

THEME 2.2
Energies renouvelables
Partie : géothermie

SUBVENTION 2008-2009
Septembre 2009

RAPPORT FINAL – VERSION PROVISOIRE



TABLE DES MATIERES

1. LA GEOTHERMIE ET LES POMPES A CHALEUR.....	2
1.1 PROBLEMATIQUE ET CONTEXTE	2
1.1.1 <i>Les principes</i>	2
1.1.2 <i>La géothermie profonde</i>	3
1.1.3 <i>Les pompes à chaleur</i>	3
1.2 DISPONIBILITE DES RESSOURCES	5
1.2.1 <i>La géothermie profonde</i>	5
1.2.2 <i>Les pompes à chaleur</i>	7
1.3 AVANCEE TECHNOLOGIQUE ET FAISABILITE.....	7
1.4 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	8
1.5 POTENTIALITES	8

1. LA GEOTHERMIE ET LES POMPES A CHALEUR

1.1 PROBLEMATIQUE ET CONTEXTE

1.1.1 Les principes

La géothermie est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et par extension la technique qui vise à l'exploiter. L'utilisation de la géothermie vise à capter le flux thermique que constitue la chaleur de la terre et de la transporter jusqu'à la surface terrestre. L'énergie géothermique a été exploitée depuis des milliers d'années en Chine et dans le bassin méditerranéen essentiellement dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude.

On peut distinguer trois types de géothermie en fonction de l'importance de la profondeur concernée : basse température pour la géothermie peu profonde, haute température pour la géothermie profonde et très haute température pour la géothermie très profonde.

Trois filières principales d'utilisation peuvent être distinguées.

- La première filière consiste à exploiter l'énergie fournie par le manteau terrestre et transmise par conduction vers la surface : on estime que la température s'accroît de 3° C par 100 mètres de profondeur. La géothermie à haute température (150-300° C) consiste donc à pomper cette chaleur, à produire de la vapeur via des échangeurs pour alimenter des centrales thermiques classiques - produisant généralement de l'énergie électrique - impliquant un réseau de distribution collectif.
- La deuxième filière consiste à exploiter l'énergie captée par la surface de la terre sous l'influence du soleil, de la pluie et du vent. Cette ressource énergétique à basse température (inférieure à 100° C) est valorisée par un système de pompe à chaleur pour des besoins de chauffage individuel principalement.
- La troisième filière consiste à exploiter la capacité de stockage du sol en emmagasinant en profondeur la chaleur solaire captée en été puis en la revalorisant en hiver grâce à un système de pompe à chaleur.

Le bilan énergétique final est globalement favorable suivant les filières utilisées, y compris les basses températures qui ont nécessairement recourt au système de pompe à chaleur, mais il faut être attentif à ce que les puits d'énergie géothermique à basse température n'épuisent pas la ressource par refroidissement. Cette énergie est stable pour autant que l'on ne capte pas plus d'énergie qu'elle n'en a besoin pour se régénérer. Le coût d'installation dépend de la profondeur du puits, de la chaleur du gisement et de la taille de l'installation qui peut être développée. Les évolutions techniques récentes, notamment en termes de forages et de sondes géothermiques (échangeurs horizontaux, verticaux et maintenant hélicoïdales plus faciles à mettre en oeuvre¹), rendent de plus en plus performantes et rentables les dispositifs géothermiques.

¹ Systèmes solaires 190, mars-avril 2009.

1.1.2 La géothermie profonde

Les expériences de chauffage collectif par géothermie remontent déjà à quelques décennies et les concepts n'ont guère évolué depuis les années '70. Toutefois, les développements techniques sont prometteurs même si actuellement les 2 sites wallons exploités dans la région de Mons sont liés à des conditions géologiques locales. La première application de la géothermie en Wallonie a débuté à Saint-Ghislain en 1985 et concerne essentiellement le chauffage urbain de bâtiments scolaires et sportifs ainsi que de logements sociaux. Le puits de Douvrain participe au chauffage d'un hôpital à Baudour. Une quantité de chaleur équivalente à 17 GWh a été ainsi produite et valorisée en 2007 par le gestionnaire IDEA.

