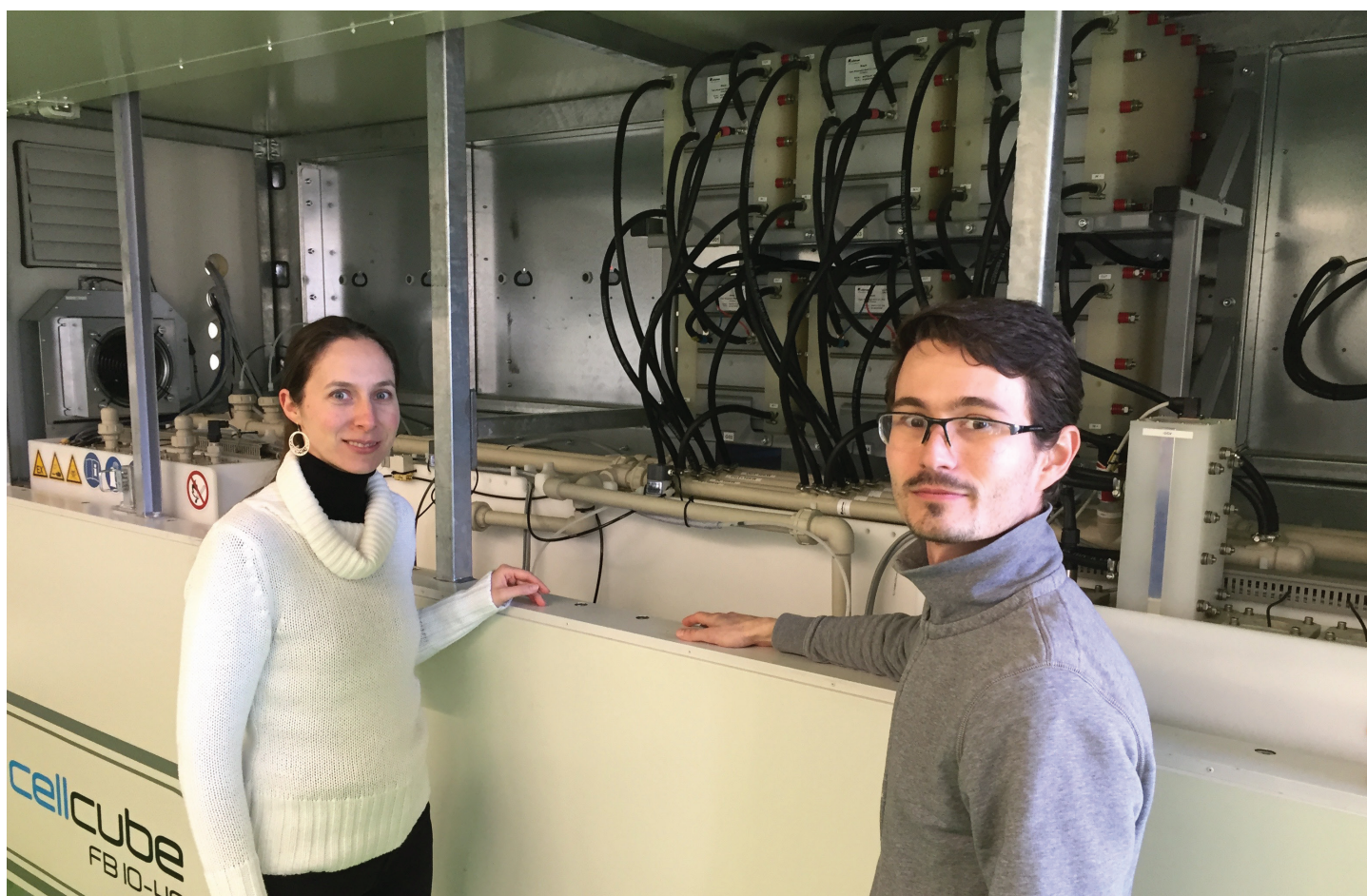


DE L'HYDROGÈNE À PARTIR D'UNE BATTERIE

Le stockage est un thème central de la recherche énergétique actuelle. Une équipe de scientifiques de l'EPFL de Lausanne a conçu un nouveau concept de batterie : l'unité de stockage chimique est chargée de courant comme d'habitude mais ne dégage pas seulement du courant lors de la décharge mais également de l'hydrogène. Après les essais en laboratoire, le concept a été mis en application à Martigny (VS) dans un démonstrateur d'une capacité de stockage de 40 kWh.



