

## Fiche technique sur le développement des systèmes d'énergie renouvelable et décentralisée

# Restructuration du système énergétique pour un «zéro émission nette»

L'objectif climatique de la Suisse est «zéro émission nette»: les émissions nationales de gaz à effet de serre doivent être réduites en conséquence d'ici à 2050. Les émissions de CO<sub>2</sub> doivent être réduites de moitié dans tous les domaines de la consommation d'ici à 2030. Afin de répondre à la demande d'énergie dans les agglomérations pour le chauffage, la climatisation, l'eau chaude sanitaire et l'électricité domestique sans émissions, l'énergie thermique et électrique provenant de sources renouvelables doit être fournie au niveau local (voir «offre abondante dans la zone d'habitation», p. 6). Les sites et autres zones densément habitées deviennent ainsi des références pour l'approvisionnement en énergie renouvelable. Si cette offre est étendue de manière ciblée, la demande dans le secteur du bâtiment peut être satisfaite de manière décentralisée sans coûts de transport importants. Une constatation importante de la recherche sur l'énergie est que la conversion du système d'approvisionnement d'énergies fossiles aux énergies renouvelables et celle du système centralisé au système décentralisé doivent être abordées de manière systémique. Les bâtiments et les sites doivent non seulement être convertis en sollicitant des sources d'énergie renouvelables, mais leur consommation doit également être réduite. La rénovation de bâtiments à haut rendement énergétique peut diminuer considérablement la demande (voir l'illustr. 1). Les bâtiments ou les sites peuvent également être intégrés activement au système énergétique, par exemple à l'aide d'installations solaires ou de systèmes de stockage d'énergie.

Les rejets thermiques des bâtiments non-résidentiels peuvent également être réutilisés dans les bâtiments résidentiels voisins (voir «Partage de l'énergie dans les zones d'habitation», p. 9). Différentes stratégies permettent donc d'atteindre l'objectif «zéro émission nette» dans les zones d'habitation. Dans son manuel, les chercheurs du FEEB&D décrivent les étapes de la conception d'un système d'approvisionnement décentralisé fondé sur la production locale d'énergie et les apports de la recherche pour la mise en œuvre pratique. Les pages suivantes résument les résultats permettant aux acteurs politiques, administratifs et économiques de participer activement à la conversion du système énergétique au «zéro émission nette». La version détaillée du manuel est disponible à l'adresse suivante: [www.hslu.ch/feebd](http://www.hslu.ch/feebd).

Pour pouvoir exploiter des bâtiments ou des sites avec des émissions de CO<sub>2</sub> aussi faibles que possible, il convient de combiner au mieux améliorations architecturales et techniques. L'optimisation énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment permet de réduire le besoin spécifique de chauffage et la demande in situ. L'approvisionnement en chaleur avec des sources d'énergie renouvelables réduit de plus les émissions de gaz à effet de serre. Selon cette règle adaptable à chaque projet, l'ensemble du secteur du bâtiment peut être transformé à un coût minimal. L'objectif «zéro émission nette» est réalisable si l'efficacité énergétique est à la fois améliorée et si la part des énergies renouvelables est augmentée.

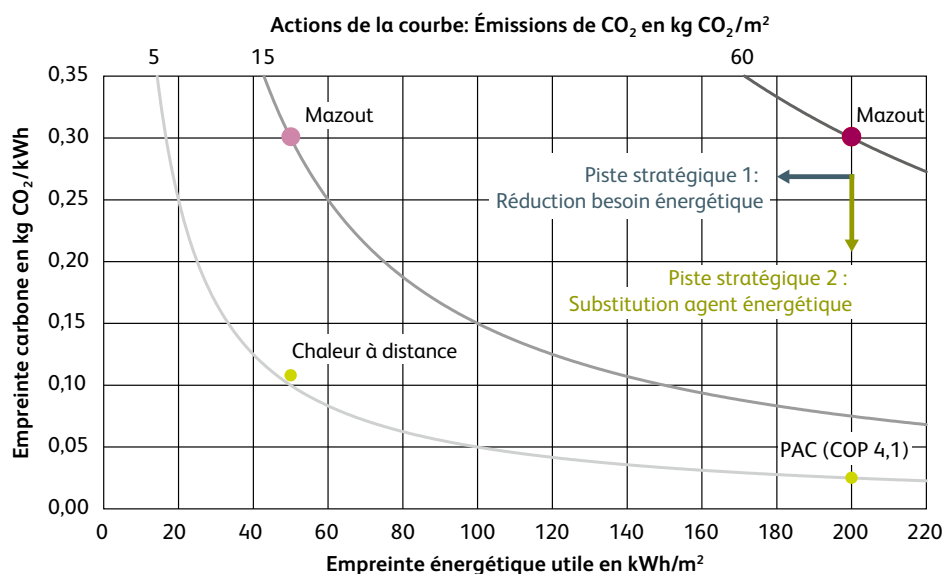


Illustration 1: Interaction optimale des chemins critiques pour le «zéro émission nette».

Exemple: Point rouge en haut à droite: Bâtiment ancien avec chauffage à mazout (émission de CO<sub>2</sub>: 60 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Les constructions nouvelles ou les bâtiments anciens sobres en énergie atteignent le point rouge clair en haut à gauche (15 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Afin d'atteindre l'objectif d'efficacité énergétique de la SIA (5 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), la chaleur doit être fournie ici par un système de chauffage à distance (point vert en bas à gauche). Si la chaleur dans le bâtiment ancien est fournie par une pompe à chaleur avec un coefficient de performance annuel de 4,1, l'émission de CO<sub>2</sub> tombe également à 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (point vert en bas à droite).