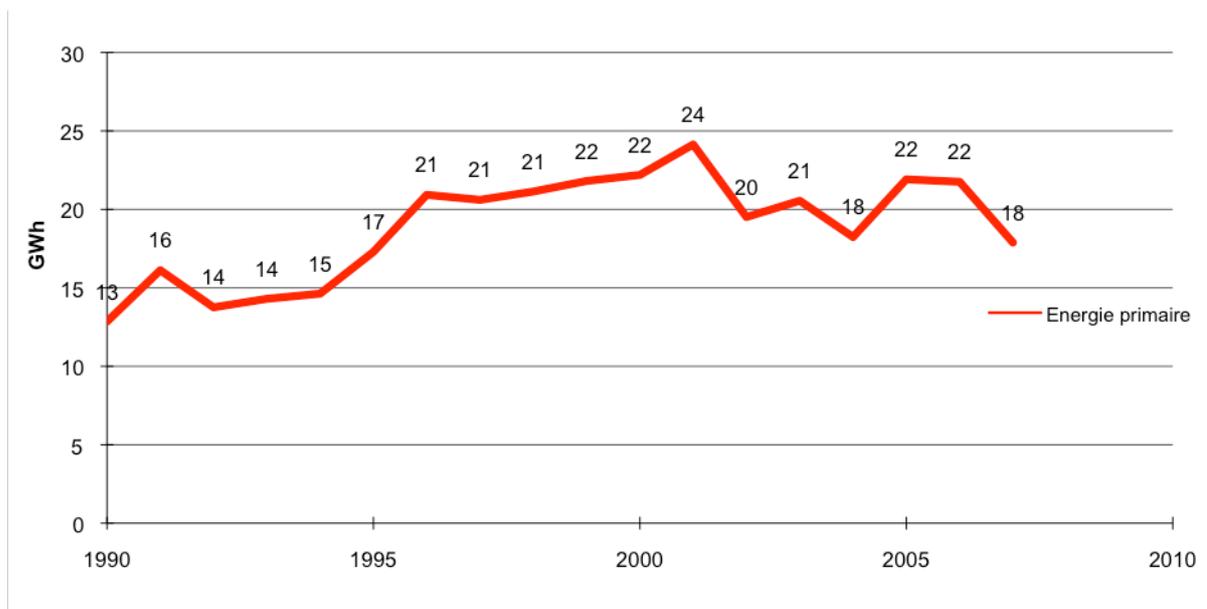


Figure : Évolution de l'énergie primaire produite par les puits de Saint Ghislain et de Douvrain.
Source : IDEA, ICEDD, 2007.

1.1.3 Les pompes à chaleur

La pompe à chaleur géothermique est considérée comme énergie renouvelable dans la mesure où elle prélève des calories dans le sol (dans le cas de la pompe à chaleur géothermique) pour généralement alimenter un réseau de chauffage (planchers ou murs chauffants ou encore radiateurs). Elle nécessite cependant l'apport complémentaire conséquent d'électricité qui en fait donc un système hybride que l'on pourrait aussi qualifier de solaire assisté dans la mesure il récupère la chaleur accumulée dans le sol, y compris l'eau et l'air. La technologie de la pompe à chaleur – qui est donc plutôt un « multiplicateur » d'énergie plus que la valorisation d'une source d'énergie renouvelable (la géothermie proprement dite) – s'est toutefois considérablement améliorée au cours du temps. Toutefois, on estime généralement qu'une pompe à chaleur n'est énergétiquement intéressante que lorsqu'elle rend environ trois fois l'énergie consommée par son fonctionnement.

A côté de la pompe à chaleur géothermique existent aussi la pompe à chaleur traditionnelle à eau et la pompe à chaleur à air (air statique ou dynamique). La première utilise une source d'eau souterraine ou de surface. L'utilisation de la source d'eau pose ici des problèmes d'autorisations et d'éventuels problèmes d'environnement dans la mesure où le rejet ou le retour d'eau refroidie doit s'effectuer sans conditions néfastes pour l'environnement. La seconde repose sur l'air extérieur et ne pose donc pas de problème de rejet, mais la température est plus variable induisant de moindres performances lorsque les besoins en chauffage sont plus importants (hiver rigoureux).