Les chercheurs de l'EPFL Dr. Véronique Amstutz et Dr. Heron Vrubel devant la batterie à flux Redox. Le processus électrochimique a lieu dans les six réservoirs ; l'électrolyte positif et l'électrolyte négatif sont chargés ou déchargés. Photo : B. Vogel

Sinergy alimente la ville de Martigny dans le Bas-Valais en électricité, en eau, en multimédia et en chaleur de chauffage. Le fournisseur d'énergie s'est consacré à une production d'énergie durable. Il soutient des projets visant à encourager les énergies renouvelables comme les turbines sur eau potable, l'énergie éolienne et le photovoltaïque. L'entreprise avait déjà financé auparavant un projet de recherche consistant à combiner une turbine éolienne innovante avec une installation de biogaz sur le terrain de la station d'épuration de Martigny. Au cours des deux dernières années, ce lieu est de nouveau devenu le théâtre d'un projet de recherche frayant de nouvelles voies pour l'alimentation énergétique suisse.

Le projet a été réalisé dans un bâtiment à toiture particulièrement voutée situé à proximité immédiate du bassin de clarification. Le bâtiment servait autrefois au stockage des boues d'épuration avant leur utilisation en tant qu'engrais sur les champs avoisinants. Aujourd'hui, le hangar ne sert plus au stockage des boues de clarification mais à celui de courant électrique. Pour cela, une batterie de la taille d'une caravane est installée au centre du hangar. En jetant un œil dans la batterie, on pourrait se rappeler des vacances au camping car l'intérieur contient de grands bidons remplis d'un liquide. Une dénommée batterie à flux Redox sert ici d'accumulateur. Il s'agit d'un accumulateur chimique comme une batterie domestique à la différence près que le fluide accumulateur utilisé n'est pas une substance solide mais une substance liquide (cf. zone texte).

Les batteries à flux Redox en sont encore au stade de développement actuellement. Elles sont déjà utilisées individuellement comme accumulateurs de réserve pour les stations de base de téléphonie mobile ou les éoliennes. Selon la chimie utilisée, les systèmes disposent d'un degré d'efficacité de 65 à 80 pour cent et le niveau d'autodécharge reste faible, même en cas d'utilisations prolongées. Le grand avantage de cette technologie est sa modularité. En effet, il est possible d'augmenter le volume de stockage relativement facilement en choisissant des réservoirs de taille adaptée pour les électrolytes positifs et négatifs. Malgré sa densité énergétique relativement faible, les promoteurs considèrent la batterie à flux Redox comme une solution optimale pour compenser les fluctuations de production (énergie éolienne et solaire) ou de consommation («avitaillement» de véhicules électriques) dans les réseaux électriques largement alimentés par les nouvelles énergies renouvelables.



Dans ce bâtiment à proximité de la station d'épuration de Martigny, les scientifiques de l'EPFL étudient comment une batterie à flux Redox peut être utilisée directement pour la production d'hydrogène. Photo : B. Vogel

Utilisation inédite de la batterie à flux Redox

Pendant deux ans, la batterie à flux Redox fut le centre d'un projet réalisé par une équipe de chercheurs de l'EPF de Lausanne (EPFL) dirigée par le professeur Hubert Girault, entre autres, sur le terrain d'essai situé à côté de la station d'épuration de Martigny. L'objectif des scientifiques n'était pas de construire une batterie à flux Redox mais d'ajouter une toute nouvelle fonctionnalité à cette dernière. La batterie n'est plus seulement en mesure de libérer du courant lors du déchargement mais également de l'hydrogène. L'hydrogène est généré par la transformation chimique de l'électricité stockée dans la batterie. Le Laboratoire d'électrochimie physique et analytique (LEPA) auparavant localisé à Lausanne et à Sion depuis mai 2015 a conçu la « Batterie à hydrogène ». Le projet de recherche a été financé par le Centre de recherches énergétiques et municipales de Martigny CREM, le district de Martigny, le fournisseur d'énergie Sinergy et l'Office fédéral de l'énergie.

