, sans lithium-ion

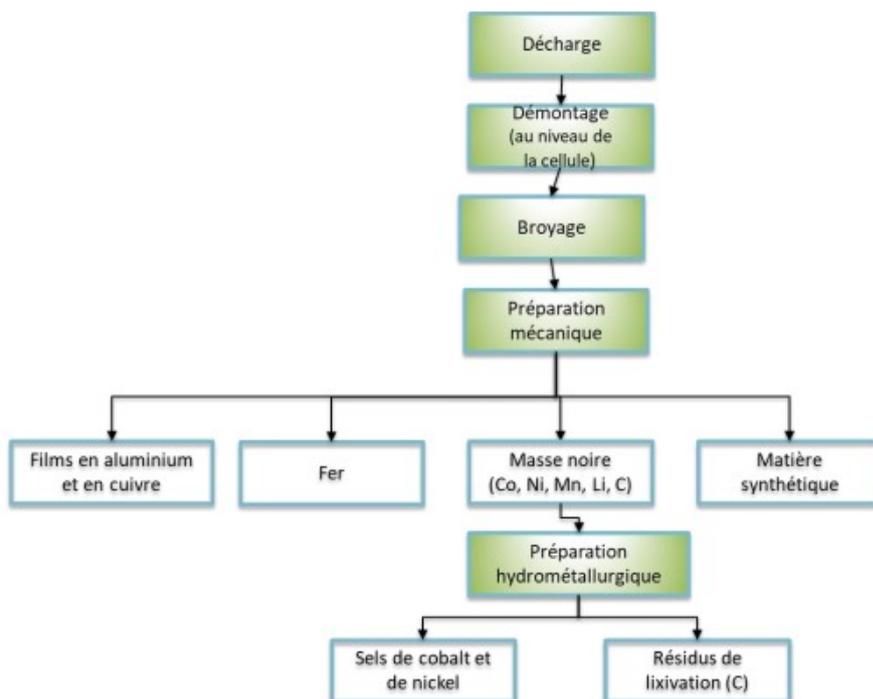


Illustration 14: processus de recyclage des accumulateurs/batteries au lithium-ion chez Batrec/Veolia [source: Batrec (2018)]

La société Kyburz, qui fabrique des véhicules électriques à trois roues destinés à la Suisse et à l'étranger, a développé un nouveau procédé de recyclage pour les batteries de ses véhicules au cours des dernières années avec le soutien de l'Empa et de l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW). En septembre 2020, l'entreprise a mis en service une première installation conçue à cette fin (EE News, 2020). Au cours du nouveau procédé, les batteries au lithium-fer-phosphate (LFP) sont déchargées de manière optimale; les cellules sont désassemblées minutieusement et recyclées avec de l'eau sans employer de produits chimiques. Il est possible ainsi de récupérer 91% des métaux contenus.

Encadré sur la «seconde» vie des batteries

La fin de la durée de vie des batteries au lithium-ion de voitures électriques devrait être atteinte après env. 7 à 10 ans, sachant que les batteries présentent encore ensuite près de 70 à 80% de leur capacité initiale (Institut Fraunhofer, 2020)⁴. Vu que le profil d'exigences des batteries solaires se distingue de celui des véhicules électriques, une ancienne batterie de voiture électrique peut encore servir ensuite de batterie solaire. Les batteries provenant de véhicules électriques peuvent donc avoir une «seconde vie» à une autre fonction. De grands constructeurs automobiles à l'image de VW, Nissan ou Renault ont prévu la seconde existence de la batterie dans leurs stratégies d'électromobilité et ils ont déjà mené à bien quelques projets pilotes dans ce but avec des batteries solaires (SRF, 2019).

⁴ La valeur indicative approximative de 80% a été mentionnée pour la première fois en 1996 dans le document «Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual» (manuel des procédures d'essai de batteries de véhicules électriques) aux États-Unis pour indiquer la fin de la durée de vie des batteries automobiles. Cette valeur est adoptée dans pratiquement toutes les publications jusqu'à aujourd'hui ou elle ne varie que légèrement. Une analyse a révélé qu'une part de 4% des conducteurs ne pouvaient plus effectuer leurs trajets quotidiens aux États-Unis pour une capacité restante de 80% sur une voiture de classe moyenne. En présence de capacités restantes de 70%, 60% et de 50%, cette part s'élevait respectivement à env. 7%, 11% et 17% (Schaufenster Elektromobilität, 2016).

Le principal avantage écologique de la «seconde vie» réside dans le fait que l'énergie grise de la production peut être répartie sur une plus longue durée de vie. Ce faisant, non seulement l'écobilan de la batterie s'améliore, mais les nouveaux besoins de matières premières critiques telles que le nickel, le cobalt et le lithium sont aussi réduits.

Un projet pilote de la Poste Suisse en 2017 a examiné l'emploi de batteries sur des véhicules à trois roues de la poste dûment sélectionnés (Sattler, 2017). L'expérience montre qu'il faut surmonter quelques obstacles techniques pour exploiter les batteries de véhicules électriques comme batteries solaires. Le développement et l'intégration d'un propre système de gestion de batterie (BMS) et d'un onduleur compliquent et renchérissent une réutilisation. Selon Michael Sattler, chef du projet pilote, une solution d'occasion ne peut ainsi guère rivaliser d'un point de vue économique avec les prix en baisse rapide des batteries à l'état neuf. Mais cela tient aussi au fait que de grandes quantités et un processus standardisé font défaut. Pour un emploi économique et fructueux d'anciennes batteries de véhicules électriques, il serait avant tout primordial que cette fonction utilitaire soit déjà prise en considération au cours de leur première vie, c'est-à-dire lors de leur installation dans les voitures électriques.

En raison des ventes croissantes de véhicules électriques, d'anciennes batteries au lithium-ion vont arriver sur le marché dans les prochaines années. Savoir si celles-ci seront ensuite utilisées directement ou recyclées et de quelle manière dépend de très nombreux facteurs tels que les prix des matières premières, l'évolution technologique et les conditions-cadres politiques. Il n'existe actuellement aucun fournisseur en Suisse, proposant des batteries d'occasion aux particuliers.

Un exemple venant de l'étranger indique dans quel sens cette voie pourrait mener. Le fournisseur britannique de batteries solaires Powervault (www.powervault.co.uk) a lancé un projet pilote en 2017 avec Renault, au cours duquel 50 batteries provenant de voitures électriques ont été intégrées au sein de ménages dotés d'installations solaires déjà mises en place. L'entreprise propose désormais des modèles d'occasion sur son site Internet comme variantes écologiques des accumulateurs électriques destinés à des installations solaires.

Lacunes

Il n'y a aucune lacune pour répondre à la question.

Récapitulatif

La législation stipule que les batteries doivent faire l'objet d'une élimination spécifique. L'acheteur paie donc les coûts d'une élimination respectueuse de l'environnement au moment de l'acquisition par le biais d'une taxe anticipée et il peut en contrepartie remettre la batterie à la fin de sa vie sans encourir de coûts supplémentaires. Le taux de récupération actuel des batteries au lithium-ion d'environ 20% n'est pas significatif, vu que la valeur faible est imputable au fait que les ventes ont fortement augmenté comme grandeur de référence ces dernières années, que la plupart des batteries ne sont donc pas encore en fin de durée de vie et qu'il est ainsi trop tôt pour qu'elles soient recyclées.

Il existe déjà des procédés de recyclage permettant de récupérer la majeure partie des métaux existants. Néanmoins, les procédés se trouvent encore au début de leur développement.

Sources

- Batrec (2018). «Le recyclage d'accumulateurs au lithium-ion». Présentation de Dieter Ofenthaler au forum sur les batteries le 31.10.2018
- EE News (2020). «Le constructeur suisse de véhicules électriques Kyburz recycle les accus au lithium-ion à 91%: du mémoire de bachelor au projet pionnier». (<https://www.ee->

[news.ch/de/article/44502/schweizer-elektrofahrzeughersteller-kyburz-rezykliert-lithium-ionen-akkus-zu-91-von-der-bachelorarbeit-zum-pionierprojekt?utm_source=newsletter1195&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter1195](https://www.news.ch/de/article/44502/schweizer-elektrofahrzeughersteller-kyburz-rezykliert-lithium-ionen-akkus-zu-91-von-der-bachelorarbeit-zum-pionierprojekt?utm_source=newsletter1195&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter1195), dernière consultation le 07.10.2020).

- Inobat (2020). «Rapport annuel 2019».
- Institut Fraunhofer (2020). «Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf – Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?» (batteries pour voitures électriques: contrôle des faits et marge de manœuvre – Les batteries pour voitures électriques sont-elles la clé d’une mobilité durable d’avenir?).
- OFEV (2020). «Batteries». (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/guide-des-dechets-a-z/piles.html>), dernière consultation le 07.10.2020).
- Sattler M., Hausammann B., Held M. (2017). Système de stockage d’électricité avec des accumulateurs d’occasion (accus SL). (<https://blog.electrosuisse.ch/second-life-fur-possibler-batterien>), dernière consultation le 07.10.2020). Berne Office fédéral de l’énergie OFEN; 2017.
- Sattler Michael (2020). Communication orale de juillet 2020.
- Schaufenster Elektromobilität (2016). «Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen». (Étude: concepts de seconde vie des batteries au lithium-ion issues de véhicules électriques. Analyse des applications dans le cadre d’une réutilisation, des potentiels économiques et écologiques)
- SRF (2019). Entretien avec M. Offenthaler de Batreco au sujet des batteries au lithium-ion dans les voitures électriques. (<https://www.srf.ch/news/wirtschaft/mobilitaet-im-umbruch-am-ende-bleibt-die-batterie>), dernière consultation le 07.10.2020).

7 Quelle est la structure du secteur en Suisse?

Faits

La structure du secteur a été schématisée dans le cadre d'un atelier d'experts en novembre 2020. Comme pour l'ensemble du rapport, cette analyse se réfère au segment des clients privés, donc typiquement des utilisations dans des maisons individuelles et des immeubles d'habitation de petite taille. Une vue d'ensemble est présentée dans l'illustration 15. Il y a, d'une part, la distribution à trois niveaux par l'intermédiaire des grossistes et des installateurs jusqu'aux clients. Les quelques grossistes sont soit spécialisés sur le marché du solaire, soit viennent du commerce de gros de matériel électrique. Cependant, il existe également, d'autre part, une distribution significative à deux niveaux: bon nombre de grands installateurs importent aussi eux-mêmes des batteries, du moins certains modèles. Les modèles ne peuvent pas tous être importés directement, vu que certains fabricants ne commercialisent leurs produits que par le biais de grossistes.

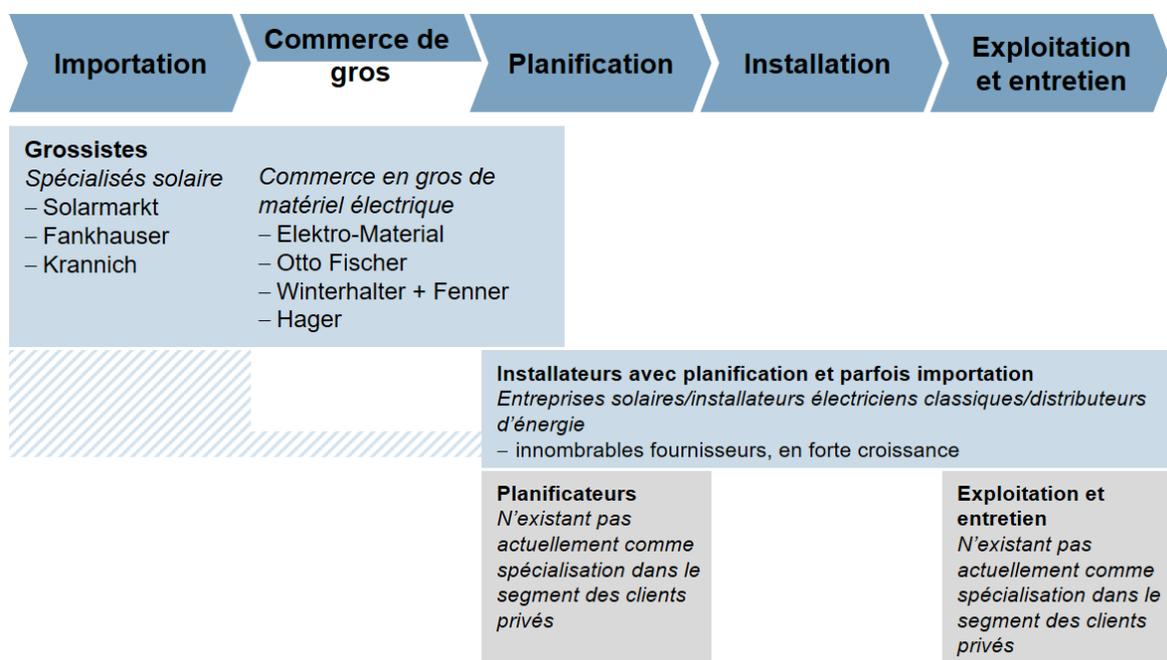


Illustration 15: représentation schématique de la structure du secteur des batteries solaires destinées aux particuliers.