Les pompes à chaleur actuelles atteignent un coefficient de performance (COP) de l'ordre de 3 pour les systèmes air-eau et de 5 pour les modèles eau comme source d'eau froide. Soit respectivement de 3 à 5 kWh de chaleur pour 1 kWh d'électricité consommé. Par ailleurs, le COP n'est valable que pour des températures de la source froide et de la source chaude (il augmente avec la température de la source froide et diminue avec la source chaude, c'est la raison pour laquelle les valeurs sont normalisées pour un air à 7°C et de l'eau de chauffage à 35°C).



Figure : Schéma de principe de la pompe à chaleur

Il est toutefois important de signaler que ce coefficient de performance ne doit pas masquer la contre partie de l'utilisation d'électricité nécessaire à la valorisation de l'énergie renouvelable puisée dans l'environnement immédiat. En effet, la production de celle-ci nécessite plus ou moins d'énergie primaire encore en très grande partie issue d'énergie fossile (y compris nucléaire) et donc non renouvelable. Suivant l'origine de l'électricité (nucléaire, énergie fossile ou renouvelable), le taux de conversion entre l'énergie primaire et l'énergie consommée atteint rarement plus de 30% (sans compter les pertes dues à la dissipation par effet Joule sur les lignes électriques : de l'ordre de 2,5% de la consommation pour la haute et très haute tension, et 5,8% si on y ajoute la moyenne et basse tension, données françaises alors que le kWh français soit le deuxième moins polluant d'Europe après la Suède²).

Toutefois, une pompe à chaleur permet généralement de réduire de 1,5 à 4 les émissions de CO₂ nécessaires au chauffage d'un bâtiment par rapport à un système utilisant les énergies fossiles³. Cet aspect est loin d'être négligeable d'autant que ce principe s'applique aussi aux bâtiments plus anciens où l'amélioration des performances énergétiques (dispositifs d'isolations) peut être plus complexe et plus coûteuse à mettre en place. La pompe à chaleur peut donc être une alternative intéressante dans un tel contexte nécessairement transitoire.

² Magazine Alternatives n°19, 3^e trimestre 2008 : <http://alternatives.aveva.com/fr/article/alternatives/712>

³ <http://www.geothermie-perspectives.fr/>

En réponse à la critique du véritable caractère renouvelable de l'énergie valorisée par les pompes à chaleur, la nouvelle directive européenne 2009/28/CE⁴ relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables apporte un éclairage. Elle précise dans quelle mesure cette énergie pourra être comptabilisée comme énergie renouvelable⁵.

Pour répondre à cette difficulté, la filière peut aussi organiser un label de qualité des matériels comme en France où les constructeurs doivent garantir un COP de 3,3 et donner les informations sur les décibels émis par le dispositif. En Région wallonne, les primes pour les pompes à chaleur sont d'ailleurs déjà assorties de conditions liées à certains critères de performances (COP minimal variable suivant les différentes sources de captation; minimum de 3,1 pour l'air dynamique, par exemple) et entre autres aussi au niveau K du bâtiment qui doit être inférieur ou égal à K45.

Avec ses évolutions techniques notables des dernières décennies, la pompe à chaleur géothermique retrouve donc aujourd'hui un regain d'intérêt pour le chauffage individuel, lui permettant de rivaliser avec les systèmes de chauffage traditionnels. D'autant que sa réversibilité (inversion) moyennant quelques aménagements techniques lui permet aussi de faire office de système de rafraîchissement de l'atmosphère en période estivale en évitant un système de climatisation complémentaire⁶. Ce type de pompe réversible n'est toutefois pas éligible au bénéfice de la prime en Région wallonne.

En résumé, par sa possibilité de permettre une valorisation relativement aisée de l'énergie disponible dans l'environnement immédiat, la pompe à chaleur a certainement de l'avenir dans la mesure où elle est performante (COP > 3) et utilise si possible de l'électricité issue d'énergies renouvelables.