# Thèmes modèles sur le développement des systèmes d'énergie renouvelable et décentralisée







À l'avenir, les bâtiments et les sites constitueront l'épine dorsale d'un approvisionnement énergétique écologique, économique et sûr pour les zones urbaines. Les chercheurs du FEEB&D décrivent le besoin d'adaptation des bâtiments et des sites à l'aide des six exemples modèles suivants (voir le tableau ci-dessous). Énergie n'est pas égale à puissance: l'énergie mesure la quantité d'énergie thermique ou électrique qu'un bâtiment consomme sur une durée donnée. Les profils de puissance, quant à eux, montrent la distribution temporelle de ces flux d'énergie, avec des minima et des maxima. Dans un système d'énergie renouvelable, la mise à disposition d'une capacité de production d'électricité est beaucoup plus importante économiquement que la consommation d'énergie. La puissance devient donc un chiffre-clé pour les bâtiments efficaces sur le plan énergétique. Les systèmes énergétiques renouvelables et décentralisés dépendent d'un pilotage interactif pour la fourniture, le stockage et la distribution de l'énergie ainsi que pour la coordination de l'offre et de la demande. Il faut notamment intégrer les prévisions météorologiques ou sur les pointes de demande. Ces données peuvent être traitées par des algorithmes pour planifier et optimiser les systèmes techniques.

Le changement climatique est déjà perceptible et mesurable aujourd'hui par l'augmentation de la température annuelle et la multiplication des journées caniculaires. À l'avenir, les bâtiments auront besoin d'être rafraîchis pour être confortables. Partout où la demande d'énergie dans les zones résidentielles augmente, des systèmes d'énergie renouvelables et décentralisés assureront à la fois le chauffage et le refroidissement. L'environnement fournit des énergies renouvelables diversifiées pour l'approvisionnement. De l'énergie thermique peut être tirée du sous-sol, des lacs et des rivières, et de l'air ambiant dans les zones habitées. L'utilisation de l'énergie solaire permet également la conversion en énergie électrique. Les rejets thermiques

de l'industrie et des services sont une autre ressource énergétique respectueuse du climat et utilisable au niveau local pour les bâtiments et les sites. Les énergies renouvelables peuvent être distribuées via des systèmes d'approvisionnement décentralisés, ce qui permet de «partager» (sharing) directement l'énergie dans un site. L'échange interne d'énergie thermique ou électrique augmente le degré d'auto-suffisance de la zone d'habitation et réduit les besoins en infrastructures pour la fourniture externe, le stockage et la distribution des énergies renouvelables. Grâce à leur flexibilité, les systèmes énergétiques décentralisés contribuent à la sécurité d'approvisionnement en répondant aux profils fluctuants de l'offre et de la demande. Les carences d'approvisionnement peuvent être minimisées par la production locale d'énergie. Cependant, afin de piloter la charge sur les réseaux d'approvisionnement en amont, il convient de gérer les profils de la demande.

## Réseau de recherche interdisciplinaire

De 2014 à 2020, huit pôles de compétence nationaux ont étudié les bases thématiques et les instruments de mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération. Au sein du pôle de compétence en recherche énergétique suisse (SCCER) – Future Energy Efficient Buildings and Districts (FEEB&D), plusieurs universités et instituts de recherche se sont penchés de manière interdisciplinaire sur l'approvisionnement efficace en énergie de bâtiments et de sites. Des experts de l'Empa, de l'EPF Zurich, de l'EPF Lausanne, de la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse, de la Haute école spécialisée de Lucerne et de l'Université de Genève ont participé au cercle de chercheurs FEEB&D. (<https://www.innosuisse.ch/inno/fr/home/initiatives-encouragement/foerderprogramm-energie1/points-forts-SCCER.html>).

Piste stratégique 1 Bâtiment	Piste stratégique 2 Site
 <p><b>Puissance</b> Le nouveau chiffre clé</p>	 <p><b>Les énergies renouvelables en zone d'habitation</b> La nouvelle identité du système énergétique</p>
 <p><b>Données et algorithmes</b> Le nouvel atout du système énergétique</p>	 <p><b>Partager</b> Le nouveau modèle économique dans le système énergétique</p>
 <p><b>Refroidissement</b> Le nouveau défi thermique</p>	 <p><b>Flexibilité</b> La nouvelle sécurité d'approvisionnement</p>

# De quelle quantité d'énergie la zone d'habitation a-t-elle besoin?

Les ménages privés utilisent un tiers de la production d'électricité nationale, notamment pour la cuisson, la lessive ou l'électronique de loisir. Bien que de nombreux appareils deviennent plus économes en énergie, la demande d'énergie électrique continue d'augmenter. Une autre caractéristique de la consommation d'électricité des ménages est la forte demande à midi et en début de soirée (voir Illustr. 2). Cela devient même parfois une épreuve de résistance pour le réseau public de distribution.