L'assistance en matière d'exploitation et d'entretien est toujours effectuée par les installateurs, et il n'est pas rare que ces prestations soient réalisées dans le cadre d'un abonnement de service après-vente. La supervision et l'entretien constituent des activités trop restreintes pour qu'ils soient proposés par des spécialistes. Dans le segment des clients privés, il n'y a actuellement aucune entreprise qui ne propose qu'une planification, étant donné que de telles installations sont faciles à planifier («uniquement» le dimensionnement).

La structure du secteur des batteries de grande taille, destinées à des constructions entières ou à des clients professionnels présente un autre aspect. La planification existe dans ce segment sous la forme d'une prestation de service individuelle, à laquelle vient s'ajouter la gestion des batteries, par exemple pour générer des revenus supplémentaires.

Lacunes

La structure du secteur est connue dans les grandes lignes. Cependant, aucune donnée n'est disponible par exemple quant au nombre de sociétés proposant des batteries solaires, à la répartition

du marché sur une distribution à deux ou trois niveaux, à la part des batteries vendues par le biais des dix plus grands installateurs ou combien de fois des batteries sont mises en place avec de nouvelles installations (en comparaison avec un rééquipement).

Récapitulatif

La distribution des batteries solaires en Suisse se fait tant à trois niveaux par l'intermédiaire du commerce de gros qu'à deux niveaux directement par le biais des installateurs. L'assistance en matière d'exploitation et d'entretien est toujours effectuée par les installateurs, et il n'est pas rare que ces prestations soient réalisées dans le cadre d'un abonnement de service après-vente. Dans le segment des clients privés, il n'y a actuellement aucune entreprise qui ne propose que la planification, vu la simplicité de planification de telles installations.

Sources

- Atelier d'experts du 24 novembre 2020.

8 Quelle est la demande actuelle de batteries?

Faits

La demande d'accumulateurs servant de batteries solaires a fortement augmenté entre 2015 et 2018. Alors que près de 140 batteries d'une capacité totale de 1'800 kWh étaient encore vendues en 2015, 1'500 batteries d'une capacité totale de plus de 20'000 kWh l'étaient déjà en 2019 (voir Illustration 16 et Illustration 17). Durant toutes ces années, la technologie au lithium-ion a dominé le marché en s'adjugeant une part de plus de 90%. Les batteries au plomb-acide ne jouent encore qu'un moindre rôle.

Le parc total de batteries vendues est estimé fin 2019 à environ 4'900 batteries avec une capacité totale de 51'000 kWh.

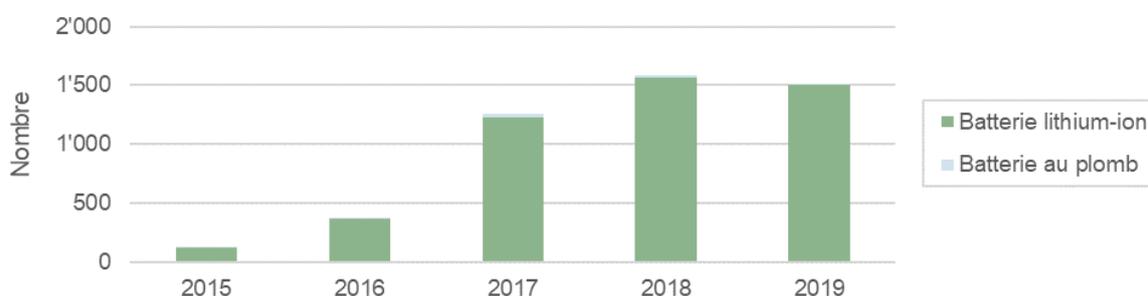


Illustration 16: évolution des batteries vendues par an selon la technologie [source: Swissolar (2015), Swissolar (2016) et OFEN (2017-2019)]

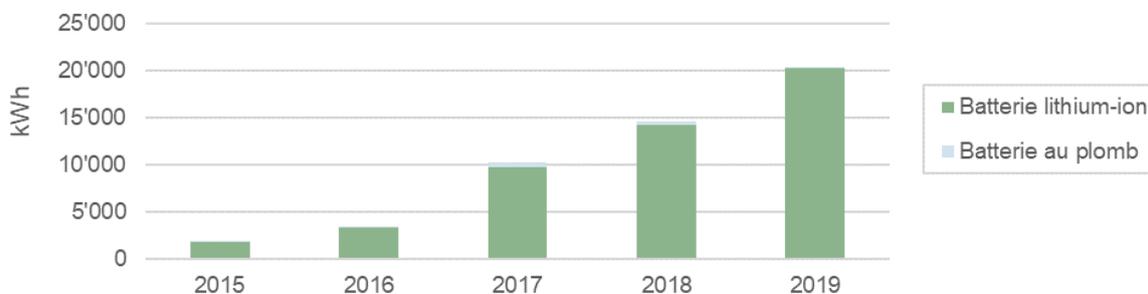


Illustration 17: évolution de la capacité des batteries vendues par an selon la technologie [source: Swissolar (2015), Swissolar (2016) et OFEN (2017-2019)]

La capacité moyenne d'une batterie se situait à près de 13 kWh en 2015, elle a baissé à 8 kWh en 2017 et elle a de nouveau augmenté depuis à 13,5 kWh (voir Illustration 18). Les raisons expliquant cette évolution sont obscures. La capacité moyenne a pu beaucoup dépendre des diverses installations du fait des quantités au cours des deux dernières années. Une grande batterie individuelle de nature professionnelle peut à elle seule tirer énormément la moyenne vers le haut en l'occurrence. L'évolution pourrait également dépendre de la promotion et des prix de l'énergie photovoltaïque ainsi que des tendances y étant associées à la taille typique d'installations photovoltaïques sur des bâtiments résidentiels.

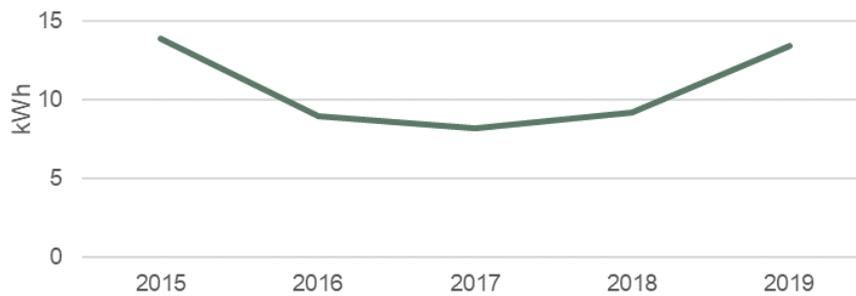


Illustration 18: évolution de la capacité moyenne par batterie vendue (source: Swissolar 2015, Swissolar 2016 et OFEN 2017-2019)

Il a été observé en Allemagne que la capacité installée a augmenté à mesure que les prix des matériaux baissaient. Les auteurs de l'étude correspondante en concluent qu'une barrière «émotionnelle» est dressée à 10'000 euros du côté des clients finaux et que les installateurs proposent des capacités d'autant plus élevées jusqu'à cette barrière que les prix baissent (Figgenger, 2020). Vu que l'évolution des prix en Suisse n'est pas clairement établie, il est impossible de dire si elle a une valeur explicative en Suisse également.

Lacunes

L'évolution du nombre de batteries et de leur capacité est connue. Diverses informations supplémentaires, relatives à la demande ne sont pas recueillies ni/ou publiées actuellement: la répartition sur les chimies des cellules, la répartition des classes de grandeur des batteries (uniquement la moyenne), la répartition sur les installations photovoltaïques existantes ou nouvelles, la répartition sur les types de bâtiments et la répartition géographique.

Récapitulatif

La vente de batteries sous la forme de batteries solaires a quasiment décuplé entre 2015 et 2019. En 2019, à peu près 1'500 batteries ont été installées offrant une capacité totale de plus de 20'000 kWh. Fin 2019, le parc total est estimé à environ 4'900 batteries avec une capacité totale de 51'000 kWh. Représentant plus de 95%, la technologie au lithium-ion est dominante.

Sources

- Figgenger Jan, Stenzel Peter, Kairies Kai-Philipp, Linssen Jochen, Haberschusz David, Wesels Oliver, Angenendt Georg, Robinius Martin, Stolten Detlef, Sauer Dirk Uwe (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review» (le développement de systèmes de stockage de batterie stationnaires en Allemagne – Une enquête sur le marché). Dans: Journal of Energy Storage 29 (2020), 101153.
- OFEN (2017-2019). «Le recensement du marché de l'énergie solaire».
- Swissolar (2015, 2016). «Kurzbericht Elektrische Energiespeicher» (bref rapport sur les accumulateurs d'énergie électrique).

9 Quels sont les prix des batteries solaires?

Faits tirés de la littérature spécialisée

Le prix du système constitue un facteur décisionnel majeur pour l'acquisition de batteries solaires dans les ménages. Les prix des batteries solaires en Suisse (frais d'installation compris) ont été évalués pour la période de 2016-2017 (voir Illustration 19). Quelques offres ont été obtenues à cette fin auprès d'installateurs d'accumulateurs en Suisse. Les données étaient alors difficilement exploitables, vu qu'elles étaient disponibles sous des formes très variées (installations avec ou sans mise en place, avec ou sans installation photovoltaïque soumise à une offre, avec ou sans taxe à la valeur ajoutée, etc.) et qu'elles intégraient ainsi beaucoup d'estimations fournies par des experts. Les prix varient entre 1'000 et 2'500 CHF par kWh de capacité de stockage. Les prix du kWh ont tendance à diminuer à mesure que la capacité de stockage augmente. De grandes différences apparaissent néanmoins même lorsque la capacité de stockage est identique.

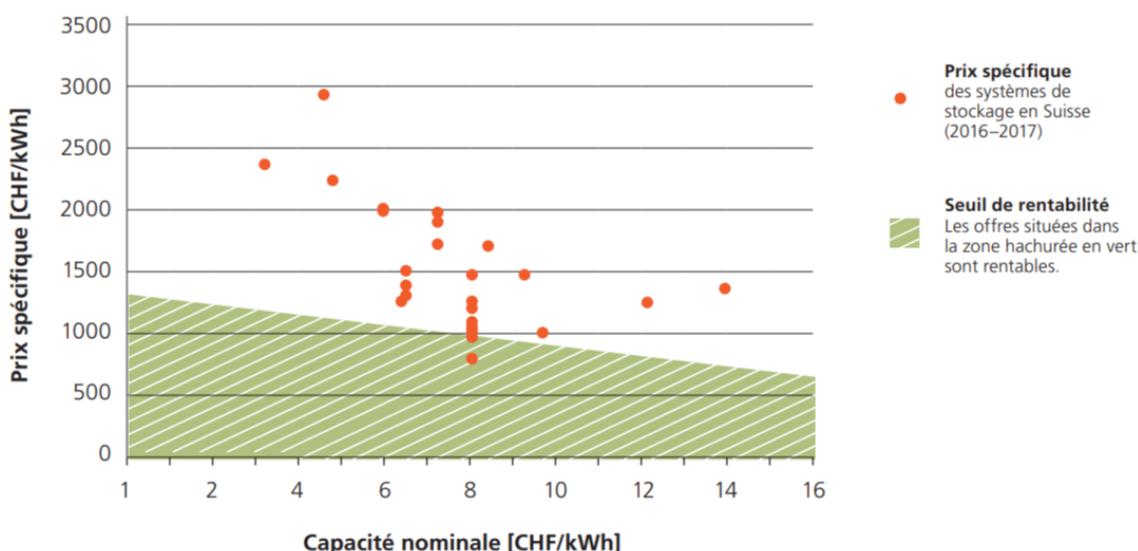


Illustration 19: enquête sur les prix de batteries solaires, frais d'installation compris, en Suisse en 2016-2017 [source: SuisseEnergie (2018)]

Des prix plus actuels peuvent être recueillis dans des enquêtes de marché venant d'Allemagne. Ces prix sont exploitables comme valeurs indicatives de l'évolution générale des prix, étant donné que bien des batteries solaires vendues en Suisse proviennent de fabricants de systèmes internationaux. Une étude de l'école supérieure polytechnique de Rhénanie-du-Nord-Westphalie (RWTH Aachen) et du centre de recherche de Jülich (Figgenger, 2020) a recensé les prix des batteries solaires de 2013 à 2018. En 2018, les prix convertis des systèmes sans mise en place se situaient par kWh entre environ 900 CHF pour de grandes installations dépassant 12 kWh et 1'550 CHF pour de petites installations produisant moins de 6 kWh (Illustration 20).

