

n° 008917-01

décembre 2013

Production de chaleur et de confort d'été pour les logements individuels et les petits immeubles collectifs

Etude des potentialités et des facteurs de développement
de l'utilisation du solaire thermique et de la géothermie
à très basse énergie



MINISTÈRE
DE L'ÉGALITÉ
DES TERRITOIRES
ET DU LOGEMENT

MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

**Ministère
de l'égalité des territoires
et du logement**

**Ministère de l'écologie,
du développement durable et de
l'énergie**

Rapport n°8917-01

Production de chaleur et de confort d'été pour les logements individuels et les petits immeubles collectifs

**Etude des potentialités et des facteurs de développement
de l'utilisation du solaire thermique
et de la géothermie à très basse énergie**

Rapport

Jean-Claude GAZEAU <i>Coordonnateur CGEDD</i>	Jean-Louis DURVILLE <i>CGEDD</i>	Alain FEMENIAS <i>CGEDD</i>
---	--	---------------------------------------

Décembre 2013

SOMMAIRE

INTRODUCTION

TOME 1 : VERSION DE SYNTHÈSE.....	9
--	----------

PREMIERE PARTIE : PLACE DE LA CHALEUR RENOUVELABLE, CONTRIBUTION A LA TRANSITION ENERGETIQUE

1.1 Le paysage quantitatif de l'énergie et la place de la chaleur :	11
1.1.1 Solaire thermique et géothermie à très basse température	12
1.1.2 Les énergies renouvelables au sein du mix énergétique. Place de la chaleur dans l'énergie finale consommée, Contribution aux objectifs 2020	12
1.2 Les facteurs de décision du particulier lors du choix pour un mode d'énergie-chaleur dans son logement	14

DEUXIEME PARTIE : TECHNOLOGIES DISPONIBLES ET INNOVANTES EN MATIERE DE SOLAIRE THERMIQUE ET DE GEOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

2.1 Aspects techniques	16
2.1.1 La chaleur géothermique.....	16
2.1.2 Le solaire thermique.....	19
2.1.3 Climatisation ou confort thermique.....	21
2.1.4 Les réseaux de chaleur	22
2.2 Eléments sur les acteurs économiques : marchés, entreprises, organismes, institutions concernés	23
2.3 Recherche, développement et innovation.....	25
Solaire thermique : des pistes pour une feuille de route R&D.....	25
↳ Le BRGM, l'INERIS, le CSTB, CETE (<i>Pôle de compétence et d'innovation</i>)	26
↳ Quelques pistes de recherche et innovation (exemples de couplages innovants de technologies) :.....	26

TROISIEME PARTIE : SITUATION DANS QUELQUES PAYS EUROPEENS LEADERS OU A FORTE CROISSANCE DANS CES FILIERES

3.1 Le solaire thermique en Europe	28
3.2 La géothermie de minime importance en Europe	28
3.3 Remarques conclusives sur ce panorama	29

QUATRIEME PARTIE : LES INSTRUMENTS POUR DEVELOPPER L'ECONOMIE DES FILIERES

4.1 Les incitations des Pouvoirs publics	30
4.2 La réglementation de l'exploitation de la ressource : le Code minier et la géothermie de minime importance	33
4.3 La réglementation thermique (RT) des bâtiments	34

4.4	Insertion dans les documents locaux d'urbanisme	36
4.5	Créer les conditions d'un réel développement auprès des professionnels.....	37

DISCUSSION

5.1	Evolution du prix domestique des formes d'énergie et décision du particulier.....	39
5.2	Tableaux comparatifs des sources de chaleur renouvelable pour les maisons et les petits immeubles collectifs	40
5.3	Scénarios pour évaluer une contribution possible de ces filières dans le mix énergétique 2030	42

TOME 2 : VERSION DETAILLEE	44
----------------------------------	----

PREMIERE PARTIE : PLACE DE LA CHALEUR RENOUVELABLE, CONTRIBUTION A LA TRANSITION ENERGETIQUE

1.1	Rappels : énergie, unités, chaleur, énergie primaire et énergie finale.....	45
1.1.1	L'énergie :	45
1.1.2	Unités :	45
1.1.3	Mode de comptabilisation.....	47
1.1.4	La chaleur.....	47
1.2	Le paysage quantitatif de l'énergie et la place de la chaleur :	49
1.2.1	Place de la chaleur « renouvelable »	51
1.2.2	Solaire thermique et géothermie à très basse température	52
1.2.3	Les énergies renouvelables au sein du mix énergétique. Place de la chaleur dans l'énergie finale consommée, Contribution aux objectifs 2020	54
1.2.4	La place prépondérante du chauffage et de l'eau chaude sanitaire (ECS)	55
1.3	Les facteurs de décision du particulier lors du choix pour produire de la chaleur dans son logement	57
1.4	Périmètre et objectifs de la mission	61

DEUXIEME PARTIE : TECHNOLOGIES DISPONIBLES ET INNOVANTES EN MATIERE DE SOLAIRE THERMIQUE ET DE GEOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

2.1	Aspects techniques et marchés.....	64
2.1.1	La chaleur géothermique.....	64
	↳ Le cas des systèmes échangeurs dans les structures (pieux, parois moulées...) : les géostructures énergétiques.....	67
	↳ Le cas des puits climatiques (« puits canadien » ou « puits provençal »)	71
2.1.2	Le solaire thermique.....	73
2.1.3	Climatisation ou confort thermique.....	76
2.2	Eléments sur les acteurs économiques : entreprises, organismes, institutions concernés.....	80
2.3	Recherche, développement et l'innovation ;	82
	Solaire thermique : des pistes pour une feuille de route R&D.....	82
	↳ Le BRGM, l'INERIS, le CSTB, CETE (<i>Pôle de compétence et d'innovation</i>)	83
	↳ Quelques pistes de recherche et innovation (exemples de couplages innovants de technologies):.....	83

TROISIEME PARTIE : SITUATION DANS QUELQUES PAYS EUROPEENS LEADERS OU A FORTE CROISSANCE DANS LES DEUX FILIERES

3.1	Le solaire thermique en Europe	87
3.2	Focus sur le solaire thermique dans 7 pays européens :	88
3.3	La géothermie de faible profondeur en Europe	93
3.4	Focus sur la chaleur géothermique basse température dans 11 pays européens.....	95
3.5	Remarques conclusives sur ce panorama	97

QUATRIEME PARTIE : LES INSTRUMENTS POUR DEVELOPPER L'ECONOMIE DES FILIERES

4.1	Les incitations des Pouvoirs publics	98
4.2	La réglementation	102
4.2.1	La réglementation de l'exploitation de la ressource : le Code minier et la géothermie de minime importance.....	102
4.2.2	La réglementation thermique (RT) 2012 des bâtiments	104
4.2.3	Insertions dans les documents locaux d'urbanisme	106
4.3	Le point de vue des professionnels	107
4.4	Recommandations de la mission	108

DISCUSSION

5.2	Evolution du prix domestique des formes d'énergie et décision du particulier	109
5.3	Tableaux comparatifs des sources de chaleur renouvelable pour les maisons et les petits immeubles collectifs	112
5.4	Scénarios pour évaluer une contribution possible de ces filières dans le « mix » énergétique 2030	114

TOME 3 : RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION	116
--	-----

TABLEAU DES RECOMMANDATIONS

CONCLUSION

ANNEXES	125
---------------	-----

Fiche qualité

La mission conjointe qui a donné lieu à la rédaction du présent rapport a été conduite conformément au dispositif qualité du CGEDD

Rapport CGEDD n° **8917-01**

Date du rapport : décembre 2013

Titre :

Production de chaleur et de confort d'été pour les logements individuels et les petits immeubles collectifs

Commanditaire(s) : Patrice Parisé

Programme 2013 du CGEDD

Auteur(e)s du rapport : Jean-Louis Durville, Alain Féménias, Jean-Claude Gazeau

Coordonnateur : Jean-Claude Gazeau

Superviseur : Patrice Parisé

Comité des pairs : Sylvie Alexandre, Bernard Flury-Hérard, Alain Lhostis, Pierre Narring

Relectrice : Armelle Bachelier

INTRODUCTION

La chaleur représente en France près de 50 % de notre consommation énergétique finale, ce qui justifie l'intérêt porté aux problématiques de chauffage des locaux. La contribution des énergies renouvelables (EnR) à cette production de chaleur reste très modeste et, plus modeste encore, parmi ces dernières, les sources d'énergie calorifique issues du solaire et de la géothermie de faible profondeur.

Afin de définir commodément le champ commun couvert par la chaleur extraite grâce aux pompes à chaleur des deux sources que sont le solaire thermique et la géothermie à faible profondeur, la mission propose d'employer le terme de « micro-chaleur » pour la valorisation de ces deux ressources par les particuliers. La géothermie à très grande profondeur et les panneaux solaires photovoltaïques sont hors du champ de la mission. La chaleur géothermique de très faible profondeur et le solaire thermique sont en effet à tort assimilés respectivement à la géothermie dans son ensemble, réputée complexe et coûteuse, et aux panneaux solaires photovoltaïques importés d'Asie.

La micro-chaleur justifie l'intérêt du particulier : elle garantit une énergie « gratuite » non indexée sur le cours des énergies fossiles qui peut, par réversibilité, offrir l'été un véritable confort thermique.

On pourrait multiplier les éléments témoignant d'une certaine méconnaissance injustifiée :

- Si l'investissement initial à réaliser est légèrement supérieur à la moyenne, le coût complet permet de démontrer que le supplément investi est très souvent largement compensé par les économies réalisées ensuite sur toute la durée de fonctionnement de l'installation.
- La micro-chaleur certes se transporte mal, mais ceci ne peut qu'inciter naturellement tout producteur de cette chaleur à l'autoconsommer sans qu'il soit besoin de la distribuer et d'ajuster un tarif d'achat comme pour les productions délocalisées d'électricité ou de biogaz ;
- Elle n'est aujourd'hui promue ni par la RT 2012 (coefficients pénalisants), ni par le Fonds chaleur (trop forte atomisation de la demande), ni par les artisans qui ne maîtrisent pas seuls tout le process, ni par les aides publiques qui prennent en compte les EnR sur la base de l'investissement initial et n'introduisent pas un calcul en coût complet.

Un changement s'opère actuellement dans le public, en partie lié à la libéralisation du marché de l'énergie : le recours (et donc la dépendance) à une seule forme d'énergie laisse aujourd'hui progressivement la place à l'utilisation d'un panel d'énergies incluant des EnR.

La présente mission se propose d'étudier comment la micro-chaleur peut devenir accessible à tout propriétaire d'un logement individuel et ainsi prendre la place qui lui revient dans les sources d'énergie du bâtiment.

Le rapport présente en première partie un état quantitatif des sources et consommations d'énergie, avec la part des énergies renouvelables et plus particulièrement celle de la micro-chaleur. Les deux techniques, solaire thermique et chaleur géothermique, sont ensuite

détaillées, avec quelques éclairages sur le marché, la profession, les innovations. Après un parangonnage européen, des propositions sont faites sur le plan réglementaire pour favoriser la micro-chaleur.

Pour formuler des recommandations en matière de suivi, d'encadrement et de soutien à cette forme d'énergie « douce », le rapport prend en compte les caractéristiques suivantes : l'atomisation de la décision, les difficultés que rencontrent les particuliers souhaitant recourir à la micro-chaleur, le conseil technique souhaitable pour garantir la meilleure solution à la spécificité de chaque chantier, enfin la nécessité d'une réelle accessibilité à l'information avec une garantie de résultat dans un encadrement réglementaire « intuitif » et stable.

La mission, en pointant deux types d'énergie peu habituels, en parlant chaleur et non électricité produite localement, en parlant coût complet et non coût d'investissement seul, invite à un véritable changement de paradigme, qui tienne compte de la régularité d'approvisionnement, d'une perspective de disposer d'une énergie locale indépendante de l'évolution inexorable du prix des énergies d'origine fossile, et qui conduise à l'émergence d'une compétence dans des emplois qualifiés et non délocalisables.

AVERTISSEMENT : Pour permettre une lecture adaptée aux attentes des lecteurs, deux versions du corps du rapport (identiques quant au fond) sont proposées : **une version de synthèse** d'une trentaine de pages et **une version longue** incluant notamment de nombreux schémas. Les deux versions sont précédées par la présente introduction et suivies des recommandations, de la conclusion et des annexes.

TOME 1 : VERSION DE SYNTHESE

1. PREMIERE PARTIE : PLACE DE LA CHALEUR RENOUVELABLE, CONTRIBUTION A LA TRANSITION ENERGETIQUE

La chaleur est une composante importante du **débat sur l'énergie**.

La chaleur est un transfert d'énergie thermique d'un corps solide, liquide ou gazeux plus chaud à un autre plus froid. Ce transfert de chaleur se fait avec un rendement, donc des pertes.

On peut distinguer deux grands usages de la chaleur :

- **un usage domestique, tertiaire ou « de confort »**, qui se retrouve essentiellement dans le chauffage des locaux, mais aussi la climatisation, l'eau chaude sanitaire et la cuisson domestique des aliments ;
- **un usage spécifique à l'activité productive** dans l'industrie, l'agro-alimentaire et l'agriculture.

La chaleur ne se transporte pas, du fait de pertes, sur de longues distances et se stocke assez mal (mais mieux que l'électricité).

Les ressources énergétiques qui ne peuvent être valorisées que sous forme de production de chaleur doivent dès lors être prioritaires par rapport aux formes d'énergie plus faciles à transporter. Il faut donc en privilégier l'utilisation sur le lieu même de sa production : « produire local et consommer local ».

Les niveaux de température nécessaires pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS) ou pour le chauffage des locaux ne sont pas identiques, aussi les sources d'énergie renouvelable (EnR) qui seront sollicitées devront être adaptées aux besoins spécifiques qu'elles peuvent couvrir :

- la production d'ECS demande des niveaux élevés de température (60 à 80°C), aussi le solaire thermique ponctuel (quelques heures dans la journée) peut-il répondre aux apports nécessaires pour peu qu'un cumulus adapté soit installé ;
- le chauffage par planchers chauffant à basse température (30 à 40°C) demande un apport régulier toute la journée qu'une simple pompe à chaleur (PAC) sur une source de chaleur existante peut assurer, alors qu'elle n'est pas en mesure de fournir une ECS à la température souhaitée ;
- Selon les températures obtenues (qualité du gisement) la géothermie est en mesure de répondre à l'un ou à l'autre de ces deux besoins.

Plusieurs représentations mentales orientent néanmoins la perception de l'opinion publique et le raisonnement des décideurs publics :

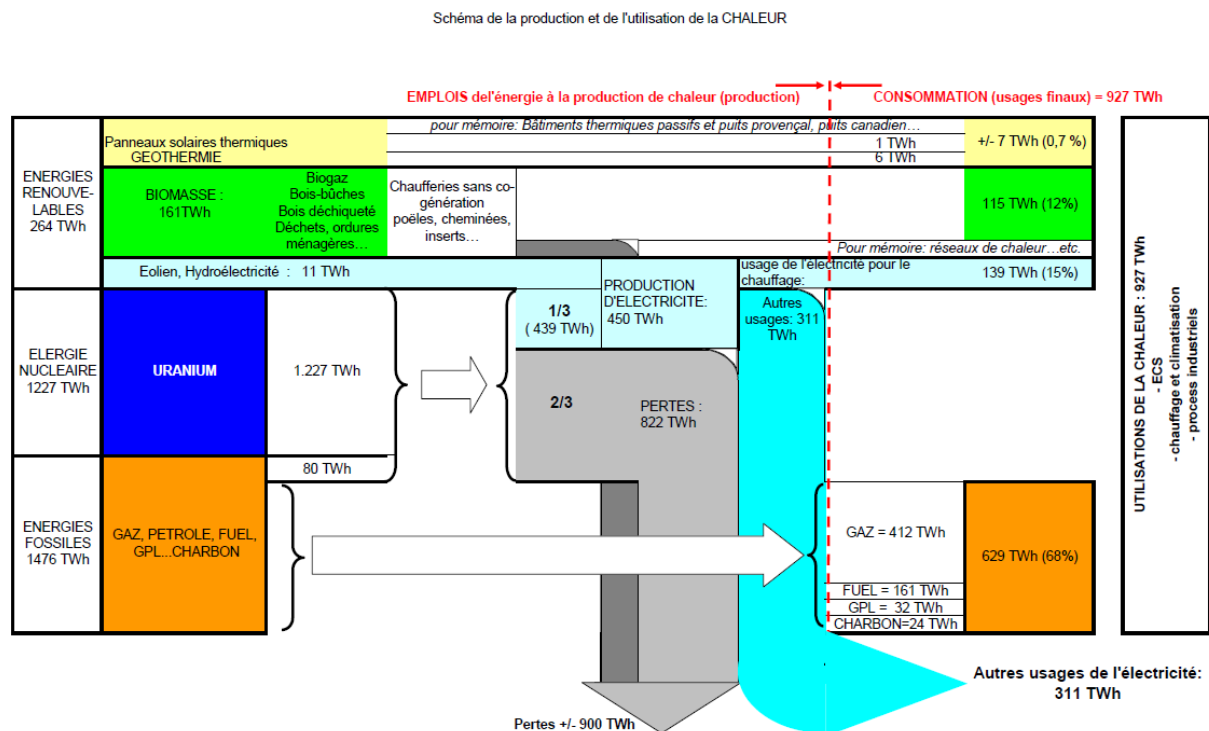
- Celle des circuits courts : si la chaleur souffre du handicap de très mal se prêter au transport, en revanche elle peut être produite presque partout. En termes de rendement, elle peut être souvent utilisée directement sans recours à un vecteur énergétique intermédiaire comme une transformation en énergie mécanique ou en électricité ;
- Celle de l'assimilation « Énergie = Electricité » : en matière d'énergie, l'opinion publique associe étroitement ces deux termes ;

- En matière d'énergies renouvelables, l'opinion publique citera l'éolien, les panneaux solaires photovoltaïques et le bois, alors que l'éolien ne vient, dans les faits, que compléter une production d'électricité² qui est centralisée ;
- Celle du « plug and play » : l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques est de l'énergie qui ne demande pas de branchements complexes (« plug and play »).

Le débat sur la transition énergétique ne doit pas porter uniquement sur l'électricité. Les secteurs du transport (avec la prédominance du routier) et du chauffage des locaux (la chaleur) sont à reconsidérer car si l'on se concentre seulement sur le « mix électrique », on laisse de côté 78 % de la consommation énergétique française.

Le propos est ici de s'intéresser au chauffage des locaux en prenant appui sur deux sources de chaleur (renouvelable) peu présentes dans les esprits.

1.1 Le paysage quantitatif de l'énergie et la place de la chaleur :



On distingue quatre stades ou étapes de la transformation de l'énergie : l'énergie primaire, l'énergie secondaire, l'énergie finale et l'énergie utile, qui servent à percevoir l'importance des différentes pertes lors de leurs utilisations. En matière de chaleur les différents usages de l'énergie en France peuvent être résumés de la façon suivante :

- lorsque l'on consomme 2 965 TWh d'énergie primaire, environ un tiers (978 TWh) est « perdu » essentiellement sous forme de chaleur (pertes de production et de transport) avant utilisation finale (électricité, transports, chauffage), ce qui pose la question d'une valorisation de ces pertes de transformation qui se font avec des rendements

assez faibles parfois (34 % pour la production d'électricité avec 450 TWh produits pour 1307 TWh d'énergie primaire mobilisée) ; l'utilisation pour le chauffage représente 927 TWh (48 % des 1 927 TWh de l'énergie finale), lesquels proviennent à 68 % directement des énergies fossiles (630 TWh) et à 15 % de l'électricité (139 TWh) ;

- La biomasse assure 115 TWh, soit 12 % des besoins de chaleur pour le chauffage ; la géothermie (6 TWh) et le solaire thermique (1TWh) couvrent ensemble moins de 1 % de ce besoin ;
- à l'aval, la part dans la consommation de chaleur des maisons individuelles (MI) et du petit collectif (chauffage + ECS) représente 40 % de la consommation finale de chaleur (368 TWh / 927 TWh).

En résumé, la production de chaleur représente donc plus du tiers de la consommation d'énergie finale en France et elle est principalement produite à partir des énergies fossiles, fortement émettrices de gaz à effet de serre.

C'est ce qui a conduit la présente mission à partir de la demande (le besoin essentiel à satisfaire : chauffage et production d'eau chaude sanitaire) et à confronter cette demande à deux contraintes fortes : la nécessaire transition énergétique au niveau national et, à l'échelle de chaque individu (maître d'ouvrage), la part croissante dans le budget des ménages de la facture de gaz et d'électricité (quelle que soit la part de renouvelable dans le « mix » électrique).

1.1.1 Solaire thermique et géothermie à très basse température

Parmi les énergies renouvelables, en terme de rendement et de large disponibilité sur le territoire national, la **chaleur solaire et la chaleur géothermique (basse température)** apparaissent très pertinentes pour un usage direct ou via une PAC ⁴ plutôt que de passer par une transformation totale en électricité par exemple.

Produite ou utilisée directement dans un faible rayon limitant les déperditions, la chaleur géothermique de faible profondeur et la chaleur solaire peuvent constituer de formidables ressources énergétiques, avec pour atouts :

- que la production de chaleur décentralisée est une manière d'alléger le circuit de production et distribution d'énergie avec peu de déperditions.
- que cela permet également de raisonner à l'échelle de petits ensembles d'habitation dans une logique d'optimisation de l'investissement de production d'énergie via des micro réseaux de chaleur (démarches HQE /aménagement, par exemple).

Ces deux énergies renouvelables sont insuffisamment connues du grand public.

1.1.2 Les énergies renouvelables au sein du mix énergétique. Place de la chaleur dans l'énergie finale consommée, Contribution aux objectifs 2020

De 2004 à 2011, la contribution des énergies renouvelables (EnR) dans la consommation énergétique finale a augmenté dans tous les Etats membres de l'Union européenne (UE). Mais

⁴ qui permet de récupérer 3 à 4 fois l'énergie du process

cette progression est lente : dans le mix européen de l'UE à 27, les EnR représentaient, en 2011, 13 % de la consommation finale brute d'énergie contre 12,1 % en 2010 et 7,9 % en 2004 (données Eurostat).

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Consommation UE en ktep		16030	16363	16892	18874	19983	21536	20643
% EnR dans la consommation brute finale	France	9,71	9,96	10,44	11,34	12,18	12,78	13,15
	UE	8,5	9	9,9	10,5	11,7	12,5	13,4

[Source : SOeS, Bilan énergétique de la France pour 2011]

Les plus fortes proportions d'EnR au sein de l'UE dans la consommation totale d'énergie en 2011 sont en Suède (46,8 %), en Lettonie (33,1 %) en Finlande (31,8 %), et en Autriche (30,9 %). Les plus faibles sont à Malte (0,4 %), au Luxembourg (2,9 %), au Royaume-Uni (3,8 %), en Belgique (4,1 %) et aux Pays-Bas (4,3 %). La France était à 11,5 % en 2011 pour un objectif 2020 de 23 %.

En 2011, l'Estonie était le premier Etat membre à atteindre son objectif « Europe 2020 ».

Selon l'état des lieux du développement des énergies renouvelables dressé par le SER⁵, **les objectifs intermédiaires pour 2012 en matière de chaleur renouvelable ne sont pas atteints, la progression par rapport à la situation fin 2005 devait être de 32 % et n'a été que de 22 %.**

	Situation fin 2005 (Mtep)	Situation fin 2012 (Mtep)	Objectif 2012 (Mtep)	Objectif 2020 (Mtep)
1. Chaleur	8,7	10,8	11,8	18,8
Bois domestique	6,5 5,8 M appareils	6,5 7,2 M appareils	6,5 7,3 M appareils	6,5 9 M appareils
Bois et déchets-collectif /tertiaire /industrie	1,8	3,2	3,5	9,1
Solaire thermique, PAC et géothermie	0,4	1,1	1,6	3,2
2. Electricité	5,6	7,6	8,2	12,4
Hydroélectricité	5,2	5,5	5,3	5,8
Biomasse dont biogaz	0,2	0,5	0,5	1,2
Eolien onshore	0,2	1,3	2,0	3,7
Eolien offshore			0,2	1,4
Solaire photovoltaïque et solaire thermodynamique		0,3	0,1	0,5
3. Biocarburants / Agrocarburants	0,7	2,8	2,8	4,0
TOTAL	15,01	20,8	22,7	35,2
	Source SER d'après SOeS			

(Etat des lieux du développement des énergies renouvelables dressé par le SER)

La chaleur renouvelable a, plus que jamais, besoin d'un soutien renforcé dès aujourd'hui et jusqu'à l'horizon 2020.

1.2 Les facteurs de décision du particulier lors du choix pour un mode d'énergie-chaleur dans son logement

Le champ du logement individuel et du « petit collectif » est marqué par son caractère extrêmement diffus (et l'« atomisation » des décisions le concernant) et par un niveau de « proximité » très élevé en matière de prise de décision d'investissement. Le particulier « décideur » (individuel ou petit collectif) doit chercher à raisonner :

- sur la production de chaleur qu'il est capable de conduire (pompes à chaleur, géothermie de très faible profondeur solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire, chauffage d'appoint/chauffage « à basse température », etc.), parfois en combinant plusieurs technologies simultanément ;
- sur la manière de réduire sa consommation de chaleur : bâtiments thermiques passifs, « smart grids » et autres auxiliaires de gestion de la régulation thermique (dont la ventilation thermique à double flux, etc.).

On peut utilement rappeler qu'un élément essentiel, avant de s'engager sur une solution d'approvisionnement en chaleur pour le chauffage et l'ECS, est d'avoir amélioré l'isolation passive (l'enveloppe) de son logement pour limiter les déperditions et d'avoir « actualisé » ses besoins en puissance calorifique une fois prise en compte l'isolation améliorée du logement (donc moins de pertes de chaleur).

Entrent simultanément en jeu dans la décision des éléments :

- de culture et de sensibilité personnelle, qui motivent les particuliers pour entamer une démarche d'information puis de réflexion,
- d'« accessibilité » au financement, pour des montants à la fois apparemment modestes mais en fait conséquents pour un particulier, tout en tenant compte des aides et incitations existantes,
- de complexité du chantier à entreprendre par un particulier qui en sa qualité de maître d'ouvrage devra sélectionner et faire intervenir plusieurs corps de métier (le couvreur et le plombier, le foreur et le chauffagiste par exemple) avec des artisans locaux souvent peu habitués à intervenir de concert pour un chantier modeste.

Dans ce parcours d'obstacles, la géothermie de faible profondeur et le solaire thermique figurent rarement dans la palette de choix qui s'offrent au décideur :

- 1/ il n'y a pas de différenciation entre solaire thermique et photovoltaïque ni entre géothermie profonde et géothermie à très basse température. C'est le syndrome « grand frère » ;
- 2/ ces filières sont faiblement représentées à un niveau local de proximité suffisant pour supporter la comparaison avec la puissance de la communication des énergies « historiques » ;
- 3/ une attitude de prudence subsiste vis-à-vis de technologies que peu d'artisans locaux pratiquent et peuvent conseiller ;
- 4/ le coût d'investissement est un peu plus élevé que pour d'autres sources d'énergie, et l'on ne perçoit pas d'entrée de jeu les gains futurs en coût d'exploitation.

Chauffer un bâtiment est assez complexe car interagissent à la fois l'enveloppe du bâtiment, ses équipements et ses occupants. On ne peut pas aborder les choses de façon séparée :

- sur la manière de réduire sa consommation de chaleur (bâtiments thermiques passifs, « smart grids » et autres auxiliaires de gestion de la régulation thermique, dont la ventilation thermique à double flux, etc.) ;
- sur la production de chaleur nécessaire, parfois en combinant plusieurs technologies simultanément.

La question est alors de renforcer la place des conseils (ADEME, services instructeurs pour des aides diverses, point d'information grand public, etc.) et des études d'ingénierie pour arrêter leur choix et dimensionner leur installation.

2. DEUXIEME PARTIE : TECHNOLOGIES DISPONIBLES ET INNOVANTES EN MATIERE DE SOLAIRE THERMIQUE ET DE GEOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

2.1 Aspects techniques

2.1.1 La chaleur géothermique

Même si la géothermie est connue depuis longtemps, son exploitation industrielle pour le chauffage date du XXe siècle. C'est en 1930 à Reykjavik (Islande) que l'on voit apparaître le premier réseau de chauffage urbain.

Il y a quelques décennies, les premiers engouements pour les technologies émergentes ont été ternis par les déboires de la première heure (corrosion des matériaux mal maîtrisée au fil du temps, manque de compétences au niveau des artisans et installateurs...). Depuis, des progrès techniques importants ont permis de disposer de technologies ayant atteint aujourd'hui leur pleine maturité.

Avantages et inconvénients de la géothermie

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
La géothermie de profondeur ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est une source d'énergie quasi-continue, et inépuisable le plus souvent : les gisements ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 80 ans en moyenne). C'est une énergie relativement propre en fonction des techniques utilisées.	Les sites de forages diffèrent en fonction du type de terrain et un forage reste une opération délicate. Risque d'appauvrissement du site de forage. Aléas liés au sous-sol. Coût de l'investissement initial légèrement plus élevé.

En 2005, plus de 70 pays déclaraient utiliser la géothermie pour produire de la chaleur.

Les principaux pays producteurs sont la Chine, l'ex-URSS, les pays d'Europe centrale et orientale et les États-Unis. La France dispose aujourd'hui de 40 installations dédiées au chauffage urbain, pour la majorité réalisées dans les années 1980, permettent de chauffer près de 200 000 équivalent-logements (dont 150 000 en région parisienne). En 2008, près de 19 500 nouvelles pompes à chaleur ont été vendues en France. On estime actuellement que près de 122 000 maisons individuelles sont chauffées grâce à l'énergie du sol.

↳ Données scientifiques : le gradient géothermal

L'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé « gradient géothermal ». Il est en moyenne, sur la planète, de 3,3°C par 100 mètres, le flux d'énergie thermique à l'origine de ce gradient étant de l'ordre de 60 mW/m².

Le gradient géothermal est en moyenne de 4° tous les 100 m en France, et varie de 10°C / 100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C / 100 m au pied des Pyrénées.

Les fluctuations saisonnières s'atténuent et se déphasent avec la profondeur. La température est quasi-constante à partir d'une dizaine de mètres.

↳ Données juridiques

L'**énergie géothermique** est l'énergie obtenue à partir de la chaleur des profondeurs de la terre elle-même. **Au sens du Code minier** (voir détail au paragraphe 2.4.1), deux types d'exploitations géothermiques sont distingués : **les gîtes à « haute température »** (supérieure à 150°C) et **les gîtes à « basse température »** (inférieure à 150°C)⁶.

Les opérations à basse température sont soumises au titre V du code minier qui institue une procédure plus simple que celle établie par les titres II et III pour la géothermie à haute température.

On distingue :

- les opérations basse température (régime normal) ;
- **les opérations basse température de minime importance (régime dérogatoire) (article 17 du décret 78-498) caractérisées par des prélèvements de chaleur souterraine dont le débit calorifique maximal est inférieur à 230 kW par heure et dont la profondeur est inférieure à 100 mètres.**

La **géothermie de minime importance** ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange. Elle nécessite la mise en œuvre de pompes à chaleur qui prélèvent cette énergie à basse température pour l'augmenter à une température suffisante pour le chauffage d'habitations par exemple (dispositif de distribution et d'émission).

Une pompe à chaleur qui assure 100 % des besoins de chauffage d'un logement consomme seulement 30 % d'énergie électrique, les 70 % restants étant puisés dans le milieu extérieur.

↳ Le cas des systèmes échangeurs dans les structures (pieux, parois moulées...) : les géostructures énergétiques

Les pieux et autres structures géothermiques utilisent le fait que la température du sol est quasi-constante (10 à 15° C) entre 10 et 50 m de profondeur. Les pieux sont en béton armé et incorporent un tube échangeur de chaleur en U, accroché au ferrailage.

Il y a de **nombreuses réalisations à l'étranger** notamment en Autriche (plus de 22 000 pieux géothermiques réalisés). **En France**, on est beaucoup plus timide...

Des projets de recherche depuis quelques années

⁶ Température mesurée à la surface du sol au cours des forages d'exploration.

1. Le projet **COFOGE**⁷ (Conception de fondations géothermiques), financé par l'Ademe et piloté par le CSTB, a donné lieu à un rapport en septembre 2007. Il conclut par des recommandations pour la réalisation de bâtiments avec fondations géothermiques.
2. En Suisse, l'École Polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a mené ces dernières années d'importants travaux de recherche sur l'effet de la température sur les sols.
3. Le projet ANR « **GECKO** » (GEostructures, Couplage solaire hybride et stockage Optimisé : solution pour bâtiments à énergie positive), lancé en 2011 pour trois ans, s'intéresse au couplage entre fondations thermo-actives et avec des panneaux solaires hybrides (photovoltaïque et thermique en simultané). Il est coordonné par une société privée, Ecome, et regroupe l'IFSTTAR, le BRGM, deux laboratoires universitaires à Lille et Nancy, ainsi que l'EPFL.

Les freins au développement

Le béton des pieux est soumis à des cycles de dilatation/contraction, ce qui peut engendrer des déplacements en tête de pieu et des modifications de la répartition des efforts dans le pieu. S'il semble que les caractéristiques intrinsèques des sols soient peu affectées dans l'intervalle de température habituel d'exploitation (0 à 40° C), la justification de la portance d'un pieu sous sollicitation cyclique est effectivement plus compliquée.

Les règlements actuels de dimensionnement des fondations profondes ne prévoient pas ce cas de charge, il n'y a pas de norme et les bureaux de contrôle sont fortement réticents, ce qui entraîne des difficultés de couverture par les assurances.

Le CSTB a déjà délivré :

- deux ATEx (attestation technique d'expérimentation) en 2009 et 2011, sur les fondations et les radiers géothermiques,
- un Avis technique en 2013 sur le procédé GEOPRO, proposé par la société ECOME, relatif à des fondations thermo-actives : l'appréciation globale est favorable, sous réserve de respecter quelques dispositions assez classiques.

Le cas des pieux et des semelles filantes géothermiques suppose donc d'approfondir la connaissance et l'expertise pour promouvoir leur usage dans la conception des bâtiments neufs, ce qui ne pourra être acquis que par une accumulation de « retours d'expériences » et le développement d'un corpus normatif.

RECOMMANDATION n°1 (Pieux géothermiques)

La mission recommande :

D'étudier la faisabilité, en cas de réalisation de fondations profondes (dont les semelles filantes et les dalles de parkings) de l'insertion dans les structures d'un captage géothermique de chaleur à basse énergie, et de développer un corpus normatif pour leur dimensionnement.

⁷

Références : CSTB (2007). COFOGE – Conception de fondations géothermiques – Rapport final. 168 p. Habert J., Burlon S. (2012). Éléments sur le comportement mécanique des fondations géothermiques. JNGG 2012, tome 2, p. 617-624.

Le cas du puits climatique (« puits canadien » ou « puits provençal »)

Cette technologie ancestrale consiste à utiliser l'inertie thermique du sol et le différentiel de température que cela représente tant en été qu'en hiver : la température du sol fluctue assez peu en profondeur, ce qui permet d'admettre dans les locaux un air extérieur réchauffé de ce fait en hiver ou rafraîchi en été.

Les installations mises en place sont simples et robustes (durée de vie estimée à 50 ans). Elles consistent à enterrer à 2 m environ de profondeur une longueur suffisante de tuyaux en plastique ou en fonte ductile (procédé Saint Gobain–PAM *ex Pont-à-Mousson*), où l'air extérieur circule avant son admission dans les locaux. Un filtre est installé au niveau de l'admission d'air dans le puits et une ventilation légère permet d'assurer la circulation de l'air et le renouvellement pour l'ensemble des locaux.

L'intérêt du puits « canadien »⁸, outre que son fonctionnement est quasi gratuit, est de ne nécessiter qu'un appoint limité d'énergie pour les périodes de grands froids. Ce système peut aussi se concevoir seul pour les bâtiments non visités régulièrement comme les résidences secondaires (mise hors-gel) ou les bâtiments techniques (mise hors danger de canicule pour des installations électriques). Dans le cadre d'une rénovation thermique de bâtiment, son usage peut être introduit lorsque la disponibilité foncière à proximité permet des terrassements de grande ampleur.

La mission constate que les modalités de calcul définies dans le cadre de la RT 2012 ne tiennent pas compte des performances réelles des « puits canadiens » au titre des énergies renouvelables : ce type d'installation se voit attribuer une capacité de 2 kWh alors que, pour la fonte ductile notamment, les performances obtenues peuvent être en réalité de 6 à 7 kWh.

RECOMMANDATION n°2 (Puits canadiens)

<i>La mission recommande :</i>
<i>d'établir, dans la RT 2012, une prise en compte des « puits canadiens » qui se base sur la performance réelle après une vérification, dès la mise en service, des résultats sur le terrain en lieu et place du calcul (par modélisation) de la performance thermique.</i>

2.1.2 Le solaire thermique

La chaleur solaire est gratuite, inépuisable et disponible chaque jour en tout lieu, sa puissance instantanée ne dépend que des conditions météorologiques d'ensoleillement du moment. De nombreux principes constructifs prévoient de valoriser les apports directs de chaleur solaire dans les bâtiments, soit du fait de leur conception et de leur orientation, soit en ayant recours à des capteurs thermiques destinés à la production d'eau chaude sanitaire, parfois aussi pour le chauffage.

⁸ La mission fait remarquer que cette dénomination consacrée par l'usage n'est pas fondée sur une quelconque expérience particulièrement développée au Canada.

L'utilisation de l'énergie solaire thermique

Son principe est de convertir le rayonnement solaire en chaleur par l'intermédiaire de capteurs transmettant la chaleur à un liquide caloporteur lequel alimentera au niveau d'un échangeur thermique un stock d'eau sanitaire et/ou un circuit de chauffage. Le stockage d'eau chaude est inhérent pour tamponner les variations de luminosité au cours de la journée. L'eau chaude sanitaire se stocke dans un « ballon ». Pour pallier un éventuel défaut d'ensoleillement, on peut compléter cette installation avec un deuxième échangeur thermique relié à une chaudière traditionnelle (au gaz, au fioul ou au bois) ou une résistance électrique.

Même si le potentiel de production est plus important dans les régions méridionales, l'intérêt de l'énergie solaire est à peu près similaire sur tout le territoire français.

Les technologies sont maintenant accessibles au grand public. A une température de fonctionnement du réseau inférieure à 70°C, l'alimentation solaire se fait avec des capteurs standard ; à 120°C il faut des capteurs sous vide, et au-delà de 180°C il faut créer une boucle basse température où le solaire vient en complément d'une autre source de chaleur (solution adaptée dans ce cas à la création d'une extension du réseau de chaleur).

Avantages et inconvénients du solaire thermique

Avantages	Inconvénients
L'énergie solaire est inépuisable, non polluante, et ne dégage pas de gaz à effet de serre Elle permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage (économies conséquentes) Les technologies sont aisément maîtrisables, modulables et adaptables aux situations. Les matériaux sont similaires à ceux du chauffage, du sanitaire et des verrières, la main d'œuvre ne nécessite donc qu'une formation complémentaire très accessible Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles	L'énergie solaire est diffuse. La puissance disponible par unité de surface est relativement limitée ce qui rend difficile une réponse à des besoins importants (grands immeubles) C'est une énergie intermittente, elle n'est possible que lorsqu'il y a un ensoleillement. Il faut donc un système de chauffage d'appoint. Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes Le coût d'investissement d'une installation de chauffage solaire thermique est relativement élevé, son dimensionnement doit être adapté au climat local.

Si les applications individuelles sont en diminution (CESI et SSC⁹), le solaire collectif reste en progression continue (+ 20 à 30% par an depuis 2008¹⁰), le marché étant porté par les bailleurs sociaux et par le Fonds chaleur. L'effet d'économies d'échelle¹¹ joue également (surtout en fonctionnement permanent toute l'année). Pour les opérations importantes de rénovation ou de construction neuve, la dépense est incluse dans l'investissement global. Le dispositif du fond chaleur est utilisé même si le dossier demandé est complexe.

⁹ CESI : chauffe-eau solaire individuel ; SSC : systèmes solaires combinés (ECS et chauffage basse température)

¹⁰ Source : Enerplan et Uniclimate, in : *Actu-Environnement.com*

¹¹ 1.500€/m² de capteur en installation individuelle, contre 1 000 à 1 200€/m² en installation collective et 600 €/m² pour une insertion du solaire dans un réseau de chaleur

Les retours des premières expériences de solaire thermique collectif ont permis maintenant de bien identifier les erreurs à ne plus commettre :

- complexification inutile des schémas d'installation (nombre d'organes, de pompes, d'échangeurs),
- surdimensionnement par mésestimation des besoins d'eau chaude sanitaire¹² et du fait de critères (inadaptés) de surface de capteurs solaires servant à une reconnaissance de type BBC,
- absence de systèmes d'alerte pour la maintenance en cas de dysfonctionnement.

🔧 Les technologies et leur maturité en matière de solaire thermique

- Chauffage de piscines : application la plus répandue aux USA (principe de la moquette solaire : capteur non vitré)
- Chauffage de l'eau chaude sanitaire en Maisons Individuelles (MI) : Application très développée dans les pays du Sud (Méditerranée, Maghreb,...), et en Chine
- Chauffage de l'eau chaude sanitaire en collectif : des optimisations technologiques à prévoir, en France, segment « bien représenté » avec des atouts (GRS, CESCO)
- Chauffage solaire en Maisons Individuelles : des développements technologiques à prévoir, maturité technologique des produits très différente d'un constructeur à l'autre, en Allemagne et en Autriche, c'est le cœur de marché, en France, c'est devenu une niche de marché
- Chauffage solaire collectif : reste au stade de démonstration, pas d'offre standardisée, peu de savoir-faire
- Réseaux de chaleur : au stade de démonstration en France (vif intérêt), très développé au Danemark
- Chaleur de process industriels : au stade de démonstration en France, segment développé en Allemagne et en Autriche, privilégier les secteurs agro-alimentaire, textile et chimie
- Climatisation solaire : au stade de démonstration en France, dont d'anciennes installations (caves de Banyuls), marché difficile pour des raisons de montant des investissements, de la R&D à promouvoir

Source : Pôle de compétitivité Tenerrdis (Collège E&C juin 2013)

2.1.3 Climatisation ou confort thermique

Les besoins de climatisation ne cessent de croître indépendamment du besoin de confort thermique, du fait de la multiplication des équipements électriques ménagers ou de bureautique et de l'isolation renforcée qui empêche la déperdition des excès de chaleur vers l'extérieur. Dans de telles conditions la climatisation passive ne peut pas à elle seule répondre à la totalité de ces besoins.

¹² Une chambre d'hôtel nécessite 30 à 35 l/jour et non 50l/j comme souvent préconisé.

Au même titre qu'il existe des pompes à chaleur réversibles (produisant du chauffage en hiver et de la climatisation en été), il est opportun d'étudier comment l'énergie solaire peut contribuer à limiter les impacts négatifs pour l'environnement des climatiseurs : consommation d'électricité et usage de fluides frigorigènes dont les fuites de gaz contribuent à l'effet de serre. Rappelons que les besoins en énergie sont dans un bâtiment BBC au moins de la même importance en hiver pour le chauffage qu'en été pour la climatisation.

En matière de climatisation solaire, l'énergie délivrée permet le plus souvent d'assurer un rafraîchissement (différentiel de quelques degrés) assurant un confort thermique des locaux plutôt qu'une réelle production de froid. Il s'agit donc davantage d'un conditionnement d'air.

Avantages et inconvénients de la climatisation
(lorsqu'elle est produite à partir d'une source de chaleur)

Avantages	Inconvénients
Frais de fonctionnement faibles et rentabilisation d'une installation solaire de chauffage (ECS) en été ; et durée de vie double de celle des climatiseurs électriques Utilisation de l'eau comme fluide frigorigène (pas de gaz à effet de serre comme les HCFC / hydrochlorofluorocarbures) Pas de nuisance sonore due à un compresseur électrique Allègement de la sollicitation du réseau de distribution électrique en pleine journée en période estivale	Coûts de maintenance élevés si absence de service après-vente disponible. Nécessaire technicité du personnel d'intervention Performances liées aux conditions météorologiques Nécessité d'une énergie de remplacement (si faible ensoleillement, ou la nuit)

2.1.4 Les réseaux de chaleur

La France reste très timide en matière d'intégration du solaire thermique dans des réseaux de chaleur. Par ailleurs, les infrastructures actuelles sont basées sur des technologies à haute température.

Un schéma directeur de réseau de chaleur devient nécessaire pour planifier les travaux et disposer d'une stratégie pour son développement ; il est un préalable pour toute intervention du Fonds chaleur lorsque le réseau est alimenté au moins pour moitié par des énergies renouvelables.