Les critères majeurs pour un approvisionnement en énergie renouvelable sont une fiabilité et une flexibilité élevées. Les systèmes énergétiques décentralisés doivent donc réagir rapidement aussi bien durant les courtes pointes de consommation que durant le profil quotidien, qui évolue plus lentement au cours de la journée. La sécurité d'approvisionnement ne peut être assurée que par des mesures du côté de l'offre. Les profils de charge des ménages peuvent également être adaptés aux capacités du réseau et être partiellement pilotés dans le temps. Pour cela, il faut tester des concepts de la demande individuelle d'énergie électrique. Ce serait le cas si les lave-linge ou lave-vaisselle étaient mis en marche aux moments de moindre de-

mande (voir «Pourquoi piloter la demande?», p. 5). De même, le développement des pompes à chaleur et de la mobilité électrique va accroître la demande des ménages. Ici aussi, des concepts de pilotage sont envisageables pour réduire le pic de demande attendu le soir, lorsque les voitures électriques sont garées sur le lieu d'habitation.

Selon les statistiques sur la consommation de la Confédération et des cantons, le besoin de chaleur dans le secteur du bâtiment est en baisse constante. Les analyses spécifiques aux bâtiments, effectuées dans le cadre du réseau de recherche SCCER, confirment l'augmentation générale de l'efficacité de la fourniture d'énergie pour le chauffage des locaux et l'eau chaude sanitaire. Néanmoins, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour réduire le besoin global et les pointes de puissance. La recherche y participe aussi directement en développant des instruments de planification et en les mettant à disposition pour la mise en œuvre pratique d'un approvisionnement en énergies renouvelables de la zone d'habitation. Les autorités locales et les fournisseurs gèrent une planification énergétique spatiale afin de prévoir les profils de demande des bâtiments et des sites, et

**Demande d'électricité des appareils électroménagers, en MW**

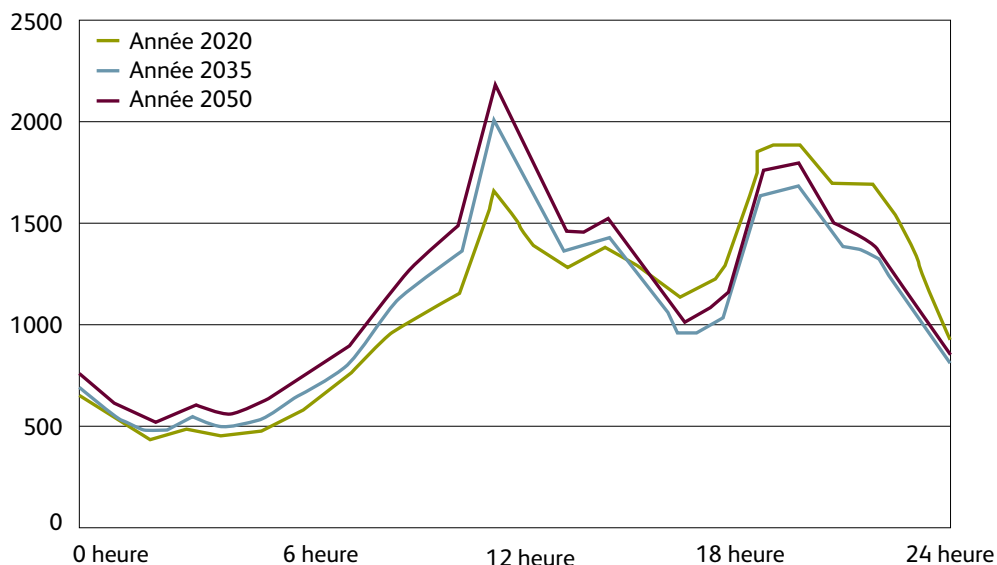


Illustration 2: Profil de demande des ménages: Résumé du besoin en électricité des appareils ménagers au cours d'une journée; recueillie pour 2020 (vert) et projetée pour 2035 (bleu) et 2050 (rouge).

de définir les possibilités d'approvisionnement. Ces informations constituent une base importante pour les décisions relatives à l'adaptation des infrastructures. Les acteurs concernés – propriétaires, autorités ou fournisseurs – peuvent utiliser ces informations pour examiner leurs propres possibilités d'action et investir efficacement à long terme.

Des méthodes de planification globales sont nécessaires pour prévenir les conflits ou pour pouvoir reconnaître et utiliser les synergies communes. Ces différentes questions peuvent être examinées à l'avance en utilisant des logiciels de simulation de systèmes d'énergie renouvelable décentralisés. C'est pourquoi le groupe de chercheurs FEEB&D a développé des outils de planification numérique et les a testés en situation réelle (voir «Systèmes d'énergie renouvelable: décentralisés et interconnectés», p. 8).

#### **Le besoin de refroidissement augmente-t-il la consommation d'énergie?**

La progression du réchauffement climatique et l'augmentation des îlots de chaleur urbains engendrent un autre défi pour l'efficacité énergétique. Pour satisfaire aux exigences de confort, les bâtiments doivent être protégés de la surchauffe et les espaces intérieurs doivent être de plus en plus rafraîchis. L'augmentation réelle du besoin en énergie de refroidissement en été dépend de plusieurs facteurs: à la fois des concepts de refroidissement liés au bâtiment et des mesures prises à l'extérieur de la zone d'habitation. À cet égard, cette protection thermique estivale n'est pas seulement un défi architectural et technique, mais aussi un défi urbanistique.

L'effet d'îlot de chaleur urbain fait l'objet de nombreuses recherches. Dans les sites denses, il fait nettement plus chaud le jour et surtout la nuit que dans un quartier extérieur végétalisé. Des études montrent que la densification de l'habitat, associée à des espaces extérieurs «impermeables», a un impact négatif sur le climat local. C'est pourquoi les concours d'architecture évaluent également l'impact des constructions nouvelles sur le climat local. Les sols et les bâtiments

étanches agissent comme des collecteurs de chaleur. En revanche, les mesures de végétalisation améliorent l'effet d'ombrage et d'évaporation dans l'espace extérieur. Dans les domaines de l'urbanisme, de l'architecture ou de l'aménagement extérieur, des simulations peuvent être réalisées pour étudier efficacement quelles mesures ont le meilleur effet et à quels niveaux. À cette fin, les chercheurs du FEEB&D ont développé des méthodes d'analyse spécifiques et les a testées au travers d'études de cas. Ils devraient contribuer à protéger les bâtiments et les sites de la surchauffe et à réduire l'énergie nécessaire pour refroidir les espaces de vie et de travail associés. (<https://www.innosuisse.ch/inno/fr/home/initiatives-encouragement/foerderprogramm-energie1.html>).

#### **Pourquoi piloter la demande?**

La demande d'énergie dans le secteur du bâtiment dépend de plusieurs facteurs. Le standard de construction détermine la quantité d'énergie thermique nécessaire pour un bâtiment résidentiel ou commercial. Le même principe d'efficacité s'applique aux appareils ménagers et aux pompes à chaleur fonctionnant à l'électricité. Si l'on utilise en plus des énergies renouvelables, de préférence d'origine locale, on contribue à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. L'intérêt des propriétaires de bâtiments augmente sensiblement lorsqu'ils sont activement intégrés dans un système énergétique décentralisé et qu'ils ont besoin d'énergie en parallèle de leurs voisins.

Les bâtiments peuvent être chauffés avec de l'énergie électrique autoproduite à travers une pompe à chaleur. Cela permet également d'alimenter les véhicules électriques de manière neutre en CO<sub>2</sub>. L'énergie excédentaire peut également être partagée avec le voisinage. À l'avenir, cette diversité d'applications permettra aux producteurs d'énergie locaux de mieux faire correspondre la demande locale à l'offre, qui fluctue dans le temps. Les chercheurs du SCCER ont étudié comment influencer le profil de la demande à l'aide de «Programmes d'adéquation à la demande» (<https://remap.ch/>).

# Énergie renouvelable: offre abondante dans la zone d'habitation

Les bâtiments et les sites ont besoin de sources renouvelables pour s'approvisionner en énergie thermique et électrique sans CO<sub>2</sub>. En outre, les sources situées au plus près de la zone d'habitation, voire directement dans celle-ci, peuvent être distribuées efficacement dans un système énergétique décentralisé, presque sans aucune perte de transport. Les ressources énergétiques naturelles qui, selon le cercle de chercheurs FEED&D, présentent un potentiel d'expansion considérable sont décrites ci-dessous.

Une planification énergétique spécifique au site est également nécessaire pour déterminer précisément l'approvisionnement en énergie et définir des conditions d'utilisation durables. De cette façon, les communes et les villes coordonnent l'utilisation future des sources d'énergie locales avec les besoins de leur propre développement urbain. Cela augmente la sécurité pour tous les acteurs impliqués dans le développement de systèmes énergétiques renouvelables et décentralisés pour les bâtiments et les sites.

## Géothermie – règles d'utilisation durable

La Suisse est densément exploitée sur le plan géothermique. Par unité de surface d'habitation, la quantité de chaleur tirée du sous-sol est aujourd'hui la plus

élevée au monde. Néanmoins, le potentiel d'un approvisionnement en chaleur sans CO<sub>2</sub> pour le secteur du bâtiment n'est pas encore épuisé. Les analyses régionales partent du principe que les sondes géothermiques peuvent couvrir jusqu'à 80 % du besoin d'énergie pour le chauffage et le refroidissement (<https://www.unige.ch/efficience/en/publications/>).

Toutefois, des règles d'exploitation durables doivent être respectées. Les conditions géologiques et la protection des eaux souterraines peuvent limiter l'accès à cette source d'énergie. Il est également recommandé de compenser de façon saisonnière l'exploitation de la chaleur superficielle du sous-sol. Le terrain devrait donc être régénéré thermiquement.

## Air ambiant – une exploitation compatible avec la vie urbaine

Une autre source d'énergie directement disponible dans la zone d'habitation est l'air ambiant. Les pompes à chaleur l'utilisent pour produire de la chaleur afin de chauffer les bâtiments et pour la production d'eau chaude. Mais l'utilisation de ventilateurs pour l'aspiration de l'air peut engendrer un bruit dérangent à l'extérieur. C'est pourquoi, à titre d'exemple pour

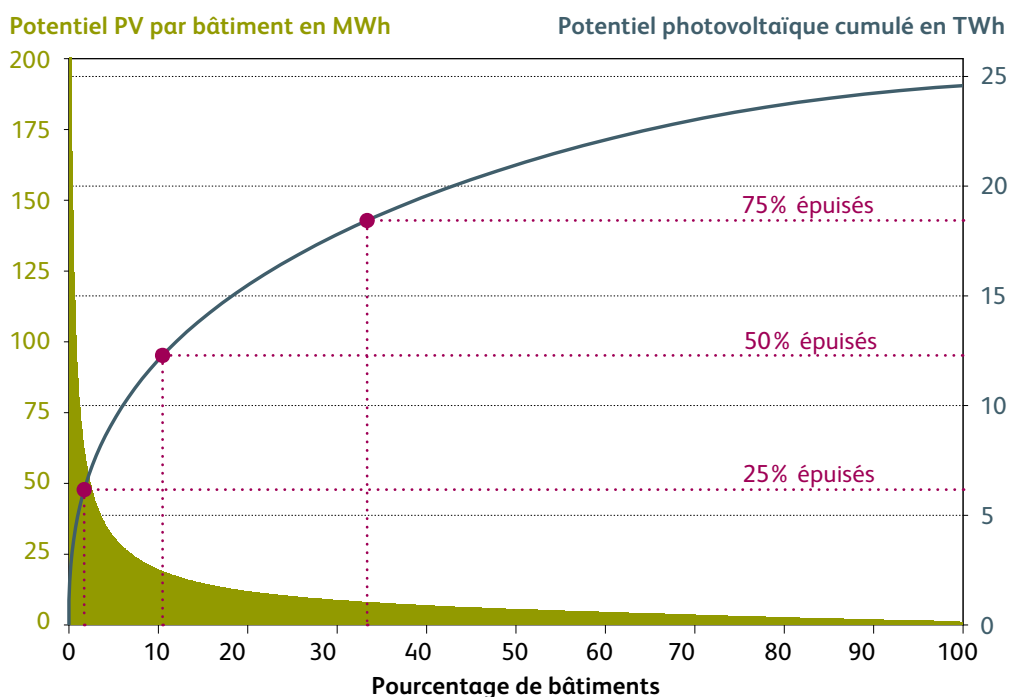


Illustration 3. Extension du développement solaire dans les zones d'habitation: 11 % des surfaces de toit prises en compte suffisent pour réaliser la moitié du potentiel PV.

d'autres villes, Zurich a publié des directives pour les pompes à chaleur air/eau «compatibles avec les villes», qui évitent les émissions sonores indésirables (voir la fiche d'information sur les pompes à chaleur air/eau, [https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/beratung\\_bewilligung/klimabuero/liegenschaften/energie-coaching/faktenblaetter.html](https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/beratung_bewilligung/klimabuero/liegenschaften/energie-coaching/faktenblaetter.html)).

### **Solaire – une stratégie d'expansion efficace**

Une énergie renouvelable à 100 % est-elle possible en Suisse? Soixante pour cent de l'énergie électrique consommée par les ménages, les services et l'industrie provient actuellement de centrales hydrauliques. En théorie, les quarante pour cent restants peuvent être produits par l'énergie photovoltaïque. Cette prévision est basée sur les analyses des chercheurs du FEEB&D, qui proposent une stratégie d'expansion dans la zone d'habitation. Un tiers de tous les bâtiments suffit à générer les trois quarts du rendement requis (voir l'illustr. 3). Les toits bien ensoleillés et de grande taille, par exemple dans les zones industrielles et commerciales, devraient être sélectionnés en priorité pour la production d'énergie solaire et complétés selon les besoins par d'autres ressources renouvelables de manière décentralisée (<https://www.epfl.ch/labs/leso/research/domains/urbanenergysystems/>). L'énergie solaire se caractérise par des fluctuations temporelles de l'offre. Au cours de l'année et de la journée, les toits solaires fournissent des quantités d'énergie électrique variables. Par conséquent, les zones d'habitation devraient être intégrées dans un système énergétique décentralisé utilisant d'autres ressources renouvelables ou faisant appel aux capacités de stockage locales.

### **Lacs et cours d'eau – utilisation en chauffage et refroidissement**

Les lacs et cours d'eau proches des agglomérations permettent de chauffer et de refroidir les bâtiments. L'énergie thermique des lacs et des rivières, ainsi que les ressources en eaux souterraines, sont déjà utilisées aujourd'hui pour alimenter en énergie des bâtiments commerciaux individuels et des quartiers entiers. Afin de garantir que la chaleur est prélevée et exploitée de manière durable, les effets écologiques sur les habitats aquatiques sont étudiés en détail dans chaque cas. Par exemple, l'Institut de recherche sur l'eau de l'Eawag a calculé pour le lac de Zurich les tolérances d'exploitation compatibles avec l'environnement. Selon ce principe, la température de l'eau doit baisser de 1 °C au maximum en hiver, lors du prélèvement de l'énergie.

En été, un réchauffement de 0,5 °C par les rejets thermiques des bâtiments serait autorisé. Dans ces limites, l'énergie thermique du lac peut couvrir environ quarante pour cent des besoins de chauffage et de refroidissement des zones d'habitation voisines.

### **Les rejets thermiques – un potentiel d'augmentation**

Les installations industrielles consomment beaucoup d'énergie. La valorisation des rejets thermiques peut accroître l'efficacité énergétique opérationnelle et simplifier l'approvisionnement en énergie dans le voisinage immédiat. Cependant, à l'heure actuelle, la plupart de ces rejets sont encore gaspillés. Les études en cours montrent désormais un potentiel d'expansion intéressant. Par rapport à aujourd'hui, il est possible de retirer trois fois plus d'énergie de cette chaleur résiduelle.

### **Biomasse et vent – des sources de compensation**

Les engrais de ferme provenant de l'agriculture et le bois combustible issu de la gestion des forêts sont les principales sources qui permettent le développement de la biomasse neutre sur le plan climatique et durable. La production de biogaz à partir d'engrais de ferme permet de remplacer jusqu'à 11 % de la consommation actuelle de gaz naturel, selon les analyses du réseau de recherche SCCER (<https://www.sccer-biosweet.ch/>). Un autre avantage de la biomasse est sa polyvalence. Les combustibles volatils ou solides peuvent être utilisés tant pour les processus à haute température dans l'industrie que pour les réseaux de chauffage dans les zones résidentielles. L'utilisation du biogaz pour la production combinée de chaleur et d'électricité constitue un cas particulier. La chaleur et l'électricité étant produites simultanément, elles deviennent une composante essentielle des systèmes énergétiques décentralisés.

L'énergie éolienne peut être considérée comme une variante d'importation et de compensation pour les systèmes énergétiques décentralisés. Le rendement étant plus élevé en hiver qu'en été, l'énergie éolienne offre un complément saisonnier à l'énergie solaire locale. La question de savoir si l'énergie éolienne peut également être produite dans la zone d'habitation elle-même fait l'objet de recherches. Il reste à étudier si les flux de vent turbulent dans les zones bâties peuvent être utilisés de manière économiquement réaliste avec des turbines verticales.

# Systemes d'énergie renouvelable: décentralisés et interconnectés

Les systèmes énergétiques décentralisés poursuivent deux objectifs: ils alimentent la zone d'habitation en énergie électrique et thermique à partir de sources renouvelables et mettent en réseau les bâtiments et les sites afin de permettre un échange direct entre l'offre et la demande d'énergie des bâtiments. Cet échange d'énergie peut être étendu sur le plan fonctionnel. Les bâtiments et les sites sont ainsi activement intégrés dans des systèmes d'approvisionnement décentralisés, non seulement pour la production, mais aussi pour l'accumulation et le stockage de l'énergie. Bien que les systèmes d'énergie renouvelable puissent être configurés de nombreuses façons et que les technologies soient disponibles, la mise en œuvre pratique ne doit pas être sous-estimée. Avant tout, la situation économique de départ est complexe. Les investissements nécessaires à l'intérieur des bâtiments ou pour les réseaux d'alimentation doivent être considérés dans une vision à long terme. Par conséquent, il convient de procéder à des clarifications approfondies de la faisabilité ou du développement de la demande locale. Par exemple, comment la puissance installée évolue-t-elle lorsqu'un bâtiment est assaini ou qu'un site est densifié par des constructions nouvelles? Quelles conditions doivent être remplies par les bâtiments faisant office de nœuds de production ou de stockage dans un système global?

Les chercheurs du FEEB&D ont travaillé sur la modélisation de systèmes énergétiques multifonctionnels et a testé ses propres méthodes d'évaluation qui permettent de simuler et d'optimiser l'échange d'énergie (sharing) dans les zones d'habitation. Un tel outil de planification est proposé par une structure décentralisée de l'Empa (<https://www.sympheny.com/>).

Les systèmes énergétiques décentralisés qui interconnectent au niveau énergétique une grande variété de bâtiments et de sites impliquent toujours de nouveaux acteurs: les propriétaires privés de bâtiments produisent ou stockent eux-mêmes l'énergie. Bien qu'ils accomplissent des tâches similaires à celles des services publics, ils sont autorisés à décider et à agir à leur propre convenance. Cependant, le partage privé de l'énergie n'est économiquement intéressant que si l'échange de son propre excédent d'énergie promet des profits plus élevés que les coûts associés résultant de la distribution et du décompte. Cependant, les considérations économiques ne sont qu'une des nombreuses raisons faisant obstacle à la participation aux modèles de partage de l'énergie, en particulier chez les propriétaires privés. La demande locale peut également faiblir si le prix de l'énergie est trop élevé du point de vue des consommateurs. Les modèles de partage ont donc besoin de règles d'échange claires et d'un système d'exploitation intelligent reliant l'échange d'énergie automatisé aux intérêts et aux besoins des acteurs concernés.

Les chercheurs du SCCER ont testé des solutions pour intégrer les divers intérêts dans un système énergétique décentralisé. Ils ont développé un modèle à l'échelle nationale pour l'approvisionnement en électricité, permettant de valoriser les coûts de conversion du point de vue des acteurs. En outre, ils ont contribué à la mise en place d'une plateforme de développement numérique destinée à piloter de façon interactive les échanges d'énergie au niveau des bâtiments et des sites (<https://remap.ch/>).



# Partage de l'énergie dans les zones d'habitation

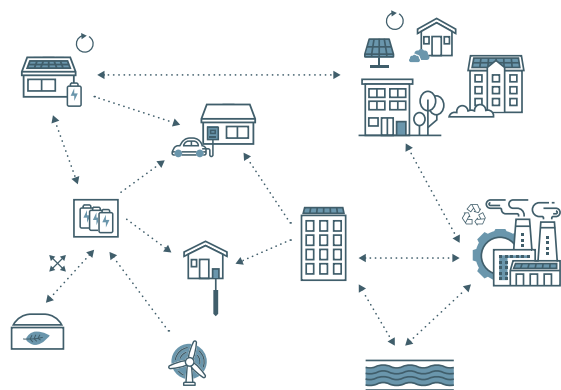
Actuellement, des systèmes décentralisés de distribution de l'énergie électrique sont en cours de construction. Le réseau électrique accueille ainsi des producteurs d'électricité locaux supplémentaires, ce qui conduit à une augmentation de la part des énergies renouvelables au sens de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération. Toutefois, les fluctuations de l'offre en énergie locale peuvent ensuite devenir un test de résistance pour l'infrastructure du réseau. Un sujet de recherche pertinent est donc l'organisation fiable et stable de l'échange d'énergie dans la zone d'habitation. Par exemple, les chercheurs du SCCER ont étudié la manière dont le fonctionnement des réseaux électriques renouvelables et décentralisés peut être mieux surveillé et piloté. (<https://www.epfl.ch/research/domains/sccer-furies/>).

Aujourd'hui, un peu moins de dix pour cent seulement de l'habitat résidentiel est alimenté en énergie thermique par conduites, comme le chauffage à distance. Un réseau plus dense et plus étendu serait souhaitable. Selon le Livre blanc de l'Association suisse du chauffage à distance, environ quarante pour cent de l'approvisionnement national en chaleur pourra un jour être couvert par des réseaux décentralisés. Pour ce développement, seules les sources renouvelables situées à proximité des agglomérations devraient être utilisées. Avec la géothermie, les eaux souterraines, les

eaux lacustres et les eaux usées, on dispose de sources exemptes de CO<sub>2</sub>, déjà utilisées aujourd'hui via des réseaux basse température pour le chauffage et le refroidissement de bâtiments et de sites. Afin de diffuser le savoir-faire technologique, les chercheurs du FEEB&D ont analysé le fonctionnement des réseaux à basse température existants et formulé des recommandations pour les projets futurs. Le raccordement d'autres sources et de capacités de stockage thermique est aisé et représente un avantage majeur (<https://www.fernwaermeschweiz.ch/fernwaerme-franz/wGlobal/content/errordocs/404.php/>).

À la différence du mazout, le gaz naturel dépend d'un réseau de distribution. L'infrastructure d'approvisionnement devrait rester partiellement utilisable après la fin de la période fossile. Les chercheurs du FEEB&D ont donc étudié différentes options pour continuer à utiliser les réseaux de gaz naturel. L'option la plus simple consiste à remplacer le gaz naturel par du biogaz neutre sur le plan climatique, bien que cela ne puisse concerner qu'une fraction du volume consommé jusqu'à présent. En outre, les gaz synthétiques (tels que l'hydrogène ou le méthane) produits à partir d'électricité verte excédentaire peuvent être distribués ou stockés dans les anciens réseaux de gaz naturel. Ce besoin a été caractérisé. Selon l'état actuel des connaissances dans le domaine de la recherche énergétique, l'hydrogène produit localement à partir de sources renouvelables pourra couvrir à l'avenir environ 5% de l'approvisionnement national en chaleur.

## Partage de l'énergie dans les zones d'habitation



 Auto-alimentation

 Utilisation des rejets thermiques

 Couplage sectoriel (couplage chaleur-force, Power-to-X)

Toutefois, les systèmes énergétiques décentralisés ne se contentent pas de connecter des ensembles tels que des bâtiments ou des sites où l'énergie est produite, consommée ou stockée. Dans certains cas particuliers, il est même possible de relier entre eux différents réseaux de distribution mentionnés ci-dessus. Grâce à des technologies de conversion telles que les centrales de production combinée de chaleur et d'électricité ou les centrales power-to-X, les flux d'énergie thermique, chimique et électrique sont interconnectés. Le grand avantage de ce couplage sectoriel est que l'énergie excédentaire peut être utilisée de diverses manières ou être stockée temporairement de façon saisonnière, par exemple sous forme d'hydrogène ou dans des installations de stockage géothermique (<http://www.sccer-hae.ch/>).

# Systemes énergétiques décentralisés: Acteurs et défis socio-économiques

En Suisse, les conditions technologiques sont favorables à un approvisionnement complet des bâtiments et des sites en énergies renouvelables. Les chapitres précédents décrivent les concepts qui s'y prêtent: les systèmes décentralisés peuvent rendre les ressources thermiques ou électriques, exemptes de CO<sub>2</sub>, utilisables et disponibles pour les bâtiments et les sites. Il est ainsi possible d'atteindre le «zéro émission nette» dans les zones d'habitation. Le partage flexible de l'énergie permet de minimiser les besoins en infrastructures de distribution et d'équilibrer les fluctuations ponctuelles entre l'offre et la demande.

Outre ces approches techniques, les chercheurs du FEED&D ont également étudié la manière dont un changement de système d'approvisionnement, d'une structure centralisée à une structure décentralisée, peut être accompagné et promu sur le plan socio-économique. Ce changement de système ouvre de nouveaux domaines d'activité et de nouveaux modèles commerciaux. Les principales difficultés sont toutefois la redistribution des anciennes tâches d'approvisionnement et la définition des responsabilités relatives. Les résultats les plus importants sont présentés ci-après. Les acteurs concernés devraient les prendre en compte d'un point de vue réglementaire, organisationnel et entrepreneurial pour la restructuration du concept d'approvisionnement.

Aujourd'hui déjà, différents acteurs de la politique, de l'administration, de l'économie et de la société façonnent l'approvisionnement en énergie dans les zones d'habitation. Dans la transformation vers le «zéro émission nette», les attentes des parties concernées doivent être prises en compte plus fortement qu'auparavant. Et surtout, elles doivent être impliquées plus tôt dans les processus. Leurs intérêts et leurs besoins doivent être coordonnés de la meilleure façon possible. Il est tout aussi important que les acteurs publics et privés harmonisent leurs compétences et leurs tâches. Le champ d'action des différents acteurs peut être distingué comme suit:

- **Le politique** crée des incitations et introduit des mesures réglementaires afin que les énergies renouvelables puissent être utilisées au niveau local. Elle publie des lignes directrices pour le développement d'une infrastructure d'approvisionnement décentralisée et promeut des modèles de partage flexible de l'énergie dans les zones d'habitation. L'éventail des exigences va des normes de construction sans combustible fossile à la coordination des profils de demande, en passant par le libre accès de tous les participants aux infrastructures énergétiques ou l'obligation de se connecter à des réseaux de chauffage à distance exempt de CO<sub>2</sub>.
- **L'administration** organise une mise en œuvre efficace de la transformation du système en utilisant des instruments de planification différenciés et en simplifiant l'application formelle – par exemple dans le cas des permis pour l'utilisation locale de l'énergie. La planification spatiale de l'énergie (voir «De quelle quantité d'énergie la zone d'habitation a-t-elle besoin?», p. 4) fournit des données essentielles pour le développement de systèmes d'approvisionnement renouvelables et décentralisés.
- **L'économie** peut se charger de tâches similaires, chacune sous un angle différent. D'une part, les ménages privés et les entreprises privées offrent leurs propres services énergétiques dans un système d'approvisionnement décentralisé, comparable à une entreprise d'approvisionnement en énergie. D'autre part, les acteurs commerciaux sont impliqués dans la fourniture de technologies et de produits de services novateurs. La transformation du système d'approvisionnement permet également de postuler l'apparition de nouveaux modèles commerciaux.

# Recommandations pour la construction et l'exploitation de systèmes d'énergie renouvelable décentralisés

Sur le plan écologique, la fourniture d'énergie renouvelable par un système décentralisé est manifestement judicieuse. La part des énergies renouvelables peut être augmentée de manière ciblée et la distribution de l'énergie devenir plus directe et avec moins de pertes qu'auparavant. La voie renouvelable et décentralisée, vers le «zéro émission nette» offre en outre aux différents acteurs la possibilité de s'engager de manière économiquement rentable. Cependant, il est également incontestable qu'il reste de nombreux obstacles sur la voie de la valeur ajoutée écologique et sociale souhaitée, comme la protection de la vie privée. Dans

un modèle de partage de l'énergie, par exemple, les données énergétiques individuelles fournissent des informations essentielles pour un fonctionnement optimal. La gestion ouverte des données énergétiques exige que les normes de protection des données soient adaptées aux besoins de l'approvisionnement énergétique décentralisé. Les recommandations suivantes des chercheurs du FEEB&D montrent comment les différents acteurs peuvent participer activement au développement des systèmes d'énergie renouvelable et décentralisée.

Acteurs et options d'action		
Utilisation d'énergies renouvelables au niveau local	Infrastructure pour les réseaux de sites décentralisés	Partage de l'énergie entre les bâtiments
<b>Politique – réglementation, adoption de lignes directrices et encouragement</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objectif: «zéro émission nette» dans le secteur du bâtiment</li> <li>• Modèles d'encouragement: autoconsommation d'énergie</li> <li>• Pourcentage minimum en autoproduction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Règlement sur la protection des données: utilisation et échange de données sur l'énergie</li> <li>• Accès libre aux infrastructures monopolistiques</li> <li>• Raccordement obligatoire aux réseaux de chaleur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèles d'encouragement: pilotage de la demande et stockage de l'énergie</li> <li>• Règlement sur la protection des données: données énergétiques pour le couplage sectoriel</li> </ul>
<b>Administration – planification, exécution et autorisation</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aménagement du territoire en matière d'énergie: plan directeur pour l'utilisation décentralisée des énergies renouvelables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalisation des procédures et normes de qualité: autorisation pour les systèmes d'approvisionnement décentralisés</li> <li>• Planification et autorisation des infrastructures de réseau public</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordination et supervision: production, distribution et commercialisation d'énergies renouvelables locales</li> </ul>
<b>Économie – mise à disposition de technologies et développement de modèles commerciaux</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèles commerciaux: maximisation de l'utilisation de l'énergie locale resp. minimisation des importations d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Services et produits novateurs pour la gestion de l'énergie sur site</li> <li>• Standards d'interfaces pour la gestion de l'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrastructure et technologie pour le partage de l'énergie</li> <li>• Modèles commerciaux pour le partage de l'énergie resp. pour le pilotage de l'offre et de la demande d'énergie</li> </ul>

## Impressum

### Accompagnement et responsabilité scientifiques

Prof. Stefan Mennel, HSLU

Prof. Matthias Sulzer, HSLU/Empa

### Rédaction

Paul Knüsel, Wissenschaftsjournalist BR, SKWJ

### Graphisme

Christine Sidler, Faktor Journalisten

### Lectorat

Phil Beckershoff, HSLU

### Traduction

Ilsegret Messerknecht

État : août 2021

Contact: stefan.mennel@hslu.ch

### Manuel et autres informations

[www.hslu.ch/feebd](http://www.hslu.ch/feebd)

## Remerciement

Cette publication a été soutenue financièrement par l'Agence suisse pour la promotion de l'innovation, Innosuisse, et l'Office fédéral de l'énergie, OFEN, et fait partie du Centre de compétence suisse pour la recherche énergétique FEEB&D.

Publication en allemand, en français et en anglais.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Innosuisse – Agence suisse pour  
l'encouragement de l'innovation**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Office fédéral de l'énergie OFEN**

### Hautes écoles participantes



Materials Science and Technology



Fachhochschule  
Nordwestschweiz



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

FACULTÉ DES SCIENCES

### Lucerne University of Applied Sciences & Arts – School of Engineering and Architecture

Technikumstrasse 21

CH-6048 Horw

T +41 41 349 33 11

technik-architektur@hslu.ch

[hslu.ch/engineering-architecture](http://hslu.ch/engineering-architecture)