Contre toute attente, les prix (sans mise en place en 2018) atteignaient en moyenne seulement un niveau légèrement plus bas que les prix estimés en Suisse (mise en place comprise en 2016-2017). Ce résultat a de quoi surprendre puisque les prix d'autres équipements techniques du bâtiment sont souvent nettement plus faibles en Allemagne et que les chiffres allemands n'incluent pas les frais d'installation.

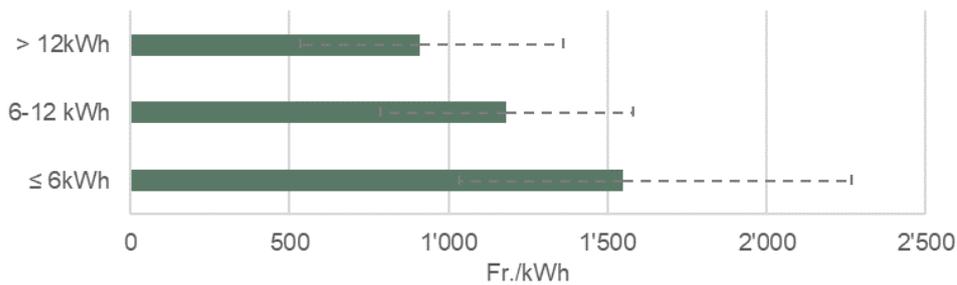


Illustration 20: les prix de batteries solaires payés par les clients finaux allemands en 2018 sans installation (convertis d'euros en francs, déduction de la TVA allemande et TVA suisse en sus) [source des données brutes: Figgenger (2020)]

Méthode de l'enquête

Vu que la seule enquête de la Suisse repose sur une faible quantité de données et que la comparaison avec l'enquête en Allemagne soulève diverses questions, une enquête sur les prix helvétiques a été exécutée dans le cadre de la présente étude.

La base de cette enquête sur les prix consiste en une maison individuelle prédéfinie comme bâtiment de référence. La maison individuelle a été choisie pour servir de bâtiment de référence, parce qu'elle est le cas d'application le plus fréquent d'après les témoignages de divers installateurs en Suisse. L'installation photovoltaïque existante doit être complétée par une batterie dans ce bâtiment de référence. Le bâtiment de référence a été décrit de la manière ci-après.

- Maison individuelle hébergeant une famille de quatre personnes. Surface de référence énergétique de 180 m², l'enveloppe du bâtiment a fait l'objet d'un assainissement énergétique en 2010.
- Consommation annuelle d'électricité: 8'500 kWh destinés au chauffage et à l'eau chaude avec une pompe à chaleur air-eau, consommation restante de 4'000 kWh
- Installation photovoltaïque existante avec des modules orientés vers le sud présentant une puissance de crête installée de 6,5 kW et une production annuelle de 7'250 kWh

Les installateurs ont été priés de soumettre une offre portant sur une batterie sans fonction de secours et une batterie avec une fonction de secours (capable donc de fournir du courant dans le cas d'une coupure de réseau). Aucune capacité de stockage souhaitée n'a été mentionnée: les installateurs ont dû la proposer eux-mêmes.

Au total, 62 installateurs en Suisse alémanique et en Suisse romande ont été interrogés en octobre 2020. Les installateurs ont reçu 150 CHF par offre remplie. En tout, 27 installateurs ont retourné le formulaire d'enquête (voir aussi à ce sujet Tableau 8), sachant qu'un installateur a proposé trois variantes différentes. Il en résulte un échantillon regroupant au total 29 offres de prix d'un système de stockage de batterie.

Région	Nb. de fournisseurs contactés	Retours
Suisse alémanique	50	23 ⁵
Suisse romande	12	4
Total	62	27

Tableau 8: taux de réponse à la demande d'offres

Parmi les installateurs interrogés, 6 ont fait une seule offre de prix pour une batterie solaire sans réserve de secours. Par ailleurs, trois installateurs ont proposé seulement des batteries solaires avec une réserve de secours (voir Tableau 9).

Indication de prix de batteries solaires	Nombre
Seulement une batterie solaire sans réserve de secours	6
Seulement une batterie solaire avec réserve de secours	3
Deux types de batterie solaire	20
Total	29

Tableau 9: nombre d'offres de prix relatives aux batteries solaires respectives

Résultats de l'enquête

La présente section expose les résultats de l'enquête sur les prix. Tant que ce n'est pas explicitement mentionné, tous les prix recueillis sont indiqués hors TVA. L'illustration 21 présente les coûts spécifiques par kWh de capacité des batteries solaires de tailles variées sans réserve de secours. Une tendance se dessine selon laquelle les systèmes de batterie plus grands ramenés au kWh individuel sont proposés à un coût plus avantageux que les plus petits. Toutefois, la dispersion des coûts des batteries solaires de même taille peut s'élever jusqu'à 600 CHF

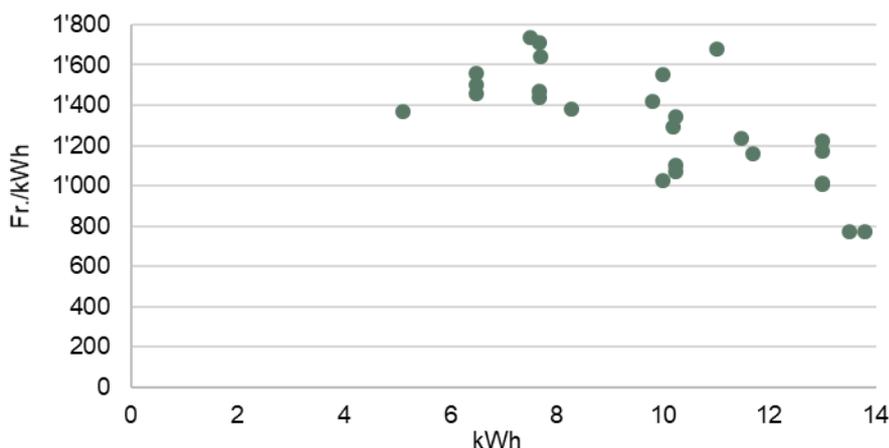


Illustration 21: prix des batteries solaires sans réserve de secours, frais d'installation compris, hors TVA en Suisse [source: EBP (2020)]

⁵ Trois de ces entreprises d'installation exercent des activités tant en Suisse alémanique qu'en Suisse romande.

Fabricants: au total, les batteries solaires de douze fabricants différents ont été proposées. Avec neuf fois, le fabricant BYD a été le fabricant le plus recommandé, suivi par Varta, E3DC et sonnen (voir Illustration 22). Huit fabricants n'ont été proposés qu'une seule fois chacun, dont Huawei, Kostal, RCT, Alpha ESS, Ecocoach, Energy Depot Swiss GmbH, Innovenergy GmbH et Tesla.

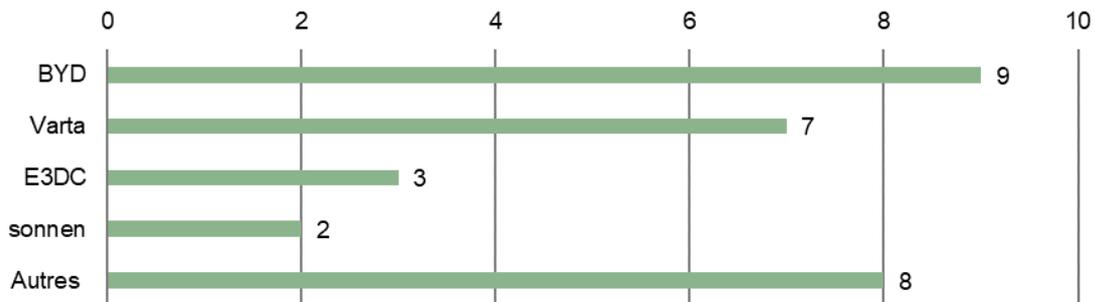


Illustration 22: fréquence d'apparition des fabricants de systèmes de batteries solaires faisant l'objet d'une offre [source: EBP (2020)]

Technologie: 28 batteries proposées sur 29 sont à base de lithium. Un seul installateur a proposé une batterie au chlorure de sodium (sans donner de plus amples spécifications). Ainsi, neuf installateurs ont suggéré des batteries au lithium-fer-phosphate (LFP) et quatre autres des batteries au lithium-nickel-manganèse-cobalt (NMC). Enfin, quinze installateurs ont mentionné qu'ils utiliseraient une technologie au lithium-ion sans autre spécification (voir Illustration 23).

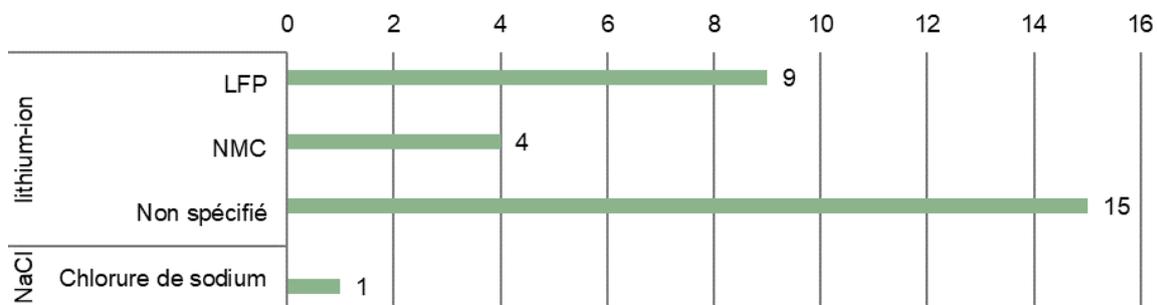


Illustration 23: fréquence d'apparition des technologies faisant l'objet d'une offre [source: EBP (2020)]

Capacité: La capacité des batteries solaires sans réserve de secours faisant l'objet d'une offre varie entre 5.1 et 13.8 kWh. La valeur moyenne s'élève à 9.8 kWh et la valeur médiane à 10.1 kWh. Les 50% centraux des batteries se situent entre 7.7 et 12.0 kWh. Les différents quantiles ainsi que la médiane sont présentés sur l'illustration 24. L'encadré ci-dessous consacré aux *diagrammes de type « boîte à moustaches »* donne une explication sur la façon d'interpréter un tel diagramme.

La marge de fluctuation plutôt grande peut avoir des raisons diverses. D'une part, le dimensionnement n'est pas ordinaire, la taille appropriée dépend non seulement de la consommation, mais également de l'évolution temporelle. Il n'existe qu'un nombre limité d'outils adéquats. D'autre part, la marge de fluctuation indique probablement aussi que certains acheteurs recommandent des variantes plutôt efficaces sur le plan économique et d'autres adoptent une approche plutôt généreuse. Finalement, la marge de fluctuation se caractérise également par les principaux fournisseurs d'un installateur et les modèles disponibles.

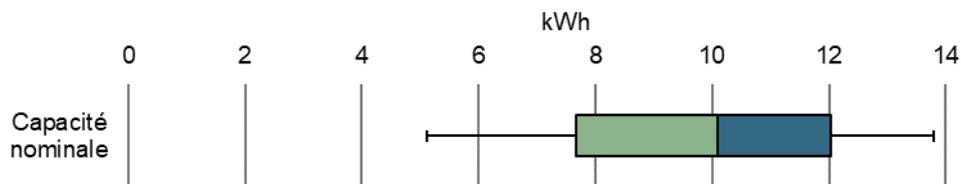
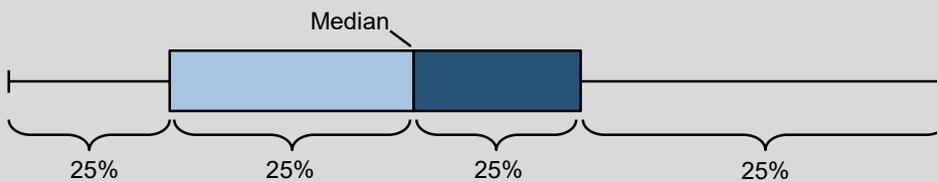


Illustration 24: capacités nominales des batteries solaires sans réserve de secours (n = 26) [source: EBP (2020)]

Diagramme « boîte à moustaches »

Les surfaces au milieu correspondent à la zone où se trouvent les 50% centraux des données. Le trait central équivaut à la valeur médiane. La médiane divise un ensemble de données en deux moitiés: 50% des données sont plus petites que la médiane; 50% des données sont plus grandes que la médiane. La valeur moyenne n'est pas indiquée dans le diagramme, mais elle ne cesse d'être évoquée dans le texte à titre de comparaison. Elle correspond à la moyenne arithmétique de l'ensemble des données; elle résulte donc de la somme de toutes les valeurs divisée par le nombre de valeurs. La moyenne est plus précise que la médiane, mais elle réagit plus fortement aux observations aberrantes. Les «moustaches» (ou antennes) à gauche et à droite des surfaces équivalent respectivement aux 25% inférieurs et supérieurs des données.