2.2 Eléments sur les acteurs économiques : marchés, entreprises, organismes, institutions concernés

La mission reproduit ci-après l'analyse faite par le groupement Alliance Chaleur renouvelable¹³ en juin 2013 (qui intègre également la biomasse) :

<i>Sur le plan économique, les trois filières chaleur renouvelable (solaire thermique, PAC et biomasse) présentent des atouts forts pour la ré-industrialisation du territoire :</i>
- <i>le tissu industriel français : une industrie composée de quelques ETI mais surtout de PME et de TPE représentant le cœur du tissu productif français à la fois en termes d'emplois, d'innovation et de capacité d'adaptation</i> - <i>une fabrication française avec une cinquantaine d'usines réparties sur le territoire national et une industrie qui est même exportatrice nette comme c'est le cas pour le solaire thermique (production 2 fois plus importante que le marché intérieur) un chiffre d'affaires de plus de 5,5 milliards d'euros pour l'année 2012</i> - <i>des filières qui ont créé 42 000 emplois directs en France en 2012</i> - <i>un faible coût pour les finances publiques : 266 millions d'euros en 2012</i> - <i>des produits certifiés ou labellisés installés par des installateurs qualifiés, qui sont désormais au nombre de 10 000 dans le secteur domestique</i> - <i>des filières qui peuvent être régionalisées grâce aux conditions locales (gisement ou climat)</i> - <i>un secteur moins soumis à la concurrence asiatique, en raison notamment des exigences de qualité imposées au travers des différentes normes, mais également des spécificités culturelles dans le secteur du bâtiment (par exemple la culture de la boucle à eau chaude), ainsi que de celles des consommateurs,</i> - <i>des spécificités et des enjeux liés à la particularité du système énergétique français, à la compatibilité avec le système électrique national et au développement des smart-grids.</i>
<i>Cependant, ces filières souffrent également de faiblesses, qui constituent des freins à leur développement :</i> • <i>les projets sont majoritairement dans le bâtiment et avec de petites puissances ;</i> • <i>en terme de soutien de l'État, le CIDD et l'éco-PTZ sont devenus inefficaces et</i>

¹³

Les acteurs de l'Alliance Chaleur Renouvelable créée en 2013 : les syndicats et associations d'industriels et de filières des trois secteurs de la chaleur renouvelable, solaire thermique, pompe à chaleur et biomasse :

- AFPAC : association française pour les pompes à chaleur
- AFPG : association française des professionnels de la géothermie
- ENERPLAN : syndicat des professionnels de l'énergie solaire
- SER : syndicat des énergies renouvelables
- UNICLIMA : syndicat des industriels du génie climatique.

insuffisants pour déclencher l'investissement initial ;

- pour les installations collectives, le Fonds chaleur n'est pas adapté pour les projets de petite à moyenne taille, comme ceux qui concernent les immeubles d'habitation, et il ne couvre pas la totalité des filières de la chaleur renouvelable ;*
- les filières et leurs acteurs restent de petite taille, sans capacité d'investissement (autofinancement) à grande échelle ni de capacité de levée de fonds significative.*

Source : Groupement Alliance chaleur renouvelable (Collège Energie et Climat juin 2013)

Remarque : il n'y a pas de tarif d'achat du kWh thermique ; ces projets sont considérés comme moins « bankables » que ceux de production d'électricité renouvelable car ils représentent des économies d'énergie conventionnelle plutôt que de la vente d'énergie à un réseau.

La mission a relevé que le développement des énergies renouvelables ces dernières années a connu des épisodes économiques brutaux dont il faut tirer les leçons :

- d'une part, les baisses brutales des commandes mettent en péril le tissu industriel en amont de la filière ainsi que le tissu artisanal de proximité (qui représente des emplois non délocalisables) ;
- d'autre part, les envolées trop rapides d'un marché ne laissent pas suffisamment de temps aux entreprises pour s'adapter et favorisent les importations massives sans que les PME et les artisans n'aient le temps de maîtriser rapidement la technologie, situation réservant des déceptions cuisantes et durables.

Par ailleurs, des éléments fondamentaux du raisonnement économique sont trop souvent occultés :

- le calcul de rentabilité des dépenses doit se faire sur la durée de vie de l'investissement (10 à 50 ans, selon le cas) et non par une appréciation sur le seul coût de l'investissement immédiat,
- les énergies renouvelables ne sont pas indexées sur le prix du pétrole,
- le confort d'été doit être pris en compte, et pas considéré comme distinct,
- une politique stable est nécessaire à la filière industrielle pour lui permettre d'investir, et au tissu des PME et des artisans, représentant des emplois non délocalisables, pour construire une compétence et une mobilisation pérennes.

RECOMMANDATIONS n°3 (Visibilité à long terme)

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de veiller à une information complète et objective du particulier sur les solutions qui s'offrent à lui en matière de chauffage par une exposition des éléments de coût complet et qui intègre les avantages induits par la chaleur produite localement.

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- d'établir un dispositif de soutien stable pour les petits projets (individuels et collectifs) par la fiscalité directe et indirecte et par des aides sur des programmes d'investissements agréés.

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de conditionner certaines des aides publiques à l'existence de documents de planification urbaine (PLU) faisant référence à ces énergies renouvelables et introduisant des dispositions incitatives (fiscales, augmentation de COS, etc.) à cet effet.

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de repositionner le Fonds Chaleur vers une meilleure prise en compte des petites installations diffuses sans se limiter aux installations de moyenne et grande puissance.

2.3 Recherche, développement et innovation

Les besoins en R&D sont spécifiques : par exemple en ingénierie financière ou certification de produits, dans des approches «système» plutôt que simplement «composant» ou «matériau» ;

Les entreprises du secteur n'investissent pas suffisamment en R&D en l'absence de taille suffisante du marché (seuil critique à atteindre). mais aussi de démonstration de son intérêt décisif pour la filière.

Source Alliance

Solaire thermique : des pistes pour une feuille de route R&D

PRIORITES DE RECHERCHE	ETAT DE L'EXISTANT	OBJECTIFS / HORIZON DE TEMPS
Sur le capteur : Surfaces, traitements, revêtements, matériaux, design, procédés de fabrication innovants	Coût d'un champ de capteurs fourni posé de 600 €/m ² (collectif)	2020 : réduction de 50 % des coûts (à performance identique voire supérieure)
Sur le système complet : Réduction des coûts	15 à 20 c€/kWh	2015 : 12 c€/kWh 2020 : 7 à 10 c€/kWh
Développement / commercialisation de systèmes packagés intégrant des développements « composant »	CESI en kit	2020 : 100 % de solutions packagées pour les CESI et les SSC ; 80 % de solutions packagées pour l'ECS collective
Développer des systèmes de raccordement hydrauliques et de plomberie peu onéreux et standardisés, simples à raccorder	Pas de standard	2020 : plus de 80% de part de marché pour un type de raccord standard
Développer des systèmes de montage et de fixation standardisés peu onéreux et facile à installer	Pas de standard	2015 : existence d'une norme, 2020 : plus de 80 % de part de marché pour un système de montage standardisé, facile, rapide à monter

Source UNICLIMA collège E&C juin 2013

↳ Le BRGM, l'INERIS, le CSTB, CETE (*Pôle de compétence et d'innovation*)

↳ Quelques pistes de recherche et innovation (exemples de couplages innovants de technologies) :

- le couplage PV/solaire thermique, [société marseillaise Solaire 2G créée en 2010]
- le couplage solaire thermique / géothermie : l'ENSTA de Palaiseau (Essonne)
- Une boucle de cuivre chauffe les murs d'une maison ancienne.

Au vu de la nécessité de coupler plusieurs sources d'énergie, la mission considère que la recherche appliquée doit notamment porter sur les automatisations permettant la régulation du chauffage. Cette régulation doit tenir compte de l'intermittence du solaire et de la limitation de puissance des apports géothermiques, en vue de rendre cohérents entre eux les différents systèmes d'énergie pour le chauffage et la climatisation.

Avant même d'aider des particuliers (dont la dispersion territoriale ne permettra pas de créer un effet d'entraînement) et d'assurer un contrôle de l'efficacité des travaux, le meilleur investissement semble être de privilégier l'identification et la montée en compétence d'artisans locaux (qui seront alors les meilleurs ambassadeurs de ces technologies), de façon couplée avec des dispositifs de formation efficaces. Il importe donc de ménager la meilleure publicité aux « îlots de compétence » et aux « pépinières » qui pourront ainsi se constituer sous l'impulsion de professionnels motivés sur un territoire donné.

RECOMMANDATIONS n°4 (développement de la filière et promotion)

<i>La mission recommande :</i>

<i>- de proposer systématiquement aux acheteurs de systèmes de chauffage, des matériels offrant une réversibilité (chauffage/confort d'été), voire un couplage de différentes sources de production de chaleur .</i>

<i>La mission recommande :</i>

<i>- d'encourager la constitution d'un « vivier d'artisans ou de PME » capables d'œuvrer conjointement en matière de travaux thermiques et d'EnR sur un même territoire.</i>

<i>La mission recommande :</i>

<i>- de faire reconnaître un métier (ou une compétence) « d'intégrateur » pour les travaux thermiques qui soit capable de coordonner les différents corps de métiers sur un chantier , cet « intégrateur » pouvant être l'un des artisans oeuvrant conjointement.</i>
--

<i>La mission recommande :</i>

<i>- d'inciter la profession à se former et à constituer un réseau d'ingénierie en matière de thermique des locaux d'habitation incluant la climatisation et valorisant les ressources locales de chaleur disponibles, dont la fonction sera : a) d'offrir des coûts d'installation maîtrisés, b) d'assurer un niveau suffisant de garantie de résultat, c) de contribuer à former les corps de métiers à travailler de concert sur ces innovations technologiques.</i>
--

La mission recommande :

- de favoriser la montée en compétence des artisans locaux (label RGE¹⁴) sur les technologies de production de chaleur assistée par PAC et de favoriser leurs groupements momentanés (1 foreur + 1 chauffagiste par exemple) pour constituer une offre globale face à une maîtrise d'ouvrage diffuse.

La mission recommande :

- de mettre au point un cahier des charges standard qui permette de bâtir des propositions combinant plusieurs énergies en matière de chauffage et d'ECS adaptées au contexte du projet du client.

La mission recommande :

- de favoriser l'émergence, sur un même îlot de petits bâtiments, de regroupements de maîtrises d'ouvrage (mutualisation au lieu de demandes individuelles trop diffuses).

¹⁴

RGE : « Reconnu Grenelle de l'environnement » obligatoire à partir de juillet 2014 pour demander aide publique pour travaux d'efficacité énergétique

3. TROISIEME PARTIE : SITUATION DANS QUELQUES PAYS EUROPEENS LEADERS OU A FORTE CROISSANCE DANS CES FILIERES

3.1 *Le solaire thermique en Europe*¹⁵

Le marché se contracte depuis le pic annuel de 2008. En dépit de la décroissance constatée, le marché annuel a doublé sur la décade (20 % sur 2007-2012) avec un taux de croissance annuel moyen de 10 % (3,6 % sur 2007-2012).

Le secteur résidentiel représente le cœur du marché. Néanmoins, ce sont les grandes installations ($> 35 \text{ kWth} / 50 \text{ m}^2$) qui croissent (chaleur et froid dans installations commerciales). Les très grandes installations ($> 350 \text{ kWth} / 500 \text{ m}^2$) connaissent la croissance la plus spectaculaire. 2012 confirme le Danemark comme un pays disposant d'une très importante capacité installée et de nombreux projets.

En termes économiques, le secteur du thermique solaire a généré un chiffre d'affaires de 2,4 Mds € en 2012 et employé l'équivalent de 32 000 personnes à temps plein.

Le marché du solaire thermique a totalisé 174,7 MW_{th} (249 500 m²) en 2012 en France, très proche de son niveau 2011 (-0,6 %) après plusieurs années successives de décroissance. Cette stabilisation résulte d'une croissance importante des installations collectives de production d'eau chaude domestique. 2012 marque un tournant car le marché des équipements collectifs de production solaire d'eau chaude dépasse celui des logements individuels. La capacité totale installée (France métropolitaine) est de 1,4 GW_{th} (2 Mm² avec une production annuelle moyenne de chaleur de 853 GWh_{th}).

3.2 *La géothermie de minime importance en Europe*¹⁶

La situation de l'énergie géothermique en Europe en 2012 varie selon les pays en fonction des technologies les plus adaptées aux ressources naturelles du pays. La géothermie de minime importance existe partout et a recours à des pompes à chaleur.

Les pays qui ont le plus grand nombre de pompes à chaleur géothermique sont la Suède, l'Allemagne, la France et la Suisse. Ces 4 pays représentent 64 % de la capacité totale

¹⁵ Les éléments comparatifs par pays du bilan 2012 établi par l'ESTIF dans son dernier rapport publié en juin 2013 sont repris ci-dessous. ESTIF = European Solar Thermal Industry Federation (Bruxelles) L'ESTIF a contribué aux travaux de l'European solar thermal panel au sein de la Plateforme Renewable Heating and Cooling Technology ayant permis de dresser les grandes priorités de recherche pour la technologie du thermique solaire

¹⁶ Les éléments du « summary report 2013 » du EGC (European Geothermal Congress) sont repris ici en pointant lorsque c'est possible ce qui concerne la géothermie de minime importance puis les principaux pays déjà cités à propos du solaire thermique

installée en géothermie de basse température. L'Italie, la Pologne et la République tchèque sont les pays qui connaissent actuellement les plus forts taux de croissance sur 2010-2015.

Les statistiques pour la chaleur géothermique de basse température résultent le plus souvent de la comptabilisation du calcul des pompes à chaleur. Le secteur est dominé par beaucoup de petites installations qui se prêtent mal à un suivi statistique.

France

La croissance de l'énergie d'origine géothermique pour chaleur et froid est notable (doublement en 6 ans). Mais des subventions (un soutien adapté, durable, stable, visible) restent nécessaires. La pérennisation du Fonds Chaleur est un élément important, mais la nécessité d'une simplification des procédures administratives pour les opérations de petite importance (moins de 30 kWth) est également importante et la réécriture du Code minier (en cours) devrait favoriser l'émergence de nombreux projets.

La réglementation thermique 2012 pénalise le développement des pompes à chaleur, en particulier par non prise en compte de l'impact en termes de GES. Il importe de reconsidérer la RT 2012 sur ce point si on veut atteindre les objectifs que s'est fixé le gouvernement.

3.3 Remarques conclusives sur ce panorama

Le panorama européen illustre l'extrême diversité des situations. La mission relève trois déterminants majeurs : le potentiel de ressources au sein d'un pays, la qualité du tissu industriel (taille, réactivité, capacité d'innovation, etc.), les éléments culturels (activités de longue tradition, sources d'innovation, etc.).

Outre ces disparités, on soulignera l'extrême réactivité des marchés avec des situations qui peuvent brutalement s'inverser de manière importante d'une année sur l'autre. Ces fluctuations importantes ne sont pas neutres pour le tissu industriel, qui ne peut absorber les variations brutales et reste extrêmement vulnérable.

Il n'y a pas, avec la chaleur géothermique et solaire, un marché international unique mais véritablement des marchés où chaque pays peut affirmer sa spécificité avec peu de risque de délocalisation ou d'absorption par de grands opérateurs. L'effet de levier susceptible d'être opéré par une politique fiscale ou d'appui public conséquent est très important, avec peu de place pour des bulles spéculatives incontrôlables.

4. QUATRIEME PARTIE : LES INSTRUMENTS POUR DEVELOPPER L'ECONOMIE DES FILIERES

4.1 *Les incitations des Pouvoirs publics*

Le solaire thermique dans l'habitat individuel a permis d'équiper 48 000 ménages en 2008, 38 000 en 2009 et 35 000 en 2010, soit un rythme 10 fois inférieur à celui de l'objectif du Grenelle (4 millions de logements à équiper en 12 ans).

La tendance pour les pompes à chaleur est assez négative : 140 000 en 2008, 106 000 en 2009, 63 000 en 2010 hors PAC air/air. La part des PAC géothermiques, a priori les plus performantes, est d'environ 15 %. Les objectifs du Grenelle étaient de 180 000 PAC par an.

Un **prochain** plan d'investissements¹⁷ sur 10 ans a été annoncé, portant sur le numérique, la transition énergétique, la santé, les grandes infrastructures et, d'une manière générale, les nouvelles technologies. Est ainsi prévue la mobilisation à cette fin des crédits publics, privés, de la Caisse des dépôts et consignations, de la Banque publique d'investissement voire la mobilisation des crédits de l'assurance-vie. En octobre 2013 le ministre du redressement productif a lancé 34 plans industriels parmi lesquels un plan sur les énergies renouvelables.

Soutien des Pouvoirs publics à la géothermie

On se contentera de rappeler les instruments les plus pertinents parmi les dispositifs de soutien existants :

- **Les aides aux particuliers (le crédit d'impôt, l'éco-prêt à taux zéro) ;**
- **Le Fonds chaleur** renouvelable pour les « installations collectives » ;
- **Les tarifs d'achat de l'électricité** d'origine géothermique (hors champ mission) ;
- Les aides ADEME à la **R&D** et **les investissements d'avenir** ;
- La **couverture des risques** géologiques en géothermie ;
- **La TVA à taux réduit** (5,5 % en 2011) pour la fourniture et l'installation d'un équipement de géothermie ;
- **Les aides ANAH.**

¹⁷ Annonce du Président de la République le 6 mai 2013
TOME 1 : VERSION DE SYNTHÈSE

Soutien des Pouvoirs publics au solaire thermique

- **Pour l'individuel** : le CIDD (32 % à 40 % si bouquet) ;
- **Pour le collectif** : le Fonds chaleur (en moyenne 50 % d'aide), mais le dossier et les délais sont adaptés aux gros projets (type chaufferies biomasse).

Ces soutiens ne suffisent pas à développer le solaire thermique en rénovation.

La mission considère que les Régions peuvent valoriser les atouts de leur territoire en matière de géothermie et de solaire thermique (ressources physiques en ensoleillement, en géothermie, en réseaux de chaleur).

RECOMMANDATIONS n°5 (actions au niveau des collectivités locales)

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- de dresser un état des lieux des ressources en EnR disponibles et de promouvoir l'inscription de la cartographie correspondante dans les SCoT et les PLU, en allant pour les PLU jusqu'au niveau des zones urbanisées à l'échelle de la rue.</i>

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- d'inviter la Banque Publique d'Investissements à accueillir favorablement les projets de géothermie et de réseaux de chaleur de proximité ;</i>

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- d'encourager les Régions à compléter les SRCAE qui n'auraient pas pris en compte la production de « micro-chaleur » en la traduisant dans la dynamique locale des PCET.</i>

Le Fonds Chaleur (géré par l'ADEME)

Le Fonds Chaleur renouvelable est destiné à soutenir la production de chaleur à partir de sources d'énergies renouvelables et de récupération (bois énergie, géothermie, solaire thermique, biogaz, réseaux de chaleur...). Il concerne l'habitat collectif, le tertiaire, l'industrie et l'agriculture. Le budget prévu au départ était de 1 milliard d'euros sur 2009-2013. Les aides du Fonds Chaleur ne sont pas cumulables avec les certificats d'économies d'énergie (CEE).

Les trois premières années du Fonds Chaleur ont permis de financer des projets pour environ 4 000 tep/an pour le solaire et 49 300 tep/an pour la géothermie, soit respectivement 32 % et 14 % de l'objectif 2012. Selon le SER (en 2011), le risque est, pour ces deux filières, d'être écrasées par la concurrence de la biomasse qui a atteint un seuil proche de la rentabilité.

Les certificats d'économies d'énergie (CEE)

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie (CEE) a été institué par la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique. Elle soumet les vendeurs d'énergie –autrement appelés les « obligés »- à des obligations d'économies d'énergie fixées par période. Actuellement la deuxième période a débuté le 1^{er} janvier 2011 et vient d'être prolongée d'un an soit au 31 décembre 2014.

Les obligés peuvent obtenir des certificats de trois manières différentes :

- en participant à l'accompagnement (technique et/ou financier) de la réalisation d'opérations standardisées ou spécifiques d'économies d'énergie réalisées par des tiers (ménages, entreprises, collectivités, etc.) ou en finançant des programmes « agréés » ;
- en réalisant des opérations standardisées ou spécifiques sur leur propre patrimoine ;
- en achetant des certificats, les CEE pouvant faire l'objet de transactions.

Un marché sur lequel s'échangent des CEE s'est ainsi mis en place. Ces certificats sont des biens meubles négociables dont l'unité est le kWh d'énergie finale économisée. Ils sont exclusivement matérialisés par leur inscription au registre national des CEE. Leur acquisition ou leur cession n'est ainsi validée que par leur inscription au registre.

Dans les faits, les particuliers sont peu informés des droits monnayables à CEE qu'ils peuvent générer par leurs travaux. Ces droits sont le plus souvent valorisés par les maîtres d'œuvre des travaux (par exemple les artisans « Bleu Ciel » listés par EDF).

Sans porter le moindre jugement sur la situation actuelle (la Cour des comptes a produit en octobre un rapport sur les CEE), la mission estime que les CEE présentent un atout indéniable dans le mode de comptabilisation car ils prennent en compte non pas le seul coût d'investissement mais l'énergie finale cumulée actualisée (Cumac) ce qui peut permettre de mieux refléter l'intérêt en coût complet de ces technologies pénalisées par un surcoût apparent au titre de l'investissement initial.

Dès l'instant où les CEE constituent un bien immatériel valorisable, la mission s'est interrogée sur les CEE générés par les technologies de production de chaleur géothermique et solaire et sur la possibilité de les valoriser efficacement au profit des deux filières.

Ces certificats pourraient être collectés sous le contrôle d'un organisme ad hoc (Ademe ?) pour permettre et encourager la constitution de « pépinières d'entreprises », réunissant localement PME, bureaux d'études et artisans capables d'offrir une prestation complète depuis la collecte de l'énergie (solaire ou géothermique) jusqu'aux appareils de chauffage et d'ECS.

Il serait nécessaire alors de limiter cette attribution à un nombre limité de territoires considérés comme pertinents du point de vue du potentiel géothermique disponible et moyennant une démarche volontaire et collective des artisans.

La mission suggère de valoriser les certificats d'économie d'énergie (CEE) générés par les investissements de production de chaleur géothermique et solaire thermique, lorsqu'ils sont réalisés par des regroupements agréés d'entreprises, structurés à cet effet.

La mission considère que les CEE peuvent constituer un excellent outil pour promouvoir l'installation complète (depuis le forage, la tranchée (si puits canadien), ou le panneau solaire thermique jusqu'au chauffagiste et artisan gros œuvre (incluant le cas échéant planchers

TOME 1 : VERSION DE SYNTHÈSE 32

chauffants, plafonds rayonnants) via les pompes à chaleur (PAC d'un équipement de chauffage et de production d'ECS produits par de la « micro-chaleur »), ***l'installation pouvant concerner plusieurs unités d'habitation (petits collectifs) et, le cas échéant, des activités tertiaires incluses dans le bâtiment traité.***

RECOMMANDATIONS n°4 (suite) (développement de la filière et promotion)

<i>La mission recommande :</i>
<i>- de mobiliser le dispositif des CEE pour promouvoir des installations complètes de « micro-chaleur » en reconnaissant l'éligibilité (par arrêté) : 1/ de toute installation complète recourant à ces ressources ; 2/ de la création et de l'animation des « viviers d'artisans ou de PME » capables d'œuvrer conjointement en matière de travaux thermiques et d'EnR sur un même territoire.</i>

4.2 La réglementation de l'exploitation de la ressource : le Code minier et la géothermie de minime importance

La réglementation concernant les forages géothermiques est très complexe, relevant à la fois du Code minier, du Code de l'environnement, voire du Code de la santé publique. Suivant les cas, différents régimes s'appliquent : permis d'exploration ou d'exploitation, autorisation ou simple déclaration.

Au plan juridique, la géothermie de minime importance est aujourd'hui caractérisée par un débit calorifique maximal de 230 kWh et une profondeur inférieure à 100 m.

Aux termes du droit minier, les procédures administratives ont d'abord été conçues pour réglementer l'extraction et l'exploitation de ressources (fossiles) ayant un caractère épuisable.

Contrairement à l'extraction et l'exploitation de ressources minières durables, la géothermie possède un caractère durable. Actuellement le chevauchement entre droit minier et droit de l'environnement créé souvent confusion et complexité administrative.

↳ Evolution en cours des textes : projet de décret relatif à la géothermie (point au 15 novembre 2013)

Le ministère en charge de l'environnement a souhaité poursuivre les discussions sur les critères de la géothermie de minime importance et de la sortie du code minier de certains ouvrages. Un processus de consultation / concertation est en cours alors que s'élabore le présent rapport. L'objectif est d'aboutir à des dispositions :

- a) pour la basse et haute température : juillet 2014 ;
- b) pour la minime importance (objet du présent rapport) : janvier 2015¹⁸

¹⁸ Ce décalage est dû aux nombreuses modifications qui concernent la minime importance qui passera dans un but de simplification à un régime de simple déclaration (tout en restant instruite dans le cadre du code minier)

Pour la géothermie de minime importance, le projet de décret en pérennise les critères et établit un cadre réglementaire dérogatoire aux dispositions actuelles, avec la disparition de l'obligation de dépôts de dossiers conjoints d'autorisation de recherche et d'autorisation de travaux (un seul CERFA pour la déclaration et pas d'instruction de la part de l'administration); par ailleurs, il acte la méthodologie de construction des zonages réglementaires et de ses modalités de révision.

En l'état actuel du projet les critères proposés sont les suivants (selon le cas d'échangeurs fermés (sondes) ou ouverts) :

- échangeurs géothermiques fermés :
 - o profondeur inférieure à 200 mètres,
 - o puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation inférieure à 250 kW¹⁹,
 - o ne sont pas situés dans les zones où les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves (zones rouges dans la cartographie²⁰).
Ces critères couvrent largement les besoins d'une maison individuelle ou d'un nouveau lotissement de 50 appartements de 100 m².
- échangeurs géothermiques ouverts :
 - o température du fluide caloporteur en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25 °C,
 - o profondeur est inférieure à 200 m,
 - o puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW,
 - o eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère ; la différence des volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle,
 - o les débits prélevés et réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation tel que défini dans la rubrique 5.1.1.0 de l'article R.214-1 du code de l'environnement,
 - o échangeurs ne sont pas situés dans les zones où les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves (zones rouges dans la cartographie).

Quatre arrêtés ministériels seront pris à l'appui pour préciser ces dispositions.

4.3 La réglementation thermique (RT) des bâtiments

En France, le document de référence du Code de la construction et de l'habitation est la Réglementation thermique. Les réglementations RT 2005 et RT 2012 constituent une avancée importante dans la performance des enveloppes de bâtiments.

Pour les bâtiments existants, les exigences portant sur la rénovation énergétique sont séparées en deux catégories :

- **Réglementation thermique Globale (RT Globale) - Pour une rénovation en profondeur de bâtiments > 1000 m² :** elle fixe un objectif de performance énergétique des bâtiments rénovés construits après 1948. L'objectif est de parvenir à un niveau de

¹⁹ A l'occasion de la concertation, le CNG a souhaité voir cette puissance portée à 500 kW comme pour les échangeurs ouverts,

²⁰ Les objectifs généraux de la cartographie sont de prévenir les désordres du sous-sol d'ordre géologique et de préserver les enjeux du sous-sol notamment la qualité des eaux souterraines.

consommation d'énergie de 80 à 195 kWh/m²/an entre 2005 et 2010, puis un niveau de 80 à 165 kWh/m²/an à partir de 2010, la moyenne étant de 240 kWh/m²/an pour le parc immobilier existant. Le niveau dépend de la zone climatique et du combustible utilisé. Pour les bâtiments non résidentiels, les économies doivent être de 30 %.

- **Réglementation thermique par élément (RT par élément) - Pour une rénovation en profondeur de bâtiments < 1000 m² ou une rénovation mineure de bâtiments > 1000 m² :** la RT 2012 définit un niveau de performance minimum pour les éléments remplacés ou installés : l'isolation, le chauffage, la production d'eau chaude, les équipements de climatisation et de ventilation.

Pour les bâtiments neufs, la réglementation thermique 2012 retranscrit l'article 4 de la loi du 3 août 2009 et a pour objectif de limiter la consommation d'énergie primaire à un maximum de 50 kWhEP/m².an.

Les réglementations RT 2005 et RT 2012 constituent une avancée importante dans la performance des enveloppes de bâtiments.

Chaque procédé faisant appel à des énergies renouvelables est pris en compte de manière spécifique. La RT 2012 a introduit à bon escient un coefficient spécifique Mc_{GES} destiné à favoriser la filière bois, favorisant le caractère vertueux de la filière en terme de bilan carbone, de production locale de l'énergie, et d'emploi local. Les réseaux de chaleur sont également positivement impactés par ce coefficient.

Le CEP Max : le droit à consommer :

$CEP\ Max = 50 \times Mc\ type \times (Mc\ géo + Mc\ alt + Mc\ surf + Mc_{GES})$ où :

- $Mc\ type$: coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2,
- $Mc\ géo$: coefficient de modulation selon la localisation géographique,
- $Mc\ alt$: coefficient de modulations selon l'altitude
- $Mc\ surf$: coefficient de modulation selon surface moyenne
- Mc_{GES} : « coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées, pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO₂. »
 - Pour le bois : 0,3 ce qui génère un droit à consommer additionnel tous usages.
 - Pour un réseau de chaleur, modulé selon contenu CO₂, maxi + 30 % de consommation additionnelle tous usages.

Mais pour la géothermie, le logiciel réglementaire conduit à une différence de traitement pour un bâtiment dont l'énergie est d'origine géothermique, selon que l'installation géothermique (la PAC) est installée directement dans le bâtiment ou qu'elle y est reliée *via* un réseau de chaleur. En effet, le logiciel considère pour tout intégré au bâti que le recours à l'énergie renouvelable d'origine géothermique est valorisé directement dans le calcul RT 2012 et n'applique pas le coefficient Mc_{GES} .

Ce faisant, une même installation de géothermie de minime importance, dès lors qu'elle ne recourt pas à un réseau de chaleur, se retrouve pénalisée car non prise en compte par Mc_{GES} .

Ainsi, la géothermie de minime importance n'est pas positionnée dans tous les cas d'installations comme le bois et les réseaux de chaleur.

La filière géothermique par pompes à chaleur présente les mêmes caractéristiques que la filière bois : réduction d'émission de gaz à effet de serre, emploi local, importations d'énergie très faibles. La géothermie ne bénéficie pas du même coefficient que le bois. Ceci crée une distorsion entre les deux énergies pourtant également vertueuses.

En conséquence, la mission recommande de veiller à ce que les réglementations applicables ne conduisent pas à freiner les initiatives et les innovations en matière d'énergies renouvelables et plus particulièrement la géothermie de minime importance valorisant la chaleur du sous-sol.

RECOMMANDATIONS n°6 (Simplifier)

<i>La mission recommande :</i>
<i>- de traiter dans la RT 2012, indifféremment du positionnement de la PAC, une installation géothermique de minime importance²¹ en lui appliquant l'unique coefficient Mc_{GES} correspondant à une liaison via un réseau de chaleur ;</i>
<i>La mission recommande :</i>
<i>- de simplifier la réglementation relative à la géothermie de minime importance, en évitant de créer des contraintes supplémentaires, et en créant un régime de simple déclaration pour les forages de moins de 200 m ;</i>
<i>La mission recommande :</i>
<i>- de faciliter les démarches administratives de création et de raccordement des nouvelles installations aux réseaux de chaleur.</i>

4.4 Insertion dans les documents locaux d'urbanisme

Les documents d'urbanisme peuvent favoriser le recours à certaines énergies renouvelables au travers de dispositions réglementaires (Coefficient d'Occupation des Sols amélioré, raccordements à des réseaux de chaleur, etc.).

La loi (code urbanisme, art L.110) dispose que l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme « contribue à la lutte contre le changement climatique et à l'adaptation à ce changement. » C'est ainsi que les schémas de cohérence territoriale (SCoT), les Plans locaux d'urbanisme (PLU) et les cartes communales ont vocation à définir les conditions permettant d'assurer la « réduction des émissions de GES, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir de sources renouvelables [...]. » Les SCot et les PLU doivent prendre en compte, lorsqu'ils existent, les SRCAE et les PCET. Le Conseil d'Etat a été amené à préciser cette notion de « prise en compte » laquelle ne doit pas être assimilée à une véritable obligation de mise en conformité.

Ceci pose la question de l'articulation entre les différents outils de planification, spécifiques ou non, recensés en matière de politique énergétique. Ils risquent à force d'être multipliés, de devenir inefficaces car trop complexes à mettre en œuvre en impliquant différents échelons de compétence territoriale.

²¹ Notamment le coefficient C

Rappel de la RECOMMANDATION n°5 (actions au niveau des collectivités locales)

Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :
- de dresser un état des lieux des ressources en EnR disponibles et de promouvoir l'inscription de la cartographie correspondante dans les SCoT et les PLU, en allant pour les PLU jusqu'au niveau des zones urbanisées à l'échelle de la rue.

4.5 Créer les conditions d'un réel développement auprès des professionnels

↪ La mission cite le point de vue du groupement informel « Alliance Chaleur Renouvelable » (AFPAC, AFGP, ENERPLAN, SER, UNICLIMA (Collège Energie&Climat de juin 2013) qui promeut la nécessité :

- d'un soutien adapté, durable, stable et prévisible à l'horizon 2020, qui associe développement du marché et baisse des coûts,
- de la visibilité et de la communication à destination des particuliers et des décideurs,
- de moyens pérennes et structurés en R&D (une plate forme technologique dédiée à la chaleur renouvelable et un soutien de 14 millions d'euros par an),
- d'outils de type ingénierie financière et d'une implication des Régions.

Source UNICLIMA collège E&C juin 2013

↪ Le point de vue d'un industriel :

- **du marché en France métropolitaine : Constats :**
 1. Impact des aides fiscales pour le particulier,
 2. Un marché attentiste,
 3. Des marchés EnR dopés par les aides fiscales qui attirent les opportunistes entraînant des contre références,
 4. Maintenance non systématique des installations,
 5. Freins à l'innovation : lourdeur des certifications – non valorisation dans les outils de calcul thermique réglementaires.
- **Actions des industriels :**
 1. Adaptation de l'offre produit,
 2. Formation des installateurs (Qualisol, Qualipac),
 3. Campagnes de sensibilisation des installateurs / des clients finaux,
 4. Partenariats avec les fournisseurs d'énergie.

SOLAIRE THERMIQUE

Evolution du marché en France métropolitaine
(Source VIESSMANN collège E&C juin 2013)

La mission considère qu'il est indispensable de construire des démarches et des outils venant en appui aux PME et aux artisans, pour leur permettre de développer une offre personnalisée

auprès des « décideurs individuels » pour combiner plusieurs énergies et offrir un bouquet cohérent de travaux assurés par différents corps de métiers.

En termes de communication « grand public », la chaleur renouvelable est absente du paysage des énergies renouvelables comme des énergies conventionnelles (fossiles) ; une action spécifique, aux plans technique et économique, doit être conduite afin que tout maître d'ouvrage ait le réflexe de tester systématiquement, pour produire sa chaleur domestique, une variante géothermie de minime importance et/ou solaire thermique. La disponibilité de diffuser des fiches types de cas (voir la recommandation) paraît à privilégier.

RECOMMANDATION n°7 (Communication)

<i>La mission recommande :</i>
<i>de construire un volet de communication et spécifique pour porter des messages accessibles en matière de production et de gestion de la chaleur renouvelable, à l'échelle d'une ou d'un petit nombre de petits bâtiments, qui comporte aussi une information en matière de régime des aides mises en place.</i>

RECOMMANDATION n°8 (Suivre et évaluer les résultats)

<i>La mission recommande :</i>
<i>de créer une « banque de données » nationale, accessible au public, constituée de fiches de cas de projets de « micro-chaleur » étudiés et conduits à leur terme par des particuliers (avec indication du coût et des aides publiques mobilisées, que ce soit avec ou sans recours à des bureaux d'études).</i>

5. DISCUSSION

5.1 Evolution du prix domestique des formes d'énergie et décision du particulier

Evolution du prix domestique du gaz et de l'électricité et de la biomasse

Contrairement à l'électricité, le prix du gaz naturel pour le consommateur particulier en France suit la tendance européenne des prix du pétrole. Aujourd'hui, le prix domestique de l'électricité en France est un des plus faibles constaté en Europe, du fait du nucléaire, et le prix du MWh gaz est plus faible que celui du MWh électrique.

Si on considère le prix du gaz domestique pour les différents pays de l'Union européenne, la moyenne s'établissait au 1^{er} semestre 2012 à 62,96 € / MWh TTC, en distinguant les taxes pour chaque pays. Il était de 57,1 € / MWh en 2010. Les prix, principalement pour des raisons de fiscalité et de distance, peuvent varier du simple au double, taxes comprises.

Biomasse solide : pour l'ensemble des combustibles considérés, dès lors que l'on prend en compte les tendances sur le moyen terme, la croissance des prix apparaît modérée, certes plus importante que le niveau général des prix pour les combustibles, mais en retrait par rapport aux évolutions du prix des autres énergies (électricité comprise).

Par ailleurs il existe une relative régularité dans l'évolution des prix qui tranche avec les évolutions erratiques connues par les énergies fossiles.

On notera l'importance de l'augmentation des prix (gaz + 50 % en 6 ans ; électricité +15 % en 3 ans). Les augmentations importantes du gaz et de l'électricité ces 5 dernières années rendent désormais compétitive la chaleur solaire thermique. En effet, la « micro chaleur » bénéficie d'une source d'énergie « gratuite » (au sens commercial : pas de marché d'offre et de demande sur la fourniture de cette énergie), ce qui invite à n'opérer de comparaison entre sources d'énergie qu'en termes de coûts complets, en intégrant l'investissement initial et les frais d'entretien de l'installation sur une période correspondant à la durée de vie de l'installation.

5.2 Tableaux comparatifs des sources de chaleur renouvelable pour les maisons et les petits immeubles collectifs

La mission a voulu mettre en évidence les éléments-clefs qui soutendent la décision qu'un particulier est amenée à prendre en matière de « micro-chaleur » dans les tableaux ci-dessous :

	Géothermie (PAC sol / eau et eau/eau ou eau/air)	Pompes à chaleur (cas général: air/eau, air/air...)	Solaire thermique (ECS et chauffage)
critères			
Proximité des ressources	Accès limité par la surface accessible et les potentialités géologiques	Très facile Accès éventuellement limité par: - le gradient de température extérieure (air): assez peu - les potentialités géologiques (ressource en eau): parfois fortement	Accès limité par la surface (de toiture le plus souvent) et par l'orientation
Production	Performance stable (basse température) disponibilité selon le gisement et la sollicitation	Performance stable (basse température) disponibilité selon le gisement utilisé et la sollicitation effectuée	Variable (couverture nuageuse) disponibilité suffisante pour l'ECS, rarement suffisante pour le chauffage
Durée de vie de l'installation	Selon les PAC utilisées et leur entretien	Selon les PAC utilisées et leur entretien (15 ans?)	Fiable à long terme, selon l'entretien (25 ans?)
Stockage	Dans le sol	aucun, le plus souvent	selon la taille du cumulus installé (ECS) mais nécessite des installations très importantes pour le chauffage
Inertie de la réponse à une sollicitation	Forte (mise en route)	un peu lente à la mise en route risque de sous-dimensionnement de l'installation en cas de forte sollicitation	mise en route rapide si ensoleillement présent et/ou si stockage
Impact sur l'environnement	Limité (qualité du forage)	Limité (éventuellement : nuisance auditive et visuelle des appareils en extérieur)	Aucun (selon qualité de l'insertion architecturale)

	Réseau de quartier résidentiel (chaleur et/ou climatisation)	Réseau de quartier avec tertiaire de proximité (bâtiments publics, commerciaux ou de bureaux)	Petit logement collectif		Logement individuel	
			neuf	rénovation	neuf	rénovation
Géothermie (PAC sol / eau et eau/eau ou eau/air)	NECESSITE ADAPTATION LEGERE raisonner en tant que source principale de chauffage mais jamais unique valoriser le réseau en été pour apporter un confort thermique	PERTINENT, A DEVELOPPER possibilité supplémentaire de partager la fourniture d'énergie au cours de la journée	PERTINENT, A DEVELOPPER raisonner en tant que source principale ou complémentaire, jamais unique valoriser l'installation en été pour apporter un confort thermique	NECESSITE ADAPTATION FORTE seulement si plancher chauffant existant apport complémentaire très limité	PERTINENT, A DEVELOPPER raisonner en tant que source principale ou complémentaire, jamais unique valoriser l'installation en été pour apporter un confort thermique	NECESSITE ADAPTATION FORTE seulement si plancher chauffant existant apport complémentaire très limité
Pompes à chaleur (cas général : air/eau, air/air...)	TOTALEMENT INADAPTE Nécessité de produire de l'eau très chaude en permanence pour le chauffage : les PAC ne peuvent l'assurer à partir d'un point central . Il n'y a presque aucun intérêt à mutualiser la production des PAC individuelles		NECESSITE ADAPTATION LEGERE Les économies d'échelle sont envisageables (chauffage basse température par planchers chauffants) mais il reste nécessaire de prévoir une source d'appoint .	NECESSITE ADAPTATION FORTE performances plutôt réduites par la nécessité de fournir un chauffage à température élevée	PERTINENT, A DEVELOPPER bonne performance pour un chauffage de base (basse température)	NECESSITE ADAPTATION FORTE performances plutôt réduites par la nécessité de fournir un chauffage à température élevée sur une installation existante .
Solaire thermique (ECS et chauffage)	TOTALEMENT INADAPTE La puissance à installer ne peut pas être placée en tête de réseau,	NECESSITE ADAPTATION LEGERE Un éventuel réseau pourrait permettre de bénéficier des surplus individuels disponibles, surtout au cours de la journée pour le chauffage .	PERTINENT, A DEVELOPPER surfaces disponibles importantes (toitures-terrasses) pour production d'ECS et chauffage basse température .	PERTINENT, A DEVELOPPER surfaces disponibles importantes si toitures-terrasses , pour production d'ECS et pour une base de chauffage à basse température .	NECESSITE ADAPTATION LEGERE surfaces disponibles pouvant être limitées : - bien choisir l'orientation et l'intégration architecturale - adapté à la production d'ECS - il est plus difficile d'apporter un complément de chauffage "basse température" .	NECESSITE ADAPTATION FORTE surfaces disponibles pouvant être limitées (orientation, type de toiture...) quasiment limité à la production d'ECS .

Dans une réflexion plus spécifiquement économique, s'agissant de dispositifs réputés techniquement complexes et donc susceptibles de générer des montants d'investissement plus élevés par rapport aux solutions traditionnelles de production de chaleur (eau chaude sanitaire et chauffage), les principaux éléments de coût d'installation devront être estimés (avec un calcul du temps de retour sur investissement (TRI)) ainsi que les économies d'échelle résultant soit d'une approche au niveau d'un quartier soit de la seule unité d'habitation.

5.3 Scénarios pour évaluer une contribution possible de ces filières dans le mix énergétique 2030

➡ Au moment où la France s'engage dans la transition énergétique, **le premier enjeu** d'une relance en matière de « micro-chaleur » est de construire une véritable offre française en matière de géothermie de minime importance et de solaire thermique, porteuse de croissance et d'emplois non délocalisables.

De ce qui précède la mission aura retenu quelques éléments spécifiques à ces deux filières de production de chaleur :

- L'utilisation (via une PAC), sur les lieux de production même, de la chaleur récupérée du soleil ou du sous-sol à faible profondeur : pas d'incitation à l'autoconsommation nécessaire, le bon sens économique (la chaleur se transporte mal) l'imposant naturellement ;
- La compatibilité de ces deux ressources qui peuvent alimenter une même PAC ;
- Le recours nécessaire à une autre source d'énergie d'appoint, la « micro-chaleur » ne pouvant assurer qu'un niveau de chauffage « de base », ce qui déjà peut représenter jusqu'à 80 % du besoin énergétique de chauffage ;
- La méconnaissance assez générale de ces deux ressources, y compris par le législateur (RT 2012..), qui sont souvent assimilées à leurs « grands frères » (photovoltaïque et géothermie profonde) avec toute la complexité qui leur est attachée ;
- La nécessité de recourir souvent à au moins deux artisans (exemple un foreur et un chauffagiste), rompant avec le « plug and play » mis en œuvre pour le PV, les réseaux de chaleur, les travaux d'isolation ou le simple changement d'une chaudière par une technologie plus performante, multipliant ainsi la difficulté du particulier à trouver l'équipe d'artisans compétents et sachant travailler ensemble ;
- le caractère très diffus sur tout le territoire des chantiers d'installation de « micro-chaleur », ce qui ne contribue pas à leur notoriété, chaque chantier ayant sa spécificité (nature du sous-sol, du logement, ensoleillement et exposition..) ;
- le faible nombre d'artisans compétents (ces chantiers étant rares, peu d'artisans s'y investissent) ;
- le coût d'investissement souvent supérieur aux technologies « traditionnelles » : la plupart des particuliers ne raisonnent qu'au niveau de leur trésorerie disponible face au montant de l'investissement initial et sont peu rompus :
 - au calcul du coût complet (la dépense est à répartir sur 10 ans ou parfois plus) d'une technologie dont la ressource énergétique est... gratuite, d'une part ;
 - à tout réflexe de mutualisation : distribuer la chaleur produite via un même forage ou une même installation de panneaux solaires grâce à un micro réseau de chaleur entre plusieurs particuliers (dans un rayon de proximité adapté ou dans un même immeuble). Mais là aussi combien de particuliers assimilent logement individuel à équipement individuel... !

Hormis certains particuliers convaincus, la plupart d'entre eux ne vont pas naturellement se tourner vers ces technologies, aujourd'hui « confidentielles » et qui rompent avec les habitudes. Une action de promotion est donc nécessaire.

