Energie
Programmes nationaux de recherche 70 et 71

Synthèse

Bâtiments et habitations

Bâtiments et habitations

Les bâtiments représentent environ 40 % de la demande totale en énergie. Ils constituent donc un secteur particulièrement important pour l'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que pour l'utilisation décentralisée de nouvelles sources d'énergie renouvelable. Plusieurs projets des PNR 70 et 71 sont consacrés à ces enjeux, adoptant une approche aussi bien technique que sociopolitique.

1. Il reste de nombreux détails à régler

Environ 40 % de l'énergie consommée en Suisse relève de la construction et de l'exploitation du parc immobilier. Les bâtiments et aménagements revêtent par conséquent un rôle majeur dans la transformation de notre système énergétique. Si un certain nombre de mesures a déjà été initié pour l'avenir, il reste néanmoins beaucoup à faire.

1.1. Messages clés

Les études menées dans le cadre du PNR Énergie au sujet des bâtiments et habitations permettent de déduire les messages clés suivants :

1. Les mesures techniques ne suffisent pas à concrétiser les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 dans le domaine des bâtiments et habitations. Il faut également des mesures gouvernementales d'accompagnement et de régulation, ainsi que des changements de comportement des principaux acteurs, c'est-à-dire en premier lieu les usagers et les propriétaires des bâtiments.
2. Le taux de rénovation du bâti existant ne dépasse actuellement pas 1 % par an. Pour atteindre les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 dans les délais, ce taux doit être augmenté de manière significative.
3. Les systèmes multi-énergies décentralisés peuvent contribuer de manière substantielle à la mise en oeuvre de la Stratégie énergétique 2050, en particulier dans les zones périurbaines et rurales, grâce à l'utilisation d'énergie produite localement.
4. Pour permettre aux technologies innovantes et aux nouvelles solutions organisationnelles d'accéder rapidement au marché, des lois, des ordonnances et des normes ciblées et dynamiques sont nécessaires en matière de planification et de construction.
5. Une meilleure connaissance de la thématique énergétique, aussi bien par les professionnels que les propriétaires de bâtiments et le grand public, est une condition préalable à la réussite de la Stratégie énergétique 2050 dans le domaine des bâtiments et habitations.

1.2. Recommandations clés

Positionnement stratégique de l'optimisation énergétique

Les propriétaires développent une stratégie à long terme pour l'optimisation énergétique de leurs bâtiments. Les objectifs de cette stratégie sont l'amélioration substantielle de l'efficacité énergétique, la suppression des émissions de CO_2, une exploitation rentable et la préservation de la valeur du bâti.

Initier des systèmes multi-énergies décentralisés

Les fournisseurs d'énergie identifient, de leur propre initiative et dans leur zone d'influence, les périmètres adaptés à la mise en œuvre de systèmes multi-énergies décentralisés (DMES) et élaborent pour chacun d'eux un concept de DMES ainsi qu'une étude de faisabilité technique, écologique et financière.

Recentrer et simplifier la réglementation

La réglementation en matière d'énergie, qui a été formulée alors que le contexte était différent, n'est plus en phase avec les exigences et les possibilités actuelles.

L'intégralité des recommandations sur la thématique « Bâtiment et habitations » est décrite en détail dans la section « Recommandations » de cette synthèse. Parmi cet ensemble de recommandations, la direction du PNR Énergie et le groupe de réflexion ont sélectionné trois recommandations clés qui revêtent une importance particulière dans la perspective d'une mise en œuvre réussie de la Stratégie énergétique 2050.

Positionnement stratégique de l'optimisation énergétique
Les propriétaires développent une stratégie à long terme pour l'optimisation énergétique de leurs bâtiments. Les objectifs de cette stratégie sont l'amélioration substantielle de l'efficacité énergétique, la suppression des émissions de CO_2, une exploitation rentable et la préservation de la valeur du bâti. Pour financer les investissements qui en découlent, un plan de financement à long terme est élaboré et l'alimentation du fonds de réhabilitation est adaptée. La mise en œuvre de cette stratégie fait l'objet d'une surveillance constante, tandis que la stratégie elle-même est régulièrement examinée et mise à jour.

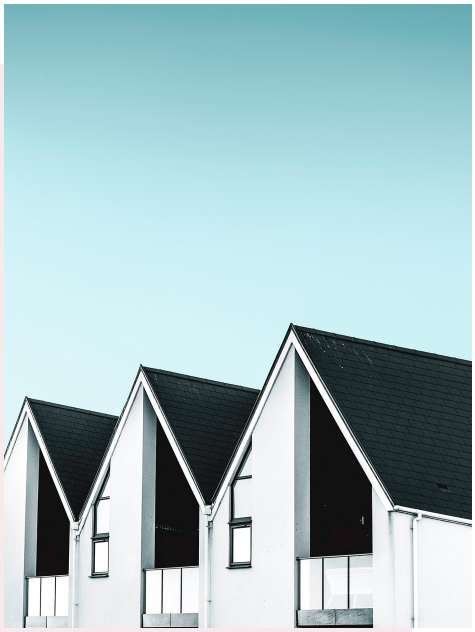
Initier des systèmes multi-énergies décentralisés
Les fournisseurs d'énergie identifient, de leur propre initiative et dans leur zone d'influence, les périmètres adaptés à la mise en œuvre de systèmes multi-énergies décentralisés (DMES) et élaborent pour chacun d'eux un concept de DMES ainsi qu'une étude de faisabilité technique, écologique et financière. En cas de bilan positif, le fournisseur d'énergie renseigne la commune concernée ainsi que les propriétaires de bâtiments et initie les étapes suivantes : il informe la population, fonde une coopérative énergétique et lance les procédures d'autorisation nécessaires. Le fournisseur d'énergie reste co-propriétaire du DMES et en assure la gestion.

Recentrer et simplifier la réglementation

La réglementation en matière d'énergie, qui a été formulée alors que le contexte était différent, n'est plus en phase avec les exigences et les possibilités actuelles. Les cantons doivent par conséquent recentrer leur législation en matière de planification, de construction et d'énergie dans la perspective d'une mise en œuvre rapide et rentable de la Stratégie énergétique 2050 et simplifier les procédures d'autorisation et d'approbation. La prochaine révision des modèles de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) et sa mise en œuvre pertinente revêtent à ce titre une importance particulière. Les MoPEC devraient se concentrer sur un nombre limité d'objectifs clairement définis et compréhensibles.

2. Les bâtiments doivent fournir davantage d'énergie – et en consommer moins

Le parc immobilier suisse joue un rôle central dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050. Beaucoup a déjà été fait, de nombreux aspects sont en bonne voie – mais des efforts considérables sont requis pour rendre les bâtiments et les aménagements compatibles avec les exigences de demain.



Bâtiments # CO2 / Gaz à effet de serre

2.1. Le parc immobilier suisse

La Suisse compte actuellement environ 1,8 million de bâtiments chauffés, soit une surface de plancher totale de 800 millions de m^2. Leur valeur d'assurance se situe aux alentours de 2 500 milliards de francs.[1] En 2016, la surface de référence énergétique – c'est-à-dire la surface de plancher située à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment, qui doit être chauffée ou climatisée – atteignait un total de 745 millions de m^2.[2] 1,5 million de ces bâtiments sont des habitations, totalisant une surface de plancher de 510 millions de m^2.[3]

Les bâtiments et habitations marquent notre espace vital et économique de façon déterminante : la nature des constructions, les moyens mis en œuvre et l'usage des ouvrages ont une influence décisive sur la consommation d'espace et d'autres ressources, ainsi que sur les émissions de CO_2. La consommation d'énergie du parc immobilier est particulièrement impressionnante, puisqu'elle représente quelque 50 % de l'énergie consommée en Suisse : 10 % pour la construction elle-même et les matériaux requis, 40 % pour l'exploitation des bâtiments.[4]

Notes et références

1 Rütter H et Staub P 2018 ; Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Immobilienwirtschaft. HEV Schweiz, Zurich
2 Office fédéral de l'énergie OFEN ; ID d'indicateur QU048
3 Office fédéral de la statistique ; Registre fédéral des bâtiments et logements. Neuchâtel
4 Fondation Suisse de l'Énergie SES, (situation au 22 avril 2019)

Efficacité énergétique

2.2. Le parc immobilier et la Stratégie énergétique 2050

En raison de son importance, la consommation d'énergie du parc immobilier joue un rôle conséquent dans la Stratégie énergétique 2050. L'objectif est d'accroître son efficacité énergétique et de développer la part des énergies renouvelables. La Stratégie énergétique concrétise les objectifs ambitieux fixés à l'horizon 2020, 2035 et 2050. Ainsi, la Stratégie énergétique 2050 prévoit par exemple que d'ici 2035 la consommation d'énergie due au chauffage, au rafraîchissement et à la préparation d'eau chaude soit inférieure d'environ 40 % à la valeur de 2010, malgré une hausse prévisionnelle du nombre de résidents de l'ordre de 13 %. L'objectif est par conséquent ni plus ni moins que de diviser par deux la consommation par habitant.

Le parc immobilier joue aussi un rôle important dans le cadre de la transition des combustibles fossiles vers les nouvelles énergies renouvelables, ainsi que dans la réduction des émissions de CO_2. Le chauffage et la préparation d'eau chaude doivent à l'avenir être assurés grâce à des pompes à chaleur, des chaudières à bois, la récupération de chaleur sur les procédés industriels, la géothermie profonde et des capteurs solaires. Dans un futur proche, le photovoltaïque intégré aux bâtiments (BIPV) produira aussi en Suisse davantage d'électricité que le parc immobilier n'en nécessite. Si des mesures adaptées sont généralement déjà mises en œuvre pour les nouvelles constructions, il reste beaucoup à faire au niveau des bâtiments existants.

La Stratégie énergétique 2050 est basée sur les chiffres fixés en 2013 dans les Perspectives énergétiques 2050 de l'Office fédéral de l'énergie. Les hypothèses et les objectifs qui y figurent ont été rendus obsolètes par les dernières évolutions et ne correspondent d'ailleurs pas à l'accord cosigné par la Suisse fin 2015, lors de la conférence de Paris sur le climat.

C’est pourquoi les perspectives énergétiques font actuellement l’objet d’une révision en vue d’une nouvelle publication en 2020. Le Conseil fédéral sera lui aussi amené à revoir sa stratégie énergétique à la lumière de l’Accord de Paris.

Incitation / encouragement

2.3. De nombreux progrès ont été accomplis

En 2014, cet immeuble collectif de Brütten ZH a été le premier au monde à être totalement autonome sur le plan énergétique, c'est-à-dire capable de se passer de toute alimentation énergétique externe. *Source : rené schmid architekten ag*

Toute une série de programmes, de règlements et d'instruments visent d'ores et déjà à améliorer l'efficacité énergétique du parc immobilier. En 1990, un article sur l'énergie a été inscrit dans la Constitution fédérale. La même année, le gouvernement fédéral a initié le programme d'impulsion RAVEL (« Utilisation rationnelle de l'électricité »), suivi un an plus tard par le programme d'impulsion PACER (« Programme d'action énergies renouvelables »). En 1992, la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EndK) a publié le « modèle d'ordonnance Utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment », suivi à partir de 2000 des « modèles de prescriptions énergétiques des cantons » (MoPEC). Dès 1997, le Parlement fédéral décidait de lancer le programme d'investissement Énergie 2000.

Dans le secteur privé, l'association Minergie Suisse s'efforce depuis plus de 20 ans de faire baisser la consommation d'énergie pour le chauffage. Dès les années 1990, la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) a publié de nombreuses normes techniques concernant la consommation de chaleur des bâtiments, qui ont été continuellement améliorées et étendues. En 2006, elle a également publié « La voie SIA vers l'efficacité énergétique ».

De nombreuses mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique sont déjà mises en œuvre, en particulier dans les nouvelles constructions. La consommation totale d'énergie finale des ménages suisses par m^2 de surface de référence énergétique a ainsi pu être réduite de près de 27 % entre 1990 et 2016.[1] De nombreux projets dits « à énergie positive », produisant plus

d'énergie qu'ils n'en consomment et se passant des sources d'énergies fossiles, ont déjà été réalisés. Mais tous les problèmes ne sont pas résolus pour autant.

Notes et références

1 Office fédéral de l'énergie 2017 ; statistique globale de l'énergie. Ittigen – Office fédéral de l'environnement ; indicateur QU048 surface de référence énergétique. Ittigen

Comportement

2.4. Il reste beaucoup à faire

L'amélioration de l'efficacité énergétique du parc immobilier nécessite avant tout des mesures dans deux domaines : l'optimisation énergétique de l'enveloppe du bâtiment et le pilotage intelligent de l'offre et de la demande d'énergie.

Les usagers peuvent eux aussi apporter une contribution non négligeable. Ils ne doivent pas nécessairement renoncer au confort en baissant par exemple la température dans leur logement, mais utiliser l'énergie de façon plus intelligente – par exemple en optimisant l'éclairage artificiel des pièces, en utilisant des appareils ménagers et bureautiques peu énergivores, etc.

Autre grand facteur d'influence sur la consommation d'énergie en Suisse, la mobilité des biens et des personnes dépend directement du parc immobilier – notamment en raison de la séparation spatiale entre les lieux de résidence, de travail et de loisirs.

2.5. Sept questions clés

Le secteur des bâtiments et des aménagements est actuellement confronté à sept questions clés :

1. Comment augmenter en temps utile l'efficacité énergétique des bâtiments existants de façon substantielle et rentable ?
2. Comment assurer le stockage saisonnier économiquement rentable de l'électricité, de la chaleur et du froid ?
3. Dans quelles conditions les systèmes énergétiques hybrides décentralisés ont-ils un avenir – et comment ces systèmes doivent-ils être organisés et financés ?
4. Comment intégrer des capteurs solaires et des panneaux photovoltaïques de dernière génération à l'enveloppe du bâtiment de façon esthétique et économique ?
5. Quelle contribution peut apporter le numérique ?
6. Dans quelle mesure, les propriétaires et les usagers peuvent-ils et veulent-ils contribuer à l'efficacité énergétique ?
7. Quel rôle doit jouer l'état dans la conversion énergétique du parc immobilier ?

Le programme national de recherche Énergie (PNR Énergie) ne peut apporter de réponse exhaustive ou définitive à ces sept questions clés, car cela nécessiterait encore bien plus de projets de recherche. La présente synthèse se concentre par conséquent sur les thématiques de « Bâtiments et habitations » étudiées dans le cadre du PNR Énergie et sur les résultats obtenus. Elle apporte donc essentiellement des réponses aux questions 3, 4, 6 et 7.