Puissance nominale: la puissance la plus faible des batteries solaires sans réserve de secours se situe à 1.8 kVA, tandis que la puissance la plus élevée a une valeur de 13.8 kVA. La moyenne s'élève à 5.4 kVA et la médiane à 5 kVA (voir Illustration 25).

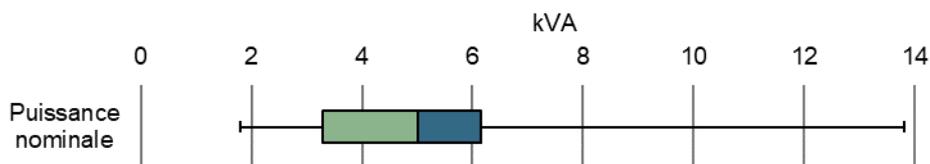


Illustration 25: puissances nominales des batteries solaires sans réserve de secours (n = 25) [source: EBP (2020)]

Prix: les prix par kWh de capacité sont plus onéreux pour des systèmes de batterie d'une capacité inférieure à 10 kWh que pour ceux d'une capacité supérieure à 10 kWh (voir Illustration 26). Les coûts moyens de la catégorie de taille plus petite s'élèvent à 1'480 CHF par kWh, ceux des systèmes plus grands à 1'140 CHF par kWh.

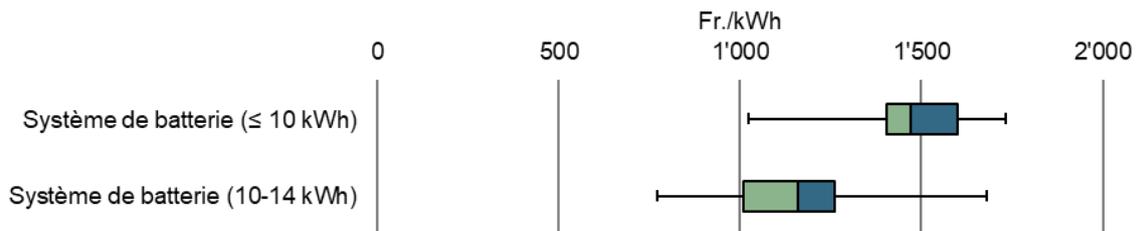


Illustration 26: prix des batteries solaires hors TVA sans réserve de secours (n = 13 [≤ 10 kWh], m = 13 [> 10 kWh]) [source: EBP (2020)]

La réserve de secours accroît le prix des batteries solaires d'une capacité inférieure à 10 kWh de 300 CHF par kWh en moyenne. Cela équivaut à un supplément de prix de 20% en comparaison avec un système sans réserve de secours d'un même ordre de grandeur. Les frais supplémentaires s'élèvent à 250 CHF par kWh, soit une hausse de coûts de 22% pour les batteries d'une capacité de 10 à 14 kWh.

La grande marge de fluctuation du coût des batteries solaires faisant l'objet d'une offre est imputable avant tout aux coûts des matériaux. D'un côté, cette composante des coûts présente la plus grande variance en regard des autres composantes et, de l'autre, elle constitue la majeure partie des coûts totaux. Les batteries solaires d'une capacité supérieure à 10 kWh sont proposées à l'intérieur d'une marge de fluctuation de 577 à 1'381 CHF par kWh. Ces systèmes coûtent en moyenne 953 CHF par kWh. Des batteries solaires plus petites (d'une capacité inférieure à 10 kWh) coûtent en moyenne 1'228 CHF par kWh (voir Illustration 27).

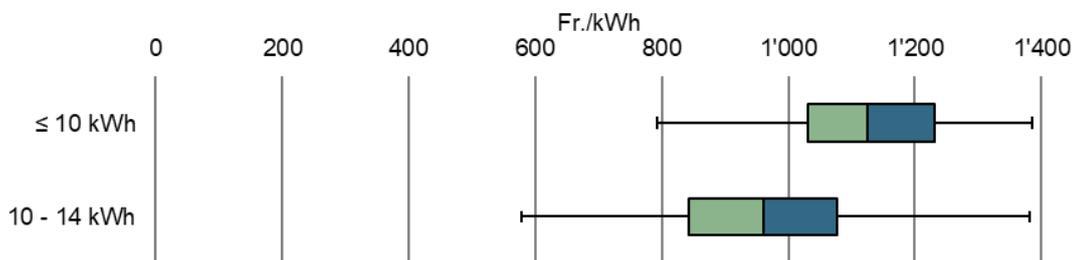


Illustration 27: prix des matériaux (hors TVA) des batteries solaires de tailles différentes sans réserve de secours (n = 13, m = 13) [source: EBP (2020)]

Si les autres composantes des coûts sont considérées, les frais d'installation sont les plus chers avec un prix moyen de 170 CHF par kWh de capacité, avant les tâches administratives (84 CHF par kWh) et les travaux supplémentaires (55 CHF par kWh) (voir Illustration 28). Certains installateurs n'ont facturé aucun frais d'installation. Ces coûts sont couverts vraisemblablement moyennant une marge plus élevée sur les coûts de matériaux.

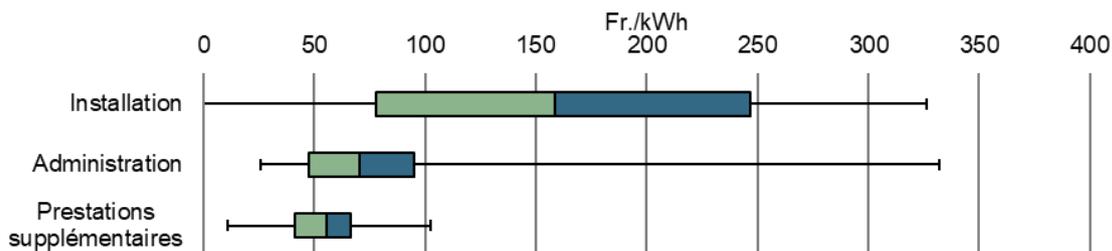


Illustration 28: prix (hors TVA) des composantes de coûts des batteries solaires sans réserve de secours (n = 26) [source: EBP (2020)]

Les matériaux entrent en moyenne pour 72%, l'installation pour 12%, les tâches administratives pour 6% et les travaux supplémentaires pour 4% dans les coûts totaux (voir Illustration 29). Les tâches administratives comprennent par exemple l'avis d'installation adressé au gestionnaire du réseau de distribution ou l'établissement d'une documentation détaillée sur les installations. Les frais de transport et les taxes de recyclage sont regroupés sous les prestations supplémentaires.

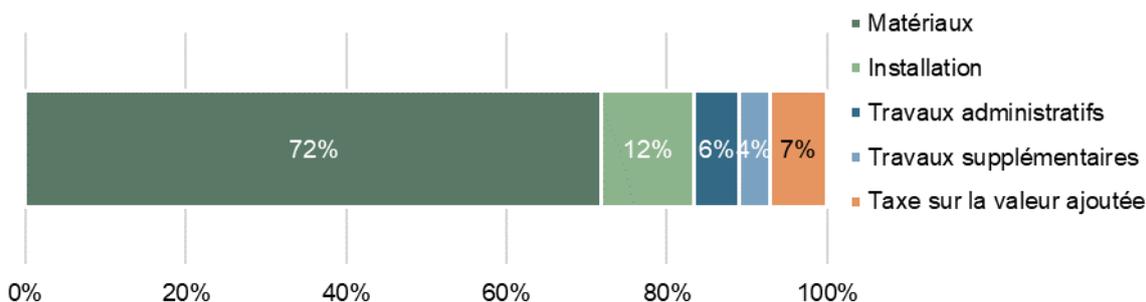


Illustration 29: part relative des coûts ventilés par composants d'une batterie solaire sans réserve de secours, TVA incluse [source: EBP (2020)]

Une comparaison avec l'enquête menée sur les prix des batteries solaires en Suisse dans les années 2016 et 2017 ne peut pas être réalisée de manière sérieuse, étant donné qu'il n'y est nullement mentionné à l'époque si les prix englobent p. ex. l'installation ou non. Si les prix sont rapprochés, ceux-ci se situent actuellement (année 2020) à un niveau aussi haut qu'autrefois, à un niveau un peu plus bas en ce qui concerne les batteries aux capacités élevées. Une comparaison de l'illustration 19 avec l'illustration 21 laisse apparaître que de plus grandes capacités de batterie sont proposées de nos jours par rapport à jadis. Cette évolution correspond aussi à la demande dans toute la Suisse (voir illustration 18 dans le chapitre 8). Il a été observé en Allemagne que la capacité installée a augmenté à mesure que les prix des matériaux baissaient (voir chapitre 8). Les auteurs de l'étude correspondante en concluent qu'une barrière «émotionnelle» est dressée à 10'000 euros du côté des clients finaux et que les installateurs proposent des capacités d'autant plus élevées que les prix baissent jusqu'à cette barrière (Figgenger, 2020).

Les prix payés par les clients finaux en Allemagne (pour l'année 2018 sans frais d'installation) s'inscrivent dans une marge de fluctuation similaire à celle des prix recueillis en Suisse (pour l'année 2020 incluant l'installation). Il semble ainsi que les batteries sont effectivement proposées en Suisse à des prix plus bas (hors TVA) qu'en Allemagne.

Lacunes

Il n'existait aucune donnée actuelle et bien fondée sur les prix en Suisse. Cette lacune a été comblée par une enquête sur les prix concernant le domaine d'application de la maison individuelle.

Récapitulatif

Une enquête sur les prix des batteries solaires en Suisse a mis en lumière qu'un système de batterie sans réserve de secours destiné à une maison individuelle se monte en moyenne à 1'480 CHF par kWh pour des systèmes d'une capacité pouvant atteindre 10 kWh et à 1'140 CHF par kWh pour des systèmes de batterie d'une capacité supérieure à 10 kWh. Une réserve de secours supplémentaire induit un surcoût de près de 20%. Les frais de matériaux représentent la part essentielle avec plus de 72% des coûts totaux d'après les indications des installateurs.

Sources

- Enquête effectuée par EBP en 2020, voir la description susmentionnée.
- Figgner Jan, Stenzel Peter, Kairies Kai-Philipp, Linssen Jochen, Haberschusz David, Wesels Oliver, Angenendt Georg, Robinius Martin, Stolten Detlef, Sauer Dirk Uwe (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review» (le développement de systèmes de stockage de batterie stationnaires en Allemagne – Une enquête sur le marché). Dans: Journal of Energy Storage 29 (2020), 101153.
- SuisseEnergie (2018). «Batteries stationnaires dans les bâtiments»

10 À quelles évolutions de prix faut-il s'attendre à l'avenir?

Faits

Alors qu'il n'y a aucune donnée sur l'évolution des prix jusqu'à présent en Suisse (chapitre 9), les prix des batteries solaires (sans installation) sont documentés de manière détaillée en Allemagne (Illustration 30). Entre les années 2013 et 2018, les prix moyens par kWh des batteries solaires d'une capacité de stockage inférieure à 6 kWh ont baissé de 33% pour atteindre 1'530 €/kWh, d'une capacité de stockage comprise entre 6 et 12 kWh de 50% s'affichant à 1'150 €/kWh et d'une capacité de stockage supérieure à 12 kWh de 46% à 900 €/kWh. La baisse des prix absolue et relative s'avère ainsi la plus grande dans le segment des tailles moyennes des batteries solaires.