Il ne s'agit pas uniquement de ménager une large publicité pour ces ressources méconnues. Un accompagnement technique (pas forcément lourd mais personnalisé) serait davantage efficace pour réussir à convaincre le particulier (pour identifier les besoins mais également la ressource ; pour dimensionner l'installation et son couplage avec les autres équipements de production de chauffage et d'ECS...).



Le second enjeu est constitué par cette intermédiation technico-économique nécessaire auprès du particulier, qui conduit la mission à s'interroger sur les outils et les cibles les plus pertinentes pour dynamiser la filière.

Ainsi le premier niveau sera de disposer d'outils d'aide à la décision de faire appel à l'une ou l'autre de ces filières, que ce soit au niveau des décisions individuelles que prendront les propriétaires de maisons individuelles et de « petit collectif », ou au niveau des structures collectives pouvant offrir des opportunités de mise en réseau ou d'échanges réciproques à une échelle territoriale appropriée : fiches techniques rassemblant sur des « cas d'école » les performances de chauffage et de confort thermique, ainsi que les éléments de coût complet... Il faut faire remarquer que les EIE (espaces info énergies) et autres « guichets uniques » ont comme cible essentielle (souvent par téléphone) les particuliers et très peu les artisans (10% environ).

Le second niveau sera de sensibiliser les artisans, via leurs structures professionnelles et circuits de négoce, et également via la formation, à une adaptation de leur offre face à la demande émergente des particuliers. L'aspect fondamental réside dans l'intervention conjointe de plusieurs corps de métiers pour assurer la cohérence de l'installation (niveau de performance, régulation assistée de plusieurs sources d'énergie, garantie de bonne exécution, service après-vente et contrats d'entretien...).

Les aspects techniques et technologiques du solaire thermique et de la géothermie de minime importance n'étant pas les plus mis en avant actuellement, il s'agit de développer à grande échelle une compétence de proximité en matière d'ingénierie de projets (diagnostics, calculs thermiques, personnalisation des études, compétence des professionnels, service après-vente...) pour répondre aux attentes des particuliers (ou les susciter) lorsqu'ils disposent de capacités de financement certaines en matière de maisons individuelles et de « petit collectif ».



Malgré un niveau de sensibilisation « générale » déjà perceptible, **le troisième enjeu** sera de mieux formaliser la demande des particuliers en matière de production de chaleur géothermique ou solaire thermique : elle est très « éclatée sur le territoire » et le faible nombre de réalisations ne peut pas avoir pour le moment d'effet d'entraînement. De plus se pose le problème du contrôle de l'efficacité des travaux en termes de bilan thermique du parti pris en faveur de ces technologies.

La montée en compétence d'artisans locaux développe un réseau d'ambassadeurs de ces technologies, sous réserve que des dispositifs de formation efficaces soient mis en place et que soient établis des bilans thermiques pour chaque chantier.

De tels « îlots de compétence », associant artisans ou PME à des bureaux d'ingénierie thermique constitueront autant de « pépinières » (à certifier, probablement), supports elles-mêmes d'un essaimage de cette démarche d'approche multidisciplinaire de l'équipement thermique des logements et des bâtiments.

La mission a donc recommandé tout au long de ce rapport de valoriser les démarches regroupant des PME, entreprises artisanales et bureaux d'études autour d'une approche globale et multidisciplinaire de l'équipement thermique des logements et des bâtiments ; de tels « îlots de compétence » constitueront des « viviers » capables de répondre à la demande et d'attester les résultats observés en matière de production de chaleur lorsqu'il est fait appel à une forme ou une autre d'énergie renouvelable.

TOME 2 : VERSION DETAILLÉE

1. PREMIERE PARTIE : PLACE DE LA CHALEUR RENOUVELABLE, CONTRIBUTION A LA TRANSITION ENERGETIQUE

1.1 *Rappels : énergie, unités, chaleur, énergie primaire et énergie finale*

1.1.1 L'énergie :

L'énergie est la grandeur qui permet de caractériser un changement d'état d'un système : on peut ainsi citer l'énergie thermique (modification de la température), l'énergie cinétique, l'énergie chimique (modification de la composition chimique), l'énergie nucléaire (modification de la structure atomique)...

Dans un système clos, l'énergie se conserve : on ne peut pas produire de l'énergie, mais juste la transformer.

1.1.2 Unités :

Il existe de très nombreuses unités pour compter l'énergie. En se limitant à celles qui seront utilisées dans le rapport, on citera :

- **Le joule (J)** est le travail d'une force motrice d'un newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force. Un joule est aussi l'énergie fournie par une puissance de 1 watt pendant une seconde ;
- **Le kilowatt-heure (kWh)** vaut 3,6 mégajoules (MJ). Il est surtout utilisé pour mesurer l'énergie électrique, aussi bien générée que consommée. La définition de cette unité s'applique à tous les domaines (y compris non électriques).

L'unité la plus fréquente chez l'énergéticien est la tonne équivalent pétrole (tep) :

1 tep # 11 600 kWh (11,6 MWh) # 41 800 MJ

Enfin on ne peut omettre de citer l'unité baril de pétrole fréquemment rencontrée :

1 baril = 0,136 tep

1 tep = 7,35 barils

Avoir ces équivalences à l'esprit est très important car la chaleur ne fait pas l'objet de statistiques « universelles » de type OCDE ou EUROSTAT : chaque profession de l'énergie, depuis l'amont (production d'énergie primaire) jusqu'à l'utilisateur final, a ses unités de prédilection.

Energie primaire / énergie finale : un peu de vocabulaire à partager

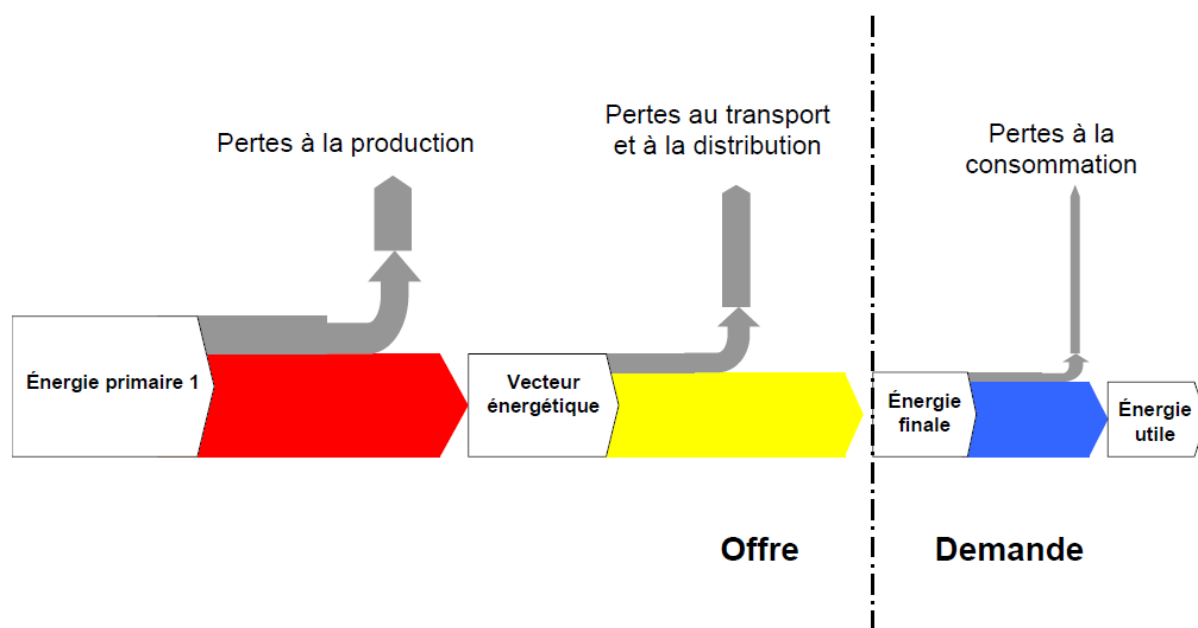


Schéma d'après Association Négawatt

Remarque : Energie primaire → Energie finale : produire de l'électricité s'accompagne d'une production de chaleur souvent perdue²².

Pour bien parfaire la compréhension, on reprendra les définitions de la PPI²³ Chaleur 2009 où les vecteurs énergétiques sont appelés « énergie secondaire ».

On distingue quatre stades (ou étapes de transformation) de l'énergie :
• L'énergie primaire L'énergie primaire est l'énergie brute, qui n'a subi aucune conversion. Par exemple pour les combustibles fossiles, on considère qu'il s'agit de l'énergie calorifique qu'on peut tirer de leur combustion complète.
• L'énergie secondaire Intermédiaire entre l'énergie primaire et l'énergie finale, l'énergie secondaire est l'énergie primaire transformée avant son transport éventuel et sa mise à disposition du consommateur final. Elle comprend essentiellement les produits pétroliers une fois raffinés et l'électricité dite « secondaire » ou « thermique », car obtenue par combustion d'énergies fossiles ou d'énergies d'origine renouvelable.
• L'énergie finale L'énergie finale est l'énergie mise à disposition de l'utilisateur avant sa consommation. Elle peut prendre différentes formes à caractère énergétique (thermique, mécanique, rayonnante,

²² Energie primaire → Energie finale : produire de l'électricité s'accompagne d'une production de chaleur souvent perdue : exemple : pour obtenir au plan national 450 TWh d'électricité il faut consommer 1307 TWh d'énergie primaire et sur les 2/3 de la chaleur générée pour produire de l'électricité, une part importante est perdue car non utilisée.

²³ Programmation pluriannuelle des investissements

chimique...) et non énergétique ; on parle dans ce dernier cas d'« usages matière première », les principaux étant la pétrochimie et les engrais (à partir de gaz naturel).

- **L'énergie utile**

L'énergie utile est l'énergie restituée à la sortie du système (par exemple chaudières + radiateurs).

Source : PPI 2009 Chaleur

1.1.3 Mode de comptabilisation

Si l'on s'intéresse au résidentiel tertiaire en reprenant la chaîne énergétique depuis l'énergie primaire jusqu'à l'énergie utile via l'énergie finale, il faut préciser que :

1/ Dans le cas des chaudières ou autres appareils à combustion **du secteur résidentiel-tertiaire, l'énergie finale** est, par convention, l'énergie du combustible à l'entrée de l'appareil.

2/ Quand il n'y a pas transformation (comme par exemple pour le gaz naturel livré tel quel au consommateur final), l'énergie primaire est égale à l'énergie finale, déduction faite des usages internes de la branche énergie concernée et des pertes de ladite branche (notamment pertes dues au transport).

3/ **En ce qui concerne les énergies d'origine renouvelable thermiques** (EnR_{th}), l'énergie finale est toujours égale à l'énergie primaire, sauf pour le bois énergie dans l'industrie, les déchets urbains solides (incinérés dans les UIOM, unités d'incinération d'ordures ménagères) et le biogaz.

4/ **En ce qui concerne le bois-énergie consommé dans le résidentiel-tertiaire**, il est comptabilisé dès l'énergie primaire sous ses formes « prêtes à la combustion », qu'il s'agisse de bûches, de plaquettes, de granulés ou d'autres sous-produits, si bien que l'énergie finale est égale à l'énergie primaire.

L'énergie utile

L'énergie utile est égale à l'énergie finale pondérée par le rendement du système de chauffage (par exemple chaudières + radiateurs).

[Source PPI Chaleur 2009]

1.1.4 La chaleur

La chaleur est ainsi une composante importante du **débat sur l'énergie**. **La chaleur** est un transfert d'énergie thermique d'un corps solide, liquide ou gazeux plus chaud à un autre plus froid. Ce transfert de chaleur se fait avec un rendement, donc des pertes.

En France, lorsque l'on consomme 2 965 TWh d'énergie primaire, environ un tiers (978 TWh) est « perdu » essentiellement sous forme de chaleur (pertes de production et de transport) avant utilisation finale.

Toutes les formes d'énergie peuvent servir à produire de la chaleur avec des rendements variés, depuis celles qui sont considérées comme les plus nobles (électricité, hydrocarbures fossiles) jusqu'à la valorisation de toutes les formes de la biomasse.

Remarque : si l'on ne prend pas en considération les agro carburants (biomasse liquide), la seule valorisation possible de la biomasse à grande échelle est la production de chaleur, qu'elle soit utilisée en combustion individuelle (chauffage au bois) ou via des réseaux de chaleur (chaufferies centralisées) lorsqu'il s'agit de valoriser des formes moins accessibles de biomasse bois (déchets forestiers...) ou d'autres sources de matière organique (ordures ménagères par exemple).

La demande de chaleur est bien sûr répartie sur tout le territoire national. Elle est un peu plus diffuse (éclatée) en milieu rural qu'en milieu fortement urbanisé.

La chaleur ne se transporte pas, du fait de pertes potentielles, sur de longues distances. La chaleur se stocke assez mal (mais mieux que l'électricité) et nécessite à cet effet une isolation très poussée pour éviter les déperditions. Pour le chauffage des bâtiments, les ressources énergétiques locales qui ne peuvent être valorisées que sous forme de production de chaleur doivent dès lors être prioritaires par rapport aux formes d'énergie plus faciles à transporter. Il faut privilégier l'utilisation sur le lieu même de sa production : « produire local et consommer local ».

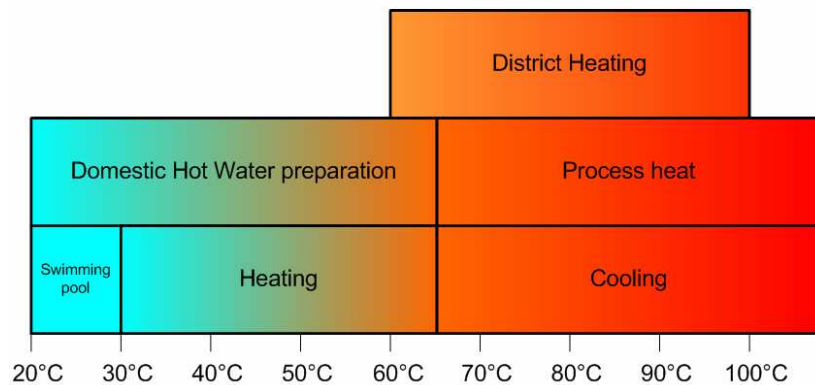
On peut distinguer deux grands usages de la chaleur :

- **un usage domestique, tertiaire ou « de confort »**, qui se retrouve essentiellement, mais non exclusivement, dans le résidentiel et le tertiaire, à savoir le chauffage des locaux, la climatisation, l'eau chaude sanitaire et la cuisson domestique des aliments ;
- **un usage spécifique à l'activité productive**, et qui est ce qu'on appelle la « chaleur-process », dans l'industrie, l'agro-alimentaire et l'agriculture.

Les niveaux de température nécessaires pour produire de l'ECS ou pour le chauffage des locaux ne sont pas identiques, aussi les sources d'EnR à privilégier peuvent différer selon l'usage visé. On peut citer quelques exemples :

- la production d'ECS demande des niveaux élevés de température (60 à 80°C), aussi le solaire thermique ponctuel (quelques heures dans la journée) peut-il répondre aux apports nécessaires pour peu qu'un cumulus adapté soit installé ;
- le chauffage par planchers chauffants à basse température (30 à 40°C) demande un apport régulier toute la journée que la PAC peut assurer alors qu'elle n'est pas en mesure de fournir une ECS à la température souhaitée ;
- selon les températures obtenues (qualité du gisement) la géothermie est en mesure de répondre à l'un ou à l'autre de ces deux besoins.

Dans le cas de production de chaleur pour un réseau collectif de logements se pose la question d'une production centralisée ou décentralisée. Les pertes étant davantage réduites pour des niveaux de température de l'eau peu élevés, la distribution de chaleur a tout son sens pour un chauffage de base à basse température. Le besoin d'ECS peut alors être couvert soit par une installation indépendante (le solaire thermique est alors le plus adapté dans le registre des EnR) soit par une installation de rehaussement de température au niveau de l'échangeur.



Niveaux de température d'utilisation de la chaleur

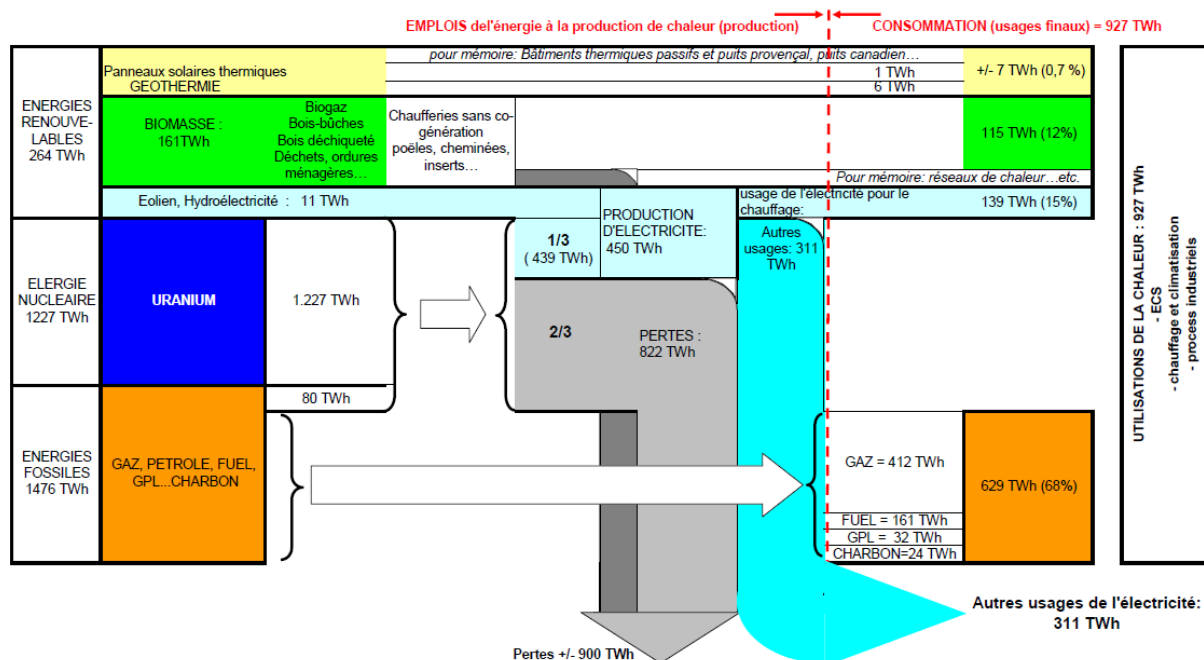
[Source : Collège E&C juin 2013 Tenerrdis Grenoble]

Un écueil à éviter dans un débat sur la transition énergétique est de ne se consacrer qu'à l'électricité. Les secteurs du transport (avec la prédominance du routier) et du chauffage des locaux (la chaleur) sont à expertiser en profondeur. Si l'on se concentre seulement sur le « mix électrique », on laisse de côté 78 % de la consommation énergétique française.

1.2 Le paysage quantitatif de l'énergie et la place de la chaleur :

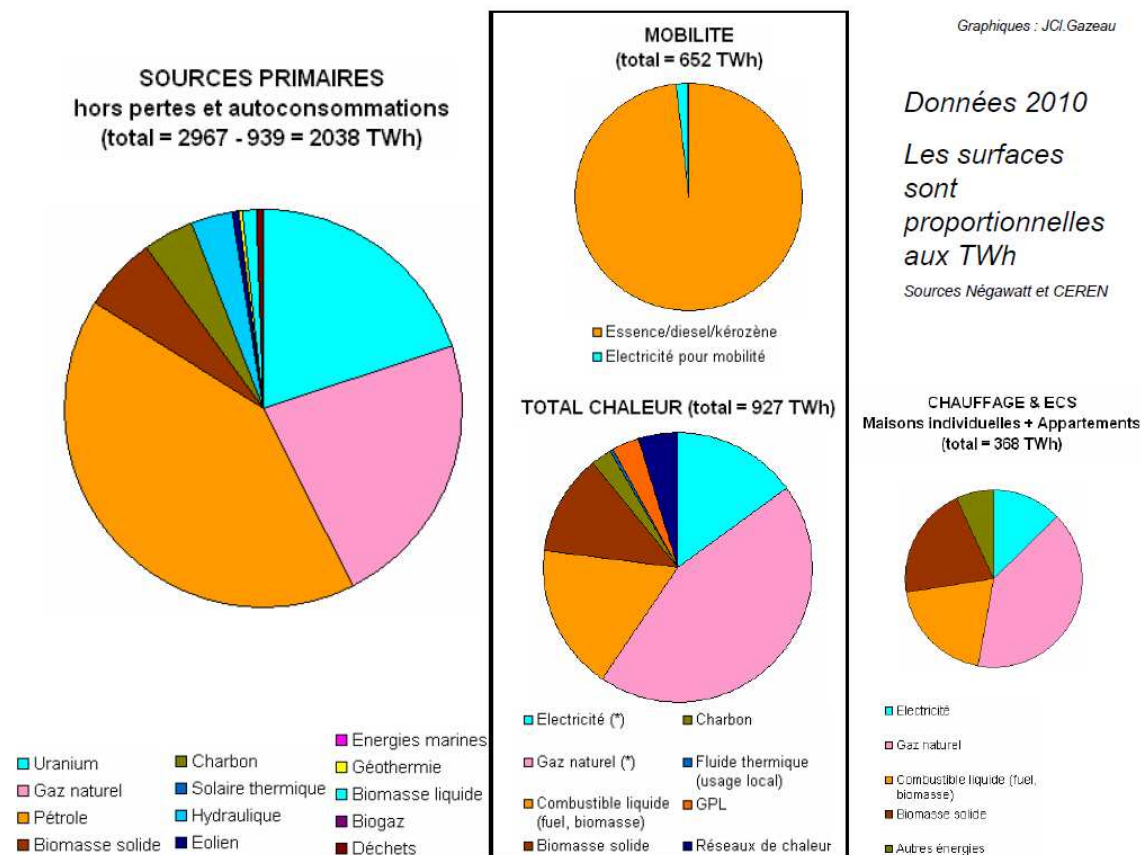
Schéma de la production et de l'utilisation de la chaleur

Schéma de la production et de l'utilisation de la CHALEUR



La mission a visualisé, à partir de la représentation détaillée depuis la production amont jusqu'à la consommation finale d'énergie (situation 2010 / *Négawatt*) et à partir des données

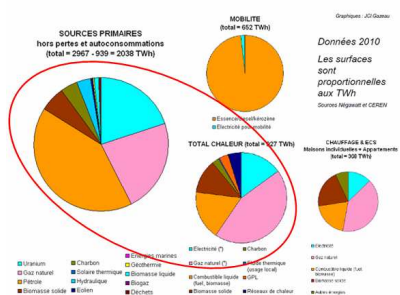
aval sur la consommation en chaleur des maisons individuelles (MI) et du petit collectif (données CEREN / graphique original figurant dans la partie « Energie et Bâtiment » du rapport), le bouquet d'énergies primaires avec en regard les consommations finales.



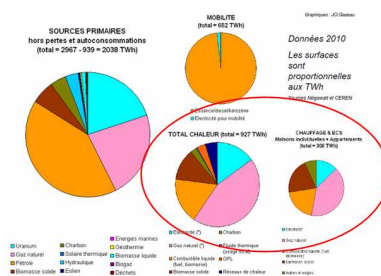
Remarque : 2038 TWh = 927 TWh + 652 TWh + 459 TWh (autres usages, industries..). Les 459 TWh ne figurent pas sur le schéma car hors sujet.

Cette visualisation « ramassée » est très édifiante. Le schéma (où les surfaces sont proportionnelles aux TWh) permet de comparer :

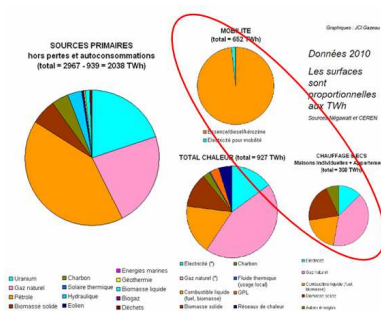
- entre l'amont et l'aval de la chaîne, la part de la chaleur (927 TWh) par rapport aux énergies primaires (hors pertes et autoconsommations) (2 038 TWh).



- à l'aval, la part dans la consommation de chaleur des maisons individuelles (MI) et du petit collectif (chauffage + ECS) représente 40 % de la consommation finale de chaleur (368 TWh/927 TWh)



- la consommation de chaleur (368 TWh) des maisons individuelles (MI) et du petit collectif par rapport à la consommation totale d'énergie en matière de mobilité (652 TWh) : 56 %



- lorsque l'on consomme 2 965 TWh d'énergie primaire, environ un tiers (978 TWh) est « perdu » essentiellement sous forme de chaleur (pertes de production et de transport) avant utilisation finale (électricité, transports, chauffage), ce qui pose la question d'une valorisation de ces pertes de transformation qui se font avec des rendements assez faibles parfois (34% pour la production d'électricité avec 450 TWh produits pour 1307 TWh d'énergie primaire mobilisée) ;
- l'utilisation pour le chauffage représente 927 TWh (48 % des 1 927 TWh de l'énergie finale), lesquels proviennent à 68 % directement des énergies fossiles (630 TWh) et à 15 % de l'électricité (139 TWh) ;
- La biomasse assure 115 TWh, soit 12 % des besoins de chaleur pour le chauffage ; la géothermie (6 TWh) et le solaire thermique (1TWh) couvrent ensemble moins de 1 % de ce besoin.

1.2.1 Place de la chaleur « renouvelable »

En résumé, la chaleur en France représente donc plus du tiers de la consommation d'énergie finale en France et elle est principalement produite à partir des énergies fossiles, fortement émettrices de gaz à effet de serre.

Les objectifs de la France sont d'augmenter la production de chaleur « renouvelable » de 10 Mtep à l'horizon 2020, dont 5,5 Mtep pour l'habitat collectif, le tertiaire, l'agriculture et l'industrie.

Une telle substitution de chaleur renouvelable à de la chaleur produite à partir d'énergie fossile contribue aux ambitions du Paquet européen climat-énergie qui impose à la France de porter sa part d'énergies renouvelables à 23 % de sa consommation nationale d'ici 2020.

23 % = $\Sigma \text{ EnR} / \Sigma \text{ Energies}$: on ne manquera pas de rappeler que le respect d'un pourcentage peut être obtenu en agissant sur le numérateur (substitution d'EnR à des énergies fossiles) ou sur le dénominateur (diminuer la consommation totale d'énergie)... Ainsi, à l'issue d'une rénovation thermique, lorsque la performance énergétique des bâtiments rénovés ou neufs est significativement améliorée (on agit sur le dénominateur), ou si elle est très élevée (bâtiments à très basse consommation), les besoins énergétiques résiduels peuvent être totalement, ou en très grande partie, couverts par des énergies renouvelables. L'enjeu est alors de dégager les éléments de choix les plus pertinents pour valoriser la forme de chaleur « renouvelable » la plus appropriée.

Remarque : plus la performance énergétique du bâtiment est élevée, plus le besoin de production d'eau chaude sanitaire (ECS) prend de l'importance sur le besoin de chauffage.

Toutes les considérations qui précèdent mettent en avant l'enjeu représenté, au titre de l'atteinte de nos objectifs 2020 et 2050, par la production et valorisation de la chaleur, par la promotion de la chaleur renouvelable et, en termes d'utilisation finale, la place éminente de la chaleur destinée au chauffage des bâtiments et à la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Comme pour la biomasse solide (bûches de bois ou granulés), le solaire thermique et la géothermie très basse température via les PAC offrent l'avantage de pouvoir être utilisés soit directement soit via des « micro » réseaux de chaleur à l'échelle d'un quartier, en mobilisant très peu d'électricité, voire pas du tout.

C'est ce qui a conduit la présente mission à partir **de la demande** (le besoin essentiel à satisfaire : chauffage et production d'eau chaude sanitaire) et à confronter cette demande à deux contraintes fortes :

- la nécessaire transition énergétique au niveau national,
- à l'échelle de chaque individu (maître d'ouvrage), la part croissante dans le budget des ménages de sa facture de gaz et d'électricité (quelle que soit la part de renouvelable dans le mix électrique).

La mission espère ainsi, sur la base de considérations très concrètes, un accès durable à une énergie calorifique à prix maîtrisés par l'utilisateur, et apporter des pistes pour contribuer à l'atteinte par l'État de ses engagements en matière d'efficacité énergétique faiblement émettrice en GES.

1.2.2 Solaire thermique et géothermie à très basse température

Parmi les énergies renouvelables, en terme de rendement et de large disponibilité sur le territoire national, la **chaleur solaire et la chaleur géothermique (basse température)** apparaissent très pertinentes pour un usage direct ou via une PAC²⁴ plutôt que de passer par une transformation totale en électricité par exemple.

²⁴ qui permet de récupérer 3 à 4 fois (du fait du Coefficient OP) l'énergie du process

En matière de géothermie, seule la géothermie de minime importance (i.e. à très basse température) est accessible aux particuliers, car dès que les investissements en géothermie deviennent importants (géothermie à haute et moyenne énergie) et complexes (dossiers d'autorisation avec études d'impact), les délais et les financements leur sont de fait inaccessibles, ce qui réserve ces derniers types de technologies aux territoires urbanisés denses dans le cadre d'une gestion par une collectivité locale au titre de ses compétences (PLU, PCET...) et de ses moyens (via opérateur délégué comme un syndicat mixte ou une SEM par exemple...).

Produite ou utilisée directement dans un faible rayon limitant les déperditions, la chaleur géothermique de faible profondeur (via des PAC) et la chaleur solaire thermique peuvent constituer de formidables ressources énergétiques :

- n'entraînant pas les faibles rendements de transformation en électricité restituée en énergie calorifique par effet joule,
- allégeant d'autant les réseaux de transports d'énergie (gaz et électricité),
- disponibles, s'agissant de la géothermie, à volonté et à la demande.

Mais ceci suppose de savoir gérer la maîtrise d'œuvre et la consistance des travaux.

Utilisées dans le bâtiment à des fins de chauffage ou de production d'ECS (eau chaude sanitaire), elles ne peuvent le plus souvent être mises en place que par au moins deux corps d'artisans : par exemple chauffagiste-foreur ou chauffagiste-couvreur. Or les foreurs (les artisans du sous-sol) et les artisans traditionnels du bâtiment travaillent très peu souvent ensemble et leurs savoirs-faire s'ignorent souvent mutuellement.

Contrairement aux panneaux photovoltaïques produisant de l'électricité, leur installation ne vient pas se plaquer sur l'existant pour générer de l'électricité, mais nécessite une reprise plus ou moins lourde de l'équipement sanitaire (installation d'une PAC en amont, etc.).

De plus la perspective d'un forage géothermique effraie souvent à l'échelle d'une seule unité d'habitation : la taille de la maille de territoire (l'îlot, le quartier) concernée par de tels équipements (en partant du logement individuel vers le petit collectif) est déterminée par la rentabilité de l'équipement. Mais mutualiser un équipement est perçu comme gage de complexité et de perte de maîtrise du projet.

La mission veut souligner que ce type de production de chaleur a pour atouts :

- que la production de chaleur décentralisée est, en veillant à calibrer au mieux la puissance requise avec la superficie des locaux à équiper, une manière d'alléger le circuit de production et distribution d'énergie avec peu de déperditions.
- que ce type de production de chaleur permet également de raisonner à l'échelle de petits ensembles d'habitation dans une logique d'optimisation de l'investissement de production d'énergie via l'adjonction de micro réseaux de chaleur (démarches HQE aménagement, par exemple).

On ne peut que regretter dès lors que ces deux énergies renouvelables soient peu ou insuffisamment connues du grand public.

1.2.3 Les énergies renouvelables au sein du mix énergétique. Place de la chaleur dans l'énergie finale consommée. Contribution aux objectifs 2020

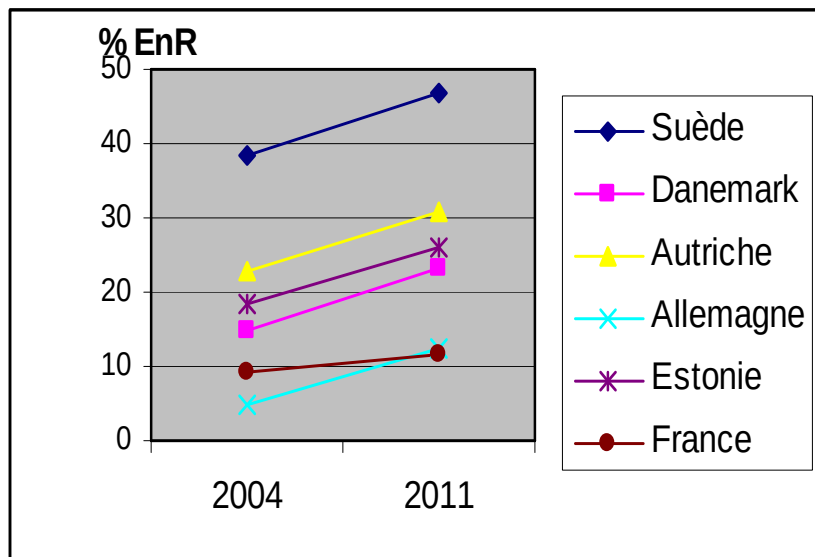
La volonté de mettre en œuvre une transition énergétique à même d'apporter des réponses durables à la crise climatique, au renchérissement des ressources pétrolières et au besoin d'un mix énergétique sûr et équilibré constitue l'un des engagements majeurs de la politique actuelle. Cette transition doit passer par le développement des énergies renouvelables et par un effort massif sur l'efficacité énergétique.

Selon leur nature, les énergies renouvelables peuvent produire 100 % électricité (éolien, PV), ou 100 % de chaleur (bois, solaire thermique, géothermie à chaleur directe ou à basse température via PAC) ou les deux (géothermie profonde, ...).

De 2004 à 2011, la contribution des énergies renouvelables (EnR) dans la consommation énergétique finale a augmenté dans tous les Etats membres de l'Union européenne (UE). Mais cette progression est lente : dans le mix européen de l'UE à 27, les EnR représentaient, en 2011, 13 % de la consommation finale brute d'énergie contre 12,1 % en 2010 et 7,9 % en 2004 (données Eurostat).

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Consommation en ktep		16030	16363	16892	18874	19983	21536	20643
% ENR dans la consommation brute finale	France	9,71	9,96	10,44	11,34	12,18	12,78	13,15
	UE	8,5	9	9,9	10,5	11,7	12,5	13,4

[Source : SOeS, Bilan énergétique de la France pour 2011]



Les plus fortes proportions d'EnR au sein de l'UE dans la consommation totale d'énergie en 2011 sont en Suède (46,8 %), en Lettonie (33,1 %) en Finlande (31,8 %), et en Autriche (30,9 %). Les plus faibles sont à Malte (0,4 %), au Luxembourg (2,9 %), au Royaume Uni (3,8%), en Belgique (4,1%) et aux Pays-Bas (4,3%). La France était à 11,5% en 2011 pour un objectif 2020 de 23 %.

En 2011, l'Estonie était le premier Etat-membre à atteindre son objectif national Europe 2020.

S'il a connu un essor notable au cours des dernières années, le secteur des énergies renouvelables est confronté actuellement à des défis importants. Selon l'état des lieux du développement des énergies renouvelables dressé par le SER (voir contributions de chaque filière pour l'atteinte des objectifs 2020 dans le tableau ci-dessous), **les objectifs intermédiaires pour 2012 en matière de chaleur renouvelable ne sont pas atteints : la progression par rapport à la situation fin 2005 devait être de 32 % et n'a été que de 22 %.**

	Situation fin 2005 (Mtep)	Situation fin 2012 (Mtep)	Objectif 2012 (Mtep)	Objectif 2020 (Mtep)
1. Chaleur	8,7	10,8	11,8	18,8
Bois domestique	6,5 5,8 M appareils	6,5 7,2 M appareils	6,5 7,3 M appareils	6,5 9 M appareils
Bois et déchets- collectif /tertiaire /industrie	1,8	3,2	3,5	9,1
Solaire thermique, PAC et géothermie	0,4	1,1	1,6	3,2
2. Electricité	5,6	7,6	8,2	12,4
Hydroélectricité	5,2	5,5	5,3	5,8
Biomasse dont biogaz	0,2	0,5	0,5	1,2
Eolien onshore	0,2	1,3	2,0	3,7
Eolien offshore			0,2	1,4
Solaire photovoltaïque et solaire thermodynamique		0,3	0,1	0,5
3. Biocarburants / Agrocarburants	0,7	2,8	2,8	4,0
TOTAL	15,01	20,8	22,7	35,2
<i>Source SER d'après SOeS</i>				

Etat des lieux du développement des énergies renouvelables dressé par le SER

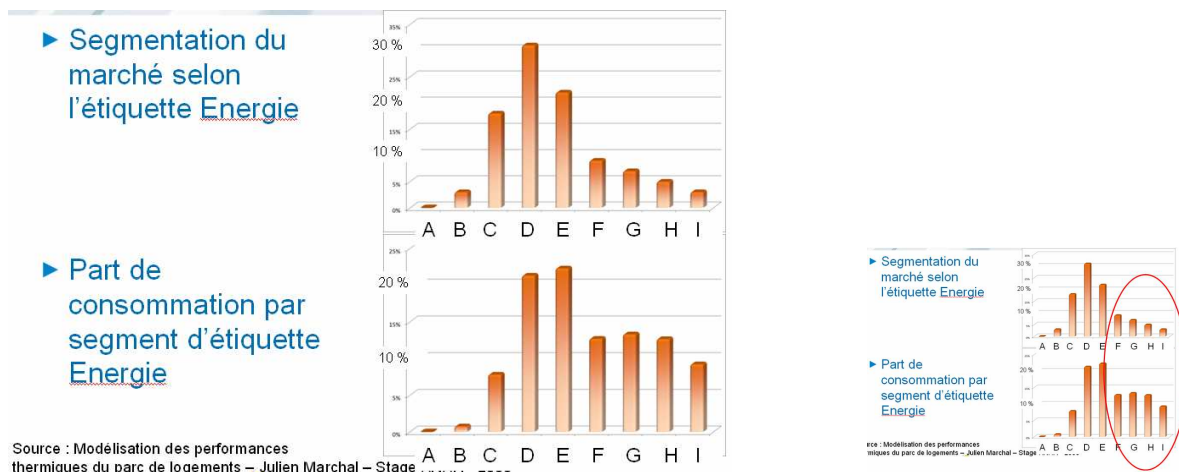
Les objectifs de la France sont d'augmenter la production de chaleur « renouvelable » de 10 Mtep de 2005 à 2020, dont 5,5 Mtep pour l'habitat collectif, le tertiaire, l'agriculture et l'industrie. La biomasse, la géothermie, le solaire thermique sont les sources d'énergie à développer, que ce soit en utilisation directe (par action sur les systèmes de chauffage), par substitution (comme le biogaz injecté dans le réseau de distribution de gaz naturel) ou à travers des réseaux de distribution de la chaleur, lorsqu'ils peuvent notamment valoriser un type de biomasse (déchets...).

La chaleur renouvelable a, plus que jamais, besoin dès aujourd'hui d'un soutien renforcé jusqu'à l'horizon 2020. Une récente étude menée par la banque allemande KfW estime que pour chaque euro d'aide consacré à la rénovation thermique et aux EnR, l'État récupérerait entre 2 et 4 euros sous forme d'impôt et de coût évité du chômage à travers le seul accroissement d'activité.

[Source : Alliance Chaleur renouvelable, juin 2013]

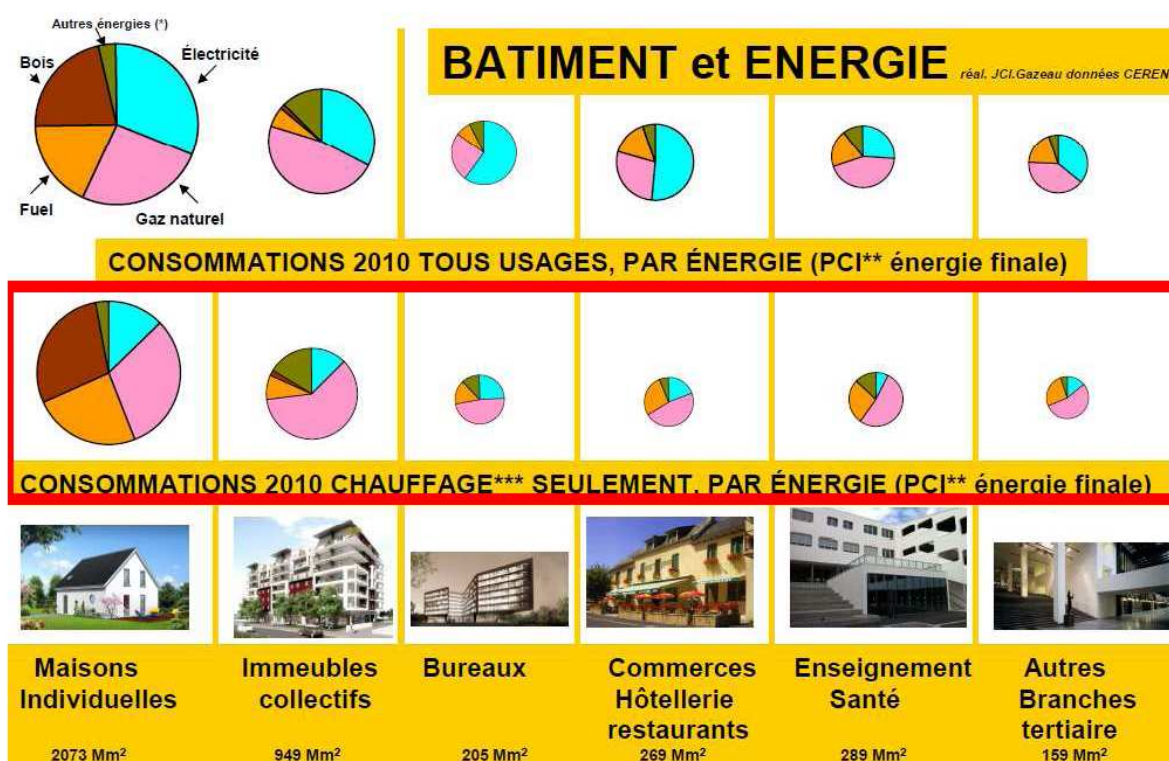
1.2.4 La place prépondérante du chauffage et de l'eau chaude sanitaire (ECS)

Parmi les utilisations finales de l'énergie, la production de chaleur pour le chauffage des locaux en représente près de la moitié du total de l'énergie finale (48 %).



Une étude faite par l'ANAH montre, en prenant en compte dans les deux graphiques ci-dessus les consommations énergétiques ramenées à chaque étiquette énergie, que globalement les catégories F G H I (voir encadré ci-dessous) représentent un faible pourcentage du parc immobilier mais une part très importante des consommations d'énergie : à eux quatre ils vont représenter près à 50 % de la consommation énergétique globale.

Les postes chauffage et eau chaude sanitaire des bâtiments à usage de logement constituent une part essentielle de la consommation d'énergie tous usages : 51 % de la consommation totale 2010 de l'ensemble des bâtiments (résidentiel + tertiaire).



(*) dans le résidentiel, les autres énergies sont le GPL, le charbon et l'urbain

(**) dans le tertiaire, les autres énergies sont le GPL, le charbon, l'urbain et le bois

(**) PCI = pouvoir calorifique inférieur # 0,9 PCS pour le gaz (on exclut énergie qui a servi à vaporiser l'eau lors de la combustion)

(***) ces consommations comprennent le chauffage de base ainsi que l'appoint, que le chauffage soit assuré par chauffage central ou par appareil indépendant ; dans le résidentiel, ces consommations comprennent aussi la production d'eau chaude sanitaire lorsque l'eau chaude est fournie par le chauffage central

1.3 Les facteurs de décision du particulier lors du choix pour produire de la chaleur dans son logement

Le champ du logement individuel et du « petit collectif » est marqué par son caractère extrêmement diffus (et l'« atomisation » des décisions le concernant) et par un degré de « proximité » très élevé en matière de prise de décision d'investissement.

Plusieurs représentations mentales orientent la perception de l'opinion publique et le raisonnement des décideurs publics :

- « Circuits courts » : si la chaleur souffre du handicap de très mal se prêter au transport, en revanche elle peut être produite presque partout. En termes de rendement, elle peut être souvent utilisée directement sans recours à un vecteur énergétique intermédiaire via une transformation en énergie mécanique ou en électricité ;
- « Énergie = Électricité » : l'opinion publique assimile souvent étroitement énergie et électricité ;
- En matière d'énergies renouvelables, l'opinion publique citera l'éolien, les panneaux solaires photovoltaïques et le bois, alors que l'éolien ne vient, dans les faits, que compléter une production d'électricité²⁵ qui est centralisée ;
- Le « plug and play » revêt une attractivité indéniable : ainsi l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques peut se consommer sans générer des branchements complexes (« plug and play »), sans remettre en cause nos modes actuels de consommation d'énergie²⁶ et sans imposer de devoir reprendre notablement les installations existantes (réseaux de distribution par exemple).

Le particulier « décideur » (individuel ou petit collectif) doit chercher à raisonner à la fois :

- sur la chaleur qu'il est capable de produire (pompes à chaleur, géothermie de très faible profondeur, solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire, chauffage d'appoint/chauffage « à basse température », ...), parfois en combinant plusieurs technologies simultanément,
- sur la manière de réduire sa consommation de chaleur : bâtiments thermiques passifs, « smart grids » et autres auxiliaires de gestion de la régulation thermique (dont la ventilation thermique à double flux, etc.).