Sur le plan institutionnel, on peut malheureusement constater que les acteurs traditionnels (gouvernement fédéral, régions, intercommunales) ne développent pas d'initiatives dans le domaine de la valorisation de la géothermie, malgré un accord international au sein de l'Agence Internationale de l'Energie portant sur cette ressource énergétique.

1.2 DISPONIBILITE DES RESSOURCES

1.2.1 La géothermie profonde

Berckmans et Vandenberghe⁷ (1998) ont étudié le potentiel énergétique géothermal pour la Belgique. La carte ci-dessous montre les zones à potentiel géothermique de profondeur. Six réservoirs ont été identifiés et les ressources énergétiques susceptibles d'être extraites ont été estimées :

Nom	Gj	GW/h	Aire (km ²)
Dinantian Hainaut	29 x 10 ⁸	806.200	373
Dinantian Campine	44,5 x 10 ⁸	1.237.100	2096
Triassic Sandstone	50,8 x 10 ⁸	1.412.240	530

⁴ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:FR:PDF>

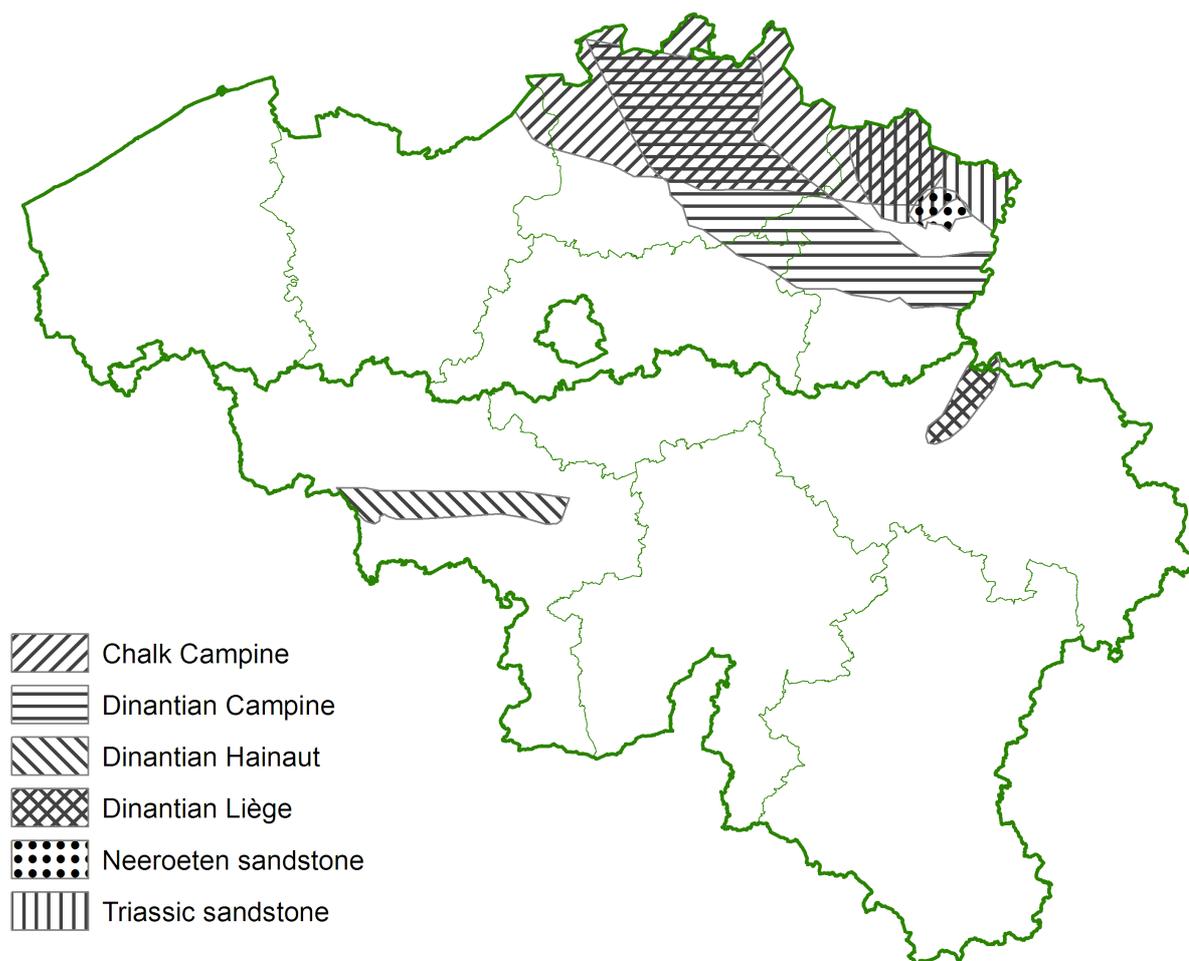
⁵ L'énergie thermique générée par des pompes à chaleur est considérée comme énergie renouvelable pourvu que le rendement énergétique final excède significativement l'intrant énergétique primaire.