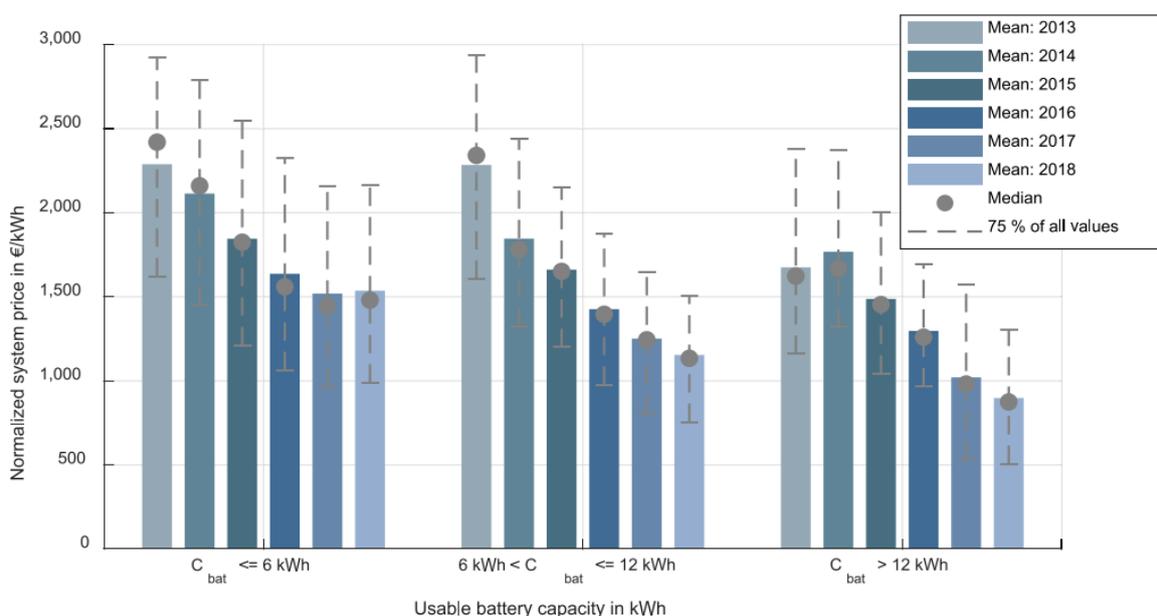


Illustration 30: évolution du prix des batteries solaires au lithium-ion (sans installation) payé par les clients finaux en Allemagne (électronique de puissance et TVA de 19% incluses) [source: Figgenger, (2020)]

Dans la perspective de suivre l'évolution des prix à venir, le Centre commun de recherche de l'Union européenne a comparé diverses prévisions concernant les batteries solaires en 2018 (Illustration 31). Comme il n'a été fait en l'occurrence aucune distinction entre les prix payés par les clients finaux et les coûts de production, les chiffres absolus des différentes sources ne sont pas comparables. L'analyse montre cependant que de fortes baisses de coûts et de prix sont présumées dans les prochaines années. Pour cerner l'évolution des prix payés par les clients finaux, les prix maximaux découlant des prévisions de Schmidt et al. (2017) (en rose) peuvent servir de point de repère, puisque ceux-ci se rapprochent des prix payés par les clients finaux en 2020 extraits de l'illustration 30 et présentent en même temps la plus faible érosion des prix en pourcentage parmi les sources de données présentées. En conséquence, le tassement des prix payés par les clients finaux au titre des matériaux atteint près de 30% en 2025 et environ 40% en 2030 par rapport à aujourd'hui.

En Suisse, les matériaux constituent de nos jours une part de bien 70% du prix payé par les clients finaux, installation comprise (voir Illustration 29). À supposer que les prix de l'installation et de l'administration restent constants, il en résulte que le prix incluant l'installation est réduit de 30% entre 2020 et 2030, soit des prix payés par les clients finaux d'env. 800 CHF/kWh pour des batteries de 10 à 14 kWh et d'env. 1'050 CHF/kWh pour des batteries en dessous de 10 kWh (déduits des prix figurant dans l'illustration 26).

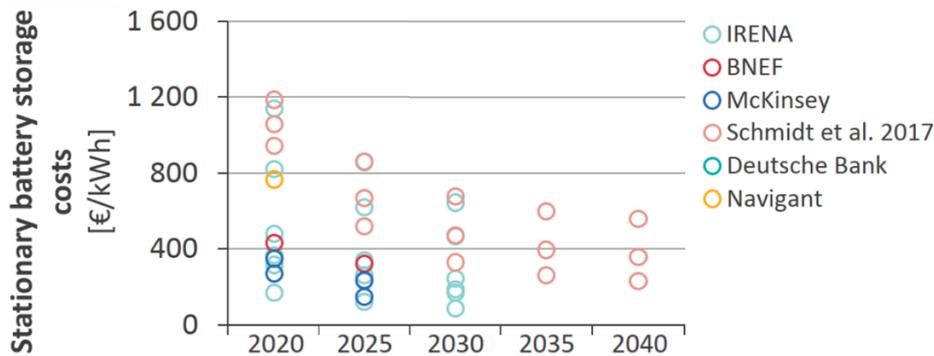


Illustration 31: comparaison des différentes prévisions de coût des batteries solaires sans installation, reposant sur des données bibliographiques (remarque: les estimations de l'IRENA recouvrent toutes les compositions chimiques des batteries au lithium-ion) [source: adaptation de Tsiropoulos, (2020)]

La baisse des prix des batteries solaires est imputable à divers potentiels quant à la réduction des coûts et à l'amélioration de l'efficacité tout au long de la chaîne de création de valeur. L'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) a ventilé plus précisément ces potentiels en 2017 (Illustration 32). Il est tablé en l'occurrence sur une baisse des coûts de production de près de 62% de 2016 à 2030 (d'environ 580 €/kWh à 220 €/kWh).

Par suite, de grandes réductions de coût sont attendues en ce qui concerne les cathodes. Des développements très prometteurs sont observés visant une utilisation plus efficace des matériaux, des matériaux moins chers ainsi que des efficacités de charge/décharge et des durées de vie améliorées. D'autres matériaux utilisés pour relier et assembler les cellules, les modules et les blocs donnent lieu également à d'énormes réductions de prix. La densité d'énergie supérieure par bloc de batterie et les «effets d'échelle» induits par l'utilisation et la production croissantes de batteries contribueront à cette évolution. Tandis que les coûts de la main d'œuvre («Labor») dépendent beaucoup du site de production, il est prévu que la tendance à une automatisation renforcée de la production aboutisse à un moindre déploiement de personnel. De surcroît, les plus grandes quantités entraîneront une répartition plus large des frais d'administration et de main d'œuvre («Overhead»).

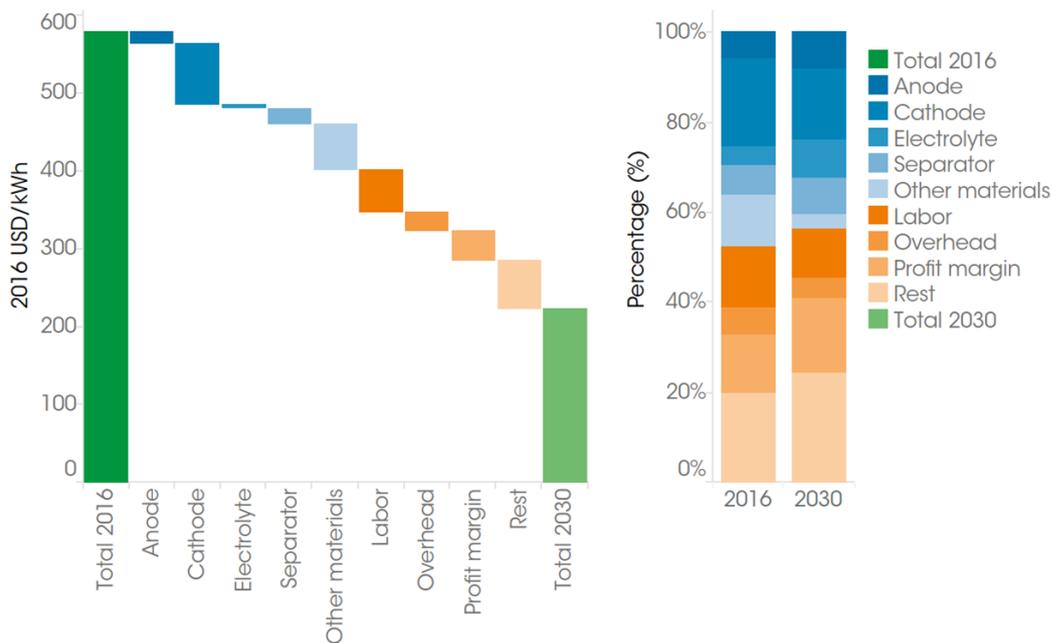


Illustration 32: potentiels de réduction des éléments de coûts des batteries solaires au lithium-ion présentant une composition chimique LFP [source: IRENA (2017)]

Les prévisions de coûts ont été débattues dans le cadre d'un atelier d'experts en novembre 2020. Certains participants font remarquer que de fortes baisses de prix sont annoncées depuis longtemps déjà, lesquelles ne sont pas encore concrétisées en Suisse jusqu'à présent. D'autres participants étayaient les prévisions des études internationales en se référant à la forte croissance prévisible de l'électromobilité. En outre, il a été signalé qu'il fallait prendre en considération dans le cas des batteries solaires que des compressions de coûts sont réalisables du fait de la réutilisation de batteries automobiles (voir la «seconde» vie des batteries au chapitre 6).

Lacunes

Il n'existe actuellement que des prévisions internationales quant à l'évolution des coûts de stockage (sans frais d'installation) et aucune prédiction suisse spécifique.

Récapitulatif

Les experts s'attendent au niveau international à ce que les prix des systèmes baissent de 40% d'ici 2030 par rapport à 2020. Ces diminutions de prix peuvent être attribuées aux réductions de coûts et aux améliorations de l'efficacité tout au long de la chaîne de création de valeur des batteries. Cela va se traduire par un tassement du prix payé par le client final incluant l'installation de près de 30% entre 2020 et 2030. Il en découlerait donc des prix payés par les clients finaux d'env. 800 CHF/kWh pour des batteries de 10 à 14 kWh et d'env. 1'050 CHF/kWh pour des batteries en dessous de 10 kWh.

Sources

- Figgenger J., Stenzel P., Kairies K.-P., Linssen J., Haberschusz D., Wessels O., Angenendt G., Robinius M., Stolten D., Sauer D. U. (2020). «The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review» (le développement de systèmes de stockage de batterie stationnaires en Allemagne – Une enquête sur le marché). Dans: Journal of Energy Storage 29 (2020), 101153.
- IRENA (2017). «Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030». (stockage de l'énergie et énergies renouvelables: coûts et marchés à l'horizon 2030) Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (agence internationale pour les énergies renouvelables).
- Tsiropoulos I., Tarvydas D., Lebedeva N. (2018). «Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth» (batteries au lithium-ion destinées à la mobilité et à des applications de stockage stationnaires – scénarios de coûts et de croissance du marché). EUR 29440 EN. Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne, JRC113360.

11 Quelle est la rentabilité des batteries?

Faits tirés de la littérature spécialisée

Une étude de la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse (FHNW) a abordé la question de savoir si l'acquisition d'une batterie solaire s'avère financièrement judicieuse (Roth, 2018). Le profil de charge réel mesuré d'un ménage a été utilisé afin de répondre à cette question. Les besoins annuels en électricité s'élèvent à 4'773 kWh. Ils correspondent à un logement de quatre pièces sans pompe à chaleur (EiCom, 2019). Une installation photovoltaïque d'une puissance nominale de 5.8 kW complète le tout. Les autres hypothèses figurent dans le Tableau 10.

Variable	Hypothèse
Besoins en électricité	4'773 kWh/a
Puissance de l'installation photovoltaïque	5.79 kW
Tarif haut / Tarif bas du courant acheté	17 ct/kWh / 13.1 ct/kWh
Tarif haut / Tarif bas du courant réinjecté	7.7 ct./kWh / 6.25 ct./kWh
Coût du photovoltaïque actuel / futur	2'200 CHF/kWp / 800 CHF/kWp
Subvention actuelle / future	30% / 0% des frais d'investissement
Coût de la batterie actuel / futur	700 CHF/kWh / 100 CHF/kWh
Intérêt	Non mentionné

Tableau 10: hypothèses établies dans l'étude quant à la demande et à la production d'électricité ainsi qu'aux coûts (Roth, 2018).

L'étude a examiné une vaste gamme de capacités de batterie possibles. La consommation propre (part de l'électricité produite consommée directement sur place) et le degré d'auto-alimentation (part de l'électricité produite dans la demande générale d'électricité du ménage) augmentent énormément jusqu'à une capacité de batterie d'env. 15 kWh. Dans cet ordre de grandeur, on obtient avant tout un déplacement de la production d'électricité quotidienne. Ce n'est qu'à partir d'une capacité de stockage d'env. 300 kWh que le courant peut être stocké sur plusieurs semaines et mois (stockage saisonnier), augmentant de ce fait l'effet de la capacité supplémentaire sur l'autonomie. Un accroissement de la capacité dans la plage intermédiaire n'a qu'un faible impact. Afin d'assurer un approvisionnement en électricité en complète autarcie, il faudrait une batterie d'une capacité de 1'291 kWh (pesant env. 8 tonnes) dans le ménage pris pour exemple.

Pour déterminer une taille de batterie optimisée d'un point de vue économique, les coûts moyens de revient de l'électricité ont été calculés en fonction de la taille de la batterie. Les coûts de l'installation photovoltaïque, du stockage par batterie ainsi que les coûts d'achat de l'électricité y sont alors inclus. Les revenus tirés de la réinjection d'une partie du courant dans le réseau public ont été déduits des coûts. L'illustration 33 montre que les coûts de revient de l'électricité avec un stockage par batterie sont plus élevés que l'achat de courant prélevé du réseau uniquement et qu'un investissement dans une batterie solaire n'est donc pas rentable dans les conditions actuelles.

