

Plan d'utilisation de l'énergie, un instrument communal vers la réduction des émissions de gaz à effet de serre

Energy-Use Plan, a municipal instrument for reducing greenhouse gas emissions

C. Bonnet, T. Wagner, T.Schmid¹

Face à la nécessité de plus en plus forte d'agir en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), aux incertitudes liées à la dépendance énergétique et aux coûts croissants de l'énergie, les communes sont appelées à s'impliquer de plus en plus dans la gestion énergétique locale. C'est dans ce contexte qu'a été développée une méthodologie de planification énergétique communale, le plan d'utilisation de l'énergie. Celui-ci a la particularité de considérer l'énergie d'un point de vue spatial à partir d'un système d'information géographique (SIG). Il est fondé sur un état des lieux détaillé de la situation énergétique de l'ensemble de la commune tenant compte de la demande en énergie (thermique et électrique), des infrastructures existantes et des ressources locales et renouvelables disponibles. A partir de cet état des lieux, le plan définit les principales orientations de la commune en matière d'énergie (vision énergétique globale) en vue d'assurer la cohérence, la coordination et l'efficacité des mesures concrètes qui seront amenées à être développées dans les domaines des économies d'énergie, de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables.

In the face of the increasingly strong need to act in order to reduce greenhouse gas emissions (GHG), of the uncertainties linked to energy dependence and the increasing costs of energy, the municipalities are called upon to become increasingly involved in local energy management. It is in this context that a municipal energy planning methodology has been developed, the Energy-Use Plan. This has the characteristic of considering energy from a geospatial point of view on the basis of a geographic information system (GIS). It is founded on a detailed inventory of the energy situation of the municipality as a whole, which takes account of the energy demand (thermal and electric), the existing infrastructures and the available local and renewable resources. From this inventory, the plan defines the municipality's principal energy-related orientations (total energy vision) in order to ensure the coherency, co-ordination and effectiveness of the concrete measures that will have to be developed in the fields of energy saving, energy efficiency and renewable energies.

Mots-clé : Communes, planification énergétique, énergies renouvelables, efficacité énergétique

Keywords : Communes, energy planning, renewable energies, energy efficiency

¹ Technische Universität München, Department of Building Climatology and Building Services, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Arcisstrasse 21, 80333 Munich, Allemagne - cecile.bonnet@lrz.tum.de

Face à la nécessité de plus en plus forte d'agir en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), aux incertitudes liées à la dépendance énergétique et aux coûts croissants de l'énergie, les communes sont appelées à s'impliquer de plus en plus dans la gestion énergétique locale en vue de réduire la consommation d'énergie et de développer les énergies renouvelables et ainsi d'assurer un approvisionnement énergétique durable à ses citoyens.

Cependant, la situation actuelle montre que les mesures prises sont souvent très individuelles, non coordonnées et parfois peu efficaces. Les nombreuses installations de biogaz existantes, concentrées sur la production d'électricité et sans utilisation de la chaleur résiduelle en constituent un exemple. Les communes manquent souvent d'un aperçu de la situation énergétique sur leur territoire et par conséquent également de connaissances des mesures concrètes les plus adaptées à la situation locale.

C'est dans ce contexte qu'ont été étudiées les possibilités de développer une méthodologie de planification énergétique pour les communes, le plan d'utilisation de l'énergie. Celui-ci a pour objectifs :

- de réaliser un état des lieux de la situation énergétique de la commune, tenant compte de la demande actuelle en énergie (chaleur et électricité), des infrastructures existantes (installations de production et de distribution d'énergie) et des ressources énergétiques locales et renouvelables disponibles sur l'ensemble de la commune ;
- de définir, à partir de cet état des lieux, les principales orientations de la commune en ce qui concerne les mesures à développer en vue d'assurer un approvisionnement énergétique plus durable et pauvre en émissions.

Pour cela, ont été considérés les secteurs résidentiels, tertiaires et industriels. En raison de l'importante dispersion spatiale du secteur des transports et pour autant des difficultés et du manque de pertinence de la localisation de ce secteur aux frontières d'une commune, ce secteur n'a pas été pris en compte dans l'étude, bien qu'il représente globalement une part non négligeable de la consommation.



Cécile Bonnet — PHOTO F. DOR

Le plan d'utilisation de l'énergie s'appuie sur les trois piliers suivants pour développer un concept énergétique durable et pauvre en émissions :

- la réduction de la demande
- l'accroissement de l'efficacité dans la production d'énergie
- l'introduction des énergies renouvelables

Il a la particularité de s'appuyer sur une approche spatiale de l'énergie où les différents paramètres étudiés sont localisés sur le territoire concerné. La base cartographique à travers l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) est donc un élément essentiel à cette méthodologie.

La méthodologie du plan d'utilisation de l'énergie a été développée par la Technische Universität München² dans le cadre d'un projet pilote dans l'arrondissement de Munich (arrondissement entourant la

1 Department of Building Climatology and Building Services - Department of Energy Economics and Application Technologies

ville de Munich). Les maîtres d'ouvrage étaient le ministère bavarois de l'environnement et de la santé (direction), l'administration de la construction du ministère bavarois de l'intérieur et le ministère bavarois de l'économie, des infrastructures, des transports et de la technologie. Le projet a été en outre cofinancé par l'administration de l'arrondissement de Munich et e.on. Cet arrondissement s'est donné pour objectifs de réduire la demande énergétique de 60 % à l'horizon 2050 par rapport à son niveau de 2006 et de couvrir

la demande restante par les énergies renouvelables. Six communes ont plus particulièrement fait l'objet de cette étude. Celles-ci présentent une population comprise entre 4000 et 20 000 habitants avec une structure s'échelonnant du rural à l'urbain, à la frontière de la ville de Munich.

L'étude est structurée en deux phases principales : l'établissement d'un état des lieux énergétique et le développement de concepts énergétiques.

Etablissement d'un état des lieux énergétique de la commune

La première étape dans l'élaboration d'un plan communal d'utilisation de l'énergie est l'obtention d'un aperçu détaillé de la situation énergétique de la commune. Celle-ci concerne la demande en énergie thermique et en électricité de l'ensemble des bâtiments (publics et privés), les infrastructures énergétiques existantes et les potentiels énergétiques disponibles sur le territoire étudié.

Le plan considère de façon différenciée l'énergie thermique et l'électricité. En effet, en raison de la présence quasiment généralisée du réseau électrique, les lieux de production et de consommation d'électricité peuvent être largement découplés. Au contraire, la structure d'approvisionnement en énergie thermique est beaucoup plus décentralisée avec des solutions individuelles par bâtiment, voire par logement, ou des réseaux de chaleur généralement limités à quelques quartiers ou ensembles de bâtiments. De manière générale, l'approvisionnement électrique est donc beaucoup moins lié à l'espace local que l'approvisionnement en chaleur. Le projet a donc étudié de façon détaillée la répartition spatiale de la demande de chaleur sur les communes considérées tandis que seule la demande totale en électricité, relative à l'ensemble de la commune, a été considérée. Cette donnée peut généralement être mise à disposition par les exploitants du réseau électrique. Dans le cas contraire, des données statistiques par secteurs pourront être appliquées.

Détermination de la demande thermique

Plusieurs méthodes ont été analysées afin d'obtenir une approximation la plus réaliste possible de la demande en énergie thermique du parc de bâtiments d'une commune. Celles-ci se différencient par leur degré d'approximation ainsi que par le temps requis pour les appliquer. Le niveau d'adéquation de l'une ou l'autre des méthodes à une commune donnée dépend de la taille et de la structure de la commune ainsi que des données qui y sont disponibles.

Utilisation de données réelles

Cette méthode est la plus exacte puisqu'elle considère les quantités d'énergie réellement consommées, par exemple à partir de factures individuelles des consommateurs ou de données des fournisseurs d'énergie.

L'étude a pu montrer que la mise à disposition des données par les fournisseurs locaux d'énergie (fournisseurs de gaz, exploitants de réseaux de chaleurs) s'avère problématique, en raison de la protection des données. De plus, l'accroissement du nombre de fournisseurs rend difficile un recensement complet. Enfin l'approvisionnement à partir de certaines sources d'énergie comme le fioul ou le bois ne peut être facilement répertorié de cette manière.

Le recours aux factures individuelles des consommateurs implique que ceux-ci mettent à disposition ces

données de façon volontaire, par exemple à travers des sondages. Les taux de réponse aux sondages étant en règle générale relativement réduits (de l'ordre de 10 % dans les deux communes étudiées), cette méthode ne permet pas de disposer de données complètes pour l'ensemble de la commune considérée. Elle n'est donc effectivement utilisée qu'en complément à une autre méthode ou pour sa vérification.

Méthode d'approximation fondée sur la typologie des bâtiments

Cette méthode s'appuie sur le fait que des bâtiments résidentiels d'un même type (maison individuelles, immeubles) et datant d'une même époque présentent des caractéristiques constructives similaires et par conséquent des demandes thermiques rapportées à la surface habitable également similaires.

Elle est fondée sur plusieurs études ayant permis de définir différentes catégories de bâtiments selon leur type et leur époque de construction et de déterminer leur consommation de référence d'après leurs caractéristiques constructives (/IWU, 2003a/ ; /IWU, 2003b/ ; /Born, 2003/ ; /Neuffer, 2001b/). De façon idéale, cette méthode doit également tenir compte d'éventuelles mesures de rénovation énergétique déjà appliquées aux bâtiments.

L'application de cette méthode requiert donc la connaissance de l'époque de construction et de la surface habitable de chaque bâtiment résidentiel. Ces données peuvent être obtenues de différentes sources. En Allemagne, les cadastres communaux contiennent généralement ces données mais celles-ci ont jusqu'à présent rarement été digitalisées dans une base de données et par conséquent leur saisie dans un SIG, nécessaire à leur traitement, demande un travail conséquent.

Il est également possible de réaliser des relevés sur le terrain de l'époque de construction et du nombre d'étages des bâtiments. La surface habitable sera alors obtenue à partir de la surface au sol des bâtiments (SIG) et du nombre d'étages. Cette méthode requiert des connaissances des caractéristiques constructives et architecturales par époque et s'avère coûteuse en temps. La taille de la commune est donc décisive. Cette alternative permet également de rele-

ver des données sur d'éventuelles mesures de rénovation énergétique et d'affiner ainsi les résultats.

Pour les bâtiments non résidentiels, la typologie de bâtiments n'est plus fondée sur l'âge et le type de bâtiment, mais sur des critères relatifs à l'usage du bâtiment (type d'activités), ainsi qu'au nombre d'employés (tertiaire), de lits (hôpitaux) ou d'élèves (écoles), etc.

Méthode d'approximation fondée sur la typologie d'ensembles

Cette méthode est la plus approximative, mais aussi la plus rapide. Elle s'appuie sur le fait que des ensembles de bâtiments de caractéristiques similaires quant à l'usage (résidentiel, tertiaire, etc.) et au type de bâtiments (maisons unifamiliales, maisons mitoyennes, immeubles, etc.) présentent des consommations énergétiques rapportées à la surface au sol totale de l'ensemble également similaire (/Neuffer, 2001a/ ; /Blesl, 2002/ ; /Roth, 1980/). Pour cela, il est donc nécessaire d'identifier de tels ensembles de caractéristiques uniformes. Ceci pourra être effectué à partir d'orthophotos et de repérages sur le terrain.

Cette méthode est particulièrement adaptée à des communes relativement grandes avec des structures uniformes et facilement identifiables.

Bien qu'elle soit beaucoup plus rapide que la méthode précédente, elle présente les inconvénients de ne tenir compte ni de l'âge des bâtiments et donc des variations de la demande thermique correspondante, ni de la densité de construction réelle des ensembles (par exemple à travers le coefficient d'occupation des sols).

De nombreuses incertitudes sont donc liées à l'application des deux méthodes statistiques précédentes : qualité des données de base, prises en compte seulement partielle de mesures ultérieures d'isolation (pas toujours visibles ou répertoriées), non prise en compte de l'influence du comportement de l'utilisateur sur la demande. Cependant des vérifications à partir de données réelles ont permis de démontrer la plausibilité des résultats obtenus de façon statistique.

Carte de densité de la demande thermique

Quelque soit la méthode appliquée, le résultat de cette première étape est une carte représentant la densité de la demande thermique de la commune (Fig.1) et définissant donc la répartition spatiale de la demande. L'unité de base de cette carte est un ensemble de bâtiments de caractéristiques homogènes tel qu'il a été défini dans la méthode de typologie d'ensemble (voir ci-haut). Dans le cas où la demande a été déterminée selon la typologie de bâtiments, des ensembles seront également définis selon le même principe. La somme de la demande thermique de tous les bâtiments de l'ensemble sera établie et rapportée à la surface au sol de l'ensemble. Ceci permet également de ne pas représenter de données individuelles soumises à la protection des données. Pour chaque ensemble, sera représentée la demande thermique annuelle totale rapportée à la surface au sol de l'ensemble.

Cette carte permet ainsi d'identifier les zones de forte concentration de la demande, par exemple en vue

d'évaluer la possibilité de mettre en place un réseau de chaleur (voir chap. 3).

Scénarios d'estimation de l'évolution de la demande thermique

Enfin des scénarios ont été développés afin d'évaluer l'évolution de la demande thermique à un horizon de 20 ans (Fig. 2). Ceux-ci s'appuient sur des cycles de rénovation énergétique complète des bâtiments de 40 à 60 ans selon le type et l'époque de construction du bâtiment et des valeurs de réduction de la demande correspondantes (/Born, 2003/). Dans la mesure du possible, de tels scénarios doivent également tenir compte de l'évolution de la population et des nouvelles constructions prévues. L'évolution de la demande des secteurs industriels et tertiaires s'avère la plus difficile à évaluer, en raison des changements rapides et difficilement planifiables qui sont susceptibles de s'y produire.

De tels scénarios contribuent à augmenter la précision dans le développement de concepts (chap. 3), ceux-ci ayant pour but de définir des mesures sur le long terme.

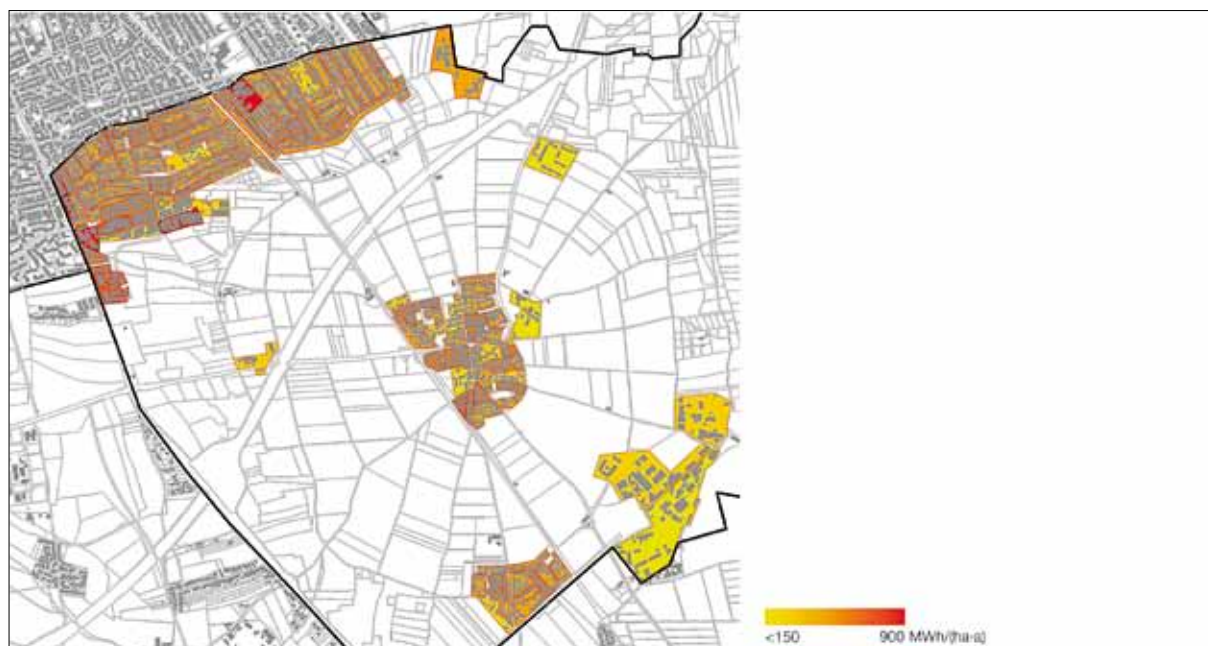


Fig 1. Carte de densité de la demande thermique actuelle

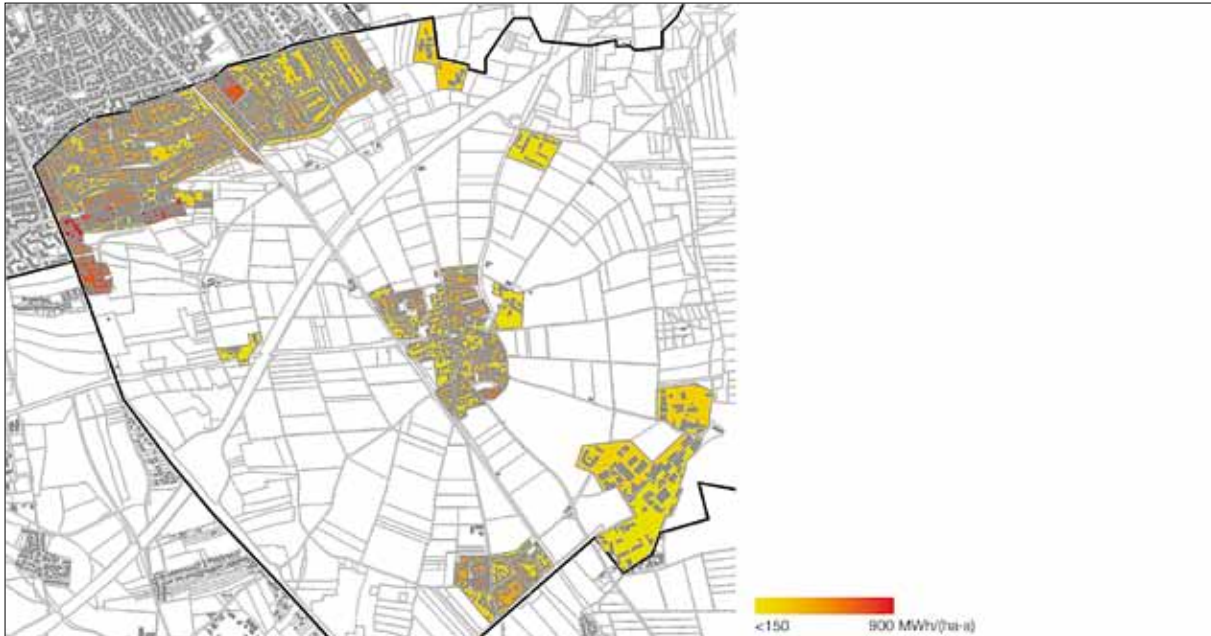


Fig 2. Carte de densité de la demande thermique future (20 ans)

Etat des lieux des infrastructures énergétiques existantes

La connaissance des infrastructures énergétiques existantes constitue une base essentielle pour le développement de concepts. Celles-ci regroupent à la fois les installations d’approvisionnement en énergie (chaleur et électricité) de grande taille, servant généralement à l’approvisionnement de plusieurs bâtiments, et les installations individuelles relatives à un seul bâtiment (Fig. 3).

Installations de grande taille

Seront répertoriées d’une part les centrales de production d’électricité et/ou de chaleur ainsi que leurs caractéristiques telles que la/les source(s) d’énergie, la taille (puissance), le type d’énergie produite (chaleur et/ou électricité) et l’âge de l’installation.

D’autre part, il s’agira s’identifier les secteurs approvisionnés par des réseaux de chaleurs en utilisant comme base les ensembles définis dans l’analyse de la demande thermique.

Enfin il sera possible d’identifier de la même manière les ensembles ou la part des bâtiments d’un ensemble approvisionnés par le réseau de gaz.

Installations individuelles

Les spécificités de l’approvisionnement individuel en énergie thermique constituent également une base intéressante en vue du développement de concepts. La disponibilité de telles données permet par exemple de déterminer le type de chauffage prédominant (source d’énergie) et l’âge moyen des installations par ensemble. De telles informations permettent à leur tour d’affiner le développement de concepts. Par exemple, la présence d’installations très récentes réduit les probabilités de connexion du bâtiment à un possible réseau de chaleur, étant donné que les habitants seront a priori peu disposés à changer leur installation.

Des données sur la source d’énergie prédominante peuvent permettre d’identifier, le cas échéant, des secteurs où la part des énergies renouvelables est déjà élevée et donc où l’introduction de nouvelles mesures n’est pas prioritaire (chap. 3).

En Allemagne ces données sont répertoriées par les ramoneurs qui ont également la fonction de contrôler les chaudières. L'expérience a cependant montré

qu'en raison de la protection des données, l'obtention de ces informations peut s'avérer problématique.

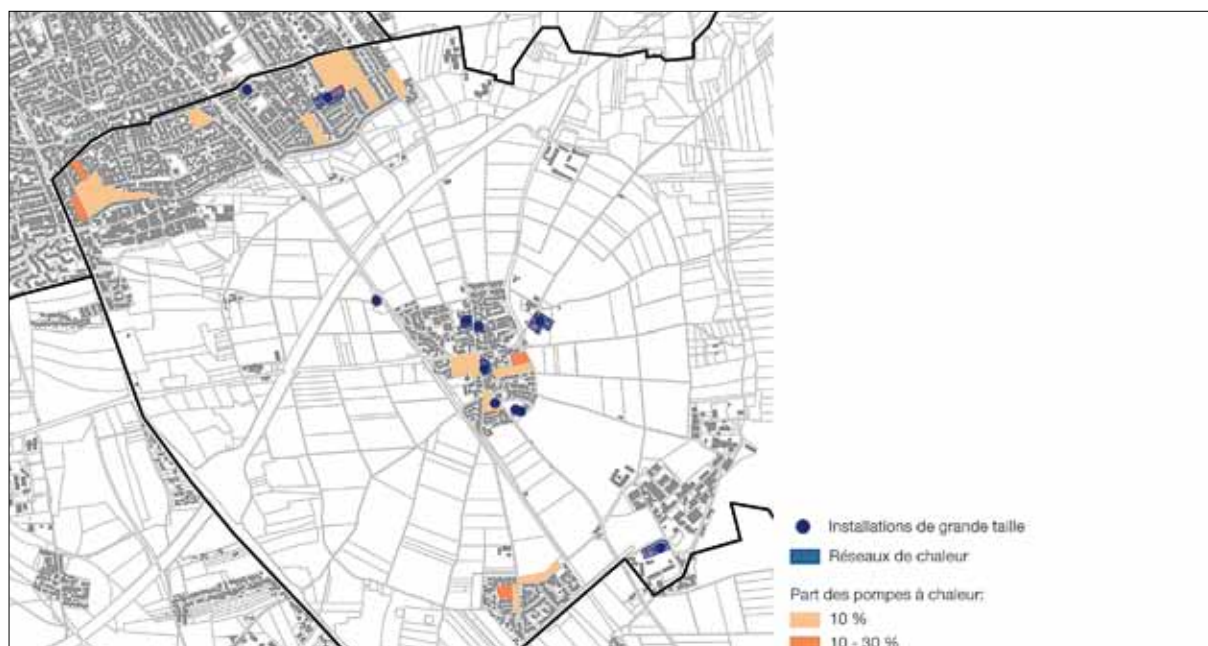


Fig 3. Infrastructures (partielles)

Evaluation des potentiels énergétiques

Le but de cette dernière étape dans l'élaboration de l'état des lieux énergétique est de répertorier l'ensemble des ressources énergétiques locales et renouvelables disponibles sur le territoire de la commune et, en tant que possible, d'évaluer quelles quantités d'énergie pourrait être obtenues de la valorisation de ces ressources d'après l'état actuel de la technique (potentiel technique), en tenant compte des potentiels déjà utilisés (Fig. 4). L'analyse est fondée sur des cartes et des valeurs d'approximation issues de différentes études existantes ainsi que sur le développement de méthodes propres. Les conclusions suivantes ont pu être établies quant aux possibilités d'évaluation des différents potentiels dans une commune :

Energie solaire

Pour l'évaluation des potentiels solaires, seules les surfaces de toitures ont été prises en compte. La possibilité d'utiliser des terrains libres pour le développement de parcs photovoltaïques n'a pas été considérée en raison de possibles concurrences dans l'occupation des sols.

Une méthode a été développée afin d'évaluer le potentiel solaire disponible sur l'ensemble des toitures dans une commune (/Müller, 2009/). Elle a permis en particulier de développer un facteur moyen représentant la quantité de rayonnement solaire annuel utilisable sur les toitures, rapporté au mètre carré de surface au sol des bâtiments.

Ce facteur a été développé à partir d'analyses détaillées de plusieurs communes bavaroises en tenant compte de l'orientation des toitures, des possibles ombrages et du rayonnement solaire annuel. Ce facteur a été déterminé pour cinq zones de rayonnement solaire en Bavière. On peut alors obtenir une approximation de la quantité d'énergie solaire disponible en multipliant ce facteur par la somme des surfaces au sol de l'ensemble des bâtiments d'une commune. A partir de cette valeur il est alors possible de développer des scénarios quant à l'utilisation concrète de cette énergie pour la production de chaleur et/ou d'électricité en tenant compte des rendements des installations correspondantes.

Les résultats de l'étude montrent que l'énergie solaire représente l'une des ressources renouvelables majeures au niveau d'une commune. Se pose cependant le problème de l'irrégularité de sa production et des difficultés de stockage qui en font dans la majorité des cas une ressource complémentaire à d'autres ressources.

Biomasse

L'évaluation des potentiels énergétiques issus de la biomasse est confrontée au conflit lié à la répartition des surfaces agricoles et forestières entre les différents postes d'usages (alimentation, énergie, matière première) et l'impossibilité de limiter ces considérations aux frontières d'une commune.

De même, différents usages énergétiques peuvent entrer en conflit dans l'utilisation des sols, comme par exemple les parcs photovoltaïques et la production de biomasse. Au contraire les résidus de biomasse (déchets ménagers organiques, résidus des récoltes agricoles, de l'industrie agroalimentaire ou de l'industrie du bois, déchets issus de l'entretien des espaces verts) constituent une ressource secondaire particulièrement adaptée à des usages énergétiques. La réalisation d'un état des lieux le plus exhaustif possible de ces ressources à l'échelle d'une commune requiert cependant le recensement de données issues de nombreux postes.

A titre indicatif et de manière à orienter les communes sur ces aspects, l'étude a considéré l'utilisation de 10 % de la surface agricole totale à des fins éner-

gétiques. Ce pourcentage s'appuie sur la part de la surface agricole nationale actuellement dédiée à des usages énergétiques. En ce qui concerne le bois-énergie, l'étude s'est proposée, également à titre d'orientation, de ne considérer que les résidus des activités forestières à travers une valeur moyenne de production de résidus par hectare de surface forestière et par an.

Géothermie superficielle

En règle générale, l'usage de la géothermie superficielle pour l'opération d'une pompe à chaleur est possible sur la majeure partie du territoire d'une commune à l'exception des zones de protection des sources d'eau potable ou dans quelques cas du fait de propriétés géologiques désavantageuses.

Pour cette raison et du fait de l'usage majoritairement individuel de cette ressource, l'analyse s'est limitée à l'identification de zones adaptées à l'usage de la géothermie superficielle, en distinguant les zones où l'usage de la nappe phréatique est possible, des zones où seul l'usage de capteurs enterrés est envisageable. Cette analyse est basée sur des cartes existantes (/StMUG, 2007/).

Géothermie profonde

L'usage de chaleur issue de la géothermie profonde n'est possible qu'en présence de conditions géologiques très particulières qui ne sont données, dans le cas de la Bavière, que dans une zone relativement réduite (/StMWIVT, 2010a/). L'exploitation de telles ressources exige des installations de très grande taille liées à des coûts très élevés. L'évaluation des potentiels correspondants exige donc des analyses détaillées et au cas par cas. A partir de l'atlas géothermique existant (/StMWIVT, 2010a/), il s'agira donc d'évaluer dans un premier temps si cette ressource entre en considération pour la commune étudiée.

Eolien

L'analyse des ressources éoliennes se limitera dans un premier temps à une première évaluation de l'adéquation de la commune pour le développement d'installations. Celle-ci s'appuie sur l'analyse de la vitesse moyenne du vent à différentes hauteurs à partir de cartes existantes (atlas éolien /StMWIVT, 2010b/). Des

considérations de distances minimales à respecter par rapport aux bâtiments d'habitations (par exemple 500, 800 ou 1000 m) pourront compléter cette première analyse qui permettra de décider du bien fondé d'analyses plus détaillées.

Chaleur résiduelle

L'utilisation de chaleur résiduelle issue, par exemple, de procédés industriels constitue une mesure particulièrement efficace vers un approvisionnement énergétique durable, en particulier si le niveau de température est suffisamment élevé pour une utilisation directe (sans pompe à chaleur). Il s'agit en effet d'une énergie résultant d'une autre application et qui est sinon dispersée dans l'environnement.

L'état des lieux de cette ressource et l'évaluation du potentiel énergétique correspondant nécessitent une

approche individuelle à chaque industrie ou autre source possible. La considération du niveau de température et d'éventuelles variations temporelles de la production d'énergie est essentielle en vue d'évaluer l'usage possible (LfU, 2007).

La récupération de chaleur des canalisations d'eaux usées constitue un cas particulier d'utilisation de chaleur résiduelle. Une élévation de la température à l'aide d'une pompe à chaleur est alors nécessaire.

A partir de paramètres minima requis pour pouvoir envisager une utilisation (diamètre de la canalisation, débit, température), il est possible d'identifier les segments du réseau où un usage pourra être analysé de façon plus détaillée (BWP, 2005). Si suffisamment d'informations sont disponibles concernant le débit et la température, un potentiel approximatif peut être évalué.

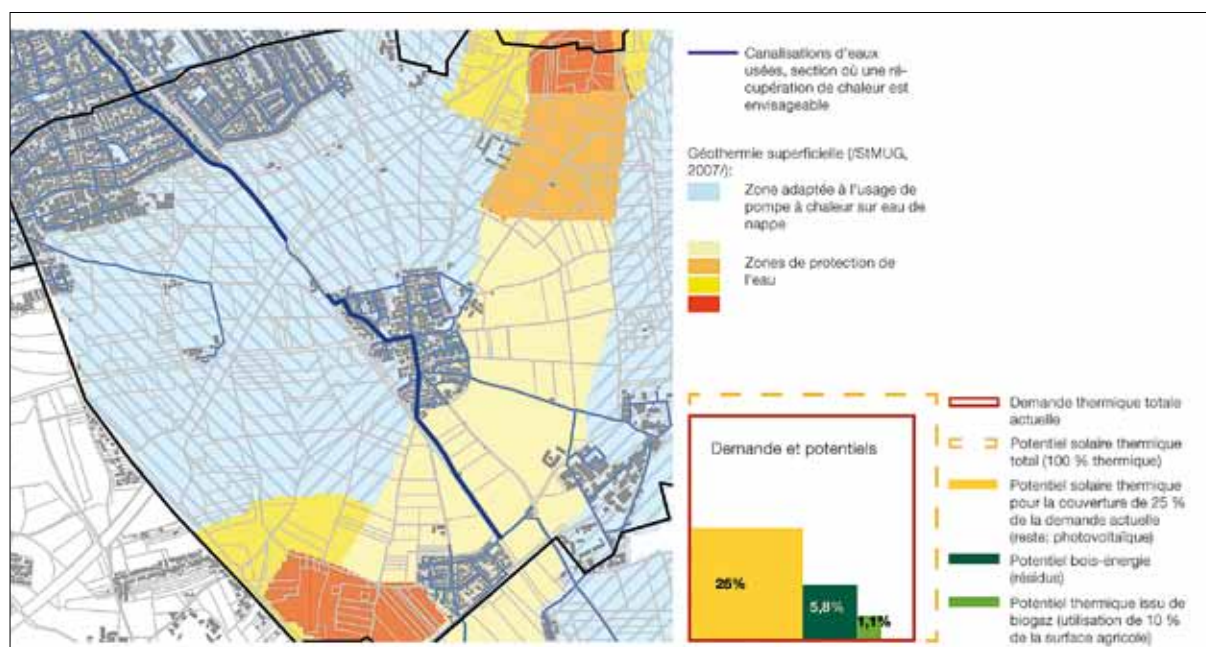


Fig 4. Potentiels

Développement d'un concept énergétique communal, plan d'utilisation de l'énergie

Cette seconde phase consiste, à partir de l'état des lieux énergétique établi dans la première phase, à définir des concepts pour un développement énergétique durable pour la commune.

Ces concepts concernent autant le développement des énergies renouvelables que la réduction de la demande et l'augmentation de l'efficacité énergétique. Ils visent la définition de mesures efficaces, coordonnées et cohérentes entre elles et avec la situation énergétique locale (phase 1) dans ces trois domaines. Ils se développent du court vers le long terme. L'objectif général est d'obtenir une coordination optimale entre la demande (actuelle et future) et les potentiels énergétiques locaux ainsi que les infrastructures existantes.

Ce processus de conception a la particularité d'être fondé sur une analyse spatiale qui peut être comparée à un processus de filtrage progressif de l'ensemble des caractéristiques énergétiques propres à la commune à partir de principes d'efficacité énergétique fondamentaux et de paramètres de référence. Les ensembles de bâtiments définis dans la première phase constituent la base du processus d'analyse et de filtrage. Le processus peut être défini en quatre étapes :

Analyse de la densité thermique

La première étape consiste à filtrer les ensembles selon que leur densité de demande thermique permet ou non un approvisionnement par réseau de chaleur. En effet seule une densité suffisante (actuelle et future) permet d'assurer un fonctionnement économique rentable et énergétiquement efficace d'un réseau de chaleur. L'étude a considéré une valeur seuil de 150 MWh/ha.a. En dessous de cette valeur, on considérera que des solutions individuelles (par bâtiment) sont plus adaptées dans l'ensemble étudié. Cette valeur permet une première approximation, elle ne doit cependant être considérée comme une valeur définitive et immuable.

Cette première étape permet donc de distinguer les ensembles où des réseaux de chaleur sont a priori envisageables des ensembles où des solutions individuelles seront requises.

Analyse des infrastructures

Les infrastructures seront ensuite analysées afin de déterminer quels ensembles sont actuellement approvisionnés en énergie par des installations efficaces et/ou renouvelables et par conséquent ne requièrent pas de nouvelles mesures. Il s'agit par exemple d'ensembles approvisionnés par des réseaux de chaleurs alimentés par des installations de cogénération ou d'énergies renouvelables. De tels ensembles pourront aussi être considérés comme des points de départ pour l'élargissement des réseaux et l'approvisionnement de nouveaux ensembles. Il peut également s'agir d'ensembles où la part des installations individuelles renouvelables (bois-énergie) et ou des pompes à chaleurs est élevée et par conséquent des mesures immédiates ne sont pas nécessaires.

De même seront identifiés les ensembles qui par leurs caractéristiques constructives (bâtiments basse consommation, passifs) ne requièrent pas de nouvelles mesures.

Enfin les ensembles approvisionnés par des installations présentant un potentiel d'accroissement de l'efficacité énergétique ou de substitution d'une source fossile par une source renouvelable seront répertoriés.

Répartition des ressources disponibles

L'étape suivante s'intéresse alors à la répartition des potentiels identifiés dans la première phase pour l'approvisionnement des ensembles de bâtiments. Pour cela, un ordre de priorité pour l'usage des potentiels énergétiques a été établi. En effet, l'utilisation d'énergies renouvelables exige dans de nombreux cas le recours à de l'énergie complémentaire non renouvelable et n'est pour autant pas entièrement neutre en émissions de gaz à effet de serre. Le recours à des pompes à chaleur pour atteindre un niveau de température suffisant pour permettre l'utilisation de ressources à basse température en constitue un exemple. La classification des ressources par ordre de priorité du Tab. 1 a été établie à partir de l'énergie primaire non renouvelable contenue dans chaque kWh d'énergie finale délivrée

Approvisionnement thermique centralisé (réseau de chaleur)	1. Chaleur résiduelle à température élevée (sans pompe à chaleur)
	2. Energie solaire thermique en réseau de chaleur
	3. Chaleur issue de la géothermie profonde
	4. Centrale de cogénération, biomasse
	5. Centrale de chauffage, biomasse
	6. Chaleur résiduelle basse température et géothermie superficielle
	7. Centrale de cogénération, énergie fossile
Approvisionnement thermique décentralisé (installations individuelles)	1. Installations solaires thermiques
	2. Chaudière à biomasse
	3. Géothermie superficielle
	4. Chaudière, énergie fossile

Tab 1. Ordre de priorité dans l'utilisation des ressources

(facteur d'énergie primaire). A partir de cette classification, l'application des potentiels pour la couverture de la demande devra tenir compte des caractéristiques énergétiques des ressources et de la demande (niveau de température, courbe de charge, etc.).

En parallèle, on pourra également distinguer les ensembles présentant un fort potentiel d'économies d'énergie, par exemple à partir de l'âge moyen des bâtiments par ensemble. Ces données ne sont disponibles que si la typologie de bâtiments a été appliquée dans la phase 1, la typologie d'ensembles ne considérant pas l'âge des bâtiments. Ces ensembles seront définis comme prioritaires pour la rénovation énergétique.

Le résultat de cette troisième étape est donc un ensemble de mesures possibles pour les différents ensembles de bâtiments ou les groupements d'ensembles.

Plan d'utilisation de l'énergie

Par la confrontation et la valorisation des alternatives précédentes ainsi que la prise en compte du processus décisionnel et participatif dans la commune, cette dernière étape conduira à l'élaboration du plan définissant les grandes lignes pour le développement de la commune vers un approvisionnement énergétique durable.

Le résultat est un plan sur base cartographique représentant les mesures envisageables par secteur (Fig. 5),

accompagné du support explicatif correspondant.

Dans certains cas, le plan contiendra plusieurs alternatives pour un même ensemble, les mesures proposées par le plan n'ayant pas encore fait l'objet d'analyses détaillées en ce qui concerne le dimensionnement de l'installation ou la valorisation économique précise. Les mesures seront également hiérarchisées temporellement du court vers le long terme.

En ce qui concerne l'électricité, le plan pourra mettre en évidence des domaines appropriés au développement d'installation d'énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, hydraulique, etc.) et où une analyse plus fine pourrait être entreprise.