Un élément essentiel avant de choisir une solution pour disposer de chaleur pour le chauffage et l'ECS est en effet :

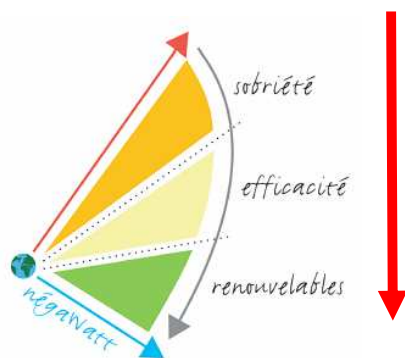
- d'avoir amélioré l'isolation passive (l'enveloppe) de son logement pour limiter les déperditions ;
- d'avoir « actualisé » ses besoins en puissance calorifique une fois prise en compte l'isolation améliorée du logement (donc moins de pertes de chaleur) et après avoir bien apprécié ses besoins.

Au plan pédagogique, il est utile de rappeler à cet égard le désormais très classique (2001) « triptyque Négawatt » partant des usages et non des ressources énergétiques susceptibles de

²⁵ Dans le cas présent on n'allège pas l'encombrement du réseau de transport allant de l'énergie primaire à l'énergie utile en valorisant une consommation de proximité du lieu de production de l'énergie.

²⁶ Sans compter sur l'effet pervers que représente l'attrait d'une revente de l'électricité produite à un prix très avantageux.

les satisfaire : nous avons besoin de nous chauffer, de nous éclairer et/ou de nous déplacer. Il importe d'appliquer une démarche en trois temps pour trouver les moyens les plus « soutenables » de satisfaire nos besoins de services énergétiques :



- la **sobriété**, tout d'abord, qui consiste à interroger nos besoins puis agir à travers les comportements individuels et l'organisation collective sur nos différents usages de l'énergie, pour privilégier les plus utiles, restreindre les plus extravagants et supprimer les plus nuisibles ;
- l'**efficacité** ensuite, qui consiste à agir, essentiellement par les choix techniques en remontant de l'utilisation jusqu'à la production, sur la quantité d'énergie nécessaire pour satisfaire un service énergétique donné ;
- le recours aux **énergies renouvelables**, enfin, qui permet, pour un besoin de production donné, d'augmenter la part de services énergétiques satisfaite par les énergies les moins polluantes et les plus soutenables.

Retenons de ce rappel que la satisfaction de besoins de chauffage et d'ECS ne doit pas être systématiquement assimilée à une consommation additionnelle d'énergie. Un besoin avéré peut se substituer à d'autres besoins et donc ne pas générer d'augmentation de consommation d'énergie : toutes les formes d'économie d'énergie, et d'adaptation des modes de vie, sont à considérer.

Une fois convaincu de l'intérêt d'investir pour « rénover son chauffage » et en supposant une absence de contraintes de situation limitant les possibilités offertes, le propriétaire d'une maison individuelle ou le copropriétaire dans un petit immeuble collectif doit ainsi, souvent livré à lui-même, décider entre de nombreuses options de son futur mode de chauffage (et éventuellement de climatisation). Les alternatives portent à la fois sur le choix de l'énergie, le type d'équipement (en complément de l'installation existante ou en substitution de celle-ci), le degré de sophistication de l'équipement choisi et bien sûr le choix du ou des artisans (groupement momentané d'artisans) qui installeront l'équipement.

Pour un particulier, chacun de ces éléments est un obstacle à franchir. Et les conseils gratuits ou démarchages sont rarement « totalement » objectifs ou exhaustifs.

Entrent simultanément en jeu dans la décision du particulier plusieurs éléments :

- de culture et de sensibilité personnelle, qui le motivent pour entamer une démarche d'information puis de réflexion,
- d'« accessibilité » au financement, pour des montants à la fois apparemment modestes mais en fait conséquents pour un particulier, tout en tenant compte des aides et incitations existantes,
- de complexité du chantier à entreprendre : le particulier, en sa qualité de maître d'ouvrage, devra sélectionner et faire intervenir plusieurs corps de métier (le couvreur et le plombier, le foreur et le chauffagiste par exemple) en recherchant de préférence des artisans locaux mais souvent peu habitués à intervenir de concert pour un chantier modeste.

Les photos qui suivent illustrent quelques phases de chantiers (lotissement neuf et rénovation).

PHASE DE FORAGE

2 ateliers de FORAGE MANNFOR

Camion Grue
Compresseur d'air
Tubes de forage
Tiges de forage
Récupérateur de
Cutting
Benne à Cutting



Remarque : la photo ci-dessus concerne dans un lotissement neuf la réalisation d'un doublet géothermique commun à deux maisons individuelles

Sondes géothermiques verticales

Selon la norme NF X 10 960

C'est un échangeur
géothermique vertical en U
dans lequel circule un liquide
caloporteur en circuit fermé.

Généralement
en PEHD
PN 16 bar



Pose d'un doublet de sondes géothermiques verticales

Pose d'une SGV avec sa
potence de guidage

Pose à la main « sans forcer »

SGV marquée tous les mètres
Test en Pression
Test en Circulation



Source MANNFOR SARL

On renouvelle son installation de chauffage deux ou trois fois dans sa vie. C'est dire combien ces rendez-vous avec les « technologies » du moment doivent être réussis, chaque particulier « débarquant » et devant brutalement s'investir dans des domaines qui lui sont souvent étrangers et dont il n'a pas suivi les évolutions au fil des années.

Dans ce parcours d'obstacles, la géothermie de faible profondeur et le solaire thermique figurent rarement dans la palette de choix qui s'offrent immédiatement au particulier. De multiples raisons expliquent cette absence :

- 1/ on considère souvent de manière indifférenciée tout ce qui est « le solaire » et de même tout ce qui est « la géothermie » : le solaire thermique et la chaleur géothermique se trouvent ainsi totalement dénaturés. C'est le syndrome « grand frère (PV, géothermie profonde) / petit frère (solaire thermique, géothermie très basse température) »,
- 2/ ces filières sont faiblement représentées à un niveau local de proximité suffisant pour supporter la comparaison avec la puissance de la communication soutenue des énergéticiens « historiques »,
- 3/ une attitude de prudence subsiste vis-à-vis de technologies peu répandues, *a priori* plus complexes et que peu d'artisans locaux pratiquent et peuvent conseiller d'entrée de jeu.

Détail du récupérateur
des résidus de forage.

Chantier propre en
NEUF comme en
RENOVATION.



Source MANNFOR SARL

PHASE DE RACCORDEMENT

Forages géothermiques
terminés.

Chantier propre, rapide,
sans aucune dégradation.

Applicable en Neuf ou
Rénovation.

Chantiers Individuel ou
Collectif (Champs de SGV)



Source MANNFOR SARL

Chauffer un bâtiment est aujourd'hui un système assez complexe où interagissent à la fois l'enveloppe du bâtiment, ses équipements et ses occupants : il faut aborder la question du bâtiment de façon globale.

La question est alors de rechercher les dispensateurs de bons conseils (ADEME, services instructeurs pour des aides diverses, point d'information grand public,...etc.) et de trouver des études d'ingénierie afin de s'en inspirer pour arrêter son choix et dimensionner son installation.

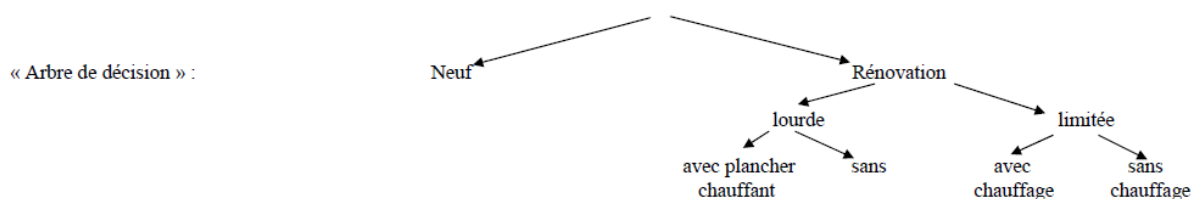
Idéalement, le particulier « averti » cherchera à raisonner à la fois :

- sur la manière de réduire sa consommation de chaleur : bâtiments thermiques passifs, « smart grids » et autres auxiliaires de gestion de la régulation thermique (dont la ventilation thermique à double flux, etc.) ; **sans oublier le « bon sens »...**

- sur la production de chaleur qu'il est capable de générer (pompes à chaleur, solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire, chauffage d'appoint/chauffage « à basse température », géothermie de très faible profondeur...), parfois en combinant plusieurs technologies simultanément.

La question est alors de renforcer la place des conseils (ADEME, services instructeurs pour des aides diverses, point d'information grand public,...etc.) et des études d'ingénierie pour arrêter leur choix et dimensionner leur installation.

Il est possible de mettre en évidence un « arbre de décision » en la matière :



	Climatisation / Confort d'été	Chaleur dans immobilier neuf			Chaleur dans immobilier en rénovation			
		Lotissement MI	Immeuble collectif	Maison individuelle	Rénovation importante (dont isolation poussée)		Rénovation limitée à :	
					Avec plancher chauffant	Sans plancher chauffant	Chauffage +/- ECS	ECS seulement
Géothermie de très faible profondeur	Adaptée (mais pas de production de froid sans une technologie supplémentaire)	A concevoir en réseau de chaleur		Investissement approprié		Circuit de chauffage à adapter et à concevoir avec chaudière d'appoint de puissance		Inapproprié
Chauffage solaire thermique (insuffisant seul, le plus souvent)	Nécessite un investissement supplémentaire (technologies : compression, absorption, adsorption)	A concevoir comme un appoint sur un réseau de chaleur	A concevoir comme une base basse température + appoint en crête		Inapproprié			
ECS solaire thermique		A systématiser (centrale de production + distribution en réseau dédié ECS)		A systématiser (+ prévoir un relais ECS parfois)				
PAC eau-eau	Adapté si PAC réversible	Base à basse température + toutes formes de chauffage d'appoint en crête				Prévoir une chaudière d'appoint de puissance		Inapproprié
PAC eau-air		Inapproprié	Investissement approprié	Inapproprié	Inapproprié			
PAC air-air			Rarement seule source de chaleur (sauf BBC et HOE)			Sert d'appoint seulement à la base de chauffage retenue		

1.4 Périmètre et objectifs de la mission

On mesure à la lecture des précédents paragraphes les multiples barrières « culturelles » à franchir pour inciter tout particulier à penser autrement que le « plug and play » du « tout électrique » auquel des décennies l'ont culturellement habitué, même si l'électricité a évidemment toute sa place dans les solutions à comparer.

Ainsi solaire thermique et géothermie à basse température ont à cet égard plusieurs points communs : bien que possédant de très grandes qualités (main-d'œuvre locale peu délocalisable, excellent rendement énergétique, pas de surcharge des réseaux de transport d'énergie ni d'obligation de rachat, etc.), ces deux énergies restent injustement méconnues, souvent respectivement confondues avec le solaire photovoltaïque (et ses panneaux

d'importation lointaine) et avec la géothermie profonde à chaleur directe ou destinée à produire de l'électricité ; bien plus, elles figurent rarement dans l'éventail de solutions proposées à un (ou des) particuliers désirant rénover thermiquement son (leurs) logement(s), pénalisées par une réputation de coût d'investissement sensiblement supérieur et le peu d'artisans qualifiés.

La présence ou l'opportunité d'un réseau de chaleur peut être un facteur de sensibilisation. Un apport collectif de chaleur géothermique ou solaire via un micro réseau de chaleur peut être une excellente solution tant au plan économique que de la fiabilité de l'installation.

La prise en compte par un particulier d'un réseau de chaleur peut ainsi résulter de deux cas de figures :

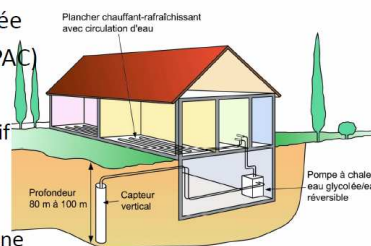
- un réseau de chaleur existe sous la voirie publique (au sens grand réseau de transport alimenté soit par des énergies fossiles soit par des EnR : chaufferies bois, etc.) à proximité immédiate et les conditions de raccordement sont maîtrisées par l'exploitant du réseau ;
- il n'existe pas de réseau, mais il apparaît opportun de créer localement « un micro-réseau » de chaleur de desserte d'un îlot (lotissement, immeuble, petits commerces,...) pour distribuer la chaleur auto-produite. L'installation justifie en général le recours à un bureau d'études techniques. Mais là aussi, le particulier a souvent une propension culturelle à privilégier une solution autonome : disposer de sa propre chaudière comme équipement indissociable de sa maison.

Ces éléments permettent de mieux cerner le périmètre d'analyse de la mission qui s'attachera à dégager une logique « bottom up » pour constituer un « package » économiquement et techniquement supportable. Les cas de figure possibles, tant du côté de la maîtrise d'ouvrage diffuse que du côté de l'installation à préconiser, sont extrêmement nombreux : un travail souhaitable, pour offrir des aides à la décision, serait de faire une sélection afin de valoriser les réponses les plus exemplaires.

PAC avec capteurs verticaux

Sondes géothermiques

- PAC liquide caloporteur / eau en LT
- Liquide antigel : eau glycolée
- Appoint possible selon P (PAC)
- Implantation
 - Habitat individuel, collectif
 - Ou tertiaire
- Tubes PEHD
 - 2 x U ou chambre commune
- Réversibilité autorisée voire préconisée



Source : COSTIC

La mission s'intéressera ainsi :

- côté demande, aux maisons individuelles et aux petits immeubles collectifs, ce qui, dans les faits couvre un très large spectre du parc français de bâtiment ;
- côté offre, à la réponse adaptée que peut constituer la chaleur produite à partir de la géothermie de basse température et de faible profondeur et à partir de l'énergie solaire.

La mission ne traitera pas de la biomasse qui ressort de logiques de chaînes de production différentes et fait l'objet régulièrement de nombreuses monographies.

Au moment où il importe d'orienter stratégiquement le développement des filières pour en tirer tout le parti, des recommandations opérationnelles sont établies, en cohérence avec le débat national sur la transition énergétique, qui incluent les dimensions R&D.

La mission poursuit ainsi les objectifs suivants :

- mettre en lumière l'intérêt des deux énergies sur le plan environnemental et économique,
- identifier les principaux freins,
- proposer des mesures (recherche, organisationnelle, fiscale,..) pour développer les filières.

2. DEUXIEME PARTIE : TECHNOLOGIES DISPONIBLES ET INNOVANTES EN MATIERE DE SOLAIRE THERMIQUE ET DE GEOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

2.1 Aspects techniques et marchés

2.1.1 La chaleur géothermique

Les calories dans le sol
(Extrait des valeurs Norme NF X10-970)

Type de terrain	Puissance Spécifique Extraite	
	pour 1800 h/an (W/m)	pour 2400 H/an (W/m)
Graviers et sables secs	< 25	< 20
Graviers et sables saturés en eau	65 à 80	55 à 65
Argile humide	35 à 50	30 à 40
Calcaire massif	55 à 70	45 à 60
Grès	65 à 80	55 à 65
Granite	65 à 85	55 à 70
Basalte	40 à 65	35 à 55
Gneiss	70 à 85	60 à 70

REMARQUE : QUALIPAC fixe une valeur d'extraction de 50 W/m de SGV
(W/m de SGV = W par mètre linéaire de sonde géothermique verticale)

Même si la géothermie est connue depuis longtemps, son exploitation industrielle pour le chauffage date du XXème siècle. C'est en 1930, à Reykjavik (Islande), que l'on voit apparaître le premier réseau de chauffage urbain.

Avantages et inconvénients des géothermies

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
• La géothermie de profondeur dépend peu des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). • C'est une source d'énergie quasi-continue, et inépuisable le plus souvent : les gisements ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 80 ans en moyenne). • C'est une énergie relativement propre en fonction des techniques utilisées.	• Les sites de forages diffèrent en fonction du type de terrain et un forage reste une opération délicate. • Aléas liés au sous-sol²⁷. • Coût de l'investissement initial légèrement plus élevé.

En 2005, plus de 70 pays déclaraient utiliser la géothermie pour produire de la chaleur.

Les principaux pays producteurs sont la Chine, l'ex-URSS, les pays d'Europe centrale et orientale et les Etats-Unis. La France dispose aujourd'hui de 40 installations dédiées au chauffage urbain, pour la majorité réalisées dans les années 1980, permettent de chauffer près de 200 000 équivalent-logements (dont 150 000 en région parisienne, essentiellement à chaleur directe dans le Dogger). La géothermie se développe : en 2008, près de 19 500 nouvelles pompes à chaleur ont été vendues en France. On estime actuellement que près de 122 000 maisons individuelles sont chauffées grâce à l'énergie du sol.

Données scientifiques

Le gradient géothermal : l'accroissement de la température en fonction de la profondeur est appelé « gradient géothermal ». Il est en moyenne, sur la planète, de 3,3°C par 100 mètres, le flux d'énergie thermique à l'origine de ce gradient étant de l'ordre de 60 mW/m². Mais ces valeurs peuvent être nettement supérieures dans certaines zones instables du globe, et même varier de façon importante dans les zones continentales stables. Ainsi, **le gradient géothermal est en moyenne de 4° tous les 100 m en France**, et varie de 10°C / 100 m dans le nord de l'Alsace à seulement 2°C / 100 m au pied des Pyrénées.

Les fluctuations saisonnières s'atténuent et se déphasent avec la profondeur. La température est quasi-constante à une dizaine de mètres.

L'**énergie géothermique** est l'énergie obtenue à partir de la chaleur des profondeurs de la terre elle-même.

Données juridiques

²⁷ Le cas pathologique de Lochwiller en Alsace (le risque de tels incidents est extrêmement faible : voir détail en annexe) : en 2011, des désordres sont apparus dans le village de Lochwiller (Bas-Rhin) : déformations du sol, fissuration des chaussées et d'édifices.

Au sens du Code minier (voir détail au paragraphe 4.1.1), deux types d'exploitations géothermiques sont distingués : **les gîtes à « haute température »** (supérieure à 150°C) et **les gîtes à « basse température »** (inférieure à 150°C)²⁸.

Les opérations à basse température sont soumises à un titre spécifique du code minier (le titre V) qui institue une procédure plus simple que celle établie par les titres II et III qui régissent la géothermie à haute température.

On distingue (fin 2013) :

1. les opérations basse température (régime normal) ;
2. **les opérations basse température de minime importance (régime dérogatoire) (article 17 du décret 78-498) caractérisée par des prélèvements de chaleur souterraine dont le débit calorifique maximal est inférieur à 230 kW par heure et dont la profondeur est inférieure à 100 mètres.**
- 3.

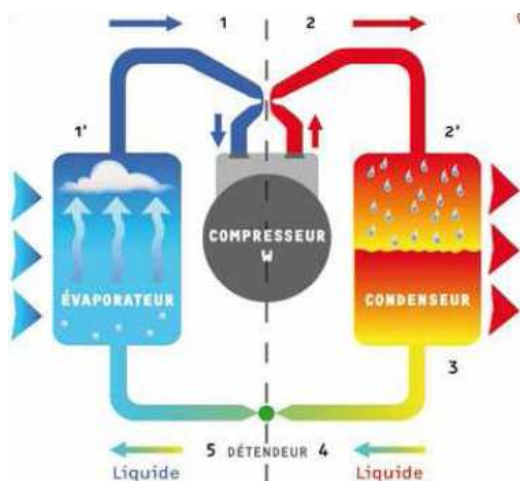
La **géothermie de minime importance** ne permet pas, dans la plupart des cas, une utilisation directe de la chaleur par simple échange. Elle nécessite donc la mise en œuvre de pompes à chaleur (dispositif de production de chaleur) qui prélèvent cette énergie à basse température pour l'augmenter à une température suffisante pour le chauffage d'habitations par exemple (dispositif de distribution et d'émission).

Cette opération requiert un peu d'énergie électrique et l'utilisation d'un fluide frigorigène dont le changement d'état (vapeur ou liquide) permet de transférer les calories captées dans le sous-sol vers les logements. Ainsi, une pompe à chaleur qui assure 100 % des besoins de chauffage d'un logement consomme seulement 30 % d'énergie électrique, les 70 % restants étant puisés dans le milieu extérieur.

Cycle enthalpique de la pompe à chaleur (PAC)

SOL & SOUS-SOL

LOGEMENT



Cycle enthalpique de la PAC : La chaleur prélevée au niveau de l'environnement (sol, eau,...) est captée par le fluide frigorigène (à faible point d'ébullition) au niveau de l'évaporateur. Le fluide change d'état et se transforme en vapeur. Le compresseur comprime

²⁸ Température mesurée à la surface du sol au cours des forages d'exploration.

cette vapeur, augmentant ainsi sa température. C'est au niveau du condenseur que la vapeur, en se condensant, transmet sa chaleur au milieu à chauffer. La température de ce dernier s'abaisse fortement, le rendant prêt pour une nouvelle absorption de chaleur et le cycle peut recommencer.

La géothermie très basse énergie concerne l'exploitation de deux types de ressources :

- l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines de mètres ;
- l'énergie puisée dans les aquifères qui s'y trouvent.

➡ Le cas des systèmes échangeurs dans les structures (pieux, parois moulées...) : les géostructures énergétiques

Présentation

Les pieux et autres structures géothermiques sont employés pour le chauffage et la climatisation des bâtiments, en association avec une pompe à chaleur. On utilise le fait que la température du sol est quasi-constante (10 à 15° C) entre 10 et 50 m de profondeur. Les pieux sont en béton armé incorporent un tube échangeur de chaleur en U, accroché au ferrailage.

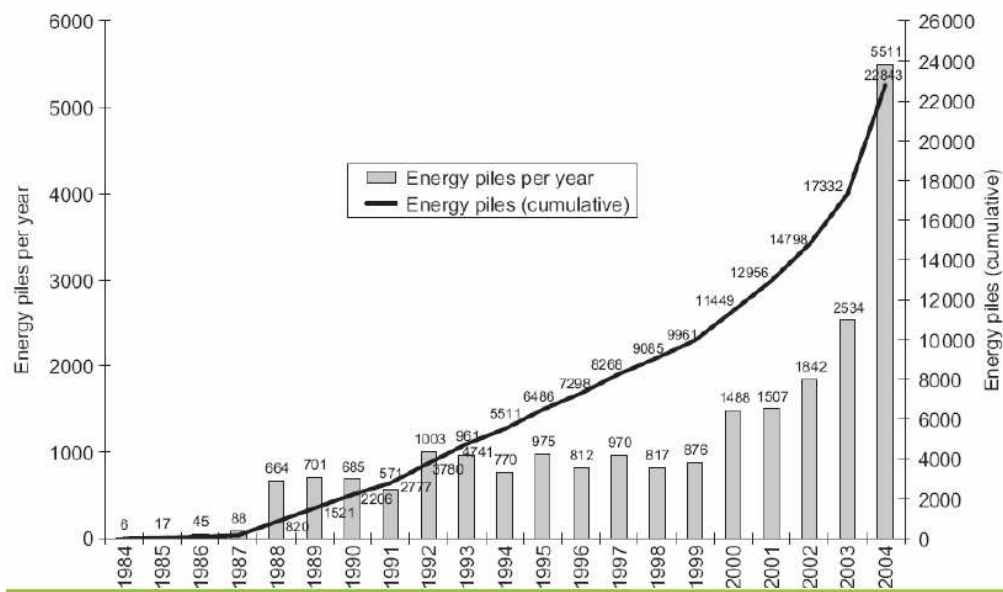


- ⚡ Les fondations thermoactives permettent de transformer une contrainte structurelle en atout de développement durable ;
- ⚡ Optimum d'utilisation de la géothermie se trouve en mode chauffage l'hiver et free-cooling l'été ;
- ⚡ Solution pour atteindre des performances énergétiques exceptionnelles (BBC, BEPOS,...)

En Europe depuis plus de 30 ans...



Il y a de nombreuses réalisations à l'étranger notamment en Autriche (plus de 22 000 pieux géothermiques réalisés, voir graphique ci-dessous).



Réf : Brandl, H. (2006). Géotechnique 56, No. 2, 81–122

Trois exemples pris chez nos voisins :

- Terminal Est de l'aéroport de Zürich (chauffage et climatisation) : Le sous-sol de l'aéroport est formé par d'anciens fonds lacustres sur une moraine. Les fondations ont consisté en 440 pieux de gros diamètre (90 à 150 cm) longs de 30 mètres. 300 pieux sont utilisés en pieux énergétiques permettant d'obtenir un

chauffage (avec un appoint calorifique) par PAC couplées sur les pieux et un refroidissement direct (géocooling) sur les pieux (avec appoint).

- Centre scolaire de Fully-en-Valais (chauffage et climatisation) : 41 pieux équipés, longs de 23 m.
- Bureaux de la Norddeutsche Landesbank à Hanovre (chauffage et climatisation) : 122 pieux équipés, longs d'une vingtaine de mètres.

En France, on est beaucoup plus timide. On citera à titre d'exemple :

- Un programme en 2011 de 23 logements sociaux à Limay (Yvelines), avec 56 pieux échangeurs de chaleur, de 13 m de long ;
- Le centre de maintenance des tramways à Tours : 54 pieux thermo-actifs, de 15 m de long (ATEX du CSTB) ;
- Le gymnase Jean Giraudoux à Châteauroux, en 2010 : 37 pieux géothermiques ;



- un parc de stationnement souterrain Vinci à Neuilly/Seine, en 2009 : tubes échangeurs dans le radier, sur 560 m² (ATEX du CSTB).



- le deuxième collège de la ville d'Achères

En construction, le deuxième collège de la ville d'Achères, dans les Yvelines, reposera sur 84 pieux énergétiques. C'est la deuxième réalisation pour la société depuis l'obtention officielle, début 2013, d'un avis technique pour ce concept inventé par l'autrichien Enercret dont elle est partenaire. Très répandue en Europe, la technique n'a fait l'objet que d'une dizaine de réalisations en France (ATEX obtenue en 2009) [...] En hiver, le système distribue ces calories dans le bâtiment. En été, il les restitue au sol en refroidissant les locaux. Une chaudière d'appoint est nécessaire pour les périodes les plus froides. « A Achères ce captage géothermique couvrira 69 % des besoins en chauffage et eau chaude et 86 % de ceux en rafraîchissement. En moyenne le retour sur investissement s'effectue en quinze ans, sans compter les subventions du Fonds chaleur »

Environnement Magazine sept 2013

Des projets de recherche depuis quelques années

Le projet **COFOGE**²⁹ (Conception de fondations géothermiques), financé par l'Ademe et piloté par le CSTB, a donné lieu à un rapport en septembre 2007, qui décrit les techniques, les critères d'implantation, les exigences réglementaires, les méthodes de dimensionnement thermique, et effectue une analyse technico-économique de quelques projets-types. Il conclut par des recommandations pour la réalisation de bâtiments avec fondations géothermiques, en présentant des critères de sélection de sites favorables (notamment les sites où la nappe souterraine s'écoule avec une vitesse suffisante pour rendre inutile une recharge thermique) et en fournissant quelques ordres de grandeur (1m de pieu échangeur permet de chauffer environ 2 m² de plancher).

En Suisse, l'École Polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a mené ces dernières années d'importants travaux de recherche sur l'effet de la température sur les sols.

Le projet ANR « **GECKO** » (GEostructures, Couplage solaire hybride et stockage Optimisé : solution pour bâtiments à énergie positive), lancé en 2011 pour trois ans, s'intéresse au couplage entre fondations thermo-actives et des panneaux solaires hybrides (photovoltaïque et thermique en simultané). Il est coordonné par la société Ecome et regroupe l'IFSTTAR, le BRGM, deux laboratoires universitaires à Lille et Nancy, ainsi que l'EPFL.

Les freins au développement

Le béton des pieux est soumis à des cycles de dilatation/contraction, ce qui peut engendrer des déplacements en tête de pieu et des modifications de la répartition des efforts dans le pieu ; l'interface avec le sol pourrait en être affectée, réduisant la capacité portante de la structure. S'il semble que les caractéristiques intrinsèques des sols soient peu affectées dans l'intervalle de température habituel d'exploitation (0 à 40°C), la justification de la portance d'un pieu sous sollicitation cyclique est effectivement plus compliquée.

Les déplacements en tête des pieux géothermiques peuvent induire des efforts dans les structures portées. Il semble néanmoins que très généralement, par comparaison avec les

²⁹

Références :CSTB (2007). COFOGE – Conception de fondations géothermiques – Rapport final. 168 p.

Habert J., Burlon S. (2012). Éléments sur le comportement mécanique des fondations géothermiques. JNGG 2012, tome 2, p. 617-624.

tassements différentiels acceptables, cet effet ne soit pas dimensionnant. En revanche, les variations de contrainte dans le pieu, de mobilisation du frottement latéral ou de l'effort de pointe sont à étudier.

Les règlements actuels de dimensionnement des fondations profondes ne prévoient pas ce cas de charge, il n'y a pas de norme et les bureaux de contrôle sont fortement réticents, ce qui entraîne des difficultés de couverture par les assurances.

Un autre frein au développement de cette technologie est la complexité du chantier : la réalisation de pieux avec l'insertion d'une sonde au milieu des armatures est délicate et il faut faire travailler ensemble géotechniciens et thermiciens. Les grandes entreprises de TP hésitent à se lancer en France.

Le CSTB a déjà délivré :

- deux Atex (attestation technique d'expérimentation) en 2009 et 2011, sur les fondations et les radiers géothermiques,
- un Avis technique en 2013 sur le procédé GEOPRO, proposé par la société ECOME, relatif à des fondations thermo-actives : l'appréciation globale est favorable, sous réserve de respecter quelques dispositions assez classiques.

Le cas des pieux et des semelles filantes géothermiques suppose donc d'approfondir la connaissance et l'expertise pour promouvoir leur usage dans la conception des bâtiments neufs, ce qui ne pourra être acquis que par une accumulation de « retours d'expériences » et le développement d'un corpus normatif.

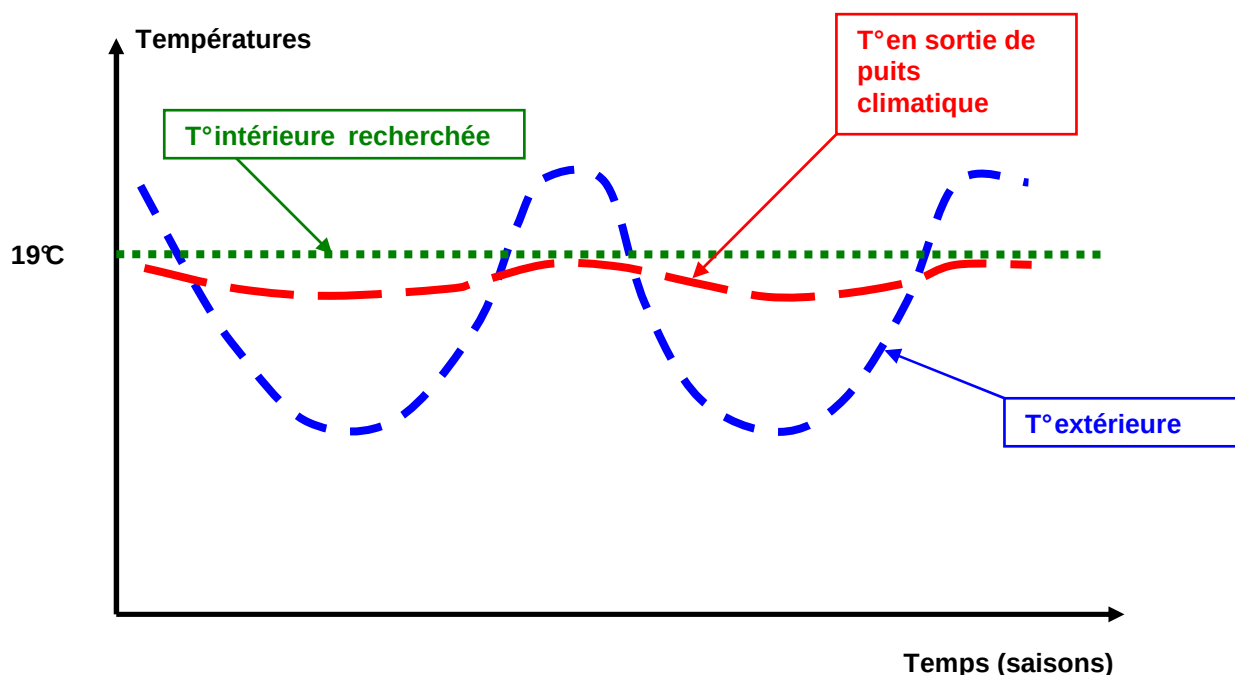
RECOMMANDATION n°1 (Pieux géothermiques)

<i>La mission recommande :</i>
<i>D'étudier la faisabilité, en cas de réalisation de fondations profondes (dont les semelles filantes et les dalles de parkings) de l'insertion dans les structures d'un captage géothermique de chaleur à basse énergie, et de développer un corpus normatif pour leur dimensionnement.</i>

Le cas des puits climatiques (« puits canadien » ou « puits provençal »)

Cette technologie ancestrale consiste à utiliser l'inertie thermique du sol et le différentiel de température que cela représente tant en été qu'en hiver : la température du sol fluctue assez peu en profondeur, ce qui permet d'admettre dans les locaux un air extérieur réchauffé en hiver ou rafraîchi en été.

Principe de fonctionnement :



Les installations mises en place sont simples et robustes (durée de vie estimée de 50 ans). La technique consiste à enterrer à 2 m environ de profondeur une longueur suffisante de tuyaux (d'un diamètre allant de 150 à 500 mm), en PVC par exemple ou en fonte ductile (procédé Saint Gobain-PAM *ex Pont-à-Mousson*), où l'air extérieur circulera avant son admission dans les locaux, à raison d'un mètre linéaire pour 10 m² de surface à traiter (3 à 5 fois plus avec des tuyaux en PVC ou autres « plastiques »). Un filtre est installé au niveau de l'admission d'air dans le puits (à changer tous les 6 mois) et une ventilation de faible puissance (15 W, soit une vitesse de moins de 2 m/s) permet d'assurer la circulation de l'air et de le renouveler en une heure pour l'ensemble des locaux.

L'air admis doit ensuite être redistribué dans toutes les pièces par une ventilation mécanique contrôlée (VMC), ce qui rend redondante toute installation de VMC à double flux.

L'intérêt du puits « canadien »³⁰, outre que son fonctionnement est quasi gratuit, est de ne nécessiter qu'un appoint d'énergie limité pour les périodes de grands froids. Ce système peut aussi se concevoir seul pour les bâtiments non occupés en permanence comme les résidences secondaires (mise hors gel) ou les bâtiments techniques (mise hors danger de canicule pour des installations électriques). Dans le cadre d'une rénovation thermique de bâtiment, son usage peut être introduit à l'occasion de travaux de terrassement pour réaliser une extension (le confort thermique bénéficie alors à l'ensemble du bâti) ou pour des bâtiments publics (écoles...) lorsque la disponibilité foncière à proximité permet des terrassements de plus grande ampleur.

³⁰ La mission fait remarquer que cette dénomination consacrée par l'usage n'est pas fondée sur une quelconque expérience particulièrement développée au Canada.

La mission constate que les modalités de calcul définies dans le cadre de la RT 2012 ne tiennent pas compte des performances réelles des « puits canadiens » au titre des énergies renouvelables : ce type d'installation se voit attribuer une capacité de 2 kWh/m² l'excluant de la classification « EnR » de la RT 2012 alors que les performances obtenues sont plutôt de 6 à 7 kWh/m².

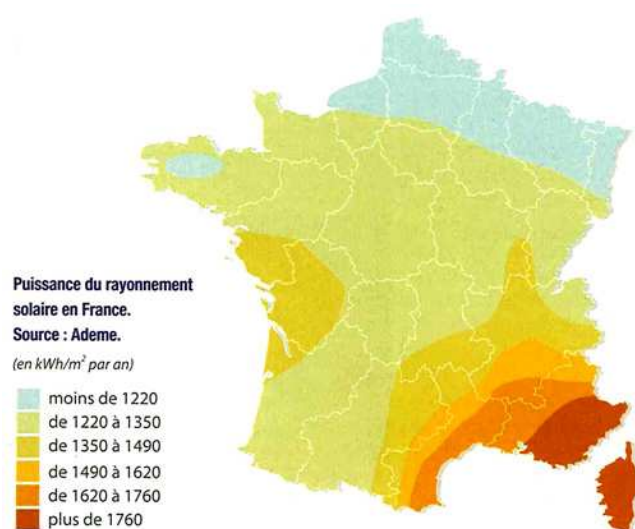
RECOMMANDATION n°2 (Puits canadiens)

La mission recommande :

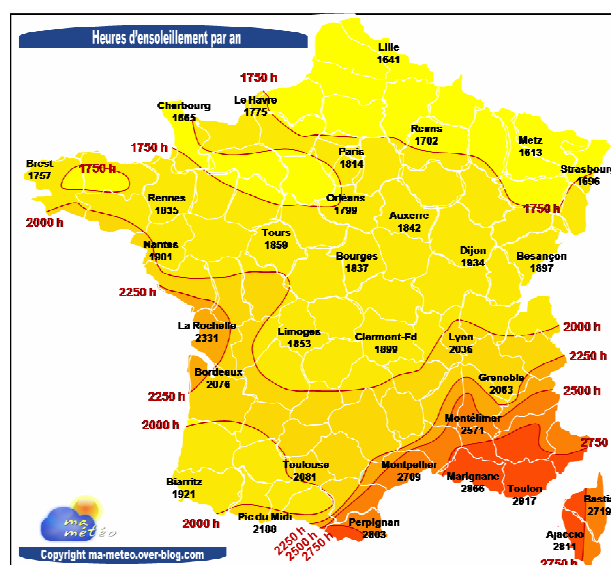
d'établir, dans la RT 2012, une prise en compte des « puits canadiens » qui se base sur la performance réelle après une vérification, dès la mise en service, des résultats sur le terrain en lieu et place du calcul (par modélisation) de la performance thermique.

2.1.2 Le solaire thermique

La chaleur solaire est gratuite, inépuisable et disponible chaque jour en tout lieu, sa puissance instantanée ne dépend que des conditions météorologiques d'ensoleillement du moment. De nombreux principes constructifs prévoient de valoriser les apports directs de chaleur solaire dans les bâtiments, soit du fait de leur conception et de leur orientation, soit en ayant recours à des capteurs thermiques destinés à la production d'eau chaude sanitaire, parfois aussi pour le chauffage.



Valeur de l'énergie du rayonnement solaire reçu sur un plan d'inclinaison égal à la latitude et orienté vers le sud



c) L'utilisation directe de la chaleur solaire dans l'habitat

L'utilisation directe de la chaleur solaire est simple d'accès (les vitrages laissent passer le rayonnement solaire, les murs intérieurs et extérieurs captent stockent et diffusent la chaleur solaire ; en hiver le soleil bas permet aux rayons solaires de pénétrer dans le bâti et en été les

feuillages caducs et la toiture arrêtent les rayons solaires venant d'un astre plus haut dans le ciel).

Cependant le concept de maison bioclimatique et l'apparition, il y a quelques années, de différentes qualifications : bâtiment à basse consommation (BBC), bâtiment haute qualité environnementale (HQE), offre la possibilité, outre l'emploi de la chaleur solaire pour les seuls besoins de chauffage au moyen de baies vitrées et autres capteurs, de maîtriser les surchauffes estivales (confort d'été).

Il s'agit de concevoir globalement un confort thermique passif du bâtiment :

- circulation et renouvellement de l'air (y compris la technique du « puits canadien/puits provençal »),
- surfaces et baies vitrées (serres et vérandas) avec des murs capteurs et stockeurs de chaleur,
- ombrages en été (sur le bâti ou à proximité avec des arbres à feuilles caduques), etc.

Néanmoins, en matière de besoin de chaleur et de confort thermique, avant de raisonner sur le type d'énergie entrevu, l'approche bioclimatique reste pertinente sur le long terme (si l'on raisonne en « coûts complets ») et par ses aspects environnementaux :

- emploi de matériaux recyclables, recyclés, d'origine végétale ou obtenus en ayant recours à des énergies vertes ou d'origine locale,
- prise en compte de l'« énergie grise » et des analyses de cycle de vie des matériaux employés.

Les nouvelles règles de consommation énergétique des bâtiments (RT 2012) imposent des niveaux d'isolation thermique qui (au regard des objectifs d'autonomie énergétique poursuivis) ne valorisent pas nécessairement les bâtiments passifs par rapport aux technologies solaires visant à capter, stocker et distribuer la chaleur via les murs du bâti.

d) l'utilisation de l'énergie solaire thermique

Son principe est de convertir le rayonnement solaire en chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques transmettant la chaleur à un liquide caloporteur lequel alimente, au niveau d'un échangeur thermique, un stock d'eau sanitaire et/ou un circuit de chauffage. Le stockage d'eau chaude est nécessaire pour tamponner les variations de luminosité au cours de la journée. L'eau chaude sanitaire se stocke dans un « ballon ». Pour pallier un éventuel défaut d'ensoleillement, on peut compléter cette installation avec un deuxième échangeur thermique relié à une chaudière traditionnelle (au gaz, au fioul ou au bois) ou une résistance électrique. Même si le potentiel de production est plus important dans les régions méridionales, l'intérêt de l'énergie solaire existe sur tout le territoire français.

En matière de chauffage par capteurs solaires thermiques, les technologies sont maintenant accessibles au grand public. A une température de fonctionnement du réseau inférieure à 70°C, l'alimentation solaire se fait avec des capteurs standard ; à 120°C il faut des capteurs sous vide, et au-delà de 180°C, il faut créer une boucle basse température où le solaire vient en complément d'une autre source de chaleur (solution adaptée dans ce cas à la création d'une extension de réseau de chaleur).

Avantages et inconvénients du solaire thermique

Avantages	Inconvénients
L'énergie solaire est inépuisable, non polluante, et ne dégage pas en régime courant de gaz à effet de serre Elle permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage (économies conséquentes) Les technologies sont aisément maîtrisables, modulables et adaptables aux situations. Les matériaux sont similaires à ceux du chauffage, du sanitaire et des verrières, la main d'œuvre ne nécessite donc qu'une formation complémentaire très accessible Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles	L'énergie solaire est diffuse. La puissance disponible par unité de surface est relativement limitée ce qui rend difficile une réponse à des besoins importants (grands immeubles) C'est une énergie intermittente, elle n'est possible que lorsqu'il y a un ensoleillement. Il faut donc un système de chauffage d'appoint. A l'inverse, il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes Le coût d'investissement d'une installation de chauffage solaire thermique est relativement élevé, son dimensionnement doit être adapté au climat local pour n'avoir à supporter que le coût strictement nécessaire.

Si les applications individuelles sont en diminution (CESI et SSC³¹), le solaire collectif reste en progression continue (+ 20 à 30% par an depuis 2008³²), le marché étant porté par les bailleurs sociaux et par le Fonds chaleur. L'effet d'économies d'échelle³³ joue également (surtout en fonctionnement permanent toute l'année), et pour les opérations importantes de rénovation ou de construction neuve, la dépense est incluse dans l'investissement global. Le dispositif du Fonds chaleur est utilisé même si le dossier demandé est complexe. Les retours des premières expériences de solaire thermique collectif ont permis maintenant de bien identifier les erreurs à ne plus commettre :

- complexification inutile des schémas d'installation (nombre d'organes, de pompes, d'échangeurs),
- surdimensionnement par mésestimation des besoins d'eau chaude sanitaire³⁴ et du fait de critères (inadaptés) de surface de capteurs solaires servant à une reconnaissance de type BBC,
- absence de systèmes d'alerte pour la maintenance en cas de dysfonctionnement.

La France reste très timide en matière d'intégration du solaire thermique dans des réseaux de chaleur. Les infrastructures actuelles sont basées sur des technologies à haute température (exemple : dans l'éco-quartier Vidailhan de 1 200 logements à Balma dans le Grand Toulouse, le solaire couvrira d'abord 50 % des besoins en ECS et 5 à 10 % du chauffage). Au

³¹ CESI : chauffe-eau solaire individuel ; SSC : systèmes solaires combinés (ECS et chauffage basse température)

³² Source : Enerplan et Uniclimate, in : *Actu-Environnement.com*

³³ 1.500€/m² de capteur en installation individuelle, contre 1.000 à 1.200€/m² en installation collective et 600€/m² pour une insertion du solaire dans un réseau de chaleur

³⁴ Une chambre d'hôtel nécessite 30 à 35 l/jour et non 50l/j comme souvent préconisé.

Danemark par exemple le réseau de chaleur de Marstal couvre 40 % de ses besoins de chaleur pour 1 500 usagers avec 18 300 m² de panneaux solaires.

Un schéma directeur de réseau de chaleur devient nécessaire pour concevoir son développement et planifier les travaux (extension, densification, diversification...) ; rappelons qu'un tel schéma est un préalable pour toute intervention du Fonds chaleur lorsque le réseau est alimenté au moins pour moitié par des énergies renouvelables.