L'hydrogène est un gaz qui pourrait jouer un rôle important dans l'alimentation énergétique à l'avenir. En effet, l'hydrogène permet de produire de l'énergie motrice sans émission pour les bus ou les voitures. Dans ce contexte, la fabrication d'hydrogène à partir du courant renouvelable est un thème important de la recherche énergétique actuelle et occupe les scientifiques de divers instituts de recherche suisses comme l'équipe de scientifiques dans le Valais. « Pour pouvoir utiliser

la batterie à flux Redox pour la fabrication d'hydrogène, nous avons dû relever un défi chimique et un défi technique », affirme Dr. Véronique Amstutz qui vient de terminer son doctorat à ce sujet au LEPA.

Deux défis

Comme le déchargement de toute batterie, celui de la batterie à flux Redox libère des électrons qui forment un courant électrique. Les chercheurs du Valais les utilisent pour la fabrication de l'hydrogène en assemblant les électrons avec des noyaux d'hydrogène (protons). Un catalyseur comme le carbure de molybdène (Mo_2C) est indispensable pour le déclenchement de la réaction chimique. Le « défi chimique » que Véronique Amstutz mentionne consiste à donner la forme adaptée à ce catalyseur. C'est nécessaire pour que le catalyseur soutienne efficacement le processus chimique de la fabrication de l'hydrogène qui implique la participation de composants liquides et gazeux. Amstutz et ses collègues de recherche ont testé différentes approches et ont finalement eu l'idée de déposer le carbure de molybdène en phase vapeur et en fine couche sur une bille de 3 mm. Sous cette forme, le catalyseur développe l'effet souhaité.



Une conduite permet à l'électrolyte négatif de passer de la batterie à flux Redox au cylindre vertical composé de huit chambres à réaction superposées. L'hydrogène produit ici est conservé dans un récipient sous pression en acier inoxydable (centre de l'image).

Photo : B. Vogel

Le deuxième défi lors du développement de la « batterie à hydrogène » fut le défi technique. La question de la forme du récipient dans lequel la fabrication de l'hydrogène a lieu fut particulièrement délicate. Un cylindre horizontal ? Un cylindre vertical ? Les deux modèles se sont avérés inadaptés pour différentes raisons. Amstutz et ses collègues de recherche ont obtenu un bon résultat seulement en divisant le cylindre vertical en huit niveaux. Ainsi, la fabrication de l'hydrogène se déroule sur huit secteurs séquentiellement commutés. Huit niveaux sont nécessaires pour ce processus afin d'augmenter le contact entre l'électrolyte et le catalyseur et déclencher ainsi la réaction chimique. En outre, ce design permet une meilleure séparation de l'hydrogène et de la solution d'électrolyte. Finalement, ce principe de construction assure que le catalyseur sphérique ne bouge pas exagérément, ce qui contrecarre sa dégradation mécanique.

Limites du concept

Les quatre années de travail dans le laboratoire LEPA de Lausanne/Sion et sur le démonstrateur près de la station d'épuration à Martigny ont permis de concevoir une batterie qui fournit soit 40 kWh de courant ou 1,3 kg d'hydrogène. Ce dernier peut être utilisé, par exemple, pour l'entraînement d'un véhicule à pile à combustible. « Grâce à la production d'hydrogène, ce système prête une capacité supplémentaire à la batterie à flux Redox. En outre, il augmente la flexibilité de la batterie à flux Redox qui sert désormais de plateforme pour le stockage de l'énergie, met à disposition de l'hydrogène ou du courant en fonction des besoins et ce, sur la base des énergies renouvelables », affirme Dr. Heron Vrubel qui a dirigé le projet de recherche du LEPA.

La « batterie à hydrogène » présente toutefois un problème qui empêche son développement : la batterie ne peut utiliser que la moitié de l'énergie stockée. La raison : seul un côté de la batterie à flux Redox, l'électrolyte négatif, peut être utilisé pour la fabrication d'hydrogène. L'électrolyte positif permettrait en effet de produire de l'oxygène de manière analogue mais d'une part, l'oxygène ne permet pas l'utilisation énergétique et d'autre part, la production d'oxygène rencontre de grands obstacles du point de vue technique : au cours de leurs expériences pour la fabrication d'oxygène, les scientifiques du LEPA ont constaté que l'électrolyte utilisé à cet effet (cérium) provoque des problèmes de corrosion. « La fabrication d'hydrogène et d'oxygène avec une batterie à flux Redox requiert encore des efforts de recherche considérables », constate Vrubel.