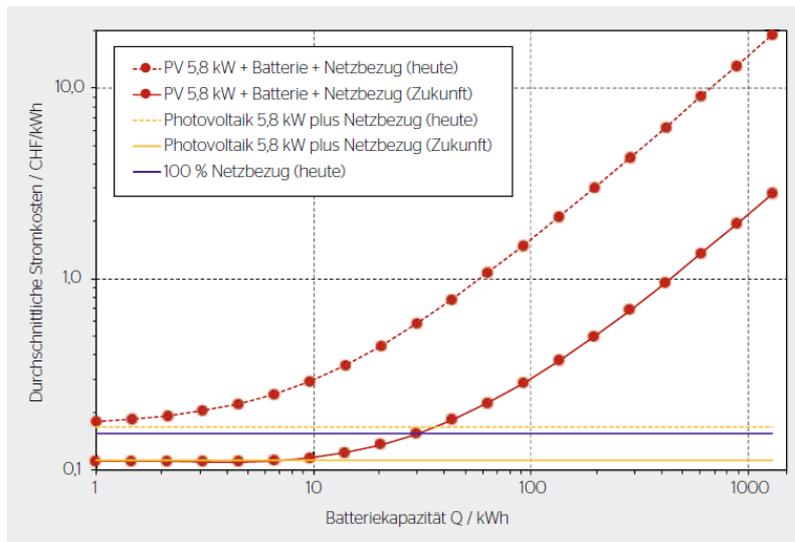


Illustration 33: coûts moyens de revient de l'électricité aux prix actuels et futurs, en fonction de la capacité de la batterie [source: Roth (2018)]

On part du principe, au niveau international, que les prix des batteries solaires vont baisser (voir aussi chapitre 10). Les coûts de revient de l'électricité sont donc également calculés dans l'étude, tels qu'ils résulteraient d'une nette réduction des prix (pour l'installation photovoltaïque 800 CHF/kWp au lieu de 2'200 CHF/kWp et pour la batterie 100 CHF/kWh au lieu de 700 CHF/kWh, voir aussi Tableau 10). Ces hypothèses mènent à des coûts moyens de revient de l'électricité plus bas et elles font qu'une petite batterie peut se révéler tout juste rentable pour des coûts d'achat sur le réseau restant constants (les coûts de revient de l'électricité avec une batterie jusqu'à env. 5 kWh sont un peu plus faibles que sans batterie, voir Illustration 33).

Les hypothèses émises peuvent être qualifiées de trop optimistes. Les prix actuels des batteries solaires en Suisse sont ainsi nettement plus élevés que ceux supposés dans l'étude (voir chapitre 9). Même l'hypothèse des prix à venir ne correspond pas aux prévisions évaluées dans le chapitre 10.

Bien que les batteries solaires ne soient pas rentables de nos jours, la demande ne cesse d'augmenter en Suisse (voir chapitre 8). L'illustration 33 laisse apparaître que des accumulateurs de batterie plus petits jusqu'à env. 10 kWh ne renchérissent pas trop les coûts de revient de l'électricité. Des batteries sont surtout vendues aujourd'hui dans ce domaine. D'autres motifs décisionnels prévalent en l'occurrence sur la rentabilité (voir aussi chapitre 12).

Fondements des calculs de rentabilité

Pour pouvoir démontrer à quel point la rentabilité dépend de quels facteurs, la rentabilité de différentes variantes a été comparée dans le cadre de la présente étude de marché. Les diverses modalités figurent dans le Tableau 11. Une distinction a été faite entre la demande annuelle d'électricité d'une maison individuelle d'une part et d'un immeuble d'habitation d'autre part. La demande d'électricité repose sur la densité d'occupation moyenne de trois personnes dans la maison individuelle et de deux personnes par logement dans l'immeuble d'habitation, sachant que l'immeuble collectif est constitué de six logements en valeur médiane (OFS, 2019). La consommation annuelle a été présumée comme étant de 5'630 kWh et 19'920 kWh pour respectivement la maison individuelle et l'immeuble d'habitation (Nipkow, 2013). Dans certaines variantes, la partie consacrée à la demande a été complétée d'une pompe à chaleur et/ou d'une voiture électrique (OFS, 2019 & EBP, 2018). On part du principe que le véhicule électrique charge le courant à raison de 48% au domicile (Nicholas, 2020). De plus, deux tailles d'installations solaires et de batteries solaires ont été respecti-

vement différenciées pour la maison individuelle et l'immeuble d'habitation (OFEN, 2019). Les capacités de stockage des batteries sélectionnées se fondent sur les connaissances acquises dans le chapitre 9. Il en découle 32 variantes comparables.

Type de bâtiment	Maison individuelle	Immeuble d'habitation
Installation photovoltaïque	Petite (6 kWp) Grande (11 kWp)	Petite (14 kWp) Grande (26 kWp)
Capacité de stockage de la batterie exploitable	Petite (4 kWh) Grande (10 kWh)	Petite (10 kWh) Grande (20 kWh)
Demande d'électricité	5'630 kWh par an	19'920 kWh par an
+pompe à chaleur	+5'940 kWh par an	+16'254 kWh par an
+électromobilité	+3'547 kWh par an	+16'554 kWh par an

Tableau 11: au total, 32 combinaisons résultent des différents profils de consommation de courant, de l'installation PV et de la taille des batteries (capacité exploitable).

Pour représenter la sensibilité de la rentabilité à des facteurs majeurs, les frais d'investissement, les tarifs de l'électricité et les tarifs de réinjection ont été soumis à des variations (voir Tableau 12). La moyenne suisse a été choisie autant que possible pour servir d'hypothèses standards.

Catégorie	Hypothèse standard	Source de l'hypothèse standard	Sensibilité
Coût d'une batterie grande /petite	1'480 CHF/kWh / 1'140 CHF/kWh	voir chapitre 9	+/-30%
Frais d'exploitation de la batterie	1% des frais d'investissement/an	Swissolar, 2016	Aucun
Tarif de l'électricité	20 ct./kWh	EICom, 2019	+/-5 ct./kWh
Tarif du courant réinjecté	9 ct./kWh	VESE, 2019	+/-3 ct./kWh
Intérêt (coût moyen pondéré du capital ou CMPC)	2.5%	OFEN, 2020	+/-2.5%

Tableau 12: hypothèses standards du calcul de la rentabilité, leurs sources et les sensibilités

La part respective de la consommation propre pouvant être atteinte par l'installation photovoltaïque et la capacité de stockage suivant la puissance installée a été évaluée par le calculateur d'autonomie de la HTW de Berlin (Weniger, 2012; voir Illustration 34).

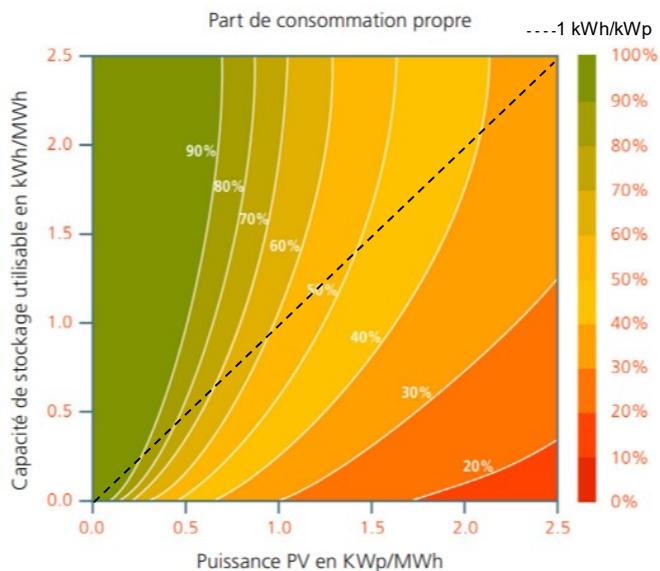


Illustration 34: la part de la consommation propre est calculée au moyen de la puissance photovoltaïque et de la capacité de stockage. Cette évaluation sert de base au calcul de la rentabilité des batteries présenté dans le présent rapport.

Résultats des calculs de rentabilité

La valeur actuelle nette de la batterie solaire a été calculée pour les 32 combinaisons. L'évaluation a donc porté non pas sur la rentabilité de la combinaison photovoltaïque-batterie, mais seulement sur la rentabilité de l'investissement supplémentaire dans une batterie. Compte tenu des hypothèses standards, celle-ci se situe entre -28'000 CHF et -7'000 CHF (voir Illustration 35). Par conséquent, l'investissement dans un système de stockage par batterie n'est rentable de nos jours ni pour une maison individuelle ni pour un immeuble d'habitation. La «meilleure combinaison» consiste en une grande installation photovoltaïque existante, une batterie solaire de petite taille et une consommation d'électricité élevée par une pompe à chaleur et une voiture électrique. La rentabilité de la maison individuelle est moins négative en chiffres absolus, étant donné qu'une batterie plus petite est employée et les frais d'investissement se situent ainsi à un plus faible niveau. Si les deux types de bâtiment sont comparés en termes relatifs sous la forme des coûts supplémentaires par kilowattheure, la rentabilité de l'immeuble d'habitation est alors moins négative (Illustration 36). Les frais d'électricité supplémentaires les plus bas se montent à 3.1 ct. par kWh dans le cas de la maison individuelle et à 1.6 ct. par kWh dans le cas de l'immeuble d'habitation pour des hypothèses standards.

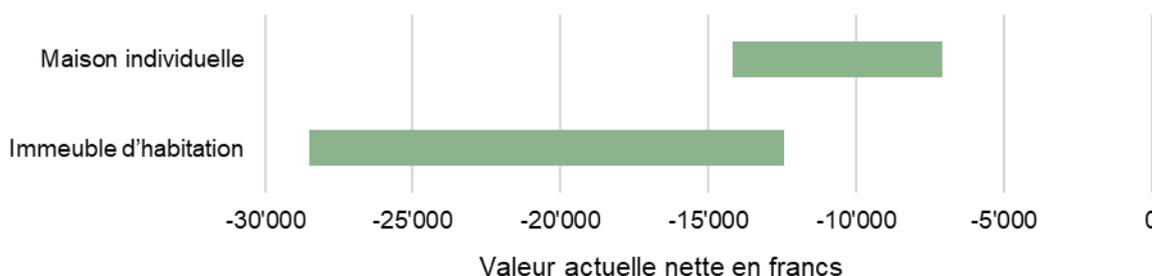


Illustration 35: rentabilité de toutes les combinaisons avec des hypothèses standards. La valeur à droite de la barre correspond à la «meilleure combinaison» (voir texte), la valeur à gauche à la «plus mauvaise combinaison»

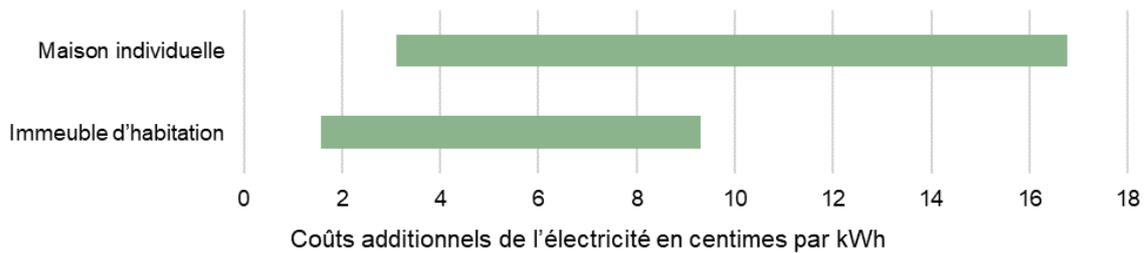


Illustration 36: rentabilité de toutes les combinaisons avec des hypothèses standards: frais supplémentaires par kWh de courant consommé. La valeur à droite de la barre correspond à la «meilleure combinaison» (voir texte), la valeur à gauche à la «plus mauvaise combinaison»

La sensibilité de la rentabilité aux variations d'après le Tableau 12 est présentée dans l'illustration 37. Les évaluations montrent que les batteries s'avèrent comme prévu d'une moins mauvaise rentabilité lorsque les tarifs d'électricité à payer sont élevés, les tarifs de réinjection sont bas, les frais d'investissement sont faibles et le retour sur investissement escompté est maigre. Les frais d'investissement exercent l'influence la plus forte: une réduction de 30% induit une augmentation de la valeur actuelle nette d'env. 35%. Même la combinaison des hypothèses les plus avantageuses de chaque facteur aboutit encore à une rentabilité négative.