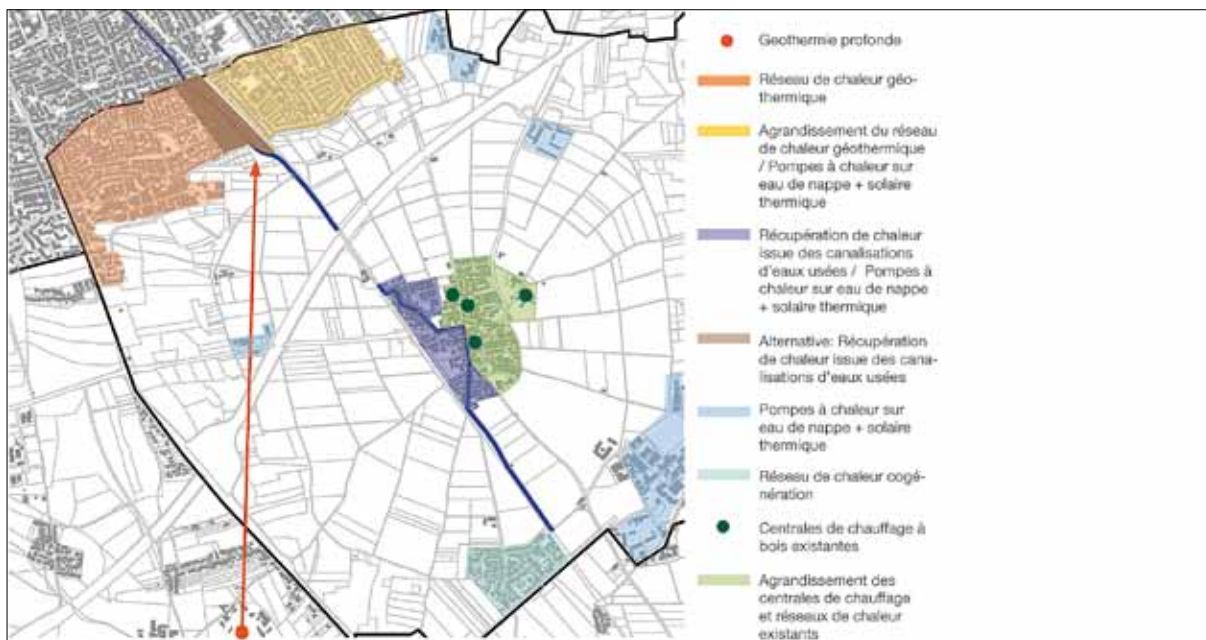


Fig 5. Plan des mesures possibles

Conclusions

L'étude a mis en évidence les possibilités d'établissement d'un état des lieux énergétique à l'échelle communale. Le degré de détail et d'exactitude dépend cependant largement des données disponibles (par exemple concernant les bâtiments) et de la possibilité de s'appuyer sur d'autres études et paramètres caractéristiques (par exemple en ce qui concerne les potentiels, cartes de la vitesse du vent, de la géothermie superficielle, etc.). La disponibilité de ces données peut cependant varier selon la région ou le pays. Ceci influence par conséquent aussi le niveau de détail de l'ensemble du plan.

Par ailleurs, l'étude a montré que l'analyse de cet état des lieux à partir de critères énergétiques fondamentaux et la confrontation des différents aspects considérés permet l'élaboration d'un concept énergétique à long terme définissant, dans une considération spatiale, les principales orientations énergétiques de la commune. L'importance de l'élargissement des considérations au-delà des frontières de la commune a éga-

lement été identifiée, des mesures intercommunales pouvant dans certains cas ouvrir des possibilités de synergies particulièrement efficaces.

L'étape suivante est la mise en application pratique de ce plan. Celle-ci requiert d'une part des études spécifiques plus approfondies (dimensionnement, analyse économique, etc.). D'autre part différents outils et modèles pourront être utilisés pour faciliter sa mise en place. Il s'agit d'instruments de planification communale existants (plan d'occupation des sols, plan d'aménagement urbain, etc.), d'instruments incitatifs (subventions) ainsi que de modèles d'organisation et de financement. Enfin, l'implication des principaux acteurs et en particulier des citoyens représente un aspect essentiel à l'application du plan.

Dans le cadre de ce projet, un guide destiné aux communes bavaroises pour l'élaboration d'un plan d'utilisation de l'énergie a été élaboré (/StMUG, 2011).

Références

BLES M. (2002). *Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs*, IER-Forschungsbericht Band 92, Stuttgart 2002, URL : <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2002/1193/pdf/FB92.pdf>

BORN R., DIEFENBACH N., LOGA T., INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH (IWU) (2003). *Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie*, Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen, Endbericht, Darmstadt 2003, URL : http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/GebTyp_Impulsprogramm_Hessen_22_01_2003.pdf

BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE E.V. (2005). *Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) GbR im Verband kommunaler Unternehmen*, Institut Energie in Infrastrukturanlagen : Heizen und Kühlen mit Abwasser, Ratgeber für Bauherren und Kommunen, Zürich 2005, URL: http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/Flyer-Broschueren/abwasser_2009.pdf

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (2003a). *Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze*, Dokumentation, Darmstadt 2003, URL: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland_Dez_2003.pdf

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (2003b). *Deutsche Gebäudetypologie – Bilder typischer Gebäude*, Darmstadt, 2003, URL: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/IWU_GebTyp_D.zip

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2007). *Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen*, Augsburg 2007, URL : http://www.lfu.bayern.de/luft/fachinformationen/co2_minderung/doc/leitfaden_abwaermenutzung.pdf

MÜLLER A. (2009). *Entwicklung von Methoden zur Ermittlung des Solarpotentials auf kommunaler Ebene*, Master Thesis, München 2009

NEUFFER H., WITTERHOLD F. G. (2001a). *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeverversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien*, AGFW-Hauptstudie – erster Bearbeitungsabschnitt, Band 2: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes + Technologieentwicklung und –bewertung, Frankfurt/M. 2001, URL : <http://www.agfw.de/86.0.html>

NEUFFER H., WITTERHOLD F. G. (2001b). *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeverversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien*, AGFW-Hauptstudie – zweiter Bearbeitungsabschnitt, Band 1: Wirtschaftliche Rahmendaten - Räumlich verteilter Energiebedarf - digitale Wärmekarte, Frankfurt/M. 2001, URL : <http://www.agfw.de/86.0.html>

NEUFFER H., WITTERHOLD F. G. (2001c). *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeverversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien*, AGFW-Hauptstudie – zweiter Bearbeitungsabschnitt, Band 3 : Zukunft der KWK und der Fernwärme – Modellgestützte Hochrechnungen – vergleichende Betrachtungen – Zukünftige Anforderungen, Frankfurt/M. 2004, URL : <http://www.agfw.de/86.0.html>

ROTH U. (1980). *Raumordnung, Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen*, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Forschungsprojekt BMBau, Bonn 1980

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2007). *Oberflächennahe Geothermie, Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund, Ein Überblick für Bauherren*, Planer und Fachhandwerker in Bayern, München 2007, URL : http://www.lfu.bayern.de/geologie/fachinformationen/geothermie/geothermie_oberflaechennah/index.htm

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ / BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE / OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN (2011). *Leitfaden Energienutzungsplan*, München 2011, URL : <http://www.verwaltung.bayern.de/Gesamtliste-.613.4011133/index.htm>

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2010a). Bayerischer Geo-

thermieatlas, München 2010, URL: http://www.stmwivt.bayern.de/pdf/energie-und-rohstoffe/Bayerischer_Geothermieatlas.pdf

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2010b). Bayerischer Windatlas, München 2010, URL: http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/energie-und-rohstoffe/Bayerischer_Windatlas.pdf