⁶ Daro, G., 2002. Le chauffage solaire et la pompe à chaleur. Editions Nature & Progrès, Jambes.

⁷ Berckmans A. & Vandenberghe N., 2008. Use and potential of geothermal energy in Belgium. Geothermics, 27, 235-242.

Nom	Gj	GW/h	Aire (km ²)
Chalk Campine	17,7 x 10 ⁸	492.060	2155
Neeroeten Sandstone	1,23 x 10 ⁸	34.194	52
Dinantian Liège	18,5 x 10 ⁶	5.143	113

Ces estimations tiennent compte des contraintes suivantes : utilisation de l'aquifère à une profondeur maximale de 2500 m, température minimale de 25°C et un facteur de renouvellement de 0,33 dans la mesure où l'eau est réinjectée dans l'aquifère.



Les études portant sur la disponibilité de la ressource en région wallonne n'ont pas été poursuivies au-delà des premières expériences et les investissements publics sur cette problématique ont été délaissés après les années 1980-90.

La capacité de production d'électricité à partir d'installations géothermiques actuellement installées dans l'Union européenne s'élève à environ 1 GWel, soit 2 pour mille de la puissance électrique totale installée, et ce principalement en Italie.

1.2.2 Les pompes à chaleur

En ce qui concerne les pompes à chaleur, et plus particulièrement l'exploitation de la géothermie peu profonde principalement concernée ici, les capacités de production sont quasi illimitées dans la mesure où cette filière utilise l'énergie captée par les sols sous l'influence du soleil. Les limites dépendent toutefois de la capacité du sol à se recharger suite aux apports solaires dans la mesure où la diminution de la température de la source par captation d'énergie réduit nécessairement le rendement du système (COP). Le sol absorbe toutefois en moyenne quelque 50% (170 W/m^2)⁸ du rayonnement solaire à l'échelle de la terre entière (soit de l'ordre de $1500 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$, mais les apports sont nécessairement moindre dans l'hémisphère nord). En Région wallonne l'ordre de grandeur est de $1200 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ et laisse donc des capacités exploitables considérables.

Les 16844 km^2 de la Région wallonne autorisent donc théoriquement une capacité de captation énergétique de l'ordre de 25266 TWh/an , soit plus de 100 fois la consommation actuelle d'énergie en Région wallonne. Même en limitant la surface aux seules zones urbanisées, soit un peu plus de 200000 ha (14% du territoire) et en considérant que seuls 25% des parcelles sont susceptibles de servir de capteur, on arrive encore à un chiffre théorique de 600 TWh/an , soit plus de 3 fois la consommation d'énergie en Wallonie.

Par ailleurs, l'utilisation d'échangeurs air/eau, qui peuvent être installés dans la plupart des endroits avec moins de contraintes que les capteurs géothermiques (sol/eau), peuvent encore augmenter les capacités de production sur le territoire, même si leur rendement est souvent moins performant.

1.3 AVANCEE TECHNOLOGIQUE ET FAISABILITE

Depuis les années '70, les investissements en R&D dans le domaine de l'énergie géothermique n'ont pas été réellement poursuivis notamment parce que les perspectives de rentabilité à long terme dans le marché de l'énergie n'étaient pas favorables. La faisabilité de ce type d'installation reste à analyser au cas par cas, du fait notamment des coûts importants liés au forage et à la maintenance.

Par contre, la technologie de la pompe à chaleur répondant à une utilisation individuelle de l'énergie géothermique a connu d'importantes avancées en termes de rendement et de fonctionnement encore plus silencieux et devrait encore s'améliorer dans les années à venir. La Wallonie dispose d'un réseau de fabricants et d'installateurs expérimentés.

Par ailleurs, des dispositifs couplés avec des capteurs "moquette" solaires permettant de recharger les sols en chaleur voient aussi le jour hors d'un cadre expérimental⁹. Ces dispositifs de captage permettent notamment de réduire la taille du champ des sondes géothermiques. Divers développements récents autorisent aussi d'utiliser les éléments de fondation des bâtiments pour réaliser du stockage thermique : parois enterrées, dalles ou pieux échangeurs de chaleur (géostrucures énergétiques)¹⁰.

⁸ Wiesenfeld, B. 2005. L'énergie en 2050 : Nouveaux défis et faux espoirs. EDP sciences, Les Ulis.

⁹ Systèmes solaires 190, mars-avril 2009

¹⁰ Bonal, J., Rossetti, P., et Ecrin (Association). 2007. Energies alternatives. Omniscience, Sophia-Antipolis.

1.4 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Suivant les types de filières géothermiques développées, les impacts environnementaux sont nécessairement différents. Peu de références sont disponibles dans la littérature, mais il semble que les impacts soient très limités dans la mesure où l'énergie thermique captée est quasi illimitée tout du moins face aux consommations actuelles. Il ne faut toutefois pas négliger les impacts des forages pour la géothermie profonde (impacts liés aux activités de forage et rejets, essentiellement), le prélèvement d'eau de surface ou souterraine et son rejet (nappes, sol, réseau) pour certaines installations de pompe à chaleur eau-eau (autorisations nécessaires) et la consommation d'espace pour les échangeurs sol-eau placés horizontalement (consommation de sols indisponibles pour le labour ou les plantations, notamment, mais dont la surface reste toutefois disponible comme support d'activités simples). Les autres types d'échangeurs n'ont qu'une faible consommation surfacique. Ces divers impacts environnementaux restent donc fortement limités en ce qui concerne le captage thermique.

Pour les dispositifs de pompes à chaleur, il faut aussi signaler que les précautions environnementales d'usage sont à prendre pour l'utilisation des fluides caloporteurs de la pompe proprement dite et des capteurs du circuit primaire dans certains dispositifs (fuite, recyclage en fin de vie, etc.).

1.5 POTENTIALITES

Les deux sites géothermiques wallons fournissent ces dernières années entre 15 et 20 GWh, soit une augmentation de l'ordre de 50% par rapport à 1993 (ICEDD, 2005). Cependant, cette filière reste en Wallonie très nettement moins développée que dans d'autres pays comme l'Italie (1959 GWh), la France (1512 GWh) ou l'Autriche (116 GWh). Pourtant rappelons que les premières estimations d'étude présentées précédemment montrent des potentialités considérables pour le sous-sol wallon (811000 GWh). Il semble donc que ce choix technologique ait été négligé et délaissé au profit d'autres filières.

En Europe, l'utilisation de l'énergie géothermique est pourtant en forte hausse depuis quelques années du fait des aides accordées par les Etats et par l'Union européenne. Le Comité économique et social européen estime d'ailleurs, dans un avis d'initiative sur l'utilisation de l'énergie géothermique (CESE 122/2005), que cette politique mérite d'être soutenue dans le but d'expérimenter et de perfectionner différentes technologies.

Dans le monde, les principaux pays producteurs d'énergie géothermique sont dans l'ordre suivant : Etats-Unis (1500 MW installé entre août 2008 et mars 2009, et 126 projets en cours de développement pour un potentiel de 5500 MW¹¹), Philippines, Indonésie et Mexique, sachant aussi que la géothermie est largement exploitée en Islande. Dans certains de ces pays, diverses centrales géothermiques de l'ordre de 25 MW de puissance sont mises en œuvre depuis quelques années¹²

On estime que les coûts du kWhel d'énergie géothermique sont actuellement deux fois moins élevés que ceux de l'énergie solaire et deux fois plus élevés que ceux de l'énergie éolienne. C'est pourquoi le Comité économique et social européen souligne que l'utilisation de l'énergie géothermique à haute température ou géothermie profonde (forage de 4 à 5 km de profondeur) représente un potentiel considérable, qui peut être largement modulé en fonction des besoins, en mesure de contribuer de manière significative à un approvisionnement énergétique durable et non préjudiciable à l'environnement.