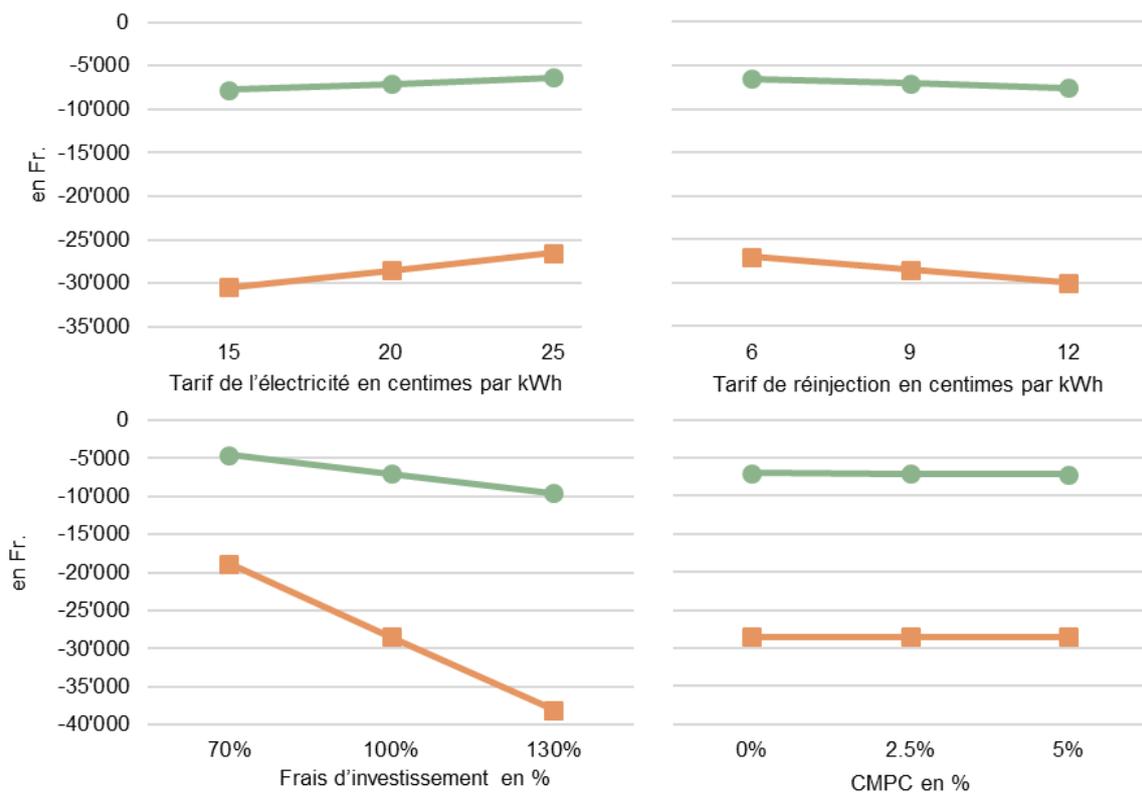


Illustration 37: rentabilité d'une batterie en fonction du tarif d'électricité (en haut à gauche), du tarif de réinjection (en haut à droite), des frais d'investissement (en bas à gauche) et de la rémunération du capital (en bas à droite). Il est indiqué en vert respectivement le meilleur cas (grande installation photovoltaïque, petit accumulateur), en orange respectivement le pire cas (petite installation photovoltaïque, grand accumulateur)

Lacunes

Il n'existe aucune lacune notable. Il est clairement établi que la rentabilité n'est pas assurée et de quels facteurs elle dépend.

Récapitulatif

L'investissement dans une batterie solaire est loin d'être rentable. La situation initiale présentant la moins mauvaise rentabilité est présentée par une maison individuelle avec une grande installation photovoltaïque existante, une petite batterie et une consommation élevée de courant due à une pompe à chaleur et à une voiture électrique. En outre, les analyses de sensibilité montrent que les batteries s'avèrent comme prévu d'une moins mauvaise rentabilité lorsque les tarifs d'électricité à payer sont élevés, les tarifs de réinjection sont bas, les frais d'investissement sont faibles et le retour sur investissement escompté est maigre. Les frais d'investissement exercent l'influence la plus forte. Il faudrait les réduire pratiquement de moitié pour garantir la rentabilité dans le cas d'un retour sur investissement et de tarifs optimaux.

Sources

- Bucher Christof (2014). «Eigenverbrauch mit Photovoltaikanlagen» (l'autoconsommation avec des installations photovoltaïques). Basler & Hofmann.
- EBP (2018). Séminaire sur la pratique énergétique.
- EBP (2020). Communication interne.
- ECom (2019). «Légère hausse des prix de l'électricité en 2020».
- ECom (2019). «Profils de consommation de ménages typiques». (<https://www.prix-electricite.elcom.admin.ch>).
- HTW Berlin. o. J. «Unabhängigkeitsrechner». (calculateur d'autonomie). (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>, dernière consultation le 17.11.2020).
- Nicholas, Michael (2020). «Regional Charging Infrastructure Requirements in Germany through 2030» (exigences régionales en matière d'infrastructures de recharge jusqu'en 2030). 35.
- Nipkow Jürg (2013). «Der typische Haushalt-Stromverbrauch» (la consommation d'électricité typique d'un ménage). S.A.F.E, 9.
- OFEN et Swissolar (2019). «Enquête sur le marché de l'énergie solaire en 2018».
- OFEN (2020). «Le DETEC fixe le coût moyen pondéré du capital, applicable au réseau électrique pour l'année tarifaire 2021». Communiqué de presse.
- OFS et ARE (2017). «Microrecensement mobilité et transports (MRMT)».
- OFS (2019). «Statistiques des bâtiments et des logements.»
- OFS (2019). «Parc des véhicules routiers (MFZ)».
- Roth Stefan (2019). «Mehr Eigenverbrauch mit Batteriespeichern?» (une autoconsommation accrue par des batteries de stockage?) Dossier sur les énergies renouvelables (octobre).
- SuisseEnergie (2018). «Batteries stationnaires dans les bâtiments».
- Swissolar (2016). «Installations PV avec batteries»
- VESE (2019). Communiqué de presse: «Vergütungen für die Photovoltaikproduzenten 2020: Erfreulicher Anstieg der Vergütungen um 4%, aber bereits wieder neue Wolken am Horizont» (rétributions des producteurs de courant d'origine photovoltaïque en 2020: hausse réjouissante des rétributions de 4%, mais déjà de nouveau des nuages à l'horizon).

- Weniger et al. (2012). «Unabhängigkeitsrechner» (calculateur d'autonomie). (<https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>, dernière consultation le 11.6.2020).
- Weniger, Johannes (2012). «Solare Unabhängigkeitserklärung» (déclaration d'autonomie solaire). photovoltaik, 4.

12 Quels sont les motifs sous-jacents à la décision d'acheter une batterie?

Faits

La décision d'acheter une batterie solaire peut être prise pour différentes raisons, qui peuvent être tant idéologiques qu'économiques. Aucune étude sur les motifs n'est connue en ce qui concerne la Suisse.

Une étude réalisée en 2018 par l'«Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe» (ISEA ou institut de la technique des convertisseurs de puissance et des moteurs électriques) a saisi les données de 20'000 batteries solaires subventionnées en Allemagne. Cette évaluation a notamment identifié cinq motifs décisionnels récurrents au moment d'acheter une batterie destinée à des installations photovoltaïques. L'illustration 38 expose les résultats de cette évaluation.

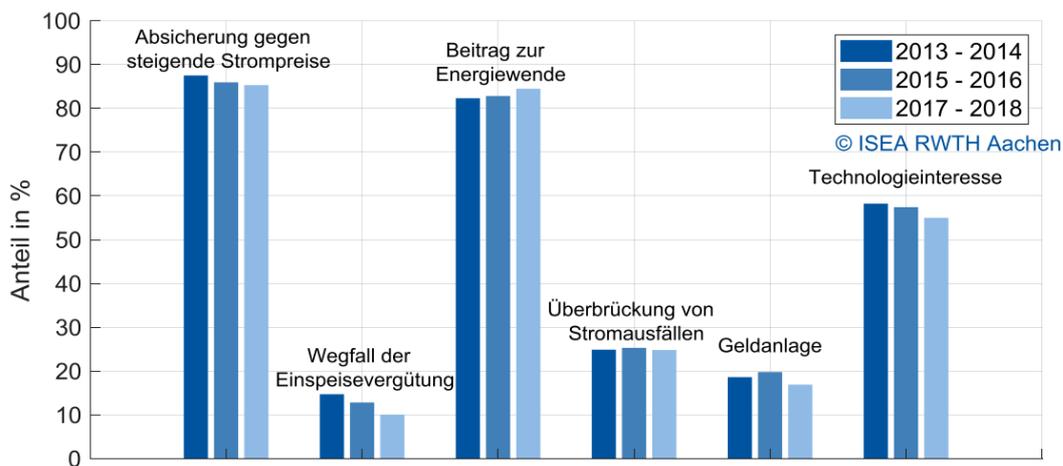


Illustration 38: motivation sous-jacente à l'achat de batteries solaires subventionnées [source: ISEA, RWTH Aachen (2018)]

Les principales motivations d'acheter un accumulateur résident dans le souci de se prémunir contre la hausse des prix de l'électricité et dans l'intention de contribuer à la transition énergétique. L'intérêt technologique a quand même concouru chez plus de 50% des personnes interrogées à un achat. Seuls quelques détenteurs d'une batterie solaire (moins de 30%) ont indiqué que leur achat était motivé par la volonté de surmonter les pannes de courant ainsi que par la possibilité d'un placement sûr de leur argent. Il est surprenant de constater que les motifs d'achat n'ont pas beaucoup changé entre 2013 et 2018.

Dans une autre étude, l'ISEA a examiné les motifs d'achat d'accumulateurs de batterie photovoltaïques dans le Bade-Wurtemberg. Les divers propriétaires d'accumulateurs y ont été divisés dans les catégories «Logement à usage personnel» et «Local professionnel». Les résultats sont présentés dans l'illustration 39 et sont très similaires à ceux de l'évaluation décrite ci-dessus. De plus, l'enquête met en évidence que la motivation d'achat ne diffère que très légèrement entre «Logement à usage personnel» et «Local professionnel».

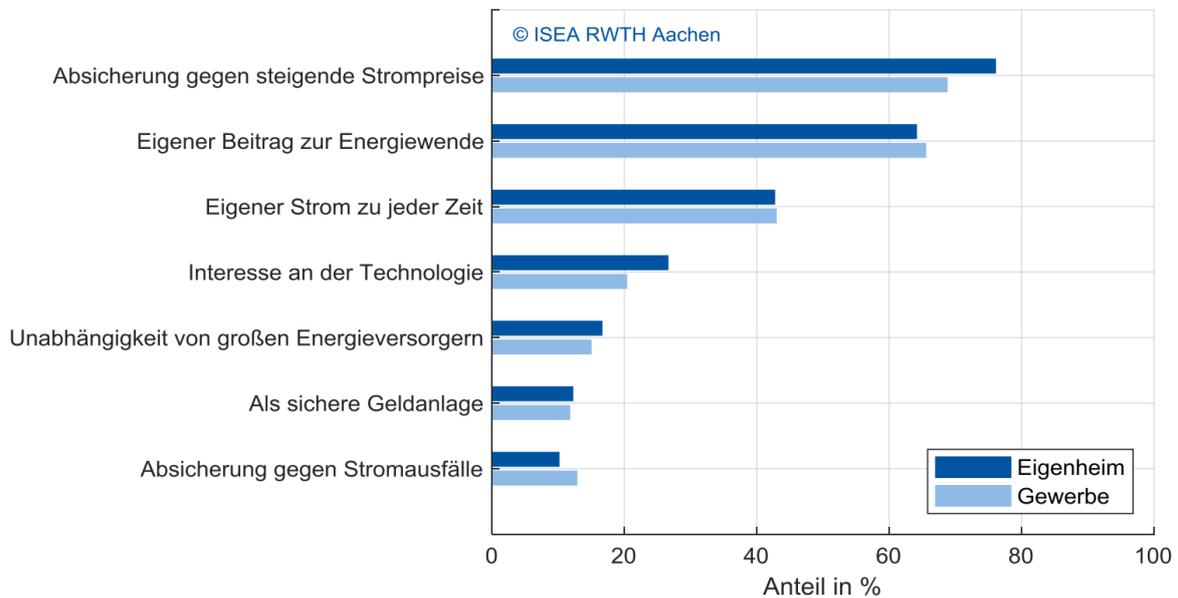


Illustration 39: motifs décisionnels d'acheter des batteries solaires subventionnées [source: ISEA, RWTH Aachen (2019)]

Dans le cadre de la présente analyse, des entreprises exerçant des activités en Suisse sont questionnées sur leur appréciation quant aux motifs décisionnels. BE Netz (Simon Pellet), clevergie (Lukas Meister) et Agrola (Andreas Aeschbach) faisaient partie des entreprises interrogées. Forts d'une riche expérience en première ligne, ces experts ont permis d'identifier huit motifs d'achat différents (voir tableau 13).