Comme pour les bâtiments bioclimatiques, le solaire thermique, correspondant souvent à des chantiers de taille modeste, est défavorisé devant les autres formes d'énergies renouvelables mais aussi du fait des politiques de soutien dont elles bénéficient : le solaire photovoltaïque par exemple a longtemps évincé le solaire thermique par ses tarifs attractifs de revente d'énergie, le solaire thermique n'offrant pratiquement comme seule possibilité que d'être autoconsommé.

Les technologies et leur maturité en matière de solaire thermique

- Chauffage de piscines : application la plus répandue aux USA (principe de la moquette solaire : capteur non vitré)
- Chauffage de l'eau chaude sanitaire en Maisons Individuelles (MI) : Application très développée dans les pays du Sud (Méditerranée, Maghreb, ...) et en Chine
- Chauffage de l'eau chaude sanitaire en collectif : des optimisations technologiques à prévoir, en France, segment « bien représenté » avec des atouts (GRS, CESCO)
- Chauffage solaire en Maisons Individuelles : des développements technologiques à prévoir, maturité technologique des produits très différente d'un constructeur à l'autre, en Allemagne et en Autriche, c'est le cœur de marché, en France, c'est devenu une niche de marché
- Chauffage solaire collectif : reste au stade de démonstration, pas d'offre standardisée, peu de savoir-faire
- Réseaux de chaleur : au stade de démonstration en France (vif intérêt), très développé au Danemark
- Chaleur de process industriels : au stade de démonstration en France, segment développé en Allemagne et en Autriche, privilégier les secteurs agro-alimentaire, textile et chimie
- Climatisation solaire : au stade de démonstration en France, dont d'anciennes installations (caves de Banyuls), marché difficile pour des raisons de montant des investissements, de la R&D à promouvoir

Source : d'après le Pôle de compétitivité Tenerrdis (Collège E&C juin 2013)

Pour en revenir à des aspects techniques, le potentiel solaire mobilisable dépendra autant des caractéristiques climatiques du lieu que de la disponibilité (en surface et orientation) d'accès à cette ressource³⁵.

2.1.3 Climatisation ou confort thermique

³⁵

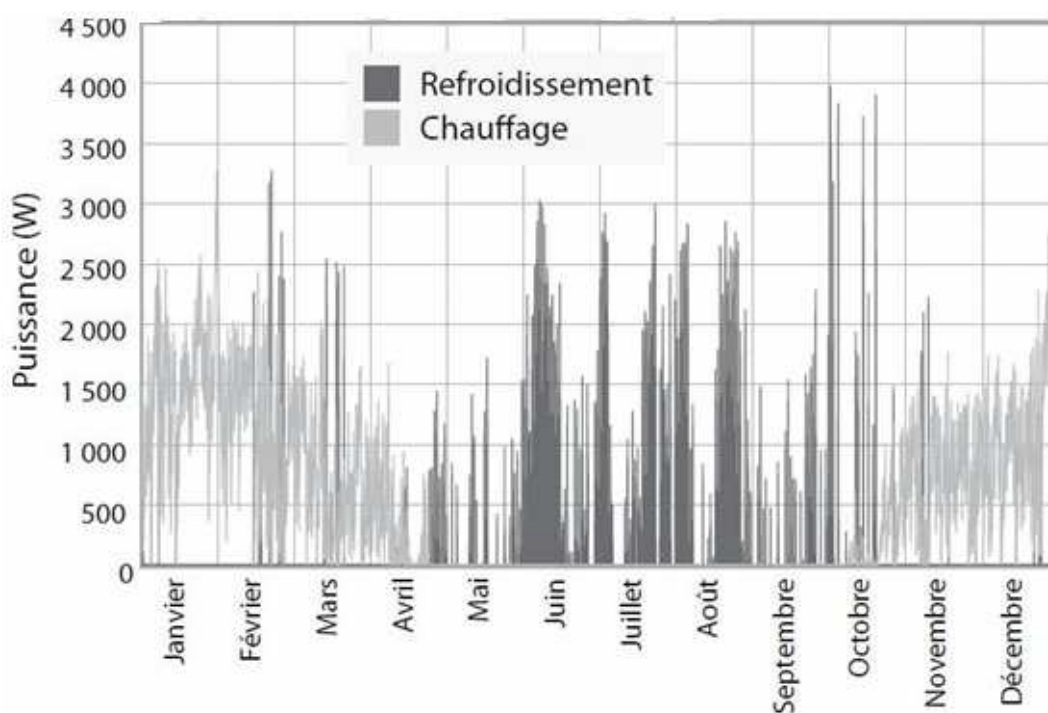
On raisonne ici sur la production de chaleur à partir de panneaux solaires thermiques et non à partir de panneaux solaires photovoltaïques dont la production d'électricité serait destinée à produire de la chaleur (par une PAC ou par une résistance électrique).

De même ne seront pas abordés dans ce rapport d'autres formes de valorisation de l'énergie solaire comme les centrales solaires à concentration (CSP, dites « centrales thermodynamiques ») destinées à produire de l'électricité dans des régions à rayonnement solaire intense (déserts, zones méridionales...).

Les besoins de climatisation ne cessent de croître indépendamment du besoin de confort thermique, du fait de la multiplication des équipements électriques ménagers ou de bureautique et de l'isolation renforcée qui empêche l'évacuation de la chaleur en excès vers l'extérieur ; dans de telles conditions la climatisation passive ne peut pas à elle seule répondre à la totalité de ces besoins.

Au même titre qu'il existe des pompes à chaleur réversibles (produisant du chauffage en hiver et de la climatisation en été), il est opportun d'étudier comment l'énergie solaire peut contribuer à limiter les impacts négatifs pour l'environnement des climatiseurs : consommation d'électricité et usage de fluides frigorigènes dont les fuites de gaz contribuent à l'effet de serre (PRG³⁶ jusqu'à 2 000 fois plus que le CO₂). Rappelons que les besoins en énergie sont dans un bâtiment BBC au moins de la même importance en hiver pour le chauffage qu'en été pour la climatisation.

Besoins de chauffage et de climatisation dans une maison à très basse consommation au Danemark (Source : RHEVA journal, mai 2011)



A l'encontre des idées reçues : que du froid puisse être généré à partir de capteurs solaires thermiques, voilà qui est pour le moins contre-intuitif, voire magique. Or les besoins en froid, notamment pour la climatisation des bâtiments, concordent parfaitement avec l'intensité de l'ensoleillement.

Le principe thermodynamique de fonctionnement d'un climatiseur repose sur la détente endothermique d'un gaz comprimé ; l'énergie nécessaire à la compression préalable du gaz

est fournie par un compresseur fonctionnant à l'électricité le plus souvent, parfois au gaz naturel ou avec tout autre type de carburant (moteur thermique).

En matière de climatisation solaire, l'énergie délivrée permet le plus souvent d'assurer un rafraîchissement (différentiel de quelques degrés) assurant un confort thermique des locaux plutôt qu'une réelle production de froid. Il s'agit donc davantage d'un conditionnement d'air.

En association avec une énergie conventionnelle, plusieurs configurations sont possibles (voir schémas détaillés en annexe) :

- le solaire photovoltaïque alimente en électricité un climatiseur à compression,
- le solaire thermique fournit de la chaleur convertie en énergie mécanique entraînant un climatiseur à compression,
- le solaire thermique alimente une machine à sorption (absorption ou adsorption selon la technologie), produisant de l'eau glacée : la compression thermique remplace la compression mécanique d'un fluide frigorigène/caloporteur, associé à un fluide « absorbant » compresseur thermochimique qui utilise les propriétés de la dissolution d'un composé dans un solvant (eau + bromure de lithium, eau + NH₃ par exemple : après condensation de la vapeur, la recombinaison des deux composants produit du froid par absorption),
- le solaire alimente un système de conditionnement d'air par rafraîchissement évaporatif (dessiccation : DEC pour *dessicant evaporative cooling*).

Remarque : Des réalisations **de taille importante** (donc hors du cœur du sujet de la mission) fonctionnent déjà (à Banyuls depuis 1992) et des travaux de recherche sont actuellement en cours sur les différentes techniques existantes. Ils consistent à optimiser les installations en fonctionnement et visent à améliorer des aspects techniques tels que les systèmes de régulation.

Avantages et inconvénients de la climatisation (produite à partir d'une source de chaleur)

Avantages	Inconvénients
Frais de fonctionnement faibles et rentabilisation d'une installation solaire de chauffage (ECS) en été ; et durée de vie double de celle des climatiseurs électriques Utilisation de l'eau comme fluide frigorigène (pas de gaz à effet de serre comme les HCFC / hydrochlorofluorocarbures) Pas de nuisance sonore due à un compresseur électrique Allègement de la sollicitation du réseau de distribution électrique en pleine journée en période estivale	Coûts de maintenance élevés si pas de SAV disponible. Nécessaire technicité du personnel d'intervention Performances liées aux conditions météorologiques Disposer d'une énergie de remplacement (si faible ensoleillement, ou la nuit)

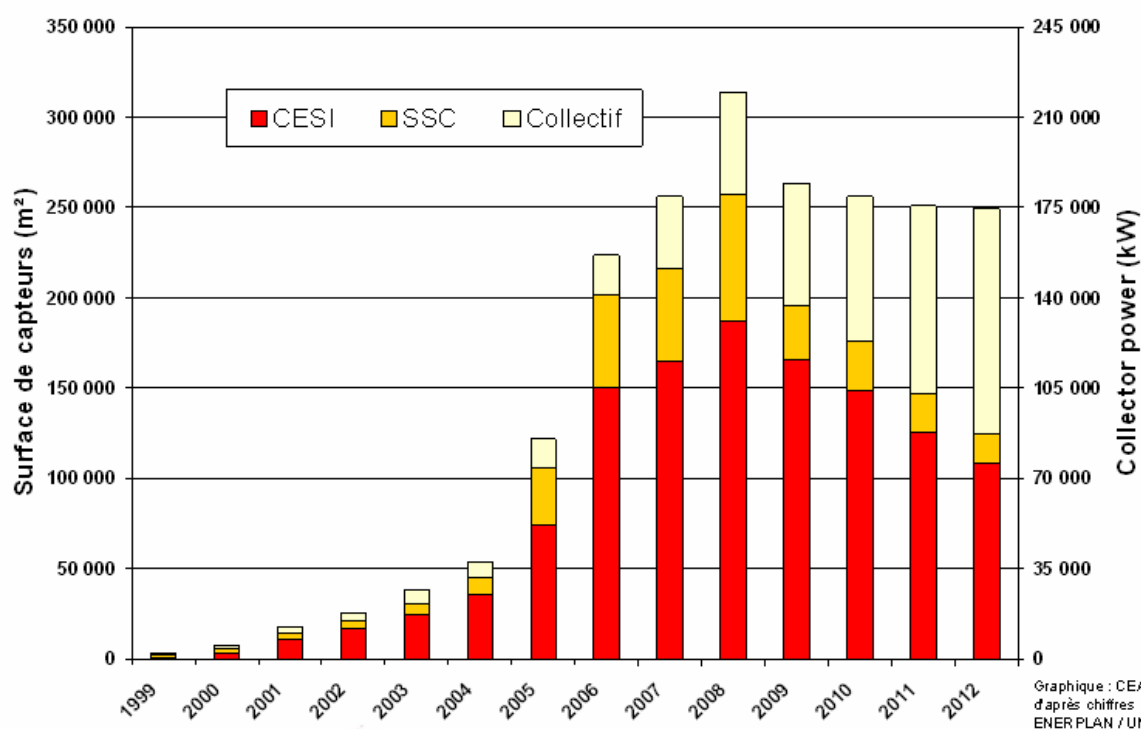
Marché 2012

	2012	2011	2012/2011
Chauffe-eau solaires individuels (CESI)	25 900	30 000	-14%
Systèmes solaires combinés (SSC)	1 400	1 770	-19%
Surface capteurs eau chaude solaire collective	124 600	103 800	+20%
Surface totale capteurs	249 600	250 900	-0,5%

Les colonnes solaires = 22% du marché CESI ; +9% par rapport à 2011

Source UNICLIMA collège E&C juin 2013

Evolution du marché du solaire thermique en France métropole de 1999 à 2012 : stagnation après une baisse



Source Tenerrdis collège E&C juin 2013

2.2 Éléments sur les acteurs économiques : entreprises, organismes, institutions concernés

La mission reproduit ci-après l'analyse faite par le groupement Alliance Chaleur renouvelable³⁷ en juin 2013 (qui intègre également la biomasse).

Sur le plan économique, les trois filières chaleur renouvelable (solaire thermique, PAC et biomasse) présentent des atouts forts pour la ré-industrialisation du territoire :

- le tissu industriel français : une industrie composée de quelques ETI mais surtout de PME et de TPE représentant le cœur du tissu productif français à la fois en termes d'emplois, d'innovation et de capacité d'adaptation
- une fabrication française avec une cinquantaine d'usines réparties sur le territoire national et une industrie qui est même exportatrice nette comme c'est le cas pour le solaire thermique (production 2 fois plus importante que le marché intérieur) un chiffre d'affaires de plus de 5,5 milliards d'euros pour l'année 2012
- des filières qui ont créé 42 000 emplois directs en France en 2012
- un faible coût pour les finances publiques : 266 millions d'euros en 2012
- des produits certifiés ou labellisés installés par des installateurs qualifiés, qui sont désormais au nombre de 10 000 dans le secteur domestique
- des filières qui peuvent être régionalisées grâce aux conditions locales (gisement ou climat)
- un secteur moins soumis à la concurrence asiatique, en raison notamment des exigences de qualité imposées au travers des différentes normes, mais également des spécificités culturelles dans le secteur du bâtiment (par exemple la culture de la boucle à eau chaude), ainsi que de celles des consommateurs,
- des spécificités et des enjeux liés à la particularité du système énergétique français, à la compatibilité avec le système électrique national et au développement des smart-grids.

Cependant, ces filières souffrent également de faiblesses, qui constituent des freins à leur développement :

- les projets sont majoritairement dans le bâtiment et avec de petites puissances
- en terme de soutien de l'État, le CIDD et l'éco-PTZ sont devenus inefficaces et insuffisants pour déclencher l'investissement initial ;
- pour les installations collectives, le Fonds chaleur n'est pas adapté pour les projets de petite à moyenne taille, comme ceux qui concernent les immeubles d'habitation, et il ne couvre pas la totalité des filières de la chaleur renouvelable ;
- les filières et leurs acteurs restent de petite taille, sans capacité d'investissement (autofinancement) à grande échelle ni de capacité de levée de fonds significative.

Source : Groupement Alliance chaleur renouvelable (Collège Energie et Climat juin 2013)

³⁷

Les acteurs de l'Alliance Chaleur Renouvelable créée en 2013 : les syndicats et associations d'industriels et de filières des trois secteurs de la chaleur renouvelable, solaire thermique, pompe à chaleur et biomasse :

- AFPAC : association française pour les pompes à chaleur
- AFPG : association française des professionnels de la géothermie
- ENERPLAN : syndicat des professionnels de l'énergie solaire
- SER : syndicat des énergies renouvelables
- UNICLIMA : syndicat des industriels du génie climatique.

Remarque de la mission : il n'y a pas de tarif d'achat du kWh thermique ; ces projets sont considérés comme moins « bankables » que ceux de production d'électricité renouvelable car ils représentent des économies d'énergie conventionnelle plutôt que de la vente d'énergie à un réseau.

La mission a relevé que le développement des énergies renouvelables ces dernières années a connu des épisodes économiques brutaux dont il faut tirer les leçons :

- d'une part, les baisses brutales des commandes mettent en péril le tissu industriel en amont de la filière ainsi que le tissu artisanal de proximité (qui représente des emplois non délocalisables),
- d'autre part, les envolées trop rapides d'un marché ne laissent pas suffisamment de temps aux entreprises pour s'adapter et favorisent les importations massives sans que les PME et les artisans n'aient le temps de maîtriser suffisamment rapidement la technologie, situation réservant des déceptions cuisantes et durables.

Par ailleurs, des éléments fondamentaux du raisonnement économique sont trop souvent occultés :

- le calcul de rentabilité des dépenses doit se faire sur la durée de vie de l'investissement (10 à 50 ans, selon le cas) et non par une appréciation sur le seul coût de l'investissement immédiat,
- les énergies renouvelables ne sont pas indexées sur le prix du pétrole,
- le confort d'été doit être pris en compte, et pas considéré comme distinct (le « bonus »),
- une politique stable est nécessaire à la filière industrielle pour lui permettre d'investir, et au tissu des PME et des artisans, représentant des emplois non délocalisables, pour construire une compétence et une mobilisation pérennes.

RECOMMANDATIONS n°3 (Visibilité à long terme)

<i>Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :</i>

<i>- de veiller à une information complète et objective du particulier sur les solutions qui s'offrent à lui en matière de chauffage par une exposition des éléments de coût complet et qui intègre les avantages induits par la chaleur produite localement .</i>

<i>Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :</i>

<i>- d'établir un dispositif de soutien stable pour les petits projets (individuels et collectifs) par la fiscalité directe et indirecte et par des aides sur des programmes d'investissements agréés.</i>

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de conditionner certaines de ces aides publiques à l'existence de documents de planification urbaine (PLU) faisant référence à ces énergies renouvelables et introduisant des dispositions incitatives (fiscales, augmentation de COS, etc.) à cet effet.

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de repositionner le Fonds Chaleur vers une meilleure prise en compte des petites installations diffuses sans se limiter aux installations de moyenne et grande puissance.

2.3 Recherche, développement et l'innovation ;

Les besoins en R&D sont spécifiques : par exemple en ingénierie financière ou certification de produits, dans des approches « système » plutôt que simplement « composant » ou « matériau » ;

Les entreprises du secteur n'investissent pas suffisamment en R&D en l'absence de taille critique atteinte par le marché, de visibilité à court-moyen terme de son développement mais aussi de démonstration de son intérêt décisif pour la filière.

Source Alliance

Solaire thermique : des pistes pour une feuille de route R&D

PRIORITES DE RECHERCHE	ETAT DE L'EXISTANT	OBJECTIFS / HORIZON DE TEMPS
Sur le capteur : Surfaces, traitements, revêtements, matériaux, design, procédés de fabrication innovants	Coût d'un champ de capteurs fourni posé de 600 €/m ² (collectif)	2020 : réduction de 50 % des coûts (à performance identique voire supérieure)
Sur le système complet : Réduction des coûts	15 à 20 c€/kWh	2015 : 12 c€/kWh 2020 : 7 à 10 c€/kWh
Développement / commercialisation de systèmes packagés intégrant des développements « composant »	CESI en kit	2020 : 100 % de solutions packagées pour les CESI et les SSC ; 80 % de solutions packagées pour l'ECS collective
Développer des systèmes de raccordement hydrauliques et de plomberie peu onéreux et standardisés, simples à raccorder	Pas de standard	2020 : plus de 80 % de part de marché pour un type de raccord standard
Développer des systèmes de montage et de fixation standardisés peu onéreux et facile à installer	Pas de standard	2015 : existence d'une norme, 2020 : plus de 80 % de part de marché pour un système de montage standardisé, facile, rapide à monter

Source UNICLIMA collège E&C juin 2013

🔗 **Le BRGM, l'INERIS, le CSTB, CETE (Pôle de compétence et d'innovation)**

Ces organismes dont le MEDDE/MELT assure la tutelle mènent diverses actions de recherche & développement en solaire thermique et/ou en géothermie. Signalons en particulier le PCI (pôle de compétence et d'innovation) du CETE de Nantes, consacré aux réseaux de chaleur.

Quelques pistes de recherche et innovation (exemples de couplages innovants de technologies) :

🔗 le couplage PV/solaire thermique,

« La société marseillaise Solaire 2G, créée en 2010 par deux centraliens a développé une technologie pour préserver le rendement des cellules photovoltaïques malgré la hausse de température : un échangeur thermique plan en inox, positionné en sous-face du capteur photovoltaïque, dans lequel circule de l'eau glycolée. Permettant d'évacuer la chaleur, cet échangeur est constitué de deux plaques soudées entre elles par un procédé de formage innovant. Pour des raisons de fiabilité, l'échangeur est systématiquement testé sous une pression de 4,5 bars. L'inox a été préféré au cuivre, de coefficient de dilatation beaucoup plus proche de celui du verre. Une ligne de production dédiée permet d'associer capteur photovoltaïque et échangeur thermique en usine plutôt qu'à posteriori par simple collage. D'où une plus grande durabilité et un coût de revient maîtrisé. Prochainement commercialisé sous la marque Dualsun. » Commercialisation prévue fin 2013.

Source ATEE mars 2013

🔗 le couplage solaire thermique géothermie,

Le solaire à la rescousse pour régénérer le sol : L'ENSTA de Palaiseau (Essonne)

« Avec ses 80 sondes descendant à 160 mètres de profondeur, l'installation de géothermie des nouveaux bâtiments de l'Ecole nationale supérieure des techniques avancées (Ensta) de Palaiseau (Essonne) est la plus importante du genre en France ». Le projet s'inscrit dans un partenariat public-privé de trente ans. « Ce cadre juridique favorise la géothermie car, sur cette durée, on est certain d'amortir l'investissement de départ : 1,5 million d'euros pour le forage et les sondes, sur un total de 6,5 millions d'euros pour le lot CVC ». Associé à trois pompes à chaleur de 250 kW (dont une prévue en secours), le dispositif a été dimensionné pour couvrir en moyenne 80 % des besoins de chauffage de l'établissement calculés sur l'année, le complément étant assuré par des chaudières à gaz. L'été, la température constante du sol contribue au contraire à rafraîchir les bâtiments, mais sans passer par les pompes à chaleur (natural cooling). Pour éviter d'appauvrir la ressource géothermique, le projet Ensta prévoit une injection de chaleur dans le sol l'été en utilisant la production d'eau chaude sanitaire solaire non consommée pendant les vacances. « Nous pouvons ainsi garantir que la température du sol sera suffisante dans cinquante ans, ce qui ne serait peut-être pas le cas

avec la seule recharge naturelle ».

Assurant 80 % des besoins de chauffage de l'école (20 370 m²) et des cinq bâtiments (10 400 m²) dédiés au logement des élèves (ci-dessus), l'installation géothermique n'est visible sur le site qu'à travers des huit collecteurs (ci-dessous), regroupant chacun les arrivées et retours de dix sondes. Chaque forage (153 mm de diamètre) contient un double U en polyéthylène (32 mm de diamètre) rempli d'eau glycolée.



Le local technique comprend, entre autres, les pompes à vitesse variable (en vert à d.) utilisées pour envoyer l'eau chaude vers les planchers basse température équipant l'ensemble des bâtiments.

Source Moniteur février 2013

↳ Une boucle de cuivre chauffe les murs d'une maison ancienne

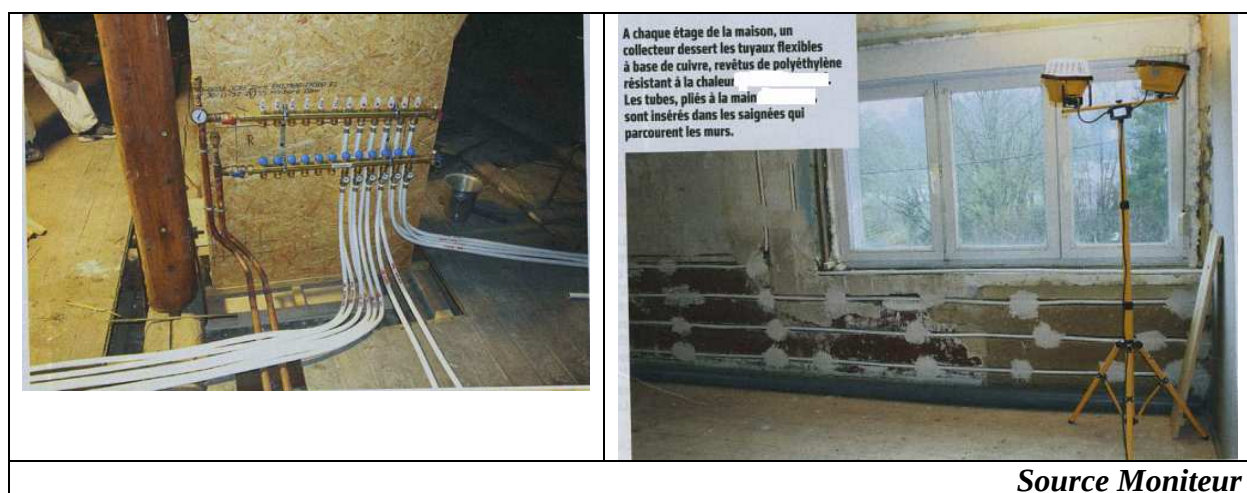
Une chaudière à granulés de bois, relayée par des panneaux solaires thermiques, alimente 900 m de tuyaux de cuivre flexibles assemblés sans soudures et encastrés dans les murs de pierre.

« Les acquéreurs d'une maison de maître à Perrepont (Meurthe-et-Moselle) ont cherché outre-Rhin une solution inédite pour chauffer le bâtiment sans l'isoler ni l'encombrer de radiateurs.

Encastrés dans des murs de pierre de 50 cm d'épaisseur, quelque 900 m de tuyaux à base de cuivre parcourent les deux niveaux de l'habitation. Les murs stockent les calories et diffusent une chaleur rayonnante à l'intérieur des pièces. Alimentée par une chaudière à granulés de bois elle-même relayée par quatre panneaux solaires thermiques, l'installation revient à 37 000 € TTC au total et doit assurer, en fonctionnement, une dépense inférieure de 15 % à celle d'un chauffage au fioul.

« Cette solution, inédite en France, respecte les bâtiments anciens tout en évitant les dégagements de poussière des convecteurs et les risques sanitaires liés à une surisolation. Nous avons eu la chance de trouver des partenaires prêts à nous suivre dans l'aventure ». La famille a trouvé à Munich l'un des rares experts allemands de cette technique.

Légers et faciles à plier, les tuyaux (18 couronnes de tubes CTX de 20 mm de diamètre pour 50 m de longueur) revêtus d'une gaine blanche en polyéthylène résistant à la chaleur ont été insérés dans des saignées. Le chauffagiste local a raccordé l'installation à une chaudière à granulés de bois HS France d'une puissance de 24 kW, reliée par une vis sans fin à un silo de 12 m³ pour chauffer un ballon tampon de 1 000 litres, dont 170 litres d'eau chaude sanitaire. Dès que l'ensoleillement le permet, l'énergie solaire prend le relais de la chaudière. Le dispositif fonctionnera toute l'année pour maintenir en toute saison des murs chauds et secs. »



+++++

Au vu des considérations précédentes portant sur le couplage de plusieurs sources d'énergie, la mission considère que la recherche appliquée doit notamment porter sur les automatisations permettant la régulation du chauffage. Celles-ci doivent tenir compte de l'intermittence du solaire et de la limitation de puissance des apports géothermiques, en vue de rendre cohérents entre eux les différents systèmes d'énergie pour le chauffage et la climatisation.

Avant même d'aider des particuliers très « éclatés sur le territoire » avec une très faible probabilité de pouvoir trouver dans leurs environs le groupement d'artisans à même de réaliser l'ensemble de leur installation, la meilleure stratégie semble être (sous initiative privée ou publique) de privilégier l'identification et la montée en compétence d'artisans locaux (qui seront alors les meilleurs ambassadeurs de ces technologies), de façon couplée avec des dispositifs de formation efficaces. Il importe donc de ménager la meilleure publicité aux « îlots de compétence » et aux « viviers » qui pourront ainsi se constituer.

RECOMMANDATIONS n°4 (développement de la filière et promotion)

La mission recommande :

- de proposer systématiquement aux acheteurs de systèmes de chauffage, des matériels offrant une réversibilité (chauffage/confort d'été) voire un couplage de différentes sources de production de chaleur.

La mission recommande :

- d'encourager la constitution d'un « vivier d'artisans ou de PME » capables d'œuvrer conjointement en matière de travaux thermiques et d'EnR sur un même territoire.

La mission recommande :

- de faire reconnaître un métier (ou une compétence) « d'intégrateur » pour les travaux thermiques qui soit capable de coordonner les différents corps de métiers sur un chantier, cet « intégrateur » pouvant être l'un des artisans œuvrant conjointement ;

La mission recommande :

- d'inciter la profession à se former et à constituer un réseau d'ingénierie en matière de

thermique des locaux d'habitation incluant la climatisation et valorisant les ressources locales de chaleur disponibles dont la fonction sera : a) d'offrir des coûts d'installation maîtrisés, b) d'offrir l'assurance d'un niveau suffisant de garantie de résultat, c) de contribuer à former les corps de métiers à travailler de concert sur ces innovations technologiques.

La mission recommande :

- de favoriser la montée en compétence des artisans locaux (label RGE³⁸) sur les technologies de production de chaleur assistée par PAC et de favoriser leurs groupements momentanés (1 foreur + 1 chauffagiste par exemple) pour constituer une offre globale face à la situation actuelle d'une maîtrise d'ouvrage diffuse ;

La mission recommande :

- de mettre au point un cahier des charges standard qui permette de bâtir des propositions combinant plusieurs énergies en matière de chauffage et d'ECS adaptées au contexte du projet du client ;

La mission recommande :

- de favoriser l'émergence, sur un même îlot de petits bâtiments, de regroupements de maîtrises d'ouvrage (mutualisation au lieu de demandes individuelles trop diffuses) ;

³⁸

RGE : « Reconnu Grenelle de l'environnement » obligatoire à partir de juillet 2014 pour demander aide publique pour travaux d'efficacité énergétique

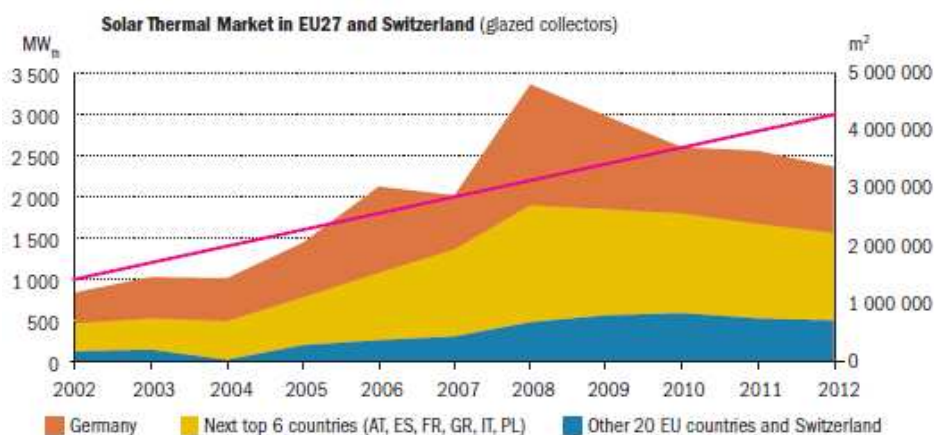
3. TROISIEME PARTIE : SITUATION DANS QUELQUES PAYS EUROPEENS LEADERS OU A FORTE CROISSANCE DANS LES DEUX FILIERES

3.1 Le solaire thermique en Europe

Les éléments comparatifs par pays du bilan 2012 établi par l'ESTIF³⁹ dans son dernier rapport publié en juin 2013 sont repris ci-dessous.



Le marché européen continue de souffrir des suites de la crise économique dont les conséquences ont lourdement affecté le secteur de la construction. Le marché se contracte depuis le pic annuel de 2008. Les 2,41 GWth vendus en 2012 dépassent les ventes de 2007 (2GWth / 2,88 Mm²) mais sont loin des 3,36 GWth (4,8 Mm²) atteints en 2008. En dépit de la décroissance constatée depuis 2008, le marché annuel a doublé sur la décade (20 % sur 2007-2012) avec un taux de croissance annuel moyen de 10% (3,6 % sur 2007-2012).

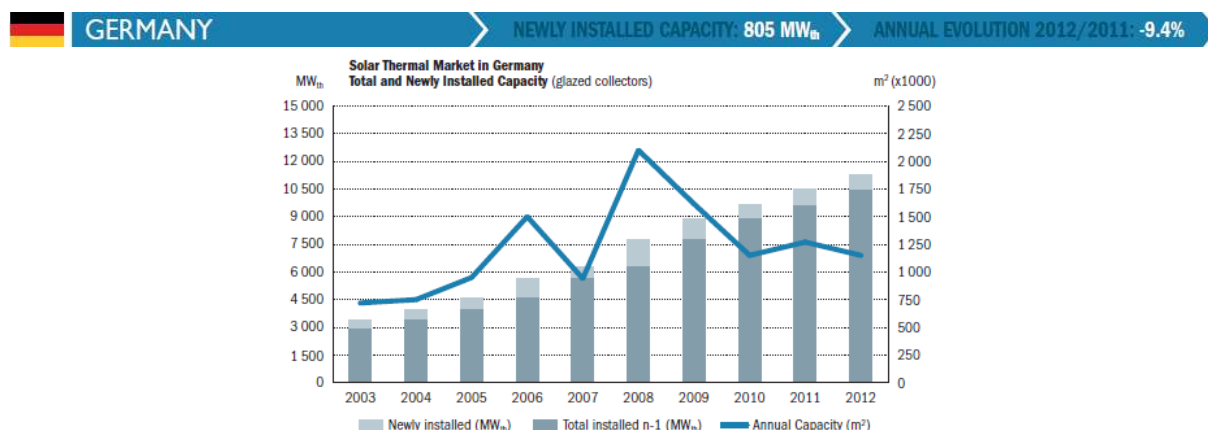


Le secteur résidentiel représente le cœur du marché. Néanmoins, ce sont les grandes installations (> 35kWth (50m²)) qui croissent (chaleur et froid dans installations commerciales). Les très grandes installations (> 350kWth / 500 m²) connaissent la croissance la plus spectaculaire. 2012 confirme le Danemark comme un pays disposant d'une très importante capacité installée et de nombreux projets en gestation.

En termes économiques, le secteur du thermique solaire a généré un CA de 2,4 Mds € en 2012 et employé l'équivalent de 32 000 personnes à temps plein.

³⁹ ESTIF = European Solar Thermal Industry Federation (Bruxelles) L'ESTIF a contribué aux travaux de l'European solar thermal panel au sein de la Plateforme Renewable Heating and Cooling Technology ayant permis de dresser les grandes priorités de recherche pour la technologie du thermique solaire

3.2 Focus sur le solaire thermique⁴⁰ dans 7 pays européens :

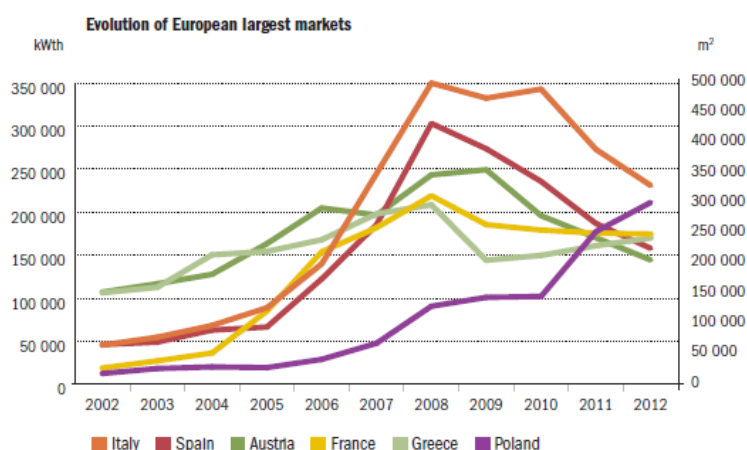


Leader du marché européen du solaire thermique, l'Allemagne a trébuché en 2012, après une croissance de 11% en 2011. L'Allemagne représente presque 40 % de la capacité totale installée en Europe. En capacité annuelle installée, sa part de marché représente environ le tiers des ventes totales des pays de l'UE et de la Suisse. En 2012, l'Allemagne a installé une capacité de 805 MW_{th} (1,15 Mm²) à rapprocher du pic de 2008 (1470 MW_{th} / 2,1 Mm²).

Même s'il est difficile d'attribuer la baisse à une cause unique, il est vraisemblable que les discussions en cours sur la baisse du tarif de rachat de l'électricité photovoltaïque ont laissé à penser aux consommateurs les moins informés que « le solaire n'est plus un investissement valable ». Le marché du bâtiment plutôt bien portant n'a pas entraîné de croissance des ventes dans le solaire thermique, profitant essentiellement aux autres types d'installations.

L'énergie totale produite à partir des systèmes opérationnels de solaire thermique en Allemagne est estimée à 6 TWh_{th} (Bundesministerium für Umwelt, février 2013).

↳ Marchés solaires thermiques entre 140 MW_{th} et 350 MW_{th}

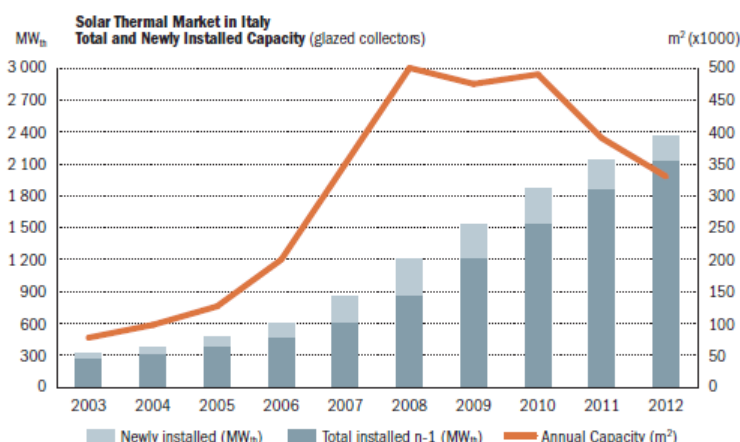


Le groupe des pays dont le marché se situe entre 140 et 350 MW_{th} (200 000 à 500 000 m²) d'installations nouvelles installées par an a connu une évolution similaire à 2011. La Pologne connaît une croissance impressionnante. La Grèce voit sa croissance faiblir et la France

⁴⁰ Suivant les errements habituels, 1Mm² signifie 1 million de m² (notation non-conforme au système international d'unités)

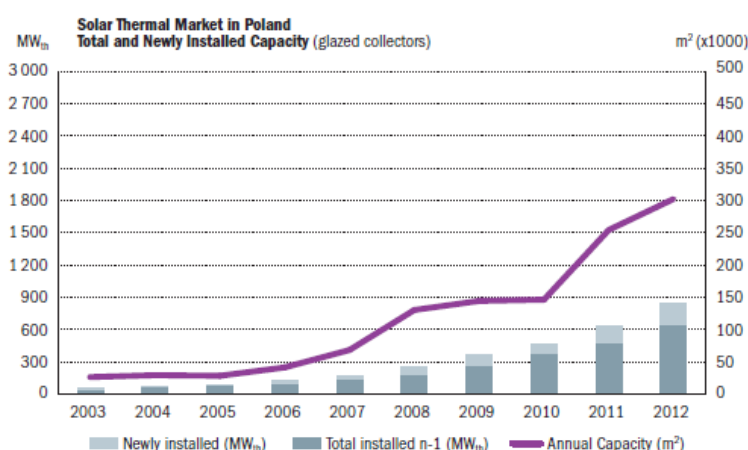
continue à stagner. Les autres marchés du groupe (Italie, Espagne et Autriche) ont subi des baisses substantielles.

ITALY NEWLY INSTALLED CAPACITY: 231 MW_{th} ANNUAL EVOLUTION 2012/2011: -15.4%



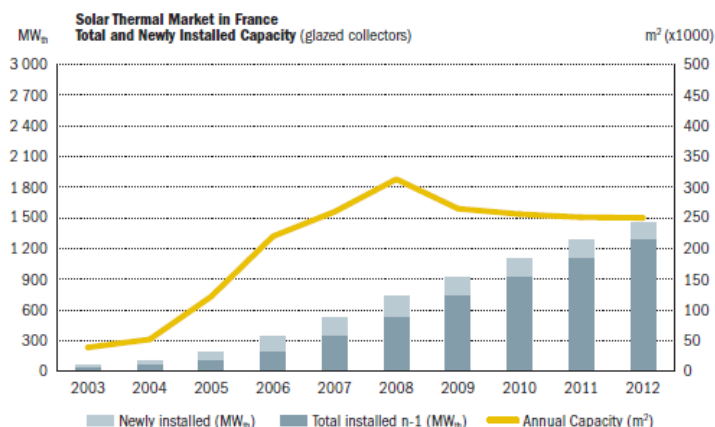
Avec 231 MW_{th} (330 000 m²), l'Italie reste le second marché européen en capacités nouvelles installées. La stagnation économique, les mesures de rigueur budgétaire du gouvernement Monti et les incertitudes sur l'évolution à venir des subventions au solaire thermique ont contribué à dresser un horizon pessimiste. Dans ces conditions, la baisse de 15 % du marché est plutôt un résultat honorable, surtout après l'annonce, en novembre 2012, d'un nouveau mécanisme incitatif pour la chaleur renouvelable et les mesures d'efficacité énergétique, donnant un regain d'optimisme pour 2013. Le mécanisme de déduction fiscale à hauteur de 55 % et en place depuis 2007, restera inchangé au moins jusqu'à juin 2013 et devrait être vraisemblablement prolongé jusqu'en décembre 2013 avant d'être modifié pour éviter des redondances avec d'autres mécanismes incitatifs.

POLAND NEWLY INSTALLED CAPACITY: 211 MW_{th} ANNUAL EVOLUTION 2012/2011: 19.1%

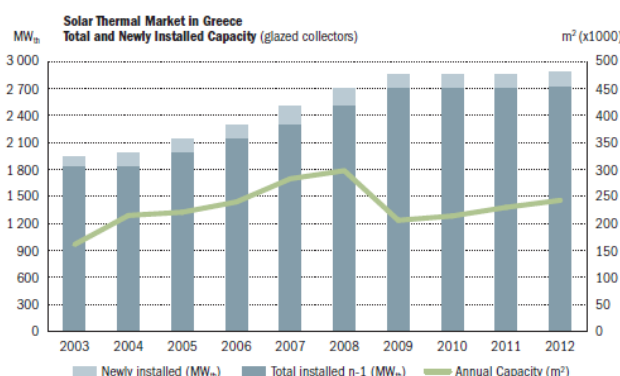


Grâce à une politique incitative forte, le marché polonais continue de croître, devenant le 3^e marché en termes de capacité nouvelle installée. En 2012, 211,4 MW_{th} ont été installés, représentant une croissance de 19 %, modeste en comparaison des 70 % enregistrés l'année précédente. La capacité totale installée est de 848 MW_{th} (1,2 Mm²) soit +33 % par rapport à 2011.

Ces succès résultent de plusieurs programmes de soutien, le plus significatif étant le programme National Environmental Fund (NFSiGW) qui a alloué environ 100 M€ sur 3 ans aux installations solaires thermiques. Ce programme de soutien s'achève début 2014, il importe donc que la Pologne précise rapidement si ce programme va être prolongé ou même amplifié.

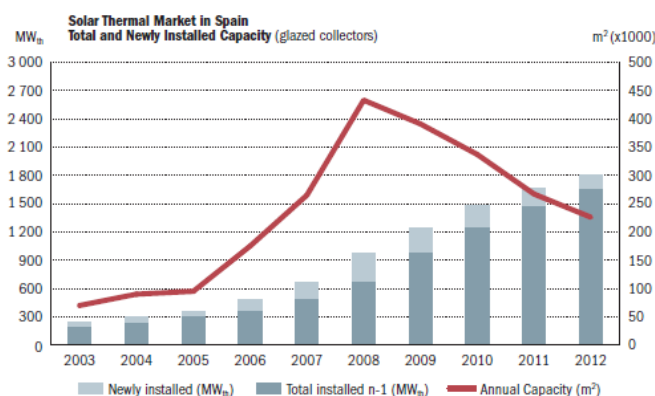


Le marché du solaire thermique a totalisé 174,7 MW_{th} (249 500 m²) en 2012 en France, très proche de son niveau 2011 (-0,6 %) après plusieurs années successives de décroissance. Cette stabilisation résulte d'une croissance importante des installations collectives de production d'eau chaude domestique. Les ventes de chauffe eau solaires ont atteint 25 900 unités en 2012 contre 30 000 en 2011 (-14 %). La vente de chaudières compactes intégrées à une installation de solaire thermique a augmenté de 9 %. En regard, le marché des systèmes combinés continue de décroître (-19 % / 2011). Ces systèmes n'ont pas trouvé leur place dans le bâtiment neuf et ancien, alors que le secteur est bien développé en Allemagne. La vente d'équipements solaires thermiques pour le collectif et les bâtiments commerciaux continue de croître et représente 87 MW_{th} (124 600 m²). 2012 marque un tournant car le marché des équipements collectifs de production solaire d'eau chaude dépasse les systèmes pour logements individuels. La capacité totale installée (France métropolitaine) est de 1,4 GW_{th} (2 Mm² avec une production annuelle moyenne de chaleur de 853 GWh_{th}).