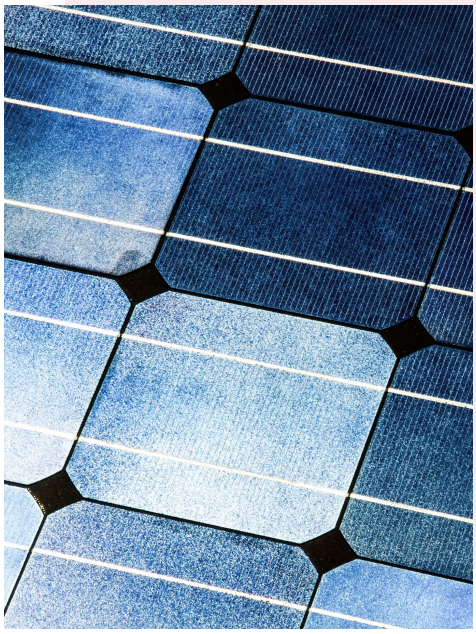
2.6. Processus de synthèse en plusieurs étapes

L'élaboration de la synthèse relative à l'axe thématique « Bâtiments et habitations » a nécessité un processus en plusieurs étapes. En octobre 2016, lorsque les chercheurs travaillaient encore sur leurs projets respectifs, ils ont échangé à propos de leurs sujets de recherche, méthodes et approches dans le but d'identifier d'éventuelles interdépendances et synergies. Six mois plus tard, les chercheurs ont rencontré des représentants d'associations, d'offices fédéraux, de cantons et d'ONG concernées afin d'en savoir plus à propos de leurs attentes vis-à-vis des résultats de recherche et de leur diffusion.

Forts de ces enseignements, les Comités de direction du PNR « Énergie » ont développé une ébauche de synthèse pour chacun des six axes thématiques. Sur cette base, une première esquisse de la synthèse « Bâtiments et habitations » a été élaborée par Hans-Rudolf Schalcher, soumise à l'examen des Comités de direction du PNR « Énergie », puis rédigée par un journaliste scientifique.

En mai 2019, un groupe de réflexion composé de neuf spécialistes de l'administration et de l'économie s'est réuni pour examiner et évaluer l'esquisse de la synthèse (voir « Mentions légales »). Ils ont également évalué les recommandations en termes d'efficacité et de faisabilité. Après plusieurs remaniements et compléments, la synthèse a été adoptée en septembre 2019 par les Comités de direction du PNR « Énergie ».

3. Trois thématiques clés



Dans le cadre de cette synthèse, les résultats des quelque 40 projets de recherche menés sur le sujet « Bâtiments et habitations » ont été associés à trois thématiques clés :

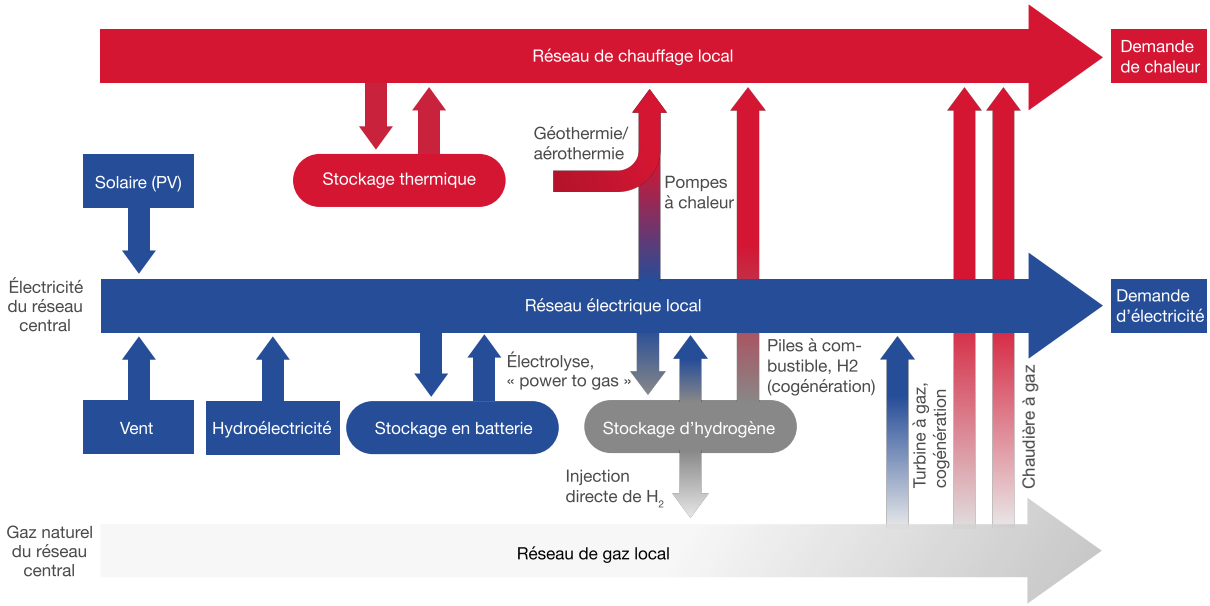
- Systèmes multi-énergies décentralisés
- Photovoltaïque intégré aux bâtiments
- Comportement des usagers des bâtiments

Ces thématiques clés ne sont pas les seuls défis en matière de gestion énergétique des bâtiments et des aménagements. L'amélioration de l'efficacité énergétique est tout aussi importante, notamment dans le domaine du chauffage et de la climatisation qui concentre un potentiel non négligeable, en particulier en ce qui concerne l'enveloppe du bâtiment (toit, murs, fenêtres), où l'isolation, l'utilisation de la lumière naturelle et l'ombrage jouent un rôle central. Ces aspects n'ont toutefois pas été étudiés dans le cadre du PNR Énergie.

3.1. Systèmes multi-énergies décentralisés

Le terme de système multi-énergies décentralisé (DMES) désigne des réseaux de fournisseurs d'énergie locaux de toutes tailles, avec ou sans raccordement aux réseaux énergétiques publics, dont les tarifs abordables et les technologies toujours plus efficaces permettent d'apporter une contribution notable à la couverture de la consommation d'énergie.

3.1.1. Qu'est-ce qu'un système multi-énergies décentralisé ?



Représentation schématique d'un DMES. *Source : Orehounig 2018*

En Suisse, l'électricité est traditionnellement produite dans des unités centralisées, comme les installations hydroélectriques ou les centrales nucléaires. Le cas échéant, elle est complétée par des importations en provenance d'autres pays d'Europe. Un réseau national de haute, moyenne et basse tension permet d'acheminer le courant jusqu'aux consommateurs finals.

La chaleur, au contraire, est généralement produite de façon décentralisée : environ 65 % de l'énergie de chauffage nécessaire dans le pays sont actuellement obtenus sur site à partir de sources d'énergie fossiles comme le mazout et le gaz. À peine 3 % des bâtiments de Suisse sont raccordés à un réseau de chauffage à distance, dont la plupart sont aujourd'hui alimentés par des usines d'incinération d'ordures ménagères, des centrales thermiques ou des stations d'épuration.[1]

Le terme de système multi-énergies décentralisé (DMES) désigne des réseaux de fournisseurs d'énergie locaux de toutes tailles, avec ou sans raccordement aux réseaux énergétiques publics. Ceci comprend par exemple les centrales photovoltaïques, la petite hydraulique, la cogénération, les centrales à biogaz, les installations au gaz d'épuration, les centrales à bois et les usines d'incinération d'ordures ménagères, mais aussi les piles à combustible et les éoliennes. Autre élément constitutif des DMES, les systèmes de stockage sont indispensables à leur bon fonctionnement : batteries rechargeables – y compris celles des voitures électriques –, installations « power to gas », systèmes de chaudières, accumulateurs géothermiques ou réservoirs d'air comprimé.

Si les DMES sont longtemps restés l'apanage des pionniers ou des passionnés de technique, leur tarif plus abordable et leurs technologies toujours plus efficaces leur permettent d'apporter aujourd'hui une contribution notable à la couverture de la consommation d'énergie.

C'est ce qu'ont révélé les études menées dans le cadre du PNR Énergie.

Un certain nombre de modifications législatives soutiennent cette évolution : la version révisée de la Loi sur l'énergie (Lene), entrée en vigueur le 1er janvier 2018, permet non seulement de consommer soi-même l'énergie produite, mais aussi de la revendre sur site sans passer par le fournisseur d'énergie local. Quelques projets tirent d'ores et déjà profit de cette possibilité. À Huttwil BE, un ensemble immobilier de 100 logements répartis en 22 bâtiments bénéficie d'une exposition idéale sur un versant sud. La communauté d'autoconsommation constituée stocke et utilise l'énergie autoproduite au sein de la résidence, tout en injectant dans le réseau l'excédent de production.[2]

Notes et références

1 www.fernwaerme-schweiz.ch
2 www.energiequartier-hohlen.ch

3.1.2. Contribution des DMES à la concrétisation de la Stratégie énergétique 2050

Les systèmes multi-énergies décentralisés (DMES) ont un rôle à jouer dans le remplacement de l'énergie nucléaire et fossile par de nouvelles énergies renouvelables. L'importance de leur contribution dépend fortement de la situation locale. C'est ce qu'a mis en évidence une étude pour laquelle diverses configurations de DMES ont été simulées à titre d'exemple pour un quartier résidentiel de Zurich-Altstetten et dans la commune basse-engadine de Zernez.[1]

Parc immobilier et rayonnement solaire pour les études de cas de Zernez et Zurich-Altstetten.

Source : Projet « Systèmes énergétiques décentralisés »

Le modèle devait démontrer que les DMES permettent de remplacer la part actuelle d'énergie

nucléaire et fossile par des énergies renouvelables. Le mix de technologies théorique comprenait des installations photovoltaïques sur les toits des bâtiments, des piles à combustible, des micro-turbines à gaz, des réservoirs de gaz naturel, une petite centrale hydroélectrique (Zernez uniquement), des éoliennes « low wind », des pompes à chaleur, un système de stockage d'hydrogène, des batteries lithium-ion et des chauffe-eau. Les simulations étaient basées sur trois scénarios distincts de réchauffement climatique d'ici 2050 et tenaient compte des paramètres technologiques et commerciaux pertinents.

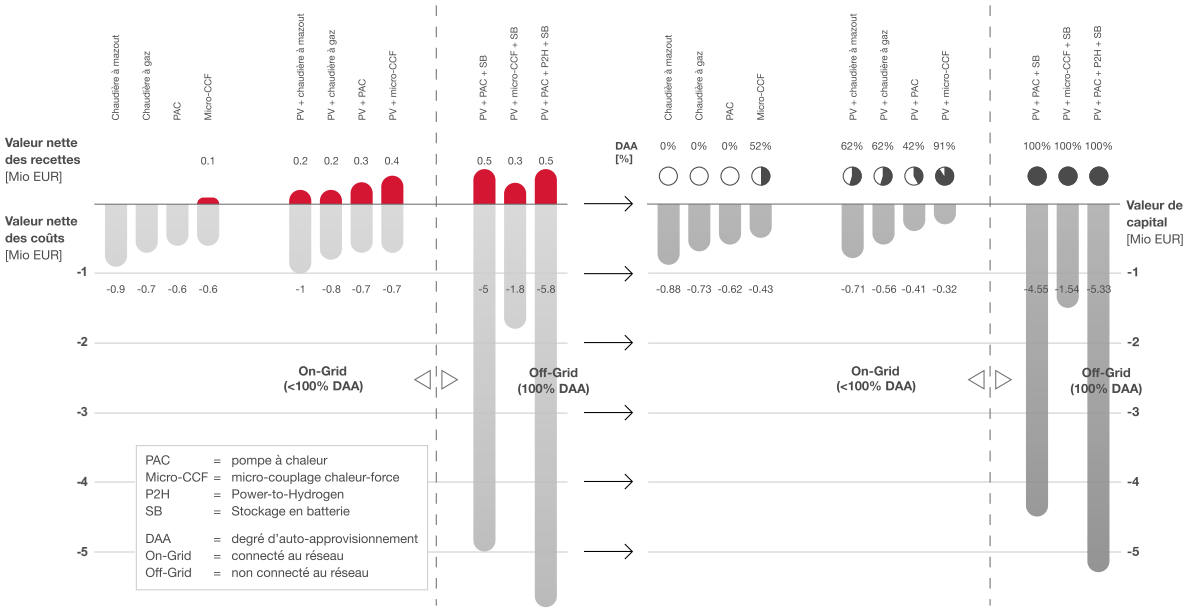
Elles ont montré que dans des régions comme Zernez, qui possèdent un fort potentiel pour les nouvelles énergies renouvelables et une densité de construction relativement faible, les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 sont réalisables à un coût raisonnable. En parallèle, les émissions de CO_2 peuvent être réduites jusqu'à 25 % des quantités actuelles. Dans l'étude de cas urbaine de Zurich-Altstetten en revanche, aucun des scénarios envisagés n'a permis d'atteindre les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 si le taux de rénovation ne dépasse pas 2 % par an ou sans importation supplémentaire d'énergies renouvelables.

Notes et références

1 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés »

Coût / bénéfice

3.1.3. Configuration optimale d'un DMES



Comparatif de rentabilité de diverses configurations DMES pour un exemple fictif à Berne. *Source : Projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »*

Il n'existe pas de solution universelle pour constituer un DMES. Tant sur le plan des coûts de réalisation et de fonctionnement qu'en termes de réduction des émissions de CO_2, la combinaison optimale de solutions de fourniture d'énergie et de systèmes de stockage dépend avant tout :

- des spécificités locales (bâti existant, conditions climatiques, etc.) ;
- de l'évolution future des prix de l'énergie primaire ;
- des subventions (rétribution du courant injecté) ;
- des taxes incitatives (certificats d'émission de CO_2).

Le projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »[1] a permis de déterminer la configuration économiquement la plus favorable pour un quartier fictif situé fictive située à Berne, au moyen d'un modèle technico-économique. Ce quartier compte trois maisons individuelles et trois immeubles collectifs, ainsi qu'un petit bâtiment de bureaux. La consommation annuelle totale atteint en théorie 115,5 MWh, les besoins annuels de chauffage 388,9 MWh.

Diverses configurations d'installations photovoltaïques, de chaudières à mazout ou à gaz, de pompes à chaleur, de piles à combustible, de batteries et de systèmes « power to hydrogen » ont été étudiées : huit avec liaison au réseau (on-grid, avec différents degrés d'autonomie) et

trois sans liaison au réseau (off-grid). Les conditions-cadres étaient basées sur la situation économique actuelle : prix de l'énergie primaire, rétribution de l'injection et coûts d'acquisition et d'exploitation des composants. L'analyse portait exclusivement sur la valeur nette de l'ensemble des flux de paiements, avec pour condition de couvrir l'intégralité de la demande d'énergie ; les émissions de CO_2 n'ont pas été prises en compte.

Toutes les configurations – y compris les systèmes traditionnels au mazout ou au gaz – accusaient une valeur nette négative : les coûts étaient systématiquement supérieurs aux recettes ou aux économies. Les DMES affichaient toutefois en partie des valeurs nettes moins négatives que les systèmes traditionnels. Les solutions off-grid présentaient cependant des valeurs nettes négatives cinq à dix fois supérieures à celles des solutions on-grid. Parmi les configurations on-grid, celles combinant des installations photovoltaïques et des piles à combustible ou des pompes à chaleur – mais renonçant à tout système de stockage – s'avéraient être les plus favorables.

En somme, on peut relever qu'un DMES doit être spécialement configuré pour chaque situation et que dans le cadre du PNR Énergie, des modèles et des méthodes permettant de simuler diverses configurations dans des conditions-cadres spécifiques ont été développés.

Notes et références

1 Projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »

Pilotage

3.1.4. Test de contrôle de DMES

Démonstration de contrôle en temps réel des flux d'électricité dans le micro-réseau réel de l'EPF de Lausanne. *Source : Projet « Gestion en temps réel des flux d'électricité »*

Pour que tous les composants d'un DMES fonctionnent et interagissent de façon optimale – qu'il soit raccordé aux réseaux publics ou non – il faut des systèmes de contrôle perfectionnés, capables de gérer les synergies entre une fourniture et une consommation d'électricité et de chaleur difficilement prévisibles. De toute évidence, chaque DMES nécessite des contrôles adaptés à sa composition et à son environnement : d'une part pour les événements et processus internes et d'autre part pour une éventuelle interaction avec le système énergétique national. Ces niveaux de contrôle ont tous deux été étudiés dans le cadre du PNR Énergie.

Les deux études de cas de Zernez et Zurich-Altstetten ont permis de développer et de tester des algorithmes de contrôle centralisé et distribué des DMES.[1] L'objectif était un contrôle optimal de diverses sources d'énergie renouvelables et le rapprochement avec une consommation d'énergie stochastique dans des conditions-cadres techniques spécifiques. Cette approche présente l'avantage de faciliter la future extension du DMES et d'améliorer la sécurité des données. Ses inconvénients sont pratiquement négligeables. L'analyse des études de cas montre que l'algorithme de contrôle développé fonctionne.

Dans le cadre du projet « Gestion en temps réel des flux d'électricité »[2], un système de contrôle à base d'agents a été développé au sein d'un microgrid[3] existant, à l'interface de plusieurs DMES et du réseau électrique national. Ceci a permis de démontrer à l'échelle réelle qu'un DMES pouvait être exploité et contrôlé en tant que réseau électrique local actif.

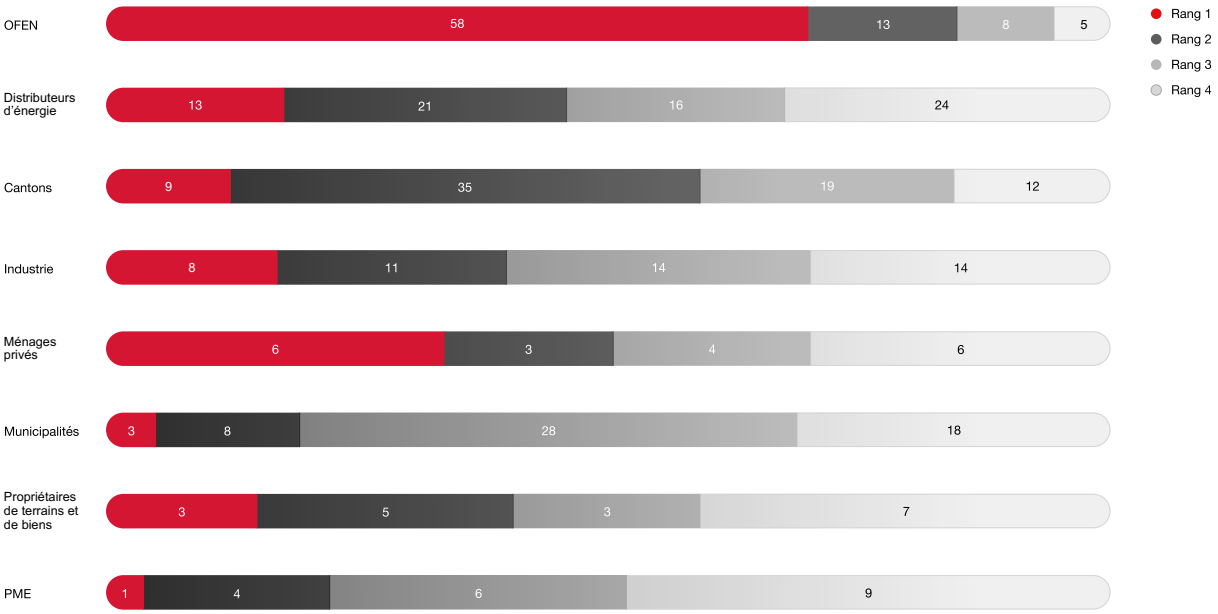
Les renforcements du réseau nécessaires pour l'augmentation du nombre d'installations photovoltaïques ou l'électrification du trafic routier pourraient par conséquent être évités ou fortement réduits. De plus, le contrôle de réseaux électriques locaux actifs contribue à la stabilisation du réseau supérieur. Les algorithmes développés sont utilisables de façon générique et ne doivent pas être recalculés pour chaque cas concret.

Notes et références

1 Projet « Contrôle des systèmes énergétiques décentralisés »
2 Projet « Gestion en temps réel des flux d'électricité »
3 Un microgrid, ou microréseau, est un réseau pouvant fonctionner sans liaison électrique avec le réseau national. Un microgrid couvre généralement un village ou un quartier. Un microgrid est normalement relié au réseau national, mais peut fonctionner en îlotage.

Coopérative énergétique # Financement

3.1.5. Organisation et financement des DMES



Responsabilités pour la concrétisation de la Stratégie énergétique 2050. *Source : Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »*

Un sondage[1] a révélé qu'une majorité de la population estime que la concrétisation de la Stratégie énergétique 2050 – et donc aussi la création de DMES – doit être initiée par l'Office fédéral de l'énergie. Les cantons et les fournisseurs d'énergie n'arrivent qu'ensuite.

Ceci est en contradiction avec la conception selon laquelle les communes et leurs régies doivent jouer un rôle central dans la fondation et la gestion des coopératives énergétiques.[2] En Suisse, quelque 280 coopératives énergétiques sont actuellement inscrites au registre du commerce, parfois depuis plus de 100 ans. Entre 2006 et 2012, leur nombre a sensiblement augmenté à la faveur de l'introduction de la rétribution à prix coûtant (RPC) au 1er janvier 2009. La forte baisse des créations depuis 2012 s'explique notamment par l'incertitude croissante concernant les mesures d'encouragement.

Les coopératives énergétiques demeurent néanmoins un modèle commercial pertinent pour l'organisation et le financement des DMES. Le projet « Financement collectif des énergies renouvelables »[3] a ainsi montré que l'approche coopérative comportait un certain nombre d'avantages, bien au-delà des aspects économiques. Les coopératives énergétiques sont mieux acceptées que d'autres formes d'organisation. De plus, elles favorisent le développement de l'économie locale, tandis que l'aspect participatif sensibilise le grand public aux questions énergétiques. Une vaste enquête, menée dans le cadre du projet « Dépasser les résistances au photovoltaïque »[4], a confirmé qu'environ deux tiers des quelque 400 ménages interrogés seraient prêts à participer financièrement à une installation communale de production de courant solaire.

La fourniture de nouvelles énergies renouvelables au niveau communal est encore mieux acceptée par la population lorsque la commune ou sa régie s'engage financièrement dans une coopérative énergétique et participe activement à la gestion de ce type d'installations.[5]

Notes et références

1 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »
2 Projet « Financement collectif des énergies renouvelables »
3 Projet « Financement collectif des énergies renouvelables »
4 Projet « Dépasser les résistances au photovoltaïque »
5 Rivas J, Schmid B, Seidl I 2018 ; Energiegenossenschaften in der Schweiz : Ergebnisse einer Befragung ; WSL Berichte, Heft 71, WSL Birmensdorf

Batterie # Accumulateur d'énergie

3.1.6. Stockage d'électricité dans des batteries nouvelle génération

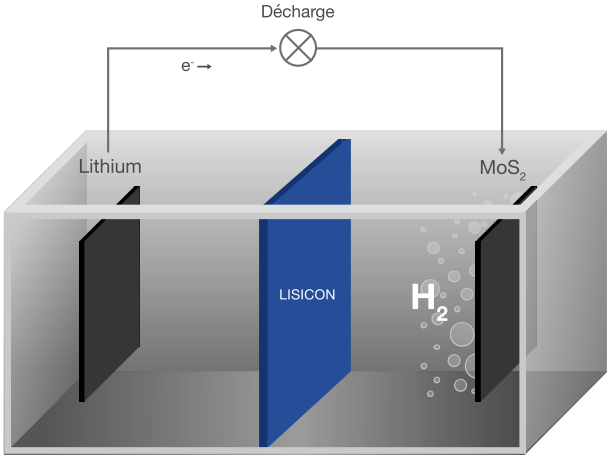


Schéma d'une cellule de batterie Li-eau. *Source : Projet « Matériaux pour les batteries du futur »*

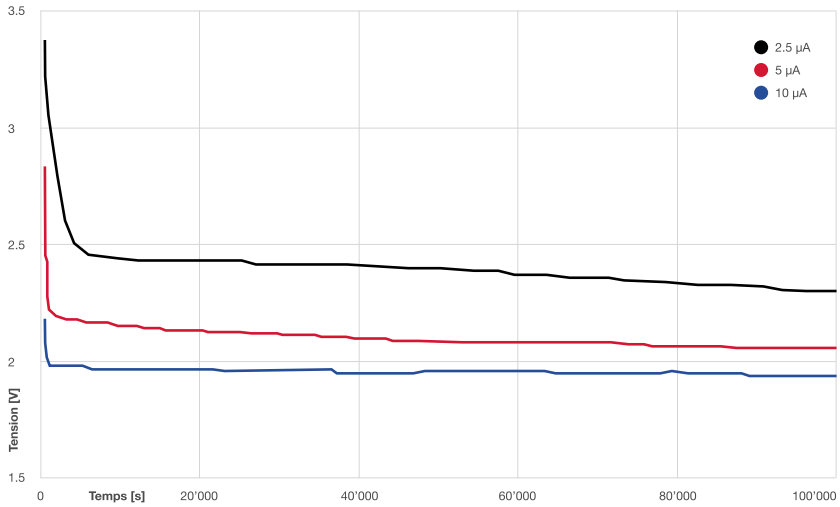
Un stockage d'électricité efficace et bon marché est la clé du déploiement à grande échelle des nouvelles énergies renouvelables. Il existe certes déjà des systèmes de stockage d'énergie, mais ceux-ci sont coûteux et inefficaces. Il y a donc encore beaucoup à faire en matière de recherche et de développement. Dans le cadre du « PNR Energie », diverses technologies de stockage ont été étudiées, mais avant tout pour l'équilibrage jour-nuit et pour la compensation à court terme des jours de mauvais temps.

Le projet « Nouveaux matériaux pour les batteries du futur »[1] a permis de développer de nouveaux composants pour les batteries haute énergie à base des ions de lithium, avec des performances supérieures supérieures à celles des composants actuellement disponibles sur le marché. Il s'agit notamment de membranes en disulfure de molybdène (MoS_2) et de liquides ioniques à base d'éther couronne, constituant une nouvelle classe de mélanges pour électrolytes dans les batteries. Ce type de batteries lithium-eau et lithium-oxygène possède théoriquement une densité énergétique 10 à 30 fois supérieure à celle des batteries rechargeables traditionnelles. Le défi reste de garantir la capacité de charge et de décharge de ces systèmes sur une période d'utilisation prolongée.

Le projet « Batteries lithium-ion nanostructurées »[2], consacré à l'étude de matériaux inédits pour les électrodes hautes performances des batteries lithium-ion, a suivi une approche complètement différente. Son objectif était le développement de microparticules nanoporeuses, destinées à servir d'éléments constitutifs pour la production d'électrodes nouvelle génération. La faisabilité pratique de ces nouveaux matériaux nanostructurés a été démontrée au moyen d'une cathode en lithium phosphate ferrique ($LiFePO_4$) et d'une anode en oxyde de lithium-titane ($Li_4Ti_5O_{12}$). Le remplacement des anodes classiques en graphite par des anodes en $Li_4Ti_5O_{12}$ améliore la sécurité des batteries Li-ion en évitant les phénomènes d'emballement thermique, ce qui est avant tout important pour les grandes batteries – par exemple dans les bâtiments ou les SMED. En combinaison avec une cathode

$LiFePO_4$, on obtient ainsi une batterie pouvant fonctionner en toute sécurité sur une plage de température très étendue. Le projet a mis en évidence pour ces deux matériaux d'électrodes des performances très proches de l'optimum théorique.

Courbes de décharge de différents courants.



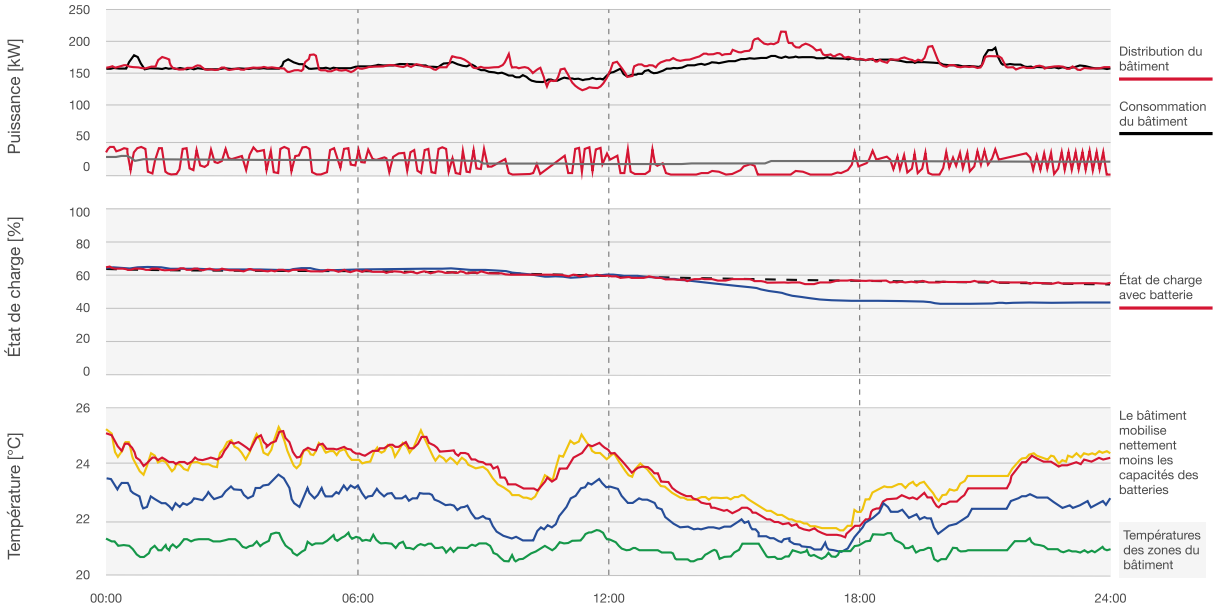
Source : Projet « Matériaux pour les batteries du futur »

Notes et références

1 Projet « Matériaux pour les batteries du futur »
2 Projet « Batteries lithium-ion nanostructurées »

Batterie # Accumulateur d'énergie

3.1.7. Bâtiments en guise de stockage



Journée de fonctionnement associant le stockage virtuel de l'inertie thermique d'un bâtiment à une batterie électrique physique. Cette combinaison réduit sensiblement les coûteux besoins de stockage électrique. *Source : Projet « Demande et stockage dans les réseaux électriques »*

Grâce à des calculs de modélisation et un prototype à échelle réduite, le projet « Demande et stockage dans les réseaux électriques »[1] a permis de démontrer que l'utilisation intelligente de l'inertie thermodynamique d'un bâtiment peut apporter une contribution non négligeable au stockage décentralisé d'électricité et de chaleur.

Un contrôle de fréquence secondaire à l'interface entre le bâtiment inerte et le réseau d'approvisionnement superdynamique permet d'une part de réduire sensiblement les besoins de batteries décentralisées et d'autre part de réaliser des économies sur les courants de l'alimentation en énergie pouvant atteindre jusqu'à 27 % – sans compromis sur le confort des usagers du bâtiment.

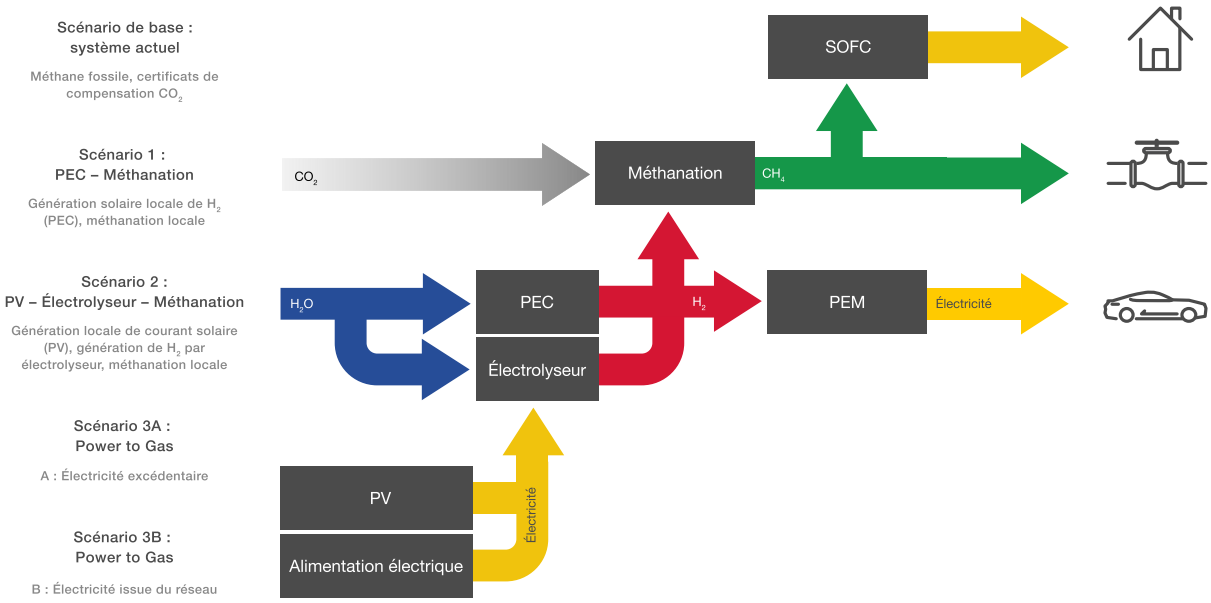
Un logiciel d'optimisation a été développé pour déterminer la configuration optimale du système énergétique local en fonction de la typologie du bâtiment. Il peut également s'appliquer à des quartiers entiers ou dans un contexte national.

Notes et références

1 Projet « Demande et stockage dans les réseaux électriques »

Méthane / méthanisation # Accumulateur d'énergie

3.1.8. Stockage « power to gas »



Vue d'ensemble des flux d'énergie étudiés : Base – combustible fossile, 1. PEC / méthanation de CO_2, 2. PV / électrolyse / méthanation de CO_2, 3A – Génération de méthane à base d'électricité excédentaire et 3B– Génération de méthane à base d'électricité du réseau suisse. *Source : Projet « Durabilité de la méthanation »*

L'approche consistant à stocker l'énergie grâce à la technologie power to gas s'annonce très prometteuse : grâce à un procédé d'électrolyse utilisant le courant excédentaire ou de dissociation photocatalytique, l'eau est séparée en oxygène et en hydrogène. Ce dernier est injecté dans le réseau de gaz public. Si l'hydrogène est stocké dans un réservoir dédié, il peut être reconverti en énergie électrique et thermique via une pile à combustible en cas de besoin.

La combinaison d'hydrogène avec le gaz à effet de serre qu'est le CO_2 – qui peut provenir directement de l'atmosphère ou être issu de processus industriels comme la fabrication de ciment – permet d'obtenir du méthane et de l'eau. Le méthane peut servir de carburant pour les moteurs à combustion interne ou de combustible pour le chauffage de bâtiments.

Le processus de méthanation a pu être sensiblement optimisé dans le cadre du projet « Méthanation catalytique »[1] grâce à la mise en œuvre d'un catalyseur par adsorption inédit permettant une conversion quasi intégrale du CO_2.

L'électrolyse ainsi que la méthanation sont déjà utilisées dans de nombreux domaines. Ces processus présentent toutefois tous deux des inconvénients de taille. La méthanation nécessite des températures comprises entre 300 et 700°C, tandis que l'électrolyse consomme de grandes quantités d'électricité.

La production d'hydrogène par dissociation photocatalytique de l'eau promet des économies d'électricité substantielles.[2] Des études ont montré qu'avec une photocathode transparente améliorée à base d'oxyde de cuivre (Cu_2O), des rendements de plus de 4 % pouvaient être atteints à la lumière naturelle du soleil. L'emploi de cellules solaires HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer) permet même d'atteindre un rendement de l'ordre de 9 %. Chez les plantes, le processus naturel de photosynthèse atteint tout juste un rendement de 1 %.

Notes et références

1 Projet « Méthanation catalytique »
2 Projet « Dissociation de l'eau par photocatalyse »

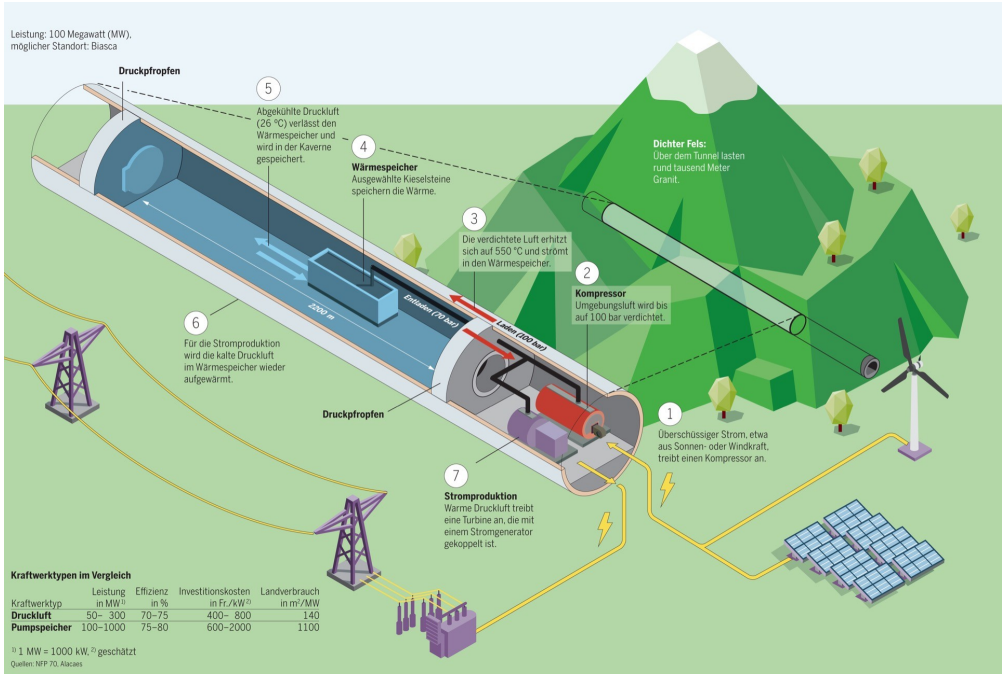
Accumulateur d'énergie

3.1.9. Stockage d'électricité dans les montagnes

La compression adiabatique de l'air[1] est un concept de stockage d'énergie encore jamais éprouvé à ce jour. Par rapport aux installations de pompage-turbinage, il présente l'avantage d'atteindre une efficacité similaire sans impact sur le paysage. Un ouvrage pilote, installé dans une galerie de marinage désaffectée du tunnel de base du Saint-Gothard, fournit une preuve de principe de la faisabilité de cette méthode. Un tronçon de galerie de 120 mètres de long a été revêtu de béton projeté et verrouillé aux deux extrémités par un solide bouchon de béton. L'air injecté dans la galerie peut atteindre une pression de 33 bars. Le processus est adiabatique parce que la chaleur générée par la compression n'est pas rejetée dans l'environnement mais stockée dans un conteneur rempli de pierres pour être également convertie en énergie électrique lors de la phase de décharge de la galerie. L'air comprimé est alors dirigé vers une turbine qui entraîne un générateur pour produire de l'électricité. Ceci permet d'atteindre des rendements de l'ordre de 70 à 75 %.

D'après des calculs théoriques, la compression adiabatique de l'air permet de stocker quelque 500 MWh d'électricité dans un volume de 50 000 m^3, ce qui correspond à la consommation de courant de la ville de Lugano pendant environ 12 heures.

Représentation schématique d'un ouvrage commercial de stockage par compression adiabatique de l'air



Source : ALACAES SA Lugano

Notes et références

1 Projet « Améliorer le stockage d'énergie par air comprimé »

Froid / chaleur

3.1.10. Nombreuses sources de chaleur non fossiles

Sous nos latitudes, près de 80 % de la consommation totale d'énergie finale du parc immobilier est actuellement le fait du chauffage des locaux et de la production d'eau chaude sanitaire. Pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de CO_2, des mesures sont nécessaires à cet égard.

La récupération de **chaleur issue de l'énergie solaire** est l'application la plus ancienne des nouvelles énergies renouvelables. Les dernières évolutions concernent le développement de panneaux solaires hybrides, capables de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité.

La récupération de **chaleur issue des déchets** est également exploitée de longue date. Depuis plus de 80 ans déjà, la première usine de valorisation des ordures ménagères de Suisse, située Josefstrasse à Zurich, injecte dans les réseaux de chauffage urbains locaux la chaleur dissipée par l'incinération des déchets. Comme le montre la synthèse conjointe « Gestion des déchets pour soutenir la transition énergétique »[1], la récupération de chaleur à partir des ordures ménagères affiche encore un potentiel considérable de gains d'efficacité.

La récupération de **chaleur issue de l'environnement** est devenue une évidence, notamment en raison de la diffusion rapide des pompes à chaleur dans les nouvelles constructions. Le projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »[2] a révélé que les pompes à chaleur aussi bien géothermiques qu'aérothermiques jouaient un rôle important dans les DMES. Des pistes pour améliorer la rentabilité des pompes à chaleur ont été fournies par le projet conjoint « Utilisation de chaleur avec des pompes à chaleur d'adsorption »[3].

La récupération de **chaleur issue de l'écorce terrestre** (géothermie profonde) en est encore

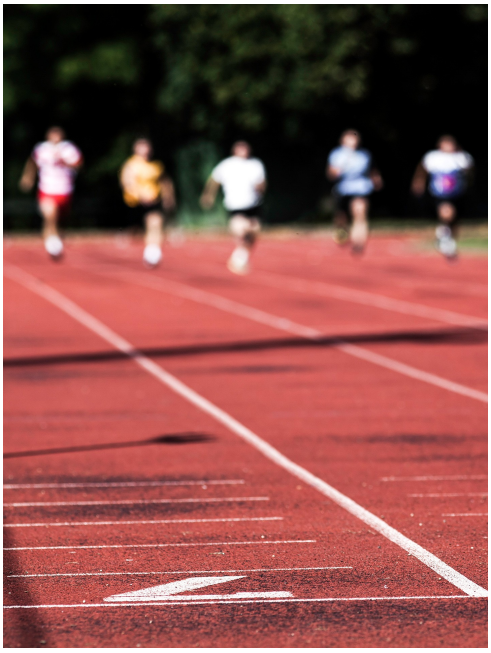
à ses débuts en Suisse. En raison des secousses telluriques et des dégâts sur des bâtiments provoqués par des projets de démonstration à Bâle et Saint-Gall, la prudence est de mise dans ce domaine. Le projet « Géothermie profonde »[4] a analysé ces phénomènes et étudié en détail l'adéquation de diverses formations géologiques de Suisse à la géothermie profonde. Les recherches menées dans le cadre du projet « Réservoirs de chaleur souterrains »[5] ont démontré que la Suisse disposait d'un solide potentiel de récupération de chaleur en profondeur et que celui-ci était économiquement exploitable par un DMES par exemple.

Notes et références

1 Projet « Gestion des déchets pour soutenir la transition énergétique »
2 Projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »
3 Projet « Utilisation de chaleur avec des pompes chaleur d'adsorption »
4 Projet « Géothermie profonde »
5 Projet « Réservoirs de chaleur souterrains »

Froid / chaleur # Bois

3.1.11. Nouvelles technologies pour se rapprocher des objectifs



Un certain nombre de nouvelles technologies développées dans le cadre du PNR Énergie soutiennent efficacement la concrétisation de la Stratégie énergétique 2050 dans le domaine des bâtiments et des aménagements.

- Le projet « Technologie des systèmes énergétiques décentralisés »[1] livre des indications sur l'adéquation et l'optimisation des piles à combustible (CHP = Combined Heat and Power Units) et des technologies power to gas avec les DMES. Ces possibilités d'amélioration portent en premier lieu sur l'optimisation des coûts d'investissement et d'exploitation, la longévité des systèmes et leur efficacité thermique. De plus, ces composants ont été modélisés pour permettre la simulation de diverses configurations DMES. Ces simulations ont entre autres montré que ces technologies étaient certes plus coûteuses que les solutions conventionnelles, mais que leur intégration au réseau de distribution permettait de réduire les émissions de CO_2 du système énergétique et d'améliorer la capacité du réseau sans en modifier fondamentalement la structure.
- Le projet conjoint « Utilisation de chaleur avec des pompes à chaleur d'adsorption »[2] était consacré à la poursuite du développement des pompes à chaleur d'adsorption à pilotage thermique pour tirer profit de la chaleur fatale ou d'origine renouvelable telle que la géothermie pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments et en particulier des centres de calcul. Les recherches portaient essentiellement sur :
  - le développement et la démonstration de matériaux d'adsorption performants ;
  - le développement et la démonstration de procédés de traitement ;

- l'intégration de couches d'adsorption hautes performances aux pompes à chaleur ;
- des applications pilotes dans la plage allant jusqu'à 10 kW de puissance de refroidissement.

Une structure servant à évaluer la durabilité et les coûts des pompes à chaleur d'adsorption a par ailleurs été développée.

- Le bois est une source d'énergie renouvelable fréquente et populaire en Suisse. Sa combustion pour produire de la chaleur génère toutefois des quantités non négligeables de polluants atmosphériques. Le projet « Réduction des polluants dans la combustion du bois »[3] a montré que les appareils de combustion à bois automatisés, fonctionnant à haute température et avec un ratio air/combustible optimal émettaient jusqu'à 2 400 fois moins de CO, de COVNM, d'eBC et d'AOP que les appareils exploités manuellement. Une procédure d'exploitation appropriée est toutefois nécessaire.

Notes et références

1 Projet « Technologie des systèmes énergétiques décentralisés »
2 Projet « Utilisation de chaleur avec des pompes chaleur d'adsorption »
3 Projet « Réduction des polluants dans la combustion du bois »

Durabilité # Incitations

3.1.12. Développement des DMES : facteurs incitatifs

- **Intérêt général pour la durabilité** : Les questions de durabilité suscitent actuellement beaucoup d'intérêt en Suisse. Cet aspect est déterminant pour la mise en œuvre de DMES.[1]
- **Idéalisme des propriétaires de bâtiments** : Tant dans les nouvelles constructions que lors de la réhabilitation de bâtiments anciens, les propriétaires privés de biens immobiliers font preuve d'idéalisme en se révélant de plus en plus prêts à effectuer des investissements dans le domaine de l'énergie, se caractérisant par des durées d'amortissement particulièrement longues voire par un bilan financier légèrement négatif.[2]
- **Participation** : Lorsque les ménages, les propriétaires et les entreprises sont activement impliqués dans la mise en place de DMES en tant que prosommateurs (producteurs et consommateurs d'énergie), leur potentiel et leur faisabilité s'en trouvent améliorés.[3]
- **Systèmes d'incitation** : Les systèmes incitatifs de tous types – contributions publiques aux investissements, rétribution du courant injecté, possibilités de déduction fiscale, prêts hypothécaires à conditions préférentielles, etc. – sont des facteurs de motivation efficaces, en particulier pour les particuliers propriétaires de leur logement.[4]

Notes et références

1 Rivas J, Schmid B, Seidl I 2018 ; Energiegenossenschaften in der Schweiz : Ergebnisse einer Befragung. WSL-Berichte, Heft 71, WSL Birmensdorf

2 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »
3 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »
4 Projet « Dépasser les résistances au photovoltaïque »

3.1.13. Développement des DMES : obstacles

- **Complexité des systèmes** : Les nouvelles installations efficaces et leur combinaison pour former des DMES fonctionnant de manière fiable sont très complexes. La tentation de miser sur des concepts éprouvés est grande. De plus, cette grande complexité est assez difficile à faire passer auprès des propriétaires de biens immobiliers, des autorités, des planificateurs et des installateurs.[1]
- **Évolution des conditions-cadres** : La future évolution des conditions-cadres de la Stratégie énergétique 2050 demeure incertaine à de nombreux égards. Dans quel sens les prix de l'énergie vont-ils changer ? À quel niveau de subvention, de rétribution de l'injection et de taxes d'incitation faut-il s'attendre ? La Suisse conclura-t-elle un accord avec l'UE dans le domaine de l'électricité ? Une étude montre que les interrogations ouvertes de ce type freinent la création de coopératives énergétiques.[2]
- **Rentabilité incertaine** : Les études montrent que la mise en place et l'exploitation rentable d'un DMES avec une durée d'amortissement acceptable n'est que rarement possible à l'heure actuelle. La question de savoir si, quand et comment la situation va changer dépend d'un tel nombre de facteurs qu'il est difficilement possible de faire un pronostic fiable. D'après les études, la rentabilité est actuellement le facteur clé en matière de DMES.[3]
- **Flexibilité personnelle** : Nombreux sont ceux qui ne souhaitent plus être liés sur une trop longue période. C'est pourquoi la disposition à s'engager à long terme financièrement, géographiquement ou en termes d'organisation a tendance à reculer.[4]
- **Manque d'engagement** : Une étude basée sur une enquête révèle que la responsabilité de la mise en œuvre de la transition énergétique est avant tout renvoyée à l'OFEN, aux

énergéticiens et aux cantons.[5]

Notes et références

1 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés »
2 Projet « Financement collectif des énergies renouvelables »
3 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »
4 Projet « Potentiel d'économies d'énergie chez les ménages des personnes âgées »
5 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »

Information / communication

3.1.14. DMES : actions requises

Les recherches menées sur la thématique des « systèmes multi-énergies décentralisés » dans le cadre du PNR Énergie font apparaître un une nécessité d'agir dans les domaines suivants :

- **Information** : Afin d'obtenir une large acceptation des DMES et de leur mise en place, les informations à ce sujet doivent être diffusées activement auprès des propriétaires de biens immobiliers, des autorités, des architectes, des ingénieurs et des installateurs.[1] Des études ont montré que le concept de DMES était déjà bien accepté actuellement[2]. Une approche « ascendante » (bottom up) permettra de renforcer l'acceptation et, par conséquent, la participation.
- **Conditions-cadres** : Afin de dissiper les incertitudes des exploitants et des investisseurs, les futures conditions-cadres de la transition énergétique doivent être définies au plus vite.[3] C'est ce que prévoyait le deuxième groupe de mesures de la Stratégie énergétique 2050, qui devait remplacer le système d'encouragement actuel par un concept d'incitation. De même, l'avenir du calcul et du plafond de la redevance hydraulique devait être rapidement clarifié.[4] Ni l'adoption d'une taxe incitative, ni la réforme de la redevance hydraulique n'ont cependant été validées par le Parlement fédéral. Par ailleurs, l'accord bilatéral sur l'électricité, négocié avec l'UE en 2007 et devant permettre l'accès de la Suisse au marché européen de l'électricité, a lui aussi été reporté sine die. Plus ces conditions-cadres tarderont à faire l'objet d'un accord formel, plus il sera difficile d'atteindre les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 en matière d'énergie et d'émissions de CO_2 dans les délais prévus.[5]

- **Assainissement énergétique** : Le chauffage joue un rôle déterminant dans les besoins d'énergie des bâtiments. Le projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »[6] révèle que les besoins d'énergie de chauffage des anciens bâtiments particulièrement énergivores sont tels qu'un système de pompe à chaleur ne suffit pas à les couvrir de manière éco-énergétique. L'assainissement énergétique du parc immobilier vieillissant est par conséquent indispensable, en particulier dans les zones urbaines. Le taux de rénovation actuel d'environ 1,5 % par an est insuffisant pour porter le parc immobilier à un niveau énergétiquement acceptable à moyen terme.

Notes et références

1 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés »
2 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »
3 Projet « Financement collectif des énergies renouvelables »
4
5 Projet « La Suisse et la politique énergétique de l'UE »
6 Projet « Systèmes énergétiques décentralisés et société »

3.2. Photovoltaïque intégré aux bâtiments

Les installations photovoltaïques en toiture ou en façade jouissent d'une popularité grandissante, qui s'explique entre autres par leur tarif de plus en plus abordable. L'exploitation optimale du potentiel de cette technologie exige toutefois davantage de connaissances, une nouvelle réglementation et des innovations.

Photovoltaïque

3.2.1. Essor grâce à la chute des prix, aux subventions et au changement de mentalité

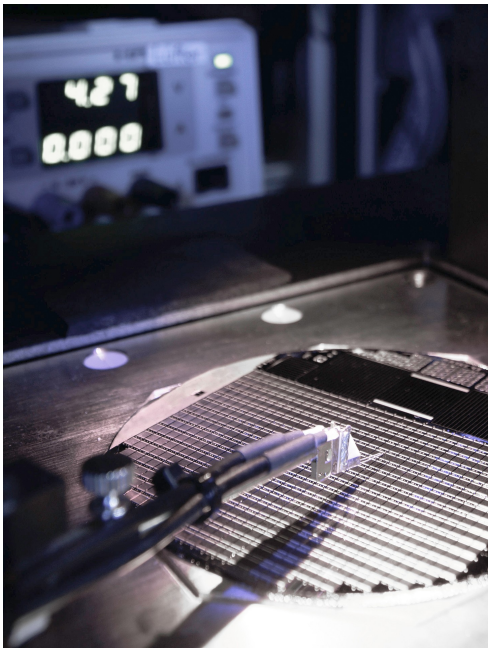
Prix moyen par kW_c des cellules solaires au silicium pour les installations sur toiture jusqu'à 10 kW_c. / Production d'électricité photovoltaïque en GWh. *Source : Association fédérale de l'industrie solaire / OFEN Statistique globale de l'énergie 2017*

Après une phase de démarrage relativement longue, le photovoltaïque (PV) jouit d'une popularité croissante en Suisse. Ceci s'explique entre autres par les tarifs des modules PV, qui ont fortement baissé au cours des dernières années en raison de la concurrence internationale et des économies d'échelle. Outre la chute des prix, les généreuses subventions et la prise de conscience croissante des problématiques énergétiques ont également contribué à développer l'installation de systèmes photovoltaïques.

Cette illustration met notamment en évidence la forte hausse de la production d'électricité photovoltaïque depuis 2011, suite à l'introduction de la rétribution à prix coûtant (RPC) du courant injecté le 1er janvier 2009. Au cours des cinq années allant de 2011 à 2016, l'augmentation annuelle était en moyenne de 233 GWh/a. Toutefois, pour atteindre l'objectif pour l'année 2050 de 11 100 GWh/a fixé par la Stratégie énergétique 2050, l'augmentation annuelle devrait toutefois atteindre 287 GWh/a en moyenne. Cela ne semble pas irréalisable, mais nous ne devons pas relâcher nos efforts – même après expiration de la RPC en 2022.

Photovoltaïque

3.2.2. Des rendements toujours plus élevés



Nouvelle cellule solaire ayant obtenu le record mondial de performance sur un wafer de 100 mm avec environ 500 cellules focalisatrices. *Source : Fraunhofer ISE / Photo Alexander Wekkeli*

Le rendement des cellules solaires est souvent considéré comme un critère important pour évaluer cette technologie. Si des rendements de l'ordre de 5 % étaient initialement considérés comme très bons, les produits de masse couramment utilisés en Suisse affichent aujourd'hui des rendements compris entre 16 et 18 %. Le rendement maximum physiquement possible pour des cellules solaires au silicium se situe aux alentours de 29 %. Des progrès sont donc encore possibles dans ce domaine. La société Kaneka Corp. d'Osaka (Japon) a récemment annoncé avoir développé une cellule solaire au silicium affichant un rendement de 26,3 %, une valeur confirmée par le Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, basé à Fribourg-en-Brisgau (Allemagne).

Cet institut détient d'ailleurs le record mondial en la matière : en 2019, un rendement de 46 % a été atteint dans son laboratoire.[1] Cette valeur a été mesurée sur une cellule solaire à quadruple jonction pour le photovoltaïque à concentration, basée sur des assemblages de semi-conducteurs II-V permettant de concentrer 508 fois la lumière incidente. Il s'agit cependant de résultats théoriques obtenus sur de très petits échantillons et qui sont encore très loin d'une production à l'échelle industrielle.

Parallèlement à cela de nouveaux matériaux sont développés pour les cellules solaires. Au premier rang de ceux-ci figurent les pérovskites, des cristaux métallo-organiques nettement moins coûteux que le silicium. Le rendement des cellules solaires à pérovskites a progressé

jusqu'à 22 % dans un délai relativement court. Une recherche fondamentale de qualité sur les pérovskites a également été menée dans le cadre des projets « Les cellules à pérovskites du futur »[2] et « Pérovskites pour l'énergie solaire »[3] du PNR Énergie. Des rendements de 27 à 30 % sont attendus avec les cellules solaires tandem, associant pérovskites et silicium. L'inconvénient principal des pérovskites est leur sensibilité à l'humidité et aux rayons UV. Il reste un certain nombre de progrès à accomplir en matière de recherche et de développement avant que les cellules solaires à pérovskites ne conquièrent le marché.

Notes et références

1 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2014 ; Presseinformation # 26, ISE. Fribourg-en-Brisgau
2 Projet « Les cellules à perovskites du futur »
3 Projet « Pérovskites pour l'énergie solaire »

Photovoltaïque

3.2.3. Recherches approfondies pour des améliorations prometteuses

Module PV couleur terre cuite comme tuile de couverture. *Source : Projet « Stratégies du photovoltaïque intégré au bâtiment »*

Un rendement élevé ne suffit cependant pas à garantir le succès commercial des cellules solaires. La durée de vie, le prix, les matériaux utilisés et la chaleur ou l'énergie nécessaire à leur fabrication sont également des aspects décisifs pour leur rentabilité et leur éco-compatibilité. Ces caractéristiques ont d'ailleurs fait l'objet de recherches approfondies dans le cadre du PNR Énergie.

Le projet « Cellules solaires multi-jonctions »[1] s'est notamment intéressé au développement de cellules solaires tandem – où les pérovskites sont directement appliqués sur le silicium – dans de meilleures conditions de production. Les chercheurs sont ainsi parvenus pour la première fois à fabriquer des cellules solaires tandem dont le rendement dépasse 25 % (valeur certifiée de 25,2 %), en maintenant la température des pérovskites sous les 150°C.

Le projet « Stratégies du photovoltaïque intégré au bâtiment »[2] mettait l'accent d'une part sur l'amélioration de l'esthétique des modules photovoltaïques et d'autre part sur la fabrication de modules solaires ultra-légers. Ces derniers sont avant tout destinés à l'intégration aux bâtiments anciens, disposant d'une capacité limitée de surcharge. Dans le cadre de ce projet, un module couleur terre cuite a également été développé pour les installations intégrées aux toitures de bâtiments sensibles d'un point de vue architectural.

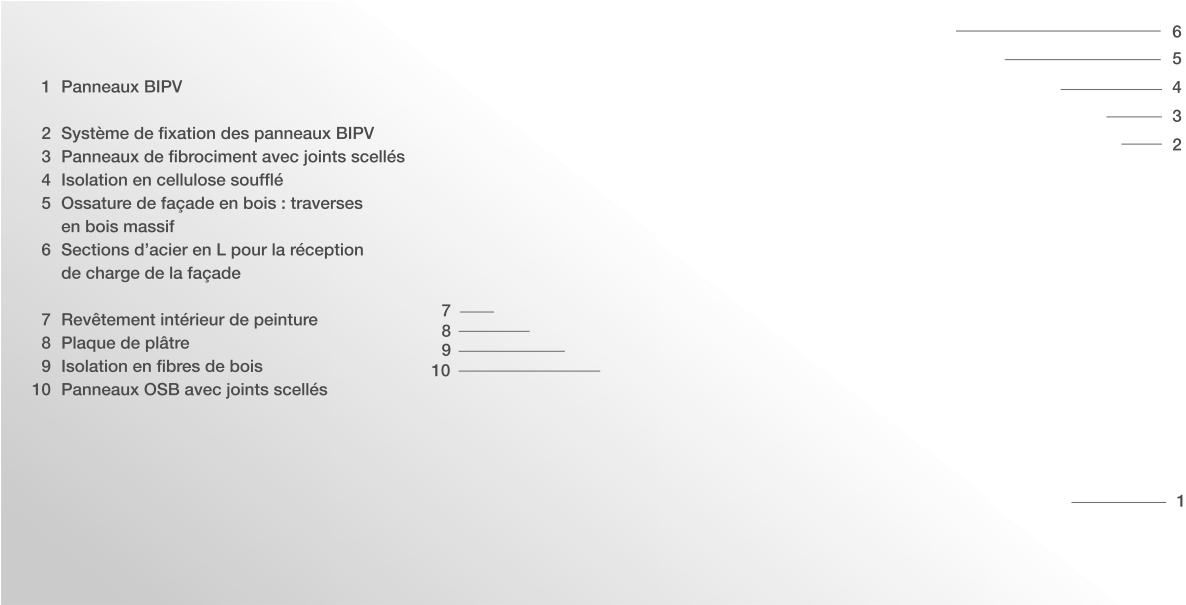
Notes et références

1 Projet « Cellules solaires multi-jonctions »

2 Projet « Stratégies du photovoltaïque intégré au bâtiment »

Coût / bénéfice # Photovoltaïque

3.2.4. Du laboratoire au chantier



Système de façade préfabriqué avec panneaux photovoltaïques intégrés au bâtiment.
Source : Projet « Systèmes photovoltaïques intégrés ultra-performants »

Alors que les recherches sur les propriétés matérielles des composants dédiés aux cellules solaires de nouvelle génération progressent, d'autres chercheurs réfléchissent déjà à la mise en œuvre pratique de ces nouvelles technologies dans le cadre du projet « Systèmes photovoltaïques intégrés ultra-performants »[1]. Ces travaux font suite aux récentes avancées des cellules solaires tandem à pérovskites, dont la stabilité à long terme et la durée de vie posent encore question. Grâce à une méthode d'encapsulation inédite, les chercheurs ont toutefois réussi à faire passer à une cellule solaire tandem à pérovskites de 4" le test de vieillissement accéléré à la vapeur/chaleur, conformément à la norme EN 61215[2].

Sur la base de cette cellule solaire de nouvelle génération et à l'aide de 12 archétypes de constructions, les chercheurs ont développé un système de façade intégral préfabriqué (AAF Advanced Active Façade), composé d'isolants thermiques respectueux de l'environnement, d'un cadre en bois couvrant toute la hauteur de l'étage, de panneaux agglomérés à revêtement coupe-feu sur la face interne et de modules solaires teintés ou structurés côté extérieur.

(Élément visuel : Système de façade préfabriqué avec panneaux photovoltaïques intégrés au bâtiment. Source : Perret-Aebi 2019)

Une étude du cycle de vie des 12 archétypes équipés du nouveau système de façade a conduit aux constats suivants :

- Le potentiel énergétique de la façade AAF avec cellules solaires tandem à pérovskites est

au moins dix fois supérieur à l'énergie grise intrinsèque de la façade.

- Par rapport à une façade classique sans installation photovoltaïque, le potentiel total d'économies d'énergie est d'environ 78 %.
- Le surcoût d'une façade AAF intégrant des cellules solaires tandem à pérovskites est de l'ordre de 33 % par rapport à une façade classique sans PV.
- Étant donné qu'il s'agit d'une « maison zéro énergie », la plus-value est toutefois amortie en seulement 6 ans.

Les études ont également montré que pour les immeubles collectifs, les installations classiques en toiture ne suffisaient pas pour atteindre les objectifs de la Stratégie énergétique 2050. La façade du bâtiment doit devenir son fournisseur d'énergie.

Notes et références

1 Projet « Systèmes photovoltaïques intégrés ultra-performants »
2 EN 61215 :2006-02 ; Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation

Marché # Comportement # Photovoltaïque

3.2.5. Comment réagit le marché ?

Dans le cadre du projet « Dépasser les résistances au photovoltaïque »[1], une vaste enquête menée auprès des propriétaires de logement projetant de rénover leur toiture a conduit aux résultats suivants : 43 % des sondés ont exclu la pose d'une installation solaire sur leur toit ; la moitié des 57 % restants privilégiait une installation classique plus abordable, tandis que l'autre moitié s'est dite prête à débourser 22 % de plus pour une solution intégrée, plus esthétique. Cette attitude positive a été confirmée par une autre enquête, menée pour le projet « Durabilité des systèmes photovoltaïques »[2], qui a montré qu'une large majorité de la population et des autorités de Suisse alémanique était favorable au photovoltaïque intégré aux bâtiments (BIPV) et considérait la technique comme relativement dépourvue de risques. Les seuls aspects négatifs parfois cités étaient l'impact esthétique sur les bâtiments et l'énergie grise associée.

Malgré ces chiffres, le photovoltaïque intégré aux bâtiments (BIPV) reste dans une situation difficile que le projet « Accélération du recours au photovoltaïque »[3] explique essentiellement par les raisons suivantes :

- Les propriétaires de bâtiments, les architectes et les ingénieurs manquent de connaissances au sujet du BIPV.
- Le BIPV est techniquement complexe et doit faire l'objet d'une prise en compte précoce et interdisciplinaire lors de la planification.
- Le surcoût du BIPV par rapport aux installations classiques en toiture ou en façade implique une durée d'amortissement relativement longue.

- La situation du BIPV est particulièrement difficile dans le domaine de la rénovation car sa mise en œuvre sur le bâti ancien n'est intéressante qu'en cas d'assainissement total de l'enveloppe du bâtiment.

En dehors de ces obstacles, il existe toutefois aussi des signaux positifs :

- Les coûts d'investissement/kWc des panneaux solaires au silicium ont fortement diminué au cours des dernières années.
- La construction d'installations solaires reste encore largement subventionnée et fiscalement avantagée.
- Les procédures d'autorisation ont été simplifiées et le courant produit peut être vendu directement à des tiers.

La fin de la rétribution à prix coûtant du courant injecté en 2022 – sans programme prévu pour lui succéder – pourrait constituer un frein supplémentaire.

Notes et références

1 Projet « Dépasser les résistances au photovoltaïque »
2 Projet « Durabilité des systèmes photovoltaïques »
3 Projet « Accélérer l'utilisation du photovoltaïque »

Durabilité # Incitation / encouragement # Photovoltaïque

3.2.6. Développement du BIPV : facteurs incitatifs

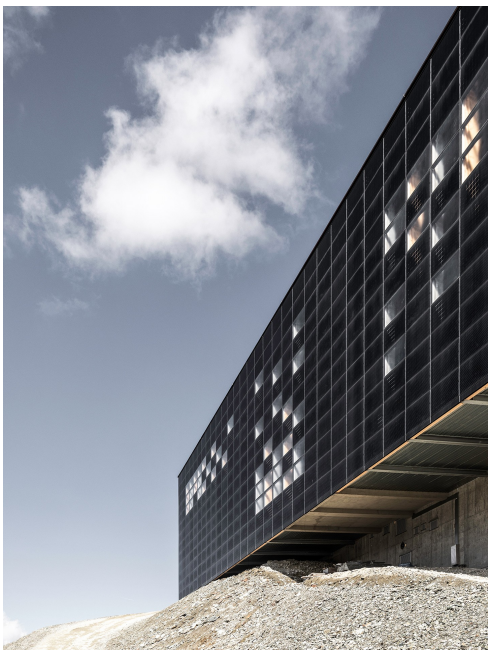
- **Besoins de rénovation** : Du fait de leur vieillissement et de leur utilisation, les bâtiments ont régulièrement besoin d'être rénovés. La couverture des toitures en pente et les fenêtres doivent être renouvelées tous les 30 à 50 ans, les façades après 70 ans. Ces projets de rénovation sont souvent l'occasion de se pencher sur la problématique de l'énergie.[1]
- **Prise de conscience en matière de développement durable**: La prise de conscience croissante de la finitude de nos ressources et des problématiques climatiques dans les milieux politiques, économiques et dans la société favorise la réflexion et l'action à long terme, ce qui contribue à l'attractivité du BIPV.[2]
- **Instruments d'incitation** : Une palette d'instruments incitatifs efficaces, tels que des tarifs d'électricité avec un système de bonus/malus ou des certificats de CO_2 progressifs pour l'électricité issue de produits pétroliers etc. améliorent la compétitivité du BIPV.[3]

Notes et références

1 Projet « Photovoltaïque et réorganisation du tissu urbain »
2 Rivas J., Schmid B., Seidl I. 2018 ; Energiegenossenschaften in der Schweiz : Ergebnisse einer Befragung. WSL-Berichte, Heft 71, WSL Birmensdorf
3 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »

Coût / bénéfice # Photovoltaïque

3.2.7. Développement du BIPV : obstacles



Façade de la gare du téléphérique 3S. *Source : Zermatt Bergbahnen*

- **Manque de connaissances** : Les propriétaires de bâtiments, les architectes et les ingénieurs manquent de connaissances et d'expérience en matière de BIPV.[1]
- **Planification par discipline** : Les architectes et les ingénieurs raisonnent et planifient principalement dans leur propre discipline. Le BIPV n'est cependant réalisable qu'au prix d'une coopération interdisciplinaire très étroite, qui commence dès les premiers stades de réflexion autour d'un projet.[2]
- **Rentabilité incertaine** : Bien que le prix des cellules solaires continue de baisser, la rentabilité du BIPV est tributaire de nombreux facteurs d'incertitude : Quelle est la durée de vie des modules solaires et sur quelle baisse de rendement faut-il tabler ? Comment évoluent les subventions et la rétribution du courant injecté ?[3]

Notes et références

1 Projet « Accélérer l'utilisation du photovoltaïque »
2 Projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »
3 Projet « Systèmes photovoltaïques intégrés ultra-performants »

3.2.8. BIPV : actions requises

Les recherches menées sur la thématique du « photovoltaïque intégré aux bâtiments » dans le cadre du PNR Énergie font apparaître une nécessité d'agir dans les domaines suivants :

- **Formation initiale et continue** : Une formation initiale et continue de qualité professionnelle pour les architectes, les ingénieurs et les entreprises concernées est essentielle pour une diffusion rapide du BIPV.[1]
- **Information** : Les propriétaires de bâtiments doivent être informés au sujet du BIPV, de ses avantages et inconvénients, des innovations techniques, des possibilités de financement intéressantes et des exemples de bonnes pratiques.[2]
- **Régulation** : La législation en matière de planification et de construction, les procédures correspondantes et les normes techniques doivent gagner en ouverture afin que le BIPV et d'autres innovations techniques puissent être mis en application de façon simple et rapide.[3 4 5]
- **Conditions-cadres fiables** : Les investissements dans l'efficacité énergétique et dans les nouvelles énergies renouvelables doivent être chiffrables et sont donc tributaires de conditions-cadres fiables. Cela comprend par exemple la rétribution du courant injecté, les subventions publiques, les avantages fiscaux, ainsi que les possibilités de recours du droit de la construction.[6 7] En raison des grandes différences entre les cantons, des actions sont d'autant plus nécessaires à cet égard.

Notes et références

1 Projet « Accélérer l'utilisation du photovoltaïque »
2 Projet « Accélérer l'utilisation du photovoltaïque »

3
4 Projet « Standards du photovoltaïque »
5 Projet « Paysages énergétiques »
6 Projet « Systèmes photovoltaïques intégrés ultra-performants »
7 Projet « Rentabilité des systèmes énergétiques décentralisés »

3.3. Comportement des usagers des bâtiments

Nous vivons et travaillons tous dans des bâtiments. À condition d'utiliser les équipements de façon efficace, de privilégier un mode de vie sobre et de tirer profit des avantages du numérique, notre comportement individuel peut apporter une contribution considérable à la réalisation des objectifs de la Stratégie énergétique 2050.

Niveau de vie # Comportement

3.3.1. Les besoins d'énergie dépendent du niveau de vie

En 2017, la surface habitable moyenne était en Suisse de 46 m² par habitant : 29 m² dans un studio une pièce, 42 m² dans un appartement de trois pièces et 59 m² dans les logements de six pièces et plus.[1] Les grands appartements ne sont par conséquent pas majoritairement habités par des familles nombreuses, mais par des personnes ayant un niveau de vie supérieur.

Dans les bureaux, la surface par poste de travail varie entre 6 et 25 m² (surface utile principale), sans prendre en compte les bureaux des chefs. La ville de Zurich tend par exemple vers une moyenne de 12,5 m² par poste de travail. Sur le lieu de travail, les règles n'ont guère changé : ceux qui décident s'octroient davantage de place pour travailler.

Ce ne sont pourtant pas seulement les mètres carrés utilisés qui déterminent la consommation d'énergie liée au chauffage, à la climatisation et à la préparation d'eau chaude. Plus la surface habitable par personne est importante, plus le besoin d'énergie des différents équipements augmente : le réfrigérateur et le congélateur sont plus grands, la cuisinière est complétée par un four vapeur et un micro-ondes, tandis que le lave-vaisselle, le lave-linge et le sèche-linge effectuent plusieurs cycles quotidiens.

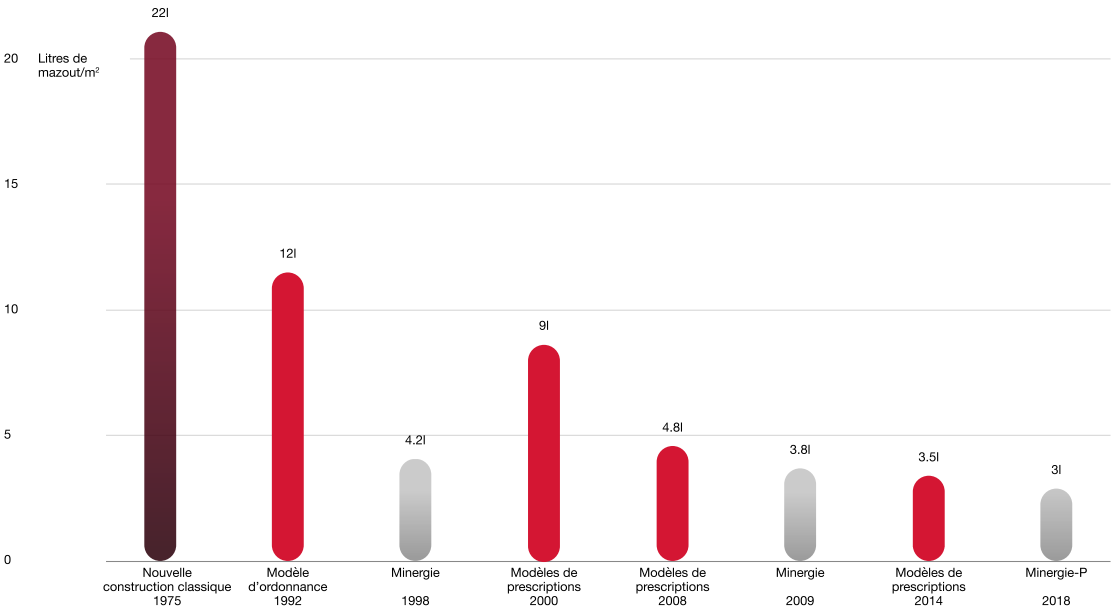
La situation est semblable sur le lieu de travail : les supérieurs hiérarchiques ont besoin de plus d'un écran, d'une imprimante couleur et d'un scanner personnel, de deux voire trois téléphones mobiles, d'une machine à café automatique, d'un réfrigérateur et bien plus. L'ensemble de ces petits consommateurs d'énergie représente aussi une consommation considérable d'énergie primaire et grise pour les bâtiments et les quartiers.

Notes et références

1 Office fédéral de la statistique 2018 ; Statistique des bâtiments et des logements

Efficacité énergétique

3.3.2. Les bâtiments les moins énergivores ne sont pas toujours privilégiés



Diminution des besoins de chaleur des nouvelles constructions (chauffage et eau chaude) au cours des 40 dernières années. *Source : TEC21 31-32-33/2018*

Les nouveaux bâtiments consomment nettement moins d'énergie que ceux dont la construction est antérieure à 1990. Ceci s'explique par le renforcement constant des prescriptions en matière de consommation d'énergie des bâtiments, telles que les modèles de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), des lois cantonales sur l'énergie ou des normes pertinentes de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA).

En Suisse, en l'absence d'amélioration significative du taux actuel de rénovation d'environ 1,5 % par an, plusieurs décennies seront nécessaires jusqu'à ce que tous les bâtiments aient fait l'objet d'un assainissement énergétique. Si les propriétaires-occupants peuvent décider eux-mêmes du moment et de l'ampleur d'une rénovation énergétique, les locataires n'ont d'autre choix que de déménager dans un logement moins énergivore.

Dans le cadre du projet « Modes de vie durables et consommation d'énergie »[1], il a été demandé à quelque 3 500 locataires lucernois s'ils avaient déjà sérieusement envisagé de déménager dans un bâtiment avec de meilleures caractéristiques énergétiques. 46,5 % des 1 295 répondants ont indiqué n'avoir jamais réfléchi à changer pour un logement moins énergivore, 31 % y avaient déjà pensé, 11,9 % avaient effectivement opté pour un bâtiment efficace sur le plan énergétique lors de leur dernier déménagement et 10,3 % résidaient déjà depuis longtemps dans un tel logement.[2]

L'étude s'est également intéressée au processus de décision des répondants. Outre les valeurs sociales et le ressenti personnel, la décision de déménager dans une maison plus

économe en énergie dépendait avant tout de la marge de manœuvre individuelle, c'est-à-dire la capacité à procéder à un tel changement de résidence d'un point de vue financier ou autre.

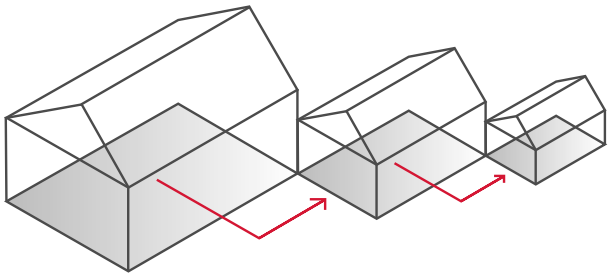
Notes et références

1 Projet « Modes de vie durables et consommation d'énergie »

2 Schaffner D., Ohnmacht T., Weibel Ch., Mahrer M. 2017; Moving into energy-efficient homes : A dynamic approach to understanding residents decision-making. Building and Environment 123, Elsevier Ltd.

Bâtiments # Suffisance

3.3.3. La sobriété est possible



Les experts en énergie le réaffirment régulièrement : pour réussir, la transformation de notre système énergétique ne doit impliquer aucun compromis en termes de confort, ni restriction de la liberté personnelle. Une transformation respectant ces conditions a toutefois un prix et nécessite beaucoup de temps. De sérieux doutes existent sur le fait que nous disposions effectivement du temps et de l'argent nécessaire. En clair, les objectifs énergétiques et climatiques ne pourront être atteints en temps utile sans compromis et sans restrictions. Le concept de sobriété implique de limiter la consommation de ressources aux besoins réels. Les expériences dans ce domaine montrent que le fait de renoncer à ce qui est inutile peut-être une source de satisfaction et ne doit par conséquent pas être perçu comme négatif.

Dans le domaine des bâtiments et habitations, la réduction des surfaces utilisées est le principal facteur d'influence dans la perspective de la sobriété. Les familles peuvent par exemple agir lorsque les enfants quittent le foyer et que toutes les chambres ne sont plus occupées en permanence. Le projet « Potentiel d'économies d'énergie chez les ménages des personnes âgées »[1] s'est penché sur cette thématique. Il est apparu que les personnes âgées utilisaient des surfaces nettement supérieures à celles des plus jeunes et n'étaient guère enclines à déménager dans un logement plus petit et moins énergivore. Des enquêtes ont révélé que ceci n'était pas particulièrement dû au fait que les personnes âgées avaient besoin ou souhaitaient disposer de plus d'espace, mais bien plus à un fort attachement à l'environnement de vie, à la difficulté d'accepter le vieillissement et aux incertitudes financières liées à un changement de logement.

Les solutions proposées par l'étude sont axées sur l'information, le conseil et l'encouragement, sans donner pour autant la priorité aux incitations financières, mais en faisant appel à des valeurs immatérielles comme la protection de l'environnement et la responsabilité sociale.

Notes et références

1 Projet « Potentiel d'économies d'énergie chez les ménages des personnes âgées »

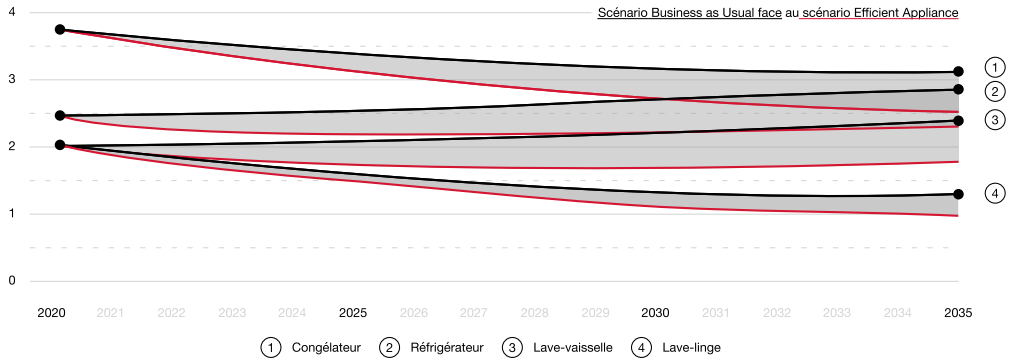
Efficacité énergétique # Comportement

3.3.4. Utiliser les équipements de façon plus efficace

Un radiateur et son thermostat dans un logement à Zurich. *Source : Christian Beutler Keystone*

Les comportements de consommation ont une influence considérable sur l'efficacité énergétique. Les achats ciblés sur la base des déclarations figurant sur les marchandises, comme l'étiquette énergétique pour les appareils ménagers ou le label Energy Star pour les équipements informatiques peu énergivores, sont une pratique répandue. Le projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »[1] montre cependant qu'il ne suffit pas d'attendre l'arrivée sur le marché d'appareils électroménagers toujours plus économes. Des calculs de modélisation ont par exemple révélé qu'à l'échelle de la Suisse, la consommation d'électricité des lave-linges et des lave-vaisselles ne diminuera que très peu d'ici 2035. En effet, bien que les appareils gagneront très probablement en efficacité énergétique, cet effet sera annulé par la multiplication du nombre d'équipements.

Future consommation d'électricité des appareils ménagers pour les scénarios « Business as usual » et « Label class A+++ ».



Source : Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »

En ce qui concerne les équipements électroménagers, les innovations techniques devront par conséquent s'accompagner d'efforts supplémentaires en matière de comportement, par exemple grâce à un usage plus efficace.

Les approches motivées par la sobriété, comme le partage, l'usage prolongé des équipements ou l'achat de produits d'occasion, sont tout aussi importantes. À défaut de diminuer la consommation d'énergie finale, ces démarches se traduisent toutes trois par des économies d'énergie grise. En effet, il est peu probable qu'une perceuse empruntée soit moins utilisée sous prétexte qu'elle appartient à quelqu'un d'autre.

Au titre d'une démarche d'« utilisation prolongée », le projet « Modes de vie durables et consommation d'énergie »[2] a par exemple étudié l'éventualité de se servir d'un téléphone mobile jusqu'à ce qu'il cesse de fonctionner. D'après cette enquête, une bonne moitié des personnes interrogées achètent uniquement un nouveau téléphone mobile lorsque l'ancien ne fonctionne plus, alors qu'environ un quart des sondés le remplace bien avant qu'il ne soit en fin de vie.[3] Là aussi, les marges de manœuvre individuelles, les valeurs et les émotions personnelles sont les facteurs déterminants d'un comportement de consommation plus respectueux de l'environnement.

Notes et références

1 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
2 Projet « Modes de vie durables et consommation d'énergie »
3 Ohnmacht T, Thao V T, Schaffner D, Weibel Ch 2018 ; How to postpone purchases of a new mobile phone ? Pointers for interventions based on socio-psychological factors and a phase model. Journal of Cleaner Production 200, Elsevier Ltd

Numérisation # Comportement

3.3.5. Économiser l’énergie de façon intelligente

Le recours au numérique dans les bâtiments – on parle souvent de Smart Home ou de maison intelligente – peut contribuer aux économies d’énergie. Il ne s’agit pas uniquement d’éteindre la lumière dans le logement lorsque le GPS de l’appli constate que la maison est vide. Le projet « Mécanismes comportementaux déterminants dans la consommation d’électricité des ménages »[1] s’est demandé quelle influence avait l’installation de compteurs intelligents – ou Smart Meters – sur la consommation d’électricité des ménages. Un millier de ménages ont ainsi été dotés d’une application mobile et répartis en cinq groupes, recevant chacun des informations différentes sur leur consommation de courant, ainsi que différents conseils et incitations aux économies. L’expérience a permis de dégager les constats suivants :

- Les ménages ayant reçu des informations détaillées sur les principaux consommateurs d’énergie comme la cuisinière, le réfrigérateur, le lave-linge, etc. ont économisé nettement plus d’électricité que ceux qui disposaient uniquement de la consommation totale de leur ménage.
- Les conseils personnalisés sur les économies d’électricité se traduisent par une forte réduction de la consommation de courant du ménage concerné.
- Les incitations à court terme n’ont pas d’effet significatif.

L’étude démontre que la mise en œuvre de compteurs électriques intelligents dans les ménages conduit à des économies de courant de 5 à 10 % à condition que les informations sur la consommation soient ventilées par équipements et éclairages et que les usagers soient

informés au cas par cas de l'intérêt et du potentiel des économies d'électricité. Ce potentiel d'économies est nettement supérieur aux économies de 2 à 3 % qui ont pu être constatées avec l'emploi d'un compteur traditionnel n'affichant que la consommation globale d'électricité.

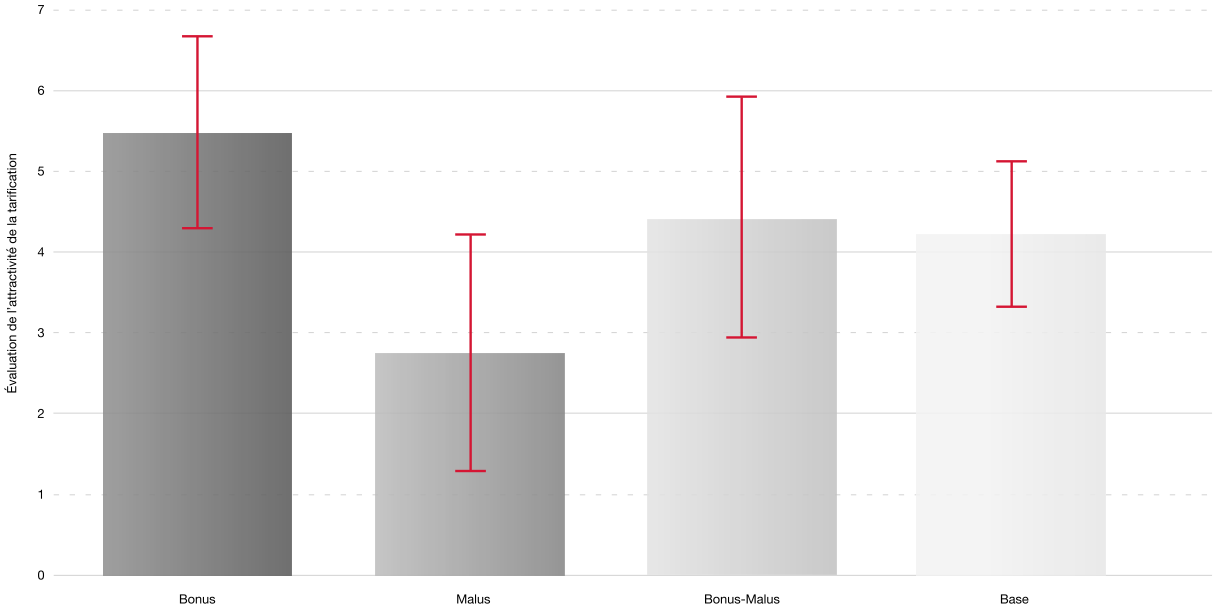
Si la révision de l'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité (OApEl) déjà initiée sur le plan politique entre en vigueur comme prévu, les fournisseurs d'énergie et les propriétaires de bâtiments seront soumis à une pression accrue pour la généralisation des compteurs intelligents. En effet, conformément à l'art. 31e de l'OApEl, 80 % des points de mesure des gestionnaires du réseau de distribution doivent être équipés de compteurs intelligents d'ici fin 2027.

Notes et références

1 Projet « Mécanismes comportementaux déterminants dans la consommation d'électricité des ménages »

Tarif # Incitations

3.3.6. Récompenser les économies



Diminution des besoins de chaleur des nouvelles constructions (chauffage et eau chaude) au cours des 40 dernières années. *Source : Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »*

Les systèmes incitatifs sont une tradition de longue date en Suisse : il existe des subventions et allègements fiscaux pour l'agriculture, les CFF, l'hydroélectricité, l'assainissement des bâtiments, etc. Au sein de cette véritable jungle, il est important d'examiner soigneusement les avantages, l'investissement et les éventuels inconvénients des nouveaux systèmes d'incitation.

Le projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »[1] a analysé deux modèles de tarification de l'électricité pour les ménages :

- bonus tarifaire lorsque les objectifs d'économies sont atteints,
- tarifs d'électricité progressifs, dans l'esprit d'un malus.

Il est apparu que les deux modèles conduisaient à des économies d'électricité substantielles. Les incitations négatives sont même un peu plus efficaces que les positives, alors que d'après un sondage, les solutions de bonus sont plus populaires que la tarification progressive qui sanctionne une consommation trop élevée.