Motifs décisionnels d'achat d'une batterie solaire	Particuliers	Clients professionnels
Augmentation de l'électricité autoconsommée	✓	✓
Alimentation électrique de secours	✓	✓
Réaction à un prix bas de réinjection du distributeur	✓	✓
Intérêt pour la technologie	✓	✓
Utilisation parallèle de l'électromobilité	✓	✓
Appoint d'énergies renouvelables	✓	✓
Amélioration de la rentabilité d'une installation photovoltaïque	✓	
Écrêtement des pointes (peak shaving)		✓

Tableau 13: motifs décisionnels de clients privés et professionnels pour acheter une batterie solaire.

Du fait de la rentabilité actuelle, l'amélioration de la rentabilité n'a pas été considérée comme un motif de décision chez les clients professionnels. À l'inverse, l'écrêtement des pointes (peak shaving) ne constitue pas un motif de décision aux yeux des particuliers.

Pour déterminer la fréquence de ces motifs d'achat, un questionnaire a été établi et envoyé à huit fournisseurs d'installations photovoltaïques et de batteries. Sept vendeurs contactés ont renvoyé le questionnaire d'enquête. D'après les vendeurs, la principale motivation des particuliers pour acheter une batterie tient à l'augmentation de l'électricité autoconsommée (voir Illustration 40). Une alimentation de secours (éventuellement installations en îlot), la réaction à un tarif bas de réinjection du

gestionnaire de réseau et l'intérêt pour la technologie sont également des motifs importants, mais ils sont évoqués un peu moins souvent. L'amélioration de la rentabilité de l'installation photovoltaïque motive rarement si ce n'est jamais l'achat d'une batterie.

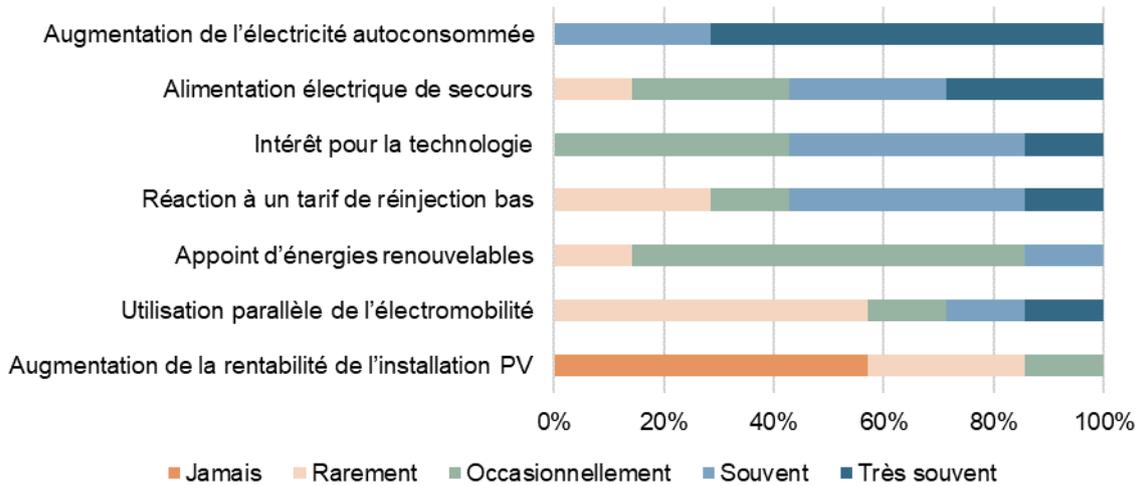


Illustration 40: fréquences des motifs de décision indiqués par des particuliers pour acheter une batterie solaire.

Les résultats des motifs décisionnels des clients professionnels offrent déjà une autre image d'ordre supérieur (voir Illustration 41). D'une manière générale, les divers motifs décisionnels sont moins fréquemment invoqués pour un achat que chez les particuliers. Cela reflète le fait que les batteries sont avant tout achetées par des clients privés à l'heure actuelle.

Les clients professionnels sont plus susceptibles de justifier leur achat par l'augmentation de la consommation propre et l'écrêtement des pointes. Les motifs décisionnels d'une alimentation électrique de secours et d'une réaction à un tarif bas de réinjection sont moins souvent avancés que chez les particuliers. L'appoint d'énergies renouvelables ainsi qu'une utilisation parallèle de l'électromobilité ne sont pratiquement jamais des facteurs influençant l'achat d'une batterie solaire par des clients professionnels.

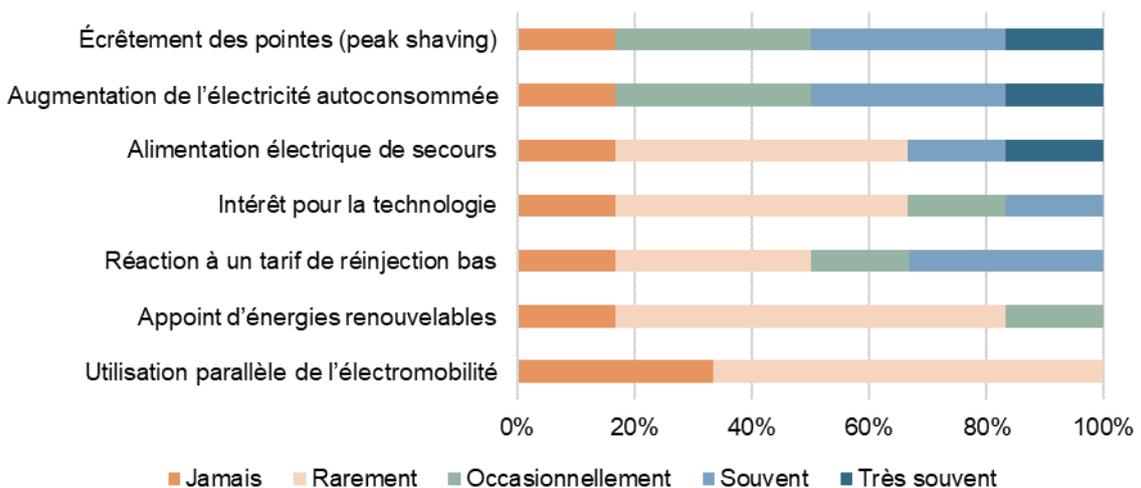


Illustration 41: fréquences des motifs de décision indiqués par des clients professionnels pour acheter une batterie solaire.

Lacunes

Aucun sondage d'acheteurs de batteries n'a été réalisé en Suisse. Le questionnement ponctuel de vendeurs dans le cadre de cette étude ne peut être considéré comme un échantillon représentatif des motifs décisionnels sur le marché suisse des batteries.

Récapitulatif

Les principales raisons amenant des particuliers à acheter une batterie solaire sont l'augmentation de l'électricité autoconsommée, une alimentation électrique de secours, la réaction à un tarif bas de réinjection du gestionnaire de réseau et l'intérêt pour la technologie. Les clients professionnels justifient leur achat avant tout par l'augmentation de la consommation propre et l'écrêtement des pointes pour faire baisser ainsi les frais d'électricité. Vu que les batteries ne sont pratiquement jamais rentables, la meilleure rentabilité de l'installation photovoltaïque ne constitue pas une raison pour acheter.

Sources

- Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen (2018). «Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarspeicher 2.0 – Jahresbericht 2018» (programme scientifique d'évaluation et de mesure d'accumulateurs solaires 2.0 – Rapport annuel de 2018).
- Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen (2019). «Speichermonitoring BW – Jahresbericht 2019» (surveillance d'accumulateurs BW – Rapport annuel de 2019).

13 Quels sont les facteurs favorisant le développement du marché en Suisse?

Hypothèses

Il n'existe aucune étude sur les facteurs actuels de l'évolution du marché en Suisse. Des hypothèses sont émises ci-après, reposant sur les réponses aux autres questions de la présente étude de marché et sur les connaissances acquises à l'issue d'un atelier d'experts en novembre 2020.

- La condition préalable à l'évolution du marché résidait dans le développement d'un marché dédié au photovoltaïque. Les principaux facteurs agissant dans ce sens étaient constitués par la forte baisse des prix ainsi que la subvention de l'État. La consommation propre s'avère bénéfique de nos jours dans de très nombreux cas. De ce fait, la question se pose plus souvent de savoir s'il est possible de l'augmenter. Les leviers favorisant la croissance du photovoltaïque contribuent aussi indirectement à l'essor des batteries.
- L'emploi de batteries dans des bâtiments résidentiels de petite taille n'est pas économique à l'heure actuelle (voir chapitre 11). Par conséquent, la rentabilité ne constitue pas un facteur encourageant le développement du marché.
- Les leviers agissant du côté de la demande sont le souhait d'augmenter le courant auto-consommé, le besoin d'une alimentation électrique de secours, l'intérêt pour la technologie et la réaction (de défiance) à un tarif de réinjection bas ou en baisse du gestionnaire de réseau (voir chapitre 12).
- Les facteurs intervenant du côté de l'offre sont les entreprises qui peuvent réaliser des ventes lucratives: les fabricants d'accumulateurs, les installateurs et les grossistes.
- L'aisance de nombreux propriétaires de bâtiments en Suisse leur permet d'effectuer des investissements même non rentables.
- Diverses incitations d'État ont joué un rôle plutôt secondaire dans l'évolution actuelle du marché. En 2020, quelques rares cantons, à savoir Appenzell Rhodes-Extérieures, Schaffhouse et Thurgovie, ont subventionné les accumulateurs de batterie.
- Le «stockage virtuel» de courant d'origine solaire a constitué une nouvelle offre des fournisseurs d'électricité de 2017 à 2019. L'Elcom a analysé les offres et les a trouvées irrecevables. Si de telles offres devaient de nouveau être élaborées moyennant une réglementation adaptée, cela freinerait plutôt l'utilisation des batteries.

Des hypothèses quant aux facteurs potentiels sont également établies en ce qui concerne l'évolution à venir du marché.

- Une forte croissance internationale de l'électromobilité entraîne des progrès techniques et une baisse de prix dans la technologie des batteries. Il va aussi en découler un tassement des prix sur le marché des batteries stationnaires. Dans des conditions-cadres sinon constantes, cette diminution des prix ne suffira vraisemblablement pas pour que les batteries deviennent rentables au cours de la prochaine décennie s'agissant de bâtiments résidentiels de petite taille (voir chapitres 10 et 11).
- Encouragée entre autres par voie réglementaire, l'augmentation des pompes à chaleur et des véhicules électriques aboutit à ce que l'emploi des batteries présente une rentabilité moins mauvaise, puisque davantage d'électricité est ainsi consommée.
- Les prescriptions et les incitations d'État jouent un rôle primordial dans l'évolution à venir du marché. La gamme des instruments possibles est large et comprend:
 - la tarification dans le secteur de l'électricité (prix de production/prix de l'énergie),
 - la gestion à venir des puissances crêtes d'origine solaire (p. ex. seuls 70% max. de la production nominale doit être injectée en Allemagne),

- la subvention du photovoltaïque (p. ex. les tarifs de réinjection influencent la rentabilité),
- la subvention des batteries et
- l'ouverture du marché de l'électricité (effet sur les tarifs de l'électricité, permettant également le commerce entre des producteurs et de nouveaux modèles d'affaires avec plusieurs sources de revenus combinées autour du stockage).
- Les voitures électriques actuelles ne peuvent pas réinjecter l'électricité stockée à l'intérieur des batteries dans le bâtiment ou le réseau, étant donné qu'il faut des chargeurs bidirectionnels à cette fin, lesquels alourdissent, complexifient et renchérissent le véhicule, tout en influençant la durée de vie et la définition de la garantie des batteries. Seuls deux modèles de véhicule peuvent être commandés actuellement en option avec des chargeurs bidirectionnels. Si la charge bidirectionnelle devait se répandre davantage à l'avenir en dépit de ces obstacles, cette progression freinerait plutôt la demande en batteries solaires.
- La propension très élevée à payer dans le secteur de la mobilité motorisée individuelle pour s'octroyer un certain statut social, la sécurité, l'indépendance et le confort peut se traduire par une haute propension à payer pour des batteries (solaires) stationnaires, destinées à des véhicules électriques. Les avantages potentiels résident dans le gain perçu subjectivement quant au confort et à l'indépendance ainsi que, le cas échéant, le gain de temps (si la batterie permet une puissance de charge plus élevée que la connexion existante).