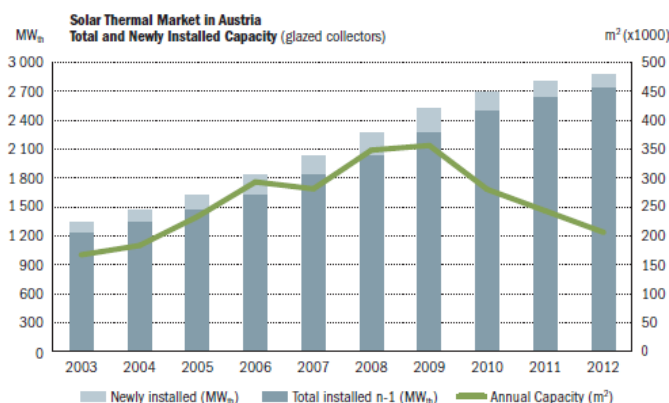


Le marché grec du solaire thermique continue à croître en 2012 après sa décroissance en 2009 et en dépit des difficultés économiques et financières traversées par le pays. Les capacités

nouvelles installées ont cru de 5,7 % à 170,1 MW_{th} (243 000 m²). Le marché du neuf a réduit, mais la croissance est imputable au remplacement des systèmes de chauffage électrique et au fuel et les consommateurs s'orientant vers la solution solaire thermique garantissant une stabilité des prix de l'énergie. La Grèce dispose actuellement de 2,9 GW_{th} (4,1 Mm²) installés. Si on considère que la durée de vie moyenne d'un équipement est de 20 ans, le fait que la capacité installée annuelle est de l'ordre de celle de 1990 signifie que la Grèce doit commencer à se préoccuper du remplacement des premiers équipements, situation particulière qui se posera dans les autres pays d'ici quelques années.

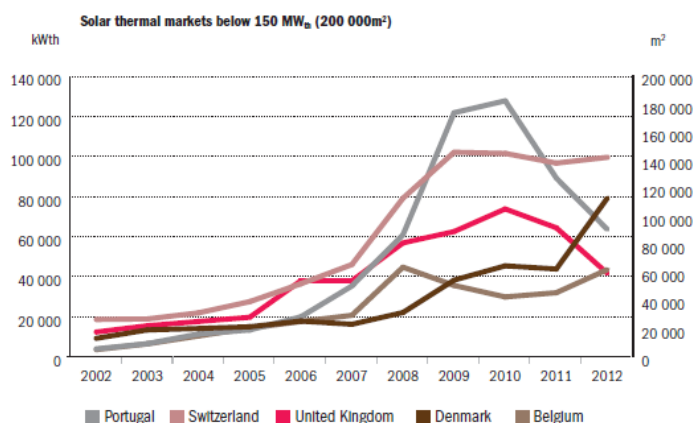


Le marché espagnol s'est contracté de moitié depuis le pic de 2008 pour atteindre son plus bas depuis 6 ans à 158 MW_{th} (225 683 m²). Après être resté plusieurs années durant le 3^{ème} marché du solaire thermique, il est aujourd'hui au sixième rang. Les ventes étaient soutenues par l'obligation d'incorporer du solaire thermique dans le marché du neuf aujourd'hui gelé. Le gouvernement espagnol va lancer un mécanisme de soutien pour la rénovation qui devrait concerner 25 000 logements, qui n'inclura cependant pas obligatoirement du solaire thermique. Au plan régional, seule l'Andalousie maintient un mécanisme de soutien au solaire thermique. Les autres domaines concernent l'industrie. Un plan avait été approuvé, mais ensuite mis en veilleuse du fait de la politique d'austérité. De plus, les subventions à l'industrie espagnole traversent des temps difficiles compte tenu de la difficulté d'accès au crédit. Fin 2012, la capacité annuelle installée était de 1,8 GW_{th}. La capacité totale installée est ainsi de 1,8 TW_{th} soit 17 % de l'objectif 2020 du solaire thermique prévu par le gouvernement.



Le marché autrichien traverse des temps difficiles, après trois années de déclin. La capacité nouvelle installée en 2012 était de 144,5 MW_{th} (206 390 m²). Une de explications à cette contraction est l'attractivité du PV pour les consommateurs, entrant en compétition directe avec le solaire thermique sur ce marché traditionnel. L'Autriche reste un des plus importants marchés d'Europe et le troisième en capacité totale installée (2,9 GW_{th} soit 4,1 Mm² fin 2012 (+ 3 % / 2011)). Avec 1,8 TWh_{th} l'Autriche a maintenant atteint 56 % de l'objectif 2020 du plan national d'action en renouvelables. C'est un pourcentage important en comparaison des autres pays. Néanmoins, si on prend en compte la maturité du marché autrichien et le déclin des ventes, les autorités nationale et régionale devront augmenter leurs efforts pour atteindre leur objectif 2020.

↳ Marchés thermique solaire entre 35 et 140 MW_{th}



Le Danemark et la Belgique, chacun après plusieurs années de croissance, deviennent des pays prometteurs dans le marché européen en pleine contraction.

La croissance du marché danois résulte de l'augmentation importante du marché du solaire thermique via des réseaux de chaleur. Ce segment seul est suffisant pour placer le Danemark dans le « top ten » des marchés européens. La croissance en Belgique résulte des segments traditionnels qui font l'objet de mesures de soutien, en particulier dans les Flandres.

3.3 La géothermie de faible profondeur en Europe

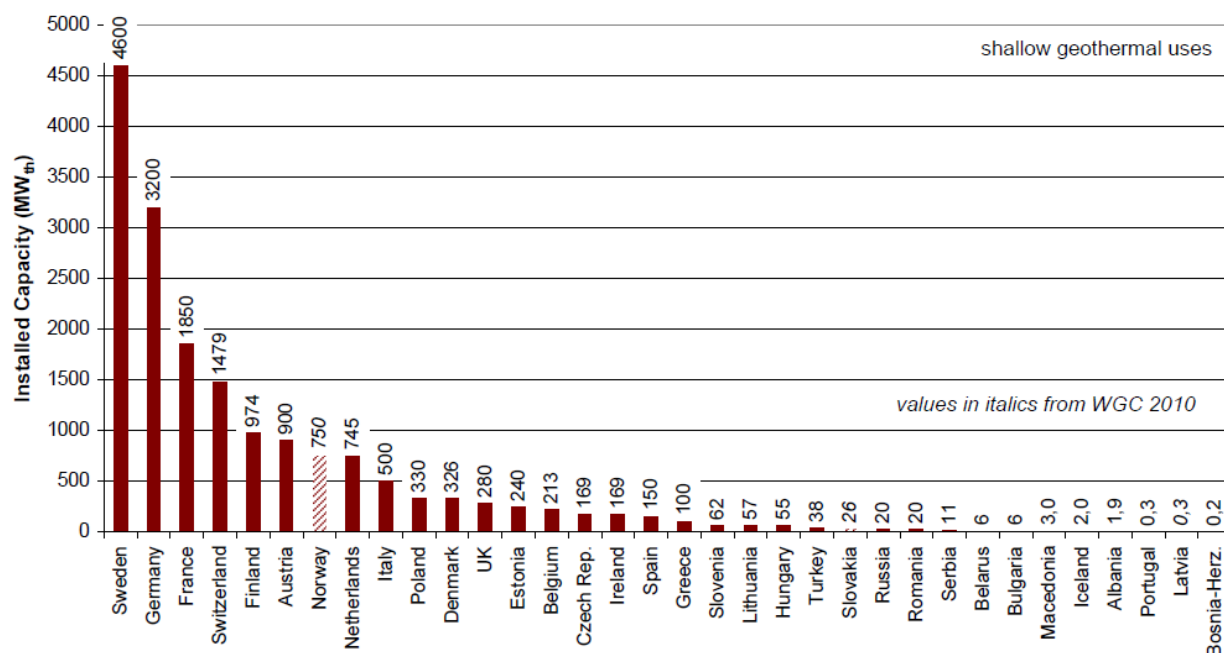
Les éléments du « summary report 2013 » du EGC (European Geothermal Congress) sont repris ici en pointant lorsque c'est possible ce qui concerne la géothermie de minime importance puis les principaux pays au regard de cette énergie.

La situation de l'énergie géothermique en Europe en 2012 varie selon les pays en fonction des technologies les plus adaptées aux ressources naturelles du pays. Le spectre comprend la géothermie très haute température (Islande, Italie, Grèce, Turquie), l'utilisation de la chaleur directe dans les bassins sédimentaires (France, Allemagne, Pologne, Italie, Hongrie, Roumanie, etc.). La géothermie de minime importance existe partout et a recours à des pompes à chaleur.

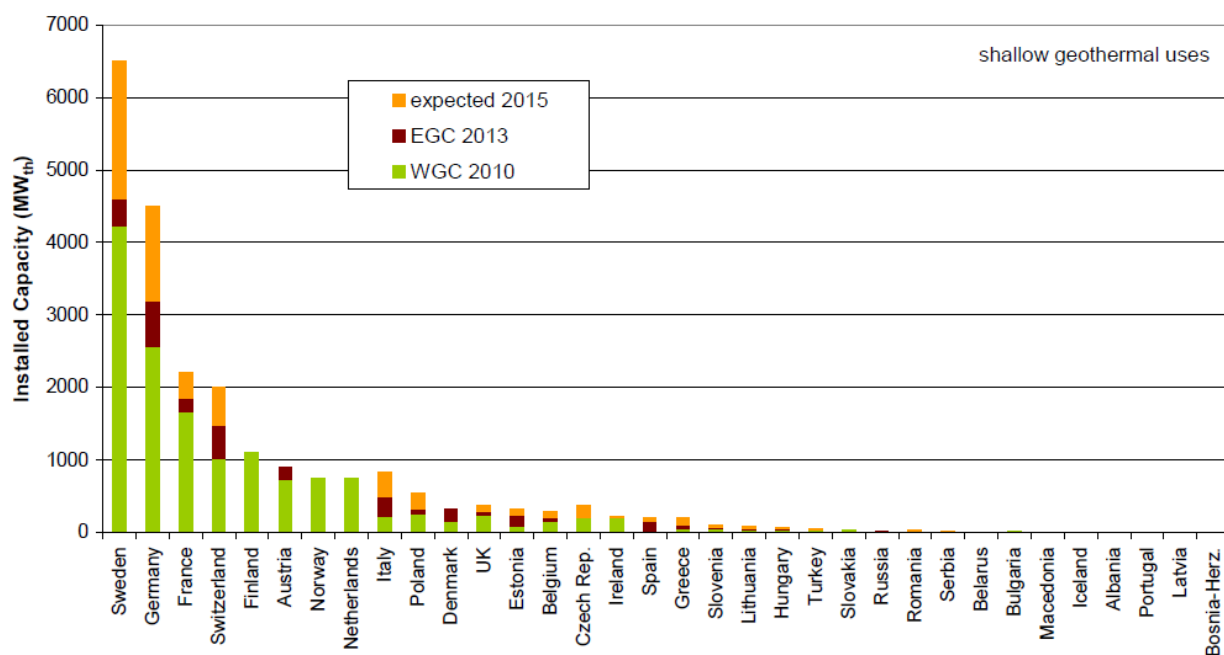
En décembre 2012, EGEN (European Geothermal Energy Council) a publié son second rapport quinquennal. On ne peut néanmoins comparer les données antérieures nationales et celles de l'EGEC car les modes de calcul sont différents. Une note a été proposée en 2007 concernant les statistiques européennes distinguant la géothermie profonde, la géothermie avec chaleur directe et la géothermie de minime importance. La directive 2009/28/EU reprend ces catégories et les bureaux des statistiques nationales doivent désormais s'y conformer.

Pour la première fois, des règles claires ont pu être présentées par Eurostat sur le calcul de la chaleur via PAC et publiées en mars 2013 (décision 2013/114/EU de la Commission). Il subsiste néanmoins des disparités dans les modes de calcul des pays, certains ne considérant que la chaleur via des réseaux de chaleur et mettant à part l'agriculture et la balnéologie. En général, les statistiques relatives à la géothermie sont plus fiables lorsqu'il y a production d'électricité.

Les pays qui ont le plus grand nombre de pompes à chaleur géothermique sont la Suède, l'Allemagne, la France et la Suisse. Ces quatre pays représentent 64 % de la capacité totale installée en géothermie de minime importance. L'Italie, la Pologne et la république tchèque sont les pays qui connaissent actuellement les plus forts taux de croissance sur 2010-2015.



Shallow geothermal installed capacity in Europe 2012, after EGC 2013 country update reports



Installed capacity for shallow geothermal systems in Europe 2010-2015, after WGC 2010 and EGC 2013

Les statistiques pour la chaleur géothermique de minime importance résultant le plus souvent de la comptabilisation des pompes à chaleur. Le secteur est composé de beaucoup de petites installations qui se prêtent mal à un suivi statistique.

Ground Source Heat Pump Use in Europe in 2012
 Data in *italics* calculated by the authors of the summary
 (EXTRAIT DU TABLEAU)

Country	Number of GSHP	Capacity [MW _{th}]	Production [GWh _{th} /year]	kW _{th} per unit	Full-load hours per year
<i>Data calculated by authors of summary</i>					
Austria	<i>74531</i>	900,0	<i>1440,0</i>	<i>12,1</i>	<i>1600</i>
Denmark	27000	<i>326,0</i>	695,0	<i>12,1</i>	<i>2132</i>
Finland	90000	<i>974,1</i>	3500,0	<i>10,8</i>	<i>3593</i>
France	150000	1850,0	<i>2775,0</i>	<i>12,3</i>	<i>1500</i>
Germany	265000	3200,0	4200,0	<i>12,1</i>	<i>1313</i>
Greece	1200	100,0	135,0	<i>83,3</i>	<i>1350</i>
Italy	<i>40541</i>	500,0	<i>472,2</i>	<i>12,3</i>	<i>944</i>
Netherlands	29300	<i>745,0</i>	880,0	<i>25,4</i>	<i>1181</i>
Poland	30000	330,0	<i>470,0</i>	<i>11,0</i>	<i>1424</i>
Spain	3300	150,0	210	<i>45,5</i>	<i>1400</i>
Sweden	425000	4600,0	15200,0	<i>10,8</i>	<i>3304</i>
UK	16000	280,0	500	<i>17,5</i>	<i>1786</i>
Total / Average	1335279	16506,4	34898,9	<i>58,7</i>	<i>2418</i>

3.4 Focus sur la chaleur géothermique basse température dans 11 pays européens

Autriche

L'Autriche bénéficie de conditions géothermiques favorables et l'exploitation de stations géothermales résulte d'une longue tradition. La production d'énergie calorifique a commencé à la fin des années 1970 et connu un grand essor entre 1985 et 2005. Depuis, la croissance s'est ralentie du fait d'un soutien très modéré du Fonds fédéral.

Danemark

Le Danemark dispose de ressources géothermiques importantes dans plusieurs de ses régions. La faisabilité de produire de la chaleur géothermale pour les réseaux de chaleur a été démontrée pour 3 sites avec une capacité installée de 33 MW de chaleur récupérée d'une eau saline à 15-20 %. Plusieurs compagnies mènent des campagnes d'exploration en vue d'implanter des sites géothermiques.

La géothermie de minime importance devrait se développer dans le futur notamment dans les zones ne disposant pas de réseaux de chaleur ni de distribution de gaz. La plupart des systèmes mis en place utilisent des collecteurs horizontaux.

Finlande

L'énergie géothermale (appelée géoénergie en Finlande) a connu un gros essor ces 5 dernières années. Le futur est plutôt favorable et la géoénergie occupe une part croissante du mix EnR. L'objectif gouvernemental pour 2020 est de 8 TWh soit 10 % de l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments. Avec la tendance actuelle, cet objectif devrait être dépassé. En 2012, la consommation totale en Finlande pour le chauffage était de 95 TWh. Aujourd'hui 30 % de l'énergie consommée est renouvelable. L'objectif 2020 est de 38 %.

France

La croissance de l'énergie d'origine géothermique pour chaleur et froid est notable (doublement en 6 ans). Mais des subventions (un soutien adapté, durable, stable, visible) restent nécessaires. La pérennisation du Fonds Chaleur est un élément important, mais la nécessité d'une simplification des procédures administratives pour les opérations de petite importance (moins de 30 kWth) est également importante et la réécriture du Code minier (en cours) devrait favoriser l'émergence de nombreux projets. Pour ce qui est de la production d'électricité, l'activité a été stoppée depuis 10 ans et dès lors, les objectifs pour 2012 (80 MW installés) ne sont plus atteignables même en tenant compte du site à construire en république dominicaine afin de vendre la production aux îles des Antilles françaises. Néanmoins, les permis qui devraient être attribués aux départements d'Outre mer devraient permettre les nouvelles opérations EGS-CHP (combined heat production).

Pour les installations à récupération directe de chaleur, les projets en cours en Ile-de-France, Aquitaine et Alsace et l'utilisation de grosses pompes à chaleur pour abaisser la température des fluides utilisés dans les circuits des installations existantes entraînera une augmentation de 50MW de la capacité installée sur les 7 prochaines années.

Pour GSHP (Ground Source Heat Pump = PAC géothermiques), l'objectif de 5 % des bâtiments construits chaque année utilisant l'énergie géothermique est faible en comparaison de pays tels que la Suède, la Suisse et l'Allemagne. En parallèle, le marché de GSHP dans la rénovation de l'ancien est un débouché essentiel de la géothermie de minime importance.

La réglementation thermique 2012 pénalise le développement des pompes à chaleur, en particulier par non prise en compte de l'impact en termes de GES. Il importe de reconsidérer la RT 2012 sur ce point si on veut atteindre les objectifs que s'est fixé le gouvernement.

Allemagne

Les principaux projets en développement se situent dans le sud de l'Allemagne, où la géologie favorise la chaleur géothermique. La capacité installée en chaleur géothermique était en 2011 de 3500 MW_{th}. La production de chaleur géothermique était de 4,6 TWh en 2011 dont 15 % de géothermie profonde. En 2012, cette production est estimée à environ 5 TWh.

Grâce à la Résolution en faveur des énergies renouvelables du 30 juin 2011 (amended Renewable Energy sources Act = EEG), le gouvernement allemand a renforcé son appui au développement de l'énergie d'origine géothermique en Allemagne, notamment par un soutien aux installations pilote et de démonstration par le ministère fédéral de l'environnement, de la préservation de la nature et de la sûreté nucléaire. En complément, un programme de subventions favorise l'installation de PAC performantes pour le logement privé et les bureaux. De plus, des aides sont octroyées pour la chaleur géothermique, les sites géothermiques et les dépenses de forage bénéficient de garanties de l'Etat et le risque lié aux opérations d'exploration peut être couvert.

Globalement, l'énergie géothermique croît lentement mais continûment au fil des années. Des projets voient le jour dans les régions offrant une géologie favorable.

Grèce

La Grèce est riche en ressources géothermiques et a une longue histoire dans son utilisation à des fins thérapeutiques. La majeure partie de la capacité installée (60 %) alimente des pompes à chaleur, les autres utilisations étant les bains, les piscines et le chauffage des serres. Peu d'électricité géothermique est produite en dépit d'un potentiel important. Un projet de 20 MW_{él} a de bonnes chances de voir le jour en 2015.

Hollande

La capacité totale fin 2012 était de 40 MW_{th} et la production annuelle de chaleur de 200 GWh_{th}.

La géothermie de minime importance est un marché national, 200 entreprises ressortant de ce marché. Le chiffre d'affaires total est estimé à 45-55 M€/an.

Pologne

Les conditions géologiques sont favorables au développement de la géothermie en Pologne. Les secteurs les plus prometteurs concernent les activités de loisirs et la balnéothérapie (intérêt de plusieurs investisseurs privés).

Suède

Le marché des PAC a considérablement cru en Suède depuis 20 ans. Au milieu des années 2000, le marché de la géothermie peu profonde pour l'habitat individuel a commencé à se développer. De plus, le stockage saisonnier de chaleur et de froid dans le sous-sol (UTES) s'est largement répandu pour le chauffage et rafraîchissement des bâtiments commerciaux et institutionnels, démontrant son efficacité, sa rentabilité et sa maîtrise technique.

3.5 Remarques conclusives sur ce panorama

Les focus présentés ci-dessus sur quelques pays et rapportés au panorama européen illustrent l'extrême diversité des situations tant en termes physiques (géologie, ensoleillement), que de taille des pays et tissu industriel, d'activités ancrées (balnéothérapie, etc.), ou enfin de politique de soutien au développement de ces EnR. La mission relève trois déterminants majeurs : le potentiel de ressources au sein d'un pays, la qualité du tissu industriel (taille, réactivité, capacité d'innovation, etc.), les éléments culturels (activités de longue tradition, sources d'innovation, etc.).

Outre ces disparités, on souligne l'extrême réactivité des marchés avec des situations qui peuvent brutalement s'inverser de manière importante d'une année sur l'autre. Ces fluctuations importantes ne sont pas neutre pour le tissu industriel souvent composé d'entreprises petites et moyennes qui ne peuvent absorber les variations brutales et sont extrêmement vulnérables.

Il n'y a pas avec la chaleur géothermique et solaire un marché international unique mais véritablement des marchés qui certes sont impactés par la crise mais où chaque pays peut affirmer sa spécificité avec peu de risque de délocalisation ou d'absorption par mainmise de grands opérateurs. Dans chaque pays un effet de levier très important est susceptible d'être opéré par une politique fiscale ou d'appui public conséquent avec peu de place pour des bulles spéculatives incontrôlables.

Toutes ces remarques seraient bien sûr à développer mais ressortiraient d'une mission complémentaire.

4. QUATRIEME PARTIE : LES INSTRUMENTS POUR DEVELOPPER L'ECONOMIE DES FILIERES

4.1 Les incitations des Pouvoirs publics

Le solaire thermique dans l'habitat individuel a permis d'équiper 48 000 ménages en 2008, 38 000 en 2009 et 35 000 en 2010, soit un rythme 10 fois inférieur à celui de l'objectif Grenelle (4 millions de logements à équiper en 12 ans).

La tendance pour les pompes à chaleur est assez négative : 140 000 en 2008, 106 000 en 2009, 63 000 en 2010 hors PAC air/air. La part des PAC géothermiques, a priori les plus performantes, est d'environ 15 %. Les objectifs du Grenelle étaient de 180 000 PAC par an.

Le 6 mai 2013, à l'occasion d'un séminaire gouvernemental à l'Elysée, le président F. Hollande a annoncé un **prochain** plan d'investissements sur 10 ans qui concernerait notamment le numérique, la transition énergétique, la santé, les grandes infrastructures et, d'une manière générale, les nouvelles technologies.

Il a également insisté sur la mobilisation à cette fin des crédits publics et privés, de la Caisse des dépôts et consignations, de la Banque publique d'investissement voire de la mobilisation des crédits de l'assurance-vie.

Le plan s'est concrétisé en octobre 2013 par le lancement par le ministre du redressement productif de la « Nouvelle France Industrielle » : 34 plans industriels parmi lesquels un plan sur les énergies renouvelables.

Jean-Claude Andréini⁴¹ a été désigné comme chef du projet « Energies renouvelables » et doit remettre son rapport en mars 2014 au ministre.

Soutien des Pouvoirs Publics à la géothermie

On se contentera de ne développer que les instruments les plus pertinents parmi la liste des principaux dispositifs de soutien.

Aides aux particuliers :

- **le crédit d'impôt,**
- **l'éco-prêt à taux zéro.**

Le Fonds chaleur renouvelable pour les « installations collectives »

Les tarifs d'achat de l'électricité d'origine géothermique (hors champ mission)

⁴¹ Chef d'entreprise, vice-président du COSEI (comité stratégique des éco-industries)

Les aides ADEME à la **R&D** et **les investissements d'avenir**

La **couverture des risques** géologiques en géothermie

TVA à taux réduit (5,5 en 2011) pour la fourniture et l'installation d'un équipement de géothermie,

Aides ANAH, sous certaines conditions

🔗 Soutien des Pouvoirs Publics au solaire thermique

Pour l'individuel : le Crédit d'Impôt développement Durable (CIDD : 32% à 40 % si bouquet)

Pour le collectif : le Fonds chaleur (en moyenne 50 % d'aide) mais le dossier et les délais sont adaptés aux gros projets (type chaufferies biomasses)

Ces soutiens ne suffisent pas à développer le solaire thermique en rénovation.

La mission considère que les Régions peuvent valoriser les atouts de leur territoire en matière de géothermie et de solaire thermique (ressources physiques en ensoleillement, en géothermie, en réseaux de chaleur) avec :

- une cartographie des zones favorables et des ressources disponibles (géothermie, ensoleillement),
- une valorisation des réalisations exemplaires,
- une inscription dans les SRCAE et PCET régionaux qui incitent à introduire la chaleur renouvelable chaque fois que cela est envisageable, notamment au moyen d'une cartographie à une échelle territoriale la plus fine possible (à l'intérieur des zones urbanisées).

RECOMMANDATIONS n°5 (actions au niveau des collectivités locales)

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- de dresser un état des lieux des ressources en EnR disponibles et de promouvoir l'inscription de la cartographie correspondante dans les SCoT et les PLU en allant pour les PLU jusqu'au niveau des zones urbanisées à l'échelle de la rue.</i>

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- d'inviter la Banque Publique d'Investissements à accueillir favorablement les projets de géothermie et de réseaux de chaleur de proximité ;</i>

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- d'encourager les Régions à compléter les SRCAE qui n'auraient pas pris en compte la production de « micro-chaleur » en la traduisant dans la dynamique locale des PCET.</i>

Le Fonds Chaleur (géré par l'ADEME)

En entraînant la substitution de dizaine de milliers de tep d'énergies renouvelables à des énergies fossiles, le Fonds Chaleur renouvelable dynamise et renforce les filières EnR et est un engagement majeur pour répondre aux objectifs européens et nationaux. Il est destiné à soutenir la production de chaleur à partir de sources d'énergies renouvelables et de récupération (bois énergie, géothermie, solaire thermique, biogaz, réseaux de chaleur..). Il concerne l'habitat collectif, le tertiaire, l'industrie et l'agriculture. Le budget prévu au départ était de 1 milliard d'euros sur 2009-2013. Les aides du Fonds Chaleur ne sont pas cumulables avec les certificats d'économies d'énergie (CEE).

Les trois premières années du Fonds Chaleur ont permis de financer des projets pour environ 4 000 tep/an pour le solaire et 49 300 tep/an pour la géothermie, soit respectivement 32 % et 14 % de l'objectif 2012. Selon le SER (en 2011), la tendance est cependant à la croissance et le risque est, pour ces deux filières, est d'être écrasées au sein du Fonds Chaleur par la concurrence de la biomasse qui a atteint un seuil proche de la rentabilité.

Les certificats d'économies d'énergie (CEE)

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie (CEE) a été institué par la loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique. Elle soumet les vendeurs d'énergie –autrement appelés les « obligés »- à des obligations d'économies d'énergie fixées par période. Actuellement la deuxième période a débuté le 1^{er} janvier 2011, devait s'achever au 31 décembre 2013. Elle vient d'être prolongée d'un an (31 décembre 2014).

Les obligés peuvent obtenir des certificats de trois manières différentes :

- en participant à l'accompagnement (technique et/ou financier) de la réalisation d'opérations standardisées ou spécifiques d'économies d'énergie réalisées par des tiers (ménages, entreprises, collectivités, etc.) ou en finançant des programmes « agréés » ;
- en réalisant des opérations standardisées ou spécifiques sur leur propre patrimoine ;
- en achetant des certificats, les CEE pouvant faire l'objet de transactions.

Les ménages ne sont pas des « obligés » mais génèrent, lorsqu'ils réalisent des travaux spécifique d'économies d'énergie, un fait générateur pouvant donner lieu à délivrance de CEE. Pour compléter la présentation, les collectivités locales ne sont pas des « obligées » mais des personnes dites « éligibles » et les actions de maîtrise de demande de l'énergie qu'elles entreprennent sur leur propre patrimoine peuvent donner lieu à la délivrance de CEE.

Le volume minimal d'économies d'énergie à partir duquel une demande de CEE peut être déposée est aujourd'hui fixé à 20 millions de kWh d'énergie finale cumulée actualisée (cumac). En outre une demande de CEE ne peut porter que sur des actions achevées depuis moins d'un an avant la date de la demande.

Un marché sur lequel s'échangent des CEE s'est ainsi mis en place. Ces certificats sont des biens meubles négociables dont l'unité est le kWh d'énergie finale économisée. Ils sont

exclusivement matérialisés par leur inscription au registre national des CEE. Leur acquisition ou leur cession n'est ainsi validée que par leur inscription au registre.

Dans les faits les particuliers sont peu informés des droits monnayables à CEE qu'ils peuvent générer par leurs travaux. Ces droits sont le plus souvent valorisés par les maîtres d'œuvre des travaux (par exemple les artisans « Bleu Ciel » listés par EDF) des travaux.

Sans porter le moindre jugement sur la situation actuelle (la Cour des Comptes a produit en octobre un rapport sur les CEE), la mission estime que les CEE présentent un atout indéniable dans le mode de comptabilisation car ils prennent en compte non pas le seul coût d'investissement mais l'énergie finale cumulée actualisée (cumac) ce qui peut permettre de mieux refléter l'intérêt en coût complet de ces technologies pénalisées par un surcoût apparent au titre de l'investissement initial.

Dès l'instant où les CEE constituent un bien immatériel valorisable, la mission s'est interrogée sur les CEE générés par les technologies de production de chaleur géothermique et solaire.

Ces certificats pourraient être collectés sous le contrôle d'un organisme ad hoc (Ademe ?) et les droits attribués aux regroupements d'artisans oeuvrant de concert sur un même chantier.

Cela pourrait permettre et encourager la constitution de « pépinières d'entreprises », réunissant localement PME, bureaux d'études et artisans capables d'offrir une prestation complète depuis la collecte de l'énergie (solaire ou géothermique) jusqu'aux appareils de chauffage et d'ECS.

Il serait nécessaire alors de limiter cette attribution à un nombre limité de territoires considérés comme pertinents du point de vue du potentiel géothermique disponible et à une démarche volontaire et collective des artisans.

La mission suggère de valoriser les certificats d'économie d'énergie (CEE) générés par les investissements de production de chaleur géothermique et solaire thermique, lorsqu'ils sont réalisés par des regroupements agréés d'entreprises, structurés à cet effet.

La mission considère que les CEE peuvent constituer un excellent outil pour promouvoir l'installation complète (depuis le forage, la tranchée pour puits canadien ou le panneau solaire thermique, jusqu'au chauffagiste et artisan gros œuvre (incluant le cas échéant planchers chauffants, plafonds rayonnants) via les pompes à chaleur (PAC d'un équipement de chauffage et de production d'ECS produits par de la « micro-chaleur », l'installation pouvant concerner plusieurs unités d'habitation (petits collectifs) et le cas échéant des activités tertiaires incluses dans le bâtiment traité.

RECOMMANDATIONS n°4 (suite) (développement de la filière et promotion)

<i>La mission recommande :</i>
<i>- de mobiliser le dispositif des CEE pour promouvoir des installations complètes de « micro-chaleur » en reconnaissant l'éligibilité (par arrêté) : 1/ de toute installation complète recourant à ces ressources, 2/ de la création et de l'animation des « viviers d'artisans ou de PME » capables d'œuvrer conjointement en matière de travaux thermiques et d'EnR sur un même territoire.</i>

4.2 La réglementation

4.2.1 La réglementation de l'exploitation de la ressource : le Code minier et la géothermie de minime importance

La réglementation concernant les forages géothermiques est très complexe, relevant à la fois du Code minier, du Code de l'environnement, voire du Code de la santé publique. Suivant les cas, différents régimes s'appliquent : permis d'exploration ou d'exploitation, autorisation ou simple déclaration.

Au plan juridique, la **géothermie de minime importance** est caractérisée par un débit calorifique maximal de 230 kWh et une profondeur inférieure à 100 m

La loi fondatrice du droit minier du 21 avril 1810 a été codifiée par la loi du 26 mai 1955 donnant naissance en 1956 au Code minier. Le secteur minier n'a cependant cessé d'évoluer tant dans les techniques utilisées que les matières exploitées. Au delà du secteur minier classique, la valorisation du sous-sol intègre désormais l'exploitation de ressources renouvelables telles que la chaleur.

Une nouvelle codification du Code minier a été impulsée par l'ordonnance du 20 janvier 2011 afin d'organiser dans un premier temps la partie législative des textes existants, ceci à droit constant. Le calendrier de la refonte de la partie réglementaire qui devait suivre a été bouleversé par la polémique sur les « gaz de schistes » et une commission présidée par M.Tuot est chargée de faire des propositions en ce sens.

Aux termes du droit minier, un exploitant minier ne peut démarrer de travaux de recherche sans autorisation du propriétaire du fond, ou, à défaut, sans autorisation de l'administration, ni sans contrôle préalable de l'Etat. Il ne peut pas plus exploiter ces ressources sans obtenir un titre minier qui lui confère un « droit réel sur le sous-sol de nature administrative ». Ce titre minier fixe **les conditions d'exploitation de la mine ainsi que sa durée**. Le titre minier et les travaux de recherche confèrent au titulaire un droit d'appropriation des ressources extraites.

On voit ainsi que les procédures administratives ont d'abord été conçues pour réglementer l'extraction et l'exploitation de ressources (fossiles) ayant un caractère épuisable.

La géothermie consiste à utiliser la chaleur sous la surface de la terre afin de produire de l'énergie. Juridiquement on distingue les gîtes géothermiques à haute, à basse température et les gîtes de minime importance objets du présent rapport.

Le régime juridique des gîtes de minime importance est incertain car la procédure, « exclue » par une loi récente du code minier (L.n°2012-3878 du 22 mars 2012 codifié à l'article L.112-3 du Code minier, doit être définie par décret. Un projet de 2010 prévoyait un régime déclaratif pour les gîtes de minime importance.

Contrairement à l'extraction et l'exploitation de ressources minières durables, la géothermie possède un caractère durable. La maîtrise de l'impact environnemental est devenue une condition inhérente au droit minier. Mais actuellement le chevauchement entre droit minier et droit de l'environnement crée souvent une confusion des régimes applicables et une complexité administrative pour les exploitants.

Evolution en cours des textes : projet de décret relatif à la géothermie (le point au 15 novembre 2013)

Le ministère en charge de l'environnement a souhaité poursuivre au second semestre 2013 les travaux entrepris par le comité national de la géothermie sur l'évolution du cadre réglementaire et économique de la géothermie. Les discussions ont notamment porté sur les critères de la géothermie de minime importance et de la sortie du code minier de certains ouvrages. Un processus de consultation / concertation est en cours alors que s'élabore le présent rapport qui devrait se poursuivre jusqu'en janvier 2014. L'objectif est d'aboutir à une mise en œuvre des dispositions du décret :

- pour la basse et haute température : juillet 2014
- pour la minime importance (objet du présent rapport) : janvier 2015⁴²

Relativement à la géothermie de minime importance, le projet de décret :

- pérennise les critères de la géothermie de minime importance,
- clarifie et réorganise les articles contenus dans les décrets n°78-498 et 2006-649,
- établit pour la minime importance un cadre réglementaire largement dérogatoire aux dispositions actuelles du code minier, avec la disparition dans ce cas de la notion de titres miniers et la suppression de l'obligation de dépôts de dossiers conjoints autorisation de recherche/autorisation de travaux,
- va dans le sens d'une véritable simplification administrative : un CERFA pour la déclaration, pas d'instruction de la part de l'administration,
- acte par arrêté ministériel la méthodologie de construction des zonages réglementaires et de ses modalités de révision.

En l'état actuel du projet de décret les critères proposés sont les suivants selon les deux cas d'échangeurs fermés (sondes) ou ouverts :

1. échangeurs géothermiques fermés :

- profondeur inférieure à 200 mètres
- puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation inférieure à 250 kW⁴³,
- ne sont pas situés dans les zones où les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves (zones rouges dans la cartographie⁴⁴).

Ces critères couvrent largement les besoins d'une maison individuelle ou d'un nouveau lotissement de 50 appartements de 100 m².

2. échangeurs géothermiques ouverts :

- température du fluide caloporteur en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25 °C,

⁴² Ce décalage est dû aux nombreuses modifications qui concernent la minime importance qui passera dans un but de simplification à un régime de simple déclaration (tout en restant instruite dans le cadre du code minier)

⁴³ A l'occasion de la concertation, le CNG a souhaité voir cette puissance portée à 500 kW comme pour les échangeurs ouverts,

⁴⁴ Les objectifs généraux de la cartographie sont de prévenir les désordres du sous-sol d'ordre géologique et de préserver les enjeux du sous-sol notamment la qualité des eaux souterraines.

- profondeur est inférieure à 200 m,
- puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW,
- eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère ; la différence des volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle,
- les débits prélevés et réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation tel que défini dans la rubrique 5.1.1.0 de l'article R.214-1 du code de l'environnement,
- échangeurs ne sont pas situés dans les zones où les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves (zones rouges dans la cartographie).

Quatre arrêtés ministériels seront pris à l'appui du décret post-consultation. Les quatre arrêtés ministériels qui viendront préciser les dispositions du décret sont :

- l'arrêté de prescriptions générales
- l'arrêté relatif à la cartographie (qui introduira des zones verte, orange et rouge),
- l'arrêté relatif à l'agrément des experts (obligatoires dans le cas d'une zone orange,
- l'arrêté relatif à la qualification des entreprises de forage pour les circuits ouverts et pour les circuits fermés.

4.2.2 La réglementation thermique (RT) des bâtiments

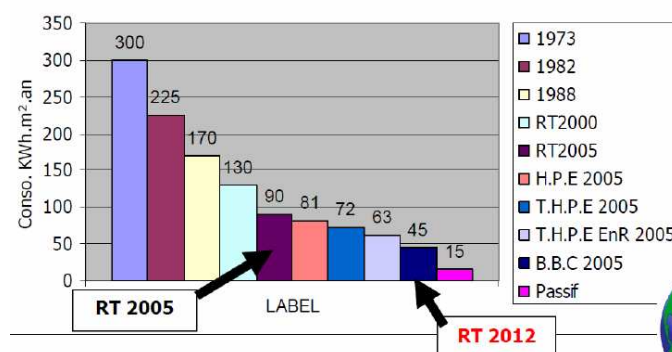
En France, le document de référence du Code de la construction et de l'habitation est la Réglementation thermique. Les réglementations RT 2005 et RT 2012 constituent une avancée importante dans la performance des enveloppes de bâtiments.

Pour les bâtiments existants, les exigences portant sur la rénovation énergétique sont séparées en deux catégories :

- **Réglementation Thermique Globale (RT Globale) - Pour une rénovation en profondeur de bâtiments > 1000 m² :** la réglementation thermique globale fixe un objectif de performance énergétique des bâtiments rénovés, construits après 1948. L'objectif pour les logements était de parvenir à un niveau de consommation d'énergie de 80 à 195 kWh/m²/an entre 2005 et 2010, et un niveau de 80-165 kWh/m²/an à partir de 2010, par rapport à une moyenne de 240 kWh/m²/an pour le parc immobilier existant. Le niveau dépend de la zone climatique et du combustible de chauffage utilisé. Pour les bâtiments non résidentiels, les économies doivent être de 30 %.
- **Réglementation Thermique par élément (RT par élément) - Pour une rénovation en profondeur de bâtiments < 1000 m² ou de bâtiments > 1000 m² en cours de rénovation mineure :** La Réglementation Thermique « élément par élément » définit un niveau de performance minimum pour les éléments remplacés ou installés ; cela concerne notamment l'isolation, le chauffage, la production d'eau chaude, les équipements de climatisation et de ventilation.

Pour les bâtiments neufs, la réglementation thermique 2012 retranscrit l'article 4 de la loi du 3 août 2009 et a pour objectif de limiter la consommation d'énergie primaire à un maximum de 50 kWhEP/m².an.

La thermique des bâtiments



Aligner dans tous les cas le traitement de la géothermie de minime importance dans la RT 2012 sur les réseaux de chaleur et le bois.

Les réglementations RT 2005 et RT 2012 constituent une avancée importante dans la performance des enveloppes de bâtiments.

Chaque procédé faisant appel à des énergies renouvelables est pris en compte de manière spécifique. La RT 2012 a introduit à bon escient un coefficient spécifique Mc_{GES} destiné à favoriser la filière bois, favorisant le caractère vertueux de la filière en terme de bilan carbone, de production locale de l'énergie, et d'emploi local. Les réseaux de chaleur sont également positivement impactés par ce coefficient.

Mais pour la géothermie, le logiciel réglementaire conduit à une différence de traitement pour un bâtiment dont l'énergie est d'origine géothermique, selon que l'installation géothermique (la PAC) est installée directement dans le bâtiment ou qu'elle y est reliée *via* un réseau de chaleur. En effet, le logiciel considère pour tout intégré au bâti que le recours à l'énergie renouvelable d'origine géothermique est valorisé directement dans le calcul RT 2012 et n'applique pas le coefficient Mc_{GES} .

Ce faisant, une même installation de géothermie de minime importance, dès lors qu'elle ne recourt pas à un réseau de chaleur, se retrouve pénalisée car non prise en compte par Mc_{GES} .

Le CEP Max : le droit à consommer

$$CEP \text{ Max} = 50 \times Mc \text{ type} \times (Mc \text{ géo} + Mc \text{ alt} + Mc \text{ surf} + Mc_{GES})$$

- $Mc \text{ type}$: coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2,
- $Mc \text{ géo}$: coefficient de modulation selon la localisation géographique,
- $Mc \text{ alt}$: coefficient de modulations selon l'altitude
- $Mc \text{ surf}$: coefficient de modulation selon surface moyenne
- Mc_{GES} : « coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées, pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur faiblement émetteurs de CO₂. »

- Pour le bois : 0,3 ce qui génère un droit à consommer additionnel tous usages.
- Pour un réseau de chaleur, modulé selon contenu CO₂, maxi + 30 % de consommation additionnelle tous usages

Quand vous faites un bâtiment et que vous mettez une chaudière au bois, vous avez un coefficient 0,3, votre bâtiment a le droit de consommer 30 % de plus. Non seulement ce coefficient s'applique sur le chauffage et l'eau chaude sanitaire, ce qui paraît assez logique puisque l'on chauffe ce bâtiment avec une chaudière au bois, mais il s'applique également sur les autres usages c'est-à-dire l'éclairage, les ventilations... etc. : vous avez un droit à consommer supplémentaire. C'est une ressource locale (il n'y a pas d'importation d'énergie) donc on lui donne un bonus pour pouvoir l'aider à se développer.

La géothermie de minime importance n'est pas positionnée dans tous les cas d'installations comme le bois et les réseaux de chaleur.

La filière géothermique par pompes à chaleur présente les mêmes caractéristiques que la filière bois : réduction d'émission de gaz à effet de serre, emploi local, importations d'énergie très faibles. La géothermie ne bénéficie pas du même coefficient que le bois. Ceci crée une distorsion entre les deux énergies pourtant également vertueuses.

En conséquence, la mission recommande de veiller à ce que les réglementations applicables ne conduisent pas à freiner les initiatives et les innovations en matière d'énergies renouvelables et plus particulièrement la géothermie de minime importance valorisant la chaleur du sous-sol.

RECOMMANDATIONS n°6 (Simplifier)

<i>La mission recommande :</i>
<i>- de traiter dans la RT 2012, indifféremment du positionnement de la PAC, une installation géothermique de minime importance en lui appliquant l'unique coefficient MC_{GES} correspondant à une liaison via un réseau de chaleur ⁴⁵ ;</i>
<i>La mission recommande :</i>
<i>- de simplifier la réglementation relative à la géothermie de minime importance, en évitant de créer des contraintes supplémentaires, et en créant un régime de simple déclaration pour les forages de moins de 200 m ;</i>
<i>La mission recommande :</i>
<i>- de faciliter les démarches administratives de création et de raccordement des nouvelles installations aux réseaux de chaleur.</i>

4.2.3 Insertions dans les documents locaux d'urbanisme

La loi (code urbanisme, art L.110) dispose que l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme « contribue à la lutte contre le changement climatique et à l'adaptation à ce changement. » C'est ainsi que les schémas de cohérence territoriale (SCoT), les Plans locaux d'urbanisme (PLU) et les cartes communales ont vocation à définir les conditions permettant

⁴⁵

Notamment le coefficient C

d'assurer la « réduction des émissions de GES, la maîtrise de l'énergie et la production énergétique à partir de sources renouvelables [...] ». »

Les documents d'urbanisme peuvent favoriser le recours à certaines énergies renouvelables au travers des dispositions réglementaires d'urbanisme (COS⁴⁶ amélioré, incitations à un raccordement à un réseau de chaleur, etc.).

En outre les outils de planification environnementale spécifiques ont une portée sur les documents d'urbanisme : les SCoT et les PLU doivent prendre en compte, lorsqu'ils existent, les SRCAE et les PCET. Le Conseil d'Etat a été amené à préciser cette notion de « prise en compte » laquelle ne doit pas être assimilée à une véritable obligation de mise en conformité. Ceci pose la question de l'articulation entre les différents outils de planification, spécifiques ou non, recensés en matière de politique énergétique. Ils risquent, à force d'être multipliés, de devenir inefficaces, car trop complexes à mettre en œuvre en impliquant différents échelons de compétence territoriale.

RAPPEL de la RECOMMANDATION n°5 (actions au niveau des collectivités locales)

<i>Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :</i>
<i>- de dresser un état des lieux des ressources en EnR disponibles et de promouvoir l'inscription de la cartographie correspondante dans les SCoT et les PLU, en allant pour les PLU jusqu'au niveau des zones urbanisées à l'échelle de la rue.</i>

4.3 Le point de vue des professionnels

↳ La mission cite le point de vue du groupement informel « Alliance Chaleur Renouvelable » (AFPAC, AFGP, ENERPLAN, SER, UNICLIMA (Collège E&C juin 2013) :

Nécessité de :

- Un soutien adapté, durable, stable et prévisible à l'horizon 2020, qui associe développement du marché et baisse des coûts,
- De la visibilité et de la communication à destination des particuliers et des décideurs,
- Des moyens pérennes et structurés en R&D : une plate forme technologique dédiée à la chaleur renouvelable et un soutien de 14 millions d'euros par an,
- Des outils de type ingénierie financière et une implication des Régions.

Source UNICLIMA collège E&C juin 2013

↳ Le point de vue d'un industriel :

- **du marché en France métropolitaine : Constats :**
 - Impact notable des aides fiscales pour le particulier,
 - Un marché attentiste,
 - Des marchés EnR dopés par les aides fiscales qui attirent les opportunistes entraînant des contre-références,

⁴⁶ COS : coefficient d'occupation du sol
TOME 2 : VERSION DETAILLEE

- Maintenance non systématique des installations,
- Freins à l'innovation : lourdeur des certifications – non valorisation dans les outils de calcul thermique réglementaires.
- **Actions des industriels ;**
 - Adaptation de l'offre produit,
 - Formation des installateurs (Qualisol, Qualipac),
 - Campagnes de sensibilisation des installateurs / des clients finaux,
 - Partenariats avec les fournisseurs d'énergie.

SOLAIRE THERMIQUE

(source VIESSMANN collège E&C juin 2013)

4.4 Recommandations de la mission

Par rapport aux autres EnR, et le Fonds chaleur traitant essentiellement de grosses installations, le segment géothermie de minime importance et solaire thermique ne bénéficie d'aucune attention publique particulière ni d'aides spécifiques. La mission considère qu'il est indispensable de construire des démarches et des outils venant en appui aux PME et aux artisans, pour leur permettre de développer une offre personnalisée auprès des « décideurs individuels » combinant plusieurs énergies et offrant un bouquet cohérent de travaux assurés par différents corps de métiers.

En termes de communication « grand public », la chaleur renouvelable est absente du paysage des énergies renouvelables comme des énergies conventionnelles (fossiles) ; une action spécifique, aux plans technique et économique, doit être conduite afin que tout maître d'ouvrage ait le réflexe de tester systématiquement, pour produire sa chaleur domestique, une variante géothermie de minime importance et/ou solaire thermique. La disponibilité de diffuser des fiches types de cas (voir la recommandation) paraît à privilégier.

RECOMMANDATION n°7 (Communication)

<i>La mission recommande</i>
<i>de construire un volet de communication et spécifique pour porter des messages accessibles en matière de production et de gestion de la chaleur renouvelable, à l'échelle d'une ou d'un petit nombre de petits bâtiments, qui comporte aussi une information en matière de régime des aides mises en place.</i>

RECOMMANDATION n°8 (Suivre et évaluer les résultats)

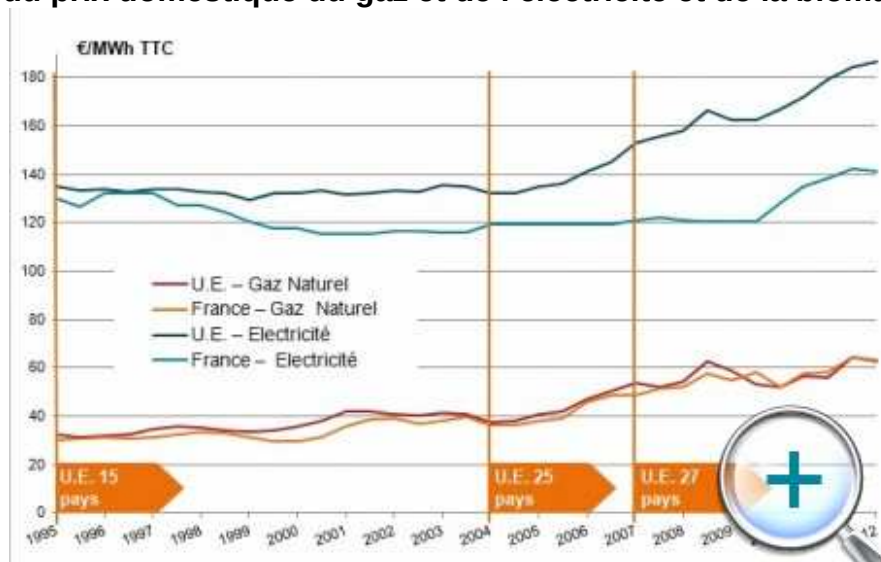
<i>La mission recommande :</i>
<i>de créer une « banque » de données nationale, accessible au public, constituée de fiches de cas de projets de « micro-chaleur » étudiés et conduits à leur terme par des particuliers (avec indication du coût et des aides publiques mobilisées, que ce soit avec ou sans recours à des bureaux d'études).</i>

5 DISCUSSION

5.2 Evolution du prix domestique des formes d'énergie et décision du particulier

Géothermie de faible importance et chaleur solaire sont des formes d'énergies renouvelables qui justifient notre intérêt et notre mobilisation pour orienter l'action citoyenne individuelle lorsqu'il faut prendre des décisions personnelles d'investissement en la matière. Il s'agit en effet d'une énergie « gratuite », non indexée sur le cours des énergies fossiles, et qui peut en outre, par réversibilité, offrir l'été un véritable confort thermique. L'évolution des prix des formes d'énergie ces 10 dernières années est très éloquente...

Evolution du prix domestique du gaz et de l'électricité et de la biomasse



Source Eurostat 2012

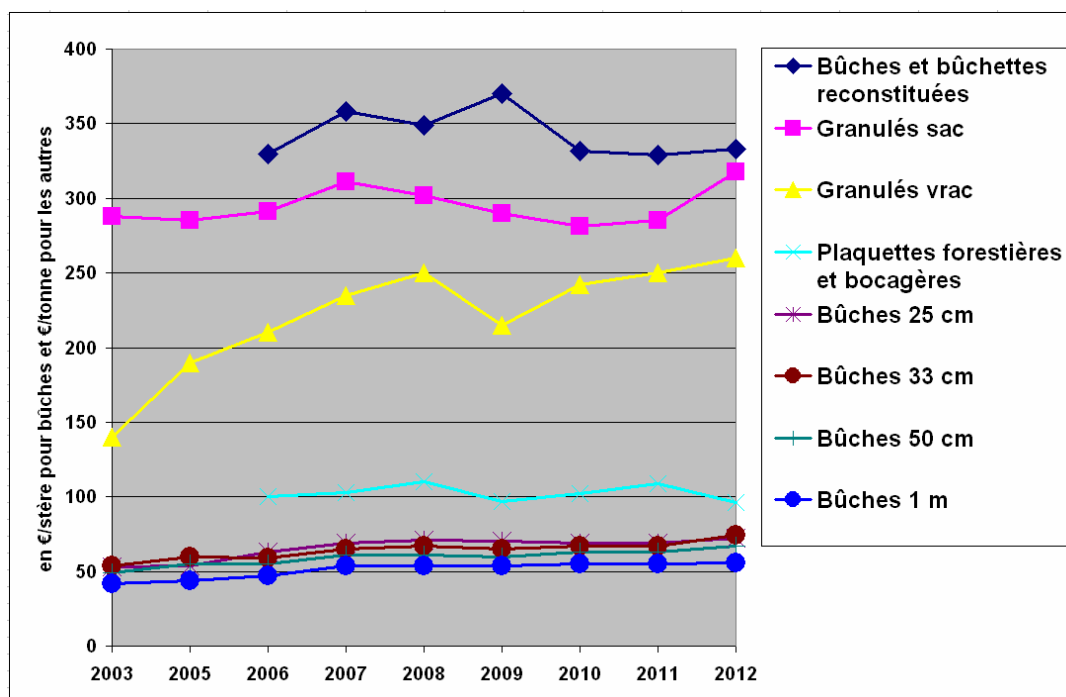
Ces courbes représentent l'évolution des prix sur le segment domestique pour la France et la moyenne de l'UE 27 en offrant un comparatif entre l'électricité et le gaz.

Contrairement à l'électricité, le prix du gaz naturel pour le consommateur particulier en France suit la tendance européenne des prix du pétrole. Aujourd'hui, le prix domestique de l'électricité en France est un des plus faibles constaté en Europe, du fait du nucléaire, et le prix du MWh gaz est plus faible que celui du MWh électrique.

Si on considère le prix du gaz domestique pour les différents pays de l'Union européenne, la moyenne s'établissait au 1^{er} semestre 2012 à 62,96 €/ MWh TTC, en distinguant les taxes pour chaque pays. Il était de 57,1 €/MWh en 2010. Les prix, principalement pour des raisons de fiscalité et de distance au pays producteur, peuvent varier du simple au double selon les pays, taxes comprises.

Remarque : on notera l'importance de l'augmentation des prix (gaz : +50% en 6 ans ; électricité : +15% en 3 ans). De plus le coût du kWh en France extraordinairement bas ne devrait pas perdurer compte tenu des investissements lourds à réaliser ces prochaines années. De même la CSPE pourrait atteindre 20 € en 2015 pour résorber la dette d'EdF⁴⁷.

Evolution des prix des combustibles bois livrés sur le marché des particuliers



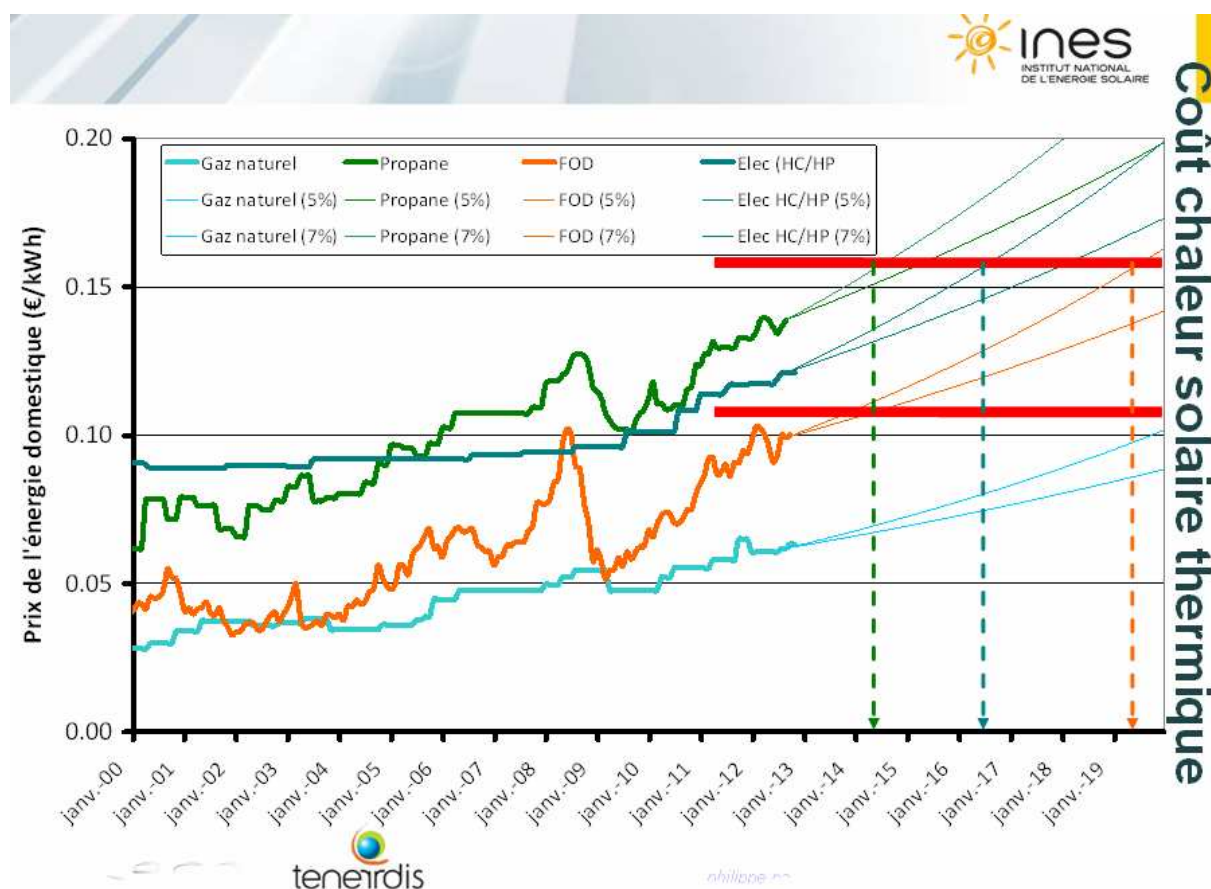
Source Etude ADEME juillet 2012 réalisée par BASIC

Biomasse solide : pour l'ensemble des combustibles considérés, dès lors que l'on prend en compte les tendances sur le moyen terme, la croissance des prix apparaît modérée, certes plus importante que le niveau général des prix pour certains combustibles, mais en retrait par rapport aux évolutions du prix des autres énergies.

Par ailleurs il existe une relative régularité dans l'évolution des prix qui tranche avec les évolutions erratiques connues par les énergies fossiles.

⁴⁷

Solaire thermique : vers la parité réseau ?



source Collège E&C juin 2013 Tenerdis Pôle compétitivité Grenoble)

Les augmentations importantes du gaz et de l'électricité ces 5 dernières années rendent désormais compétitive le solaire thermique. En effet, la « micro chaleur » bénéficie d'une source d'énergie « gratuite » (au sens commercial : pas de marché d'offre et de demande sur la fourniture de cette énergie), ce qui conduit à raisonner toute comparaison entre sources d'énergie en termes de coûts complets, en intégrant l'investissement initial et les frais d'entretien de l'installation sur une période correspondant à la durée de vie de l'installation.

L'intérêt des réseaux de chaleur utilisant les EnR

Selon l'enquête ADEME-AMORCE 2010, la chaleur fournie par réseaux de chaleur incorporant au moins 50 % d'EnR est très concurrentielle : pour un immeuble collectif (parc social moyen, consommation 170 kWh/m²/an), c'est la solution dont la facture énergétique est la plus basse, en particulier par comparaison au fioul, voire au gaz naturel.

5.3 Tableaux comparatifs des sources de chaleur renouvelable pour les maisons et les petits immeubles collectifs

La mission a voulu mettre dans le tableau ci-dessous en évidence les éléments-clefs qui sous-tendent la décision qu'un particulier est amené à prendre en matière de « micro-chaleur ».

	Géothermie	Pompes à chaleur	Solaire thermique
	(PAC sol / eau et eau/eau ou eau/air)	(cas général: air/eau, air/air...)	(ECS et chauffage)
critères			
Proximité des ressources	Accès limité par la surface accessible et les potentialités géologiques	Très facile Accès éventuellement limité par: - le gradient de température extérieure (air): assez peu - les potentialités géologiques (ressource en eau): parfois fortement	Accès limité par la surface (de toiture le plus souvent) et par l'orientation
Production	Performance stable (basse température) disponibilité selon le gisement et la sollicitation	Performance stable (basse température) disponibilité selon le gisement utilisé et la sollicitation effectuée	Variable (couverture nuageuse) disponibilité suffisante pour l'ECS, rarement suffisante pour le chauffage
Durée de vie de l'installation	Selon les PAC utilisées et leur entretien	Selon les PAC utilisées et leur entretien (15 ans?)	Fiable à long terme, selon l'entretien (25 ans?)
Stockage	Dans le sol	aucun, le plus souvent	selon la taille du cumulus installé (ECS) mais nécessite des installations très importantes pour le chauffage
Inertie de la réponse à une sollicitation	Forte (mise en route)	un peu lente à la mise en route risque de sous-dimensionnement de l'installation en cas de forte sollicitation	mise en route rapide si ensoleillement présent et/ou si stockage
Impact sur l'environnement	Limité (qualité du forage)	Limité (éventuellement : nuisance auditive et visuelle des appareils en extérieur)	Aucun (selon qualité de l'insertion architecturale)

	Réseau de quartier résidentiel (chaleur et/ou climatisation)	Réseau de quartier avec tertiaire de proximité (bâtiments publics, commerciaux ou de bureaux)	Petit logement collectif		Logement individuel	
			neuf	rénovation	neuf	rénovation
Géothermie (PAC sol / eau et eau/eau ou eau/air)	NECESSITE ADAPTATION LEGERE raisonner en tant que source principale de chauffage mais jamais unique valoriser le réseau en été pour apporter un confort thermique	PERTINENT, A DEVELOPPER possibilité supplémentaire de partager la fourniture d'énergie au cours de la journée	PERTINENT, A DEVELOPPER raisonner en tant que source principale ou complémentaire, jamais unique valoriser l'installation en été pour apporter un confort thermique	NECESSITE ADAPTATION FORTE seulement si plancher chauffant existant apport complémentaire très limité	PERTINENT, A DEVELOPPER raisonner en tant que source principale ou complémentaire, jamais unique valoriser l'installation en été pour apporter un confort thermique	NECESSITE ADAPTATION FORTE seulement si plancher chauffant existant apport complémentaire très limité
Pompes à chaleur (cas général : air/eau, air/air...)	TOTALEMENT INADAPTE Nécessité de produire de l'eau très chaude en permanence pour le chauffage : les PAC ne peuvent l'assurer à partir d'un point central . Il n'y a presque aucun intérêt à mutualiser la production des PAC individuelles		NECESSITE ADAPTATION LEGERE Les économies d'échelle sont envisageables (chauffage basse température par planchers chauffants) mais il reste nécessaire de prévoir une source d'appoint .	NECESSITE ADAPTATION FORTE performances plutôt réduites par la nécessité de fournir un chauffage à température élevée	PERTINENT, A DEVELOPPER bonne performance pour un chauffage de base (basse température)	NECESSITE ADAPTATION FORTE performances plutôt réduites par la nécessité de fournir un chauffage à température élevée sur une installation existante .
Solaire thermique (ECS et chauffage)	TOTALEMENT INADAPTE La puissance à installer ne peut pas être placée en tête de réseau,	NECESSITE ADAPTATION LEGERE Un éventuel réseau pourrait permettre de bénéficier des surplus individuels disponibles, surtout au cours de la journée pour le chauffage .	PERTINENT, A DEVELOPPER surfaces disponibles importantes (toitures-terrasses) pour production d'ECS et chauffage basse température .	PERTINENT, A DEVELOPPER surfaces disponibles importantes si toitures-terrasses , pour production d'ECS et pour une base de chauffage à basse température .	NECESSITE ADAPTATION LEGERE surfaces disponibles pouvant être limitées : - bien choisir l'orientation et l'intégration architecturale - adapté à la production d'ECS - il est plus difficile d'apporter un complément de chauffage "basse température" .	NECESSITE ADAPTATION FORTE surfaces disponibles pouvant être limitées (orientation, type de toiture...) quasiment limité à la production d'ECS .

Dans une réflexion plus spécifiquement économique, s'agissant de dispositifs réputés techniquement complexes et donc susceptibles de générer des montants d'investissement plus élevés par rapport aux solutions traditionnelles de production de chaleur (eau chaude sanitaire et chauffage), les principaux éléments de coût d'installation devront être estimés (avec l'estimation du temps de retour sur investissement (TRI)) ainsi que les économies d'échelle résultant soit d'une approche au niveau d'un quartier soit de la seule unité d'habitation.

5.4 Scénarios pour évaluer une contribution possible de ces filières dans le « mix » énergétique 2030

➡ Au moment où la France s'engage dans la transition énergétique, **le premier enjeu** d'une relance en matière de « micro-chaleur » est de construire une véritable offre française en matière de géothermie de minime importance et de solaire thermique, porteuse de croissance et d'emplois locaux non délocalisables.

De ce qui précède la mission aura retenu quelques éléments spécifiques à ces deux filières de production de chaleur :

- L'utilisation (*via* une PAC) sur les lieux de production même de la chaleur récupérée du soleil ou du sous-sol à faible profondeur : pas d'incitation à l'autoconsommation nécessaire, le bon sens économique (la chaleur se transporte mal) l'imposant naturellement ;
- La compatibilité de ces deux ressources qui peuvent alimenter une même PAC ;
- Le recours nécessaire à une autre source d'énergie d'appoint, la « micro-chaleur » ne pouvant assurer qu'un niveau de chauffage « de base », ce qui déjà peut représenter jusqu'à 80 % du besoin énergétique de chauffage ;
- La méconnaissance assez générale de ces deux ressources, y compris par le législateur (RT 2012..), qui sont souvent assimilées à leurs « grands frères » (photovoltaïque et géothermie profonde) avec toute la complexité qui leur est attachée ;
- La nécessité de recourir souvent à deux artisans au moins (exemple : un foreur et un chauffagiste), rompant avec le « plug and play » mis en œuvre pour le PV, les réseaux de chaleur, les travaux d'isolation ou le simple changement d'une chaudière par une technologie plus performante, multipliant ainsi la difficulté du particulier à trouver l'équipe d'artisans compétents et sachant travailler ensemble ;
- Le caractère très diffus sur tout le territoire des chantiers d'installation de « micro-chaleur », ce qui ne contribue pas à leur notoriété, chaque chantier ayant sa spécificité (nature du sous-sol, du logement, ensoleillement et exposition..) ;
- le faible nombre d'artisans compétents (ces chantiers étant rares, peu d'artisans s'y investissent) ;
- le coût d'investissement souvent supérieur aux technologies « traditionnelles » : la plupart des particuliers ne raisonnent qu'au niveau de leur trésorerie disponible face au montant de l'investissement initial et sont peu rompus :
 - au calcul en coût complet (la dépense est à répartir sur 10 ans ou parfois plus) d'une technologie dont la ressource énergétique est... gratuite (!),
 - à tout réflexe de mutualisation : 1/ distribuer la chaleur produite *via* un même forage ou une même installation de panneaux solaires grâce à un micro réseau de chaleur entre plusieurs particuliers (dans un rayon de proximité adapté ou dans un même immeuble) : combien de particuliers assimilent logement individuel à équipement individuel... 2/ se coordonner entre voisins pour réaliser en même temps des travaux de forage (une seule amenée de matériel facturée), etc.

Hormis certains particuliers convaincus, la plupart d'entre eux ne vont pas naturellement se tourner vers ces technologies, aujourd'hui « confidentielles » et qui rompent avec les habitudes. Une action de promotion est donc nécessaire.

Il ne s'agit pas uniquement de ménager une large publicité pour ces ressources méconnues. Un accompagnement technique (pas forcément lourd mais personnalisé) serait davantage efficace pour réussir à convaincre le particulier (identifier les besoins mais également la

ressource ; dimensionner l'installation et son couplage avec les autres équipements de production de chauffage et d'ECS).

➡ **Le second enjeu** est constitué par cette intermédiation technico-économique nécessaire auprès du particulier, qui conduit la mission à s'interroger sur les outils et les cibles les plus pertinentes pour dynamiser la filière.

Ainsi le premier niveau sera de disposer d'outils d'aide à la décision de faire appel à l'une ou l'autre de ces filières, que ce soit au niveau des décisions individuelles que prendront les propriétaires de maisons individuelles et de « petit collectif », ou au niveau des structures collectives pouvant offrir des opportunités de mise en réseau ou d'échanges réciproques à une petite échelle territoriale appropriée : fiches techniques rassemblant sur des « cas d'école » les performances de chauffage et de confort thermique, ainsi que les éléments de coût complet... Le second niveau sera de sensibiliser les artisans, via leurs structures professionnelles, et notamment la formation, à une adaptation de leur offre face à la demande émergente des particuliers. Il faut faire remarquer que les EIE (espaces info-énergies) et autres « guichets uniques » ont comme cible essentielle (souvent par téléphone) les particuliers et très peu les artisans (10 % environ). L'aspect fondamental réside alors dans l'intervention conjointe de plusieurs corps de métiers pour assurer la cohérence de l'installation (niveau de performance, régulation assistée de plusieurs sources d'énergie, garantie de bonne exécution, service après-vente et contrats d'entretien...).

Les aspects techniques et technologiques de la micro-chaleur n'étant pas les plus mis en avant actuellement, il s'agit de développer à grande échelle une compétence de proximité en matière d'ingénierie de projets (diagnostics, calculs thermiques, personnalisation des études, compétence des professionnels, service après-vente...) pour répondre aux attentes des particuliers (ou les susciter) lorsqu'ils disposent de capacités de financement certaines en matière de maisons individuelles et de « petit collectif ».

➡ Malgré un niveau de sensibilisation « générale » déjà perceptible, **le troisième enjeu** sera de mieux formaliser la demande des particuliers en matière de production de chaleur géothermique ou solaire thermique : cette demande est très « éclatée sur le territoire » et le faible nombre de réalisations ne peut pas avoir pour le moment d'effet d'entraînement. De plus se pose le problème du contrôle de l'efficacité des travaux en termes de bilan thermique du parti pris en faveur de ces technologies.

La montée en compétence d'artisans locaux amorce la constitution d'un réseau d'ambassadeurs de ces technologies, sous réserve que les dispositifs de formation efficaces soient mis en place et que soient établis des bilans thermiques pour chaque chantier.

De tels « îlots de compétence », associant artisans ou PME à des bureaux d'ingénierie thermique constitueront autant de « pépinières » (à certifier, probablement), supports elles-mêmes d'un essaimage de cette démarche d'approche multidisciplinaire de l'équipement thermique des logements et des bâtiments.

La mission a donc recommandé tout au long de ce rapport de valoriser les démarches regroupant des PME, entreprises artisanales et bureaux d'études autour d'une approche globale et multidisciplinaire de l'équipement thermique des logements et des bâtiments ; de tels « îlots de compétence » constitueront des « viviers » capables de répondre à la demande et d'attester les résultats observés en matière de production de chaleur lorsqu'il est fait appel à une forme ou une autre d'énergie renouvelable.

TOME 3 : RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION

1. TABLEAU DES RECOMMANDATIONS

Remarque : la mission a pris bonne note des recommandations du SER (Livre Blanc 2011⁴⁸)

A) Recommandations de premier rang, nécessitant cependant un approfondissement opérationnel :

A1 / - RECOMMANDATIONS n°3 (Visibilité à long terme)

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de veiller à une information complète et objective du particulier sur les solutions qui s'offrent à lui en matière de chauffage par une exposition des éléments de coût complet (calcul de rentabilité des dépenses sur 10 ans et non appréciation sur le seul coût de l'investissement immédiat), et qui intègre les avantages induits par la chaleur produite localement (énergie non indexée sur prix du pétrole, confort d'été, etc.) ;

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- d'établir un dispositif de soutien stable permettant d'une part des décisions d'investissements de la part de la filière industrielle et d'autre part une mobilisation des artisans :
- petits projets (individuels) et petits collectifs : fiscalité directe et indirecte ;
- aides sur programmes d'investissements agréés.

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de conditionner certaines de ces aides publiques à l'existence de documents de planification urbaine (PLU) faisant référence à ces énergies renouvelables et introduisant des dispositions incitatives (fiscales, augmentation de COS...etc.).

Afin de faire émerger une véritable politique de la « micro-chaleur », la mission recommande aux Pouvoirs publics :

- de repositionner le Fonds Chaleur vers une meilleure prise en compte des petites

48

Amplifier l'essor de la chaleur renouvelable : compiler des références, cartographier les ressources géothermiques, actualiser la réglementation (code minier), conditionner les aides publiques à des démarches de qualité, exploiter la chaleur résiduelle des locaux ;

Placer la chaleur renouvelable au cœur du bâtiment : dans la rénovation des logements, dans les constructions neuves de façon systématique, moduler les taxes locales en fonction de l'amélioration des performances et/ou du recours aux EnR, soutenir l'innovation technologique et l'équipement domotique de régulation et de synchronisation entre différentes formes de production de chaleur.

Consolider les technologies et l'industrie sur la chaleur renouvelable : soutien à la R&D, stabiliser sur le long terme un cadre de développement...

installations diffuses sans se limiter aux installations de moyenne et grande puissance.

A2 / - RECOMMANDATIONS n°4 (développement de la filière et promotion)

La mission recommande :

- de proposer systématiquement aux acheteurs de systèmes de chauffage, les matériels offrant une réversibilité (chaleur/confort d'été) voire un couplage de différentes sources de production de chaleur (solaire ECS, géothermie, cogénération...etc.) ;

La mission recommande :

- d'encourager la constitution d'un « vivier d'artisans ou de PME » capables d'œuvrer conjointement en matière de travaux thermiques sur un même territoire.

La mission recommande :

- de faire reconnaître un métier (ou une compétence) « d'intégrateur » pour les travaux thermiques qui soit capable à l'occasion d'un chantier de coordonner les différents corps de métiers, cet « intégrateur » pouvant être l'un des artisans oeuvrant conjointement ;

La mission recommande :

- d'inciter la profession à se former et de constituer un réseau d'ingénierie en matière de thermique des locaux d'habitation incluant la climatisation et valorisant les ressources locales de chaleur disponibles dont la mission sera : a) d'offrir des coûts d'installation maîtrisés (investissements et fonctionnement), b) d'offrir l'assurance d'un niveau suffisant de garantie de résultat, c) de contribuer à former les corps de métiers à travailler de concert sur ces innovations technologiques.

La mission recommande :

- de favoriser la montée en compétence des artisans locaux (label RGE⁴⁹) sur les technologies de production de chaleur assistée par PAC et favoriser leurs groupements momentanés (1 foreur + 1 chauffagiste par exemple) pour constituer une offre globale face à la situation actuelle d'une maîtrise d'ouvrage diffuse ;

La mission recommande :

- de mettre au point un cahier des charges standard qui permette de bâtir des propositions combinant plusieurs énergies en matière de chauffage et d'ECS adaptées au contexte du projet du client ;

La mission recommande :

- de favoriser l'émergence, sur un même îlot de petits bâtiments, de regroupements de maîtrises d'ouvrage (mutualisation au lieu de demandes individuelles trop diffuses) ;

La mission recommande :

- de mobiliser le dispositif des CEE pour promouvoir l'installation complète pour produire de la chaleur à partir du solaire thermique et/ou de la géothermie de minime importance : 1/ reconnaître (arrêté) l'éligibilité à délivrance de CEE de l'installation complète recourant à ces ressources, l'installation pouvant concerner plusieurs unités d'habitation (petits

⁴⁹

RGE : « Reconnu Grenelle de l'environnement » obligatoire à partir de juillet 2014 pour demander aide publique pour travaux d'efficacité énergétique

collectifs) et le cas échéant des activités tertiaires incluses dans le bâtiment traité ; 2/ reconnaître (arrêté) l'éligibilité aux CEE de la création et de l'animation des « viviers d'artisans ou de PME » précités.

A3 / - RECOMMANDATIONS n°5 (actions au niveau des collectivités locales)

Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :

- de dresser un état des lieux des ressources physiques (ensoleillement, géothermie) et de promouvoir l'inscription de la cartographie correspondante dans les ScoT et les PLU en allant pour les PLU jusqu'au niveau des zones urbanisées voire (possibilités de raccordement à des réseaux de chaleur) à l'échelle de la rue.

Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :

- d'inviter la Banque Publique d'Investissements à accueillir favorablement les projets de géothermie et de réseaux de chaleur de proximité ;

Afin d'encourager les initiatives des collectivités territoriales, la mission recommande :

- d'encourager les Régions, pour valoriser les atouts de leur territoire en géothermie et solaire thermique, par l'entremise des SRCAE et PCET régionaux, à inciter à promouvoir et de compléter les SRCAE qui n'auraient pas pris en compte la production de « micro-chaleur » en la traduisant dans la dynamique locale des PCET.

A4 / - RECOMMANDATIONS n°6 (Simplifier)

La mission recommande :

- de traiter dans la RT 2012, indifféremment du positionnement de la PAC, une installation géothermique de minime importance⁵⁰ en lui appliquant l'unique coefficient MC_{GES} correspondant à une liaison via un réseau de chaleur ; ;

La mission recommande :

- de simplifier la réglementation relative à la géothermie de minime importance, en évitant de créer des contraintes supplémentaires, et en créant un régime de simple déclaration pour les forages de moins de 200 m ;

La mission recommande :

- de faciliter les démarches administratives de création et de raccordement des nouvelles installations aux réseaux de chaleur.

B) Recommandations de second rang, tout en étant d'application immédiate :

B1 / - RECOMMANDATION n°1 (Pieux géothermiques)

La mission recommande :

D'étudier la faisabilité, en cas de réalisation de fondations profondes (dont les semelles filantes et les dalles de parkings) de l'insertion dans les structures d'un captage

⁵⁰ Notamment le coefficient C

⁵² Rappelons encore une fois qu'en rénovation, il faut d'abord isoler suffisamment le bâtiment avant de rénover une installation de chauffage.

B2 / - RECOMMANDATION n°2 (Puits canadiens)

<i>La mission recommande :</i>

<i>d'établir, dans la RT 2012, une prise en compte des « puits canadiens » qui se base sur la performance réelle après une vérification, dès la mise en service, des résultats sur le terrain, en lieu et place du calcul (par modélisation) de la performance thermique.</i>

<i>La mission recommande :</i>

<i>- de mettre au point un cahier des charges standard qui permette de bâtir des propositions combinant plusieurs énergies en matière de chauffage et d'ECS adaptées au contexte du projet du client ;</i>
--

<i>La mission recommande :</i>

<i>- de favoriser l'émergence, sur un même îlot de petits bâtiments, de regroupements de maîtrises d'ouvrage (mutualisation au lieu de demandes individuelles trop diffuses) ;</i>
--

<i>La mission recommande :</i>

<i>- de simplifier la réglementation relative à la géothermie de minime importance, en évitant de créer des contraintes supplémentaires, et en créant un régime de simple déclaration pour les forages de moins de 200 m ;</i>
--

<i>La mission recommande :</i>

<i>- de faciliter les démarches administratives de création et de raccordement des nouvelles installations aux réseaux de chaleur.</i>
--

B3 / - RECOMMANDATION n°7 (Communication)

<i>La mission recommande</i>

<i>de construire un volet de communication et spécifique pour porter des messages accessibles en matière de production et de gestion de la chaleur renouvelable, à l'échelle d'une ou d'un petit nombre de petits bâtiments, qui comporte aussi une information en matière de régime des aides mises en place.</i>
--

B4 / - RECOMMANDATION n°8 (Suivre et évaluer les résultats)

La mission recommande :

de créer une « banque » de données nationale, accessible au public, constituée de fiches de cas de projets de « micro-chaleur » étudiés et conduits à leur terme par des particuliers (avec indication du coût et des aides publiques mobilisées, que ce soit avec ou sans recours à des bureaux d'études).

CONCLUSION

La chaleur représente en France près de 50 % de notre consommation énergétique finale, ce qui justifie l'intérêt porté aux solutions de chauffage des locaux. La contribution des énergies renouvelables (EnR) à cette production de chaleur directe reste très modeste et, plus modeste encore, parmi ces dernières, l'énergie calorifique issue du solaire thermique et de la géothermie.

Pourtant, ces formes d'énergies renouvelables doivent susciter notre intérêt lorsqu'il faut prendre des décisions personnelles d'investissement. A la clé, en effet, une énergie « gratuite » non indexée sur le cours des énergies fossiles et qui, par réversibilité, peut offrir l'été un véritable confort thermique. Pour définir commodément la chaleur ainsi valorisée, la mission a proposé d'employer le terme de « micro-chaleur ».

Au delà des étiquettes tenaces (intermittence, chaleur difficilement transportable, montant d'investissement plus élevé) dont on a tôt fait de la parer, cette micro-chaleur présente de sérieux atouts.

Aujourd'hui les solutions de chauffage des locaux ne recourent plus à un seul type d'énergie au profit d'un « mix » de deux ou trois ressources mobilisées conjointement (exemple : gaz + géothermie + bois ou solaire thermique + bois + électricité, etc.), solution souvent préférable à toute dépendance envers une source unique d'énergie (fragilité en cas de crise : rupture d'approvisionnement, incident technique, interruption pour maintenance et entretien,..). Et la micro chaleur excelle au sein de tels « mix énergétiques ».

Si l'investissement à réaliser est légèrement supérieur, un raisonnement en coût complet permet de constater que le supplément investi est souvent largement compensé par les économies réalisées ensuite sur toute la durée du fonctionnement de l'installation. Par ailleurs, maison individuelle ne signifie pas individualisme : la mutualisation des ressources doit être systématiquement explorée. Un même forage géothermique à faible profondeur peut être réalisé pour alimenter plusieurs unités d'habitation via des micro-réseaux de chaleur, autorisant en termes de production et de distribution des « circuits courts » de proximité.

En termes macroéconomiques, la micro-chaleur vient, avec un rendement optimal du fait de la proximité entre sa production et sa consommation, alléger d'autant la demande de fourniture d'énergie produite de manière centralisée : le dimensionnement des réseaux de transport de d'énergies (chaleur, gaz ou électricité) n'est ainsi pas affecté par le développement de la micro-chaleur.

De même, vis-à-vis de ces réseaux de transport d'énergie, l'autoconsommation quasi obligée de la chaleur produite et l'absence de tarif d'achat ne font pas courir le risque d'une nouvelle bulle spéculative via la CSPE (contribution au service public de l'électricité) comme c'est le cas pour l'obligation d'achat de l'électricité « renouvelable ».

La micro-chaleur bouscule la perception habituelle que chacun se fait de la manière de satisfaire ses besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire, où chacun est captif d'une

énergie et de son prix imposé. En accédant à une source de micro chaleur, un particulier pourra avoir la maîtrise de sa facture d'énergie avec de substantielles économies au fil des années (après une étude thermique adéquate et une fois le bon choix opéré).

Ceci suppose néanmoins un environnement propice : la micro-chaleur n'est aujourd'hui promue ni par la RT 2012 (coefficients pénalisants), ni par le Fonds chaleur (trop forte atomisation de la demande), ni par les artisans qui ne maîtrisent pas seuls tout le process, ni par les aides publiques qui privilégient les EnR à faible investissement initial et n'intègrent pas les flux financiers prévisibles sur la durée de vie de l'équipement (calcul en coût complet).

Ceci suppose également du particulier qu'il apprenne à penser autrement son « chez soi » où chaque logement a « sa » chaudière, sa « centrale thermique ». Ne pas exclure de partager ou concevoir ses équipements de production de chaleur avec son ou ses voisins n'est pas contradictoire avec le concept de maison individuelle.

Les recommandations de la mission se sont attachées à chacune des spécificités de la micro chaleur : l'atomisation de la décision, le besoin d'expertise et d'ingénierie pour autant de situations spécifiques, enfin la nécessité d'une réelle accessibilité, « intuitive » et stable, à la réglementation, à l'information, et à une garantie de résultat.

Le recours à la micro chaleur suppose une maîtrise rigoureuse de la qualité thermique des bâtiments avec la nécessité d'une approche globale des besoins à couvrir, des formes de production à prévoir et des corps de métiers à coordonner pour mener à bien un projet (rénovation⁵¹ ou construction neuve).

L'enjeu est réel : la micro-chaleur est une opportunité pour favoriser un développement local et développer des emplois non délocalisables. Hormis certains particuliers convaincus, la plupart d'entre eux ne vont pas naturellement se tourner vers ces technologies, aujourd'hui « confidentielles » et qui rompent avec les habitudes. Une action de promotion est donc nécessaire.

Ainsi, au moment où la France s'engage dans la transition énergétique, il importe de mettre en avant les atouts de la « micro-chaleur » porteuse de croissance et d'emplois non délocalisables.

De ce qui précède la mission aura retenu quelques éléments spécifiques aux deux filières de production de chaleur étudiées :

- une chaleur produite localement et consommée localement ;
- la compatibilité de la géothermie et du solaire thermique qui peuvent alimenter une même PAC ;
- la possibilité pour la « micro-chaleur » d'assurer jusqu'à 80 % du besoin énergétique de chauffage ;
- la nécessité d'assurer une meilleure connaissance de ces deux ressources, y compris par le législateur (RT 2012) ;
- la nécessité de surmonter le caractère très diffus sur tout le territoire des chantiers de « micro-chaleur », ce qui ne contribue pas à leur notoriété, chaque chantier ayant sa spécificité ;

⁵¹ Rappelons encore une fois qu'en rénovation, il faut d'abord isoler suffisamment le bâtiment avant de rénover une installation de chauffage.

- le coût d'investissement souvent supérieur aux technologies « traditionnelles », pour des particuliers ne raisonnant qu'au niveau de leur trésorerie disponible face au montant de l'investissement initial, constitue un défi. Comment les amener à :
 - raisonner en coût complet (sur 10 ans ou parfois plus) à propos d'une technologie dont la ressource énergétique est... gratuite ?
 - accepter une éventuelle mutualisation de certains équipements : distribuer la chaleur produite *via* un même forage ou une même installation de panneaux solaires grâce à un micro réseau de chaleur entre plusieurs particuliers ?

Au final, il importe de mettre sur pied une intermédiation technico-économique de « conseil technique » auprès du particulier et une sensibilisation des artisans pour dynamiser la filière.

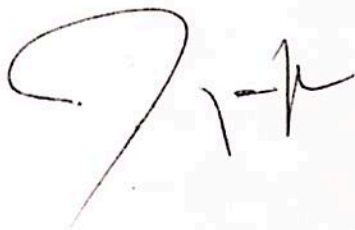
- Mettre à disposition du particulier des outils d'aide à la décision : fiches techniques rassemblant sur des « cas d'école » les performances de chauffage et de confort thermique, ainsi que les éléments de coût complet...
- Sensibiliser les artisans, via leurs structures professionnelles et la formation, à une adaptation de leur offre face à la demande émergente des particuliers permettant l'intervention conjointe et cohérente de plusieurs corps de métiers. Il s'agit de développer une compétence de proximité en matière d'ingénierie de projets pour répondre aux attentes des particuliers (ou les susciter).

La montée en compétence d'artisans locaux peut être l'amorce d'un réseau d'ambassadeurs de ces technologies, sous réserve que des dispositifs de formation efficaces soient mis en place et que soient établis des bilans thermiques pour chaque chantier.

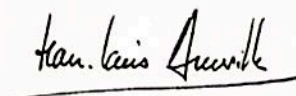
De tels « îlots de compétence », associant artisans ou PME à des bureaux d'ingénierie thermique constitueront autant de « viviers » illustrant ces démarches exemplaires et capables d'essaimer.

* * * * *

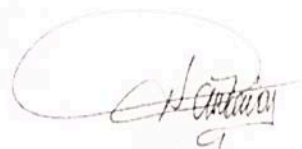
Jean-Claude Gazeau



Jean-Louis Durville



Alain Féménias



ANNEXES

Annexe 1 : Les entreprises présentes sur la géothermie de minime importance

Annexe 2 : Les entreprises du solaire thermique (*source ADEME & Uniclimate*)

Annexe 3 : Configurations possibles en matière de climatisation solaire

Annexe 4 : Le cas pathologique de Lochwiller en Alsace

Annexe 5 : Compétences attendues d'un Intégrateur de projets géothermie

Annexe 6 : Liste des personnes auditionnées

Annexe 7 : Acronymes

ANNEXE 1 **Les entreprises présentes sur la géothermie de minime importance**

					CA (M euros)	salariés																					
								Fondateur	Etudes sous sol	Fabriquants de PAC géothermiques	Etudes surface	Fabriquants de matériel thermique et hydraulique	Fabriquants de matériel de forage	Fabriquants de tubes	Fabriquants de matériel de diagnostic et de drainage	Fabriquants de contrôles et thermocoupleurs	Transporteurs et constructeurs	Exploitation	Opérateurs de plateformes	Fabriquants de tubes et constructeurs de colonnes de forage							
DALIA	X	X	X	GE	3000	52700						X			X	X		X	X								
EDF	X	X	X	GE	65300	169 000				X								X	X								
URS FRANCE	X			GE	20	150	FILIALE URS		X																		
ANTEA GROUPE	X	X		ETI	300	3000 (MONDE)			X																		
BURGEAP	X	X	X	ETI	85	950			X		X																
CIAT	X	X		ETI	270	2200 (MONDE)				X		X				X											
EDF R&D	X			ETI	496	2000			X		X																
IDEX	X	X		ETI	700	4000				X																	
JEUMONT ELECTRIC	X	X	X	ETI	95	500						X				X								X	X		
JOHNSON SCREENS	X	X		ETI			25 USINES DANS LE MONDE						X	X													
WAVIN FRANCE	X			ETI	150	750	FILIALE WAVIRIN BV (HOLL)			X																	
GWE FRANCE	X	X		PME		250						X	X	X													
HYDROGEO TECHNIQUE ENVIRONNEMENT	X	X		PME		250		X	X																		
SOFATH THERMATIS TECHNOLOGIES	X	X		PME		250				X																	
SAUNIER & ASSOCIES	X	X	X	PME		200			X																		
TERRASOND SAS	X			PME		150		X																			
MCCF	X	X		PME		100		X	X									X									
VERBEKE ESSAIS DE SOL	X	X		PME		100		X	X		X																
ETAO GÉORESSOURCES	X			PME		80			X																		
TAUW FRANCE SAS	X			PME		80	FILIALE DE TAUW 1200 SALAIRES MONDE		X		X																
ALTO INGENIERIE	X	X	X	PME		75					X																
AJTECH	X			PME		80						X															
SOVEMA - PROMAFOR	X	X	X	PME	18	48										X											
S2T	X	X		PME	3,6	45					X																
VIVRECO	X	X		PME	8,9	40				X		X															
MASSE FORAGE	X	X		PME	5	37		X																			
CARDONNEL INGENIERIE	X	X		PME	3,2	30					X																
PRISER ET FILS SARL																											
FONDATION	X	X		PME		30		X																			
EAU & INDUSTRIE	X	X		PME		22			X																		
AQUASSYS	X	X		PME	2,2	20			X																		
GEOFORAGE	X			PME		20		X																			
HELIOPAC SAS	X			PME	2,4	20				X																	
SONDALP	X	X		PME	3	20		X																			
X-TERMA SAS	X			PME		5				X																	

	très basse énergie	basse et moyenne énergie	haute énergie	structure	CA (M euros)	salariés															
								Focus	Travaux de sol	Travaux de fond	Travaux de surface	Travaux de réhabilitation et/ou rénovation	Travaux de réhabilitation de façade	Travaux de réhabilitation de toiture	Travaux de réhabilitation de murs	Travaux de réhabilitation de façades	Travaux de réhabilitation de façades	Travaux de réhabilitation de façades	Travaux de réhabilitation de façades	Travaux de réhabilitation de façades	Travaux de réhabilitation de façades
SERMET	X	X		TPE	3	23					X										
COTRASOL	X			TPE	4	20		X													
PONTIGNAC	X			TPE		17		X													
ARCHAMBAULT CONSEIL	X			TPE		15			X		X										
ERBOTECH	X	X	X	TPE	2,3	13		X													
MANFOR	X			TPE	2	13		X													
VAN INGEN FORAGES	X	X		TPE	2	13		X													
ECOFOR	X	X	X	TPE	2,5	12							X								
ECOME	X	X		TPE		10			X		X										
RYB TERRA	X			TPE	1,3	10	FLIAUX DE RYB								X		X				
LUROFORAGE	X			TPE	0,65	6		X													
ADRET ENERGIE	X	X		TPE	0,8	7						X									
BRIES & FILS	X			TPE	0,75	7		X													
SCAIF	X	X		TPE	1	7				X											
BONFACE SARL	X			TPE	1,1	6		X													
BOUTIN FORAGE	X			TPE		6		X													
FOREM-FF	X	X		TPE		6		X	X								X				
FORENSOL	X	X		TPE		6		X													
GEO-FOR*	X			TPE		6		X													
NORD FORAGE	X	X		TPE		6		X													
MENTZLER ROBERT	X			TPE		5		X													
AQUIFOR (SARL AQUITAINE FORAGES)	X			TPE		4			X												
GEOTHER SARL	X	X		TPE	0,66	4			X												
GEOTHERMIE CONFORT	X			TPE		4				X		X		X							
MACCAISO	X			TPE		4		X													
MERIDIONALE DE FORAGE	X			TPE		4		X													
VENTILONE SARL	X			TPE		4			X		X	X		X							
AQUA SYSTEM FORAGES	X			TPE		3			X												
CLEMENT GOURBIERE - FORAGE GP	X			TPE		3		X													
G2H CONSEILS	X	X		TPE		3			X												
GEOFOREST SAS	X			TPE	0,42	3		X													
IN SITU ENR*	X			TPE	0,26	3		X	X		X										
MATHERON FORAGE	X			TPE		3		X													
SETRAFOR	X			TPE		3		X													
OUTREUIL FORAGE	X			TPE	0,25	2		X													
FORAGE PAGANIN	X			TPE		2		X													
FORGEO	X			TPE		2		X													
GS-3 ENERGIES	X	X		TPE		2			X	X	X	X									
IDEMIX	X			TPE		2								X							
LITTORAL FORAGE	X			TPE		2		X													
PRADURAT FORAGE	X			TPE		2		X													
VERTICAL GEOTHERMIE	X	X		TPE	0,45	2		X													
KYOTHERM	X	X		TPE						X											
SUD FORAGE	X			TPE				X													
VAUTHRIN FORAGES	X	X	X	TPE				X													

ANNEXE 2
Les entreprises du solaire thermique
(source ADEME & Uniclimate)
Extraits de l'étude de compétitivité solaire thermique de l'ADEME
parue en mai 2013

Les activités des fabricants, des équipementiers et des assembleurs	
Acteurs impliqués	Les quatre principaux fabricants de capteurs présents sur le sol français sont : - Viessmann, fabricant allemand - Vaillant, fabricant allemand - Giordano Industries, fabricant français - Clipsol, fabricant français Les autres fabricants présents en France sont : - Tecnisun, fabricant français, propriété de Lacaze Energie depuis 2011 - Sun Ray, fabricant français basé en Nouvelle Calédonie de capteurs et CESI - Dijoux, fabricant français basé à la Réunion de capteurs et CESI - Robinsun, fabricant français de vitrage solaire Source : Solrico 2011 A cela s'ajoutent d'autres acteurs que l'on peut qualifier de fabricants/assembleurs car ces entités ont une partie de la fabrication de systèmes à partir de capteurs solaires OEM c'est-à-dire issus de fabricants vendant leur produits sans marque. Ces entreprises assemblent des matériels issus de fournisseurs mais ils apportent également de la valeur ajoutée en matière de « packaging » c'est-à-dire en optimisant le pré-montage usine des composants afin de limiter le temps de pose des systèmes, réduire les risques d'erreurs de montage in situ et enfin réduire les coûts. Par ailleurs, certains développent leur propre système de régulation (software). Ce sont, sans être totalement exhaustif mais en citant les principaux : - Eklor : fabricant et intégrateur systèmes solaires collectifs - SOLISART : fabricant et intégrateur systèmes solaires SSC individuels et collectifs - Atlantic : fabricant et intégrateur systèmes solaires individuels et collectifs - Lacaze Energies : fabricant et intégrateur systèmes solaires collectifs - Chaffoteaux et Maury : fabricant et intégrateur systèmes solaires individuels et collectifs - Ellos Industries : fabricant et intégrateur systèmes solaires individuels - Frisquet : fabricant et intégrateur systèmes solaires individuels et collectifs - Free Heat : fabricant et intégrateur systèmes solaires individuels - Rotex : fabricant et intégrateur systèmes solaires individuels et collectifs Zoom sur les deux plus grandes entreprises françaises : Clipsol possède une usine (Aix-les-Bains) : chiffre d'affaires annuel de 20 M€ dont 6 M€ dans le solaire thermique (production entre 12 (2011) et 17 000 (2008) m²/an (capteurs vitrés). L'usine emploie 90 salariés. GDF Suez détient 51% du capital depuis 2008 à l'occasion d'une augmentation de capital, nécessaire pour le financement de la R&D de Clipsol. Toutes les ventes de Clipsol seraient effectuées en France. Sources : entretien CLIPSOL et site internet de la société Jacques Giordano Industries possède une usine à Aubagne (Bouches-du-Rhône) : chiffre d'affaires de 27 M€ en 2010 dont 11,8M€ de production (production de 50000 m² en 2012, capteurs plans vitrés). L'usine emploie 115 salariés. Zoom sur Viessmann et Vaillant, entreprises allemandes avec une usine en France : Viessmann possède l'usine de Faulquemont en Moselle : 100 M€ de CA en production (dont 90% exportés) et 515 salariés en 2010 (chiffre total de l'usine qui englobe également tous les salariés dédiés à la fabrication de ballons pour l'Europe, les services généraux et commerciaux pour la France de Viessmann France) avec une capacité de production de 660 000 m²/an soit 250 000 capteurs (capteurs plans vitrés). La présence de Viessmann en France est antérieure au développement du solaire thermique. Dans les années 70, Viessmann a profité de la proximité de la Lorraine avec la région industrielle de la Ruhr, du savoir-faire en termes de chaudronnerie de la France et d'un coût du travail peu élevé dans un contexte de reconversion. Historiquement, l'usine ne produisait que des ballons d'eau chaude. Maintenant,

	environ un tiers de l'usine en surface (et 40 personnes) est alloué à la production d'équipements de la filière solaire thermique. Cette usine produit à la fois pour la France et l'Allemagne où il n'y a pas d'autres installations industrielles produisant de tels équipements. Vaillant possède une usine à Nantes avec une capacité de production de 300 000 m²/an soit 125 000 capteurs (technologie - capteurs plans vitrés). La présence de Vaillant remonte également à une reconversion industrielle de la région. Contrairement à l'usine de Viessmann, l'usine de Nantes ne produit que des équipements de la filière solaire thermique. La structuration du marché solaire se compose de trois types d'acteurs : Source Observ'Er 2011 - Les spécialistes du solaire : ils se concentrent principalement sur les applications individuelles et se dirigent lentement vers le marché du collectif. Ils ont développé des solutions techniques standardisées essentiellement pour le marché de l'individuel et le petit collectif : kit pré-montés pour des installations de quelques m² à quelques dizaines de m² de surface de capteurs. Exemple : Wagner & co, Solvis, Sonnenkraft, Clipsol, Giordano, Solisart. Il existe aussi des spécialistes du solaire thermique collectif : ce sont souvent des bureaux d'étude qui ont intégré une fonction commerciale et élargi leurs prestations de services à la fourniture de systèmes solaires complets. Exemples : Solid, Parabel, Ritter XL Solar, Eklor, Lacaze Energies. - Les grands chauffagistes : ils s'orientent vers les installations collectives. Leur force est d'être présents sur les énergies conventionnelles et de pouvoir présenter des combinaisons fioul/solaire et gaz/solaire. Exemples : Viessmann, Bosch, De Dietrich, Saunier Duval, Chaffoteaux et Maury, Frisquet... - Les entreprises généralistes du bâtiment : ce sont des entreprises qui figurent dans la fourniture d'équipements techniques du bâtiment qui ne sont pas directement la production de chaleur. Cependant, leur segment possède des liens techniques avec cette production de chaleur ou une des fonctions connexes potentielle du capteur solaire thermique. On recense notamment en France des entités comme Schuco (qui ne fabrique plus de capteurs depuis fin 2012 sur décision stratégique internationale de la maison mère du groupe en Allemagne), spécialiste des équipements de façade ou encore Roto sur le même segment. Le cas de Velux est un peu à part car cette entreprise appartient au groupe danois VKR qui possède de très importantes entreprises de fabrication de capteurs : notamment Sonnenkraft. On peut citer enfin une entreprise comme Roth qui est avant tout un spécialiste des systèmes de distribution (planchers chauffants). Le point fort de ces acteurs du bâtiment est leur très bonne connaissance du marché au niveau commercial mais leur point faible est souvent l'absence au sein de leur entreprise d'une équipe technique et d'un SAV performant. Ceci en raison du caractère connexe du solaire thermique parmi leurs activités principales. De fait, le niveau d'investissement de ces entités dans le solaire dépend intimement du caractère stratégique de celui-ci dans leur business plan. Comme ce dernier suit essentiellement les tendances du marché, le solaire seul, sauf s'il prend des parts de marché importantes à l'avenir, ne sera pas un poste d'investissement majoritaire alors que les solutions hybrides complètes incluant le solaire (les colonnes solaires avec appoint gaz) peuvent représenter des investissements importants en terme de R&D de la part de ces industriels. La répartition précise du marché entre ces trois types d'acteurs n'est pas connue précisément. Néanmoins, l'Etude comparative sur le marché des applications solaires thermiques collectives en France, Allemagne et Autriche d'Observ'Er avance que la répartition des ventes en France est proche de celle de l'Allemagne, à savoir (individuel et collectif confondus) : - Spécialistes du solaire : 30% - Grands chauffagistes : 50% - Entreprises généralistes du bâtiment : 20%
elon nos statistiques Uniclimate+Enerplan), la représentativité en France en plutôt la suivante à ce jour : - Spécialistes : 33% - Généralistes du chauffage : 67%	Dans cette première partie Fabrication, il a surtout été question de la filière industrielle de production de capteurs solaires thermiques. Les systèmes solaires font appel également à d'autres composants importants tels que les ballons de stockage, les

	échangeurs, les pompes, la régulation et les accessoires hydrauliques. Une partie des industriels fabriquant des capteurs solaires ou assemblant des systèmes solaires fabriquent également des ballons : c'est notamment le cas de Viessmann et d'Atlantic dans leurs usines en France. La production de Viessmann dans la gamme des ballons de moins de 1000 litres sur son site de Faulquemont est de 220 000 ballons par an (ce qui représente 44 000 tonnes d'acier) avec une variété de gamme de près de 60 ballons différents à la fois émaillés ou inox. La concurrence est très importante pour la fourniture de ballons au niveau européen et ce sont les fabricants des pays de l'ex Europe de l'Est qui détiennent la majorité du marché sur le solaire individuel. Dans le secteur du solaire collectif, il existe en France trois fabricants principaux qui détiennent la majorité du marché actuellement : - Lacaze Energie - Charot - Atlantic Guillot Ce sont des fabricants historiques issus du milieu industriel qui possèdent un solide savoir-faire dans la fabrication des ballons de taille supérieure à 1000 litres. Dans le secteur des échangeurs à plaques, la France possède une filière française performante avec des fabricants comme Alfa Laval ou Vitherm. L'excellence se situe sur les échangeurs de taille compatible avec des installations de plus de 30 m² de capteurs qui imposent souvent l'utilisation d'échangeurs à plaques à joint et non d'échangeurs noyés intégrés aux ballons ou d'échangeurs à plaques brasées dont la maintenance est impossible. La fourniture de pompe (ou circulateur) est complètement internationale avec des fabricants ayant des usines en France mais appartenant à des groupes internationaux : Salmson, Grundfos et Wilo principalement. Dans le domaine de la régulation solaire, les entreprises allemandes ont une part de marché prépondérante à la fois sur le collectif et sur l'individuel. Des fabricants comme Resol ou Steca. Leur avance technologique ainsi que leur volume de marché à l'international leurs permettent d'offrir des produits et composants très compétitifs, même si parfois leur spécifications techniques ne sont pas complètement adaptées aux particularités du marché français. Dans le domaine du solaire collectif, un certain nombre de petites PME ou d'entreprises françaises réussissent à posséder des parts de marché non négligeables grâce notamment à leur adaptabilité aux contraintes du marché français et notamment en matière de contraintes techniques liées au suivi des installations. On peut citer notamment des entités comme Schneider Electric (NAPAC), Sémaphore (TISI) ou encore Witt.
<i>Champs d'intervention</i>	Fabrication d'équipements pour STI (CESI, SSC) et STC (CESC, CESC, CESC).
<i>Eclatement du marché</i>	Le marché semble relativement concentré en volume autour de quelques acteurs : Viessmann, Giordano Industries, Clipsol, et Vaillant. Viessmann est le premier fabricant de capteurs en France mais aussi le premier vendeur de capteurs en France. Il est suivi par le fabricant autrichien OEM Greenonotec en seconde position. Ensuite viennent une quantité importante de petits acteurs dont certains commercialisent entre 100 et 5000 m² par an. Concernant les ballons solaires, toute taille et applications confondues (STI et STC), le marché français est estimé à 47 000 unités par an (chiffres BRG, 2011). Le principal fabricant et surtout distributeur de ballons en France en 2011 était De Dietrich avec plus de 5500 pièces (12% de part de marché) suivi par un groupe formé par Atlantic (9,5%), Vaillant, Bosch, Viessmann et Giordano qui ont vendu plus de 2500 pièces. Il est intéressant de noter que l'un des acteurs importants, fabricant français de ballons destinés au collectif, Charot, n'est considéré au niveau général dans la fourniture de ballons (classement par unités vendues en 2011) qu'à la 16^{ème} position avec 730 unités vendues annuellement. On voit là l'importance de la nuance à apporter sur la notion de volume de marché et non pas de valeur. Sur les principaux fournisseurs recensés, il apparaît comme cité précédemment

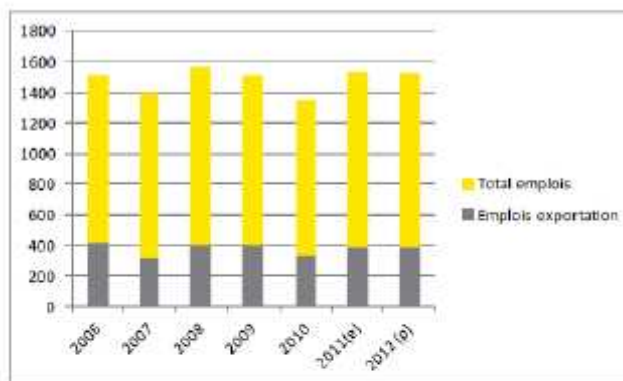
	qu'environ 30% (en volume) des ballons vendus sont fabriqués sur le territoire, notamment grâce à Atlantic et Viessmann. A noter que ce marché de distribution et fabrication est très fragmenté puisque de nombreux petits distributeurs et non fabricants se partagent 20% de part de marché.
<i>Les évolutions de ces dernières années</i>	Au début des années 2000, le nombre d'acteurs était restreint et limité aux acteurs historiques français accompagnés de quelques acteurs d'Europe centrale. Rapidement, avec l'expansion du marché lié au Plan Soleil puis au CIDD, l'offre s'est ouverte vers de nombreux produits européens venant notamment de Grèce et d'Europe du Sud. Quelques tentatives d'importation de matériel asiatique ont dans certains cas assez vite avorté en raison de la barrière de qualité instaurée par l'avis technique et la certification système d'une part et de l'inadaptation au marché européen de la technologie sous vide de type Sydney très bon marché mais à usage limité en Europe (réseaux d'eau sanitaire en pression rendant moins intéressante la technologie bas coût). Un certain nombre d'acteurs de type distributeur par vente directe sont apparus pendant les années de marché les plus élevées (2008) mais ont rapidement disparu depuis la contraction du marché après 2010. Depuis 2012, on constate encore une restructuration du marché de l'offre mais de nouvelles PME innovantes qui apparaissent et le maintien, avec difficulté, des acteurs spécialistes du solaire. Les chauffagistes tirent leur épingle du jeu en se maintenant grâce à leur offre diversifiée malgré une baisse des volumes et un marché morose.
<i>Répartition géographique et évolutions de ces dernières années</i>	La carte ci-dessous illustre la localisation des principaux sites de fabrication d'équipements solaire thermique en France. Ces sites ne présentent pas de concentration géographique particulière. 

Ressources humaines liés aux fabricants et équipementiers

Emplois, qualifications et évolutions de ces dernières années

L'évolution du nombre d'emplois liés à la fabrication d'équipements de la filière solaire thermique (individuel et collectif confondus) depuis 2006 est présenté dans le graphique ci-dessous.

Entre 2010 et 2011, l'emploi dans la fabrication aurait progressé de 3,8 % pour atteindre 1154 personnes en 2011. Cette hausse serait suivie d'une légère baisse à 1148 personnes en 2012. Environ 30% de ces effectifs serait attribué à l'exportation.



Source : Marchés, Emplois et enjeu énergétique des activités liées aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique, ADEME 2012.

Les données relatives à 2011 sont des estimations et les données relatives à 2012 sont des prévisions.

Relations avec les principaux installateurs, les bureaux d'étude et les autres acteurs.

Dans le solaire thermique individuel (STI), les fabricants vendent à des CMistes dans le neuf (à un prix légèrement inférieur) et à des distributeurs pour le marché de la rénovation (parfois directement à des installateurs).

Le coût du matériel vendu aux CMistes varie entre 1100 et 1800 euros en fonction de la gamme du CESI. Pour les distributeurs, le prix est plus élevé et atteint 2100 euros. Cette gamme de prix est confirmée par un distributeur dont le prix est entre 1600 et 2000€ HT. De même, on observe un coût catalogue de 220€/m² avec une remise de 40% pour les distributeurs.

Dans le solaire thermique collectif (STC), le schéma est plus complexe et moins standard. La vente peut-être directe au maître d'ouvrage ou passer par un distributeur ou un installateur.

Néanmoins, les fabricants estiment que sur le STI, le niveau de compétences des installateurs s'est bien amélioré. Ce qui n'est pas encore le cas sur le collectif car ceux-ci ne sont pas généralement armés ou habitués à travailler sur des projets de grande taille, sauf s'ils sont aidés dans le déroulement du chantier par une maîtrise d'œuvre spécialisée. Les fabricants se plaignent dans le collectif du manque de compétences des BET, des installateurs et des exploitants. Les fabricants souhaitent que se développent davantage d'entreprises spécialisées dans le STC.

Certains fabricants étudient la possibilité de lancer une gamme de services de télé-suivi et certains ensembleurs ou distributeurs ont déjà fait apparaître dans leur gamme un tel service. Ce service pourrait être co-développé pour certains avec des BET experts en la matière.

Le positionnement par rapport à l'international

<i>Les points forts</i>	En France sont fabriqués des systèmes complets performants. L'esthétisme et l'intégration architecturale des produits sont également des points d'attention. Le dispositif d'audit instauré dans le cadre des qualifications et repris dans la transcription de la Directive EnR par la Charte « Reconnu Grenelle de l'Environnement » (RGE) pour reconnaître et qualifier la compétence des installateurs, est une force, qui assure un relativement bon niveau de qualité pour la mise en œuvre des CESI/SSC. Remarque : les dispositifs mis en place par les organismes de qualifications des installateurs, organismes signataires de la charte RGE, ont tendance à créer une certaine forme de concurrence parmi les professionnels alors qu'elle ne devrait pas avoir lieu d'être a priori.
<i>Les points faibles</i>	Le marché intérieur des capteurs est largement satisfait par les capacités de production installées en France. En effet, les fabricants principaux annoncent exporter 80% de leur production. La production française de capteurs solaires reste également faible par rapport aux marchés allemand et autrichien. Nous avons vu précédemment que la situation était relativement similaire pour les ballons de stockage solaire. La certification technique, autre que Solar Keymark, est une particularité française qui peut être perçue comme relativement « lourde » et peut parfois dissuader le lancement de nouvelles gammes, ou l'arrivée de nouveaux acteurs : ce qui peut expliquer une partie des différences de prix des équipements du marché (Observ'Er, 2011). Enfin, il est à noter que la certification n'a pas qu'un rôle de garantie sur le matériel, elle va au-delà et apporte des garanties aux assurances sur la mise en œuvre des composants dans le bâtiment par les installateurs et BET. Le coût de la commercialisation est beaucoup plus élevé en France qu'en Allemagne ou en Autriche car les clients sont mieux avertis dans ces pays. En effet, la technologie étant moins connue et répandue en France, les coûts commerciaux liés au démarchage pour informer sur la technologie, sensibiliser et convaincre sont plus importants.
<i>Comparaison des coûts de production</i>	Les coûts de production ne semblent pas très différents entre la France et l'Allemagne ou l'Autriche. La comparaison des coûts sera abordée dans la partie E de l'étude. Leaders mondiaux et marché mondial Les acteurs majeurs de la fabrication de capteurs solaires sont allemands et chinois. On peut citer : - En Chine : Sunrain, Micoe, Tsinghua, Linuo Paradigma (plus de 7 000 000 m² produits en 2010 ou 2011) ; - En Allemagne : Viessmann, Bosch Thermotechnik (1 600 000 m² produits en 2010 ou 2011). Pour les ballons de stockage, on retrouve comme leaders internationaux les chauffagistes cités plus haut mais aussi une filière italienne relativement dynamique : - En Allemagne : Viessmann, Bosch Thermotechnik, Vaillant ; - En Italie : BDR Thermana, Ariston, Ferroll. Le tableau ci-dessous liste quelques acteurs majeurs de la fabrication de capteurs solaires thermiques. On notera ainsi que les entreprises chinoises et allemandes sont majoritaires dans cette liste, grâce aux positions de leader de leurs pays sur le secteur. De plus, les grands groupes généralistes du marché du chauffage (comme Bosch Thermotechnik ou Viessmann) sont ceux disposant des capacités de production les plus importantes.

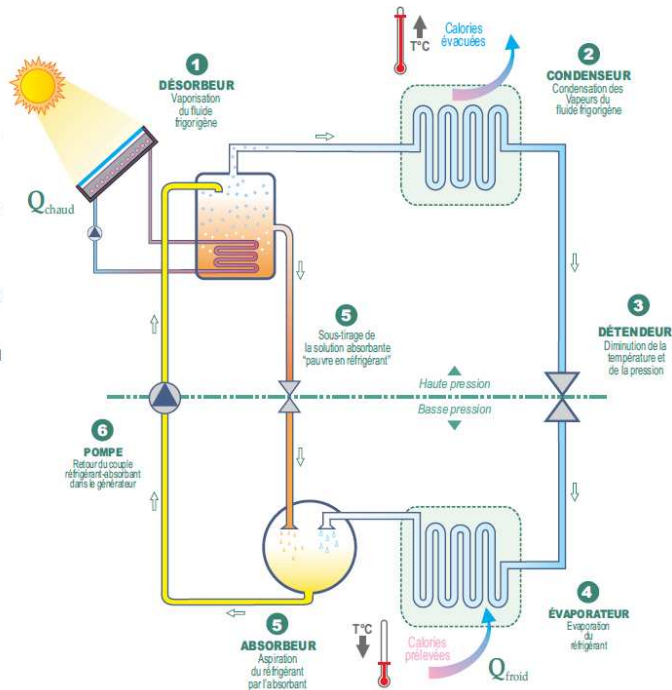
ANNEXE 3

Configurations possibles en matière de climatisation solaire

Nous présentons ci-dessous trois variantes de climatisation solaire par adsorption.

Principe de fonctionnement :

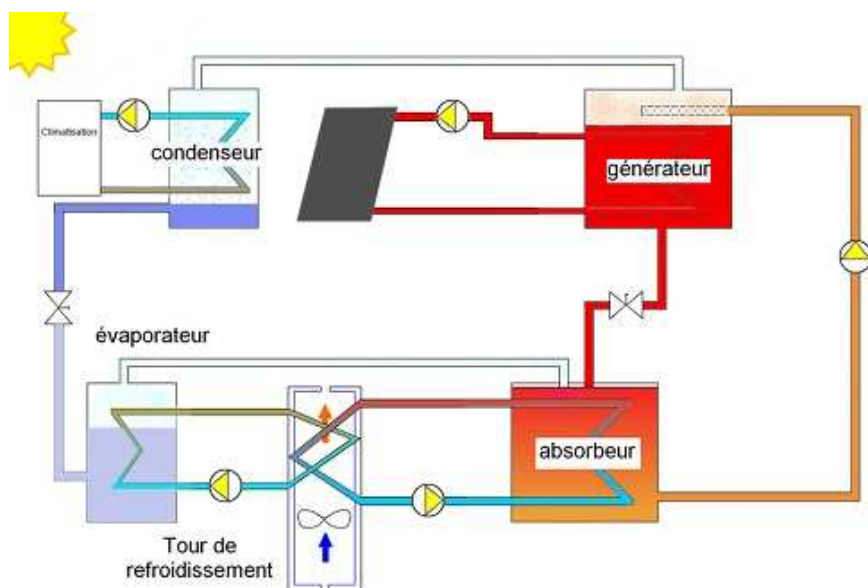
- 1 Une solution composée d'un couple liquide réfrigérant et liquide absorbant est portée à ébullition à l'intérieur du désorbeur grâce à l'apport calorifique de panneaux solaires thermiques. La pression augmente et le réfrigérant s'évapore en se séparant de l'absorbant,
- 2 Les vapeurs du réfrigérant sont dirigées vers le condenseur où elles cèdent leur chaleur par refroidissement au contact de l'air ambiant,
- 3 Les condensats du réfrigérant sont détendus pour accéder à la zone basse pression de l'installation,
- 4 Le réfrigérant à l'état liquide est dirigé dans l'évaporateur où il se vaporise instantanément en prélevant les calories du local à refroidir,
- 5 Conjointement, la solution absorbante "pauvre en réfrigérant" est soutirée du désorbeur via une vanne de détente pour alimenter l'absorbeur. Les vapeurs du réfrigérant mises en contact avec cette solution sont alors absorbées.
- 6 Le couple réfrigérant-absorbant ainsi régénéré est ramené vers le désorbeur par une pompe. Le cycle peut alors recommencer.



Principe de fonctionnement de la climatisation solaire par absorption (http://www.sci-gamaca.com/clim_solaire.jpg)

Ce dispositif dissocie par ébullition une solution d'eau et de bromure de lithium. Après refroidissement, la recombinaison des deux composants produit du froid qui est distribué dans un système de climatisation classique dans le bâtiment. La climatisation solaire est composée :

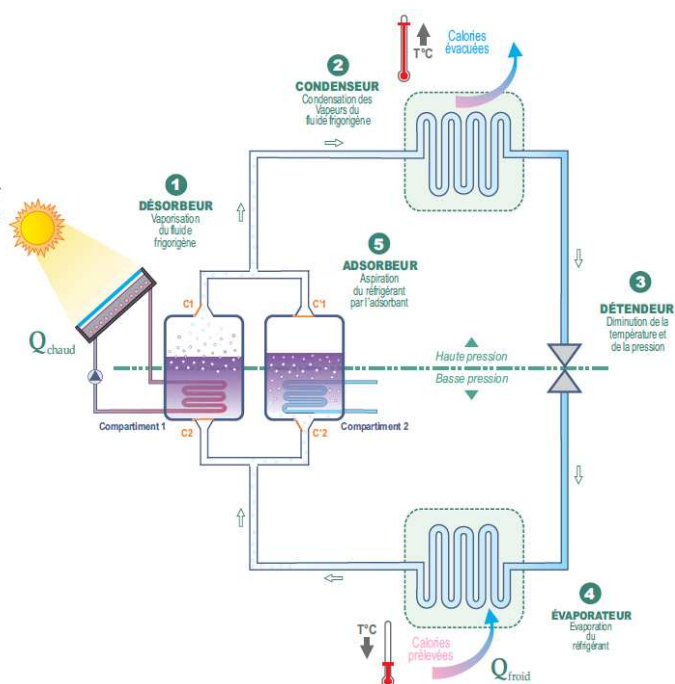
- D'un désorbeur, qui a pour rôle de vaporiser le fluide caloporteur.
- D'un condenseur, qui a pour rôle de condenser le fluide caloporteur en état vapeur à l'état liquide.
- D'un détendeur, qui a pour rôle de diminuer la température et la pression du fluide.
- D'un évaporateur, qui sert à échanger de la chaleur entre l'air chaud et le fluide s'évaporant, en créant du froid.
- D'un absorbeur, qui sert à absorber le réfrigérant et d'une pompe, qui sert ramener le couple réfrigérant/absorbant dans le désorbeur.



Principe de fonctionnement de la climatisation solaire par absorption
[\(http://www.lepanneau solaire.net/principe-fonctionnement-climatisation-solaire/\)](http://www.lepanneau solaire.net/principe-fonctionnement-climatisation-solaire/)

Principe de fonctionnement :

- 1 Un premier compartiment contenant le solide adsorbant en équilibre thermodynamique avec le fluide réfrigérant reçoit l'apport calorifique de panneaux solaires thermiques. L'adsorbant s'échauffe, ce qui provoque la désorption du réfrigérant et une élévation de pression. Lorsque la pression de vapeur du réfrigérant atteint la valeur correspondant à la pression du condenseur, le clapet C1 est ouvert et les vapeurs sont connectées au condenseur,
- 2 Dans le condenseur, les vapeurs du réfrigérant cèdent leur chaleur par refroidissement au contact de l'air ambiant,
- 3 Les condensats du réfrigérant sont détendus pour accéder à la zone basse pression de l'installation,
- 4 Le réfrigérant à l'état liquide est dirigé dans l'évaporateur où il se vaporise instantanément en prélevant les calories du local à refroidir,
- 5 L'adsorbant du deuxième compartiment est refroidi au contact d'un circuit d'eau et maintient la basse pression. Le clapet C'2 est ouvert afin de permettre l'adsorption des vapeurs stockées dans l'évaporateur. Un nouveau cycle peut alors recommencer,
- 6 La fonction désorbeur-adsorbeur de chaque compartiment est permuée à chaque cycle par ouverture et fermeture des clapets C1 C'2 et C'1 C2.



Principe de fonctionnement de la climatisation solaire par adsorption
 [\(http://www.arer.org/CLIMATISATION-SOLAIRE.html?espace=Education\)](http://www.arer.org/CLIMATISATION-SOLAIRE.html?espace=Education)

Ici, au lieu d'une solution liquide, un matériau solide (un adsorbant) est utilisé. Les systèmes disponibles sur le marché utilisent l'eau comme réfrigérant et le silica-gel comme adsorbant. La machine comprend deux compartiments remplis d'adsorbant, un évaporateur et un condenseur. L'adsorbant du premier compartiment est régénéré par chauffage (eau chaude solaire), la vapeur d'eau ainsi générée étant envoyée dans le condenseur où elle se condense. L'eau liquide, via une vanne de détente, est envoyée à basse pression dans l'évaporateur où elle s'évapore (phase de « production de froid »). L'adsorbant maintient la basse pression en adsorbant cette vapeur d'eau. Ce compartiment doit être refroidi pour entretenir le processus d'adsorption. Lorsque la « production de froid » diminue (saturation de l'adsorbant en vapeur d'eau), les fonctions des deux compartiments sont permuées par ouverture et fermeture de clapets. Actuellement, seuls quelques fabricants proposent ce type de machines à adsorption.

ANNEXE 4

Le cas pathologique de Lochwiller en Alsace

En 2011, des désordres sont apparus dans le village de Lochwiller (Bas-Rhin) : déformations du sol, fissuration des chaussées et des édifices. Le sol s'est soulevé par endroits de plus de 50 cm en trois ans et une vingtaine de maisons sont affectées.

A l'origine de ces désordres, un forage géothermique réalisé en 2008, qui a libéré l'eau d'une nappe captive à 60 m de profondeur : l'eau est montée dans le forage et a imbibé les couches d'anhydrite sus-jacentes, lesquelles gonflent en se transformant en gypse.

Des phénomènes analogues s'étaient produits il y a quelques années à Staufen-im-Brisgau, en Allemagne, distant de 120 km environ, et dans le même contexte géologique. Le soulèvement avait atteint 20 cm en 18 mois.

Est-ce que ce type d'accident est susceptible de ternir l'image de la géothermie de faible profondeur et de remettre en cause son développement ?

Notons tout d'abord que n'importe quel forage, pour la géothermie ou pour tout autre motif, aurait très probablement produit les mêmes effets dans ce contexte géologique et hydrogéologique.

D'autre part, ce contexte est très particulier : une couche d'anhydrite peu profonde et une nappe en charge un peu plus bas. Cette configuration représente certainement moins de 0,1 % de la superficie du territoire national.

Le risque de tels incidents est donc extrêmement faible. Il est cependant regrettable que la norme NF X 10-970, de janvier 2011, intitulée

Forage d'eau en géothermie, Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé)

soit très peu explicite sur ce type de risque : le BET (bureau d'études techniques) spécialiste du sous-sol, dont l'intervention est facultative, doit « *définir la nature du sous-sol et les risques potentiels liés à la protection de l'environnement* ». Attirer l'attention sur les risques liés à la présence à faible profondeur de roches gonflantes, comme l'anhydrite, ou d'évaporites solubles serait utile.

Par ailleurs, sous l'égide du MEDDE, un projet de méthodologie de cartographie d'aptitude à la géothermie de minime importance est en cours d'élaboration par le BRGM et les CETE de l'Est et d'Ile-de-France. Les cartes seraient dressées à l'échelle nationale et à l'échelle régionale. Elles distingueraient :

- des zones dites vertes, *a priori* sans problème ;
- des zones dites oranges dans lesquelles un examen des projets au cas par cas est nécessaire ;
- des zones dites rouges, dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves : les zones du type de celle évoquée plus haut y seraient en particulier identifiées.

ANNEXE 5

Compétences attendues d'un Intégrateur de projets géothermie

L'emploi d'Intégrateur tel que décrit ci-dessus est un des emplois nouveaux généré par le recours pour des ensembles de bâtiments (habitation, tertiaire) à des énergies de type renouvelables. **Il est proposé pour information une présentation des compétences attendues d'un ensemblier respectant les modèles utilisés par la Fédération Française du Bâtiment.**

Bien évidemment, ce référentiel des compétences, bâti dans le cadre es travaux du comité national de la géothermie, est fourni pour simple information, la plupart des petits chantiers concernés par le présent rapport n'appelant pas une palette aussi complète et fouillée de compétences.

	Colonne A	Classe de 1 à 10 le degré d'importance de cette compétence			
	Colonne B	Classe le mode d'acquisition des compétences : 1 : pour une action d'information ou d'auto acquisition 2 : pour une formation en entreprise en situation de travail 3 : pour une formation externe			
	Colonne C	Classe de 1 à 5 le degré de priorité d'acquisition de cette compétence			
	INTEGRATEUR DE PROJETS GEOTHERMIE		A	B	C
(*) voir détail à la fin du tableau					
	Avoir de bonnes connaissances en matière de Mécanique des fluides et thermodynamique	8	3		
	Avoir de bonnes connaissances en matière de Chaleur et électricité Cogénération	8	3		
	Maîtrise des principes des échanges de chaleur	10	3		
	Maîtrise des principes généraux de la géothermie	10	3		
9(*)	Avoir de bonnes connaissances en techniques et technologies des nouvelles énergies : solaire, géothermie, aérothermie, biomasse, bois, cogénération, technique de captage des polluants,...	7	2&3	5	
9	Avoir de bonnes connaissances en nouvelles technologies de matériel et de systèmes : chaudières à condensation, appareils de cogénération, chauffage thermodynamique, ventilation double flux, pompes à chaleur, climatisation, etc....	9	2&3	5	
11	Maîtrise des principales technologies employées en géothermie ; Différents types de sondes	10	2&3		
	Avoir de bonnes connaissances en matière de Géologie du sous-sol Hydrologie Techniques de forage Pieux Géothermie profonde Techniques de comblement Nappes phréatiques	10	2&3		
11	Maîtrise des réseaux de chaleur ; Micro-réseaux ; Pompes	10	2&3		
11	Avoir de bonnes connaissances en matière de PAC : principales technologies ; Différents types de PAC ; COP	10	2&3		
11	Avoir de bonnes connaissances en matière de Chauffage Basse température ; Plafonds rayonnants ; Planchers chauffants	9	2&3		

	Connaissance des principaux codes (code minier, environnement, loi sur l'eau) ; RGIE	9	3	
5	Maîtrise des normes et règlements en bureau d'études	10	3	5
	Maîtrise des principaux mécanismes et outils de financement du bâtiment		3	
7	Fonction commerciale : capacité évaluer les besoins du client et établir plan de financement Economie du projet Coûts / Avantages	10	2&3	
10	Compétences en rénovation de bâtiment comprenant : les incidences thermiques, énergétiques, ventilation	7	2&3	3
9	Offre globale d'équipement énergétique des bâtiments. Capacité à choisir et conseiller les meilleurs systèmes de chauffage ou de climatisation (bâtiment neuf et ancien) et d'effectuer les choix techniques adaptés aux situations	9	2&3	5
	Savoir travailler en réseau de personnes Etre capable de gérer les différents acteurs concernés par une offre globale d'équipements énergétiques du bâtiment	9	3	5
4	Offre globale en rénovation énergétique des bâtiments ; Maîtriser toutes les étapes de la rénovation énergétique des bâtiments en intégrant les compétences relevant des équipements et de l'enveloppe ; Savoir gérer la réalisation pour garantir la performance globale du bâtiment	10	3	3
6	Disposer de Bonnes pratiques professionnelles ; Conception et exécution des réseaux	8	2&3	5
6	Avoir de bonnes connaissances en matière de maintenance des équipements dans un cadre de performance énergétique	8	2&3	4
6	Avoir de bonnes connaissances en maintenance des systèmes et des réseaux	8	2&3	4
5	La gestion technique des bâtiments ; Maîtrise des dispositifs de gestion technique de confort des bâtiments	7	2&3	
6.5	Maîtrise des techniques et contraintes de la ventilation , appliquée au confort, à la performance énergétique et à la sécurité du bâtiment	6	2&3	4
5.6	Maîtrise de l'eau chaude sanitaire	7	2&3	5
8	Les échanges thermiques des parois (contraintes, techniques, normes, etc.)	6	3	3
6	Maîtrise des bonnes pratiques en exécution au regard des normes et règlements en vigueur (concerne particulièrement les équipes de chantier)	8	2	4
5.6	Méthode et organisation de chantier. Savoir gérer les chantiers faible nuisance. La gestion des chantiers au travers des nouvelles contraintes réglementaires. Les coûts de l'inorganisation sur les chantiers	10	2&3	5
11	La fonction de gestionnaire de chantier : être capable d'assurer une parfaite coordination des tâches, dans le respect des normes et règlements en vigueur et des contraintes environnementales. Maîtrise des domaines : techniques environnementales, sécurité, économique, relation clientèle	10	2&3	5
11	Avoir de bonnes connaissances en matière de Gestion des problèmes de pénibilité , de sécurité appliquée à l'organisation du travail	8	2&3	4

6	Capacité d'autonomie au niveau de l'exécution : consiste à doter le personnel d'exécution des éléments permettant la prise de décisions ou le transfert	9	2&3	
2	Animation et motivation des équipes . Accompagner et garantir l'appropriation du projet d'entreprise. Combattre la perte des savoirs et favoriser l'acquisition des compétences	10	2&3	3
2	Assurer une dynamique du transfert du savoir et de l'acquisition des compétences	10	2&3	4
1	Savoir instituer et gérer l'autocontrôle	8	2	
	Savoir identifier et gérer les anomalies	10	2&3	
	Avoir de bonnes connaissances en matière de Gestion des risques et d'assurabilité Garantie AQUAPAC	8	3	

1^{ère} colonne	1 pour : les techniques de l'autocontrôle 2 pour : la dynamique du transfert du savoir et des compétences 3 pour : l'utilisation des nouvelles techniques d'information 4 pour : offre globale bâtiment 5 pour : maîtrise normes en bureau d'études 6 pour : maîtrise normes en exécution et bonnes pratiques 7 pour : fonction commerciale 8 pour : maîtrise des contraintes environnementales liées au métier 9 pour : offre équipements énergétiques du bâtiment 10 pour : les techniques de l'enveloppe 11 pour : compétences techniques propres à un métier
--------------------------------	--

ANNEXE 6

Liste des personnes auditionnées

- **Philippe VESSERON** Président du Comité National Géothermie
- **Intervenants** au Collège Energie & Climat (CGEDD) du 14 juin 2013

1ère séquence :

JEAN-LOUIS BAL, président du Syndicat des Énergies Renouvelables,

DAMIEN SIESS, direction Production et EnR à l'ADEME

2ème séquence : les "professionnels" :

CHRISTIAN BOISSAVY, président de l'AFPG, Association française des professionnels de la géothermie

PHILIPPE PAPILLON, responsable du laboratoire des Systèmes thermiques du CEA Liten, Pôle de compétitivité Tenerrdis (Grenoble) a/s solaire thermique,

VALERIE LAPLAGNE, responsable EnR, Pompes à chaleur, solaire et biomasse, Uniclina

GERARD KORÄHNKE, entreprise VIESSMANN,

3è séquence a/s des réglementations en matière de géothermie minime importance :

JEAN-BAPTISTE BERNARD, directeur entreprise ECOME (pieux géothermiques)

JEAN-CLAUDE MARTIN, BRGM

- **Bruno GARD**, Directeur métier Bâtiment Saint-Gobain PAM
- **Jean-Christophe BRAUN**, CETE Nantes, Pôle Compétences Innovation « Réseaux de chaleur »
- **Jérôme GOLNER**, Chef de service à la DGPR (réunion Comité National Géothermie du 29 novembre)

Annexe 7

Acronymes

Acronyme	Signification
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFPAC	Association française pour les pompes à chaleur
AFPG	Association française des professionnels de la géothermie
ANAH	Agence nationale de l'habitat
ANR	Agence nationale de la recherche
ATE _x	Attestation technique d'expérimentation
BBC	Bâtiment de basse consommation
BEPOS	Bâtiment à énergie positive
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CEE	Certificat d'économies d'énergie
CEREN	Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie
CESCI	Chauffe-eau <i>solaire</i> collectif individualisé
CESI	Chauffe-eau solaire individuel
CETE	Centres d'études techniques de l'équipement
CIDD	Crédit d'impôt développement durable
CNG	Centre national de gestion ?
COS	Coefficient d'occupation du sol
CSPE	Contribution au service public de l'électricité
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
CVC	Chauffage, ventilation et climatisation ?
Éco-PTZ	L'éco-prêt à taux zéro
ECS	Eau chaude sanitaire
EGC	European Geothermal Congress
EIE	Espace info énergies
ENERPLAN	Syndicat des professionnels de l'énergie solaire
EnR	Énergies renouvelables
EnR _{th}	Énergies d'origine renouvelable thermiques
ENSTA	École nationale supérieure de techniques avancées
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
ETI	Entreprise de taille intermédiaire

Acronyme	Signification
GES	Gaz à effet de serre
GSHP	Ground Source Heat Pump
GWh-th	Gigawatt-heure-thermique
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HQE	Haute qualité environnementale
IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
McGes	Coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre
MI	Maison individuelle
Mtep	Million de tep
MWth	mégawatt-thermique
PAC	Pompes à chaleur
PCET	Plan climat énergie territorial
PLU	Plan local d'urbanisme
PME	Petites et moyennes entreprises
PRG	Pouvoir de réchauffement global
PV	Photovoltaïque
PVC	Polychlorure de vinyle
RGE	Reconnu Grenelle de l'environnement
RT	Réglementation thermique
ScoT	Schéma de cohérence territoriale
SEM	Société d'économie mixte
SER	Syndicat des énergies renouvelables
SRCAE	Schéma régional climat air énergie
SSC	Systèmes solaires combinés
TPE	Très petites entreprises
TRI	Temps de retour sur investissement
TWh	Térawatt-heure
TWth	Térawatt thermique
UE	Union européenne
UNICLIMA	Syndicat des industriels du génie climatique
VMC	Ventilation mécanique contrôlée