¹¹ <http://www.geo-energy.org/>

¹² Systèmes solaires 192, juillet-août 2009.

Etant donné les opportunités qu'offre la géothermie en matière de production combinée de chaleur et d'électricité, il s'agit aussi d'envisager des mesures nécessaires pour développer des réseaux de chauffage appropriés à l'utilisation de la chaleur.

En ce qui concerne les systèmes de pompe à chaleur, quelque 960 logements wallons en étaient équipés en 2001 (les données ultérieures au recensement décennal de 2001 sont malheureusement peu fiables, seules des données sur diverses primes octroyées depuis 2005 sont disponibles : 220 primes pour PAC Chauffage de 2005 à 2007 inclus). Dans le secteur résidentiel, les gains énergétiques étaient estimés à 9,0 GWh ou 776 tep ; dans le secteur tertiaire, les gains étaient estimés à 3,8 GWh ou 324 tep. Les principaux pays de l'Union impliqués dans la géothermie à très basse énergie (PAC) sont la Suède (1270 MWth), l'Allemagne (675 MWth) et la France (670 MWth).

Le Plan pour une maîtrise durable de l'énergie (2003) indiquait pour les pompes à chaleur un objectif de 20 GWh en 2005 et 50 GWh en 2010, par rapport aux 13 GWh valorisés en 2003 et 18 GWh estimés en 2007. Le potentiel de développement n'est donc pas négligeable. Il devra être estimé sur base des projections économiques récentes.

Dans le projet mise à jour du Plan pour la maîtrise durable de l'énergie (PMDE 2009), il est noté que les résultats n'ont guère progressé pour la géothermie profonde. L'objectif de 30 GWh en 2010 sera difficilement atteint.

Pour les pompes à chaleur, l'absence de données fiables (23 GWh estimés en 2007) n'autorise pas d'évaluer si l'objectif de 50 GWh sera atteint.

Dans les objectifs du PMDE 2009 pour 2020, la chaleur géothermique devrait représenter une production de 200 GWh et les pompes à chaleur de 410 GWh. Par rapport au scénario de référence où le total d'énergie consommée pour 2020 serait de 181,80 TWh, ces prévisions représenteraient respectivement 0,11% et 0,22%.

Avec des pourcentages aussi faibles, il apparaît assez clairement que l'énergie géothermique, y compris les pompes à chaleur, ne jouera qu'un rôle mineur dans le développement des énergies renouvelables en Région wallonne, tout du moins dans une perspective à moyen terme. Cela ne doit toutefois pas masquer les potentiels a priori considérables de la géothermie (profonde et peu profonde via la pompe à chaleur) où les stocks d'énergie sont pratiquement illimités.

Notons ainsi que pour la géothermie, le projet de PMDE 2009 prévoit les mesures suivantes (actions 179 et 180) :

- lancer dès 2009 un programme d'études en vue de déterminer le potentiel théorique géothermique wallon à l'horizon 2015 ;
- aider la création de réseaux de chaleur dans des zones à forte densité de population et à haut potentiel géothermique.

Et pour les pompes à chaleur (actions 181 à 185) :

- étudier le potentiel géothermique wallon à faible profondeur (+/- 100 m) pour les pompes à chaleur (PAC) et les moyens de mettre en œuvre ce potentiel dans les zones propices ;
- travailler avec les bureaux d'études, former les professionnels et informer le public en matière de PAC ;
- évaluer et adapter éventuellement les primes pour les PAC à coefficient de performance élevé ;
- maintenir le financement d'un facilitateur PAC ;
- recherche : amélioration du coefficient de performance des PAC, R&D de cycles innovants, notamment pour la climatisation, assurer la qualité des installations.