Application d'un électrolyseur

Pour leur projet de suivi qui a commencé en décembre 2015 et qui doit continuer jusqu'à la fin de l'année 2017, les chercheurs du LEPA étendent leur recherches. L'utilisation d'une batterie à flux Redox est toujours actuelle mais l'hydrogène ne sera pas produit directement mais indirectement : le courant libéré lors de la décharge de la batterie est utilisé dans un électrolyseur pour assurer le craquage de l'eau et obtenir de l'hydrogène et de l'oxygène. Pour leurs analyses, les chercheurs

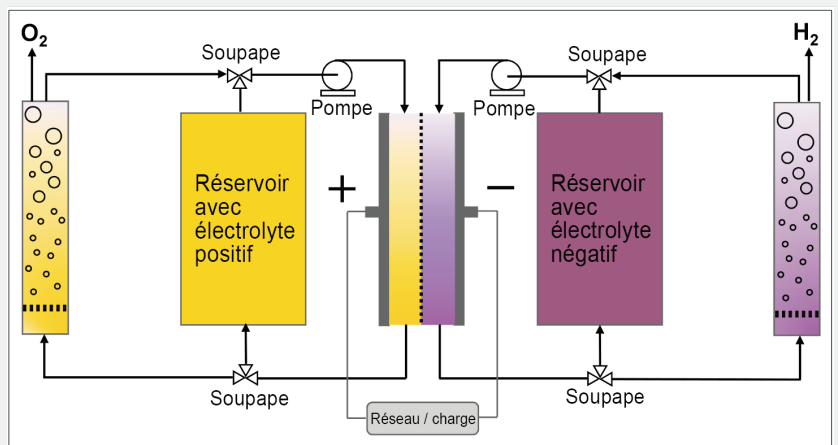
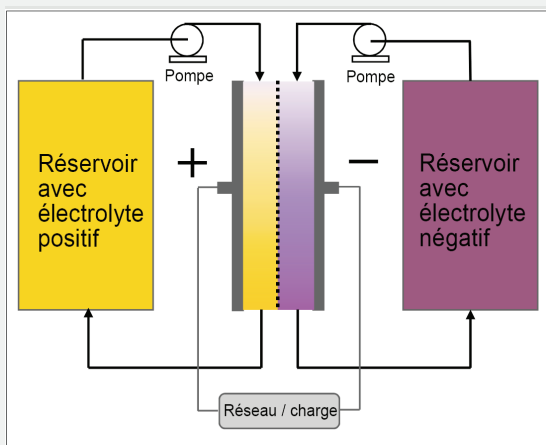
utilisent une batterie à flux Redox d'une capacité de stockage de 400 kWh et un électrolyseur d'une puissance de 50 kW. « Avec ce projet, nous voulons en premier lieu rechercher le meilleur degré d'efficacité possible pour le stockage d'électricité que les meilleurs appareils disponibles sur le marché permettent d'obtenir », affirme Heron Vrabel.

La question centrale du nouveau projet est de savoir quelle technologie doit être utilisée à l'avenir pour le stockage de

ÉLECTROLYTE LIQUIDE À GRAND POTENTIEL

Selon leur type, les batteries à flux Redox utilisent différentes substances chimiques. Le plus souvent, on utilise le métal de transition vanadium comme électrolyte (et ainsi en tant que fluide accumulateur pour le chargement électrique), également pour les batteries à flux Redox utilisées à Martigny. Pendant les processus de chargement et de décharge, le vanadium dissous dans l'acide sulfurique, entraîné par une pompe, circule dans deux circuits (graphique : jaune et violet) et traverse la cellule électrochimique (graphique : milieu). La cellule électrochimique se compose de deux électrodes (en graphite) séparées par une membrane perméable aux ions.

