

# Quand l'énergie est intégrée à la **planification** des quartiers du futur

En collaboration avec le Canton de Genève, l'EPFL développe actuellement des méthodes de planification énergétique et de conception de systèmes intégrés pour les villes du futur.

► **Du point de vue** de l'énergie, la ville est un système complexe permettant un grand nombre d'interactions. Dans un environnement dense, multiressources et fortement interconnecté par différents types de réseaux, il convient de fournir un ensemble de services énergétiques pour des acteurs multiples qui auront des profils de demandes variables dans le temps et dans l'espace. Afin d'identifier et exploiter les synergies au sein de ce système, une approche holistique doit être adoptée afin, d'une part, de caractériser les solutions technologiques et de prévoir les infrastructures nécessaires, et, d'autre part, d'adapter les méthodes de gouvernance qui permettent de réaliser ces synergies.



*François Maréchal  
Maître  
d'Enseignement  
et de Recherche,  
Laboratoire  
d'énergétique  
Industrielle (LENI)  
LENI-ISE-STI,  
Ecole Polytechnique  
Fédérale de Lausanne.*

Au sein de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, plusieurs laboratoires et plus particulièrement les laboratoires de l'Institut des Scien-

ces de l'Energie travaillent dans un contexte multidisciplinaire au développement de technologies et de méthodologies pour les systèmes énergétiques des villes du futur en collaboration avec des partenaires privés et institutionnels: canton de Genève, CREM.

## Les services et les ménages

Les secteurs services et ménages comptent pour plus de 30% dans la consommation finale d'énergie de la Suisse. La part des combustibles y est de 64%, les autres consommations étant l'électricité (30%) puis les énergies renouvelables et les déchets (6%). Ces combustibles, responsables de 46% des émissions des gaz à effet de serre de la Suisse, sont principalement utilisés dans des chaudières pour satisfaire des besoins de chauffage.

Il peut paraître surprenant que dans

notre société de «haute technicité», il soit nécessaire d'utiliser des gaz chauds dont la température moyenne est supérieure à 800°C pour délivrer de la chaleur à 21°C. Cette grande différence de température correspond à un gaspillage important du potentiel énergétique du combustible. En thermodynamique, ce potentiel est mesuré par l'exergie. Cette notion permet de quantifier la qualité thermodynamique de l'utilisation d'une ressource énergétique dans un environnement donné. Ainsi une chaudière produisant de l'énergie pour un chauffage à 20°C pourra avoir un rendement de 90% selon le premier principe de la thermodynamique alors qu'elle aura un rendement exergétique de 8% indiquant qu'il était possible de réaliser une utilisation bien plus rationnelle de cette ressource.

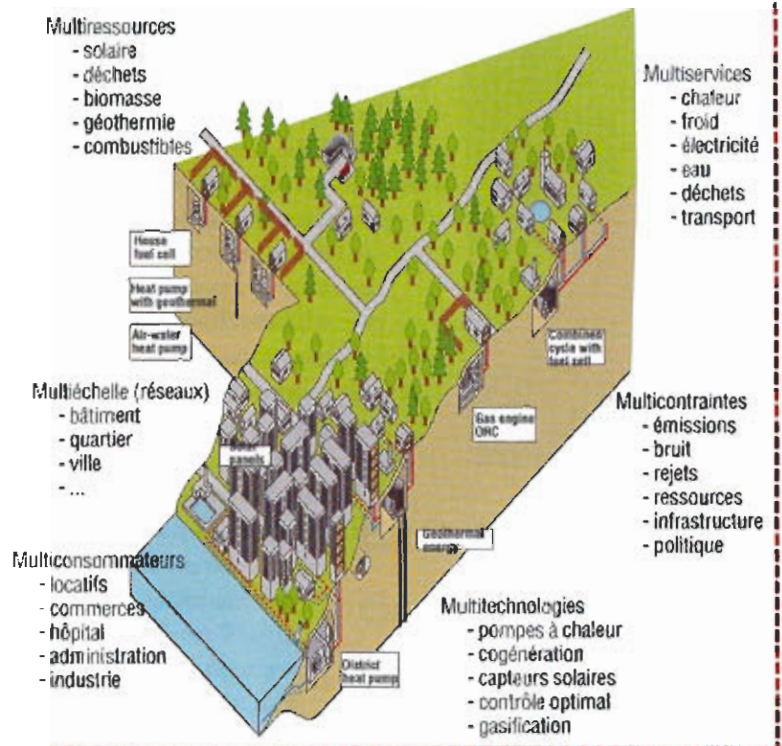
## Les technologies avancées

La pompe à chaleur ou la polygénération (production simultanée de plusieurs services énergétiques) peuvent être utilisées pour améliorer ce rendement. La cogénération permet de produire simultanément de la chaleur et de l'électricité. Avec la cogénération, une même unité de combustible permet de délivrer 50% plus de services énergétiques, ce qui correspond à une économie d'énergie de 30%. De plus, en profitant de l'effet de substitution de combustible, l'économie en termes d'émission de CO<sub>2</sub> peut s'élever à 60%.

Les technologies de cogénération les plus connues sont les moteurs, les turbines à gaz, les cycles de Rankine ou les piles à combustible. Lorsque la ressource énergétique utilisée est la biomasse, il est également possible de réaliser la cogénération en utilisant la gasification ou des cycles de Rankine.

## La vision holistique des systèmes urbains

Comprendre des interactions complexes dans leurs dimensions technico-socio-économiques pour concevoir la ville du futur.



Les pompes à chaleur utilisent de l'électricité pour «pomper» de l'énergie dans l'environnement (dans le sol, dans l'air ou dans l'eau). En termes d'économie d'énergie, une pompe à chaleur permet d'économiser de 30 à 50% d'énergie primaire. Cette économie dépend à la fois des niveaux de température de la source froide et du système de distribution de chaleur (radiateur, chauffage au sol), de la qualité de la pompe à chaleur et du mode de production de l'électricité.

## Stocker l'énergie de l'été dans le sol pour l'hiver

En termes d'émission de gaz à effet de serre, la situation de la Suisse est particulièrement favorable pour les pompes à chaleur en raison du faible niveau d'émission de la production

### La cogénération permet de produire simultanément chaleur et électricité.

de l'électricité. Lorsqu'elle utilise le sol comme source froide, la pompe à chaleur permet également de fonctionner de manière réversible pour rafraîchir l'été et chauffer l'hiver en stockant l'énergie de l'été dans le sol pour l'hiver.

La production d'un service énergétique au départ d'une ressource donnée requiert une chaîne de conversion dont les différentes étapes doivent être optimisées pour atteindre l'optimum du système. Par exemple, pour un local chauffé par une pompe à chaleur, on passera de la production de l'électricité à sa distribution jusqu'à la pompe à chaleur, puis, passant par un système de contrôle, la chaleur sera distribuée par des radiateurs pour finalement obtenir le niveau de confort désiré dans le local.

Pour l'optimisation, on agira sur chaque élément de la chaîne, l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment et l'utilisation passive du soleil permet de réduire la demande de chauffage et de refroidissement. Elle sera donc la première

option d'efficacité énergétique. Dans un bâtiment existant, outre l'économie d'énergie, cela permettra de réduire le niveau de température du système de distribution de chaleur. Par exemple, améliorer l'enveloppe d'une habitation moyenne à la future norme SIA-380/1 permet de réduire la demande de chaleur d'un facteur trois. Cette amélioration permet aussi de baisser le niveau de température du chauffage de 65 à 40°C, ce qui diminue la consommation d'électricité de la pompe à chaleur pour obtenir un facteur quatre sur la consommation d'énergie.

Pour la pompe à chaleur, le maître mot est donc l'utilisation de systèmes à basse température et l'exploitation des ressources géothermales ou aquifères locales. A un certain niveau d'isolation, il est cependant nécessaire de considérer le bénéfice marginal de l'isolation supplémentaire du bâtiment: l'énergie dépensée pour produire le supplément d'isolation pouvant devenir supérieure à l'énergie économisée.

### Combinaison pompe à chaleur et cogénération

Le développement des pompes à chaleur pourrait cependant causer un problème au niveau de l'approvisionnement électrique. En effet, comme les besoins de chauffage ne sont pas constants au cours de l'année, ils créent un pic de consommation qui n'est pas compatible avec la production hydroélectrique. Une forte augmentation du nombre de pompes à chaleur installées nécessiterait donc des investissements supplémentaires dans des installations qui ne pourraient fonctionner toute l'année. Pour cette raison, la combinaison de la pompe à chaleur avec la cogénération devient une option très intéressante. En raison de la simultanéité des besoins, l'électricité produite par la cogénération sera utilisée pour entraîner une pompe à chaleur. Cette combinaison permet de doubler la chaleur délivrée par la même unité de combustible. L'électricité transitant par le réseau électrique, il n'est pas indispensable que ces deux unités soient installées au même endroit.

Tout attractive qu'elle soit, la combinaison pompe à chaleur/cogénération est concurrencée par la production centralisée d'électricité dans les centrales à gaz à cycles combinés dont les rendements peuvent atteindre 58%.

Loin de limiter les solutions de cogénération, cette compétition pousse les développements technologiques vers des unités de cogénération plus performantes.

## Des systèmes attractifs

Dans les systèmes urbains, la densité de population et la diversité des acteurs rendent les systèmes de polygénération encore plus attractifs. Par l'installation de réseaux locaux, concernant quelques bâtiments ou tout un quartier, elles permettent de partager des équipements et de les utiliser de manière plus intense en profitant de l'effet de foisonnement des charges pour réduire les pics de consommation. Les réseaux permettent de réduire les investissements et d'augmenter la performance économique de la production de services. De plus, par une conception et une gestion intelligente du réseau de chaleur, on aura à disposition des systèmes dont l'opération, la fiabilité et la flexibilité seront améliorées et qui nécessiteront moins d'unités redondantes.

De plus, l'utilisation des réseaux permet la récupération d'énergie dégradée (par exemple refroidissement des groupes froids d'un magasin), l'accès aux ressources d'énergie locale (géothermie, lac, biomasse), aux technologies plus complexes (e.g. gasification du bois) ou à la récupération d'énergie sur d'autres réseaux: cogénération sur un poste de détente de gaz, pompe à chaleur sur les eaux d'égouts, etc. En étendant la notion de cogénération, les réseaux permettent également de développer des solutions de polygénération en convertissant par exemple du bois en méthane et en vendant la chaleur dégradée ou en développant les concepts d'éco-clusters industriels. Le réseau d'information joue égale-

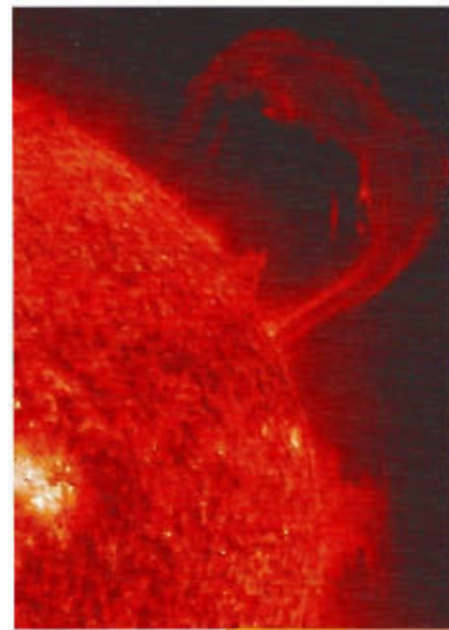
ment un rôle important dans la perspective des systèmes intégrés. Le contrôle à distance des installations de production permet de réaliser le suivi des installations et de planifier les productions. Pour ce faire, on utilisera des capacités de stockage du réseau ou des équipements pour réaliser les productions aux meilleurs moments en fonction de la prévision des besoins et des opportunités de marché.

## Quantifier les objectifs

La planification des quartiers doit donc prendre en compte à la fois les opportunités de ressources, d'intégration et de marché.

A ce niveau, le Laboratoire d'Energétique Industrielle en collaboration notamment avec le canton de Genève travaille au développement de méthodes de planification énergétique et de conception de systèmes de conversion d'énergie intégrés pour les villes du futur.

Ces méthodes font appel aux techniques de modélisation thermo-économique et d'optimisation multiobjectif et s'appuient sur un système d'information géographique performant. De tels outils permettent de mettre en évidence les opportunités d'efficacité énergétique dans les quartiers et d'en quantifier les bénéfices. Ils pourront être utilisés à l'avenir par les décideurs publics et privés pour définir la planification énergétique des villes et par les entreprises de services énergétiques qui devront apprendre à vendre le confort, la sécurité d'approvisionnement et des services plutôt que de distribuer des ressources. ■



**La situation de la Suisse est particulièrement favorable pour les pompes à chaleur.**

Eruptions solaires en H alpha.  
photo: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>