Un tarif associant un bonus et un malus permettrait de résoudre le dilemme entre l'efficacité et l'acceptation des nouveaux modèles tarifaires, au moins pour certains groupes de consommateurs. Un aspect essentiel pour le succès de ces modèles tarifaires visant à influencer la consommation est que les consommateurs disposent d'une certaine liberté de

choix. Ces études montrent par ailleurs que l'introduction de nouveaux modèles tarifaires est très complexe et implique de nombreuses incertitudes. Ceux-ci doivent par conséquent être soigneusement planifiés et communiqués.

Notes et références

1 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »

Bonus / malus # Durabilité

3.3.7. Efficacité énergétique accrue grâce à des changements de comportement : facteurs incitatifs

- **Tarification de l'énergie à bonus/malus** : Une combinaison astucieuse de facteurs incitatifs et dissuasifs au niveau des tarifs de l'énergie a une influence considérable sur le comportement des usagers d'un bâtiment auxquels la consommation personnelle d'énergie est en principe directement facturée.[1]
- **Savoir et comprendre** : Lorsque les usagers d'un bâtiment connaissent et comprennent le système énergétique, leurs options et possibilités d'influence personnelles ainsi que les conséquences économiques de leurs actes, ils sont davantage disposés à faire des efforts d'économie d'énergie même si cela implique certains compromis en termes de confort ou un surcoût.[2]
- **Sensibilisation au développement durable** : Les thématiques comme la raréfaction des ressources, le réchauffement climatique ou la pollution de l'air sont actuellement omniprésentes. La sensibilisation croissante au développement durable, notamment chez les jeunes, accroît la disposition à mettre en œuvre des mesures.[3]

Notes et références

1 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
2 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
3 Rivas J, Schmid B, Seidl I 2018 ; Energiegenossenschaften in der Schweiz : Ergebnisse einer Befragung. WSL-Berichte, Heft 71, WSL Birmensdorf

Coût / bénéfice # Population

3.3.8. Efficacité énergétique accrue grâce à des changements de comportement : obstacles

- **Usagers ≠ propriétaires de bâtiments** : Qu'il s'agisse du logement ou du lieu de travail, les usagers des bâtiments en sont rarement les propriétaires. Ceci limite leur disposition et leur capacité à s'engager pour plus d'efficacité énergétique.[1]
- **Rentabilité incertaine** : La difficulté à chiffrer la rentabilité des mesures d'économie d'énergie freine leur mise en œuvre à grande échelle. De même, la perspective d'une baisse des prix grâce aux futures économies d'échelle incite un grand nombre de personnes à l'attentisme.[2]
- **Vieillissement de la population** : La hausse rapide de la proportion de personnes âgées dans la population totale a plutôt tendance à freiner la dynamique d'évolution sociale. La mise en œuvre de mesures d'économie d'énergie dans les ménages et les entreprises s'en trouve par conséquent ralentie.[3]

Notes et références

1 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
2 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
3 Projet « Potentiel d'économies d'énergie chez les ménages des personnes âgées »

Numérisation # Tarif

3.3.9. Comportement des usagers des bâtiments : actions requises

Les recherches menées sur la thématique du « comportement des usagers des bâtiments » dans le cadre du PNR Énergie font apparaître un une nécessité d'agir dans les domaines suivants :

- **Nouveaux modèles tarifaires** : La consommation d'énergie – électricité, chauffage et climatisation, gaz, etc. – doit bénéficier de nouveaux modèles de tarification, qui se distinguent des tarifs forfaitaires classiques, indépendants du volume : ceux-ci doivent récompenser financièrement les efforts d'économie d'énergie des usagers des bâtiments, et inversement, être défavorables en cas de gaspillage.[1]
- **Transfert de connaissances** : Il faut informer davantage et de façon plus compréhensible, afin que tous les usagers actuels et futurs des bâtiments comprennent le système énergétique et sachent quels sont les leviers pertinents pour économiser l'énergie à domicile et sur le lieu de travail.[2] [3]
- **Smart Metering** : La généralisation des « smart meters » ou compteurs intelligents doit être encouragée et accélérée. Les usagers des bâtiments doivent savoir quand ils utilisent quel type d'énergie, en quelle quantité et dans quel but.[4] Ce n'est qu'en ayant connaissance de ces éléments qu'ils peuvent identifier les économies potentielles et par conséquent planifier et mettre en œuvre des mesures d'économie d'énergie pertinentes et financièrement viables. La pose de compteurs intelligents peut se faire à l'initiative du propriétaire d'un bâtiment ou du fournisseur d'énergie.

Notes et références

1 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
2 Projet « Efficacité énergétique au sein des ménages »
3 Projet « Mécanismes comportementaux déterminants dans la consommation d'électricité des ménages »
4 Projet « Mécanismes comportementaux déterminants dans la consommation d'électricité des ménages »

4. Neuf recommandations pour l'avenir

Le thème « Bâtiments et habitations » concerne un large éventail de groupes d'intérêt – il comprend en fait tous les acteurs du système énergétique, c'est-à-dire l'ensemble de la population, les entreprises, les fournisseurs d'énergie, les associations professionnelles, l'administration publique et les milieux politiques.

Les recommandations suivantes s'adressent toutefois seulement aux groupes d'intérêt ayant une influence immédiate sur la future organisation de l'approvisionnement en énergie et sur la consommation énergétique du parc immobilier suisse, c'est-à-dire notamment les :

- usagers de bâtiments (ménages et entreprises) ;
- propriétaires de bâtiments ;
- fournisseurs d'énergie ;
- instances politiques (Confédération, cantons, communes) ;
- associations.

Les recommandations formulées sont essentiellement déduites des études menées dans le cadre du PNR Énergie et des actions requises qui en découlent , et sont pertinentes dans la perspective de la transformation de notre système énergétique.

Comportement # Ménages # Entreprises

4.1. Les usagers des bâtiments gèrent leur propre consommation d'énergie

Les usagers des bâtiments connaissent leur consommation d'énergie et utilisent les moyens disponibles pour faire des économies.

Les membres d'un foyer et les collaborateurs d'une entreprise connaissent les besoins énergétiques des différents équipements consommateurs – ils savent par conséquent combien d'énergie est nécessaire pour le chauffage, la préparation d'eau chaude, les appareils ménagers, le matériel informatique, les produits électroniques de divertissement et l'éclairage. Ils utilisent les moyens, toujours plus fréquents dans les nouvelles constructions, permettant de gérer et de maîtriser leur consommation d'énergie. Ceux-ci comprennent entre autres des interrupteurs centralisés, une utilisation optimale de la lumière naturelle, des dispositifs d'ombrage pilotés individuellement, la capacité d'accumulation thermique des murs et des dalles, le réglage pièce par pièce de la température ambiante, les possibilités de refroidissement nocturne, la pose de compteurs intelligents et le renoncement à une cheminée. En cas de déménagement, les usagers s'enquièrent si ces conditions sont réunies dans le nouveau bâtiment. En complément, les usagers des bâtiments utilisent exclusivement des appareils ménagers, audiovisuels, de communication et informatiques peu énergivores. En somme, grâce à une mise en œuvre pertinente, les différentes mesures individuelles contribuent sensiblement à réduire la consommation d'énergie et, par conséquent, les coûts des locaux.

Investissement # Propriétaires d'immeubles

4.2. Positionnement stratégique de l'optimisation énergétique

Pour les propriétaires de bâtiments, l'optimisation énergétique de leurs biens est un pilier central de leur stratégie immobilière. Toutes les mesures de préservation des bâtiments sont également évaluées sur le plan de leur efficacité énergétique et des émissions de CO_2.

Les propriétaires développent une stratégie à long terme pour l'optimisation énergétique de leurs bâtiments. Les objectifs de cette stratégie sont l'amélioration substantielle de l'efficacité énergétique, la suppression des émissions de CO_2, une exploitation rentable et la préservation de la valeur du bâti. Pour financer les investissements qui en découlent, un plan de financement à long terme est élaboré et l'alimentation du fonds de réhabilitation est adaptée. La mise en œuvre de cette stratégie fait l'objet d'une surveillance constante, tandis que la stratégie elle-même est régulièrement examinée et mise à jour.

Participation # Investissement # Propriétaires d'immeubles

4.3. Impliquer les usagers au plus tôt dans les projets d'assainissement

Si les usagers sont informés à temps des projets d'assainissement prévus, ils acceptent plus facilement les désagréments associés. Pour le propriétaire du bâtiment, cela représente une économie de temps et d'argent.

Les projets d'assainissement peuvent entraîner des nuisances passagères et dans certains ca des coûts supplémentaires pour les usagers des bâtiments. Pour favoriser néanmoins la compréhension des usagers et leur adhésion aux optimisations énergétiques, ils doivent être informés au plus tôt de la planification et de la préparation des travaux. La répartition spatiale et temporelle des étapes de l'assainissement permet généralement de tenir compte sans surcoût des préoccupations légitimes des usagers. Pour ce type de projets d'assainissement, il est par conséquent recommandé de créer un groupe de travail dédié dès la planification stratégique.

Numérisation # Tarif # Fournisseur d'énergie

4.4. Économiser l'énergie et réduire les coûts grâce à des modèles tarifaires attrayants

Source : Zuzu/Ananı Sikim through Wikipedia Commons under a CC BY-SA 3.0 License

Des modèles tarifaires dynamiques associés à des incitations attrayantes contribuent à réduire la consommation d'énergie et les coûts associés.

La tarification actuelle de l'électricité, basée sur des prix figés pour les heures pleines/creuses et une rétribution fixe d'utilisation du réseau, n'est plus adaptée à l'univers actuel et à venir de l'énergie. La situation est un peu meilleure pour la tarification du gaz, qui se caractérise souvent par un tarif de base progressif en fonction de l'usage associé à un prix d'achat fixe. À l'avenir, les différentes sources d'énergie nécessitent des modèles tarifaires attrayants, favorisés par des incitations sans incidence sur les coûts, sous la forme de tarifs progressifs ou d'un système de bonus/malus combiné. L'objectif visé et le bonus (ou le malus) sont déterminés au cas par cas entre le fournisseur d'énergie local et les consommateurs. Une autre approche consiste à appliquer une tarification basée sur l'offre : des prix bas lorsque l'offre est importante et des prix plus élevés quand celle-ci se raréfie. Pour permettre aux consommateurs de profiter au maximum des avantages de ce type de modèles tarifaires liés à l'offre, la gestion des charges doit être automatisée, ce qui nécessite le recours à des compteurs intelligents.

Numérisation # Tarif # Fournisseur d'énergie

4.5. Initier des systèmes multi-énergies décentralisés

Les systèmes multi-énergies décentralisés favorisent la fourniture locale d'énergie, la coordination des différentes sources d'énergie et la responsabilité personnelle des consommateurs. Le fournisseur d'énergie local joue à cet égard un rôle central.

Les fournisseurs d'énergie identifient, de leur propre initiative et dans leur zone d'influence, les périmètres adaptés à la mise en œuvre de systèmes multi-énergies décentralisés (DMES) et élaborent pour chacun d'eux un concept de DMES ainsi qu'une étude de faisabilité technique, écologique et financière. En cas de bilan positif, le fournisseur d'énergie renseigne la commune concernée ainsi que les propriétaires de bâtiments et initie les étapes suivantes : il informe la population, fonde une coopérative énergétique et lance les procédures d'autorisation nécessaires. Le fournisseur d'énergie reste co-propriétaire du DMES et en assure la gestion.

Associations et ONG

4.6. Coordonner la formation des professionnels

Les compétences des professionnels de l'énergie, de la construction et de l'immobilier à propos du futur système énergétique doivent être améliorées. Ceci ne nécessite pas de nouveaux instruments, mais une consolidation et une coordination de l'offre de formation actuelle.

La Suisse dispose déjà d'une offre considérable de possibilités de formation continue dans le domaine de l'énergie – généralement proposées par des associations professionnelles et spécialisées – qui est toutefois de qualité variable et mal coordonnée. Les thématiques prioritaires des formations continues sont les nouveaux matériaux, produits et technologies ayant trait à l'énergie, notamment dans le domaine des systèmes multi-énergies décentralisés et du photovoltaïque intégré aux bâtiments. Une association professionnelle, p. ex. la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), doit prendre l'initiative pour clarifier la jungle des formations, donner davantage de transparence aux offres individuelles et à leurs objectifs pédagogiques, aux contenus des cours, aux conditions de participation, aux certificats finaux et coordonner l'ensemble. Le gouvernement fédéral doit parrainer cette coordination et en prendre en charge les coûts.

Régulation # Politique (Confédération, canton, commune)

4.7. Créer des conditions-cadres fiables

Afin que les investissements dans l'efficacité énergétique et dans les nouvelles énergies renouvelables soient chiffrables, tous les acteurs sont tributaires de conditions-cadres prévisibles et fiables.

Le Conseil fédéral et les Chambres fédérales peuvent contribuer à la mise en place de conditions-cadres fiables, par exemple en clarifiant les rapports entre la Suisse et l'Europe ainsi que la pérennisation des accords bilatéraux, en concluant rapidement un accord sur l'électricité, en introduisant des mesures d'incitation attrayantes, en dynamisant la redevance hydraulique, en clarifiant l'imposition de la valeur locative et les allègements fiscaux associés, en assouplissant partiellement la Loi sur l'aménagement du territoire, etc. Tant que ces aspects resteront l'objet de grandes incertitudes, les investissements des fournisseurs d'énergie et des propriétaires de bâtiments dans de nouvelles énergies renouvelables ou dans l'efficacité énergétique resteront très timides, ce qui remet en question la réalisation des objectifs de la Stratégie énergétique 2050. Face à cette situation critique, le Conseil fédéral devrait faire preuve de plus de leadership et les deux chambres devraient faire primer l'avenir de la Suisse sur les intérêts particuliers.

Régulation # Politique (Confédération, canton, commune)

4.8. Recentrer et simplifier la réglementation

Les lois, les ordonnances et les normes ont une influence non négligeable sur la réalisation des objectifs de la Stratégie énergétique 2050. Il ne s'agit pas de multiplier les règles, mais de les rendre plus efficaces et mieux compréhensibles.

La réglementation en matière d'énergie, qui a été formulée alors que le contexte était différent, n'est plus en phase avec les exigences et les possibilités actuelles. Les cantons doivent par conséquent recentrer leur législation en matière de planification, de construction et d'énergie dans la perspective d'une mise en œuvre rapide et rentable de la Stratégie énergétique 2050 et simplifier les procédures d'autorisation et d'approbation. La prochaine révision des modèles de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) et sa mise en œuvre pertinente revêtent à ce titre une importance particulière. Les MoPEC devraient se concentrer sur un nombre limité d'objectifs clairement définis et compréhensibles.

Administration publique # Politique (Confédération, canton, commune)

4.9. Informer et motiver la nouvelle génération

Pour réussir la sortie de l'énergie fossile et nucléaire, la nouvelle génération doit être informée et motivée.

Dans le monde entier, des jeunes manifestent pour la préservation de la planète et la lutte contre le réchauffement climatique. On leur reproche souvent d'agir sans véritable connaissance des causes et des enjeux. Il est donc important de leur transmettre ces connaissances. Dans les écoles primaires, les cantons et les communes mettent en place à cet effet un module éducatif attrayant, consacré aux questions énergétiques et climatiques.