Pendant le processus de chargement, l'électrolyte absorbe les charges du courant alimenté : dans le circuit gauche, les atomes de vanadium déposent un électron (oxydation), ce qui charge l'électrolyte positivement. Dans le circuit droit, les atomes de vanadium absorbent un électron lors du processus de chargement (réduction), ce qui charge l'électrolyte négativement. Les réactions parallèles expliquent que la batterie se nomme « batterie à flux Redox » (« Réduction » et « Oxydation »). La batterie est chargée lorsque les deux électrolytes sont saturés, ce qui dure entre quatre et 20 heures pour la batterie à flux Redox de Martigny en fonction de la puissance de chargement appliquée. Lors du processus de décharge, la réaction a lieu dans l'ordre inverse.



Les chercheurs de l'EPFL ont utilisé une batterie à flux Redox courante pour le projet terminé depuis peu. Celle-ci se compose de 120 cellules électrochimiques avec une puissance de chargement/décharge d'un total de 10 kW. La batterie doit sa capacité de stockage de 40 kWh à deux réservoirs de 1000 litres d'électrolyte chacun. Afin d'utiliser la batterie à flux Redox pour la fabrication d'hydrogène, les chercheurs de l'EPFL ont ajouté un circuit supplémentaire. Dès que la batterie est chargée, l'électrolyte négatif génère de l'hydrogène par le biais de ce circuit : cela est possible lorsque les électrons de l'électrolyte négatif s'associent avec les protons libres pour former des atomes d'hydrogène. Un catalyseur (carbure de molybdène) est nécessaire pour que la réaction chimique ait lieu. BV

la production fluctuante des centrales solaires et éoliennes. Il est ainsi concevable de stocker provisoirement le courant dans une batterie et de l'utiliser ultérieurement dans un électrolyseur pour la fabrication d'hydrogène. Toutefois, l'exploitation de l'électrolyseur directement avec l'électricité du réseau est également possible. Pour compenser les fluctuations de la production d'énergie solaire et éolienne, il faudrait que l'électrolyseur puisse être exploité indépendamment de la puissance, c'est-à-dire également en charge partielle. Cela représente un défi supplémentaire pour la recherche énergétique actuelle.

Parallèles avec le projet de l'Empa

Le projet de Martigny présente des similitudes avec le projet «Move» mis en service par l'Empa (Dübendorf) pendant l'automne 2015 (cf. article spécialisé «Sonnen- und Windtreibstoff tanken» disponible sur www.bfe.admin.ch/CT/H2). Dans les deux cas, l'objet de l'étude est de savoir comment stocker l'électricité (renouvelable) pour l'avitaillement conforme aux besoins de véhicules électriques et à pile combustible. Tandis que les chercheurs de l'Empa utilisent un électrolyseur PEM, c'est un électrolyseur alcalin qui est utilisé à Martigny. En outre, les scientifiques de Martigny appliquent une batterie qui compense les pointes d'alimentation et de consommation et permet ainsi un approvisionnement régulier de l'électrolyseur. Les deux projets sont financés par l'OFEN dans le cadre de son programme pilote et de démonstration.

- Le nouveau projet P + D sur le terrain de la station d'épuration à Martigny est ouvert pour les personnes intéressées dans le cadre de visites guidées. Contact :
Dr. Heron Vrubel ([heron.vrubel\[at\]epfl.ch](mailto:heron.vrubel@epfl.ch),
079 287 49 98).
- Le docteur Stefan Oberholzer ([stefan.oberholzer\[at\]bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)), directeur du programme de recherche de l'OFEN sur l'hydrogène, communique des informations supplémentaires concernant le projet.
- Vous trouverez d'autres articles spécialisés concernant les projets phares et de recherche, les projets pilotes et les démonstrations dans le domaine de l'hydrogène sur :
www.bfe.admin.ch/CT/H2.

L'OFEN SOUTIENT DES PROJETS PILOTES, DE DÉMONSTRATION ET LES PROJETS PHARES

Le projet terminé en avril 2016 et relancé en décembre 2015 des chercheurs de l'EPFL pour l'utilisation de la batterie à flux Redox pour la production d'hydrogène fait partie des projets pilotes, de démonstration et des projets phares que l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) finance pour l'application économique et rationnelle de l'énergie et l'utilisation des énergies renouvelables. L'OFEN soutient des projets pilotes, de démonstration et de projets phares avec 40% des dépenses imputables. Des requêtes peuvent être déposées à tout moment.

- www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration
www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm